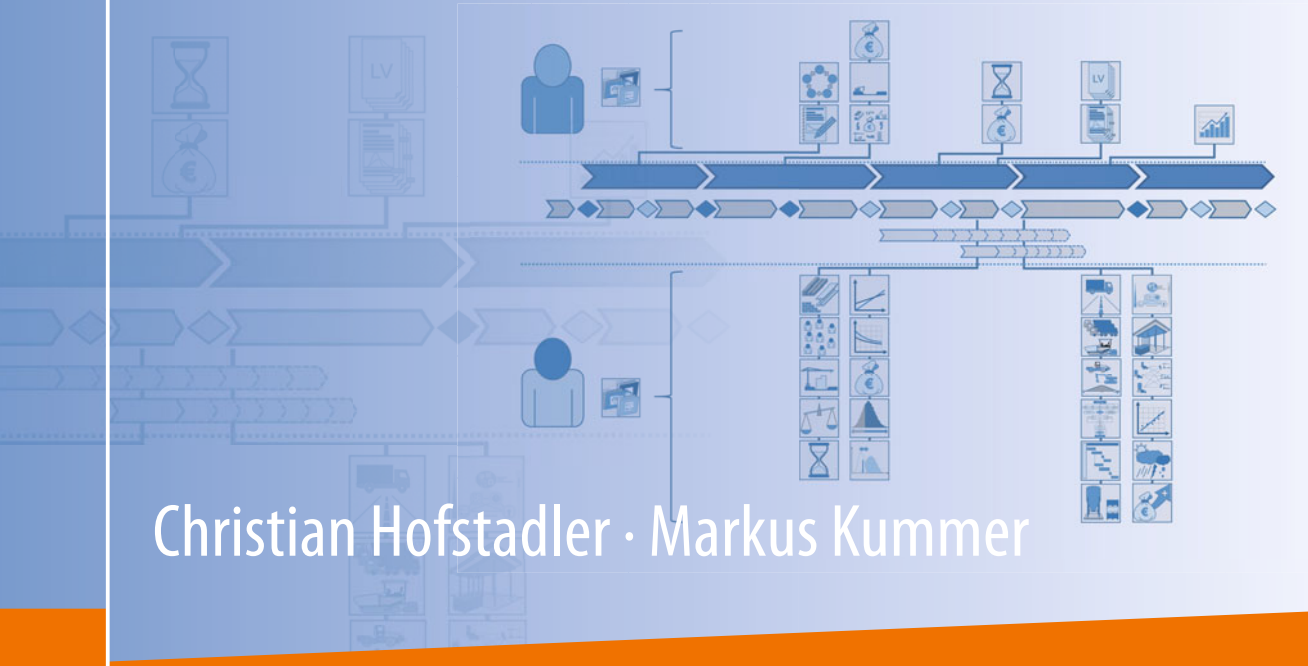


Christian Hofstadler · Markus Kummer

Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft

Für Auftraggeber und Auftragnehmer in Projektmanagement, Baubetrieb und Bauwirtschaft

Springer Vieweg

Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft

Christian Hofstadler · Markus Kummer

Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft

Für Auftraggeber und Auftragnehmer in Projektmanagement, Baubetrieb und Bauwirtschaft

Springer Vieweg

Christian Hofstadler
Graz, Österreich

Markus Kummer
Graz, Österreich

ISBN 978-3-662-54318-4 ISBN 978-3-662-54319-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-54319-1

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Springer Vieweg
© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.
Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Für eine erfolgreiche Umsetzung von Bauprojekten ist es unerlässlich die verfügbaren finanziellen und zeitlichen Ressourcen im Vorhinein zu ermitteln. Zudem ist es wesentlich, ausreichend Zeit für die vernetzte Projektvorbereitung und die effektive Bauausführung zu veranschlagen. Im Zuge der Projektierung soll einerseits das Budget für bestimmte Nutzungsanforderungen berechnet werden und andererseits dient diese zur Eruierung der Quantitäten und der erzielbaren Qualitäten im Rahmen eines bereits festgesetzten Budgets.

In frühen Projektphasen handelt es sich dabei meist um Schätzungen, die im weiteren Projektverlauf durch fundierte Berechnungen abgelöst werden. Diese Berechnungsergebnisse führen überwiegend zu deterministischen Ergebnissen. Anhaltspunkte über das dabei eingegangene Risiko oder über ein mögliches Chancenpotenzial gibt es keine.

Die Berechnung von Baukosten und Bauzeiten zählt zu den wichtigsten und verantwortungsvollsten Aufgaben im Baubetrieb und in der Bauwirtschaft. Ständig wird nach fundierten Daten und Informationen für Aufwandswerte, Leistungswerte, Produktivitätsansätze, Stoffverbräuche, Vorhaltemengen, Anzahl an Transporten und letztendlich Kosten sowie Zeiten gesucht, die ex ante zu schätzen bzw. zu berechnen sind. In einem letzten Schritt werden die endgültigen Werte für Kosten und Zeiten aufbauend auf diesen Kalkulationen festgelegt. Im Rahmen von ex post bzw. inter actio Betrachtungen wird überprüft, inwieweit die in der Bauausführung erzielten Ist-Werte tatsächlich mit den Vorgabewerten übereinstimmen. Der Idealfall tritt dann ein, wenn beispielsweise die Produktivität höher und/oder der Stoffverbrauch bzw. der Geräteeinsatz geringer ausfallen als geplant. Neben den Chancen, dass die Berechnungsannahmen im positiven Sinne übertroffen werden, bestehen jedoch gleichzeitig auch Risiken, dass sie im negativen Sinne nicht eingehalten werden können.

Am Ende jeder Untersuchung sind exakte Zahlen an- bzw. abzugeben. Diese stehen in Abhängigkeit von der Komplexität des Bauobjekts und von den Umständen der Leistungserbringung auf einer mehr oder weniger unsicheren Datenbasis. Als Lösungsansatz in dieser Hinsicht bieten sich Bandbreitenbetrachtungen an, womit in weiterer Folge endgültige Aussagen zu den ermittelten Werten getroffen werden können. Zur systematischen Berücksichtigung von Bandbreiten in den Eingangswerten steht die Anwendung probabilistischer Berechnungsansätze im Zentrum der Betrachtungen. Als wesentliche Ergebnisse der probabilistischen Berechnungen ergeben sich Histogramme,

auf deren Basis das Chancen-Risikoverhältnis in Bezug auf einen bestimmten (gewählten) Wert sofort erfasst werden kann.

Aufgrund häufig vorkommender Ungenauigkeit von externen und internen Daten, der Einflüsse von Innen und von Außen sowie dem mangelnden Informationsstand in diesem Kontext ist es notwendig, Entscheidungen unter teilweise sehr unsicheren Rahmenbedingungen zu treffen. Neben Unsicherheiten treten besonders bei komplexen Projekten wie beispielsweise im Tunnel- oder Kraftwerksbau, Ungewissheit und Unwissen auf, die trotz hoher Systematik schwer bis kaum erfass- und bewertbar sind. Davon betroffen sind Personen, die Bauprojekte hinsichtlich Kosten und Zeiten kalkulatorisch vorbereiten, die Arbeitsvorbereitung durchführen und die Bauausführung organisieren, kontrollieren und steuern.

Während der Bauausführung treten zumeist schwer vorhersehbare Änderungen und Störungen im Ablauf und der Logistik auf. Diese sind einerseits durch Nichtlinearitäten und Komplexität der Produktionsfaktoren und andererseits durch exogene Einwirkungen auf das Produktionssystem bedingt. Ähnlich einem Trichter, der sich von einer breiten Einfüllöffnung sukzessive bis zum Trichterhals verjüngt, sind die Unsicherheiten in frühen Projektphasen vergleichsweise breiter gestreut als nach der Auftragsvergabe, in der das Bauobjekt anhand von Ausführungsplänen konkretisiert wird. Mit zunehmender Planungstiefe werden die Angaben zum Bauwerk immer präziser. Was jedenfalls bleibt, sind Unsicherheiten über die Art und Weise wie die Produktionsfaktoren optimal miteinander zu kombinieren sind sowie über die in der Zukunft liegenden Baustellenumstände während der Leistungserbringung.

Für den Bauherrn gestaltet sich eine kurze oder sehr kurze Bauzeit als optimal, da er daran interessiert ist, das Bauwerk so bald wie möglich nutzen oder verwerten zu können. Die optimale Bauzeit des Bauherrn ist daher in den seltensten Fällen deckungsgleich mit jener der Bieter/Auftragnehmer, da diese vorrangig das Ziel verfolgen, die Produktionsfaktoren derart auszuwählen und miteinander zu kombinieren, dass die normale Produktivität zu erreichen ist. Mit den kurzen oder sehr kurzen Bauzeiten, die im Interesse des Bauherrn liegen, können die Auftragnehmer keine ‚Normal-Produktivität' erzielen und müssen mit Produktivitätsverlusten rechnen.

In allen Projektphasen werden für die Überlegungen, Schätzungen und letztendlichen Berechnungen verlässliche Daten benötigt, die nach Vertragsabschluss als Vertragsbestandteil verbindlich sind und eine bedeutende Rolle für den Projekterfolg einnehmen. Besonders in diesem Zusammenhang ist verstärkt hervorzuheben, dass Daten ohne Informationen zu deren Entstehung für die weitere Nutzung Dritter von geringem Wert sind. Die Informationsqualität der Daten, die auch auf der systematischen Art der Erhebung basiert, ist wesentliches Kriterium zur Erreichung der gesteckten Ziele bzw. für die richtige und präzise Vermittlung von Sachverhalten. Zu den häufig verwendeten Qualitätskriterien für Informationen zählen Strukturiertheit, Korrektheit, Vollständigkeit, Relevanz, Konsistenz, Aktualität, Zuordenbarkeit, Klarheit, Zuverlässigkeit, Gültigkeit und Prägnanz. Je schlechter die Qualität der Daten und Informationen ist, desto höher ist das Risiko für Fehleinschätzungen. Chancen können bei einer höheren Qualität der Daten und Informationen besser eingeschätzt und genutzt sowie Risiken besser bewertet und vermieden werden.

Wird das Ziel verfolgt aussagekräftige und belastbare Ergebnisse als Entscheidungsgrundlagen zu gewinnen, ist es von großer Bedeutung die erhobenen Daten und Informationen mit BIM-Modellen zu verknüpfen. Jedes noch so gute BIM-Modell benötigt für die Simulation von Bauzeiten und Baukosten hochqualitative Daten (zeitlich und betrieblich richtig abgegrenzt) mit den dazugehörigen Informationen (z.B. Entstehung, Randbedingungen). Erst dann ist mit BIM-Modellen der größtmögliche Nutzen für alle Projektphasen und -beteiligten sowie in weiterer Folge für den gesamten Lebenszyklus eines Bauobjekts zu erzielen.

Diese Situationsanalyse zeigt den hohen Bedarf an der systematischen Handhabung von Chancen und Risiken. Die Weichen zum Erfolg werden dabei durch eine vorausschauende und intelligente Chancen- und Risikopolitik gestellt, mit der die Ziele und Methoden des Chancen- und Risikomanagements festgelegt werden. Wesentliche Aspekte davon werden durch das vorliegende Buch transparent und nachvollziehbar abgedeckt. Eine Ergänzung zu den theoretischen Darlegungen erfolgt im Rahmen von Praxisbeispielen, die zum Mitdenken, Anwenden und Weiterentwickeln anregen.

Es wird für laufende und zukünftige Projekte dargestellt, wie Organisationseinheiten im Zuge des Projektportfoliomanagements zielsicher mit Chancen und Risiken umgehen können. Dazu ist eine permanente Planung, Priorisierung sowie übergreifende Steuerung und Überwachung erforderlich, um längerfristig erfolgreich im Wettbewerb bestehen zu können. Die wesentlichsten Aufgaben umfassen hierbei die Beurteilung potenzieller zukünftiger Projekte, die laufende Überwachung von aktuell bearbeiteten Projekten und die Wahrnehmung projektübergreifender Informations- und Wissensmanagementaufgaben.

Im Rahmen von Praxisbeispielen wird vermittelt, wie und in welchen Projektphasen Unsicherheiten von Auftraggebern, Bietern und Auftragnehmern systematisch berücksichtigt werden können. Dies dient primär dazu, Chancen und Risiken frühzeitig zu erkennen und um die Berechnungsergebnisse sowie den Entscheidungsprozess bei Bedarf über den gesamten Lebenszyklus des Bauobjekts zu verbessern. Unter Berücksichtigung von Beispielen aus der und für die Praxis erfolgt die Erläuterung der Monte-Carlo-Simulation sowie deren Nutzen für die am Planungs- und Bauprozess maßgeblich beteiligten Personen.

Eine erweiterte Perspektive für die Untersuchungen kann im Zuge von Mikro- bis hin zu Makrobetrachtungen eingenommen werden. Bei der Makrobetrachtung von Bauobjekten wird beispielsweise das Bauwerk in seiner Gesamtheit betrachtet oder in die Bereiche Rohbau, Ausbau und Technik aufgeteilt. Die Mikrobetrachtung zielt auf detaillierte Untersuchungen einzelner Produktionseinheiten wie z.B. Fertigungsabschnitte ab und behandelt Aspekte der Ablaufoptimierung sowie der Logistik. Im Zusammenhang mit den vertieften baubetrieblichen Untersuchungen besonders vor und auch während der Bauausführung wird die Chancendetektion und -nutzung gefördert und die Resilienz gegenüber Störungen gestärkt.

Es wird erklärt, wie mittels Trendanalysen die Entwicklung des Leistungsfortschritts und der verbrauchten Lohnstunden prognostiziert werden können. Neben dem Einsatz von deterministischen Methoden umfassen die Untersuchungen ebenso, wie durch die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation der Mehrwert von Trendanalysen gesteigert und die Prognosesicherheit erhöht werden kann. Dadurch wird frühzeitig erkannt, ob Gegensteuerungsmaßnahmen erforderlich sind. Aufgrund der Früherkennung kann die effizienteste und effektivste Kombination der Produktionsfaktoren geplant und zeitnah realisiert werden.

Besonders eine praxisnahe und wertvolle Grundlage stellt dieses Buch dar, um Chancen und Risiken im Projektmanagement, im Baubetrieb und in der Bauwirtschaft nachvollziehbar aufzuzeigen. Dies bildet das fachliche Fundament dafür, darauf aufbauend folgerichtige und erfolgswirksame Schlüsse ziehen zu können. Die Entscheidungsvorbereitung und -findung ist dadurch von höherer Systematik und Zielorientierung geprägt – zugleich verbessern sich die Entscheidungssicherheit und die Transparenz.

Für eine erfolgreiche Bauprojektvorbereitung sowie für die effiziente und effektive Realisierung von Bauprojekten schafft dieses aggregierte Wissen die wesentlichen Voraussetzungen.

Graz, Dezember 2016

Christian Hofstadler
Markus Kummer

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V

Inhaltsverzeichnis IX

Abkürzungsverzeichnis XVII

Autorenverzeichnis XXXIII

1 Einleitung 1
1.1 Situationsanalyse 1
1.1.1 Komplexität von Systemen 6
1.1.2 Unsicherheiten in Systemen 9
1.2 Zielsetzung 12
1.3 Gliederung 12
1.4 Zielgruppen des Buchs 18
1.5 Literaturverzeichnis 18

2 Grundlagen 21
2.1 Chance/Risiko 21
2.1.1 Etymologische Herkunft 21
2.1.2 Allgemeiner Sprachgebrauch 22
2.1.3 Verwendung in der Wirtschaft 25
2.1.4 Verwendung in der Bauwirtschaft 30
2.1.5 Normung 35
2.1.6 Verwendung der Begriffe Chance und Risiko in diesem Buch 36
2.1.7 Bezugsbasis 38

2.1.8 Wagnis 40
2.2 Aussagen über die Zukunft 42
2.3 Wesentliche Teilbereiche der Mathematik 47
2.3.1 Stochastik 47
2.3.2 Spieltheorie 51
2.3.3 Numerik 52
2.4 Statistische und wahrscheinlichkeitstheoretische Begriffe 52
2.4.1 Zufallsvariable 52
2.4.2 Verteilung 52
2.4.3 Histogramm 57
2.4.4 Lageparameter 57
2.4.5 Varianz 60
2.4.6 Standardabweichung 61
2.4.7 Quantilwerte/Quantilsabstände 61
2.4.8 Sicherheitsniveau 62
2.4.9 Zentraler Grenzwertsatz 62
2.4.10 Gauß‘sches Fehlerfortpflanzungsgesetz 63
2.4.11 Korrelation/Korrelationskoeffizienten 66
2.4.12 Historische Daten 69
2.4.13 Fitting 69
2.5 Zusammenfassung 69
2.6 Literaturverzeichnis 70

3 Daten, Informationen, Wissen und BIM 75
3.1 Wissensarten 76
3.1.1 Implizites und explizites Wissen 77
3.1.2 Subjektives und objektives Wissen 77
3.1.3 Individuelles, kollektives und organisationales Wissen 77
3.1.4 Kontext- und dekontextbezogenes Wissen 78
3.2 Sammlung von Daten und Informationen 78
3.3 Allgemeines zur Dokumentation 79
3.4 Informationsfluss 82
3.5 Informationen und Datenqualität 84
3.5.1 Methoden der Informationsbeschaffung 87
3.5.2 Informationsasymmetrie 89
3.6 Systematisches Wissensmanagement 92
3.7 Die lückenlose Dokumentation 95
3.8 Daten und Informationen für BIM 96

3.8.1 Grundsätze der BIM-Modelle 97
3.8.2 Ziele der BIM-Modelle im Projekt-, Nutzungs- und Betriebsprozess 98
3.9 Zusammenfassung 104
3.10 Literaturverzeichnis 105

4 Chancen- und Risikomanagement 109
4.1 Chancen- und Risikomanagement in Regelwerken 110
4.1.1 Risikomanagement nach ISO 31000 111
4.1.2 Chancen- und Risikomanagement nach ÖGG-Richtlinie . . . 112
4.2 Situationsanalyse zum Chancen- und Risikoverhalten 113
4.2.1 Chancen- und Risikoverhalten in Bauunternehmen 113
4.2.2 Chancen- und Risikoverhalten und Wettbewerbsintensität . . . 117
4.3 Chancen- und Risikopolitik 120
4.4 Makro- und Mikrobetrachtung 121
4.4.1 Makrobetrachtung – Organisationsebene 124
4.4.2 Mikrobetrachtung – Projektebene 126
4.5 Chancen- und Risikomanagementprozess 127
4.5.1 Chancen- und Risikosynthese und -analyse 128
4.5.2 Chancen- und Risikooptimierung 139
4.5.3 Chancen- und Risikomonitoring 151
4.5.4 Chancen- und Risikodokumentation 152
4.5.5 Chancen- und Risikoreflexion 152
4.6 Zusammenfassung 152
4.7 Literaturverzeichnis 153

5 Methoden des Chancen- und Risikomanagements in den Projektphasen 157
5.1 Projektphasen eines Bauprojekts 158
5.2 Einsatz von Werkzeugen und Methoden des Chancen- und Risikomanagements in den Projektphasen 162
5.3 Projektvorbereitung (PPH 1) 165
5.3.1 Auftraggeber 166
5.3.2 Auftragnehmer 167
5.4 Planung (PPH 2) 167
5.4.1 Auftraggeber 167
5.4.2 Auftragnehmer 169
5.5 Ausführungsvorbereitung (PPH 3) 169
5.5.1 Auftraggeber 170

5.5.2 Auftragnehmer 172
5.6 Ausführung (PPH 4) 178
5.6.1 Auftraggeber 178
5.6.2 Auftragnehmer 179
5.7 Projektabschluss (PPH 5) 185
5.8 Übergeordnetes Portfoliomanagement 185
5.8.1 Auftraggeber 185
5.8.2 Auftragnehmer 186
5.9 Kosten von Bauwerken – Kostentrichter – Reserven 186
5.10 Zusammenfassung 188
5.11 Literaturverzeichnis 189

6 Grundlagen der Monte-Carlo-Simulation 191
6.1 Herkunft und Entwicklung der Methode 191
6.2 Differenzierung zwischen Methode und Simulation 192
6.2.1 Monte-Carlo-Methode 192
6.2.2 Simulation 195
6.2.3 Monte-Carlo-Simulation 197
6.2.4 Szenario/Iteration 198
6.2.5 Anwendungsgebiete 200
6.3 Generierung von Zufallszahlen 208
6.3.1 Probenerhebungsverfahren 210
6.3.2 Anzahl der Iterationen 212
6.4 Verteilungsfunktionen 213
6.4.1 Einfluss der Form von Verteilungsfunktionen 218
6.4.2 Einfluss der Schiefe von Verteilungsfunktionen 221
6.5 Korrelationen 224
6.5.1 Korrelationen in der baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Literatur 225
6.5.2 Einfluss von Korrelationen 228
6.6 Vergleich – deterministische und probabilistische Berechnungen 239
6.6.1 Kritik an deterministischen Berechnungen 239
6.6.2 SWOT-Analyse für Monte-Carlo-Simulationen 241
6.7 Zusammenfassung 243
6.8 Literaturverzeichnis 244

7 Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen 249
7.1 Wahl von Verteilungsfunktionen 249

7.1.1 Theoretische Überlegungen auf Basis bekannter bzw. angenommener Charakteristika 251
7.1.2 Datenerhebung aus der Praxis 254
7.1.3 Kombination der Erhebungsmethoden 259
7.2 Datenfitting 260
7.2.1 Aufwandswerte 261
7.2.2 Mengenabweichungen 272
7.3 Erhebung von Korrelationen 285
7.3.1 Gesamt-Aufwandswert für die Stahlbetonarbeiten 285
7.3.2 Ergebnisse der Expertenbefragung 287
7.3.3 Auswirkungen von Korrelationen auf den Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten 292
7.4 Interpretation von Simulationsergebnissen 294
7.4.1 Histogramme 294
7.4.2 Tornadodiagramme 305
7.4.3 Punktdiagramme 309
7.4.4 Spiderdiagramme 310
7.5 Zusammenfassung 312
7.6 Literaturverzeichnis 312

8 Einfluss der Projektvorlaufzeit und der Bauzeit auf die Projektziele 315
8.1 Zielsystem für Bauprojekte 316
8.2 Projektvorlaufzeit und Projektziele 318
8.3 Produktivität und Produktionssystem 319
8.3.1 Produktionssystem 319
8.3.2 Aufwandswerte 324
8.4 Auswirkung der Bauzeit auf die Planungsprozesse 327
8.5 Die Bedeutung der Bauzeit 328
8.5.1 Baubetriebliche Bedeutung 329
8.5.2 Bauwirtschaftliche Bedeutung 331
8.5.3 Bedeutung für die Qualität 331
8.5.4 Bedeutung für die Bauablaufstörungen 331
8.5.5 Rechtliche Bedeutung 332
8.6 Vorgabe der Bauzeit 332
8.6.1 Bedeutung der Bauzeit für den Bauvertrag 334
8.6.2 Festlegungen zur Bauzeit 334
8.6.3 Folgen für den Bauherren 338
8.7 Einfluss der Bauzeit auf die Produktivität 340

8.7.1 Bauzeit und Produktivitätsverluste 341
8.7.2 Vergleich mit der Literatur 344
8.8 Zusammenfassung 350
8.9 Literaturverzeichnis 351

9 Anwendungsbeispiele – Auftraggeber 353
9.1 Projektphase PPH 1 353
9.1.1 Developer-Rechnung 353
9.1.2 Lebenszykluskostenbetrachtungen 371
9.2 Projektphase PPH 2 378
9.2.1 Lebenszykluskostenberechnungen 378
9.2.2 Baugrundanalyse 384
9.2.3 Kostenschätzung/-berechnung 394
9.3 Projektphase PPH 3 408
9.3.1 Kostenanschlag 408
9.3.2 Bauzeitermittlung 411
9.3.3 Angebotsanalyse – Vertiefte Angebotsprüfung 415
9.3.4 Vergabeentscheidung 433
9.4 Projektphase PPH 4 441
9.4.1 Trendanalyse 442
9.5 Projektphase PPH 5 446
9.6 Übergeordnetes Portfoliomanagement 446
9.6.1 Grundlagen 447
9.6.2 Aufgabenstellung 447
9.6.3 Modellierung 448
9.6.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation 448
9.6.5 Nutzen für den AG 448
9.7 Zusammenfassung 449
9.8 Literaturverzeichnis 449

10 Anwendungsbeispiele – Auftragnehmer 453
10.1 Projektphase PPH 1 453
10.2 Projektphase PPH 2 453
10.3 Projektphase PPH 3 454
10.3.1 Mengenunsicherheiten/Mischpreiskalkulation 454
10.3.2 Makrobetrachtung für die Anzahl der Arbeitskräfte 465
10.3.3 Ermittlung der erforderlichen Geräteanzahl 470
10.3.4 Chancen- und Risikoregister 487
10.3.5 Bauzeitermittlung 497

10.3.6 Grober Verfahrensvergleich 502
10.3.7 Grobe Vorhaltemengenermittlung 513
10.3.8 Kalkulation (Nullkalkulation) 526
10.3.9 Beurteilung des Kalkulationsrisikos 528
10.3.10 Preisermittlung für das Angebot 532
10.4 Projektphase PPH 4 542
10.4.1 Logistik/Anzahl der Transporte 542
10.4.2 Abstimmung von Geräteketten 552
10.4.3 Verdichtungsleistung im Erdbau 567
10.4.4 Verfahrensauswahl 589
10.4.5 Fertigungsablaufplanung 598
10.4.6 Lagerhaltung von Baustoffen 605
10.4.7 Aggregation von Produktivitätsverlusten 610
10.4.8 Ermittlung der Vorhaltemengen 620
10.4.9 Beschaffungsoptimierung 629
10.4.10 Trendanalyse 639
10.4.11 Einflüsse der Witterung 657
10.4.12 Mehrkostenermittlung 666
10.5 Projektphase PPH 5 673
10.6 Übergeordnetes Projektportfoliomanagement 673
10.6.1 Grundlagen 674
10.6.2 Aufgabenstellung 675
10.6.3 Modellbildung 676
10.6.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation 678
10.6.5 Nutzen für den AN 682
10.7 Zusammenfassung 683
10.8 Literaturverzeichnis 683

Abbildungsverzeichnis 687

Tabellenverzeichnis 703

Sachverzeichnis 709

Abkürzungsverzeichnis

Im folgenden Abschnitt sind die wesentlichsten Abkürzungen dargestellt.

A

α	Formparameter oder Winkel
α_m	Reduktionsfaktor
A	Fläche
$A_{S,BW}$	Versatz zwischen Schalen und Bewehren
A_t	Auszahlungen (Ausgaben)
Abb.	Abbildung(en)
ABGB	Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch
Abs.	Absatz
AF_{MIN}	Mindestarbeitsfläche [m²/AK]
AF_{RED}	Arbeitsflächenreduktion
AF_{VOR}	vorhandene Arbeitsfläche [m²/AK]
AG	Auftraggeber
AK	Arbeitskraft/Arbeitskräfte
AK_{BW}	Anzahl der Arbeitskräfte für die Bewehrungsarbeiten
AK_{MW}	mittlere Arbeitskräfteanzahl
AK_{MAX}	maximale Arbeitskräfteanzahl
AK_S	Anzahl der Arbeitskräfte für die Schalarbeiten
AK_{STB}	Anzahl der Arbeitskräfte für die Stahlbetonarbeiten
$AK_{STB,MAX}$	maximale Anzahl der Arbeitskräfte für die Stahlbetonarbeiten

$AK_{STB,MW}$ ..... mittlere Anzahl der Arbeitskräfte für die Stahlbetonarbeiten
AN ..... Auftragnehmer
$ANZ_{AK,MAX}$ ..... maximale Anzahl an Arbeitskräften
$ANZ_{AK,MW}$ ..... mittlere Anzahl an Arbeitskräften
ANZ_{Flops} ..... Anzahl der Flops
ANZ_{K} ..... Anzahl der Krane
$ANZ_{K,AK}$ ..... Anzahl der Krane bezogen auf die Arbeitskräfteanzahl
$ANZ_{K,OPT}$ ..... optimale Anzahl an Kranen
$ANZ_{K,VOR}$ ..... vorhandene Anzahl an Kranen
$ANZ_{NEG,KORR}$ ..... Anzahl negativer Korrelationen
$ANZ_{Treffer}$ ..... Anzahl der Treffer
ARGE ..... Arbeitsgemeinschaft
ASCE ..... American Society of Civil Engineers
aSK ..... angepasster semantischer Kasten
AW ..... Aufwandswert [Std/MEH]
$AW_{a,v,i}$ ..... Aufwandswert (a...Ablaufstufe, v...Vorgang, i...Bauteil)
$AW_{AF,ERH}$ ..... Aufwandswerterhöhung aufgrund zu geringer Arbeitsfläche
AW_{BT} ..... Aufwandswert für das Betonieren [Std/m³]
AW_{BW} ..... Aufwandswert für das Bewehren [Std/t]
AW_{ERH} ..... Aufwandswerterhöhung
$AW_{ERH,KK}$ ..... Aufwandswerterhöhung aufgrund zu geringer Krankapazität
AW_{IST} ..... IST-Aufwandswert
AW_{S} ..... Aufwandswert für das Schalen [Std/m²]
$AW_{S,A}$ ..... Aufwandswert für das Schalen – Schalsystem A [Std/m²]
$AW_{S,B}$ ..... Aufwandswert für das Schalen – Schalsystem B [Std/m²]
$AW_{S,GD}$ ..... Aufwandswert für das Schalen – Grund- und Demontage [Std/m²]
AW_{SOLL} ..... SOLL-Aufwandswert
AW_{STB} ..... Gesamt-Aufwandswert für Stahlbetonarbeiten [Std/m³]
AZ ..... tägliche Arbeitszeit
AZ_{STB} ..... tägliche Arbeitszeit für Stahlbetonarbeiten

B

β ..... Formparameter oder Winkel
b ..... Einbaubreite

b	Verdichtungsbreite – Wirksame Arbeitsbreite des Verdichtungsgeräts b = 0,80 * B [m]
B	Arbeitsbreite [m]
B	Betriebskosten
b.	bis
bes.	besonders/besondere
BGF	Brutto-Grundfläche [m²]
BGL	Baugeräteliste
BIM	Building Information Modeling
BK	Bodenklasse(n)
BKI	Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH
BRI	Brutto-Rauminhalt [m³]
bSI	buildingSMART International
Bsp.	Beispiel(e)
bspw.	beispielsweise
BT_M	Betonmenge [m³]
$BT_{M,TR}$	Betonmenge die je Transport angeliefert wird [m³]
BVergG	Bundesvergabegesetz
BW	Bewehrung
bw_g	Bewehrungsgrad [t/m³] bzw. [kg/m³]
$bw_{g,bwk}$	Bewehrungsgrad für das gesamte Bauwerk [t/m³] bzw. [kg/m³]
$BW_{M,TR}$	Bewehrungsmenge die je Transport angeliefert wird [t] bzw. [kg]
BWL	Betriebswirtschaftslehre
BZ	Bauzeit
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise

C

°C	Grad Celsius
ca.	zirka
CBRM	Change Based Risk Management
CIB	The International Council for Research and Innovation in Building and Construction
CIRS	Critical Incident Reporting System
cm	Zentimeter

cos	Cosinus (Winkelfunktion)
Cov	Kovarianz
CRM	Chancen-Risikomanagementprozess

D

d	Arbeitstag(e)
d	Schichtdicke, Einbaudicke bzw. Deckendicke
D_A	Ausschalfrist für die Schalung
D_{AN}	Dauer der Anlaufphase
D_{AUS}	Dauer der Auslaufphase
D_{BT}	Dauer der Betonierarbeiten
D_{BW}	Dauer der Bewehrungsarbeiten
$D_{DS,E}$	Deckenschalungsarbeiten (Einschalen)
D_{GES}	Gesamtdauer
D_{HP}	Dauer der Hauptbauphase
d_i	Differenz der Rangplätze
D_{STB}	Dauer für Stahlbetonarbeiten
$D_{STB,AG}$	Dauer für Stahlbetonarbeiten vom AG vorgegeben
$D_{STB,AN}$	Dauer für Stahlbetonarbeiten vom AN ermittelt
$D_{STB,PU}$	Dauer der Stahlbetonarbeiten inkl. Puffer
$\Delta AW_{AF,ERH}$	Aufwandswerterhöhung aufgrund der Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche
$\Delta AW_{AK,RED}$	Aufwandswerterhöhung aufgrund von Arbeitskräftereduktion
ΔAW_{ERH}	Aufwandswerterhöhung
$\Delta AW_{ERH,KK}$	Aufwandswerterhöhung aufgrund verminderter Krankapazität
$\Delta AW_{ERH,TMP}$	Aufwandswerterhöhung aufgrund nicht optimaler Temperatur
ΔAW_D	Aufwandswerterhöhung aufgrund nicht normaler Bauzeit
det.	deterministisch
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
ΔPV	Produktivitätsverlust
ΔPV_D	Produktivitätsverlust aufgrund nicht normaler Bauzeit
dx	Differential

E

E	Errichtungskosten
$E_{i,j}$	Expertenwert j für den Grundriss i
$E_{i,j,neu}$	Skalierter Expertenwert j für den Grundriss i
E_t	Einzahlungen (Einnahmen)
ebd.	ebenda
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EH	Einheit
EHP	Einheitspreis (auch EP)
engl.	englisch
EP_{Gesamt}	Einheitspreis gesamt
ERW	erwarteter Wert
et al.	und andere
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
e.V.	eingetragener Verein
evtl.	eventuell
EW	Eintrittswahrscheinlichkeit
E(X)	Erwartungswert
EXP	Exponent

F

f.	folgende Seite
f_{AK}	Arbeitskräfteverhältnisfaktor [-]
f_{E1}	Baustellenfaktor [-]
f_{E2}	Betriebsfaktor [-]
f_F	Füllungsfaktor [-]
f_L	Ladefaktor – $f_L = f_F / f_s$ [-]
F_{RG}	Regelgeschossfläche [m²]
f_s	Auflockerungsfaktor [-]
f_S	Schildfaktor [-]
f_Z	Zeitfaktor [-]
Fa.	Firma
FA	Fertigungsabschnitt

ff.	folgende Seiten
FIDIC	Fédération Internationale des Ingénieurs Conseils bzw. International Federation of Consulting Engineers
FM	Facility Management
FME(C)A	Failure Mode and Effects (and Criticality) Analysis
FT	Folgetext
f(x)	Funktion von x

G

°	Grad
G_i	Grundrissform i
Ges.m.b.H.	Gesellschaft mit beschränkter Haftung (auch GmbH)
ggf.	gegebenenfalls
GGK	Geschäftsgemeinkosten
Glg.	Gleichung(en)
GPS	Globales Positionsbestimmungssystem
GT	Grundtext
GU	Generalunternehmer

H

h	Zeitstunde(n)
H	Mittlere Schildhöhe [m]
HACCP	Hazard and Critical Control Point
HAZOP	Hazard and Operability Study
HG	Hauptgruppe
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
Hrsg.	Herausgeber

I

I	Input
I	Instandhaltungskosten
I_0	Investitionssumme oder Anschaffungskosten
i_k	Kalkulationszinssatz

ICB ..... IPMA Competence Baseline
i.d.R. ..... in der Regel
IFC ..... Industry Foundation Classes – Offener Standard im Bauwesen zur digitalen Beschreibung von Gebäudemodellen
Inc. ..... Incorporation
inkl. ..... inklusive
IPMA ..... International Project Management Association
IQR ..... Interquartilsabstand
ISBN ..... Internationale Standardbuchnummer
ISSN ..... Internationale Standardnummer für fortlaufende Sammelwerke
ISO ..... International Organization for Standardization
IT ..... Informationstechnik

J

Jh. ..... Jahrhundert

K

k ..... Tuningkonstante (M-Schätzer nach *Huber*)
K ..... Matrixbezeichnung
K ..... Kran(e)
k_A ..... kritische Annäherung [d]
$k_{Gerät}$ ..... Gerätekosten [€/m³]
K_k ..... Grundrissklassen
$k_{Material}$ ..... Materialkosten [€/m³]
$K_{S,EK,A}$ ..... Einzelkosten der Schalung – Schalsystem A
$K_{S,EK,B}$ ..... Einzelkosten der Schalung – Schalsystem B
$k_{S,G,A}$ ..... Gerätekosten der Schalung – Schalsystem A
$k_{S,G,B}$ ..... Gerätekosten der Schalung – Schalsystem B
$k_{S,M,A}$ ..... Materialkosten der Schalung – Schalsystem A
$k_{S,M,B}$ ..... Materialkosten der Schalung – Schalsystem B
K_{STB} ..... Kosten für die Stahlbetonarbeiten [€]
$K_{STB,EK}$ ..... Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten [€]
k.A. ..... keine Angabe(n)
Kap. ..... Kapitel

kg .....Kilogramm
KK .....Kontaminierungsklasse(n)
KK_{RED} .....Kran-Kapazitätsreduktion
km .....Kilometer
Korr. .....Korrelation
KS .....Kolmogorov-Smirnov(-Test)
KSA .....Kolmogorov-Smirnov(-Test)
KV .....Kollektivvertrag
KW .....Kalenderwoche bzw. Kapitalwert einer Investition

L

λ .....Eigenwert
L_{BW} .....Leistung für das Bewehren [t/d] bzw. [kg/d]
$L_{DS,E}$ .....tägliche Einschalleistung [m²/d]
L_{IST} .....IST-Leistung
L_{SOLL} .....SOLL-Leistung
L_{STB} .....Leistung für Stahlbetonarbeiten [m³/d]
$L_{STB,AN\&AUS}$ .....Leistung der An- und Auslaufphase der Stahlbetonarbeiten [m³/d]
$L_{STB,ERF}$ .....erforderliche Leistung für Stahlbetonarbeiten
$L_{STB,HP}$ .....Leistung in der Hauptbauzeit für die Stahlbetonarbeiten [m³/d]
$L_{STB,MW}$ .....mittlere (tägliche) Leistung für Stahlbetonarbeiten
L_T .....Liquidationserlös oder Rückbaukosten
lat. .....lateinisch
LB .....Leistungsbeschreibung
LB-HB .....Leistungsbeschreibung-Hochbau
Lfd. Nr. .....laufende Nummer
LG .....Leistungsgruppe
LKW .....Lastkraftwagen
ln .....natürlicher Logarithmus (Excel-Funktion: LN)
log .....Logarithmus
LPH .....Leistungsphase(n)
$LStd_{a,v,i}$ ..... Lohnstundensumme [Std] (a...Ablaufstufe, v...Vorgang, i...Bauteil)
lt. .....laut
LV .....Lichtverhältnis(se)

LV ..... Leistungsverzeichnis
LZK ..... Lebenszykluskosten

M

μ ..... Erwartungswert
m ..... Meter
m ..... Sicherheitsmarge
m² ..... Quadratmeter
m³ ..... Kubikmeter
$M_{a,v,i}$ ..... Produktionsmenge [MEH] (a...Ablaufstufe, v...Vorgang, i...Bauteil)
M_{Boden} ..... Menge Boden
MA ..... Masterarbeit
MAD ..... Median der absoluten Abweichungen
MAX ..... Maximalwert
$MAX_{S,D}$ ..... maximale Vorhaltemenge der Deckenschalung
$MAX_{S,WD}$ ..... maximale Vorhaltemenge der Wandschalung
MEH ..... Mengeneinheit
min ..... Minute(n)
MIN ..... Minimalwert
$MIN_{S,D}$ ..... minimale Vorhaltemenge der Deckenschalung
$MIN_{S,WD}$ ..... minimale Vorhaltemenge der Wandschalung
Mio. ..... Million(en)
ML_{STB} ..... Mittellohn für die Stahlbetonarbeiten [€/Std]
$ML_{S,MW}$ ..... Mittellohn für die Schalarbeiten [€/Std]
mm ..... Millimeter
Mo ..... Monat(e)
MSC ..... Mathematics Subject Classification
MS EXCEL ..... Tabellenkalulationsprogramm der Fa. Microsoft
MW ..... Mittelwert
MwSt. ..... Mehrwertsteuer

N

n	Anzahl der Nennungen
n	Spielzahl [1/h]
n_B	Beschaffungsvorrat
n_{eff}	effektiver Vorrat (Lagerbestand)
n_{erf}	erforderlicher Vorrat
n_{fa}	Anzahl der Fertigungsabschnitte je Geschoss [-]
n_g	Anzahl der Geschosse
n_{max}	maximal möglicher Vorrat oder Höchstbestand
n_{min}	minimaler Vorrat
natürl.	natürliche
NE	Nutzungseinheit
Nr.	Nummer
NUF	Nutzfläche

O

O	Output
o.Ä.	oder Ähnliches
ÖBGL	Österreichische Baugeräteliste
OG	Obergruppe
ÖGG	Österreichische Gesellschaft für Geomechanik
ÖNORM	Österreichische Norm
ONR	ON-Regel
OR	Operations Research

P

π	Kreiszahl Pi
p	Signifikanzwert
p	Prozentsatz
$P_{A,NOR,MAX}$	maximale Normalarbeitsproduktivität
$P_{A,NOR,MW}$	mittlere Normalarbeitsproduktivität
P_{Aushub}	Preis Aushub
$P_{Erkundung}$	Preis Erkundung

P_{Gesamt}	Preis Gesamt
PERT	Program Evaluation and Review Technique
persönl.	persönliche
PF	Produktionsfaktor(en)
PF_{AK}	Kranproportionalitätsfaktor [AK/Kran]
PF_{MAX}	maximaler Einsatz der Produktionsfaktoren
PF_{MW}	mittlerer Einsatz der Produktionsfaktoren
PG	Preisgrundlage(n)
PK	Preiskomponente(n)
Pkt.	Punkt
PM	Projektmanagement
polit.	politische
Pos. Nr.	Positionsnummer
PP_{BK}	Positionspreis der Bodenklassen
PP_{KK}	Positionspreis der Kontamineirungsklassen
PPH	Projektphase(n)
PPP	Public Private Partnership
prob.	probabilistisch(e)
PU_{STB}	Zeitpuffer für die Stahlbetonarbeiten [%]
PV	Produktivitätsverlust(e)

Q

Q_N	technische Nutzleistung
Q_p	Quantilwert
Q_T	technische Grundleistung
QG	Quality Gate(s)

R

ρ	Dichte
r	Korrelationskoeffizient
R	Risiko
R	Rückbaukosten
r_s	Rangkorrelation
r_{xy}	Korrelationskoeffizient

REFA ..... Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.
RVS ..... Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen

S

σ ..... Standardabweichung
Σ ..... Summe
s ..... Standardabweichung
S. ..... Seite(n)
σ^2 ..... Varianz
$S_{D,S}$ ..... Standzeit der Schalung [d]
S_F ..... Schalungsfläche [m²]
$S_{F,BWK}$ ..... Schalfläche des Bauwerks [m²]
$S_{F,GD}$ ..... Schalfläche für die die Grund- und Demontage durchgeführt wird [m²]
$S_{F,Grenz}$ ..... Grenzschalfläche [m²]
$S_{F,TR}$ ..... Schalfläche die je Transport angeliefert wird [m²]
s_g ..... Schalungsgrad [m²/m³]
$s_{g,bwk}$ ..... Schalungsgrad für das gesamte Bauwerk [m²/m³]
s_{Gi} ..... durchschnittliche Spannweite der Ecpertenwerte einer Grundrissform
s_k ..... durschnittliche Spannweite der Grundrissklasse
$\sigma_{S,D}$ ..... Standardabweichung der Vorhaltemenge für die Deckenschalung
$\sigma_{S,WD}$ ..... Standardabweichung der Vorhaltemenge für die Wandschalung
s_{xi} ..... Standardabweichung der Variablen x
s_{xy} ..... Kovarianz
s_y ..... Standardabweichung der Zeilgröße y
SiGE ..... Sicherheits- und Gesundheitsschutz
Sim ..... Simulation
Sim.Nr. ..... Simulationsnummer
$\Sigma L_{a,v,i}$ ..... Lohnstundensumme [Std] (a...Ablaufstufe, v...Vorgang, i...Bauteil)
sog. ..... sogenannt
STB ..... Stahlbeton/Stahlbetonarbeiten
Std ..... Lohnstunde(n)
(In anderen Literaturquellen ist auch die Abkürzung Lh für Lohnstunden gängig)

Std.Abw.	Standardabweichung
StGB	Strafgesetzbuch
Stk.	Stück
StLB	Standardleistungsbuch
SWOT	Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Bedrohungen)

T

t	Tonne(n)
t	Laufindex in Periode (z.B. Jahre)
T	Betrachtungszeitraum, letzte Periode
t_b	Bezugszeitpunkt
t_B	Bestellintervall [d]
t_B	Betriebsmittelzeit [h]
t_{BB}	Brachzeit [h]
t_{BG}	Betriebsmittelgrundzeit [h]
t_{BZ}	zusätzliche Nutzungszeit [h]
t_D	Dispositionszeit [d]
t_E	Beschaffungszeit [d]
t_T	Transportzeit [d]
t_Z	Vorratszeit [d]
Tab.	Tabelle(n)
techn.	technisch(e)
TGA	technische Gebäudeausrüstung
TH	Technische Hochschule
TMP	Temperatur
tp_g	Transportgrad [1/MEH]
$tp_{g,bt}$	Transportgrad des Betons [1/m³]
$tp_{g,bw}$	Transportgrad der Bewehrung [1/t]
$tp_{g,s}$	Transportgrad der Schalung [1/m²]
TR	Transport(e)
TU	Technische Universität
TW	Tragweite

U

U ..... Anzahl der Übergänge mit dem Gerät [-]
U ..... Durchsatz [MEH/d]
u. ..... und
u.a. ..... unter anderem
u.Ä. ..... und Ähnliches
udgl. ..... und dergleichen
ULG ..... Unterleistungsgruppe
USt. ..... Umsatzsteuer
usw. ..... und so weiter
u.U. ..... unter Umständen
UVS ..... Unabhängiger Verwaltungssenat

V

v_a ..... Arbeitsgeschwindigkeit des Verdichtungsgerätes [m/min]
$V_{DS,F}$ ..... Vorhaltemenge der Deckenschalung bei Fließfertigung
v_E ..... Einbaugeschwindigkeit
V_N ..... Nenninhalt – Schildfüllung [m³]
V_S ..... Vorahltemenge Schalung [m²]
$V_{S,D}$ ..... Vorhaltemenge der Deckenschalung
$V_{S,WD}$ ..... Vorhaltemenge der Wandschalung
Var(X) ..... Varianz
VDI ..... Verein Deutscher Ingenieure
Vert. ..... Verteilung(en)
Vgl. ..... Vergleiche
VOB ..... Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
VÖBV ..... Verband Österreichische Biege- und Verlegetechnik
VOFI ..... Vollständiger Finanzplan
vs. ..... versus
VwGH ..... Verwaltungsgerichtshof

W

W ..... Schildbreite [m]
Wo ..... Woche(n)

X

X_p ..... Quantilwert
$\bar{x}_i$ ..... Mittelwert

Y

$\bar{y}_i$ ..... Mittelwert

Z

ZAMG ..... Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
z.B. ..... zum Beispiel (auch zB)
ZT ..... Ziviltechniker
z.T. ..... zum Teil

Sonderzeichen

^ ..... Potenz (Hochzahl) – Schreibweise: 10^3 = 10^3
€ ..... Euro
∈ ..... Element
∫ ..... Integral
% ..... Prozent
§ ..... Paragraph
∞ ..... Unendlich
& ..... und

Autorenverzeichnis



Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler

Institutsvorstand
Professor für Baubetrieb
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Technische Universität Graz
Lessingstraße 25
8010 Graz

www.bbw.tugraz.at
www.christianhofstadler.at

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler ist Vorstand des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft an der TU Graz. Im Rahmen seiner Tätigkeit als Professor für Baubetrieb strebt er ständig nach der Optimierung der nachhaltigen Wissensvermittlung. Besonders auch der fachliche Austausch mit Kollegen und Kolleginnen nimmt einen hohen Stellenwert ein. Neben seiner Lehrtätigkeit an der TU Graz hält er bei internationalen Lehr- und Forschungsaufenthalten zahlreiche Gastvorträge. Dem Leitbild der Vernetzung von Wissenschaft und Praxis folgend agiert er als Experte in verschiedenen Fachgremien. In diesem Kontext sind von ihm verfasste und mitgestaltete Regelwerke entstanden. Zudem ist er gerichtlich beeideter Sachverständiger für baubetriebliche und bauwirtschaftliche Fragestellungen. Sein wissenschaftlicher Tätigkeitsbereich umfasst die eigenständige Publikation und Mitherausgeberschaft von Fachbüchern sowie zahlreichen nationalen und internationalen Fachbeiträgen. Seine baubetrieblichen und -wirtschaftlichen Forschungsschwerpunkte liegen insbesondere in folgenden Bereichen (im Zuge von Forschungsprojekten und Eigenforschungsinitiativen):

- Optimierung von Bauabläufen
- Verbesserung von Produktions- und Logistikprozessen
- Chancen- und Risikomanagement
- Lebenszyklusbetrachtungen und -berechnungen
- Untersuchungen zur Produktivität und zu Bauablaufstörungen
- Systematische Datenerfassung und Informationsgenerierung
- Berücksichtigung von Unsicherheiten mit Monte-Carlo-Simulationen
- Implementierung von Nichtlinearitäten bei der Berechnung von Bauzeiten und Baukosten

Die verständliche Aufbereitung und Vermittlung von Wissen sieht er als wesentliche und umfassende Verpflichtung eines Lehrenden und Forschers an. Sein beständiges Bestreben liegt in der Erarbeitung und der Vermittlung vernetzten Wissens und des Know-why. Seine Forschungsergebnisse werden nicht nur in der Lehre und Forschung sondern auch in der Baupraxis eingesetzt.

Das umfassende theoretische Wissen wird durch die in verschiedenen Baufirmen erworbene fachliche Baupraxis in den Bereichen Hoch- und Industriebau, Bauen im Bestand sowie Brückenbau ergänzt.



Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Kummer

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Technische Universität Graz
Lessingstraße 25
8010 Graz

www.bbw.tugraz.at
www.markus-kummer.at

Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Kummer ist Absolvent der TU Graz (Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen – Bauingenieurwissenschaften). Das Thema der Masterarbeit lautet „Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit".

Seit 2011 ist er im Rahmen selbständiger Tätigkeit in die Bearbeitung von Baugutachten mit baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Fragestellungen eingebunden. Zudem ist er seit August 2013 an der TU Graz als Universitäts-Projektassistent am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft beschäftigt und wirkt seit 2016 auch aktiv in der Lehre mit.

In seiner Dissertation mit dem Titel „Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten – Deterministische und probabilistische Betrachtungen" (Betreuer: Prof. Christian Hofstadler) beschäftigte er sich mit Nichtlinearitäten und Unsicherheiten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten. Das Doktoratsstudium schloss er im Dezember 2015 ab. Seine Dissertation wurde mit dem gif Immobilien-Forschungspreis sowie mit dem DVP-Förderpreis ausgezeichnet.

Markus Kummer ist Autor und Co-Autor von mehreren nationalen und internationalen Fachbeiträgen im Bereich der Bauingenieurwissenschaften. Baupraktische Erfahrung erlangte er bei Baufirmen und Ingenieurbüros vor und während des Studiums.

1 Einleitung

Die optimierte Kombination von Produktionsfaktoren gilt als zentrales Element im Baubetrieb. Die Art und Weise wie Produktionsfaktoren kombiniert werden sowie der Zeitpunkt dafür nimmt maßgeblichen Einfluss auf die Baukosten und die Bauzeit und wirkt sich zudem auf die Logistik und den Bauablauf aus. Aufbauend auf die baubetrieblichen Überlegungen und Berechnungen erfolgt in der Bauwirtschaft die Kostenermittlung für die gewählte Art und Kombination der Produktionsfaktoren. In weiterer Folge bilden operative und strategische Analysen die Basis für die Überführung der kalkulierten Kosten in Preise.

Nachfolgend wird im Zuge einer Situationsanalyse auf die Kombination der Produktionsfaktoren sowie auf die Komplexität und Unsicherheiten in Systemen eingegangen. Weiters folgt eine Gliederung der Arbeit und eine Identifikation der Zielgruppen dieses Buchs.

1.1 Situationsanalyse

Im Baubetrieb bestehen die Produktionsfaktoren aus elementaren (Arbeit, Betriebsmittel, Stoffe) und dispositiven Elementen (Projektleiter, Bauleiter, Techniker etc.), die planen, steuern, kontrollieren, auswählen, organisieren, kommunizieren, dokumentieren sowie Wissensarbeit leisten (siehe Abb. 1-1). Der Grad des produktiven Zusammenwirkens der elementaren Produktionsfaktoren wird idealerweise im Zuge von zeitnahen Rückkopplungen untersucht.

Die Geräte und Materialien auf der Baustelle werden von Arbeitskräften kombiniert, um die geplanten Bauleistungen mit der Normal-Produktivität zu erbringen. Die Zeit in der die Leistungen erbracht werden und die Intensität des Ressourceneinsatzes sind entscheidend für die erzielbare Produktivität und in weiterer Folge für die verursachten Kosten. Werden vom Auftragnehmer (AN) mehr Kosten verzehrt als in der Auftragskalkulation angesetzt, entsteht ein Defizit. In Abhängigkeit vom Verursacher der Differenz und den Vereinbarungen im Bauvertrag, hat der AN diese Mehrkosten zu tragen oder kann die gesamten Kosten oder Teile davon auf den Auftraggeber (AG) übertragen. Kosten werden als geldmäßig ausgedrückter Verzehr an Gütern und Dienstleistungen bezeichnet.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_1

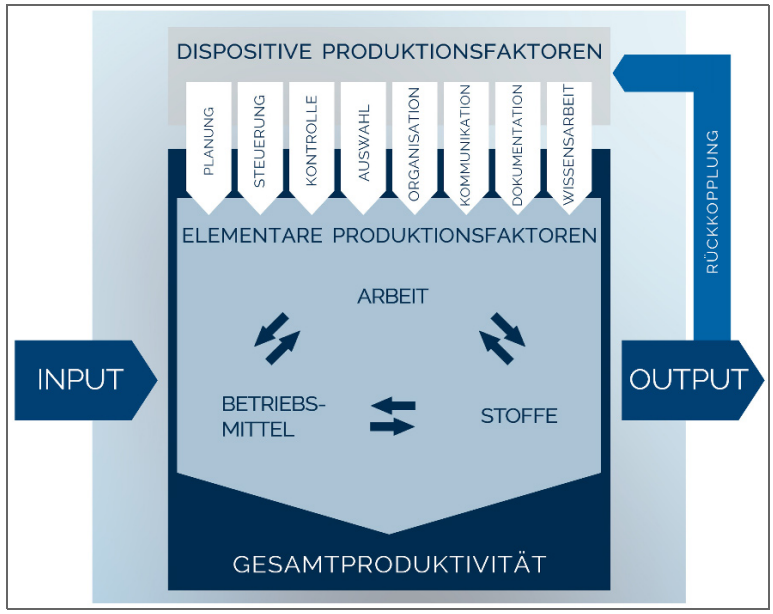


Abb. 1-1 Kombination der Produktionsfaktoren zur Erzielung der Gesamtproduktivität – Zweidimensionales System[1)]

Dieses zweidimensionale System der Gesamtproduktivität ist um eine zusätzliche Dimension zu erweitern, da die Produktionsfaktoren besonders durch die Umwelt- und Umfeldbedingungen, die Art, Form und Komplexität des Bauvorhabens, die auszuführenden Qualitäten sowie Quantitäten und nicht zuletzt durch die vorgegebene Bauzeit beeinflusst werden (siehe Abb. 1-2).

Zur Beurteilung, Bewertung und Analyse der erzielten bzw. der erzielbaren Gesamtproduktivität müssen sowohl die elementaren als auch die dispositiven Produktionsfaktoren (Art, Anzahl und deren Kombination) dokumentiert werden. Dabei ist zu beachten, dass stets ein zeitlicher, räumlicher und intensitätsmäßiger Bezug hergestellt wird.

Das innere Produktionssystem bezieht sich auf die isolierte Betrachtung der Art, der Anzahl und der Kombination der elementaren Produktionsfaktoren. Im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen Arbeitskräfte, Betriebsmittel und Stoffe, die zur Ausführung der Leistungen erforderlich sind. Wesentlich ist die zeitliche, räumliche und intensitätsmäßige Abstimmung, damit die Grenzen zu Produktivitätsverlusten nicht überschritten werden. Für die Auswahl und das Funktionieren dieser Faktoren sind die dispositiven Produktionsfaktoren verantwortlich.

Das innere Produktionssystem steht in Wechselbeziehung mit dem äußeren Produktionssystem. Das äußere Produktionssystem wirkt auf das innere Produktionssystem und bestimmt maßgeblich die erzielbare Produktivität. Die äußeren Bedingungen sind vom AN nicht wählbar und damit auch nur bedingt beeinflussbar (z.B. durch Vorfertigung in einer Fertigungshalle). Zur Erreichung aller Projektziele ist das innere Produktionssystem unter Berücksichtigung der äußeren Randbedingungen effizient zu gestalten. Wer die Kosten für diese Anpassungen in der Bauausführungsphase zu tragen hat, folgt aus den Vereinbarungen im Bauvertrag bzw. ist Gegenstand von Streitigkeiten zwischen den Parteien.

[1)] Vgl. Hofstadler (2014a), S. 15

Die Einflüsse des gesamten Produktionssystems auf die Berechnung von Kosten und Zeiten sind anhand von Daten und Informationen zu bewerten und an den erweiterten Kenntnisstand anzupassen.

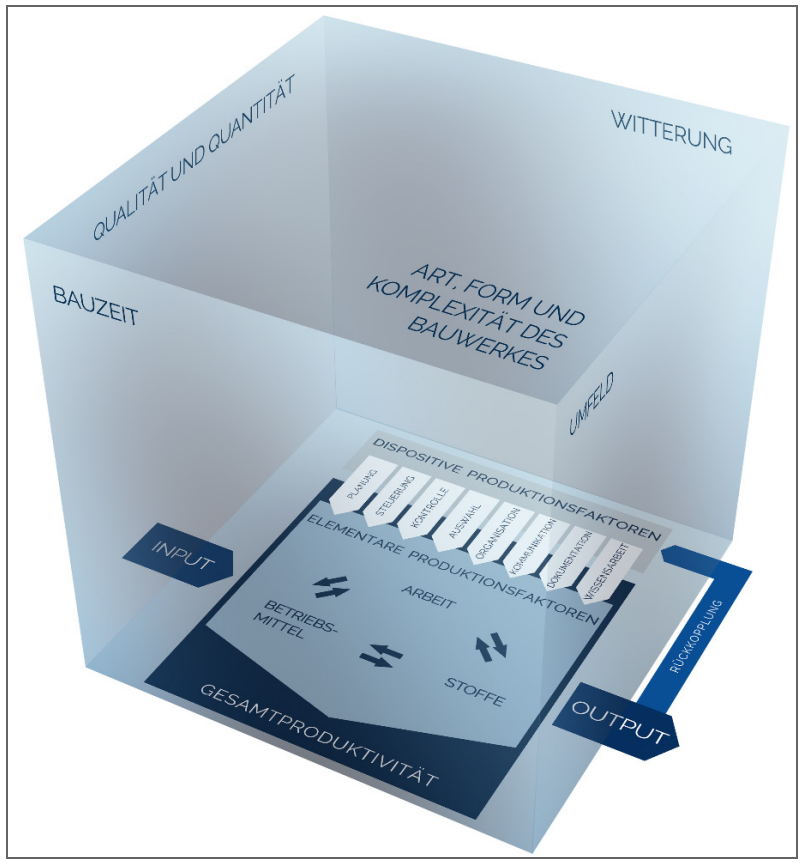


Abb. 1-2 Kombination der Produktionsfaktoren zur Erzielung der Gesamtproduktivität – Dreidimensionales System[2)]

Der effiziente bzw. effektive Baubetrieb ist durch die optimale Kombination der Produktionsfaktoren gekennzeichnet. Eine optimale Kombination ist dann erreicht, wenn die Produktionsfaktoren mit der ‚Normal-Produktivität' eingesetzt werden können.[3)]

Der Begriff der Effektivität beschreibt den Grad der Zielerreichung und jener der Effizienz steht für das Maß an Wirtschaftlichkeit. Für Bauprojekte sind die von den Auftragnehmern zu erreichenden Projektziele im Bauvertrag definiert. Wie diese Ziele erreicht werden, bleibt den Ausführenden weitgehend selbst überlassen. Bei der Wahl der Produktionsfaktoren bestehen dabei die höchsten Freiheitsgrade in der Art und Weise, wie diese miteinander kombiniert werden (z.B. Fertigungsreihenfolge, Bauverfahren, Anzahl an Arbeitskräften, Anzahl der Geräte). Der Baubetrieb auf Baustellen ist dann sehr effektiv, wenn die Ziele mit der wirtschaftlichsten Art und Kombination der Produktionsfaktoren erreicht werden.

2) Hofstadler/Kummer (2015a), S. 52

3) Vgl. ebd., S. 13ff.

In Abb. 1-3 wird die Beziehung zwischen Effizienz und Effektivität anhand des Einsatzes von Produktionsfaktoren zur Zielerreichung verdeutlicht. Dazu sind in vier Quadranten vier unterschiedliche Start-/Zielverhältnisse dargestellt. Im linken unteren Quadranten wurden zwar viele Produktionsfaktoren eingesetzt aber nicht richtig kombiniert und in weiterer Folge wurde das Ziel nicht erreicht. Es entstehen im Produktionsprozess hohe Kosten und trotzdem wird das Ziel verfehlt. Hier wird ein nicht effizienter Weg beschritten der nicht effektiv ist (Zielverfehlung).

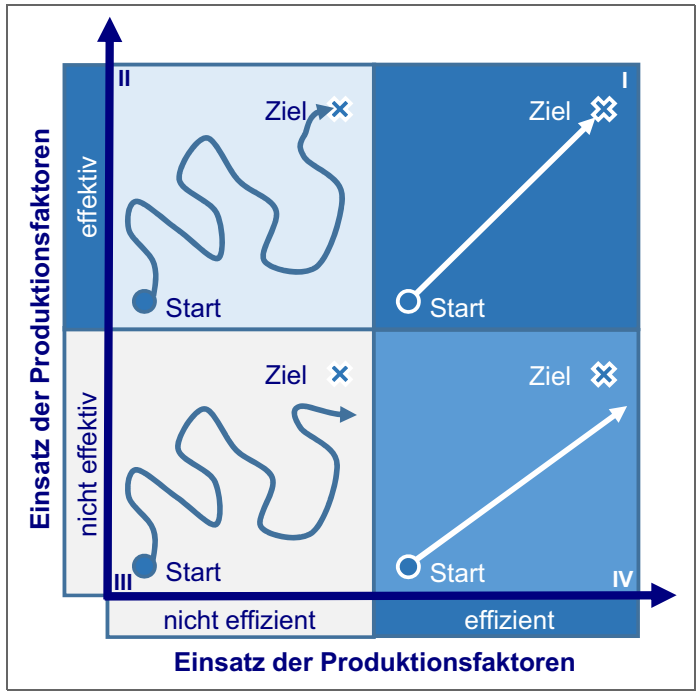


Abb. 1-3 Unterschied zwischen Effektivität und Effizienz

Der linke obere Quadrant beschreibt den Zusammenhang zwischen erfolgreicher Zielerreichung (effektiv) und einem unwirtschaftlichen Einsatz der Produktionsfaktoren (nicht effizient). Das Projektziel wurde hier mit einem sehr hohen (vermeidbaren) Aufwand erreicht. Die nächsten beiden Fälle beschreiben jeweils einen effizienten Einsatz der Produktionsfaktoren (optimale Kombination der Produktionsfaktoren mit ‚Normal-Produktivität') aber mit unterschiedlicher Zielerreichung. Im rechten unteren Quadranten wurde trotz effizientem Einsatz der Produktionsfaktoren das Ziel verfehlt. Hingegen führten im rechten oberen Quadranten der effiziente Einsatz zur vollständigen Erfüllung des Ziels (Effektivität). AN sind bestrebt in der Realisierungsphase genau diesen ‚geradlinigen Weg' zwischen Start und Ziel zu finden. Sie versuchen diejenige effiziente Art und Kombination an Produktionsfaktoren auszumachen, die zur effektiven Projektzielerreichung führt.

Das Wechselspiel und die Interaktion der Produktionsfaktoren ist besonders in frühen Projektphasen zahlreichen Unsicherheiten unterworfen. Werden deterministische Berechnungen für die Zukunft durchgeführt, ist davon auszugehen, dass die sehr präzisen Ergebnisse dieser Berechnungen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht eintreffen, sondern dass es zu Über- oder Unterschreitungen kommen wird. Bandbreitenangaben bieten zwar kein präzises Ergebnis, stimmen jedoch zumeist mit der prognostizierten Realität überein.

Mit der Angabe deterministischer Ergebnisse für Kalkulationen wird eine sehr genaue – also von hoher Präzision und Richtigkeit geprägte – Prognose suggeriert (zur Unterscheidung der Begrifflichkeiten siehe Abb. 1-4). Dies ist insofern problematisch, da sich diese in weiterer Folge mehrheitlich zwar als sehr präzise, aber nicht richtig und damit als ungenau herausstellen.

Bei probabilistischen (wahrscheinlichkeitstheoretischen) Berechnungen werden die vorherrschenden Unsicherheiten bewusst integriert und auch in den Ergebnissen (in Form von Histogrammen) dargestellt. Ziel ist es genaue Ergebnisse zu erhalten und durch die Wahl eines entsprechenden Chancen-Risikoverhältnisses die ‚sich bewegende Zielscheibe' der Kosten und Bauzeiten möglichst zentral zu treffen (siehe Abb. 1-4). Als bewegend wird die Zielscheibe deswegen angesehen, da die Ziele nicht immer klar definiert sind bzw. sich im Laufe der Zeit verändern.

Die Berechnung bzw. die Prognose eines einzelnen (deterministischen) Kostenwerts für ein gesamtes Gebäude oder auch nur für Teile davon stellt die Vortäuschung einer Genauigkeit dar, die aufgrund unsicherer Eingabeparameter nicht erreicht werden kann. Bei Bemessungen im konstruktiven Ingenieurbau wird mit Modellen gerechnet, welche Streuungen und Unsicherheiten von Materialeigenschaften und Belastungen bestmöglich berücksichtigen. Diesem Unschärfeproblem wird mit dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept begegnet (Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten). In der Kostenermittlung und der Terminplanung wird diesen Unsicherheiten durch sinnvolles Berücksichtigen von Puffern begegnet.[4)]

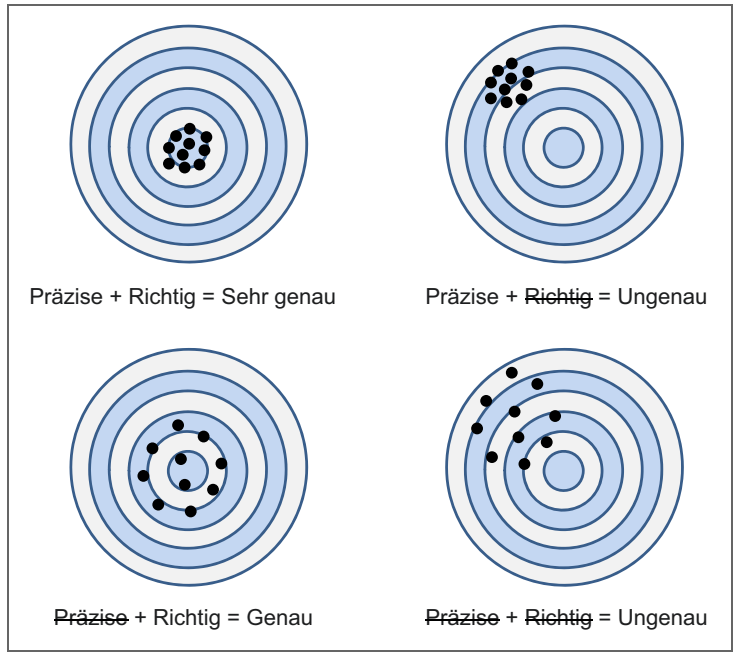


Abb. 1-4 Unterscheidung zwischen genauen, präzisen und richtigen Vorhersagen[5)]

[4)] Vgl. Hofstadler (2011a), S. 32f.

[5)] Siehe dazu auch DIN ISO 5725-1:1997, S. 15f.

In den konstruktiven Ingenieurwissenschaften kann auf erprobte und durch empirische Versuche belegte Stoffgesetze zurückgegriffen werden. Für die Bauwirtschaft und den Baubetrieb fehlen solche mathematisch formulierten Gesetzmäßigkeiten und auch die Erhebung allgemein gültiger empirischer Daten gestaltet sich aufgrund ständig wechselnder äußerer und innerer Einflüsse als schwierig.[6)]

Welche Komplexität und Unsicherheiten bereits in einfachen Systemen mit wenigen Komponenten auftreten können, wird in den beiden nachfolgenden Abschnitten anhand von Beispielen beschrieben.

1.1.1 Komplexität von Systemen

Unter einem ‚System' wird grundsätzlich eine Menge von geordneten Elementen mit Eigenschaften, die miteinander in Beziehung stehen, verstanden (Prinzipdarstellung siehe in Abb. 1-5).

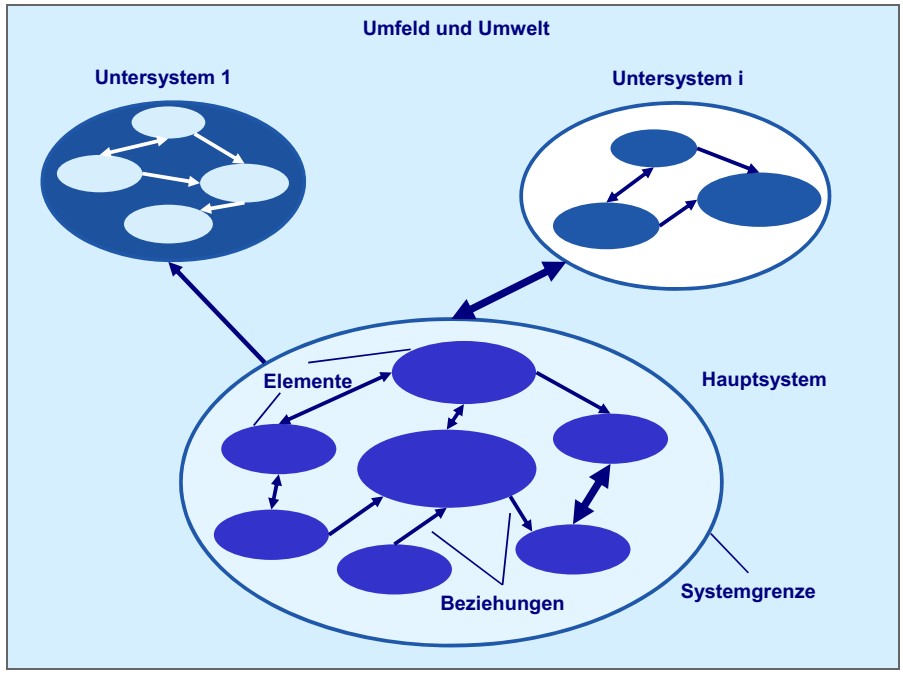


Abb. 1-5 Bestandteile von Systemen

Als Elemente eines Systems werden dessen Bestandteile definiert, die innerhalb dieser Gesamtheit nicht weiter zerlegt werden können. Die Beziehungen zwischen Elementen heben sich quantitativ (höhere Anzahl von Interaktionen) und qualitativ (größere Ergiebigkeit von Interaktionen) von ihren Beziehungen zu anderen Entitäten (Systemen) ab. Diese Unterschiedlichkeit in den Beziehungen konstituiert eine Grenze, durch die sich das System von seiner Umwelt differenziert. Komplexe Systeme sind selbstorganisatorisch und selbstreferenziell. Eingriffe in komplexe Systeme sind aus diesen Gründen problematisch und rufen häufig überraschende und nicht intendierte Konsequenzen hervor.[7)]

[6)] Vgl. Kummer (2015a), S. 68

Für alle Bauprojekte sind Untersuchungen und Berechnungen durchzuführen und es ist wichtig zu erkennen, ob es sich dabei um einfache, komplizierte oder komplexe Systeme handelt.

Einfache Systeme sind gekennzeichnet durch:
- Wenig Einflussgrößen
- Geringe Vernetzung
- Geringe Dynamik

Komplizierte Systeme weisen folgende Eigenschaften auf:
- Viele verschiedene Einflussgrößen
- Relativ starke Vernetzung
- Geringe Dynamik

Komplexe Systeme liegen vor, wenn folgende Attribute erfüllt sind:
- Viele verschiedene Einflussgrößen
- Sehr starke Vernetzung
- Dynamische Wechselwirkungen

Im Sinne eines systematischen Wissensmanagements werden Bauobjekte in Kategorien ähnlicher Schwierigkeitsgrade zusammengefasst und die wesentlichen Kennzahlen mit Daten und Informationen dazu erfasst. Anhand dieser Informationen sollte für den Informationsbenutzer (Projektmanagement, Kalkulation etc.) nachvollziehbar sein, welche Arten an Produktionsfaktoren eingesetzt wurden und wie deren Kombination (z.B. Fertigungsablauf, Logistik) erfolgte. Darauf aufbauend können die historischen Daten sehr effizient und effektiv auf die Spezifikationen eines neu zu bearbeitenden Projekts angepasst werden.

Auch in den Arbeitswissenschaften und baubetrieblichen Untersuchungen bildet das Systemdenken die Ausgangsbasis. Die REFA-Methodenlehre[8)] definiert ein System als eine Gesamtheit von Elementen, deren Beziehungen einem bestimmten Zweck dienen. Je nach Betrachtungstiefe kann ein einzelner Arbeitsplatz, ein ganzes Unternehmen, ein Wirtschaftszweig oder eine gesamte Volkswirtschaft als System bezeichnet werden.

Für den Bereich der Wirtschaft wird jeweils nach den beteiligten Systemelementen in
- technische Systeme (Maschinen-Systeme),
- soziale Systeme (Systeme von Menschen) und
- sozio-technische Systeme (Mensch-Maschine-Systeme) unterschieden.[9)]

Bei Bauprojekten handelt es sich um Unikate, die in der Regel ein sozio-technisches System darstellen. Solche Systeme weisen aufgrund der Anzahl an Beteiligten, der Menge an Systemkomponenten und der zeitlichen, länderspezifischen, tätigkeitsbezogenen, betrieblichen, regionalen sowie saisonalen Gegebenheiten einen hohen Komplexitätsgrad[10)] und je nach Projektphase entsprechende Unsicherheiten in den Systemparametern auf.

---

7) Vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3210/system-v12.html. Datum des Zugriffs: 14.11.2016

8) Die REFA-Methodenlehre basiert auf dem Systemdenken. Als System wird dabei eine Gesamtheit von Elementen, deren Beziehungen einem bestimmten Zweck dienen, definiert. Je nach Betrachtungstiefe kann ein einzelner Arbeitsplatz, ein ganzes Unternehmen, ein Wirtschaftszweig oder eine gesamte Volkswirtschaft als System bezeichnet werden. Für den Bereich der Wirtschaft wird jeweils nach den beteiligten Systemelementen in technische Systeme (Maschinen-Systeme), soziale Systeme (Systeme von Menschen) und sozio-technische Systeme (Mensch-Maschine-Systeme) unterschieden. Vgl. Berg (1984), S. 51

9) Vgl. ebd., S. 51

10) Die Komplexität grenzt sich von der Kompliziertheit durch das Vorhandensein einer zeitlichen Komponente (Dynamik) ab.

Ein einfaches Beispiel mit nur wenigen Komponenten verdeutlicht die Komplexität und die Unsicherheiten eines Systems. Es wird angenommen, dass auf einer Baustelle ein schichtenweise aufgebautes Planum herzustellen ist. Insgesamt besteht der geplante Aufbau aus vier unterschiedlichen Schichten. Die Materialien und Geräte für den Schichteneinbau sind vorhanden, allerdings fehlt den Arbeitskräften die notwendige Information, in welcher Reihenfolge die Schichten eingebaut werden sollen.

Aus den vorhandenen vier Materialien ergeben sich aus der Kombinatorik insgesamt 24 unterschiedliche Möglichkeiten (Permutationen[11)]) das Planum aufzubauen (siehe Abb. 1-6).

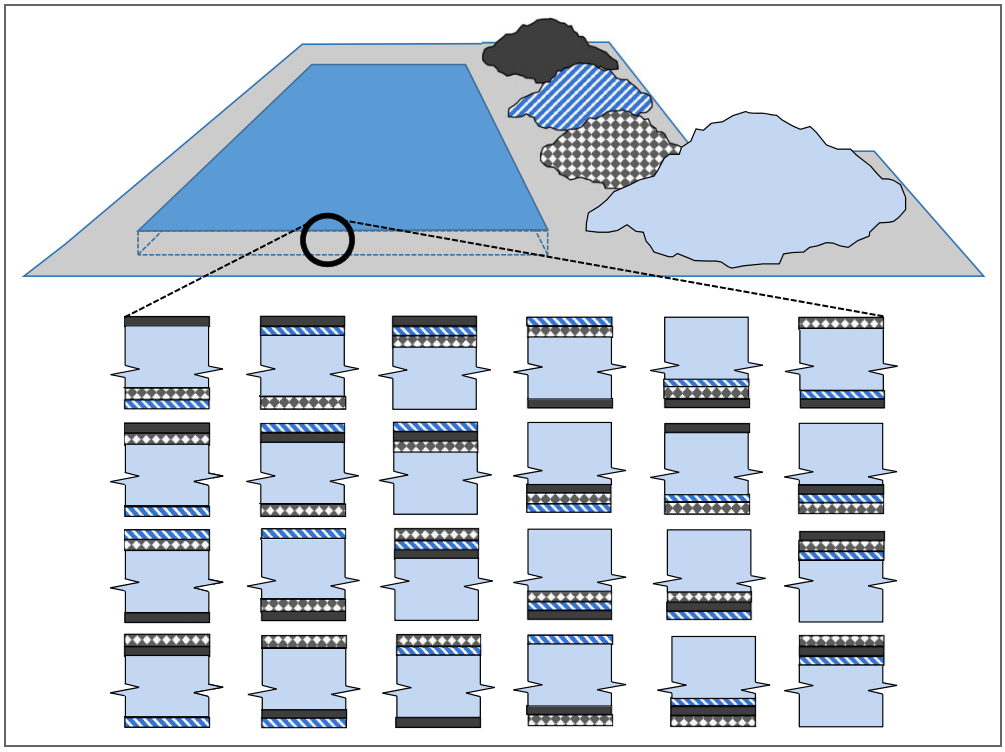


Abb. 1-6 Veranschaulichung – Komplexität von Systemen – Aufbau eines Planums mit vier Schichten

Die Ermittlung der Anzahl möglicher Kombinationen errechnet sich jeweils aus der Fakultät der Anzahl an Komponenten n (siehe Glg. (1-1)). Würde das Planum demnach beispielsweise aus fünf Schichten bestehen, wären bereits 120 verschiedene Varianten möglich (= 1 * 2 * 3 * 4 * 5).

$$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \ldots \cdot n = \prod_{k=1}^{n} k \tag{1-1}$$

Ist nur eine der Permutationen für den Einbau zulässig, liegt die Wahrscheinlichkeit, dass die Arbeitskräfte zufällig den richtigen Aufbau ausführen, lediglich bei ca. 4,2 % (= 1 / 24 * 100 %) – sofern nicht einzelne Varianten aufgrund von Erfahrungen oder zusätzlichen Informationen ausgeschlossen werden können.

11) Permutation ist die ‚Veränderung einer Anordnung'.

Beginnen die Arbeitskräfte während sie auf die erforderliche Information warten, bereits mit dem Einbau der ersten Schicht, liegt die Wahrscheinlichkeit, dass sie zufällig mit der richtigen beginnen, bei 25 % (= 1 / 4 * 100 %).

Es handelt sich bei den Prozentangaben um objektive Wahrscheinlichkeiten, die aufgrund der abzählbaren Möglichkeiten einfach über das Verhältnis der günstigen zu den möglichen Fällen ermittelt werden können. Eine solche objektive Berechnung von Wahrscheinlichkeiten ist in der Praxis nur in den seltensten Fällen möglich, da eine Vielzahl von Ausprägungen eines Parameters möglich sind (Überabzählbarkeit). Es muss dabei meist auf subjektive Wahrscheinlichkeiten bzw. qualifizierte Einschätzungen zurückgegriffen werden.

Das Beispiel zeigt, dass bereits einfache Systeme (z.B. mit nur vier Komponenten) eine bemerkenswerte Vielfalt an möglichen Zusammensetzungen erreichen und macht deutlich, dass für Bauprojekte ein systematischer Umgang mit Unsicherheiten unbedingt erforderlich ist, um mit der vorherrschenden Komplexität sowohl in der Sphäre der Auftraggeber als auch jener der Auftragnehmer umzugehen.

1.1.2 Unsicherheiten in Systemen

Neben der Komplexität sind besonders auch die Unsicherheiten, die in allen Systemen und Modellen enthalten sind, von großer Bedeutung für die Durchführung von Berechnungen.

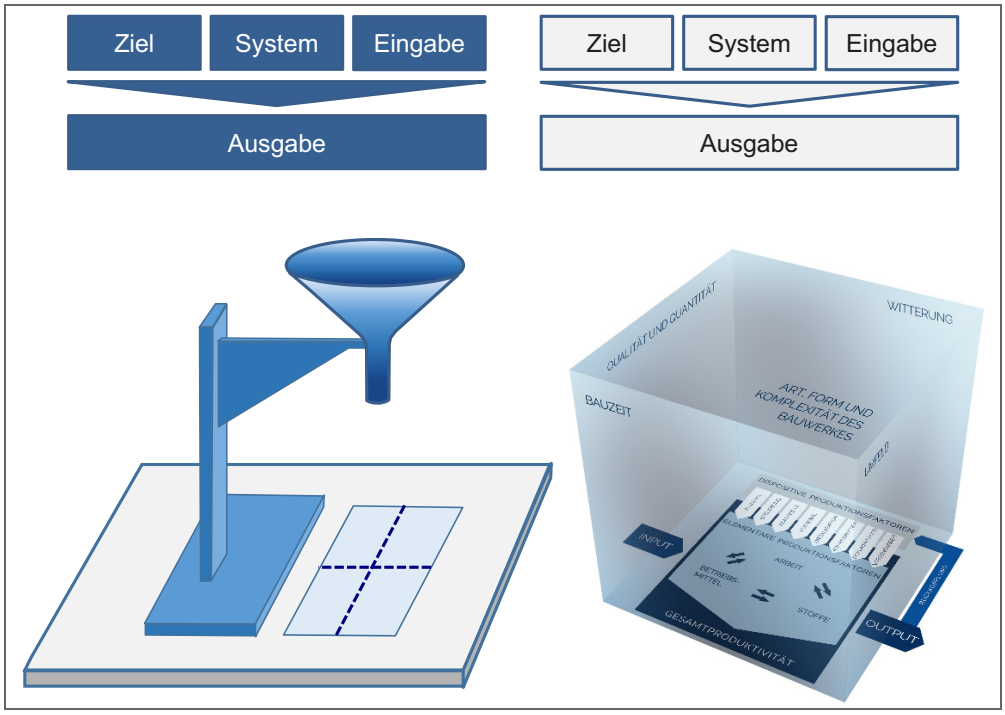


Abb. 1-7 Vergleich – Trichterexperiment mit dem Produktionssystem[12)]

[12)] Hofstadler/Kummer in Anlehnung an „Das Trichterexperiment von *Deming*“. http://www.denkeler-qm.de/Artikel/Trichter/trichter.html. Datum des Zugriffs: 11.11.2016

Stellvertretend für das sehr komplexe Produktionssystem des Baubetriebs und der Bauwirtschaft werden die Unsicherheiten und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse anhand eines ‚Trichterexperiments' veranschaulicht. Dieser Vergleich kann durchgeführt werden, da beide Systeme durch eine Zieldefinition, eine Eingabe (Input) und eine Ausgabe (Output) definiert sind (siehe Abb. 1-7).

Das Trichterexperiment besteht aus einer Galgenkonstruktion, auf der ein Trichter montiert ist. Die Konstruktion steht auf einem Tisch, auf dem auch ein Zielpapier platziert ist. Der Trichterhals wurde dermaßen platziert, dass er auf das Zentrum des Zielpapiers gerichtet ist. Durch das Einwerfen von Kugeln in den Trichter soll der Mittelpunkt (gekennzeichnet durch ein Kreuz) am Zielpapier getroffen werden.

Das beschriebene System weist sowohl bei der Eingabe bzw. beim Einwurf der Kugel als auch bei der Beschaffenheit und Standsicherheit der Galgenkonstruktion Unsicherheiten auf. Zudem gibt es Einflüsse aus der unmittelbaren Umwelt. Auch die Ausrichtung des Zielpapiers und die Zentrierung des Kreuzes sind mit Unsicherheiten behaftet. Die Standsicherheit der Unterkonstruktion sowie Einflüsse der Witterung können sich direkt auf die Zielgenauigkeit des Systems auswirken (siehe Abb. 1-8).

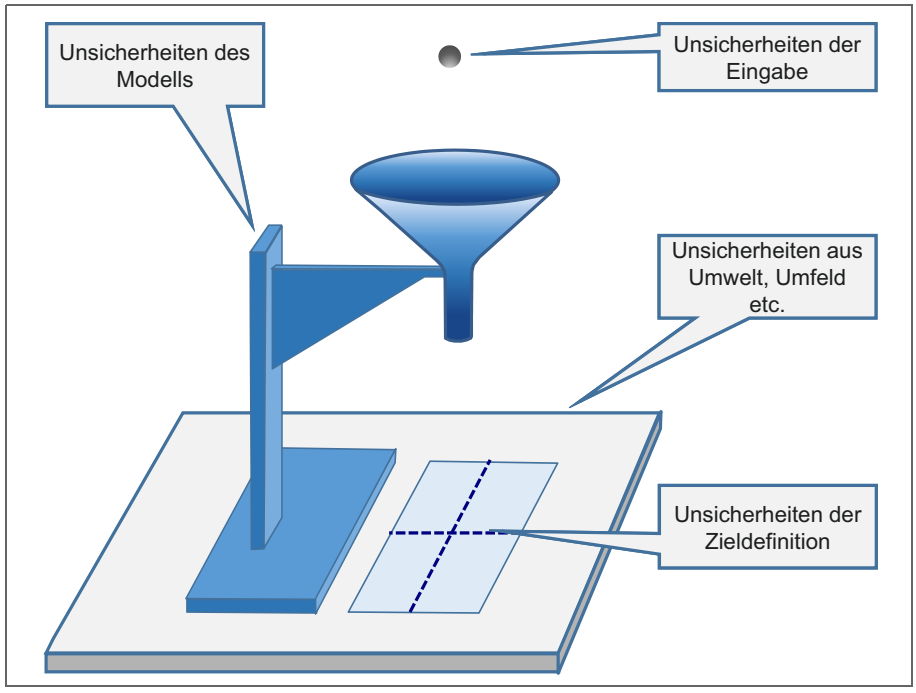


Abb. 1-8 Unsicherheiten des Systems – Trichterexperiment[13)]

Wird nun mehrmals versucht, die Kugel in den Trichter einzuwerfen, erhält man unterschiedliche Treffer der Kugeln auf dem Zielpapier. Diese Treffer werden in einem gewissen Bereich auftreten und sind direkt vom Einwurf der Kugeln in den Trichter, den Beschaffenheiten der Oberflächen, der Schwingungsanfälligkeit der Galgenkonstruktion, der Zieldefinition und äußeren Einwirkungen (z.B. Wind oder zufällige Erschütterungen des gesamten

[13)] Hofstadler/Kummer in Anlehnung an „Das Trichterexperiment von *Deming*". http://www.denkeler-qm.de/Artikel/Trichter/trichter.html. Datum des Zugriffs: 11.11.2016

Systems) abhängig. Wird jeder Treffer auf dem Zielpapier markiert, ergibt sich eine Punktwolke, die Streuungen in beide Richtungen um das definierte Ziel aufweisen wird.

Um die Unsicherheiten des gezeigten Systems zu verringern, wäre es beispielsweise möglich, die Galgenkonstruktion auf der Tischplatte zu fixieren und/oder den Trichterhals zu verlängern, damit die geführte Strecke der herabfallenden Kugel verlängert wird (siehe Abb. 1-9 – rechts).

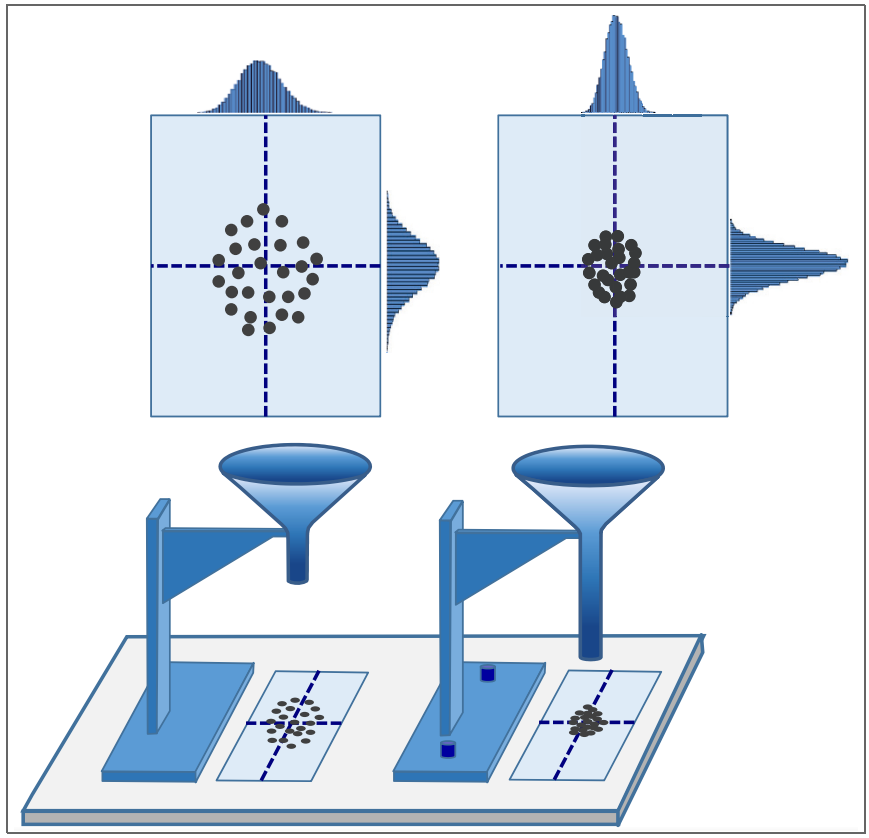


Abb. 1-9 Vergleich der Versuchsergebnisse bei Systemen mit unterschiedlichen Unsicherheiten

Wird der Versuch auch bei diesem verbesserten System (verbessert im Sinne von weniger Unsicherheiten) mit mehreren Kugeln wiederholt und die Treffer aufgetragen, wird sich ebenfalls eine Punktwolke um das Zielkreuz ergeben. Allerdings wird die Streuung dieser Punktwolke gegenüber dem ersten Versuch abnehmen, womit ein präziseres Ergebnis erzielbar ist.

Für einen Vergleich der Unsicherheiten der beiden Trichtersysteme in Abb. 1-9 ist es notwendig, mehrere Versuche durchzuführen, um ein Bild der möglichen Ergebnisse zu erhalten.

Würde man jeweils nur einen Versuch durchführen und im linken System der Abb. 1-9 zufällig die Mitte treffen und im rechten System der Abb. 1-9 eine Abweichung von der Mitte beobachten, könnte der falsche Schluss gezogen werden, dass das linke System weniger Unsicherheiten enthält, als das rechte.

Einzelne deterministische Ergebnisse haben damit wenig Aussagekraft über die Unsicherheiten eines Systems oder Modells. Erst durch Bandbreitenbetrachtungen bzw. durch die Beurteilung möglicher Streuungen der Ergebnisse ist ein Rückschluss über die entsprechenden Unsicherheiten des Systems zulässig. In Abb. 1-9 sind die Abweichungen der Treffer aus den Versuchen symbolisch in Form von Histogrammen dargestellt. Es zeigt sich, dass die Unsicherheiten beim linken System in beide Richtungen größer sind, da auch die Punktwolke eine größere Streuung aufweist.

Der Vergleich der beiden Systeme macht deutlich, dass mit Hilfe eines einzelnen Versuchs bzw. eines einzelnen Ergebnisses keine Aussage über Unsicherheiten oder über die möglichen Chancen und Risiken getroffen werden kann. Nur wenn die möglichen Bandbreiten der bestimmenden Parameter in einem Berechnungsmodell berücksichtigt werden, können die Wahrscheinlichkeiten der Über- oder Unterschreitung spezifischer Werte ermittelt und Entscheidungen auf einer soliden Basis getroffen werden.

1.2 Zielsetzung

Im vorliegenden Buch werden die Grundlagen zum Chancen-Risikomanagement dargestellt, wobei in Grob- und Detailbetrachtungen unterschieden wird. Für jeweils verschiedene Projektphasen werden Bedeutung und Potenzial des Chancen-Risikomanagements aufgezeigt. Es wird dabei besonders auf den Unterschied zwischen deterministischen und probabilistischen Berechnungsverfahren sowie auf die Grundlagen zur Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen eingegangen. Die Genauigkeit in den Berechnungen hängt dabei wesentlich von den Unschärfen und Unsicherheiten der Eingangsgrößen und vom betrachteten Projektstadium ab.

Das Hauptziel des Buchs liegt darin, den systematischen Umgang mit Unsicherheiten zu vermitteln und die Methodik der Monte-Carlo-Simulation anschaulich, verständlich und nachvollziehbar darzustellen. Besonders die Interpretation der Ergebnisse, die Einflüsse auf die Form der Histogramme und die Auswirkungen von Korrelationen werden beleuchtet und erklärt. Ergänzt werden die Ausführungen durch neueste Erkenntnisse, die im Zuge von Expertenbefragungen gewonnen wurden. Anhand der transparenten Abbildung wesentlicher statistischer Parameter sowie der damit einhergehenden deskriptiven Datenanalyse ist es dem geneigten Leser möglich, die Validität der erhobenen Daten selbst zu prüfen. Anhand von Vergleichen sollen die Zuverlässigkeit und gegebenenfalls die Abweichungen der neuen Ansätze und jener, die bereits in Literatur und Baupraxis thematisiert wurden, dargestellt werden.

Praxisnahe Berechnungsbeispiele im Anwendungsbereich von Auftraggebern und Auftragnehmern zeigen die Modellbildung und Interpretation von Simulationsergebnissen. Die Beispiele beruhen auf konkreten Fragestellungen aus der Praxis und zeigen das breite Anwendungsspektrum der Monte-Carlo-Simulationen im Bereich des Projektmanagements, des Baubetriebs und der Bauwirtschaft für verschiedene Projektphasen.

1.3 Gliederung

In den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 1-10 bis Abb. 1-12) sind die wesentlichen Inhalte der Kapitel komprimiert dargestellt und hinsichtlich deren übergeordneter Thematik, am rechten Rand der Tabellenabschnitte, zusammengefasst.

Nach der Einleitung stehen im zweiten Kapitel des Buchs die Grundlagen zu Chancen und Risiken sowie deren Begriffsbestimmungen und Abgrenzungen im Zentrum der Betrachtungen.

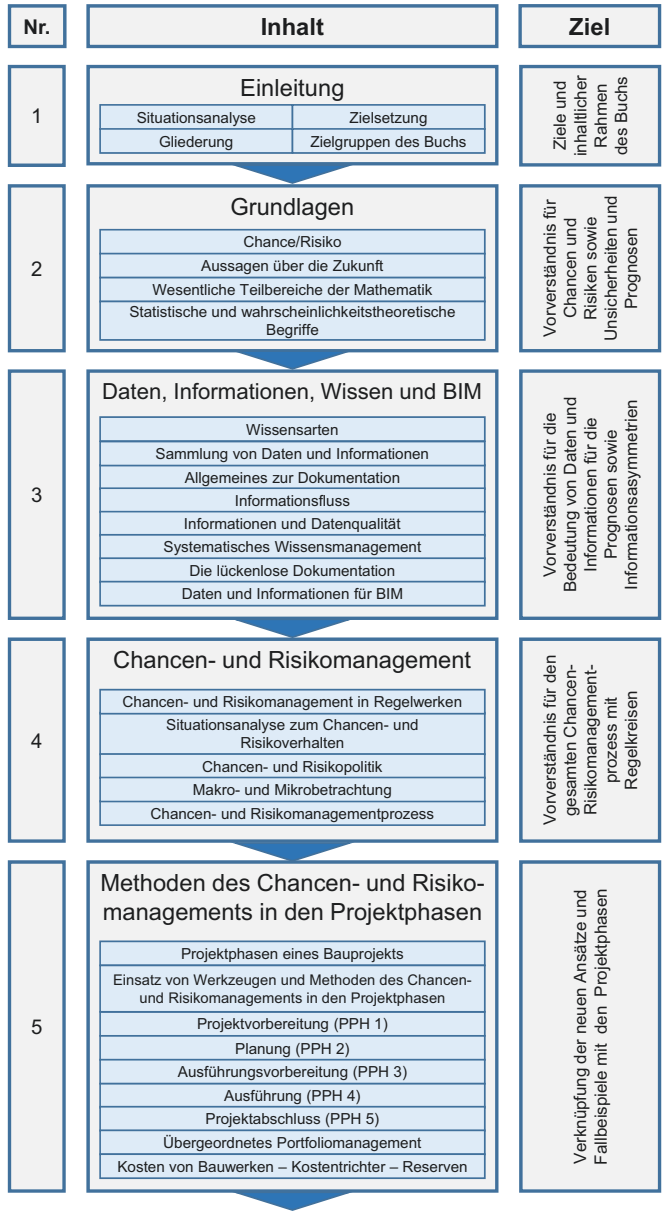


Abb. 1-10 Gliederung des Buchs – Teil 1

In diesem Buch werden diese zentralen Begriffe wie folgt definiert: Risiko (Chance) ist eine Erwartungshaltung unter Unsicherheit, bei der mit einer negativen (positiven) Zielabweichung gerechnet wird und deren Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit – objektiv oder auch subjektiv – bekannt sind.

Besonders wird die Bedeutung der Erwartungshaltung im Zusammenhang mit dem Chancen-Risikoverhältnis herausgearbeitet. Die Erwartung einer positiven oder negativen Zielabweichung hängt wesentlich von der Bezugsbasis ab. Je nachdem ob die Basis beispielsweise für einen Aufwandswert AW [Std/MEH] höher oder niedriger angesetzt wird, desto höher oder niedriger wird die Wahrscheinlichkeit sein, dass der tatsächliche Aufwandswert unter der gesetzten Basis liegen wird. Je nach Untersuchungstiefe und Betrachtungshorizont (kurz-, mittel- oder langfristig) werden Aussagen über die Zukunft unterschiedlich bezeichnet und interpretiert. Eine Auflistung verschiedener – von der Zukunft handelnder – Begriffe ist gemeinsam mit einer demonstrativen Aufzählung entsprechender Kriterien beispielhaft dargestellt.

Die zentralen statistischen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Begriffe, die für das Verständnis der Zusammenhänge und der Interpretation von Berechnungs- und Simulationsergebnissen von wesentlicher Bedeutung sind, werden beschrieben und ebenfalls anhand von Beispielen erläutert. Zudem wird in diesem Buch noch auf die Bedeutung zentraler Themen wie der Korrelationen, des Datenfittings und historischer Daten eingegangen.

Die grundlegende Bedeutung von Daten, Informationen und Wissen steht im Fokus des dritten Kapitels. Bauverträge sind Werkverträge und führen in Abhängigkeit von der Art der Leistungsbeschreibung und des Vertragsmodells zu beträchtlichen asymmetrischen Informationen. Diese Asymmetrien im Informationsstand zwischen AG und AN sind mitverantwortlich für das Ausmaß an Unsicherheiten und die Dimensionen der Bandbreiten. Eine weitere Darstellung bezieht sich auf die Grundzüge der adversen Selektion und der Prinzipal-Agent-Theorie und deren Auswirkungen auf ein Bauprojekt. Es wird verdeutlicht, dass die Informationsdifferenz zwischen Informationserzeuger und Informationsbenutzer in den verschiedenen Projektphasen derart beträchtlich ist, dass es bei unsystematischer Behandlung zu großen Abweichungen in den Schätzungen und Berechnungen kommen kann. Es wird verdeutlicht, dass durch eine intelligente Datenarchivierung und den proaktiven Umgang damit eine Verbesserung in der Genauigkeit von Berechnungen in den verschiedenen Projektphasen erreicht werden kann. Die wesentlichen Qualitätskriterien für Informationen sollten zur Erreichung der gesteckten Ziele erfüllt sein.

Die verschiedenen Prozesse des Chancen- und Risikomanagements werden im vierten Kapitel thematisiert. Die Erkennung und Ergreifung von Chancen und adäquat dazu die Entdeckung und Vermeidung von Risiken zählt zu den wichtigsten Zielen für Organisationen bzw. Unternehmen. Dazu wird gezeigt, wie Frühwarnsysteme für das gesamte Unternehmen sowie für einzelne Projekte zur Prozess- und Ergebnisverbesserung beitragen. Für die quantitative Bewertung ist eine Basis für den jeweiligen Betrachtungsaspekt zu definieren, damit klar definiert ist, ab wann eine Chance bzw. ein Risiko eintritt. Weiters gilt es eine Bewertung durchzuführen, die die Höhe der erwarteten Konsequenzen bei einem Eintritt quantifiziert (z.B. Kostenüber- oder Kostenunterschreitungen, Bauzeitverlängerung oder -verkürzung). Chancen- und Risikomanagement wird dabei entweder global auf das gesamte Unternehmen bezogen oder lokal auf einzelne Projekte. In der globalen Betrachtung steht der strategische Fokus im Vordergrund. Dazu werden Projektportfolios gebildet, um eine Gesamtübersicht über wesentliche Projekte zu erhalten. Im Zuge der lokalen Betrachtung im operativen Bereich werden Projekte der einzelnen Sparten und Bereiche zu sinnvollen Portfolios zusammengefasst. Ein systematischer Umgang mit Chancen und Risiken ist in allen Unternehmensbereichen zu fördern und einzufordern. Auf der Führungsebene der Unternehmen sollte die ständige Anwendung des Chancen-Risikomanagements und der Methoden und Werkzeuge vorbildhaft betrieben und gelebt werden. Im Zusammenhang mit dem Chancen- und Risikomanagementprozess wird besonders auf die Anwendung von Regelkreisen eingegangen und deren Nutzen verdeutlicht.

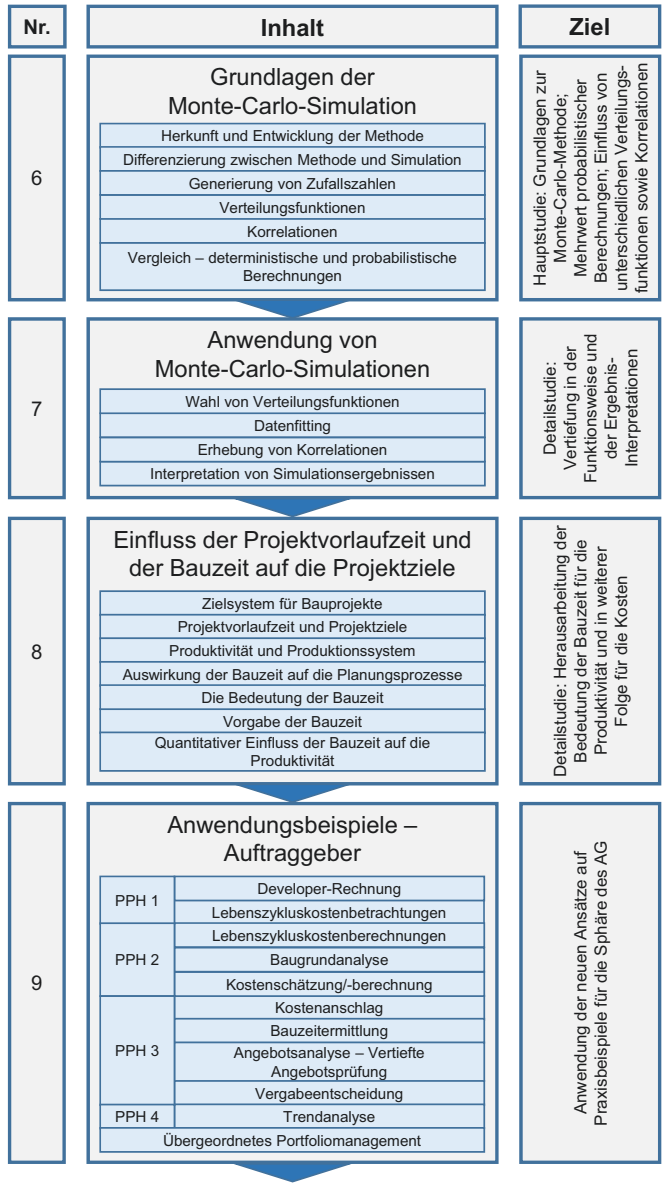


Abb. 1-11 Gliederung des Buchs – Teil 2

Im Zentrum des fünften Kapitels stehen die fünf Projektphasen (PPH 1 bis PPH 5) für Bauprojekte. Diese zeitliche und aufgabenbezogene Gliederung bildet die Basis zur Zuordnung der wesentlichen Inhalte und Praxisbeispiele, die in den Kapiteln 9 und 10 für die Leser nachvollziehbar anhand von Rechenbeispielen und Beschreibungen aufbereitet sind. Projektbeteiligte aus der Sphäre des AG und jener des AN können damit zielgerichtet auf Praxisbeispiele zur Anwendung der Monte-Carlo-Simulation für Berechnungen und zur Entscheidungsfindung zugreifen.

Im sechsten Kapitel werden die Grundlagen zur Monte-Carlo-Methode und Monte-Carlo-Simulation vorgestellt und deren Unterschiede herausgearbeitet (siehe Abb. 1-11). Neben einer Einordnung der Monte-Carlo-Simulation in die Teilbereiche der Mathematik wird zwischen Szenarien und Iterationen differenziert. Um Monte-Carlo-Simulationen in der Eigenanwendung nicht zu Black-Box-Betrachtungen verkommen zu lassen, wird beispielhaft gezeigt, wie die Ergebnisse in Form von Histogrammen erzeugt werden. Die Art und Form der gewählten Verteilungsfunktionen für die Eingangsparameter haben Auswirkungen auf die Histogramme für die Ergebnisse. Jedoch nicht nur die Wahl der Verteilungsfunktionen, sondern auch die Schiefe der Verteilungen wirkt sich auf die Ergebnisse der Simulationen aus. Dieser Einfluss der Schiefe der Inputparameter auf die Outputs bei der Anwendung der vier Grundrechnungsarten ist Bestandteil der folgenden Erläuterung. Weiters wird der Einfluss von Korrelationen anhand von Beispielen dargestellt. Am Ende des Kapitels werden die Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken für die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation aufgezeigt. Aufbauend auf diesen Basiskenntnissen werden die nachfolgenden Kapitel leichter verständlich und regen zum Mitdenken und Anwenden an.

Basierend auf den Grundlagen des sechsten Kapitels wird im siebenten Kapitel auf Überlegungen zur praktischen und nutzstiftenden Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen sowie auf die Interpretation der damit erzielten Ergebnisse eingegangen. Im Fokus stehen dabei besonders die Wahl von Verteilungsfunktionen, das Datenfitting (Anpassung von Verteilungsfunktionen an eine bestehende Datenbasis), die Ermittlung von Korrelationen und die Interpretation von Histogrammen. Weiters werden die Anwendung und der Nutzen zusätzlicher grafischer Simulationsergebnisse wie Tornadodiagramme, Punktdiagramme und Spiderdiagramme dargestellt. Weitere Ausführungen beziehen sich auf die Ermittlung von realitätsnahen Verteilungsfunktionen für Aufwandswerte und Mengenansätze auf Basis von Expertenbefragungen. Diese praxisbezogenen Berechnungseingangsgrößen tragen wesentlich zur Ergebnisverbesserung bei. Am Beispiel der Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten werden Bedeutung und Einfluss von Korrelationen verdeutlicht.

Das achte Kapitel widmet sich dem essenziellen Einfluss der Bauzeit auf die Erreichung der Projektziele. Von der – vom AG vertraglich vorgegebenen – Bauzeit hängt es wesentlich ab, ob genug Zeit vorhanden ist, um alle gesteckten bzw. vereinbarten Projektziele zu erreichen. Das gilt für alle Planungsprozesse und auch für die Realisierungsphase. Besonders hohe Qualitätsanforderungen (z.B. hohe Sichtbetonanforderungen, wasserundurchlässige Bauwerke) brauchen für deren Erfüllung entsprechende Zeit (aufgrund von fertigungstechnischen und technologischen Erfordernissen). In diesem Kapitel wird der qualitative und quantitative Zusammenhang zwischen Bauzeit, Aufwandswert und Produktivität sowie den Baukosten gezeigt. Wenn die Produktionsfaktoren nicht mehr effizient eingesetzt werden können (z.B. nicht optimale Gruppengrößen, nicht optimales Verhältnis zwischen der Anzahl der Arbeitskräfte und der Geräte) ist die ‚Normal-Produktivität' nicht mehr erzielbar. Um Produktivitätsverluste quantitativ bewerten zu können, werden eigene Ansätze und jene aus der Literatur präsentiert und kritisch gegenübergestellt. Vermittelt wird, welchen Einfluss die Bauzeit auf die Kalkulation und in weiterer Folge auf die Bauausführung hat. Die Bauausführung wird dahingehend sensibilisiert auf jene Einflüsse im Baugeschehen zu achten, die sich auf die Bauzeit auswirken.

Für die Sphäre des AG sind im neunten Kapitel Fallbeispiele dargestellt und beschrieben, die für unterschiedliche Projektphasen und Untersuchungsziele eingesetzt werden können. Neben den deterministischen Ansätzen wird der systematische Einsatz von probabilistischen Methoden gezeigt. Die Praxisbeispiele sind nachvollziehbar und transparent aufbereitet, damit ein hoher Nutzen für die Anwender gegeben ist. Zwischen- und Endergebnisse sind als Histo-

gramme abgebildet und werden umfassend interpretiert. Für jeden der gewählten deterministischen Werte, kann eine Aussage zum jeweiligen Chancen-Risikoverhältnis getroffen werden.

Fallbeispiele für die Sphäre des AN stehen im Mittelpunkt des zehnten Kapitels. Für die Phase der Auftragsvergabe (PPH 3) und jener der Realisierung (PPH 4) sind baupraktische Problemstellungen mit Lösungen angeführt. Aufbauend auf den deterministischen Berechnungsmodellen erfolgt der Einsatz der Monte-Carlo-Simulation. Beispiele zur Auswahl der Produktionsfaktoren und deren Kombination dienen zur Darstellung des Nutzens von probabilistischen Berechnungen.

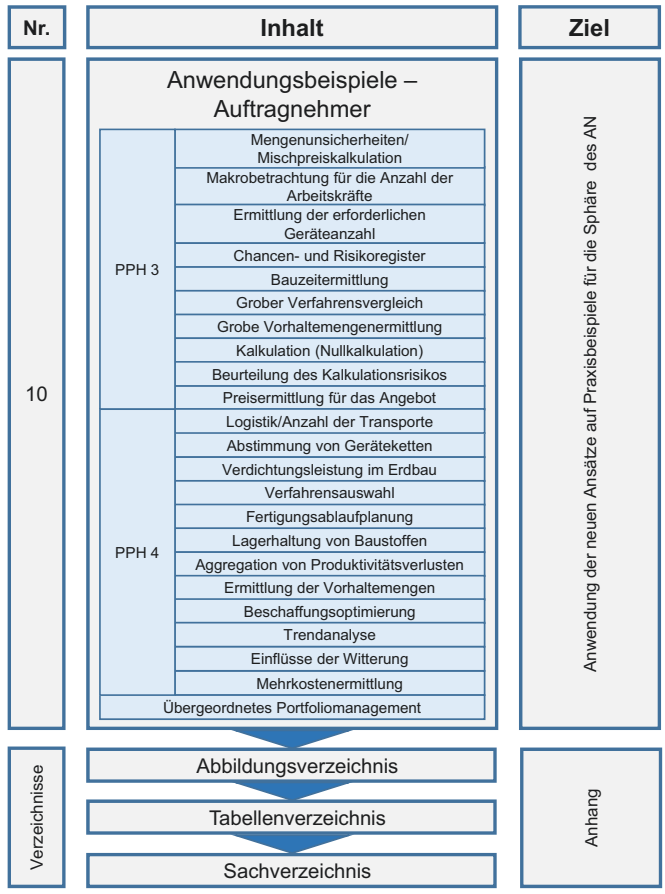


Abb. 1-12 Gliederung des Buchs – Teil 3

Alle Praxisbeispiele zielen darauf ab, selbstständiges Mitdenken und Anwenden zu fördern, um für aktuelle Projekte einen systematischen Umgang mit Unsicherheiten zu ermöglichen. Für alle wichtigen Ergebnisparameter und Entscheidungen sollte immer das dazu entsprechende Chancen-Risikoverhältnis ermittelt werden. Dieses Verhältnis wird, wie in den Beispielen gezeigt, durch den gewählten Basiswert bestimmt.

Den Abschluss des Buchs bilden das Abbildungs-, Tabellen- und Sachverzeichnis.

1.4 Zielgruppen des Buchs

Das Projektmanagement setzt bereits zu Beginn eines Vorhabens ein und stellt die entscheidenden Weichen für eine erfolgreiche Umsetzung der definierten Projektziele.

Von den ersten Ideen zur Nutzung, über die Ausgestaltung und Tragwerksbildung bis hin zur Qualitätsausgestaltung erfolgt eine zunehmende Konkretisierung, die letztlich in Ausführungsplänen und Terminvorgaben mündet. Mit zunehmender Festlegung von Ausführungsdetails sinken auch Unsicherheiten in den Ansätzen für die Kosten und bei der Berechnung der Bauzeit. Auch die Bandbreiten der gewählten Eingangsparameter reduzieren sich, wobei ein gewisses Unsicherheitsniveau bei jedem Berechnungsschritt beibehalten wird. Im vorliegenden Buch wird erläutert, wie mit der Anwendung der Monte-Carlo-Simulation in verschiedenen Projektphasen aus der Sicht des Auftraggebers eine systematische Berücksichtigung von Unsicherheiten möglich ist.

Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Fragestellungen umfassen alle Bereiche des Bauwesens (Hochbau, Tiefbau, Industriebau, Infrastrukturbau etc.) und beschäftigen sich mit grundlegenden Zusammenhängen und Wechselbeziehungen bezüglich der Auswahl und des Einsatzes der elementaren und dispositiven Produktionsfaktoren. In jeder Teildisziplin des Bauwesens ist der systematische Umgang mit Unsicherheiten unumgänglich und das Verständnis für Bandbreiten und Wahrscheinlichkeiten erforderlich, damit Auftragnehmer ihre Projekte erfolgreich planen und umsetzen können. Der Einsatz entsprechender Methoden und Werkzeuge hilft bei der Bewertung und Analyse unsicherer Systemzusammenhänge und -parameter und erleichtert die Arbeit in der Entscheidungsvorbereitung und -findung.

Das vorliegende Buch richtet sich daher besonders an Auftraggeber und Auftragnehmer, Sachverständige, Wissenschaftler, Studierende und baubetrieblich und bauwirtschaftlich interessierte Akteure sowie Vertreter von Behörden. Die Grundlagenkapitel sind aber nicht nur für Akteure des Bauwesens von Interesse, sondern aufgrund der Universalität mathematischer und statistischer Methoden für alle an der Thematik Interessierten von Belang.

1.5 Literaturverzeichnis

Berg, Gerhard (1984). REFA in der Baupraxis – Teil 1 Grundlagen. Hrsg.: REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. Frankfurt am Main. ztv-Verlag. (ISBN 3-923597-12-6)

DIN ISO 5725-1 (Ausgabe: November 1997). Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Meßverfahren und Meßergebnissen – Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe.

Hofstadler, Christian (2011a). Berechnung der Bauzeit – Systematischer Umgang mit Projektunsicherheiten. In: Netzwerk Bau – Fachzeitschrift für Baumanagement und Bauwirtschaft – Nr. 15-011 – Wissen & Visionen – Chancen zur erfolgreichen Projektentwicklung erkennen und umsetzen – Fachsymposium 10 Jahre Netzwerk Bau – Tagungsband. Hrsg.: Stempkowski, Rainer. Seite 32-41. Perchtoldsdorf. Stempkowski Baumanagement & Bauwirtschaft Consulting GmbH.

Hofstadler, Christian (2014a). Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-41632-3)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2015a). Risiken und Chancen der Mischpreiskalkulation. In: Tagungsband – 13. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium – Preisermittlung und Vergabe in der Bauwirtschaft – Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte. Hrsg.: Heck, Detlef; Mauerhofer, Gottfried; Hofstadler, Christian. Seite 49-92. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-385-9)

http://www.denkeler-qm.de/Artikel/Trichter/trichter.html. Datum des Zugriffs: 11.11.2016.

Kummer, Markus (2015a). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten – Deterministische und probabilistische Betrachtungen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: System. Online unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3210/system-v12.html. Datum des Zugriffs: 14.11.2016.

2 Grundlagen

Folgendes Kapitel bietet Definitionen und detaillierte Erläuterungen zu zentralen Fachbegriffen des Buchs. Dies soll vor allem dazu dienen, ein solides und einheitliches Verständnis der beschriebenen Zusammenhänge, Methoden und Anwendungsfälle zu gewährleisten. Teilweise gibt es in der einschlägigen Literatur sowie in Regelwerken für Begriffe unterschiedliche Definitionen und Interpretationen. Dies führt zur Notwendigkeit, dass die Autoren die Bedeutung der wichtigsten im Buch verwendeten Begriffe festlegen und vorab klären.

2.1 Chance/Risiko

Die Verwendung des Chancen-/Risikobegriffs ist durchaus kontrovers und erfordert eine genauere Betrachtung um präzise Aussagen treffen zu können. Speziell im Bauwesen, welches als risikobehaftete Branche gilt, ist – auch wenn das Chancen- und Risikomanagement noch am Beginn der flächendeckenden Umsetzung steht – keine eindeutige Verwendung der Begrifflichkeiten gelungen.

Es erfolgt eine Darstellung der Verwendung des Risikobegriffs im allgemeinen Sprachgebrauch, in der Wirtschaft und speziell in der Bauwirtschaft und im Baubetrieb.

Die Begriffe ‚Unsicherheit', ‚Risiko' oder ‚Ungewissheit' werden in vielen Bereichen des täglichen Lebens, aber auch in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen verwendet. Eine klare Definition bzw. eine unmissverständliche Verwendung der Begriffe ist allerdings bisher nicht 100 %ig gelungen. Da es viele verschiedene Definitionen gibt, muss im Vorhinein eine Klarstellung erfolgen, was im konkreten Fall mit dem zentralen Begriff des Risikos, aber auch mit verwandten Begriffen wie ‚Unsicherheit', ‚Ungewissheit', ‚Gefahr', ‚Chance' etc. gemeint ist.

2.1.1 Etymologische Herkunft

Die Herkunft des Begriffs ‚Risiko' ist nicht restlos geklärt. Die Etymologie[1)] weist aber im Grunde zwei Ansätze auf (siehe Abb. 2-1). Einerseits wird der Begriff auf das italie-

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_2

nische Wort ‚rischiare' und weiter auf das lateinische ‚risicare' zurückgeführt. Damit wird ‚die Klippe, die zu umschiffen ist', ein ‚gefährlicher Felsen' bzw. allgemein ein ‚gewagtes Unternehmen' beschrieben. In dieser Auffassung ist das Risiko etwas menschlich Produziertes, das dabei entsteht, wenn einer Gefahr ausgewichen wird, die prinzipiell vermeidbar gewesen wäre. Der zweite Ansatz gründet auf dem griechischen Wort ‚riza', das auf den arabischen Ausdruck ‚rizq' zurückzuführen ist. Bei diesen Begriffen handelt es sich um eine vorgegebene Übermacht, der man ausgesetzt ist – auch als Schicksal bezeichnet. Sie beinhalten eine Mischung aus Positivem (Chance) und Gefahr und sind auch eng mit dem Begriff der Angst verbunden. Wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden etymologischen Ansätzen ist die Beeinflussbarkeit.[2)]

Historisch wird der Begriff des Risikos auch mit der Seefahrt und dem Handel verknüpft. Vor allem Seehandelsversicherungen mussten sich mit Risiken auseinandersetzen und auch entsprechende Verträge aufsetzen. Es wurde dazu auf die schon zur Zeit der Römer dafür verwendete Wette zurückgegriffen. Die Zufälligkeit von Ereignissen bzw. die Wette auf deren Eintritt oder Nichteintritt konnte auch auf die Seeversicherung übertragen werden.[3)]

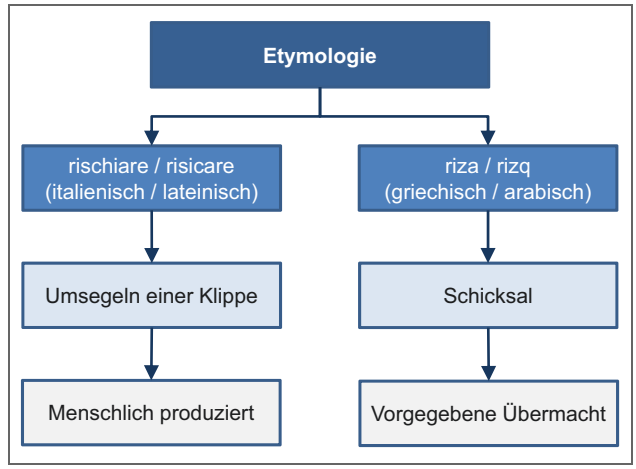


Abb. 2-1 Etymologie des Risikobegriffs[4)]

2.1.2 Allgemeiner Sprachgebrauch

Um die Bedeutung von bestimmten Begriffen herauszufinden genügt oft ein Blick in ein lexikalisches Standardwerk wie etwa den *Brockhaus*. Darin wird der Begriff des Risikos wie folgt definiert:

„[…] Verlustgefahren, Unsicherheits- und Zufälligkeitsfaktoren, die mit jeder wirtsch. Tätigkeit verbunden sind. Unterschieden werden natürl. Risiken (z.B. Sturmschäden), techn. Risiken (z.B. Produktionsmängel), soziale Risiken (z.B. Fluktuation), persönl. Risiken (z.B. Krankheit), polit. Risiken (z.B. Verstaatlichung) und bes. Marktrisiken (z.B. Konjunktureinbruch, Branchenkrise). […]"[5)]

1) Etymologie ist die Lehre von Ursprung und Geschichte der Wörter.
2) Vgl. Jonen (2007), S. 4f.
3) Vgl. Luhmann (1991), S. 18
4) Vgl. Jonen (2007), S. 5

Gigerenzer hält fest, dass die Begriffe ‚Risiko' und ‚Ungewissheit' in der Alltagssprache meist synonym verwendet werden, meint aber auch, dass für eine Entscheidung unter Risiko Denken und Logik ausreichen, da die beste Entscheidungsoption berechnet werden kann. Es wird also vorausgesetzt, dass die Auswirkungen und die Wahrscheinlichkeiten bekannt sind. In ungewissen Situationen ist dies nicht bekannt und für die Entscheidungsfindung sind Faustregeln und Intuition erforderlich. Bei Glücksspielen wie etwa Automaten, Lotterien u.Ä. liegt nach *Gigerenzer* ein Risiko vor, da die Wahrscheinlichkeit eines Gewinnes berechnet werden kann. Unter den Begriff der Ungewissheit fallen nach dieser Auffassung z.B. Aktien, Erdbeben, Gesundheit oder allgemein die Wirtschaft.[6)]

Risiko als Gleichung:

Risiko wird oft mit der einfach anmutenden nachstehenden Gleichung angegeben:

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} * \text{Konsequenz} \tag{2-1}$$

Betrachtet man z.B. die Herstellung von 10 Sichtbetonwänden, wobei einmal ein Schaden eingetreten ist, würde die Eintrittswahrscheinlichkeit aufgrund historischer Daten bei 10 % (= 1 / 10 * 100 %) liegen. Der Schaden (= Konsequenz) wird mit 10.000 € abgeschätzt. Somit ergibt sich das Risiko nach Glg. (2-1) mit 1.000 € (= 10.000 € * 10 % / 100 %). Dieser Wert könnte als Aufschlag in der Kalkulation berücksichtigt werden. Allerdings ist hier zu beachten, dass der Schaden bei einem Anwendungsfall sehr wohl 10.000 € betragen kann. Das errechnete Risiko gibt hier nur den im Mittel zu erwartenden Wert wieder. Der tatsächliche Schaden wird zwischen 0 und 10.000 € – evtl. auch darüber, je nach Qualität der Schätzungen – liegen.

Yoe schlägt vor, diese Gleichung als Gedankenmodell zur Ergründung des Risikobegriffs zu behandeln und nicht als Formel, die Risiken tatsächlich kalkulierbar macht. Es ist primär von Belang, dass beide Komponenten obenstehender Gleichung vorhanden sein müssen, damit überhaupt ein Risiko vorherrscht. Jede Konsequenz, egal wie gravierend sie auch sein mag, stellt kein Risiko dar, wenn sie keine Wahrscheinlichkeit des Eintretens hat.[7)]

Den Begriff des Risikos beschreibt *Yoe* als ein Maß der Wahrscheinlichkeit und Konsequenz von ungewissen zukünftigen Ereignissen. Es besteht demnach die Möglichkeit eines unerwünschten Ergebnisses. Wobei unter ‚Ergebnis' sowohl ein Verlust (z.B. durch Feuer, Flut, Krankheit, Tod, finanzielle Rückschläge) oder jede Form von Gefahr (‚hazard')[8)] als auch ein potentieller Nutzen, der nicht realisiert werden konnte (z.B. ein neues Produkt das sich nicht wie erhofft durchsetzt, ein Investment liefert nicht die erwarteten Gewinne bzw. jede Form einer verpassten Chance), gemeint sein kann. Was diese Möglichkeit eines unerwünschten Ereignisses begründet, ist das Fehlen von Informationen. Diese Informationsknappheit ist durch eine grundlegende Unsicherheit der Zukunft bedingt.[9)]

---

5) F.A. Brockhaus GmbH (1999c), S. 464

6) Vgl. Gigerenzer (2013), S. 38

7) Vgl. Yoe (2012), S. 1

8) *Yoe* beschreibt eine Gefahr (‚hazard') in einem allgemeinen Sinn als alles, was eine potenzielle Quelle für Schaden an einem geschätzten Vermögenswert (menschlich, tierisch, wirtschaftlich, sozial etc.) darstellt. Sie beinhaltet alle biologischen, chemischen, physischen und radiologischen Ursachen oder natürliche/anthropogene Ereignisse die im Stande sind, nachteilige Effekte auf Menschen, Eigentum, Wirtschaft, Kultur, soziale Strukturen oder die Umwelt auszuüben. Vgl. Yoe (2012), S. 2

9) Vgl. ebd., S. 1

Auch *Kaplan/Garrick* beurteilen die Charakterisierung von Risiko lt. Glg. (2-1) als irreführend. Dies begründen sie damit, dass ein Szenario mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit und hohem Schaden das gleiche Risiko aufweist wie ein Szenario mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit und vergleichsweise geringen schadhaften Konsequenzen (siehe Abb. 2-2). Zwei solche Szenarien können aber in keinem Fall als gleich risikobehaftet angesehen werden.[10)]

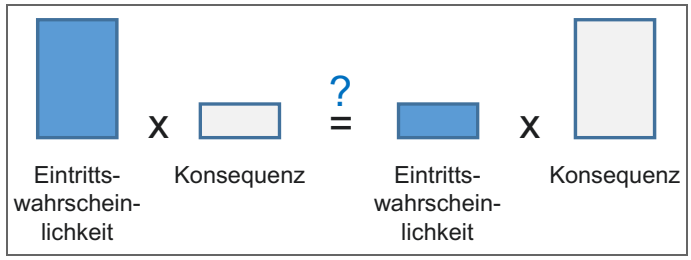


Abb. 2-2 Vergleichbarkeit von Risiken unter Anwendung der Risikogleichung[11)]

Risiko vs. Sicherheit:

Risiko wird oft sinngemäß mit dem Begriff der Sicherheit gleichgesetzt. Es wird versucht ‚Sicherheit' zu gewährleisten und auch viele öffentliche Verhaltensweisen (‚public policies') haben die ‚Sicherheit' als Ziel. Das Problem dabei ist jedoch, dass Grenzen festgelegt werden müssen, bis zu denen eine Veränderung und die damit einhergehenden Auswirkungen noch als sicher gelten. Diese Grenzen basieren somit auf rein subjektiven Entscheidungen, womit kein Anspruch an die wünschenswerte absolute Sicherheit gestellt werden kann. Sicherheit beinhaltet auch immer ein Restrisiko (‚residual risk') und stellt somit lediglich eine psychologische Fiktion dar.[12)]

Risiko vs. Chance:

In anderen Sprachen und Kulturen ist eine Trennung zwischen den Begriffen nicht klar erkennbar. Im angloamerikanischen Raum wird bei Vorliegen von Chancen und Risiken auch von ‚Upside Risk' und ‚Downside Risk' gesprochen. Das chinesische Wort für ‚Krise' lautet ‚Weiji' und besteht aus zwei Schriftzeichen, die einzeln betrachtet die Worte ‚Gefahr' und ‚Chance' bilden. Eine Krise oder eine schwierige Situation bietet damit sowohl die Möglichkeit einer Gefahr als auch einer Chance.

Risiko vs. Gefahr:

Eine Unterscheidung zwischen Risiko und Gefahr wird darin gesehen, dass beim Risiko ein möglicher Schaden auf eine Entscheidung zurückzuführen ist, während bei der Gefahr ein etwaiger Schaden von externen Faktoren herbeigeführt wird (vgl. mit den etymologischen Ansätzen in Abb. 2-1). Entscheidet man sich beispielsweise zwischen zwei sehr ähnlichen Alternativen (zwei Fluggesellschaften – ein Flugzeug stürzt ab), ist es nicht zwingend der Fall, dass die Wahl auf die riskantere Option gefallen ist, sondern dass eine Gefahr eingetreten ist. Die Alternativen müssen sich also in ihrer Schadensausprägung deutlich unterscheiden.[13)]

10) Vgl. Kaplan/Garrick (1981), S. 13
11) Kummer (2015a), S. 19
12) Vgl. Yoe (2012), S. 4
13) Vgl. Luhmann (1991), S. 30ff.

Könnte man also jede Gefahr durch eine Entscheidung in ein Risiko verwandeln? Diese Frage ist nicht so einfach zu klären, da es auch immer auf den Standpunkt des Beobachters ankommt. Was für den Entscheider ein Risiko darstellt, das er aufgrund von Entscheidungen (oder Nicht-Entscheidungen) eingegangen ist, stellt für Betroffene eine Gefahr dar, da sie einem möglichen Schaden nicht mit einer direkten Entscheidung begegnen können.[14)] Der Geschädigte hat die Gefahr, die ihn bedroht, nicht selbst durch eine Entscheidung erzeugt, denn sonst wäre es ein Risiko.[15)]

Sowohl bei der Unterscheidung Risiko/Sicherheit als auch bei Risiko/Gefahr spiegelt der Begriff des Risikos einen sehr komplexen Sachverhalt wider, während die Gegenseite als Reflexionsbegriff dient. Beim Vergleich von Risiko/Sicherheit geht es darum das Messungsproblem festzuhalten und bei Risiko/Gefahr steht die Entscheidung im Mittelpunkt.[16)] Für beide Unterscheidungen gilt jedoch, dass es kein risikofreies Verhalten gibt. In einem Fall bedeutet dies, dass es keine absolute Sicherheit gibt. Im anderen Fall, dass Risiken nicht vermieden werden können. Überholt man wie empfohlen nicht in einer unübersichtlichen Kurve, hat man – bei genauer Betrachtung – das Risiko nicht so schnell voranzukommen wie wenn man das Manöver gewagt hätte.[17)]

„Man kann nur riskant entscheiden – oder abwarten. Und die Form des Risikos besagt, daß auch das Abwarten eine riskante Entscheidung ist.“[18)]

Die angeführten Definitionen spiegeln eine vorwiegend negativ behaftete Auffassung des Begriffs Risiko wider. Kognitiv besteht also offensichtlich eine Verknüpfung zwischen Risiko und negativen Folgen (Schaden, Verlust, entgangene Chance etc.). Wie wird der Risikobegriff aber in der Wirtschaft gesehen? Dieser Frage wird in nachstehendem Abschnitt nachgegangen.

2.1.3 Verwendung in der Wirtschaft

Bei der Verwendung des Risikobegriffs im ökonomischen Kontext kommt es nicht mehr nur auf das reine sprachliche Verständnis des Wortes an, sondern die Messbarkeit der beiden Komponenten (Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenz – vgl. Glg. (2-1)) rückt in den Fokus der Definitionen.

Jonen untersuchte mit Hilfe eines semantischen Kastens insgesamt 329 Risikodefinitionen aus den unterschiedlichsten – hauptsächlich deutschsprachigen – Quellen (betriebswirtschaftliche Bücher, Zeitschriften, Sammelbände etc.).[19)] Er erhielt den Befund, dass in den letzten Jahren ein starker Anstieg an Definitionsversuchen für den Risikobegriff zu verzeichnen war, was auf die zunehmende Bedeutung schließen lässt.[20)] Weiters zeigt die Untersuchung, dass ab ca. 1940 eine Zunahme des subjektiven Wahrscheinlichkeitsbegriffs in den Definitionen feststellbar ist und auch der relative Anteil der Chancennennungen in diesem Zeitraum moderat anstieg. Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass ca. 87 % der untersuchten Definitionen aus dem betriebswirtschaftlichen Bereich stammen.[21)]

14) Vgl. Luhmann (1991), S. 36f.
15) Vgl. ebd., S. 112
16) Vgl. ebd., S. 32
17) Vgl. ebd., S. 37
18) ebd., S. 81
19) Vgl. Jonen (2007), S. 39ff.
20) Die untersuchten Begriffsdefinitionen stammen aus Quellen zwischen 1903 und 2006.
21) Vgl. Jonen (2007), S. 39ff.

Für wirtschaftliche Belange gilt die Definition von *Knight* als eine Art Dogma, die in sehr vielen Arbeiten, die sich mit Risiken oder Risikomanagement befassen, zitiert wird. Die Definition nach *Knight* geht auch aus der Erhebung von *Jonen* als jene mit den meisten Referenzierungen hervor.[22] Dies führte dazu, dass begrifflichen Innovationen vorgeworfen wurde, die Begriffe nicht richtig zu verwenden.[23] *Knight* sieht die Unsicherheit als Überbegriff für Risiko und Ungewissheit. Können quantitative Messungen vorgenommen werden, spricht man von Risiko, ansonsten von Ungewissheit (siehe Abb. 2-3).

In der Konzeption von *Knight* ist es nicht möglich, für ungewisse Situationen quantitative Eintrittswahrscheinlichkeiten anzugeben. Gründe dafür können ihr einzigartiges Auftreten und/oder zu wenige Erfahrungswerte sein.[24]

Demnach handelt es sich um ‚Ungewissheiten', wenn zwar die möglichen Auswirkungen bekannt sind, die Eintrittswahrscheinlichkeiten jedoch nur geschätzt werden können.

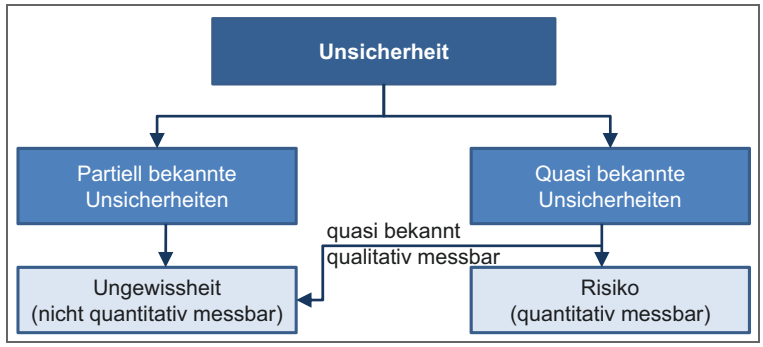


Abb. 2-3 Gliederung von Unsicherheiten lt. *Knight*[25]

Die Messbarkeit bzw. Quantifizierbarkeit der Eintrittswahrscheinlichkeit ist in vielen Definitionsversuchen zentraler Bestandteil und gilt oft als Unterscheidungskriterium zwischen Risiko und Ungewissheit.

Dem Verständnis von Wahrscheinlichkeit liegen grundsätzlich zwei verschiedene Betrachtungsweisen zugrunde. Einerseits die ‚objektive' oder ‚frequentistische' Betrachtung, die ihr Verständnis für Wahrscheinlichkeit aus sich wiederholenden Experimenten (z.B. Münzwurf) bezieht. Andererseits das ‚subjektive' Verständnis von Wahrscheinlichkeit, welches einen Wissensstand, einen Grad des Glaubens oder einen Stand der Zuversicht widerspiegelt.[26]

Knight definiert weiters drei Arten von Wahrscheinlichkeitssituationen:[27]
- A Priori Wahrscheinlichkeit (logisch gewonnen)
- Statistische Wahrscheinlichkeit (empirisch gewonnen)
- Geschätzte Wahrscheinlichkeit

Logische und empirische Wahrscheinlichkeiten fasst *Knight* unter dem Begriff ‚Risiko' zusammen. Die Situation der geschätzten Wahrscheinlichkeit tituliert er als ‚Ungewissheit'.[28]

22) Vgl. Jonen (2007), S. 42ff.
23) Vgl. Luhmann (1991), S. 9
24) Vgl. Boeckelmann/Mildner (2011), S. 2
25) Wiggert (2009), S. 71
26) Vgl. Kaplan/Garrick (1981), S. 17
27) Vgl. Knight (1971), S. 224f.
28) Vgl. Boeckelmann/Mildner (2011), S. 2

Die ‚Wahrscheinlichkeit', die sich aus Experimenten ergibt, sollte in dieser Hinsicht als ‚Frequenz' bezeichnet werden, denn es handelt sich dabei um eine ‚harte', messbare und objektive Zahl. Die ‚Wahrscheinlichkeit', die sich auf einen gewissen Wissensstand stützt, wird in dieser Hinsicht als ‚Wahrscheinlichkeit' bezeichnet. Sie scheint ‚weich', wechselhaft, subjektiv und nicht messbar (im herkömmlichen Sinne).[29)]

In diesem Kontext bietet sich eine Erörterung der Statistik und deren wahrscheinlichkeitstheoretischer Zugang an. Die Statistik bedient sich für ihre wissenschaftlichen Analysen frequentistischer Informationen und Daten. Ausgehend von empirischen Daten kann auf Wahrscheinlichkeiten geschlossen werden und umgekehrt wird mit Hilfe der Wahrscheinlichkeit einer mangelnden Datenlage begegnet. Die oft getätigte Aussage, dass nicht mit Wahrscheinlichkeiten gerechnet werden kann, wenn nicht ausreichend viele Daten vorliegen, ist ein Missverständnis. Gerade in diesem Falle bleibt nichts anderes zu tun als mit Wahrscheinlichkeiten zu rechnen.[30)]

Die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit ist keine exakte Wissenschaft. Sie basiert auf Branchendaten, früheren Projekten, Risikodatenbanken, Nachkalkulationen, ‚Post-Mortem-Analysen'[31)] oder auch nur auf bloßen Abschätzungen oder Vermutungen. Trotzdem sollte auf diesen Schritt in keiner Weise verzichtet werden.[32)]

Das *Gabler Wirtschaftslexikon* definiert den Begriff des Risikos allgemein wie folgt:

„Kennzeichnung der Eventualität, dass mit einer (ggf. niedrigen, ggf. auch unbekannten) Wahrscheinlichkeit ein (ggf. hoher, ggf. in seinem Ausmaß unbekannter) Schaden bei einer (wirtschaftlichen) Entscheidung eintreten oder ein erwarteter Vorteil ausbleiben kann."[33)]

Diese Darstellung widerspricht der Auffassung nach *Knight*, bei der Risiken nur bei objektiven Wahrscheinlichkeiten vorliegen. Eine weitere Definition im *Gabler Wirtschaftslexikon* unter dem Begriff ‚Risiko' beschreibt diesen im Zusammenhang mit der Entscheidungstheorie wie folgt:

„Entscheidungssituation, bei welcher für das Eintreten von Ereignissen objektive Wahrscheinlichkeiten vorliegen."[34)]

Diese zweite Definition setzt eine objektive Wahrscheinlichkeit für Ereignisse voraus, um über Risiken sprechen zu können. Dies entspricht im Wesentlichen der Theorie von *Knight*[35)], die eine klare Trennung zwischen ‚Risiko' und ‚Ungewissheit' (‚uncertainty') fordert.

Hier zeigt sich auch das Problem der Übersetzung zwischen deutschsprachiger und englischer Literatur, denn das englische Wort ‚uncertainty' kann sowohl mit ‚Unsicherheit' als auch mit ‚Ungewissheit' übersetzt werden. Ähnliche sprachliche Divergenzen gibt es auch bei der Auffassung von Risiko und Chance (vgl. Upside Risk und Downside Risk).

Laux/Gillenkirch/Schenk-Mathes unterscheiden bei einer möglichen Erwartungsstruktur in Sicherheit und Unsicherheit, wobei im Sinne der Entscheidungstheorie zwischen ‚Unsicherheit im engeren Sinne' (was mit dem Begriff ‚Ungewissheit' gleichgestellt werden kann) und dem Begriff des Risikos differenziert wird (siehe Abb. 2-4). Nach dieser Auffassung können für Unsicherheiten im engeren Sinne (entspricht der Ungewissheit) auch keine subjektiven Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben werden.

29) Vgl. Kaplan/Garrick (1981), S. 17f.

30) Vgl. ebd., S. 18

31) Dies sind Untersuchungen von gescheiterten Projekten, Fehlschlägen, falschen Entscheidungen etc.

32) Vgl. DeMarco/Lister (2003), S. 67

33) http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/6780/risiko-v15.html. Datum des Zugriffs: 23.11.2016

34) ebd.

35) Dissertation aus dem Jahr 1921: „Risk, Uncertainty, and Profit"

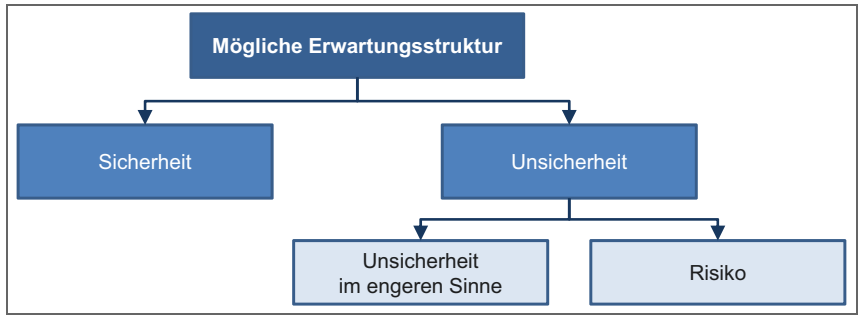


Abb. 2-4 Unsicherheit in der Entscheidungstheorie[36)]

Es lässt sich auch die Konzeption auffinden, die zwischen ‚Risiko im engeren Sinne' und ‚Ungewissheit' unterscheidet, wobei ‚Unsicherheit' ebenfalls als Oberbegriff Verwendung findet.[37)] Letztere begriffliche Ordnung lässt sich auch im *Gabler Wirtschaftslexikon* auffinden.[38)] Von Ungewissheit wird dann gesprochen, wenn für das Eintreten zukünftiger Ereignisse zwar keine objektiven Wahrscheinlichkeiten vorliegen (dabei würde es sich um ein ‚Risiko' handeln), aber subjektive Wahrscheinlichkeiten gebildet werden können.[39)]

Weitere Definitionen sehen das ‚Unwissen' als zusätzlichen Unterpunkt der Unsicherheit an (siehe Abb. 2-5), wobei im Falle von Unwissen Konsequenzen nicht oder nur teilweise bekannt sind und über deren Eintrittswahrscheinlichkeit keine Informationen vorliegen.

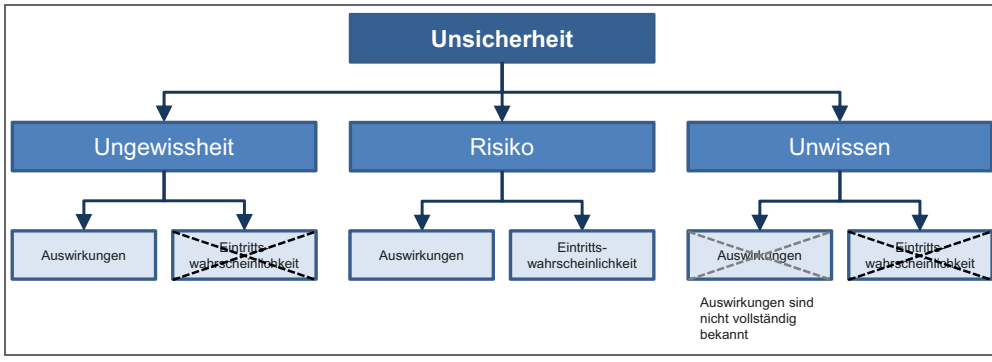


Abb. 2-5 Gliederung von Unsicherheiten[40)]

Bei Ingenieurproblemen lassen sich Unsicherheiten wie folgt einteilen:
- aleatorische Unsicherheiten (Typ I – inhärente, physikalische Unsicherheiten) und
- epistemische Unsicherheiten (Typ II – Modellunsicherheiten oder statistische Unsicherheiten)

36) Vgl. Laux/Gillenkirch/Schenk-Mathes (2012), S. 33
37) Vgl. Gottschalk-Mazouz (2011), S. 503
38) Vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9325/unsicherheit-v13.html. Datum des Zugriffs: 22.11.2016
39) Vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55049/ungewissheit-v3.html. Datum des Zugriffs: 18.10.2016
40) Hofstadler (2012), Folie 10

Dabei werden aleatorische Unsicherheiten dadurch hervorgerufen, dass die Welt zufällig ist. Ein Zugewinn an zusätzlichen Informationen reduziert eine aleatorische Unsicherheit nicht. Epistemische Unsicherheiten dagegen entstehen aus einem Mangel an Wissen, einer inadäquaten bzw. ungenauen Modellierung oder aus begrenzten Informationen bzw. einer zu geringen Anzahl an Daten.[41)]

Um einen tieferen Einblick in die wissenschaftliche Konzeption von Risiken zu erhalten, wird nachfolgend auf die nationale Umsetzung der ISO 31000 – die ONR 49000 „Risikomanagement für Organisationen und Systeme" – eingegangen. Ziel der internationalen Norm ISO 31000 war es, einen Standard für Risikomanagement und eine einheitliche Sprache zu schaffen. Die ONR 49000:2014 beschreibt den Begriff des Risikos als Auswirkung von Unsicherheit auf Ziele.

Der Begriff umfasst dabei folgende Aspekte:
- „die Kombination von Wahrscheinlichkeit und Auswirkung,
- die Auswirkungen können positiv oder negativ sein,
- die Unsicherheit bzw. Ungewissheit wird mit Wahrscheinlichkeiten geschätzt bzw. ermittelt,
- die Ziele der Organisation erstrecken sich auf die strategische Entwicklung (zB Kundenbedürfnisse, Innovation, Marktstellung). Die Tätigkeiten umfassen die operativen Aktivitäten (zB Beschaffung, Produktion und Dienstleistung sowie Vertrieb). Die Anforderungen beziehen sich insbesondere auf Gesetze, Normen sowie weitere externe oder interne regulatorische Vorgaben, auch betreffend die Sicherheit von Menschen, Sachen und der Umwelt, und
- Risiko ist eine Folge von Ereignissen (gemäß 2.1.6[42)]) oder von Entwicklungen (gemäß 2.1.5[43)]).“[44)]

Somit können Wahrscheinlichkeiten sowohl geschätzt (subjektiv) als auch (objektiv) ermittelt werden und Risiken beziehen sich sowohl auf schlagende Ereignisse als auch auf schleichende Entwicklungen. Unsicherheiten, bei denen kausale Zusammenhänge und Hintergründe nur unvollständig bekannt bzw. nur ein Grad an persönlicher Überzeugung sind, werden als subjektive Wahrscheinlichkeiten bezeichnet. Der in der englischen ISO 31000 verwendete Begriff ‚likelihood' umfasst sowohl das objektive als auch das subjektive Verständnis von Wahrscheinlichkeiten.[45)]

Weiters sieht die ONR sowohl eine positive als auch eine negative Auswirkung als Teil des Risikos. Positive Auswirkungen sind Gewinne, Vorteile und Nutzen – negative Auswirkungen sind Verluste, Nachteile und Schäden. Bedrohungen bzw. Chancen werden als Quelle von Risiken aufgefasst, die zu einer ungünstigen bzw. positiven Entwicklung führen können.[46)]

Unsicherheit und Ungewissheit werden in der ONR 49000 als gleichwertige Begriffe erachtet, die das Fehlen von Informationen bezüglich des Eintritts zukünftiger Ereignisse oder Entwicklungen, ihrer Auswirkungen und ihrer Wahrscheinlichkeit beschreiben.[47)]

41) Vgl. Köhler (2012), Bild 33

42) Lt. ONR 49000:2014 ist ein Ereignis ein plötzlicher Eintritt einer bestimmten Kombination von Umständen (= schlagendes Ereignis).

43) Lt. ONR 49000:2014 ist eine Entwicklung eine allmähliche Veränderung von Umständen (= schleichende Entwicklung).

44) ONR 49000:2014, S. 7

45) Vgl. ebd., S. 9

46) Vgl. ebd., S. 5f.

47) Vgl. ebd., S. 9

Die ONR 49000 widerspricht also in wesentlichen Punkten der oft zitierten Definition von *Knight* (und den darauf aufbauenden Definitionen). Es sind demnach subjektive Wahrscheinlichkeiten zulässig – die bei *Knight* unter dem Begriff der Ungewissheit weiter ausdifferenziert werden – und es gelten nicht nur negative, sondern auch positive Konsequenzen als definitorischer Bestandteil von Risiko.

Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Begriffsbestimmung in der Bauwirtschaft und dem Baubetrieb.

2.1.4 Verwendung in der Bauwirtschaft

Es stellt sich die Frage, ob die eng gefasste Risikodefinition nach *Knight*, die eine objektive und quantitative Messbarkeit von Unsicherheiten fordert, in der Bauwirtschaft und im Baubetrieb sinnvoll angewendet werden kann. *Knights* Definition des Risikos – und alle darauf aufbauenden – sind sehr stark mit statistischen Betrachtungen verknüpft, für deren Aussagekraft eine entsprechend große Menge an historischen Daten zur Verfügung stehen muss. Bauprojekte sind jedoch Unikate – objektive (gemessene) Werte für ein exakt gleiches Projekt gibt es damit nicht. Dies würde bedeuten, dass im Zuge von Kalkulationen und Bauzeitermittlungen nie von ‚Risiken' die Rede sein dürfte, sondern immer nur von ‚Ungewissheiten', da solch ein geforderter Datenpool statistisch nicht greifbar ist. Vorhanden sind aber die Erfahrungen der beteiligten Personen, die aufgrund ähnlicher Projekte Ab- und Einschätzungen durchführen können (und müssen).[48)]

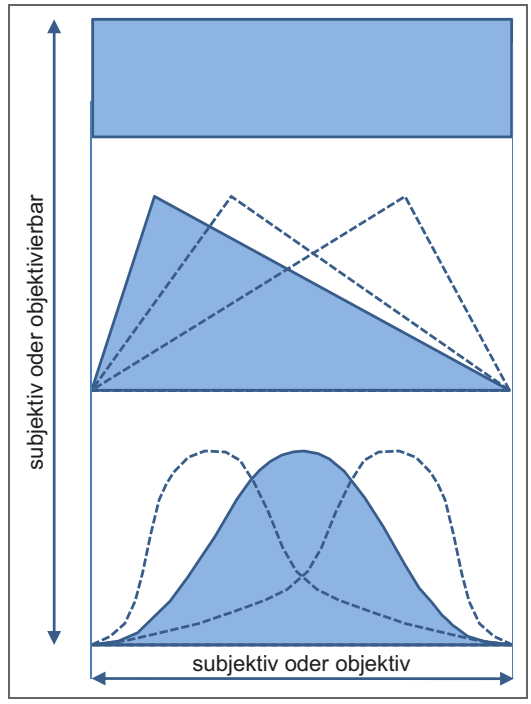


Abb. 2-6 Subjektive bzw. objektive Bandbreite – Subjektive bzw. objektivierbare Wahrscheinlichkeitsverteilung[49)]

[48)] Vgl. Kummer (2015a), S. 26

Bandbreiten von unsicheren Parametern können entweder objektiv ermittelt oder subjektiv angesetzt werden (siehe Abb. 2-6). Die Wahrscheinlichkeit für jeden Wert innerhalb der definierten Bandbreite muss meist subjektiv durch die Wahl von Verteilungsfunktionen abgeschätzt werden. Objektivierbar wird die Wahl von Verteilungsfunktionen für Inputparameter wenn auf Basis vorhandener Daten, Nachkalkulationen, Ergebnissen aus Expertenbefragungen oder Kombinationen dieser Methoden die Form der entsprechenden Verteilung ermittelt wird. Die Anpassung an theoretische Verteilungsfunktionen (Fitting) erfolgt mit Hilfe von Softwareprogrammen.

In Abschnitt 7.1 wird näher auf die Wahl von Verteilungsfunktionen eingegangen.

Risiken sollten sich demnach nicht nur auf messbare Faktoren beschränken, da ein Risikomanagement, welches nur quantifizierbare Risiken berücksichtigt, zu einer reinen Rechenaufgabe verkommt. Es ist aber gerade der Sinn von Risikomanagementsystemen auch nicht quantifizierbare Risiken zu bewerten, da gerade diesen wegen ihrer Behaftung mit Unkenntnis das höchste Gefahrenpotenzial innewohnt.[50)]

Wiggert untersuchte in seiner Dissertation deutschsprachige bauwirtschaftliche Risikodefinitionen mit Hilfe des angepassten semantischen Kastens (aSK). Er analysierte die Definitionen des Risikobegriffs zwischen 1971 (Dissertation von *Schubert*) und 2009 (Dissertation von *Riebeling*), wobei sich diese Diskussion in der Bauwirtschaft intensivierte (siehe Abb. 2-7). Insgesamt wurden 69 Quellen der wissenschaftlichen Literatur und 21 normative Regelwerke auf deren Risikodefinitionen hin durchleuchtet. Dabei wurde pro Autor nur eine Definition zugelassen, mit der Ausnahme von Autorengemeinschaften.[51)]

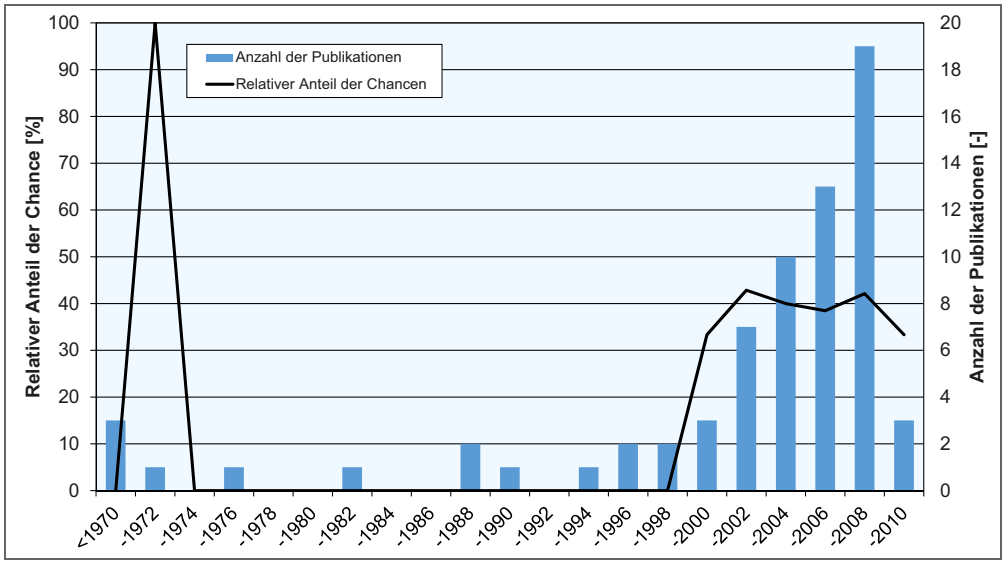


Abb. 2-7 Zeitliche Entwicklung der Anzahl an Risikodefinitionen und dem relativen Anteil der Chancen[52)]

[49)] Kummer (2015a), S. 27

[50)] Vgl. Wiggert (2009), S. 112

[51)] Vgl. ebd., S. 102ff.

[52)] ebd., S. 104

Den größten Einfluss auf die von *Wiggert* untersuchten Risikodefinitionen übt die Begriffserklärung von *Link* (1999) aus, da fünf nachfolgende Definitionen direkt darauf zurückgeführt werden können.[53] Sie lautet wie folgt:

„Unter Risiko versteht man die Möglichkeit, daß die durch eine Entscheidung ausgelösten Abläufe nicht notwendigerweise zum angestrebten Ziel führen und es zu negativen oder positiven Zielabweichungen kommt. Risiko läßt sich durch die Bestimmung von Tragweite und Eintrittswahrscheinlichkeit quantifizieren.“[54]

Wiggert untersuchte explizit auch die Chancenintegration in den Risikoauffassungen, wobei er sich nicht auf die bloße Erwähnung der Begrifflichkeit fixierte, sondern das Gesamtkonzept der Risikodefinition beurteilte.[55]

Auffällig über den zeitlichen Verlauf der bauwirtschaftlichen/baubetrieblichen Risikodefinitionen ist, dass obwohl bereits *Schubert* 1971 einen Risikogewinn sah, erst mit der Definition von *Link* 1999 die ‚Chance‘ wieder im Risikobegriff der Bauwirtschaft auftaucht. Von da an hat sich die Integration des Chancenverständnisses in den Risikodefinitionen etabliert und schwankt um die 40 %, unabhängig von der Anzahl der Definitionen (siehe Abb. 2-7[56]).

Wiggert verglich die chancenorientierte Auffassung von Risiken anhand von Definitionen in der Bauwirtschaft mit jenen von aktuellen Normen aus dem baubetrieblichen Bereich sowie mit Definitionen aus der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre und dem finanzwirtschaftlichen Bereich. Dabei konnte festgestellt werden, dass in den bauwirtschaftlichen Definitionen ca. jede dritte, im finanzwirtschaftlichen Bereich jede fünfte und in der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre nur jede zehnte Definition eine Chance in den Risikobegriff integriert.

Interessant ist außerdem, dass der Anteil chancenorientierter Definitionen in der deutschsprachigen baubetrieblichen Normung mit ca. 60 % höher liegt als dies in der Literatur (ca. 40 %) der Fall ist. Anzumerken ist hierbei jedoch, dass die Grundgesamtheit der Risikodefinitionen in der Normung wesentlich geringer ist als in der wissenschaftlichen Literatur.

Grundsätzlich sind damit zwei Sichtweisen bei der Betrachtung des Begriffs ‚Risiko‘ zu unterscheiden (siehe Abb. 2-8). Es wird immer von positiven oder negativen Abweichungen eines geplanten Solls zu einem vorgefundenen Ist gesprochen. Einerseits bezeichnet ein ‚Risiko‘ lediglich die negativen Abweichungen, wobei die möglichen positiven Abweichungen ‚Chancen‘ genannt werden.

Andererseits wird unter ‚Risiko‘ sowohl die Möglichkeit einer positiven (‚Chance‘) als auch einer negativen Abweichung (‚Gefahr‘) verstanden. Hier impliziert das Risiko sowohl die Gefahr als auch die Chance.[57]

---

53) Vgl. Wiggert (2009)., S. 105

54) Link (1999), S. 7

55) Vgl. Wiggert (2009), S. 107

56) Der Abfall der Risikodefinitionen in der letzten Klasse (‚2009 bis 2010‘) in Abb. 2-7 kann damit begründet werden, dass *Wiggert* seine Dissertation im September 2009 eingereicht hat und damit keine neuen Definitionen mehr in die Untersuchung aufgenommen wurden.

57) Dies entspricht der Definition von Girmscheid/Motzko (2013), S. 333: „Der Begriff ‚Risiko‘ bedeutet in Bauprojekten die Möglichkeit der Abweichung von konkreten Projektanforderungen in den Bereichen Kosten, Termine und Qualitäten, wobei potenzielle positive Abweichungen ‚Chance‘ und eventuelle negative Abweichungen ‚Gefahr‘ genannt werden.“

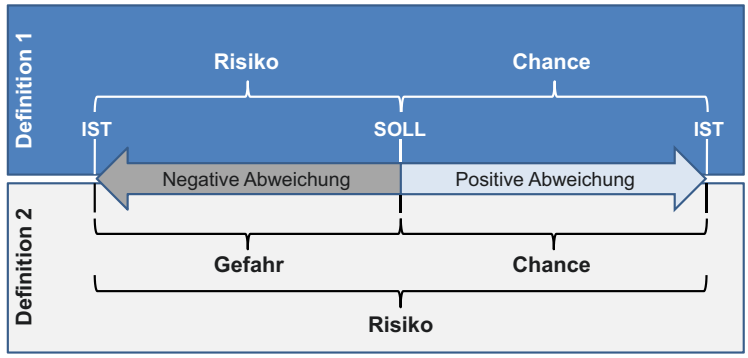


Abb. 2-8 Risikodefinitionen

Auch *Stempkowski/Waldauer* verwenden den Begriff des Risikos sowohl als Überbegriff, die Chance mitberücksichtigend, als auch als Spezifikation der negativen Auswirkung, wobei dann die Chance separat angeführt wird. Weiters geben sie an, dass der Risikobegriff im allgemeinen Sprachgebrauch als negative Abweichung verwendet wird und es für die Akzeptanz eines Managementsystems daher wenig zweckmäßig ist, künstlich neue Begriffe zu schaffen bzw. zu verwenden.[58)]

Im Handwörterbuch der Bauwirtschaft wird unter dem Begriff ‚Partnering' in Risiken und Chancen als Begriffe auf gleicher Ebene unterschieden:

„[...] Die Partner formen ein Team mit einheitlichen Zielen, erwägen in einem sehr frühen Stadium alle Risken und Chancen, behandeln und lösen Probleme möglichst sofort und werden oft auch am Projektnutzen beteiligt."[59)]

In einer Expertenbefragung – zwischen Juli und September 2013 an der TU Graz durchgeführt[60)] – wurde unter anderem auch nachgefragt, wie der Risikobegriff in der Praxis aufgefasst wird. Es wurden insgesamt 61 ausgewählte Experten kontaktiert, von denen 31 für eine Teilnahme gewonnen werden konnten. Die Experten wiesen zu ca. 74 % eine Berufserfahrung von über 11 Jahren auf. Ca. 42 % der Befragten waren in der Geschäftsführung bzw. Niederlassungsleitung tätig. Die Experten wurden konkret gefragt, wie gut die folgenden Definitionen für den bauwirtschaftlichen Risikobegriff zutreffen:

- ‚Risiko' beinhaltet die Möglichkeit einer positiven Zielabweichung (Chance)
- ‚Risiko' beinhaltet die Möglichkeit einer negativen Zielabweichung (Gefahr/Wagnis)
- Definition von *Wiggert*: „Risiko ist der Einfluss von Unsicherheiten auf die Performance[61)], ausgehend von bewusst oder unbewusst gesetzten Zielen. Eine potentielle Steigerung der relativen Performance wird als Chance und eine potentielle Verminderung als Wagnis bezeichnet."[62)]

Die Experten konnten je Definition einen Schieberegler frei zwischen 0 % (= trifft nicht zu) und 100 % (= trifft völlig zu) positionieren. Die Ergebnisse sind in Klassen mit einem Wertebereich von jeweils 20 % zusammengefasst in Abb. 2-9 dargestellt. Eine kontroverse Auffassung zeigt sich bei der Beurteilung der Definition von *Wiggert*: Fast die

58) Vgl. Stempkowski/Waldauer (2013), S. 27
59) Oberndorfer/Jodl et al. (2001), S. 117
60) Vgl. Alber (2013)
61) Unter Performance wird in diesem Zusammenhang ein Maß der Zielerreichung verstanden.
62) Wiggert (2009), S. 114

Hälfte (48 %) gibt an, diese als (sehr) zutreffend anzusehen, während ein knappes Drittel (28 %) der Befragten diese als kaum bis gar nicht zutreffend beschreibt. Ein recht klares Ergebnis zeigt sich jedoch darin, dass von den meisten Experten die Möglichkeit einer positiven Zielabweichung (Chance) aus der Risikodefinition exkludiert wird.

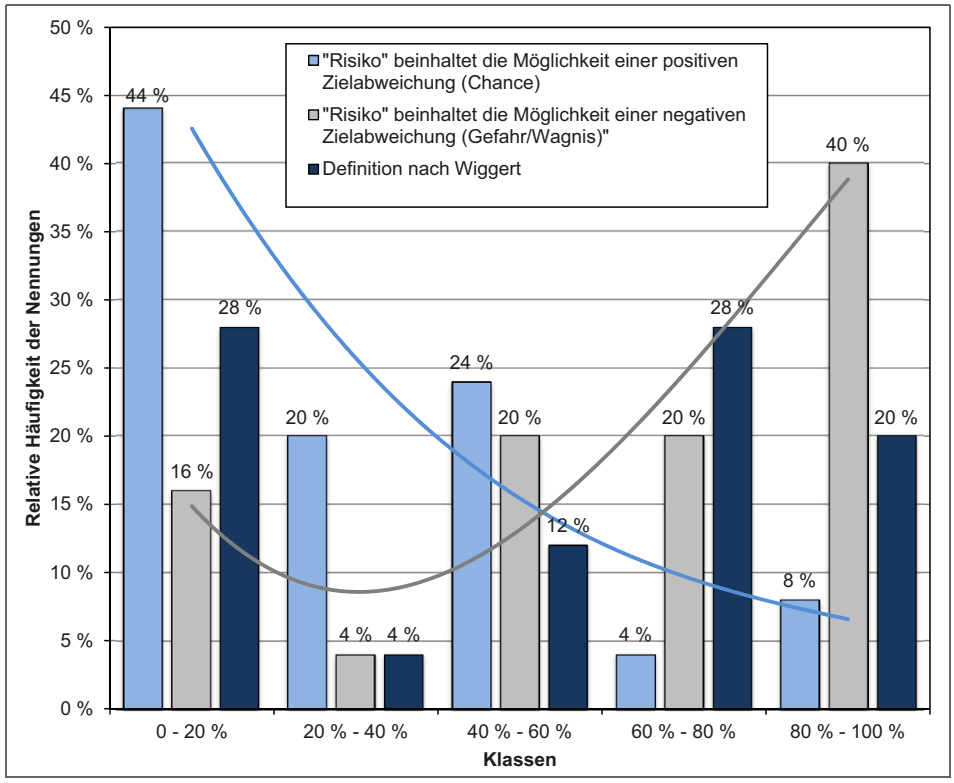


Abb. 2-9 Chance-Gefahr/Wagnis-Auffassung des Risikobegriffs[63)]

Werden die quantitativen Antworten der Experten jeweils der Möglichkeit einer positiven (Chance) und einer negativen (Gefahr/Wagnis) Zielabweichung zugeordnet, zeigt sich, dass der Begriff ‚Risiko' zu 34 % ‚Chancen' und zu 66 % ‚Gefahren/Wagnisse' enthält (siehe Abb. 2-10).[64)]

Demgemäß scheint es wenig sinnvoll, den Begriff Chance unter Risiko zu subsumieren, da Risiko in der Praxis eher mit Assoziationen zu negativen Auswirkungen behaftet ist.

63) Vgl. Alber (2013), S. 127

64) Es wurden dabei die mit Schiebereglern angegebenen Prozentwerte der Experten für den Gefahren- und Chancenanteil des Risikobegriffs gemittelt und auf eine Summe von 100 % normiert. Eine direkte Herleitung dieser Ergebnisse aus Abb. 2-9 ist nicht möglich.

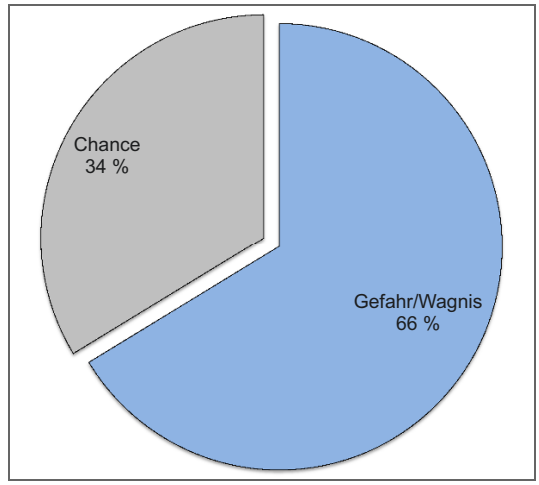


Abb. 2-10 Chance-Gefahr/Wagnis-Verteilung des Risikobegriffs[65)]

2.1.5 Normung

Ein Vergleich der Begriffsdefinitionen in unterschiedlichen Normenwerken zeigt, dass auch innerhalb dieser keine einheitliche Definition des Risikobegriffs vorherrscht.

In der ÖNORM B 1801-1:2015 wird der Begriff des Risikos wie folgt definiert:

„Unwägbarkeiten und Unsicherheiten bei Planungen, Ermittlungen und Prognosen“[66)]

Die ÖNORM ISO 31000:2010 definiert ein Risiko als „Auswirkung von Unsicherheit auf Ziele“. Diese Definition enthält weiters noch 5 Anmerkungen:

„ANMERKUNG 1 Eine Auswirkung stellt eine Abweichung von Erwartungen dar – in positiver und/oder negativer Hinsicht.

ANMERKUNG 2 Die Ziele können verschiedene Aspekte umfassen (zB Finanzen, Gesundheit und Sicherheit sowie Umwelt) und auf verschiedenen Ebenen gelten (zB strategische, organisationsweite, projekt-, produkt- und prozessbezogene Ziele).

ANMERKUNG 3 Risiken werden häufig durch Bezugnahme auf potenzielle Ereignisse (2.17) und Auswirkungen (2.18) oder eine Kombination davon charakterisiert.

ANMERKUNG 4 Risiken werden häufig mittels der Auswirkungen eines Ereignisses (einschließlich von Entwicklungen) in Verbindung mit der Wahrscheinlichkeit (2.19) seines Eintretens beschrieben.

ANMERKUNG 5 Unsicherheit ist der Zustand, der sich aus dem gänzlichen oder teilweisen Fehlen von Informationen, Verständnis oder Wissen über ein Ereignis, seine Auswirkung oder seine Wahrscheinlichkeit ergibt.“[67)]

Die Definition des Risikobegriffs nach der ONR 49000:2014 wurde bereits unter Abschnitt 2.1.3 angeführt.

65) Vgl. Alber (2013), S. 128
66) ÖNORM B 1801-1:2015, S. 4
67) ÖNORM ISO 31000:2010, S. 6

In der ÖNORM S 2410:2010 wiederum wird eine klare Trennung zwischen Risiken und Chancen vorgenommen. Unter ‚Risiko' wird eine negative Auswirkung von Unsicherheit auf Ziele und unter ‚Chance' eine positive Auswirkung von Unsicherheit auf Ziele verstanden. Wahrscheinlichkeiten werden dabei entweder ermittelt[68] oder geschätzt.[69]

2.1.6 Verwendung der Begriffe Chance und Risiko in diesem Buch

Die Begriffe Risiko und Chance sind keineswegs eindeutig definiert, wie den angeführten Ansätzen und Kommentaren aus der Literatur zu entnehmen ist. Im Folgenden findet sich deshalb eine klare begriffliche Abgrenzung und Erläuterung der Bedeutung für die Verwendung dieser Begriffe im vorliegenden Buch.

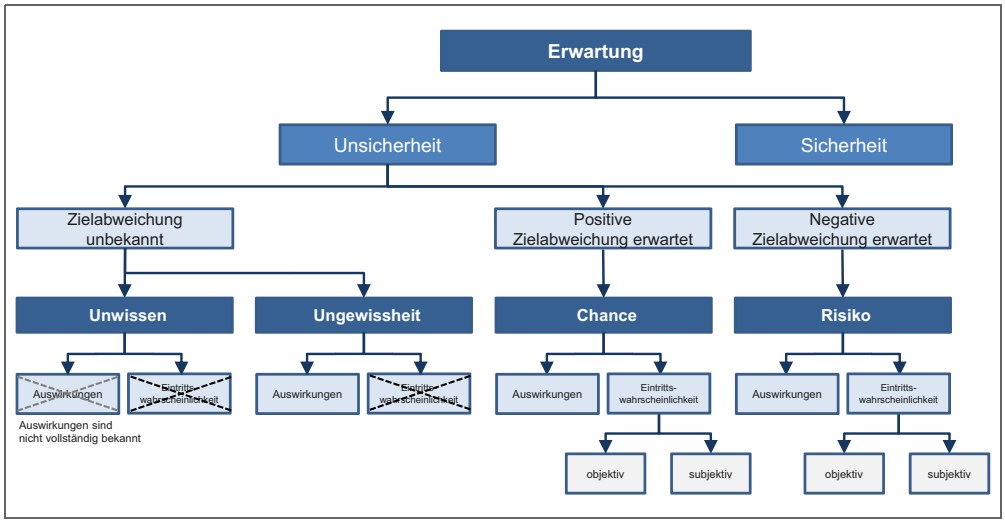


Abb. 2-11 Mögliche Erwartungsstruktur – Messbarkeit der Unsicherheit

In Abb. 2-11 erfolgt eine Differenzierung der möglichen Erwartungsstruktur in Unsicherheit und Sicherheit. Sicherheit liegt im Allgemeinen nicht vor, da dies einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 100 % entsprechen würde. Im Falle von Unsicherheit wird hinsichtlich der Ausprägung der Zielabweichung unterschieden. Ist mit negativen Zielabweichungen (Schaden) zu rechnen, spricht man in weiterer Folge von Risiko, wenn sowohl die Auswirkungen als auch die Eintrittswahrscheinlichkeiten objektiv bekannt (wenn eine ausreichend große Datenbasis vorliegt) oder subjektiv aufgrund von Erfahrungen einschätzbar sind. Diese Auffassung widerspricht der Definition von *Knight*, ist aber angesichts der gegenwärtigen Verwendung des Begriffs Risiko in der Bauwirtschaft und aufgrund der problematischen Datenlage durchaus nachvollziehbar und schlüssig. Umgekehrt wird von Chancen gesprochen, wenn positive Zielabweichungen erwartet werden und die Auswirkungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten (objektiv oder subjektiv) ebenfalls bekannt sind. Risiko und Chance stellen damit horizontal gleichwertige Begriffe dar. Sind weder die Auswirkungen (zumindest nicht vollständig) noch die Eintrittswahr-

[68] objektives, statistisches Verständnis – Erhebung der relativen Häufigkeit zukünftiger Ereignisse oder Entwicklungen – Vgl. ÖNORM S 2410:2010, S. 10 (Diese Norm wurde am 01.05.2015 zurückgezogen.)

[69] Vgl. ebd., S. 5 und 9

scheinlichkeiten (z.B. die möglichen Zielabweichungen – positiv oder negativ) bekannt, liegt Unwissen vor. Von Ungewissheit wird dann gesprochen, wenn infolge einer unbekannten Zielabweichung zwar mögliche Auswirkungen bekannt sind, deren Eintrittswahrscheinlichkeit jedoch nicht quantifiziert werden kann.

Zusätzlich ist noch die Kategorie der ‚unbekannten Unbekannten' zu erwähnen. Es handelt sich dabei um Ereignisse, deren Eintreten sowie die damit verbundenen Auswirkungen nicht vorhergesehen werden können. Solche ‚schwarzen Schwäne'[70] werden im Zuge dieser Arbeit nicht behandelt.

Begriffliche Verwendung in Alltagssituationen – Beispiel

Angenommen man fliegt zu einer Konferenz in einem anderen Land und hatte vor dem Abflug nicht mehr die Zeit, sich den aktuellen Wetterbericht der Region anzusehen. Es liegen also keinerlei Hinweise für die Eintrittswahrscheinlichkeit z.B. eines möglichen Regenereignisses vor. Die Auswirkungen sind aber durchaus bekannt (hat man keinen Schirm mit, wird man nass). In diesem Fall würde man unter Ungewissheit handeln. Unwissen würde z.B. bei vielen Europäern bei einem Hurrikan vorliegen, da hier die Auswirkungen nicht oder zumindest nicht vollständig bekannt wären, sofern nicht bereits entsprechende Erfahrungen mit einem solchen Ereignis gemacht wurden.

Hat man sich den Wetterbericht angesehen und wurde dabei die Wahrscheinlichkeit für Regen mit 70 % angegeben, hat man sowohl Informationen über die Eintrittswahrscheinlichkeit als auch über die Auswirkungen. Hat man keinen Schirm mit, hat man das Risiko nass zu werden (und dieses Risiko ist mit 70 % recht hoch) und die Chance (mit 30 % eher gering) trockenen Fußes zur Konferenz zu kommen.

Begriffliche Verwendung im Tiefbau – Beispiel

Es soll ein Aushub für den Keller eines Gebäudes hergestellt werden. Liegt kein Bodengutachten vor und wurden keine Erkundungen durchgeführt, handelt man in der Regel unter Ungewissheit. Die Eintrittswahrscheinlichkeit, dass man z.B. auf schweren Fels trifft ist nicht bekannt, die Auswirkungen mit einem erhöhten Aufwand für das Lösen sind aber durchaus bekannt. Würde man im Zuge der Arbeiten auf die Überreste einer alten römischen Siedlung treffen (und es lagen keinerlei Anzeichen für einen solchen Fund vor; keine Aufzeichnungen über Römerbewegungen in diesem Gebiet), hat man unter Unwissen gehandelt, da weder die Eintrittswahrscheinlichkeit noch die Auswirkungen eines solchen Fundes vollständig bekannt sind.

Liegt ein Bodengutachten vor, in dem die Anteile der Bodenklassen angegeben werden, oder kann auf Erfahrungen bei angrenzenden Bauvorhaben zurückgegriffen werden, sind die Eintrittswahrscheinlichkeit (zumindest subjektiv) und auch die Auswirkungen einer Verschiebung der Anteile zwischen den Bodenklassen bekannt. Aufgrund des Bodengutachtens bzw. der Erfahrungen können die tatsächlichen Verhältnisse eingeschätzt und je nach erwarteter Zielabweichung die entsprechenden Chancen und Risiken beurteilt werden.

Zusammenfassung

Der Risikobegriff ist nicht eindeutig definiert und wird in unterschiedlichen Disziplinen (aber auch innerhalb von selben Disziplinen) abweichend aufgefasst und verwendet. Da eine globale Begriffsdefinition in naher Zukunft nicht absehbar ist, wurde der Risikobegriff und verwandte Termini für die Bauwirtschaft unter der Gesamtheit der Erwartung

[70] Extrem unwahrscheinliche Ereignisse werden von *Taleb* als ‚schwarze Schwäne' (‚black Swans') bezeichnet. Er spielt auf die Tatsache an, dass allgemein vermutet wurde, dass alle Schwäne weiß wären, bis in Australien auch schwarze Schwäne entdeckt wurden. Vgl. Taleb (2007), S. XVIIff.

eingeordnet und schematisch dargestellt. Zum Vorschein tritt, dass Chance und Risiko aufgrund ihrer unterschiedlichen Konnotationen begrifflich getrennt werden sollten: Während Risiken in der Praxis eher mit negativen Zielabweichungen assoziiert werden, bezieht sich die Chance auf eine positive Erwartungshaltung. Es handelt sich dabei also um horizontal gleichwertige Begriffe. Zudem ist anzumerken, dass auch bei einer subjektiven Einschätzung von Wahrscheinlichkeiten (z.B. aufgrund schlechter Datenlage) die Verwendung des Begriffs Risiko als legitim gilt. Gerade in der Bauwirtschaft und auch bei baubetrieblichen Betrachtungen muss häufig auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Diese Einschätzungen fließen in weiterer Folge in Kalkulationen, Bauzeitermittlungen, Verfahrensentscheidungen etc. ein und werden somit integraler Bestandteil der baubetrieblichen, bauwirtschaftlichen und vertraglichen Abwicklung von Bauprojekten.

Für die vorliegende Arbeit werden die beiden Begriffe Risiko und Chance folgendermaßen definiert (siehe dazu auch Abb. 2-11):

Risiko ist eine Erwartungshaltung unter Unsicherheit, bei der mit einer negativen Zielabweichung gerechnet wird und die Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit (objektiv oder auch subjektiv) bekannt sind.

Chance ist eine Erwartungshaltung unter Unsicherheit, bei der mit einer positiven Zielabweichung gerechnet wird und die Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit (objektiv oder auch subjektiv) bekannt sind.

2.1.7 Bezugsbasis

Die Erwartung einer positiven oder negativen Zielabweichung hängt wesentlich von der Bezugsbasis ab (siehe Abb. 2-12). Je nachdem ob die Basis beispielsweise für einen Aufwandswert AW [Std/MEH] höher oder niedriger angesetzt wird, desto höher oder niedriger wird die Wahrscheinlichkeit sein, dass der tatsächliche Aufwandswert unter der gesetzten Basis liegt.

Liegt z.B. ein Histogramm des zu erwartenden Aufwandswerts für die Bewehrungsarbeiten vor, kann der Kalkulation der Median als Basis zugrunde gelegt werden (siehe Abb. 2-12 – oben). Damit ist die Wahrscheinlichkeit einer Unterschreitung sowie einer Überschreitung des gewählten Aufwandswerts gleich groß (50 %). Die Möglichkeit, dass ein Risiko in Form eines höheren Aufwandswerts schlagend wird, ist gleich groß wie die Chance einen niedrigeren Aufwandswert in der Ausführung zu generieren. Wird die Basis jedoch höher als der Median angenommen (siehe Abb. 2-12 – links unten), verschiebt sich das Verhältnis zwischen Chance und Risiko zugunsten einer positiven Zielabweichung. Die Chance einen niedrigeren Aufwandswert zu erzielen ist bei Weitem größer als das Risiko eines höheren Aufwandswerts. Umgekehrt wird das Risiko erhöht, wenn die Basis des Aufwandswerts niedriger als der Median angesetzt wird (siehe Abb. 2-12 – rechts unten). Die Chance, dass in der tatsächlichen Ausführung ein niedrigerer Aufwandswert als die ohnedies schon niedrig angesetzte Basis erzielt wird, ist entsprechend gering. In welchem Verhältnis Chancen und Risiken zueinander stehen, hängt von der Risikobereitschaft des Unternehmens sowie von strategischen Überlegungen ab. In der Praxis sind die AN den Risiken meist näher als den Chancen, da sie aufgrund der Konkurrenz die Basis eher niedrig ansetzen müssen.[71)]

[71)] Vgl. Kummer/Hofstadler (2013), S. 180

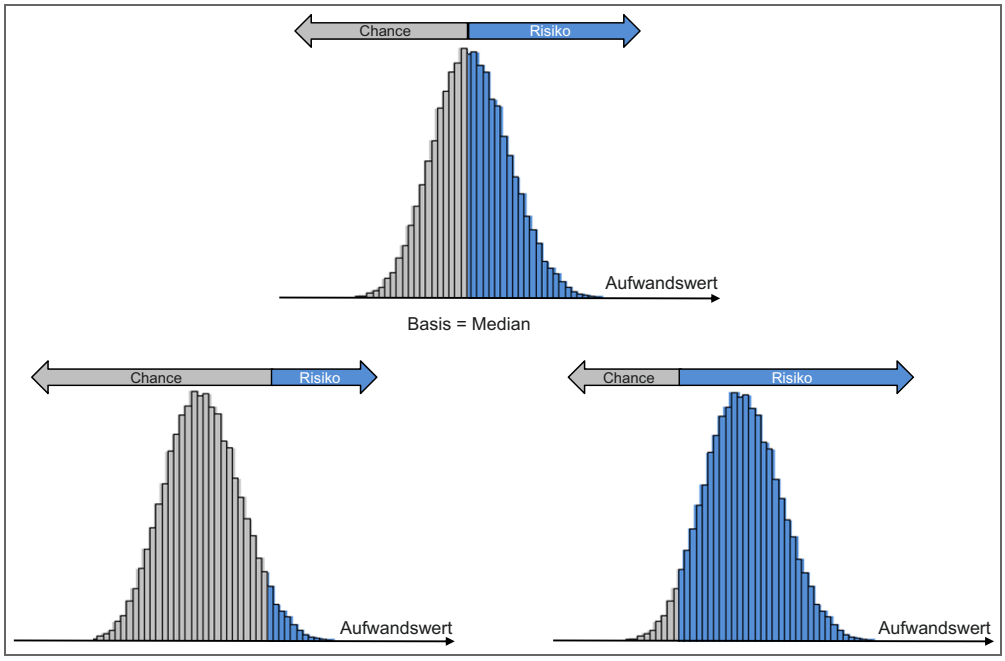


Abb. 2-12 Darstellung von Chancen und Risiken in Abhängigkeit der gewählten Basis[72)]

Diese Thematik hinsichtlich der Auswahl der Basis wurde bereits von *Schubert* aufgegriffen und anhand eines Beispiels für die Aushubleistungen veranschaulicht.[73)]

Um das Verständnis des Risikos, welches von der jeweiligen Basis abhängt, auch auf andere Kenngrößen auszuweiten, dient Abb. 2-13. Auf der linken Seite sind Kennwerte aufgetragen, die im Idealfall einen ‚großen' Zahlenwert aufweisen (wie z.B. Leistung oder Produktivität). Umgekehrt ist rechts die Situation für jene Kennzahlen dargestellt, die bei ‚niedrigen' Zahlenwerten als günstig für den Verlauf eines Projekts erachtet werden. Dies können beispielsweise Kosten, Preise oder Aufwandswerte sein. Je niedriger solche Werte angesetzt werden, desto höher ist in der Regel auch das eingegangene Risiko eines Bieters bzw. Auftragnehmers.

Werden nur Idealwerte angesetzt, ist keine Chance mehr vorhanden und das bestmögliche Ergebnis bleibt eine Situation, bei der kein Gewinn und kein Verlust realisiert werden. Dies kann in keinem Fall im Interesse eines Unternehmens liegen, da es völlig dem Ertragsziel widerspricht.

72) Kummer/Hofstadler (2013), S. 180
73) Vgl. Schubert (1971), S. 10

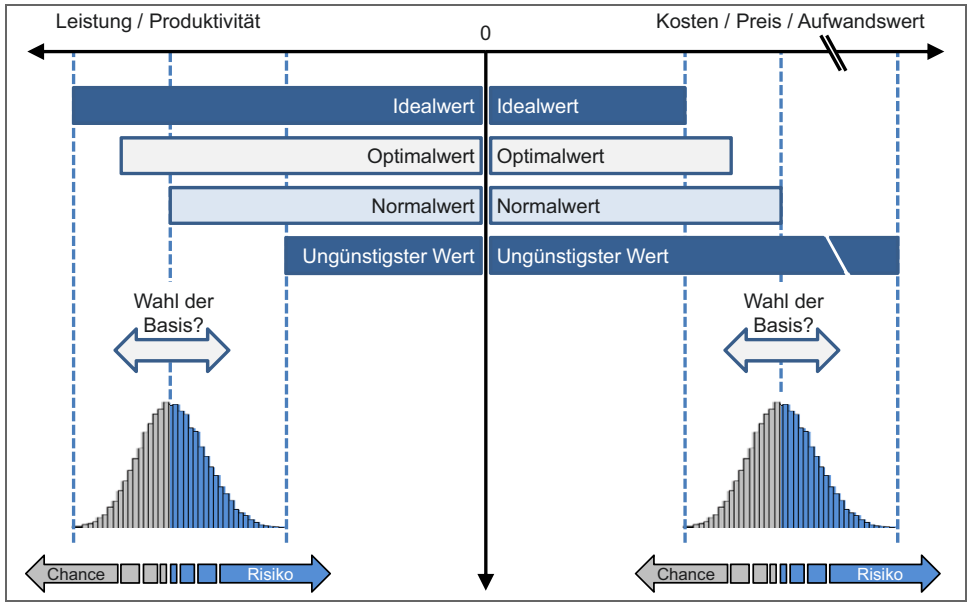


Abb. 2-13 Darstellung von Chancen und Risiken in Abhängigkeit der gewählten Basis[74)]

Auch für die Gewährung von Nachlässen oder den Ansatz von Zuschlägen ist es für den AN wesentlich, sein Kostenhistogramm zu kennen. Ein Nachlass von z.B. 10 % wirkt sich je nach Form des Histogramms unterschiedlich auf das Chancen-Risikoverhältnis aus. Bei Histogrammen mit einer sehr geringen Spannweite kann sich ein zu hoher Nachlass zu einem nicht mehr tragbaren Risiko entwickeln, da die Chance, die Leistung in der Ausführung noch günstiger herstellen zu können, rapide abnimmt. Bei Histogrammen mit geringer Spannweite haben demnach prozentuelle Nachlässe (bezogen auf den Preis) einen höheren Einfluss auf das Chancen-Risikoverhältnis als dies bei Verteilungen mit großer Spannweite der Fall ist. Ohne die Kenntnis der Verteilung kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob mit einem Nachlass das Risiko noch tragbar ist oder nicht bzw. ob das neue Chancen-Risikoverhältnis der Chancen-Risikopolitik des Unternehmens entspricht.

Wird ein Chancen-Risikoverhältnis vorgegeben, kann umgekehrt über eine Rückrechnung der maximal vertretbare Nachlass ermittelt werden. Möchte der AN beispielsweise für sein Angebot maximal eine Standardabweichung vom Mittelwert abrücken, kann der bis zu diesem spezifischen Chancen-Risikoverhältnis zulässige Nachlass erhoben werden.

2.1.8 Wagnis

Unter Wagnis wird die Gefahr eines Verlustes oder einer Fehlentscheidung verstanden. Das allgemeine Unternehmerwagnis ist beispielsweise bei jeder gewerblichen Tätigkeit vorhanden und wird bei der Kostenermittlung durch einen prozentuellen Aufschlag (Wagniszuschlag) auf die Kosten der Leistungserbringung aufgeschlagen. Es soll jene Kosten abdecken, die für den Bauunternehmer nicht vorhersehbar waren.[75)]

[74)] In Anlehnung an Schubert (1971), S. 11
Zum Chancen-Risikoverhältnis in Bezug auf das Zielniveau vgl. Čadež (1998), S. 55f.

[75)] Vgl. Oberndorfer/Jodl et al. (2001), S. 49 und 154

Dies bedeutet, dass mit dem globalen Wagniszuschlag jene zusätzlichen Kosten abgedeckt werden sollen, die sich aus Ungewissheit und Unwissen ergeben (siehe Abb. 2-14). Dieser Zuschlag kann jedoch bei genauerer Betrachtung nur einen Teil dieser zusätzlichen, mit Unsicherheiten behafteten Kosten abdecken (strichlierte Darstellung in Abb. 2-14).

Je mehr Informationen über die Umstände der Leistungserbringung, das Umfeld, die geologischen Gegebenheiten, den Auftraggeber, die Stakeholder, die Subunternehmer, die eingesetzten Bauverfahren und Baustoffe vorherrschen, desto zutreffender wird der Wagniszuschlag ausfallen.

Zu differenzieren ist ebenfalls, ob der Wagniszuschlag nur lokal für ein einzelnes Projekt angesetzt wird oder global für ein Portfolio, welches sich aus Projekten mit unterschiedlichen Projektvolumina und Chancen-Risikoverhältnissen zusammensetzt.

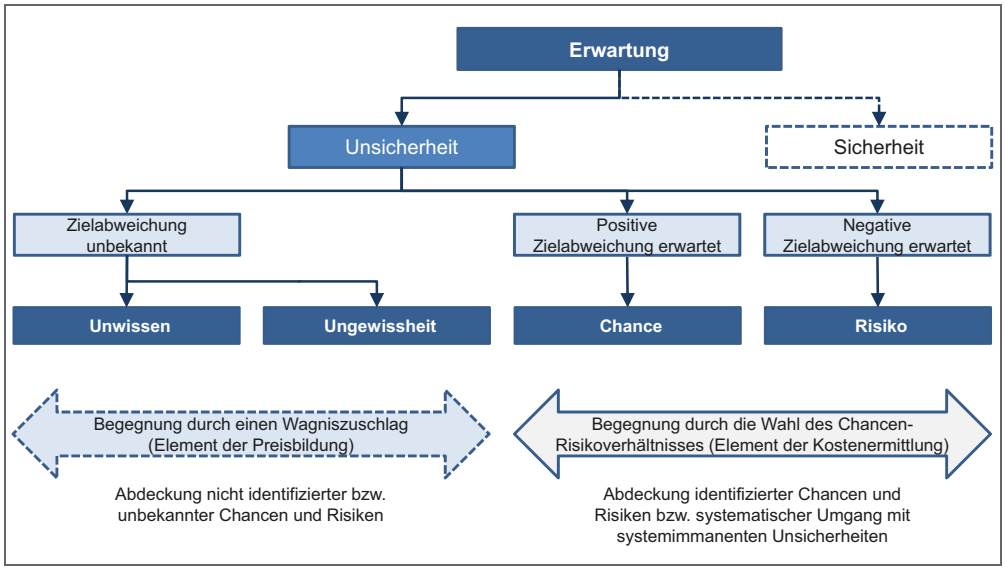


Abb. 2-14 Differenzierung zwischen globalem Wagniszuschlag und Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses

Dieser globale Wagniszuschlag ist von den kalkulatorischen Annahmen, die im Rahmen des systematischen Umgangs mit Unsicherheiten auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen (Projektebene, Teilprojekte, Leistungsbereiche, Positionen etc.) zu wählen sind, abzugrenzen. Bei diesen handelt es sich um identifizierte Chancen und/oder Risiken bzw. systemimmanente Unsicherheiten. Je genauer das Projekt bzw. die Leistungen beschrieben sind, desto genauer können die Bieter ihre Annahmen treffen. Trotzdem enthalten diese kalkulatorischen Ansätze Unsicherheiten, die mittels Bandbreitenbetrachtungen in den Berechnungen berücksichtigt werden. Erfolgt die systematische Berücksichtigung dieser Unsicherheiten, kann durch Angabe des Chancen-Risikoverhältnisses ein spezifischer Wert innerhalb der ermittelten Bandbreite (Entscheidungsbereich) gewählt werden. Die spezifischen Einflüsse aus dem Produktionssystem werden damit direkt und verursachungsgerecht berücksichtigt.

Indirekt beeinflusst die Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses jedoch auch wiederum die Höhe des Wagniszuschlags. Wird ein günstiges Chancen-Risikoverhältnis (hohe Chancen und geringe Risiken – siehe Abb. 2-12 – links unten) gewählt, können nicht realisierte Risiken wiederum zur Abdeckung von zusätzlichen Kosten aus Ungewissheit und

Unwissen herangezogen werden. Überwiegt beim gewählten Chancen-Risikoverhältnis allerdings das Risiko (siehe Abb. 2-12 – rechts unten), sinkt das Potenzial, zusätzliche Kosten im Bereich des Wagnisses aufgrund von nicht eingetretenen Risiken abdecken zu können.

Der Wagniszuschlag ist als Element der Preisbildung aufzufassen während das Verhältnis von Chancen und Risiken der Kostenermittlung zuzuordnen ist.

2.2 Aussagen über die Zukunft

Je nach Untersuchungstiefe und Betrachtungshorizont (kurz-, mittel- oder langfristig) werden Aussagen über die Zukunft unterschiedlich bezeichnet und interpretiert. Eine Auflistung verschiedener – von der Zukunft handelnder – Begriffe sind in Abb. 2-15 gemeinsam mit einer demonstrativen Aufzählung entsprechender Kriterien sowie Beispielen dargestellt.

Bei Aussagen die die Zukunft betreffen wird zunächst in kurz- und mittelfristige sowie in langfristige Betrachtungshorizonte unterschieden. Bei Prophezeiungen, Utopien und Visionen handelt es sich um langfristige Aussagen, deren Inhalte von Subjektivität geprägt sind und unterschiedliche Reaktionen bei den Empfängern der Aussagen auslösen sollen. Der Terminus der ‚Prophezeiung' erinnert stark an antike Orakel, die ein zukünftiges Ereignis voraussagten, welches durch gegenwärtige Tätigkeiten nicht beeinflussbar ist.

Trendaussagen, Prognosen und Planungen sind den kurz- und mittelfristigen Aussagen über die Zukunft zuzuordnen. Sie beziehen Entwicklungen und/oder Entscheidungen der Vergangenheit ein und enthalten generell weniger subjektive Elemente als die vorgenannten langfristigen Aussagen. Prognosen stützen ihren Vorhersagegehalt auf gegenwärtige und historische Daten. Prognosen sind keine Planung – dass in der Ausführungsplanung von schönem Wetter ausgegangen wird, verhindert noch nicht, dass es regnet. Eine aktive Gestaltung der Daten bzw. des zukünftigen Handelns ist durch eine Prognose nicht möglich. Allerdings stellt die Prognose ein Werkzeug für die Kosten- und Terminplanung dar – die äußeren Projektumstände können damit naturgemäß nicht beeinflusst bzw. verändert werden. Die Kostenplanung bildet z.B. eine gedankliche Vorbereitung zukünftiger Handlungen, bei der mit steigender Projektdauer eine erhöhte Kostensicherheit bei gleichzeitig vermindertem Handlungsspielraum angegeben werden kann.[76)]

Auf die Ergebnisse bzw. Interpretation einer Prognose kann aber planerisch reagiert werden. Um beim Beispiel mit dem Regen zu bleiben: Wird ein Regenschauer prognostiziert, kann durch die Mitnahme eines Schirms darauf reagiert werden. Durch das Setzen von Maßnahmen ist nicht mehr unausweichlich, dass man nass wird. Prognosen dienen dazu, mögliche Risiken sowie potenzielle Chancen zukünftiger Ereignisse und Abläufe so früh wie möglich zu erkennen, um darauf reagieren zu können.[77)]

[76)] Vgl. Lechner (2010), S. 13

[77)] Vgl. Kummer (2015a), S. 66

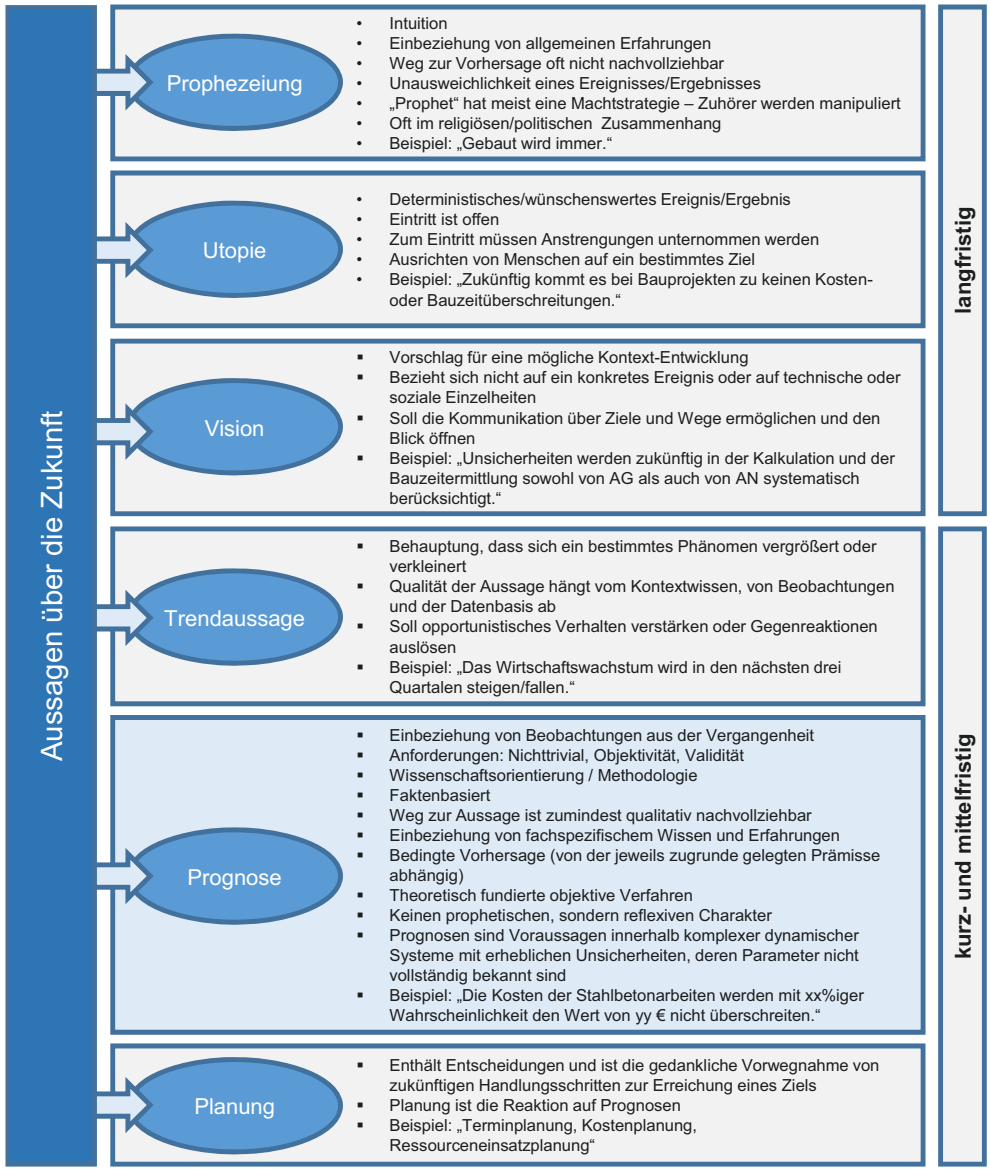


Abb. 2-15 Differenzierung zwischen verschiedenen Stufen und Arten von Aussagen über die Zukunft[78)]

Unsicherheiten bei der Prognose von zukünftigen Ereignissen sind systemimmanent und werden in bestimmten Bereichen auch direkt als Information mitgeliefert. Bei Wettervorhersagen wird beispielsweise versucht, anhand von mathematischen Modellen ein hochgradig komplexes und dynamisches System (Wetter) zu beschreiben und Aussagen über zukünftige Ereignisse zu treffen. Bei Prognosen für Hurrikans wird von den Meteorologen ein ‚Chaoskegel' (‚Cone of Uncertainty') angegeben, der den möglichen Bereich

78) In Anlehnung an Horx Zukunftsinstitut GmbH (2010) und http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/4546/prognose-v11.html. Datum des Zugriffs: 11.11.2016

auf einer Landkarte angibt, in dem ein Hurrikan auf die Küste treffen könnte. Abb. 2-16 zeigt schematisch einen solchen Chaoskegel für den Hurrikan ‚Katrina' vom 26. August 2005 um 17:00 Uhr. In der Mitte des strichliert angedeuteten Kegels ist jeweils die Position des Zentrums des Hurrikans eingezeichnet. Je weiter die Vorhersage in die Zukunft reicht, desto größer wird auch die Streuung der möglichen Orte, an denen der Sturm auf die Küste treffen kann.

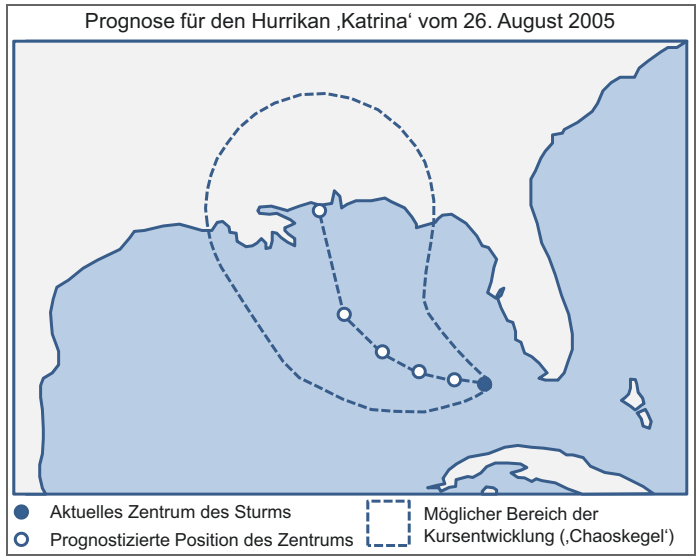


Abb. 2-16 Prognose des Chaoskegels für den Hurrikan ‚Katrina' (26. August 2005; 17:00 Uhr) – mögliche Position des Hurrikanzentrums für die nächsten drei Tage[79)]

Auch für Temperaturvorhersagen über einen Zeitraum von mehreren Tagen ist es mittlerweile üblich, die Bandbreiten der möglichen Temperaturentwicklungen darzustellen und als zusätzliche Information auch grafisch abzubilden.

In Abb. 2-17 ist beispielhaft der 15-Tage-Trend vom 12. Juni 2015 (9:00 Uhr) dargestellt. Auf der Abszisse sind die 15 Tage, für die die Prognose erstellt wurde (12. Juli bis 26 Juli), und auf der Ordinate ist die Temperatur in Grad Celsius aufgetragen. Die Prognose wurde für Wien/Hohe Warte erstellt. Die dunkle Linie im oberen Bildrand (zwischen 30 und 35 °C) und die helle Linie im unteren Bildrand (unter 20 °C) stellen die höchste bzw. tiefste gemessene Temperatur am entsprechenden Tag der letzten 30 Jahre dar. Die nahezu horizontale Trennung des Diagramms in zwei Flächen (etwa bei 26,5 °C) stellt den Mittelwert der gemessenen Temperaturen aus den vergangenen 30 Jahren dar. Weiters ist zu erkennen, dass die Prognose, je weiter sie in die Zukunft reicht, immer größere Streuungen aufweist (angedeutet durch einen ‚Temperaturtrichter'). Für die Prognoseerstellung werden mehrere Modelläufe (Iterationen) durchgeführt. Der Mittelwert aus diesen Simulationsläufen ist als schwarze Linie in Abb. 2-17 eingetragen. Die obere und untere Grenze des eingezeichneten Unsicherheitsbereichs werden durch das 5 %- und das 95 %-Quantil aus den Simulationsläufen gebildet. Das bedeutet z.B., dass am 26. Juli die Temperatur mit 90 %iger Wahrscheinlichkeit zwischen ca. 22 und 36 °C liegen wird. Es besteht außerdem eine mehr als 5 %ige Wahrscheinlichkeit, dass die Temperatur am 26. Juli über dem

[79)] Vgl. National Hurricane Center (Internetquelle: http://www.nhc.noaa.gov/archive/2005/KATRINA_graphics.shtml. Datum des Zugriffs: 12.11.2016)

Maximum der letzten 30 Jahre liegt. Für 18. Juli liegt auch der Mittelwert der Simulationsergebnisse deutlich über dem Maximum der letzten 30 Jahre. Auch die Bandbreite dieser Aussage ist aufgrund des kürzeren Prognosehorizonts (sieben Tage) geringer als für die nachfolgenden Tage.[80)]

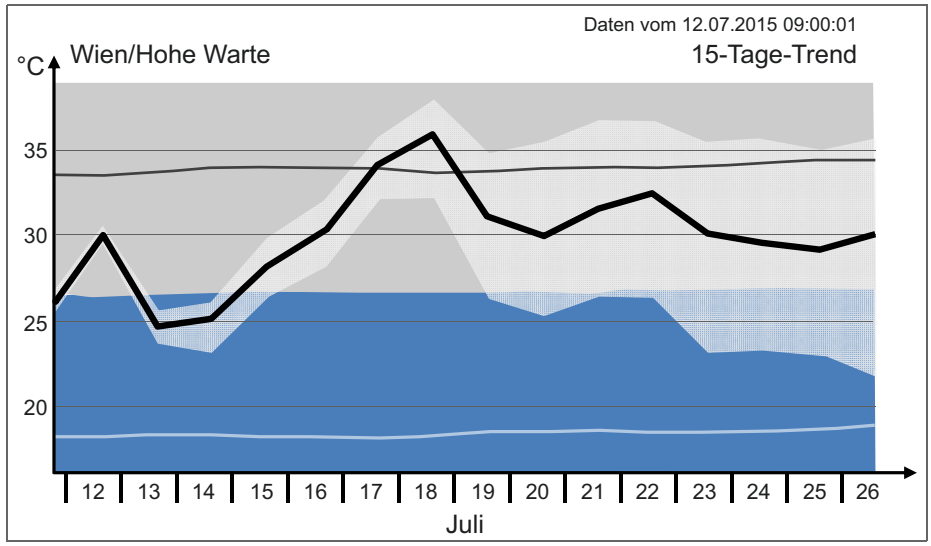


Abb. 2-17 15-Tage-Trend für die Tagestemperatur[81)]

Wie für Wettervorhersagen sollte es auch in der Bauwirtschaft das Ziel sein, Aussagen über zukünftige Entwicklungen eines Systems unter Berücksichtigung von Unsicherheiten zu treffen. Auch hier gilt, je weiter die Ereignisse in der Zukunft liegen (Prognosehorizont) bzw. je früher Entscheidungen über unsichere Umstände getroffen werden müssen, desto größer wird die Spannweite möglicher Ergebnisse sein. Dies liegt in der Natur von Systemen, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Hier deterministische Berechnungen durchzuführen täuscht eine nicht vorhandene Genauigkeit vor, die es in frühen Projektphasen und auch noch während der Ausführung in der Regel gar nicht geben kann.

Kosten- und Bauzeitprognosen bzw. -berechnungen und die dafür zugrunde liegenden Modelle bilden lediglich eine Approximation der Wirklichkeit, bei der die Ergebnisse nur so gut sein können, wie die getroffenen Annahmen und die verwendeten Grunddaten. Das Modell selbst besitzt keine Intelligenz, es bedarf daher in jedem Fall der kritischen Beurteilung und Validierung durch Spezialisten.[82)]

Zukunftsrechnungen bzw. Kalkulationen sind dadurch geprägt, dass sie zukünftige Ereignisse kostenmäßig vorhersagen sollen. Damit sind sie geprägt von Unsicherheiten sowie von unvorhergesehenen und unvorhersehbaren Ereignissen. Es sind damit immer gewisse Abweichungen von den Kalkulationen zu erwarten, auch bei noch so genauer Planung.

Sollen Informationen aus abgeschlossenen Projekten gewonnen werden, ist eine sogenannte Wissensarbeit erforderlich und eine entsprechende Dokumentation durchzuführen. Wird dies nicht berücksichtigt, werden die Unsicherheiten für die Kalkulation

80) Vgl. Wadsak (2016) – Antwort auf eine persönliche Anfrage vom 31.03.2016

81) Vgl. http://scoop.me/hashtags/orf. Datum des Zugriffs: 31.08.2016

82) Vgl. Scherer (2010), S. 23

zukünftiger Projekte nicht verringert und die Zukunftsrechnung wird mit Werten durchgeführt die ‚schon immer so angesetzt wurden'. Wie soll aber eine Aussage über das ‚Morgen' getroffen werden, wenn nicht einmal bekannt ist was ‚gestern' passiert ist?

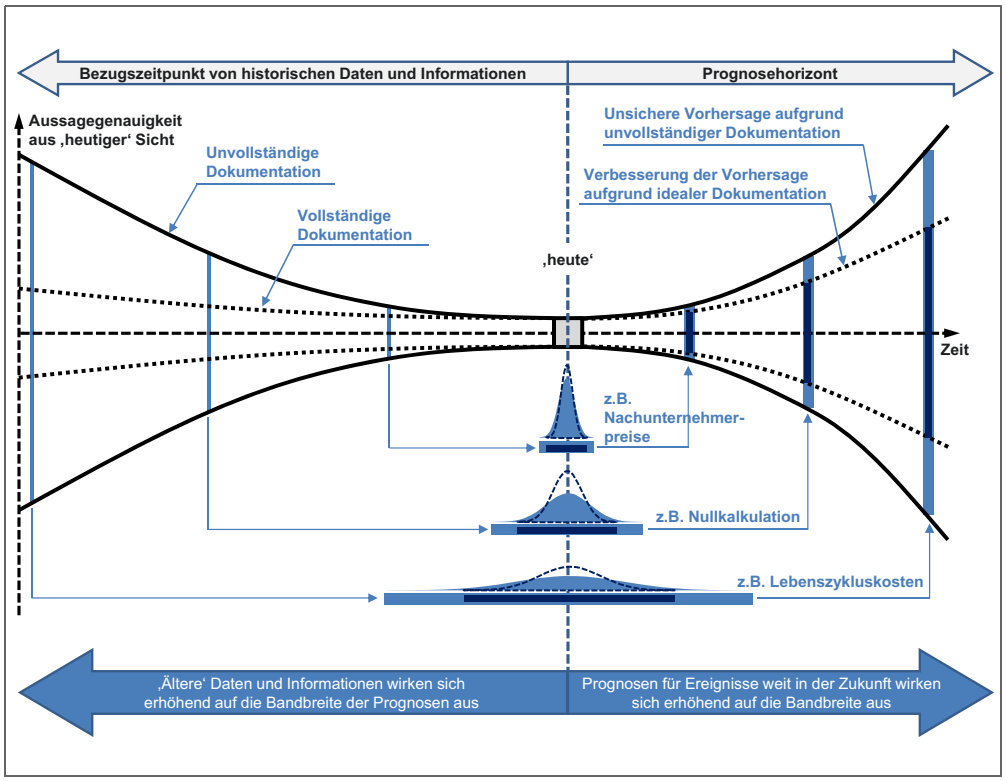


Abb. 2-18 Prognosen auf Basis von vollständiger und unvollständiger Dokumentation in Abhängigkeit der Bezugszeitpunkte der Daten und Informationen sowie der Prognosehorizonte

Eine Verbesserung zukünftiger Aussagen auf Basis von abgeschlossenen Projekten ist durch eine systematische Dokumentation und Nachbetrachtung möglich. Für die Kalkulation können dadurch Bandbreiten eingeengt oder zumindest besser abgeschätzt werden – ein gewisser Grad an Unsicherheiten bleibt jedoch immer bestehen.

Blecken gibt dazu an, dass die Annahme eines deterministischen Produktionsgeschehens das Produktionsmodell zu sehr vereinfacht und die Prognosequalität eines deterministischen Modells nur bedingt gültig ist.[83)]

Je älter die vorhandenen Daten und Informationen sind und je unvollständiger die Dokumentation durchgeführt wurde, desto mehr erhöhen sich die Bandbreiten der Prognose. Ebenso vergrößert sich die Bandbreite von Prognosen, wenn der Prognosehorizont sehr weit in der Zukunft liegt (siehe Abb. 2-18).

83) Vgl. Blecken (1976), S. 208

2.3 Wesentliche Teilbereiche der Mathematik

Modernes Chancen- und Risikomanagement bedient sich der Methoden, Theorien und Lösungsansätze unterschiedlicher Teilbereiche der Mathematik. Auf jene Bereiche, die für das Verständnis der praktischen Anwendung erforderlich sind, wird in weiterer Folge detaillierter eingegangen. Abb. 2-19 gibt einen Überblick der vorgestellten Teilbereiche.

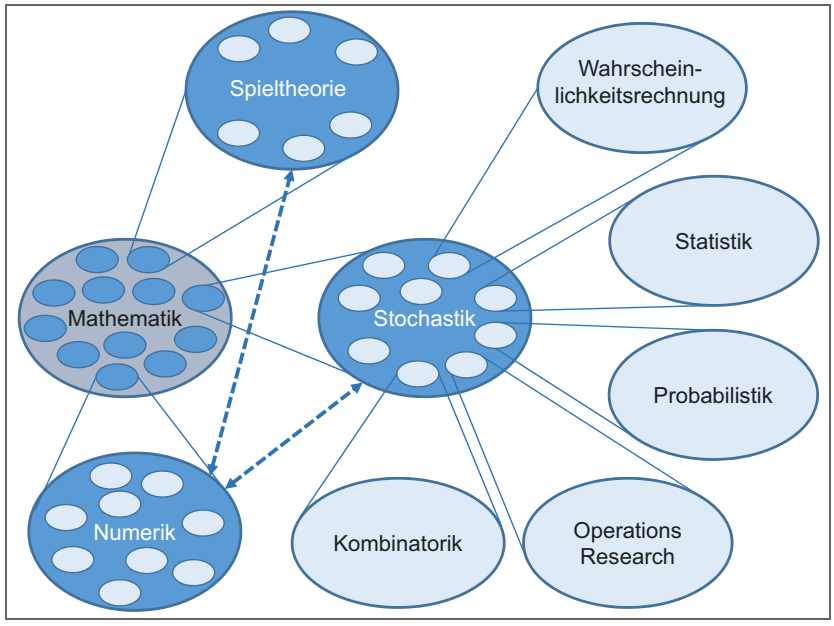


Abb. 2-19 Wesentliche Teilbereiche der Mathematik[84)]

2.3.1 Stochastik

Die Stochastik ist die Lehre der Wahrscheinlichkeitstheorie.[85)] Die Wahrscheinlichkeitstheorie ist ein Teilbereich der Mathematik (siehe Abb. 2-19), der sich mit den formalen Eigenschaften von Wahrscheinlichkeitsmaßen, Wahrscheinlichkeitsräumen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen befasst.[86)] Sie kann auch als ‚Mathematik des Zufalls' beschrieben werden.[87)]

2.3.1.1 Wahrscheinlichkeitsrechnung

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung ist ein Teilgebiet der Stochastik das sich mit der Formalisierung und Modellierung von zufallsbedingten Vorgängen beschäftigt. Für die Definition der Wahrscheinlichkeit gibt es nachfolgende Ansätze:[88)]

84) Vgl. Kummer (2015a), S. 113
85) Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 174
86) Vgl. ebd., S. 196
87) Vgl. Henze (2012), S. 1
88) Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 193ff.

Wahrscheinlichkeit nach *Laplace*

Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses ist die Anzahl der günstigen Fälle dividiert durch die Anzahl aller möglichen Fälle. Diese Definition ist nur für endliche Verteilungen anwendbar, da die Wahrscheinlichkeit für unendliche Trägermengen zu einem nicht definierten Ausdruck führt. Die Wahrscheinlichkeit nach *Laplace* ist ein Sonderfall des Kolmogoroff'schen Axiomensystems. Zufall nach *Laplace* ergibt sich aus Mangel an Wissen bzw. aus Informationsmangel.[89)]

Wahrscheinlichkeit nach *Kolmogoroff*

Kolmogoroff definierte die folgenden Axiome:
1. Die Wahrscheinlichkeit ist nicht negativ.
2. Die Wahrscheinlichkeit ist additiv. Schließen sich zwei Ereignisse gegenseitig aus, ist die Wahrscheinlichkeit, dass entweder das eine oder das andere Ereignis eintritt gleich der Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten.
3. Die Wahrscheinlichkeit ist normiert. D.h. die Summe der Wahrscheinlichkeit möglicher Ereignisse ist 1.

Statistische Definition der Wahrscheinlichkeit

Diese Definition greift auf die relative Häufigkeit zurück, die man beobachtet, wenn man ein sich wiederholendes Zufallsexperiment (z.B. Münzwurf) stochastisch unabhängig durchführt. Die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis ist damit der Grenzwert (Limes) der relativen Häufigkeit für eine unendliche Wiederholung des Zufallsexperiments. Die statistische Definition der Wahrscheinlichkeit ist ebenfalls ein Sonderfall des Kolmogoroff'schen Axiomensystems.

2.3.1.2 Statistik

„Statistik ist die Wissenschaft, die Regeln und Verfahren für die Erhebung, Beschreibung, Analyse und Interpretation von numerischen Daten entwickelt."[90)]
Es wird dabei versucht, auf Basis einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit zu schließen (im Falle der schließenden Statistik).

Die Statistik wird unterteilt in:
- Beschreibende Statistik[91)]
- Schließende Statistik[92)]
- Univariate Statistik
- Multivariate Statistik

Die beschreibende Statistik hat zum Ziel, eine bestimmte Gruppe (Stichprobe) auf ihre Merkmale hin zu beschreiben und zu analysieren, ohne Schlüsse auf eine andere Gruppe oder auf die Grundgesamtheit zu ziehen. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse werden diese oft in Grafiken oder Diagramme überführt.[93)]

---

89) In diesem Zusammenhang ist vom Laplace'schen Dämon die rede. Es handelt sich dabei nach einer These von *Laplace* um eine Intelligenz, die den Bewegungszustand jedes einzelnen Atoms und Moleküls zu jedem Zeitpunkt kennt und dadurch in der Lage ist, die Auswirkungen der Wechselwirkungen und in weiterer Folge die Zukunft deterministisch zu berechnen.

90) Czado/Schmidt (2011), S. 1

91) Auch deskriptive oder deduktive Statistik genannt.

92) Auch induktive Statistik genannt.

93) Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 22

Bei der schließenden Statistik wird versucht aufgrund von Informationen aus einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit zu schließen.[94)]

Die univariate Statistik beschäftigt sich lediglich mit eindimensionalen Zufallsvariablen. Es gibt also nur ein Merkmal pro statistischer Einheit (z.B. die Größe von befragten Personen).[95)]

Im Rahmen der multivariaten Statistik wird untersucht, ob verschiedene Merkmale der untersuchten statistischen Einheiten miteinander in Beziehung stehen (korrelieren) oder ob sie voneinander unabhängig sind (z.B. die Größe und das Körpergewicht von befragten Personen).[96)]

2.3.1.3 Probabilistik/Probabilismus

Unter dem Einfluss der Naturwissenschaften entstand in der Philosophie des 17. Jh. die Vorstellung, dass alles, was in der Welt geschieht, auch menschliche Handlungen, durch unabänderliche Naturgesetze bestimmt ist.[97)]

Beim Determinismus (von lat. determino: abgrenzen, bestimmen, festlegen) der Philosophie handelt es sich um „die Lehre von der eindeutigen Bestimmtheit allen Geschehens durch Ursachen, aller späteren Ereignisse durch frühere.“[98)]

„Die Newtonschen Gesetze sind deterministisch. Wenn für ein beliebiges System von Körpern alle Zustandsgrößen im Zeitpunkt t_1 bekannt sind, so lassen sich mittels der mechanischen Gesetze alle Zustandsgrößen in einem beliebigen früheren oder späteren Zeitpunkt t_2 berechnen. Daß die Zustandsgrößen niemals vollständig und absolut genau bekannt sein können, wurde lange Zeit als bloße menschliche Unzulänglichkeit bezeichnet. Durch Fortschritt der Meßtechnik hoffte man, die Zustandsgrößen immer genauer bestimmen zu können. Man nahm an, es bestehe eine Konvergenz der Meßresultate, die auf eine immer genauere Erfassung der an-sich-seienden Werte hinweise [...]. Von der Voraussetzung her, daß alle Naturgesetze mechanischer Art seien und die Welt eine große ‚Weltmaschine‘ darstelle [...], ergab sich der Gedanke einer vollständigen Determiniertheit der Welt. *Laplace* hat dies durch die Vorstellung einer übermenschlichen Intelligenz[99)] illustriert: ‚Ein Geist, der für einen Augenblick alle Kräfte kennen würde, welche die Natur beleben, und die gegenseitige Lage aller Wesenheiten, aus denen die Welt besteht, müßte, wenn er umfassend genug wäre, um alle diese Daten der mathematischen Analyse unterwerfen zu können, in derselben Formel die Bewegung der größten Himmelskörper und der leichtesten Atome begreifen, nichts wäre ungewiß für ihn, und Zukunft und Vergangenheit läge seinen Augen offen da‘.“[100)]

Bei deterministischen Berechnungen geht man davon aus, dass Ereignisse in der Zukunft eindeutig bestimmt werden können. Unsicherheiten in den Parametern oder im Berechnungsmodell werden nicht berücksichtigt. D.h., dass in die Berechnungen nur deterministische Zahlenwerte einfließen. Wären Systeme in der Natur tatsächlich deterministisch, müssten Ergebnisse mit 100 %iger Wahrscheinlichkeit (also mit Sicherheit) eintreten. Für komplexe Systeme mit zahlreichen Abhängigkeiten – wie die Errichtung eines Bauwerks unter sich

94) Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 83

95) Vgl. ebd., S. 185

96) Vgl. ebd., S. 126f.

97) Vgl. Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 2 (1972), S. 150

98) Brockhaus GmbH (1999b), S. 195

99) auch als ‚Laplace‘scher Dämon‘ bezeichnet

100) Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 2 (1972), S. 155

ändernden Randbedingungen (z.B. Wetter) mit vielen Beteiligten – kann davon ausgegangen werden, dass der Eintritt einer deterministischen Vorhersage einen theoretischen Sonderfall darstellt. Die Erkenntnis, dass Ereignisse nicht mit absoluter Sicherheit vorhergesagt bzw. berechnet werden können, führte zum Probabilismus bzw. zur mathematischen Probabilistik.

In der Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie beschreibt der Probabilismus (von lat. probabilis: annehmbar, wahrscheinlich, glaubhaft[101]) „die Auffassung, dass es keine absolut wahren, sondern nur wahrscheinliche Sätze gibt. – In quantenphysikal. Theorien drückt der P. aus, dass gewisse Ereignisse nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorhersagbar sind.“[102]

„Mit dem Adjektiv ‚probabilistisch‘ bezeichnet man [...] empirische Theorien, die sich wahrscheinlichkeitstheoretischer Konzepte oder statistischer Methoden bedienen. Der probabilistische Charakter einer wissenschaftlichen Theorie kann dabei einerseits mit dem Grad der Glaubwürdigkeit einer subjektiven Überzeugung im Hinblick auf eine vorliegende Datenmenge zusammenhängen, andererseits aber auch mit objektiven Eigenschaften der zu erklärenden Gegenstände oder Prozesse selbst. Probabilistisches Denken hat sich im 19. und frühen 20. Jh. in den Sozial- und Naturwissenschaften auf unterschiedliche Weise stark verbreitet und führte zu grundlegenden Zweifeln am Laplaceschen Determinismus [...]. Dieser Prozeß wird [...] als ‚probabilistische Revolution‘ bezeichnet.“[103]

Voigt[104] sieht die Probabilistik als Teilgebiet der Stochastik auf gleicher Ebene wie die Statistik und die Kombinatorik (siehe Abb. 2-20).

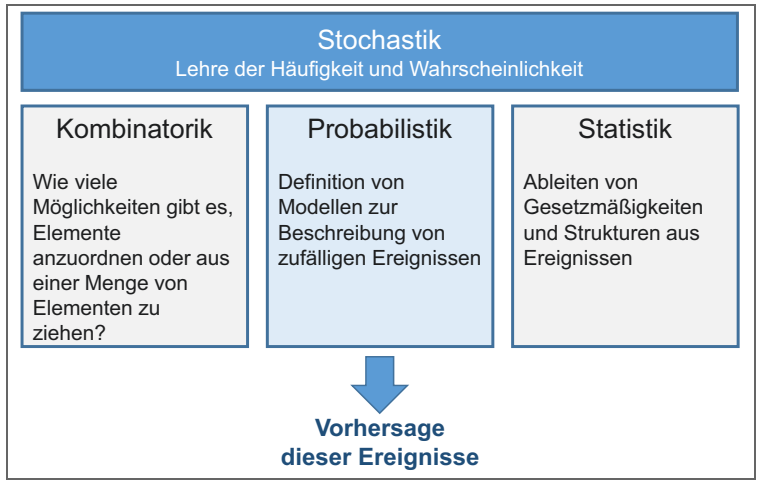


Abb. 2-20 Begriffsdefinition – Stochastik, Kombinatorik, Probabilistik und Statistik[105]

Bei probabilistischen Systemen ist es demnach nicht möglich ein zukünftiges Ereignis eindeutig vorherzusagen. Es kann nur eine Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis (z.B. die Kosten für Stahlbetonarbeiten) angegeben werden.

[101] Vgl. Stowasser et al. (1998), S. 404
[102] Brockhaus GmbH (1999c), S. 196
[103] Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 7 (1989), S. 1389
[104] Vgl. Voigt (2008), Folie 3
[105] Vgl. ebd., Folie 3

Für die Verwendung der Begriffe wird empfohlen, zufällige natürliche Ereignisse oder Prozesse als stochastisch und die mathematische Analyse solcher Prozesse und deren Auswirkungen als probabilistisch zu bezeichnen.[106)]

2.3.1.4 Operations Research

Unter Operations Research (OR) wird allgemein die Entwicklung und der Einsatz quantitativer Modelle und Methoden zur Entscheidungsunterstützung in Unternehmen und Organisationen verstanden. Typische Werkzeuge des OR sind Optimierungen und Simulationen.[107)]

Der mit dem Operations Research oft in Verbindung stehende Begriff ‚Management Science' wird insbesondere in Nordamerika für ‚praktisches Operations Research' verwendet. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Unterstützung von Führungskräften bei Entscheidungen. Dies bezieht sich primär auf die Anwendung formal-mathematischer Methoden und schließt deren Entwicklung aus.[108)]

2.3.1.5 Kombinatorik

Die Kombinatorik ist ebenfalls ein Teilgebiet der Stochastik, in dem u.a. die Anzahl der verschiedenen möglichen Anordnungen der Elemente einer Menge oder die Anzahl von möglichen neuen Mengen, die mit Hilfe der Elemente einer Ausgangsmenge gebildet werden können, untersucht wird.[109)]

Ein einfaches Beispiel zur Kombinatorik ist in Abschnitt 6.2.5.1 zu finden. Dabei wird mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation die mögliche Augensumme von Würfeln ermittelt.

Baupraktische Anwendung findet die Kombinatorik z.B. in der Zusammensetzung unterschiedlicher Bodenklassen für einen Baugrubenaushub, bei dem die Gesamtaushubmenge konstant ist, die Zusammensetzung der Mengenanteile einzelner Bodenklassen sich jedoch ändern kann (siehe auch Abschnitt 6.2.5.2).

In ähnlicher Form ist die Zusammensetzung der Gesamtbewehrungsmenge für Stabstähle unterschiedlicher Durchmesser als eine kombinatorische Aufgabe aufzufassen.

2.3.2 Spieltheorie

Die Spieltheorie wird gleich wie die Stochastik und die Numerik als Teilbereich der Mathematik angesehen. Viele ökonomische Fragestellungen weisen im Hinblick auf strategische Entscheidungen folgende Eigenschaften auf:[110)]

- (a) das Ergebnis von Entscheidungen hängt von mehreren Entscheidungsträgern ab, sodass ein einzelner das Ergebnis nicht unabhängig von der Wahl der anderen bestimmen kann;
- (b) jeder Entscheidungsträger ist sich dieser Interdependenz bewusst;
- (c) jeder Entscheidungsträger geht davon aus, dass alle anderen sich ebenfalls der Interdependenz bewusst sind;
- (d) jeder berücksichtigt bei seinen Entscheidungen (a), (b) und (c).

[106)] Vgl. http://www.businessdictionary.com/definition/probabilistic.html. Datum des Zugriffs: 12.11.2016

[107)] Vgl. Suhl/Mellouli (2013), S. 5

[108)] Vgl. ebd., S. 6

[109)] Vgl. Brockhaus GmbH (1998), S. 423

[110)] Vgl. Holler/Illing (2006), S. 1

Die Spieltheorie bietet ein abstraktes, formales Instrumentarium für die Analyse strategischer Entscheidungssituationen. Sie wird auch als ‚formale Sprache der ökonomischen Theorie' betrachtet.[111)]

2.3.3 Numerik

In der Numerik (numerische Mathematik) geht es in der Regel um die näherungsweise Berechnung von Lösungen.

Die Numerik gilt als ein eigener Fachbereich der Mathematik, auf gleicher Ebene wie die Stochastik (siehe Abb. 2-19). Sie beschäftigt sich mit der Konstruktion und Analyse von Algorithmen für kontinuierliche mathematische Probleme. Hauptanwendung ist die approximative Berechnung von Lösungen mit Hilfe von Computern. Dies geschieht aus zwei möglichen Gründen:[112)]

- Die Größen sind auf dem Papier nicht exakt berechenbar.
- Die Größen sind zwar auf dem Papier exakt bestimmbar, aber die Anwendung erfordert, diese wiederholt und zuverlässig in kurzer Zeit zur Verfügung zu stellen, sodass eine Rechnung von Hand nicht in Frage kommt.

2.4 Statistische und wahrscheinlichkeitstheoretische Begriffe

Nachfolgend werden zentrale statistische und wahrscheinlichkeitstheoretische Begriffe, die für das Verständnis der Zusammenhänge und die Interpretation von Berechnungs- und Simulationsergebnissen von wesentlicher Bedeutung sind, beschrieben.

2.4.1 Zufallsvariable

Eine Zufallsvariable ist eine Variable, die in Abhängigkeit vom Eintreten eines zufälligen Ereignisses einen davon abhängigen Wert annimmt. Ist eine Variable von einer anderen Zufallsvariable funktional abhängig, ist sie ebenfalls eine Zufallsvariable.[113)]

Zufallsvariablen sind in einer probabilistischen Berechnung alle jene Parameter, die mit Unsicherheiten behaftet sind und nicht als einzelne Zahlenwerte (deterministisch), sondern als Verteilungen in die Berechnungen bzw. Simulationen einfließen.

2.4.2 Verteilung

Eine (Wahrscheinlichkeits-)Verteilung gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Zufallsvariable (z.B. der Aufwandswert für das Schalen) gewisse Ausprägungen annehmen kann. Eine Verteilung ist durch ihre Dichte[114)] bestimmt.[115)]

---

111) Vgl. Holler/Illing (2006), S. 1

112) Vgl. Knorrenschild (2013), S. 9

113) Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 210

114) Auch als Dichtefunktion oder Wahrscheinlichkeitsfunktion bezeichnet.

115) Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 190

Die Dichte einer diskreten Zufallsvariable ordnet jedem Wert die entsprechende Wahrscheinlichkeit zu, mit der dieser auftritt. Eine diskrete Dichte ist tabellarisch darstellbar, sofern die Anzahl der Träger[116] nicht unendlich ist. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten muss 1 ergeben.

Die Dichte einer stetigen Zufallsvariable ist eine intervallweise stetige Funktion (d.h. dass der Graph dieser Funktion intervallweise keine ‚Lücken' aufweist). Die tabellarische Darstellung von stetigen Dichten ist nicht möglich, da der Träger überabzählbar viele Elemente hat. Das Integral über die gesamte Verteilung (von $-\infty$ bis $+\infty$) muss 1 ergeben (siehe drittes Axiom – Wahrscheinlichkeit nach *Kolmogoroff* – Abschnitt 2.3.1.1).[117]

Die Dichtefunktionen einer diskreten und einer stetigen Funktion sind in Abb. 2-21 qualitativ dargestellt.

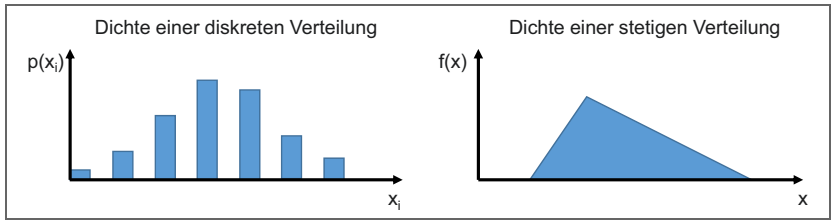


Abb. 2-21 Dichtefunktion einer diskreten (links) und einer stetigen Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

Verteilungen können auch als Summenkurven dargestellt werden, indem die Häufigkeiten der einzelnen Werte aufsummiert (kumuliert) werden (siehe Abb. 2-22).

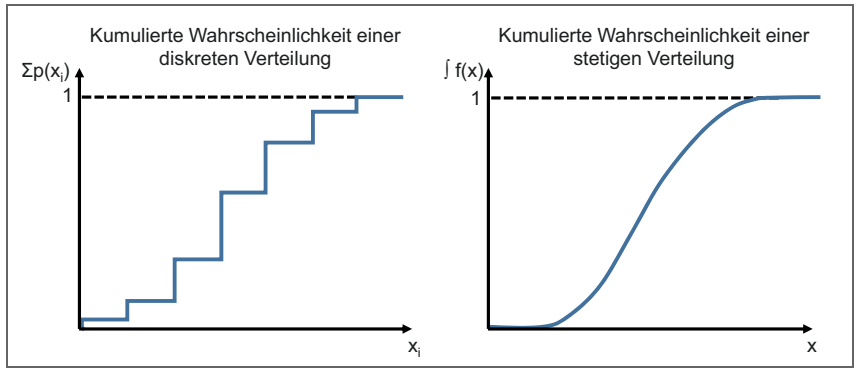


Abb. 2-22 Kumulative Wahrscheinlichkeitsfunktion einer diskreten (links) und einer stetigen Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

Auf die Wahl von Verteilungsfunktionen zur Beantwortung baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Fragestellungen mit Hilfe von probabilistischen Berechnungsverfahren wird in Abschnitt 7.1 näher eingegangen.

[116] Fasst man alle Elemente einer Menge – die bezüglich einer bestimmten Verteilung eine positive Wahrscheinlichkeit aufweisen – zusammen, erhält man den Träger dieser Verteilung.

[117] Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 40f.

2.4.2.1 Diskrete Verteilungen

Diskrete Verteilungen sind dann sinnvoll anwendbar, wenn die entsprechenden Parameter nur einzelne Zahlenwerte – diese müssen nicht ganzzahlig sein – annehmen können (beispielhaft siehe Abb. 2-23 – rechts). Beispielsweise könnte die tägliche Arbeitszeit zwischen 8 und 12 Stunden betragen, wobei eine Unterteilung der Intervalle mit einer Schrittweite von einer halben Stunde denkbar ist.

Auch die Anzahl der einsetzbaren Krane könnte über eine diskrete Verteilung modelliert werden. So wäre beispielsweise der Einsatz von 2, 3 oder 4 Kranen für eine Baustelle denkbar.

In @Risk kann durch die Eingabe der Excel-Funktion (RUNDEN) eine stetige Verteilung sehr einfach in eine ganzzahlige diskrete Verteilung umgewandelt werden. Dabei werden die Zwischenwerte entsprechend mathematisch auf- oder abgerundet und die weiteren Berechnungen erfolgen nur noch mit den gerundeten Werten.

Eine spezielle Form diskreter Verteilungen ist die Bernoulli-Verteilung (siehe Abb. 2-23 – links). Diese kennt nur zwei Ausprägungen (0 oder 1) und eignet sich daher bestens, um den Eintritt bestimmter Ereignisse zu simulieren. Ein Risiko oder ein Produktivitätsverlust kann entweder eintreten (= 1) oder er bleibt aus (= 0).[118)]

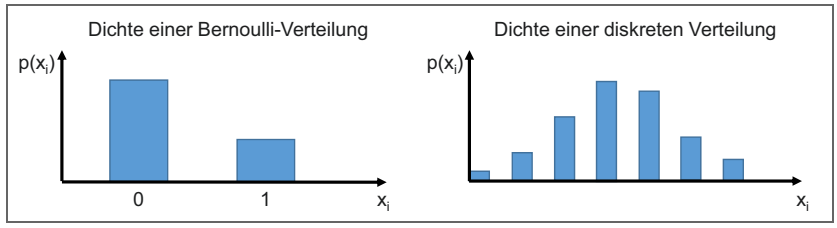


Abb. 2-23 Dichtefunktion einer Bernoulli-Verteilung (links) und einer allgemeinen diskreten Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

2.4.2.2 Stetige Verteilungen

Stetige Verteilungen werden dann angesetzt, wenn innerhalb eines gewissen Bereichs (Bandbreite) alle möglichen Zahlenwerte vorkommen können. Diese Annahme kann z.B. bei Kostenwerten oder bei Aufwands- und Leistungswerten die Realität gut abbilden. Natürlich sind Euro-Beträge auf mehr als zwei Nachkommastellen nicht realisierbar. Alle möglichen Euro-Beträge innerhalb einer gewissen Bandbreite jedoch mittels einer diskreten Verteilung abzubilden, bedeutet einen erhöhten (und unnötigen) Aufwand für die Modellierung, weshalb dafür stetige Verteilungen zur Anwendung kommen.

Ist die Form der Verteilung von Inputparametern nicht bekannt, bieten sich Dreiecksverteilungen (siehe z.B. Abb. 2-21 – rechts) als theoretischer Ansatz an. Diese wirken auf den ersten Blick recht künstlich und werden für Vorgänge oder Ereignisse in der Realität auch nicht anzutreffen sein. Für die Wahl von Dreiecksverteilungen spricht jedoch deren Definition über lediglich drei Werte (minimaler, erwarteter und maximaler Wert), die von Experten leicht abgeschätzt werden können.

[118)] Mögliches Anwendungsbeispiel: Im Chancen-Risikomanagement für eine probabilistische Erweiterung der ‚Praktikermethode', bei der die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Auswirkung miteinander multipliziert werden.

Für Aufwands- und Kostenparameter werden häufig schiefe Verteilungen angesetzt. Dies ist einerseits dadurch begründet, dass die menschliche Leistungsfähigkeit tendenziell asymmetrische Verteilungen annimmt, andererseits durch das wirtschaftliche Minimalprinzip, welches sich durch den Einsatz möglichst geringer Mittel zur Zielerreichung auszeichnet. Die Tendenz geht dabei hin zu rechtsschiefen (linkssteilen) Verteilungen.[119)]

Weitere Beispiele für (geschlossene) stetige Verteilungen sind Rechteck- und PERT-Verteilungen (siehe Abb. 2-24).

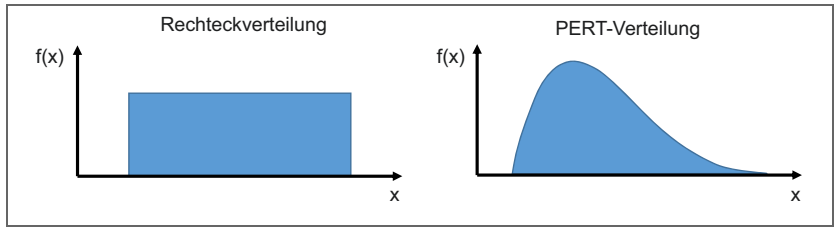


Abb. 2-24 Dichtefunktion einer Rechteckverteilung (links) und einer PERT-Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

2.4.2.3 Offene/geschlossene Verteilungen

Unter ‚geschlossenen' Verteilungen werden jene verstanden, die ein definiertes, endliches Minimum und ein definiertes, endliches Maximum aufweisen. Beispiele für geschlossene Verteilungen sind etwa Rechteck-, Dreiecks- oder PERT-Verteilungen.

Bei ‚offenen' Verteilungen muss zwischen einseitig und beidseitig offenen Verteilungen unterschieden werden. Handelt es sich um eine beidseitig offene Verteilung, gibt es weder ein endliches Minimum noch ein endliches Maximum. Beide Enden reichen bis $-\infty$ bzw. $+\infty$.

Beispiele für einseitig offene Verteilungen sind Gamma-, LogLogistic-, Weibull- oder Exponentialverteilungen.

Beidseitig offene Verteilungen sind beispielsweise Normal-, Laplace- und Student-Verteilungen.

In Abb. 2-25 sind eine einseitig offene (links) und eine beidseitig offene Verteilung (rechts) qualitativ dargestellt.

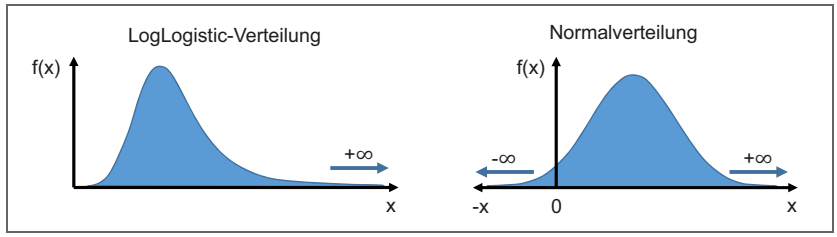


Abb. 2-25 Dichtefunktion einer LogLogistic-Verteilung (links) und einer Normalverteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

[119)] Eine ähnliche Auffassung im Hinblick auf Vorgangsdauern findet sich bei Rohr (2005), S. 44
Im Hinblick auf die Kosten bei Chau (1995a), S. 17

Bei beidseitig offenen Verteilungen haben sehr hohe bzw. sehr niedrige Werte eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit. Für baubetriebliche und bauwirtschaftliche Berechnungen ist der Ansatz solcher Verteilungen als Inputparameter in der Regel nicht zielführend, da meist eine geschlossene Bandbreite für die Eingangsparameter angegeben werden kann. Auch negative Werte werden in den meisten Fällen nicht sinnvoll in die Berechnungen einzusetzen sein.

2.4.2.4 Unimodale/multimodale Verteilungen

Bei nicht konstanten Verteilungen wird in uni- und multimodale Verteilungen unterschieden. Hat die Dichtefunktion nur ein Maximum, spricht man von einer unimodalen Verteilung (z.B. Normal-, LogLogistic-, PERT-, Dreiecksverteilungen). Weisen mehrere Werte eine höhere Wahrscheinlichkeit auf – gibt es also mehr als ein Maximum – handelt es sich um eine multimodale Verteilung. Beispiele für uni- und multimodale Verteilungen sind in Abb. 2-26 qualitativ dargestellt.

Eine Sonderform der multimodalen (mehrgipfligen) Verteilungen sind bimodale (zweigipflige) Verteilungen.

Multimodalität weist auf eine geschichtete Stichprobe hin. Multimodale Verteilungen können sich beispielsweise bei der Aggregation von Produktivitätsverlusten ergeben, wenn im Zuge einer Monte-Carlo-Simulation bei unterschiedlichen Iterationen einzelne Produktivitätsverluste einmal auftreten und einmal nicht. Es ist dann ein Grenzzustand erreicht, bei dem die Anzahl der eintretenden Produktivitätsverluste nicht eindeutig ist.[120)]

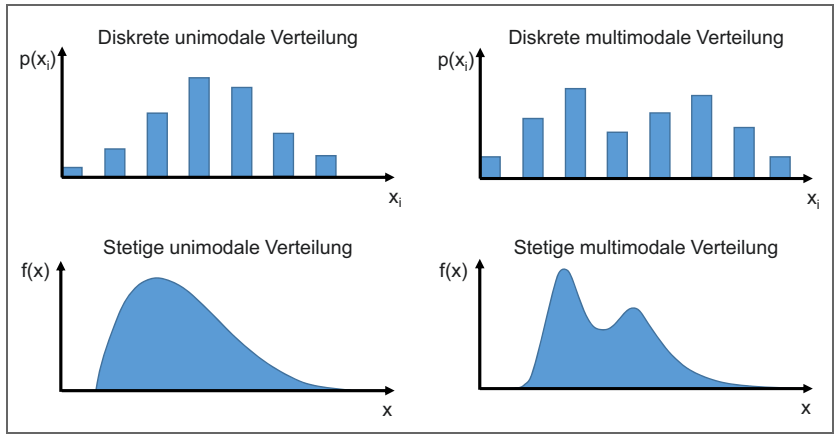


Abb. 2-26 Dichtefunktion diskreter (oben) und stetiger (unten) unimodaler (links) sowie multimodaler (rechts) Verteilungen – Qualitative Darstellung

2.4.2.5 Schiefe/symmetrische Verteilungen

Bei der Form von Verteilungen kann weiters in symmetrische und schiefe Verteilungen unterschieden werden. Symmetrische Verteilungen haben eine vertikale Spiegelungsachse (siehe z.B. Normalverteilung in Abb. 2-25). Schiefe Verteilungen weisen entweder eine

[120)] Vgl. Kummer (2015b), S. 167ff.

Akkumulation im Bereich des Minimums (= rechtsschief bzw. linkssteil) oder im Bereich des Maximums (= linksschief bzw. rechtssteil) auf (siehe Abb. 2-27).

- Für rechtsschiefe/linkssteile Verteilungen gilt:
  Modalwert < Median < Mittelwert
- Für linksschiefe/rechtssteile Verteilungen gilt:
  Mittelwert < Median < Modalwert (siehe Abb. 2-29)

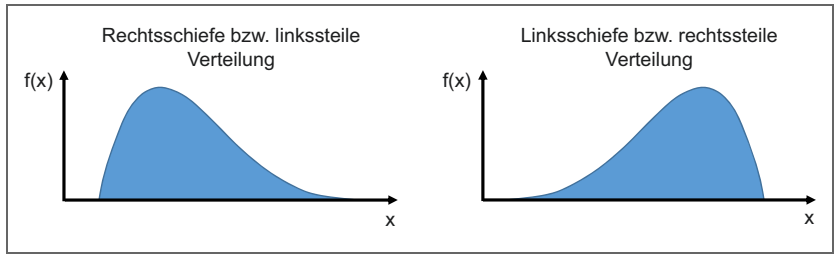


Abb. 2-27 Dichtefunktion einer rechtsschiefen bzw. linkssteilen (links) und einer linksschiefen bzw. rechtssteilen Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

2.4.3 Histogramm

Für die Erhebung eines stetigen Merkmals ist es im Allgemeinen nötig, eine Diskretisierung dieses Merkmals vorzunehmen – dies geschieht durch die Bildung von Klassen. Die Darstellung der Klassenhäufigkeiten (Ordinate) in Form von Flächen über den Klassen (Abszisse) wird als Histogramm bezeichnet (siehe Abb. 2-28). Bei nicht-äquidistanter Einteilung der Klassenbreite lässt die Höhe der Rechtecke keine Aussage über die Häufigkeit der einzelnen Werte zu. Diese wird in diesem Fall nur über die Fläche (Klassenbreite mal Balkenhöhe) ausgedrückt.

Die Summe der Balkenflächen ist auf 1 normiert (siehe auch drittes Axiom – Wahrscheinlichkeit nach *Kolmogoroff* – Abschnitt 2.3.1.1)

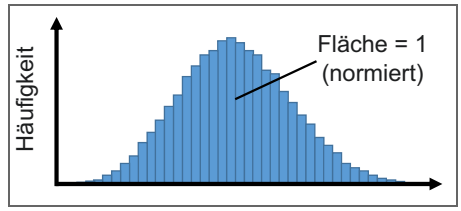


Abb. 2-28 Histogramm – Qualitative Darstellung

2.4.4 Lageparameter

Lageparameter werden in der deskriptiven Statistik dazu genutzt, die zentrale Lage bzw. den Mittelpunkt einer Verteilung näher zu beschreiben. Sie verdichten dabei die Stichprobenelemente bzw. Elemente der Grundgesamtheit zu einer einzelnen Zahl. Die wichtigsten sind der Mittelwert, der Modalwert und der Median.[121)]

[121)] Vgl. http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/80/lageparameter/. Datum des Zugriffs: 14.11.2016

2.4.4.1 Mittelwert

Der Mittelwert ist ein Lageparameter einer Stichprobe und kann je nach Aufgabenstellung auf unterschiedliche Arten definiert werden. Der arithmetische Mittelwert ist am häufigsten verbreitet und wird auch in diesem Buch angewandt. Weitere Bezeichnungen lauten Durchschnitt oder einfach nur Mittel.

Er ist besonders bei kleinen Stichproben sehr anfällig für mögliche Ausreißer, weshalb je nach Anwendungsziel eine Ausreißerbereinigung notwendig sein kann. Eine Möglichkeit, extreme Angaben z.B von Experten inhaltlich zu berücksichtigen, ohne dass die Ergebnisse verzerrt werden, ist die Anwendung der M-Schätzer-Methode nach *Huber*. Dabei fließen Ausreißer und Extremwerte mit geringerem Gewicht in den Mittelwert ein (siehe Abschnitt 2.4.4.5).

2.4.4.2 Modalwert

Der Modalwert wird auch noch wie folgt bezeichnet:
- Modus
- Häufigster Wert
- Erwarteter Wert
- Expertenwert
- Wahrscheinlichster Wert
- Planwert[122)]

„Der [...] Modalwert [...] ist diejenige Merkmalsausprägung mit der größten (absoluten oder relativen) Häufigkeit. Bei klassierten Daten ist die Modalklasse diejenige Klasse mit der größten Besetzungsdichte.“[123)]

Der Modus bildet damit das Maximum der Dichtefunktion.

2.4.4.3 Median

Der Median (auch: Zentralwert) beschreibt jenen Wert einer Verteilung, bei dem 50 % der Werte kleiner und 50 % der Werte größer sind. Durch den Median wird also eine Verteilung in zwei gleich große Flächen unterteilt. Bei symmetrischen Verteilungen entspricht der Median dem arithmetischen Mittelwert. Verglichen mit dem arithmetischen Mittel ist der Median stabiler gegenüber Ausreißern, d.h. diese beeinflussen die Höhe des Medians nicht so stark wie den arithmetischen Mittelwert.[124)]

2.4.4.4 Erwartungswert

Der Erwartungswert E(X) (bzw. μ) kann als jene Zahl interpretiert werden, die die Zufallsvariable im Mittel annimmt. Wird der Mittelwert aus den Ergebnissen eines Versuchs gebildet, konvergiert der Mittelwert gegen den Erwartungswert. Der Erwartungswert stellt eine Größe dar, mit der bei einer großen Anzahl an Versuchen zu rechnen ist.

[122)] Vgl. Oepen (2012), S. 49

[123)] Sachs (2013), S. 35

[124)] Vgl. Bartsch (2004), S. 667

Bei einer unendlichen Anzahl an Wiederholungen eines Zufallsexperiments entspricht der arithmetische Mittelwert der Ergebnisse dem Erwartungswert der Verteilung. D.h. der Stichprobenmittelwert einer Zufallsvariablen nähert sich mit steigender Stichprobengröße dem Erwartungswert an (Gesetz der großen Zahlen).

„Die Schätzfunktion für den Erwartungswert ist das arithmetische Mittel."[125)]

Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Lageparameter

In der nachfolgenden Abbildung werden die Lageparameter (Mittelwert, Modalwert und Median) anhand von schiefen Verteilungen qualitativ dargestellt. Bei rechtsschiefen unimodalen Verteilungen (siehe Abb. 2-29 – links) nimmt der Modalwert einen kleineren und der Mittelwert einen größeren Zahlenwert als der Median auf der Abszisse an. Bei linksschiefen Verteilungen ist dies genau umgekehrt (siehe Abb. 2-29 – rechts).

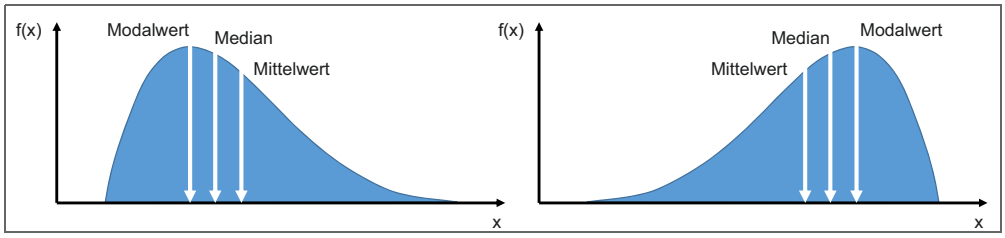


Abb. 2-29 Lageparameter bei schiefen Verteilungen – Qualitative Darstellung

2.4.4.5 M-Schätzer nach *Huber*

Beim M-Schätzer nach *Huber* handelt es sich um einen robusten Lageparameter, der weniger anfällig für Verzerrungen durch Ausreißer oder Extremwerte ist als z.B. der arithmetische Mittelwert. Bei der Bildung des M-Schätzers nach *Huber* werden die erhobenen Werte entsprechend einer Funktion (siehe Abb. 2-30) unterschiedlich stark gewichtet.[126)]

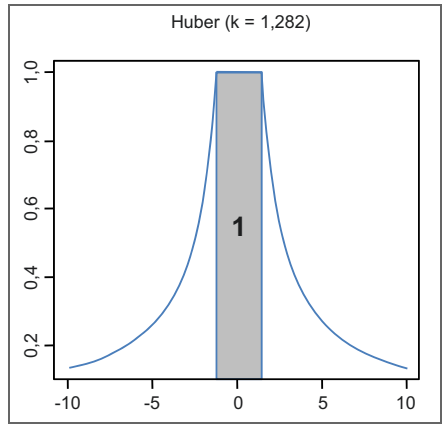


Abb. 2-30 M-Schätzer nach *Huber* – Qualitative Darstellung[127)]

[125)] Suhl/Mellouli (2013), S. 283
[126)] Vgl. Hofstadler (2014a), S. 105ff.
[127)] ebd., S. 106

Damit fließen Ausreißer und Extremwerte mit geringem Gewicht in die Mittelwertbildung ein und müssen nicht eliminiert werden. Der Bereich, in dem Werte voll (mit 1 gewichtet) in die Berechnung einfließen wird mittels einer Tuningkonstante k bestimmt. Tab. 2-1 zeigt eine Übersicht über gebräuchliche k-Werte für die M-Schätzer-Methode nach *Huber*. Welcher k-Wert bei der Datenanalyse angesetzt wird, hängt von der Anzahl, Entfernung und Art der Verteilung der Ausreißer und Extremwerte sowie von inhaltlichen Überlegungen ab.[128)]

M-Schätzer nach Huber	H19	H16	H12	H8
Tuningkonstante k	1,960	1,645	1,282	0,842
Voll gewichteter Bereich bei der Mittelwertbildung	~ 95 %	~ 90 %	~ 80 %	~ 60 %

Tab. 2-1 Tuningkonstante k für die M-Schätzer nach *Huber* (‚*Huber* Proposal 2')[129)]

2.4.5 Varianz

Die Varianz ist ein Maß für die Streuung, beschreibt also die Abweichung einer Zufallsvariablen um ihren Erwartungswert und wird für diskrete Zufallsvariablen wie folgt beschrieben:

$$\mathrm{Var}(X) = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2 \cdot p_i \tag{2-2}$$

Für stetige Zufallsvariablen ergibt sich die Varianz nach (2-3).

$$\mathrm{Var}(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 \cdot f(x) \cdot dx \tag{2-3}$$

Der Unterschied der Streuung bei größerer und kleinerer Varianz ist in Abb. 2-31 für zwei stetige symmetrische Verteilungen mit gleichem Erwartungswert qualitativ dargestellt. Die flachere Verteilung hat eine größere Streuung möglicher Merkmalsausprägungen und damit auch eine höhere Varianz.

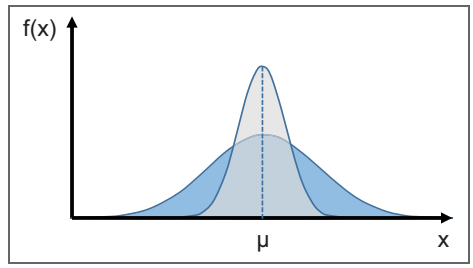


Abb. 2-31 Vergleich unterschiedlicher Streuungen bei gleichem Mittelwert – Qualitative Darstellung

[128)] Vgl. Hofstadler (2014a), S. 105ff.
[129)] Vgl. ebd., S. 107

2.4.6 Standardabweichung

Wird die Quadratwurzel aus der Varianz gezogen, ergibt sich die Standardabweichung, die ebenfalls ein Maß für die Streuung darstellt.

$$\sigma = \sqrt{Var(X)} \tag{2-4}$$

Für die Normalverteilung befindet sich, unabhängig vom zahlenmäßigen Wert des Mittelwerts und der Standardabweichung, immer ein bestimmter Teil der Gesamtfläche in symmetrischen Intervallen +/- einem Vielfachen der Standardabweichung um den Mittelwert (siehe Abb. 2-32):

- Im Intervall +/- 1 * σ um den Mittelwert befinden sich 68,27 % der Werte
- Im Intervall +/- 2 * σ um den Mittelwert befinden sich 95,45 % der Werte
- Im Intervall +/- 3 * σ um den Mittelwert befinden sich 99,73 % der Werte

Die zentralen 95 % der Werte werden für die Normalverteilung durch die 1,96-fache Standardabweichung in positiver und negativer Richtung vom Mittelwert begrenzt. Die zentralen 99 % der Werte werden für die Normalverteilung durch die 2,58-fache Standardabweichung in positiver und negativer Richtung vom Mittelwert begrenzt. Zu beachten ist, dass diese Angaben nur für Normalverteilungen, nicht aber für andere Verteilungsformen gelten.

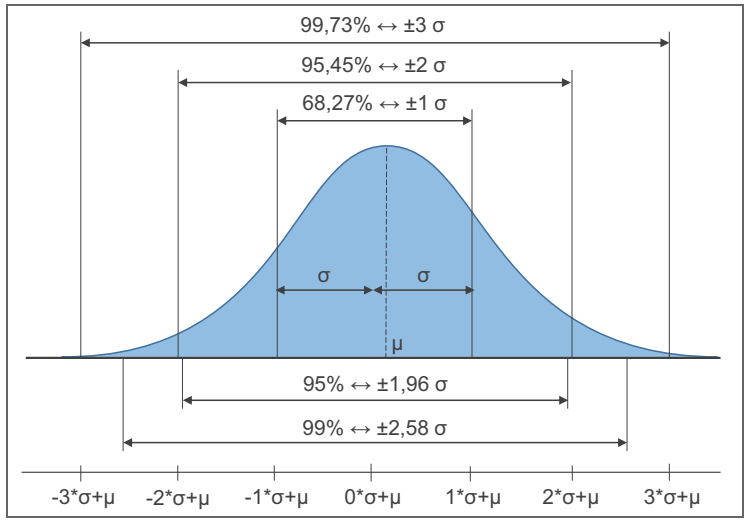


Abb. 2-32 Quantilwerte in Abhängigkeit der Standardabweichung – Normalverteilung

2.4.7 Quantilwerte/Quantilsabstände

Ein p-Quantil (auch als Fraktil bezeichnet) gibt jenen x-Wert einer Verteilung wieder, unter dem sich der entsprechende Prozentsatz p an Werten befindet (siehe Abb. 2-33).[130)]

[130)] Gebräuchlich ist neben der Bezeichnung Q_p auch X_p.

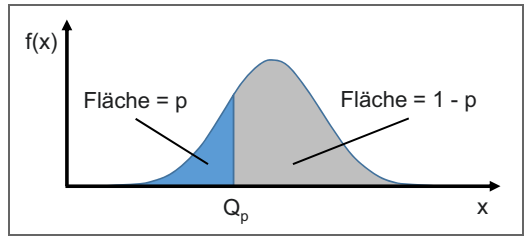


Abb. 2-33 Quantilwert Q_p einer stetigen Verteilungsfunktion

Quartile (Viertelwerte) sind spezielle Quantilwerte, bei denen die Verteilungsfunktion in vier gleich große Bereiche (zu je 25 %) eingeteilt wird. Unter dem ersten Quartil befinden sich demnach 25 % der Werte, unter dem zweiten (auch als Median bezeichnet) befinden sich 50 % der Werte usw.

Weitere spezielle Quantilwerte sind Quintile (Fünftelwerte), Dezile (Zehntelwerte) und Perzentile (Hundertstelwerte).

Die Spannweite (oder Bandbreite) einer Verteilung ergibt sich aus der Differenz des höchsten und des niedrigsten Werts. Eine Spannweite kann demnach nur für beidseitig begrenzte Verteilungen angegeben werden.

Ein Quantilsabstand wird individuell festgelegt und gibt die Differenz zwischen den Quantilen Q_{1-p} und Q_p wieder.

Der Quartilsabstand ist ein spezieller Quantilsabstand und gibt die Differenz zwischen dem 75 %-Quartil und dem 25 %-Quartil wieder und ist ein stabilerer Kennwert für die Streuung einer Verteilungsfunktion als deren Spannweite. Der Quartilsabstand wird auch als Interquartilsabstand IQR (‚interquartile range') bezeichnet und definiert in Boxplotdiagrammen den Bereich der Box. Er trennt jeweils ein Viertel der Werte der Verteilung nach unten bzw. oben ab.[131)]

2.4.8 Sicherheitsniveau

Als Sicherheitsniveau wird jener Quantilwert einer Verteilung bezeichnet, der aufgrund risikopolitischer und strategischer Überlegungen als Grenzwert für Entscheidungen individuell festgelegt wird. Ein Sicherheitsniveau von z.B. 80 % für Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten bedeutet, dass in 20 % der Fälle dieser Quantilwert über- und in 80 % der Fälle unterschritten wird. Die Chance, niedrigere Kosten in der Ausführung zu realisieren liegt damit bei 80 %, das Risiko bei 20 %.[132)]

2.4.9 Zentraler Grenzwertsatz

Für die Summe einer großen Zahl an Zufallsvariablen – unabhängig von der Art der Verteilung einer einzelnen Variablen – ergibt sich im Grenzfall (n geht gegen unendlich) immer (annähernd) eine Normalverteilung. Vorausgesetzt, dass die einzelnen Zufallsvariablen stochastisch unabhängig sind. Für das Produkt mehrerer Zufallsvariablen ergibt

[131)] Vgl. Sachs (2013), S. 40

[132)] Auf Basis der des aktuellen Kenntnisstands.

sich für den Grenzfall (n geht gegen unendlich) immer (annähernd) eine logarithmische Normalverteilung. Dies gilt wiederum nur unter der Prämisse, dass die einzelnen Zufallsvariablen stochastisch unabhängig sind.[133)]

Es kann keine ‚echte' Normalverteilung (im Sinne einer beidseitig offenen Verteilung) durch die Addition mehrerer Zufallsvariablen entstehen, wenn die Summanden nur aus begrenzten (geschlossenen) Verteilungen bestehen. Gleiches gilt auch für die Log-Normalverteilung[134)] als Produkt mehrerer Zufallsvariablen. Sind die Eingangsparameter durch geschlossene Verteilungen definiert, werden auch die Summe und das Produkt dieser – unabhängig von der Anzahl der Variablen – endliche Werte aufweisen.

2.4.10 Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz

Wird die Summe aus mehreren Zufallsvariablen gebildet, zeigt sich, dass die Bandbreite der Ergebnisse, bezogen auf die Standardabweichung der Summe, immer enger wird, je mehr Summanden in die Berechnung einfließen.

Dieser Zusammenhang ist auch mathematisch durch das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz begründet. Dabei ist die Zielgröße y eine Funktion $f(x_i)$ die von mehreren Variablen (x_i) abhängig ist. Vorausgesetzt wird, dass diese Variablen unabhängig voneinander (unkorreliert) sind. Weiters müssen die Mittelwerte und die Standardabweichungen jeder Variablen (x_i) bekannt sein. Die Standardabweichung von y kann dann näherungsweise wie folgt ermittelt werden:

$$s_y = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_i}\right)^2 \cdot s_{x_i}^2} \tag{2-5}$$

Mit: i = 1, 2, ... , m

Wird also die Summe aus mehreren Summanden gebildet, stellt sich die Funktion für y folgendermaßen dar:

$$y = f(\bar{x}_i) = \sum_{i=1}^{m} x_i \tag{2-6}$$

Anhand eines Beispiels werden die Ergebnisse, die sich aus der Summierung von Dreiecksverteilungen (MIN: 800; ERW: 1.000; MAX: 1.200) ergeben, rechnerisch nachvollzogen und mit den Ergebnissen einer Monte-Carlo-Simulation verglichen.

Der Mittelwert beträgt demnach für alle Variablen 1.000 und die Standardabweichung kann für diese Dreiecksverteilungen anhand folgender Gleichung mit 81,65 ermittelt werden:

$$s = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}} \tag{2-7}$$

Mit:

a ..... Minimalwert (hier: 800)

b ..... Erwarteter Wert (hier: 1.000)

c ..... Maximalwert (hier: 1.200)

[133)] Vgl. Lederer (1982), S. 58f.

[134)] Log-Normalverteilung = logarithmische Normalverteilung

Die partiellen Ableitungen in Glg. (2-5) ergeben sich für die Summe aus mehreren Variablen jeweils zu 1, somit errechnet sich die Standardabweichung (s_y) der Zielgröße y aus der Wurzel der quadrierten und summierten Standardabweichungen der Variablen. Beispielsweise hier für 5 Variablen dargestellt.[135)]

$$s_y = \sqrt{81{,}65^2 + 81{,}65^2 + 81{,}65^2 + 81{,}65^2 + 81{,}65^2} = 182{,}574$$

Im Vergleich zum Ergebnis der Simulation (= 182,61) ist hier nur eine sehr geringe Differenz festzustellen. Die weiteren Standardabweichungen aus der mathematischen Berechnung sowie aus den Simulationen sind einander für die Summe aus mehreren Variablen in Tab. 2-2 gegenübergestellt. Weiters sind die Differenzen (zwischen den Standardabweichungen der Berechnungen und der Simulationen) je nach Anzahl der Versuche in einer eigenen Spalte (D) angeführt. Es ist zu erkennen, dass die Unterschiede sehr gering ausfallen und damit auf Basis der Simulation eine gute Annäherung an das mathematische Ergebnis gelungen ist.

Standardabweichungen – Summe (Dreiecksverteilungen)				
Lfd. Nr.	Anzahl der Variablen	Berechnung	Simulation	Differenz
0	A	B	C	D
1	1	81,65	81,65	0,00
2	2	115,47	115,56	0,09
3	5	182,57	182,61	0,03
4	10	258,20	257,84	-0,36
5	15	316,23	315,86	-0,37
6	20	365,15	364,10	-1,05
7	50	577,35	578,56	1,21
8	100	816,50	818,10	1,60
9	200	1.154,70	1.158,66	3,96
10	500	1.825,74	1.831,22	5,48
11	1.000	2.581,99	2.585,54	3,55

Tab. 2-2 Standardabweichungen der Summe mehrerer Variablen – Vergleich der Ergebnisse aus der mathematischen Berechnung und der Monte-Carlo-Simulation

Die Probleme, die sich aus der mathematischen Berechnung ergeben, sind zum einen, dass die Standardabweichung für Verteilungen von Experten nur sehr schwer abgeschätzt werden kann. Zum anderen entspricht der erwartete Wert (Modus) nicht automatisch dem Mittelwert einer Verteilung. Bei schiefen Verteilungen weichen diese voneinander ab. Schließlich gilt die vorgestellte mathematische Berechnungsgleichung nur für unabhängige – also unkorrelierte – Variablen.

Anmerkung: Für das obige Beispiel macht es im Übrigen keinen Unterschied für den Variationskoeffizienten[136)], welche Größenordnung der minimale, erwartete und der maximale Wert annehmen. Es ändern sich dadurch natürlich die Mittelwerte und die Standardabweichungen, da diese aber bei der Ermittlung des Variationskoeffizienten in Beziehung gesetzt werden, hebt sich dieser Einfluss wieder auf. Ob also 800 – 1.000 –

[135)] Hinweis: Beim händischen Nachrechnen der Ergebnisse können sich aufgrund von Rundungsfehlern geringfügige Abweichungen ergeben, da die Berechnungen mit MS Excel durchgeführt wurden.

[136)] Der Variationskoeffizient ist ein relatives Streuungsmaß und wird durch die Division der Standardabweichung durch den Erwartungswert ermittelt.

1.200 oder bspw. 4,8 – 6 – 7,2 für den minimalen, erwarteten und maximalen Wert angesetzt werden, ist für den Variationskoeffizienten unerheblich.

Die Variationskoeffizienten können auch in Form eines Diagramms in Abhängigkeit der Anzahl an Variablen anschaulich dargestellt werden. In Abb. 2-34 wurde der Variationskoeffizient für die Summe mehrerer identischer Variablen ermittelt. Dabei wurden die Verteilungsfunktionen der Summanden für jede der drei Betrachtungen variiert. Die größten Variationskoeffizienten ergeben sich bei Rechteckverteilungen. Die Unterschiede zwischen Dreiecks- und PERT-Verteilungen sind als sehr gering einzustufen. Generell ist eine deutliche Abnahme der Streuung mit zunehmender Anzahl der Summanden erkennbar. Es gilt zu beachten, dass die Abszisse nicht in Form einer Verhältnisskala, sondern durch Klassen dargestellt ist.

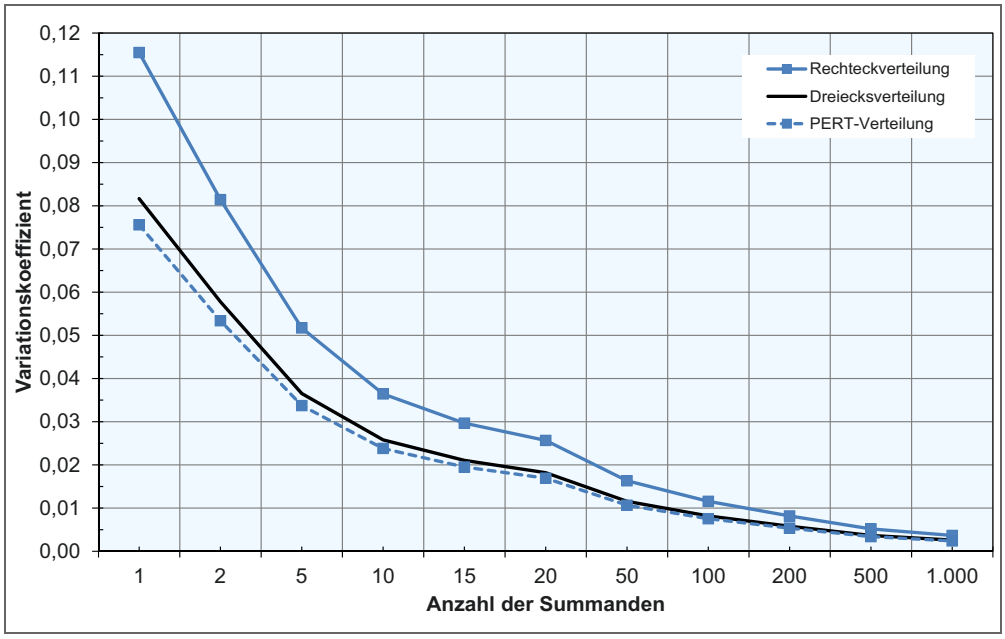


Abb. 2-34 Änderung des Variationskoeffizienten für die Summe in Abhängigkeit der Anzahl an identischen Summanden und mit unterschiedlichen symmetrischen Verteilungsfunktionen

Weiters ist zu beachten, dass bei jeder der Betrachtungen die Summanden identisch angesetzt wurden und somit den gleichen Einfluss auf die Summe haben.

Die Anwendung des Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetzes kann zur Prüfung der Plausibilität von Ergebnissen einer Monte-Carlo-Simulation herangezogen werden. Sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Eingangsvariablen sowie deren funktionaler Zusammenhang bekannt, kann unter der Voraussetzung, dass die Variablen unabhängig voneinander sind, die Standardabweichung der Zielgröße berechnet werden. Damit erhält man ein Kontrollinstrument, mit dem die Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation auf Plausibilität geprüft werden können.

2.4.11 Korrelation/Korrelationskoeffizienten

Eine Korrelation (lat. Wechselbeziehung) ist ein eindimensionales (standardisiertes) Maß für den linearen Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen. Abhängig von der Ausprägung (Skalierung) der Merkmale[137] kommen unterschiedliche bivariate[138] Korrelationsarten zum Einsatz (siehe Tab. 2-3).

		Merkmal x	
		ordinal	metrisch
Merkmal y	ordinal	Rangkorrelation	Rangkorrelation
	metrisch	Rangkorrelation	Produkt-Moment-Korrelation

Tab. 2-3 Bivariate Korrelationsarten[139]

Weitere Korrelationsarten sind z.B.:
- Punktbiseriale Korrelation (dichotomes und intervallskaliertes Merkmal)
- Φ-Koeffizient (Phi-Koeffizient – zwei dichotome Merkmale)
- Biseriale Rangkorrelation (dichotomes und rangskaliertes Merkmal)

Weiters wird in zwischenklassliche und innerklassliche Korrelationen unterschieden:
- Zwischenklassliche Korrelationen
  Befassen sich mit Beziehungen zwischen verschiedenartigen Größen wie beispielsweise:
  - Storch- und Geburtenanzahl[140]
  - Preis und Qualität
  - Arbeitsaufwand und -ergebnis
  - Umsatz und Konjunktur

- Innerklassliche Korrelationen
  Befassen sich mit Beziehungen zwischen gleichartigen Größen wie beispielsweise:
  - Von einem Arbeitsergebnis zum darauffolgenden

[137] Unterschiedliche Skalen sind:
- Nominalskala (Merkmale ohne natürliche Rangfolge – z.B. Geburtsorte: ‚Klagenfurt/Graz/Wien')
- Ordinalskala (Merkmale mit natürlicher Rangfolge, über die Größe des Merkmalsunterschieds kann keine Aussage gemacht werden – z.B. ‚hoch > mittel > niedrig')
- Intervallskala (Merkmale werden durch Zahlenwerte dargestellt, bei denen Rangunterschiede und Abstände zwischen den Werten gemessen werden können. Es gibt keinen natürlichen Nullpunkt – z.B. Temperaturskalen).
- Verhätnisskala (Skala besitzt einen absoluten Nullpunkt, Aussagen über Größenverhälnisse sind zulässig – z.B. Skalen physikalischer Größen)
- Dichotome Skala (Merkmale, die nur zwei Ausprägungen aufweisen – z.B. ‚wahr/falsch')

[138] Bivariate Verteilungen sind zweidimensionale Zufallsvariablen, bei denen sowohl das Merkmal x als auch das Merkmal y durch eine Verteilung dargestellt werden kann.

[139] Vgl. Universität Siegen, ‚Marktforschung' Sommersemester 2011. Online unter: http://slideplayer.de/slide/644669/#. Datum des Zugriffs: 20.10.2016

[140] Hier könnte sich aus einer erhobenen Datenbasis zwar eine Korrelation ergeben, ein kausaler Zusammenhang ist damit aber nicht nachweisbar.

- Von einem Tagesumsatz zum nächsten
- Die Entwicklung von Aktienkursen[141)]

Innerklassliche Korrelationen werden auch Inter-, Intra- oder Autokorrelationen genannt.[142)]

In der Kalkulation liegt das Interesse meist auf zwischenklasslichen Korrelationen, wie z.B.:
- Zusammenhang zwischen Schalungsfläche und Betonmenge
- Zusammenhang zwischen Schalungsgrad und Aufwandswert für das Schalen
- Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Aufwandswert für das Bewehren

Eine vorhandene Korrelation lässt keine Aussage über die Kausalität zwischen zwei Merkmalsausprägungen zu. Folgende Kausalitätsbeziehungen können vorherrschen:[143)]
- x bewirkt y
- y bewirkt x
- x und y werden durch eine oder mehrere andere Variablen beeinflusst (Scheinkorrelation bzw. partielle Korrelation)

2.4.11.1 Produkt-Moment-Korrelation

Die Produkt-Moment-Korrelation (auch als Pearson- oder Bravais-Pearson-Korrelation bezeichnet) gibt den standardisierten Zusammenhang zwischen zwei intervallskalierten Merkmalen an. Es handelt sich dabei um die Kovarianz zweier Merkmale, dividiert durch das Produkt der Standardabweichungen (siehe Glg. (2-8)). Die Kovarianz wird dadurch standardisiert und Korrelationskoeffizienten werden vergleichbar.

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}} \tag{2-8}$$

Der Korrelationskoeffizient kann nur Werte zwischen -1 und +1 annehmen und gibt die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen wieder.

Liegt der Korrelationskoeffizient bei -1, liegt ein perfekter negativer Zusammenhang vor. Alle Messpunkte liegen auf einer Geraden mit negativer Steigung.

Liegt der Korrelationskoeffizient bei +1, liegt ein perfekter positiver Zusammenhang vor. Alle Messpunkte liegen auf einer Geraden mit positiver Steigung.

Ist der Korrelationskoeffizient null, besteht kein linearer Zusammenhang, d.h. die Variablen sind unkorreliert. Dies bedeutet aber nicht, dass keine nichtlinearen Zusammenhänge vorherrschen können (z.B. ein U-förmiger Zusammenhang).

141) Vgl. Schulz (1980), S. 48

142) Vgl. ebd.

143) Vgl. Universität Siegen, ‚Marktforschung' Sommersemester 2011. Online unter: http://slideplayer.de/slide/644669/#. Datum des Zugriffs: 20.10.2016

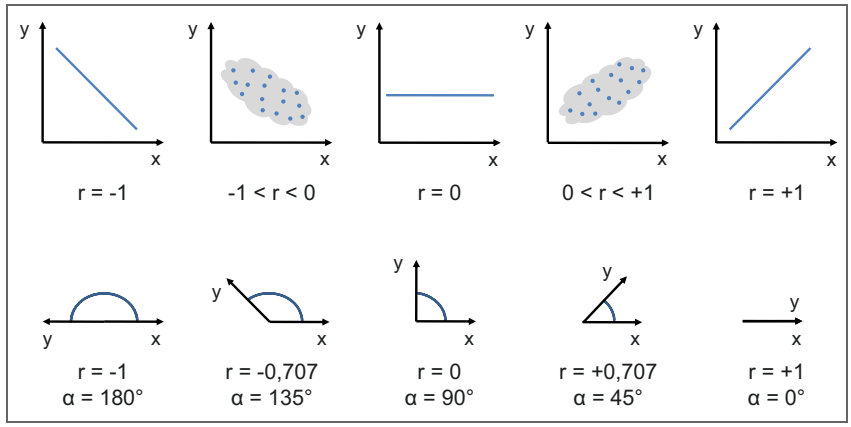


Abb. 2-35 Zusammenhang zwischen zwei Variablen x und y bei unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten – Oben: Punktwolken – Unten: Vektordarstellung[144)]

Einen grafischen Überblick über die Interpretation von Korrelationskoeffizienten liefert Abb. 2-35. Darin sind die Zusammenhänge in der oberen Reihe in Form von Punktwolken und in der unteren Reihe als Vektorpaare zweier Variablen (x und y) dargestellt. Für die Darstellung als Vektorpaar lässt sich der Korrelationskoeffizient r in den Kosinus von α überführen (siehe Glg. (2-9)).

$$r = \cos\alpha \tag{2-9}$$

Die Produkt-Moment-Korrelation ist identisch mit der Rangkorrelation – vorausgesetzt es liegen intervallskalierte Merkmale vor.[145)]

In @Risk können Produkt-Moment-Korrelationen in Form von Korrelationsmatrizen eingegeben und damit in den Simulationen berücksichtigt werden.

2.4.11.2 Rangkorrelation

Die Rangkorrelation (auch Korrelationskoeffizient nach *Spearman* genannt) wird bei Vorliegen von zwei Merkmalen einer Ordinalskala oder einem Merkmal einer Intervallskala und einem Merkmal einer Ordinalskala (siehe Tab. 2-3) angewendet. Den Merkmalsausprägungen werden Rangplätze zugewiesen und deren Differenz d_i ermittelt. Die Anzahl der möglichen Rangplätze n entspricht der Anzahl an vorhandenen Messdatenpaaren. Berechnet wird die Rangkorrelation mittels Glg. (2-10).

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)} \tag{2-10}$$

144) Vgl. http://www.faes.de/Basis/Basis-Statistik/Basis-Statistik-Korrelation-Re/basis-statistik-korrelation-re.html. Datum des Zugriffs: 11.11.2016
Vgl. http://www.faes.de/Basis/Basis-Lexikon/Basis-Lexikon-Multivariate/Basis-Lexikon-Faktorenanalyse/basis-lexikon-faktorenanalyse.html. Datum des Zugriffs: 11.11.2016
Vgl. Schulz (1980), S. 78ff.

145) Vgl. z.B. Krempl (2012), S. 56

2.4.12 Historische Daten

Unter historischen Daten wird ein Datenbestand zu einem bestimmten Zeitpunkt (z.B. Stand zum Betrachtungszeitpunkt, Stand zum Jahresanfang/Monatsbeginn etc.) verstanden. Dieser Datenbestand kann getrennt gespeichert und später für die Definition von unsicheren Parametern herangezogen werden. Historische Daten können dabei je nach Abgrenzung z.B. aus einem laufenden oder aus (mehreren) abgeschlossenen Projekten stammen. Sie werden dazu eingesetzt, um das Verhalten bzw. die Ausprägung gewisser Parameter oder Kennzahlen zu untersuchen und um z.B. Verteilungsfunktionen für bestimmte Parameter zu generieren (siehe auch Abschnitt 2.4.13). Weiters können Entwicklungen von Kennzahlen oder Fortschrittswerten (z.B. Kosten-, Termin-, Inhalts- oder Umfangparameter) für Trendanalysen herangezogen werden. Solche Analysen dienen einerseits dazu, Abweichungen von einem geplanten SOLL-Ablauf darzustellen, andererseits können damit auch Prognosen für einen bestimmten Betrachtungshorizont erstellt werden.

Entscheidend bei der Verwendung historischer Daten ist die Abgrenzung. Es ist darauf zu achten, dass keine zusätzlichen Effekte in der Datenbasis enthalten sind, die die Werte oder die getätigten Aussagen verfälschen.

2.4.13 Fitting

Die Überführung von Datensätzen (z.B. aus historischen Daten) in theoretisch beschreibbare Verteilungsfunktionen wird als ‚Datenfitting' bezeichnet. Dabei werden die vorhandenen Daten analysiert und in weiterer Folge durch mathematisch-statistische Verfahren untersucht, welche theoretische Verteilungsfunktion die vorhandenen Daten bestmöglich (mit dem geringsten Fehler) abbildet.

Unter einem Fitting wird damit eine Funktionsanpassung unter Berücksichtigung von Messfehlern oder Unsicherheiten der Messpunkte verstanden. Die bekannteste Methode für Datenfittings ist die Methode der kleinsten Quadrate. Das Ergebnis eines Fits ist immer eine Kurvenschar, in der der ‚wahre' funktionale Zusammenhang mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit liegt.

Ziel des Fittings ist es, numerisch die Parameter (Verschiebungs- und Formparameter) einer Verteilungsfunktion zu bestimmen, sodass die Verteilung möglichst genau die erhobenen Rohdaten abbildet.

Die Genauigkeit und Anwendbarkeit der Ergebnisse aus dem Fitting sind immer von der Qualität der Grunddaten und der Anzahl der Datenpunkte abhängig. Je mehr Datenpunkte vorhanden sind, desto eher werden die Ergebnisse des Datenfittings die Grundgesamtheit der Werte eines Parameters abdecken.

Die Ergebnisse eines Datenfittings sind immer auf Plausibilität zu prüfen. Meist ergeben sich dabei Fragen über die Zulässigkeit von negativen Wertebereichen und über die Ausbildung der Grenzen (offen oder geschlossen).

2.5 Zusammenfassung

Für die Begriffe ‚Chance' und ‚Risiko' gibt es in der Literatur zwei Definitionsrichtungen. Für das Buch wird festgelegt, dass Chancen und Risiken Erwartungshaltungen unter

Unsicherheit darstellen. Neben Unsicherheiten, treten für alle Aussagen über die Zukunft Ungewissheit und Unwissen auf.

Risiko ist eine Erwartungshaltung unter Unsicherheit, bei der mit einer negativen Zielabweichung gerechnet wird und die Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit – objektiv oder auch subjektiv – bekannt sind. Chance ist eine Erwartungshaltung unter Unsicherheit, bei der mit einer positiven Zielabweichung gerechnet wird und die Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit – objektiv oder auch subjektiv – bekannt sind.

Für alle Arten von Schätzungen und Berechnungen von Zahlenwerten, ist die gewählte Basis bedeutend für das damit eingegangene Chancen-Risikoverhältnis.

Die Ausprägungen von Wahrscheinlichkeiten können durch die Wahl von Verteilungsfunktionen beeinflusst werden. Neben diskreten stehen auch stetige Verteilungen zur Auswahl. Wenn es eindeutige Grenzen in den Bandbreiten gibt, sind geschlossene Verteilungen ansonsten offene Verteilungen einzusetzen. Liegt eine nicht konstante Verteilungsfunktion mit nur einem Maximum vor, spricht man von einer unimodalen Verteilung, andernfalls von einer multimodalen Verteilung. Hinsichtlich der Form der Verteilung treten symmetrische und schiefe Verteilungen auf. Bei schiefen Verteilungen wird in rechts- und linksschiefe Verteilungen unterschieden. Die Form von Verteilungsfunktionen können beispielsweise auf Basis von historischen Daten über Fittings ermittelt werden.

Zur weiteren Beschreibung und Interpretation von Verteilungen stehen statistische Kenngrößen zur Verfügung. Mit folgenden Lage- und Streuungsparametern erfolgt die Interpretation von Verteilungen und Histogrammen: Mittelwert, Modalwert, Median, Erwartungswert, M-Schätzer nach *Huber*, Varianz, Standardabweichung und Quantilwerte. Abhängigkeiten zwischen Berechnungsparametern können durch Korrelationen ausgedrückt werden. Die Integration von Korrelationen in die Berechnungen ist nur dann sinnvoll, wenn die Wechselbeziehungen aus der Realität abgeleitet wurden.

2.6 Literaturverzeichnis

Alber, Alexander (2013). Risikomanagement in Bauunternehmen – Eine Analyse von Theorie und Praxis. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Bartsch, Hans-Jochen (2004). Taschenbuch Mathematischer Formeln – 20. Auflage. München, Wien. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. (ISBN 3-446-22891-8)

Biermann, Bernd; Grosser, Karin (1999). Taschenlexikon Finanzmathematik/Statistik. Hrsg.: Eller, Roland. Stuttgart. Schäffer-Poeschel Verlag. (ISBN 3-7910-1462-5)

Blecken, Udo (1976). Die Produktions- und Kostentheorie im instationären Baubetrieb. In: Der Baubetriebsberater, Heft 4, 1/1976. Seite 199-210. Wiesbaden, Berlin. Bau-Verlag.

Boeckelmann, Lukas; Mildner, Stormy-Annika (2011). Unsicherheit, Ungewissheit, Risiko – Die aktuelle wissenschaftliche Diskussion über die Bestimmung von Risiken. In: SWP-Zeitschriftenschau 2. Stiftung Wissenschaft und Politik – Deutsches Institut für Internationale Politik und Sicherheit. Berlin. Stiftung Wissenschaft und Politik, September 2011. (ISSN 1611-6380; Online unter: http://www.swp-berlin.org/fileadmin/contents/products/zeitschriften-schau/2011zs02_bkm_mdn_ks.pdf. Datum des Zugriffs: 20.11.2016)

BROCKHAUS GmbH (1998). Brockhaus in fünfzehn Bänden – Band 7 – Is-Kon. Leipzig, Mannheim. F.A. Brockhaus GmbH.

BROCKHAUS GmbH (1999b). Brockhaus in fünfzehn Bänden – Band 3 – Chl-Eir. Leipzig, Mannheim. F.A. Brockhaus GmbH.

BROCKHAUS GmbH (1999c). Brockhaus in fünfzehn Bänden – Band 11 – Pfe-Rog. Leipzig, Mannheim. F.A. Brockhaus GmbH.

BusinessDictionary.com. WebFinance, Inc.
http://www.businessdictionary.com/definition/probabilistic.html. Datum des Zugriffs: 12.11.2016.

Čadež, Ivan (1998). Risikowertanalyse als Entscheidungshilfe zur Wahl des optimalen Bauvertrags. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 4 – Bauingenieurwesen, Nr. 149. Düsseldorf. VDI Verlag. (ISBN 3-18-314904-4)

Chau, Kwong Wing (1995a): The validity of the triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: empirical evidence from Hong Kong. In: Construction Management and Economics, Volume 13, Issue 1, 1995. Seite 15-21. London. Taylor & Francis Group. (ISSN 0144-6193)

Czado, Claudia; Schmidt, Thorsten (2011). Mathematische Statistik – Statistik und Ihre Anwendungen. Hrsg.: Dette, Holger; Härdle, Wolfgang. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-17261-8)

DeMarco, Tom; Lister, Timothy (2003). Bärentango – Mit Risikomanagement Projekte zum Erfolg führen. München, Wien. Carl Hanser Verlag. (ISBN 3-446-22333-9)

Faes.de
http://www.faes.de/Basis/Basis-Statistik/Basis-Statistik-Korrelation-Re/basis-statistik-korrelation-re.html. Datum des Zugriffs: 11.11.2016.

Faes.de
http://www.faes.de/Basis/Basis-Lexikon/Basis-Lexikon-Multivariate/Basis-Lexikon-Faktorenanalyse/basis-lexikon-faktorenanalyse.html. Datum des Zugriffs: 11.11.2016.

Flemming, Christian; Netzker, Markus; Schöttle, Annett (2011). Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation. In: Bautechnik 88 (2011), Heft 2, Seite 94-101. Berlin. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG.

Gigerenzer, Gerd (2013). Risiko – Wie man die richtigen Entscheidungen trifft – 3. Auflage. München. C.Bertelsmann Verlag. (ISBN 978-3-570-10103-2)

Girmscheid, Gerhard; Motzko, Christoph (2013). Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft – Produktionsprozessorientierte Kostenberechnung und Kostensteuerung – 2. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-36637-6)

Gottschalk-Mazouz, Niels (2011). Risiko. In: Handbuch Ethik. Hrsg.: Düwell, Marcus; Hübenthal, Christoph; Werner, Micha H. Stuttgart, Weimar. Metzler-Verlag. (ISBN 978-3-476-02388-9)

Henze, Norbert (2012). Stochastik für Einsteiger – Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls – 9. Auflage. Wiesbaden. Vieweg+Teubner Verlag. (ISBN 978-3-8348-1845-4)

Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 2 (1972). D-F. Hrsg.: Ritter, Joachim. Basel, Stuttgart. Schwabe & Co Verlag. (ISBN 3-7965-0115-X)

Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 7 (1989). P-Q. Hrsg.: Ritter, Joachim; Gründer, Karlfried. Basel, Stuttgart. Schwabe & Co Verlag. (ISBN 3-7965-0115-X)

Hofstadler, Christian (2012). Risikofaktor Baugrund – Risikofaktoren aus technischer und stochastischer Sicht. Vortrag beim ZT-Forum. Graz, 2012.

Hofstadler, Christian (2014a). Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-41632-3)

Holler, Manfred J.; Illing, Gerhard (2006). Einführung in die Spieltheorie – 6. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN-13 978-3-540-27880-1)

Horx Zukunftsinstitut GmbH (2010). Prognose – Prophezeiung – Vision – Semantische Unterschiede von Zukunfts-Aussagen. 2010. (Online unter: http://www.horx.com/Zukunftsforschung/Docs/01-G-09-Prognose-Vision-Prophezeiung.pdf. Datum des Zugriffs: 18.11.2016)

http://scoop.me/hashtags/orf. Datum des Zugriffs: 31.08.2016.

Jonen, Andreas (2007). Semantische Analyse des Risikobegriffs – Strukturierung der betriebswirtschaftlichen Risikodefinitionen und literaturempirische Auswertung – Beiträge zur Controlling-Forschung – Nr. 11 – 2. Auflage. Hrsg.: Lingnau, Volker. Lehrstuhl für Unternehmensrechnung und Controlling der Technischen Universität Kaiserslautern, 08/2007. (ISSN 1612-3875)

Kaplan, Stanley; Garrick, John (1981). On The Quantitative Definition of Risk. In: Risk Analysis Vol. 1, No. 1. Seite 11-27. Society of Risk Analysis.

Knight, Frank Hyneman (1971). Risk, Uncertainty and Profit. Chicago, London. University of Chicago Press. (ISBN 0-226-44690-5)

Knorrenschild, Michael (2013). Numerische Mathematik – Eine beispielorientierte Einführung – 5. Auflage. Hrsg.: Engelmann, Bernd. München. Carl Hanser Verlag. (ISBN 978-3-446-43389-2)

Krempl, Simone (2012). Korrelationen bei Aufwandswerten für Schal- und Bewehrungsarbeiten. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Kummer, Markus (2015a). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten – Deterministische und probabilistische Betrachtungen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Kummer, Markus (2015b). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. In: Tagungsband – 26. BBB-Assistententreffen – Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauverfahrenstechnik. Hrsg.: Berner, Fritz. Seite 167-183. Stuttgart. Institut für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart. (ISBN 978-3-9814355-7-3)

Kummer, Markus; Hofstadler, Christian (2013). Einsatz der Monte-Carlo-Simulation zur Berechnung von Baukosten. In: bau aktuell, 4. Jahrgang, Heft Nr. 5, September 2013. Seite 178-188. Wien. Linde-Verlag Ges.m.b.H. (ISSN 2077-4737)

Köhler, Jochen (2012). 2. Grundlagen Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung. Vorlesungsfolien. Seminar an der Technischen Universität Graz: ‚Risiko und Sicherheit im Bauwesen'. Graz, 2012.

Laux, Helmut; Gillenkirch, Robert M.; Schenk-Mathes, Heike Y. (2012). Entscheidungstheorie – 8. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-23511-5)

Lechner, Hans (2010). Kostenplanung, Normen, Regelwerke – Projektmanagement in der Bau- und Immobilienwirtschaft – Bauprojektmanagement LEVEL D – 1. Auflage. Hrsg.: Lechner, Hans; Heck, Detlef. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-099-2)

Lederer, Siegfried (1982). Die Mittelbereitstellung für Bauleistungen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Planung. Dissertation. Institut für Bauingenieurwesen IV Tunnelbau und Baubetriebslehre der Technischen Universität München.

Link, Doris (1999). Risikobewertung von Bauprozessen – Modell ROAD – Risk and Opportunity Analysis Device. Dissertation. Wien. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Wien.

Luhmann, Niklas (1991). Soziologie des Risikos. Berlin, New York. Walter de Gruyter Verlag. (ISBN 3-11-012939-6)

National Hurricane Center: http://www.nhc.noaa.gov/archive/2005/KATRINA_ graphics.shtml. Datum des Zugriffs: 12.11.2016.

Oberndorfer, Wolfgang; Jodl, Hans Georg et al. (2001). Handwörterbuch der Bauwirtschaft – ON V 208 – 2. Auflage. Wien. ON Österreichisches Normungsinstitut. (ISBN 3-85402-072-4)

Oepen, Ralf-Peter et al. (2012). Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation – Eine innovative Methode zur Risikobeherrschung und Eindämmung von Ausreißer-Projekten. Hrsg.: BRZ Deutschland GmbH. Wiesbaden. Vieweg+Teubner Verlag. (ISBN 978-3-8348-1892-8).

ÖNORM B 1801-1 (Ausgabe: 2015-12-01) Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 1: Objekterrichtung.

ÖNORM ISO 31000 (Ausgabe: 2010-02-01) Risikomanagement – Grundsätze und Richtlinien.

ÖNORM S 2410 (Ausgabe: 2010-01-01) Chancen- und Risikomanagement – Analyse und Maßnahmen zur Sicherung der Ziele von Organisationen.

ONR 49000 (Ausgabe: 2014-01-01) Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Begriffe und Grundlagen – Umsetzung von ISO 31000 in die Praxis.

Sachs, Michael (2013). Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik für Ingenieurstudenten an Fachhochschulen – 4. Auflage. Hrsg.: Engelmann, Bernd. München. Carl Hanser Verlag. (ISBN 978-3-446-43732-6)

Scherer, Raimar (2010). Mefisto – Partnerschaftliche Nutzung von Multi-Modellinformationen zur Steuerung, Simulation und Führung von Bauprojekten. In: MEFISTO: Management – Führung – Information – Simulation im Bauwesen – Tagungsband 1. Mefisto Kongress – 21. Oktober 2010, Dresden – Veranstaltungen des Instituts für Bauinformatik – Heft 2. Hrsg.: Scherer, Raimar; Schapke, Sven-Eric. Seite 9-36. Dresden. Institut für Bauinformatik der Technischen Universität Dresden. (ISBN 978-3-86780-187-4)

Schubert, Eberhard (1971). Die Erfaßbarkeit des Risikos der Bauunternehmung bei Angebot und Abwicklung einer Baumaßnahme – Heft 7. Hrsg.: Jebe, Hans. Lehrstuhl für Baubetrieb und Baubetriebswirtschaft der Technischen Universität Hannover. Düsseldorf. Werner-Verlag. (ISBN 3-8041-3303-7)

Schulz, Josef (1980). Risikorechnung bei der Preiskalkulation – Ein Weg zur Ermittlung der maximalen Überschreitung von Kostenvoranschlägen. Wiesbaden, Berlin. Bauverlag GmbH. (ISBN 3-7625-1303-1)

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Prognose. Online unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/4546/prognose-v11.html. Datum des Zugriffs: 11.11.2016

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Risiko. Online unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/6780/risiko-v15.html. Datum des Zugriffs: 23.11.2016.

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Ungewissheit. Online unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55049/ungewissheit-v3.html. Datum des Zugriffs: 18.10.2016.

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Unsicherheit. Online unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9325/unsicherheit-v13.html. Datum des Zugriffs: 22.11.2016.

Statista – Das Statistik-Portal:
http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/80/lageparameter/.
Datum des Zugriffs: 14.11.2016.

Stempkowski, Rainer; Waldauer, Evelin (2013). Risikomanagement Bau – Methoden und Erfahrungen bei der praktischen Umsetzung von Risiko- und Chancenmanagement bei Bauprojekten. Wien. Netzwerk – Der Verlag. (ISBN 978-3-902918-00-0)

Stowasser, Joseph M. et al. (1998). Stowasser – Lateinisch - deutsches Schulwörterbuch. Wien, München. Verlag Hölder-Pichler-Tempsky und R. Oldenbourg Verlag GmbH. (ISBN Verlag Hölder-Pichler-Tempsky 3-209-01495-7; ISBN R. Oldenbourg Verlag 3-486-13405-1)

Suhl, Leena; Mellouli, Taïeb (2013). Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen – 3. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-38936-8)

Taleb, Nassim Nicholas (2007). The Black Swan – The Impact of the Highly Improbable. New York. Random House. (ISBN 978-1-4000-6351-2)

Universität Siegen (2011). Vorlesungsfolien: ‚Marktforschung' – Sommersemester 2011. (Online unter: http://slideplayer.de/slide/644669/#. Datum des Zugriffs: 20.10.2016)

Voigt, Matthias (2008). Grundlagen der Probabilistik. Vortrag im Zuge des 1. Dresdner Probabilistik-Workshops der Professur für Turbomaschinen und Strahlantriebe am Institut für Strömungsmechanik. Technische Universität Dresden. 09. bis 10. Oktober 2008.
(Online unter: http://www.probabilistik.de/vortrag/Vortrag0102_Voigt_TUD.pdf.
Datum des Zugriffs: 09.11.2016)

Wiggert, Marcel (2009). Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Yoe, Charles (2012). Primer on Risk Analysis – Decision Making under Uncertainty. Boca Raton, London, New York. CRC Press – Taylor & Francis Group. (ISBN 978-1-4398-5763-2)

3 Daten, Informationen, Wissen und BIM

Daten, Informationen und Wissen bilden das Grundgerüst, um die Zielgrößen des Auftraggebers optimal erreichen zu können. Darüber hinaus dient das aus Daten und Informationen generierte Wissen auch dazu, die einzelnen Elemente und Beziehungen des gesamten Produktionssystems einem ständigen Verbesserungsprozess zu unterziehen und dieses in zukünftige Projekte zu integrieren.

Beim Chancen- und Risikomanagement ist es für alle Entscheidungen von zentraler Bedeutung, welches Chancen- und Risikoverhältnis damit eingegangen wird. Bei den Berechnungen von Bauzeiten und Baukosten beispielsweise ist letztendlich immer ein Ausgangswert zu wählen. In Abhängigkeit von der gewählten Basis, ergibt sich das damit verbundene Chancen- und Risikoverhältnis. Deshalb ist das Wissen über baubetriebliche und bauwirtschaftliche Zusammenhänge in Verknüpfung mit Chancen-Risikoüberlegungen so bedeutend für den Projekterfolg und in letzter Konsequenz für den Erfolg der beteiligten Organisationen. Als Herausforderung für die Praxis gestaltet sich in diesem Kontext jedoch die Erfassung und der Zugriff auf das Wissen, wobei dies zumeist noch als verbesserungswürdig anzusehen ist.

Im Folgenden wird die in diesem Buch verwendete Konzeption des Wissens (fachübergreifend) begrifflich definiert: „Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösungen von Problemen einsetzen. Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden. Es wird von Individuen konstruiert und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge in einem bestimmten Kontext.“[1)]

Als Basis für das Wissen gelten nach *North* Zeichen, die innerhalb eines Zeichenvorrats beliebig angeordnet werden können. Diese stellen auch den Beginn der Wissenstreppe nach *North* dar. Mithilfe einer Syntax werden die Zeichen in einen sinnvollen Zusammenhang gebracht und es erfolgt die Strukturierung der Zeichen zu Daten. Ohne Bezugsrahmen sind die erzeugten Daten jedoch unstrukturiert, isoliert und kontextunabhängig.[2)] Erfolgt die Zuordnung der Daten zu einem bestimmten Thema bzw. werden diese Daten in

[1)] Romhardt (2001), S. 64

[2)] Vgl. North (2011), S. 36f.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_3

einen Kontext gesetzt, entstehen aus den Daten Informationen. Erst durch die sinnvolle Verbindung von Informationen und der Miteinbeziehung von persönlichen Erfahrungen wird aus den Informationen Wissen.[3] Die Verknüpfung von neuen Informationen mit persönlichen Erfahrungen erlaubt ein Vergleichen und Bewerten dieser und resultiert darauf basierend im Ziehen von handlungsrelevanten Konsequenzen. Die Generierung von Wissen verläuft demnach nicht statisch, sondern ist ein kontinuierlich fortlaufender sowie iterativer Prozess. Der Begriff Wissen bezeichnet somit eine Mischung aus Erfahrungen, Wertvorstellungen, Informationen und Fachkenntnissen. Diese Mischung ermöglicht die Konzeption eines kognitiven Schemas zur Beurteilung und Eingliederung neuer Erfahrungen und Informationen.[4] Die beschafften Informationen können für den Informationsempfänger entweder neu sein und somit zu neuem Wissen führen oder bereits bekannt sein und das aktuelle Wissen bestätigen.[5] Durch das Anwenden des Wissens folgt aus dem aktuellen Wissen das Können bzw. das Know-how. Geschieht dies mit einer Handlungsabsicht, entwickelt sich aus dem Können eine Handlung. Findet dieses Handeln wiederum unter den ‚richtigen Voraussetzungen' statt, entsteht daraus die Kompetenz bzw. die Wettbewerbsfähigkeit.[6]

3.1 Wissensarten

In der Informationswissenschaft wird der Wissensbegriff anhand unterschiedlicher Gesichtspunkte beurteilt. Daraus ergeben sich differenzierte Ansätze zu den Wissensarten. Als mögliche Differenzierungen gelten die epistemologische Dimension des Wissens, die sich mit der Artikulierbarkeit bzw. der Dokumentierbarkeit des Wissens beschäftigt, oder die ontologische Dimension, die sich mit der Anzahl der Wissensträger beschäftigt.[7]

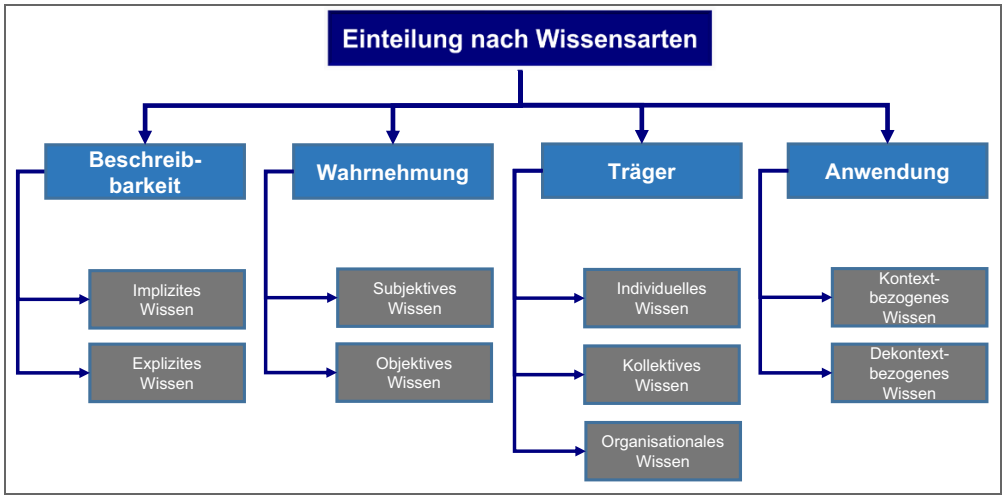


Abb. 3-1 Einteilung nach Wissensarten

3) Vgl. Rathswohl (2014), S. 20
4) Vgl. ebd.
5) Vgl. Gust von Loh (2008), S. 119
6) Vgl. Rathswohl (2014), S. 20f.
7) Vgl. ebd., S. 22ff.

Generell kann Wissen hinsichtlich der Beschreibbarkeit, der Wahrnehmung, des Trägers und der Anwendbarkeit differenziert werden (siehe Abb. 3-1). In Abhängigkeit davon wie Wissen formalisiert und dokumentiert werden kann, wird in implizites und explizites Wissen unterschieden. Bezugnehmend auf die Art der Wahrnehmung erfolgt die Klassifizierung in subjektives und objektives Wissen. Je nach Träger wird in individuelles, kollektives und organisationales Wissen unterschieden. Hinsichtlich der Anwendbarkeit erfolgt die Gliederung in kontext- und dekontextbezogenes Wissen.

3.1.1 Implizites und explizites Wissen

Als implizites Wissen wird jenes Wissen bezeichnet, dass weder formalisierbar noch verbalisierbar ist.[8)] Es ist das Wissen das eine Person aufgrund ihrer Erfahrung und ihrer Praxis als Know-how besitzt. Das mental gespeicherte, implizite Wissen sollte möglichst offen gelegt werden, da durch darin enthaltene Befürchtungen, Hoffnungen, Prädispositionen etc. getroffene Entscheidungen oft undokumentiert (und unbewusst) beeinflusst werden.

Als explizites Wissen gilt ein formulierbares und dokumentierbares Wissen, welches leicht in Worte zu fassen und somit eindeutig kommunizierbar ist.[9)] Es ist demnach leicht zu übertragen und findet beispielsweise in Handbüchern, Arbeitsanweisungen oder Bautagebüchern Anwendung.

3.1.2 Subjektives und objektives Wissen

Der Wissensbegriff wird in subjektives und objektives Wissen differenziert. Subjektives Wissen ist immer an Individuen gebunden. Es ist das persönliche Wissen, das nicht für alle zugänglich ist. Als objektives Wissen wird das Wissen bezeichnet, welches sich in Datenbanken, Büchern oder auf sonstigen Datenträgern befindet. Beim objektiven Wissen handelt es sich somit um dokumentiertes Wissen.[10)]

Nach *Nonaka*/*Takeuchi* ist das subjektive Wissen jenes Erfahrungswissen, welches sich direkt auf die aktive Tätigkeit bezieht und die Durchführung dieser Tätigkeit unbewusst unterstützt.[11)] Das objektive Wissen bezieht sich hingegen auf das theoretische Wissen aus der Vergangenheit.[12)]

3.1.3 Individuelles, kollektives und organisationales Wissen

Während das individuelle Wissen konkret an einzelne Personen gebunden ist, entwickelt sich das kollektive Wissen aus der Kombination von Wissen einzelner Wissensträger in einer Gemeinschaft und schafft dadurch neues eigenständiges Wissen.[13)]

Durch die Ergänzung des individuellen oder kollektiven Wissens durch Unternehmensleitbilder, -ziele und -visionen entsteht das organisationale Wissen.[14)]

---

8) Vgl. Rathswohl (2014), S. 22

9) Vgl. ebd., S. 23

10) Vgl. Stock (2007), S. 20

11) Vgl. Nonaka/Takeuchi (1997), S. 73

12) Vgl. Rathswohl (2014), S. 23

13) Vgl. ebd., S. 24

3.1.4 Kontext- und dekontextbezogenes Wissen

Kontextbezogenes Wissen ist nur in einer speziellen Situation bzw. Aufgabe oder Prozess von Wert.[15] Außerhalb dieser speziellen Situation ist die Anwendung des kontextbezogenen Wissens nur schwer möglich. Das dekontextbezogene Wissen kann dagegen in verschiedenen Bereichen angewendet werden. Es kann als abstrahiertes, theoretisches Fachwissen verstanden werden und hat keinen direkten Bezug zum Anwendungsfall.[16]

3.2 Sammlung von Daten und Informationen

Eine lückenlose Dokumentation bildet das tatsächliche Baugeschehen ab und stellt eine solide Grundlage für die Analyse und Vorbereitung von Bauabläufen dar. Zudem gilt sie als wertvoller Bestandteil des internen Wissensspeichers zur Art und Kombination der eingesetzten Produktionsfaktoren. Auftraggeber (AG) führen ihre Dokumentation durch, um beispielsweise für die Beurteilung der ausgeführten Leistungen bzw. von Mehrkostenforderungen eine entsprechende baubetriebliche Basis zu haben. Auftragnehmer (AN) nutzen die Dokumentation über die Art und Umstände der Leistungserbringung, um ihren Aufwand vergütet zu bekommen und um Mehrkostenforderungen zu begründen sowie durchzusetzen. Des Weiteren kann eine aussagekräftige Dokumentation[17] abgeschlossener Projekte für den AN einen wesentlichen Wettbewerbsvorteil bei der Kalkulation von Folgeprojekten darstellen.

Demnach herrscht ein gegenseitiges Interesse an einer möglichst lückenlosen Dokumentation. Es stellt sich jedoch die Frage, wie detailliert die Dokumentation überhaupt durchgeführt werden kann und welcher Aufwand mit einer solchen (fast) lückenlosen Dokumentation verbunden ist. Daraus wird ersichtlich, welcher Aufwand als vertretbar und wirtschaftlich sinnvoll anzusehen ist.

Für die Analyse des Baubetriebs ist es von Bedeutung, Daten und Informationen über die Art und Kombination der Produktionsfaktoren zu erfassen. Bei arbeitsintensiven Tätigkeiten sind Beobachtungs- und Erfassungsmethoden der REFA-Systematik[18] zielführend.

Die Methodenlehre nach REFA stellt eine Möglichkeit dar, um direkt Anteile unterschiedlicher Tätigkeiten an der Gesamttätigkeitszeit und indirekt Aufwands- und Leistungswerte zu erheben. Aus solchen Analysen – z.B. mittels Multimomentaufnahmen[19] – können beispielsweise Rückschlüsse auf erhöhte Anteile für Verteilzeiten oder Erholungszeiten geschlossen und in weiterer Folge mögliche Produktivitätsverluste aufgezeigt werden. Der gesamte Arbeitsablauf kann baupraktisch sinnvoll bis auf die Ebene der Vorgangsstufen erhoben werden.[20]

---

14) Vgl. Rathswohl (2014), S. 24

15) Vgl. ebd., S. 25

16) Vgl. ebd.

17) Anmerkung: Bestimmte Dokumentationen sind verpflichtend durchzuführen (beispielsweise zu Aspekten des Sicherheits- und Gesundheitsschutzes)

18) Vgl. Berg (1984), S. 51

19) Im Gegensatz zur Zeitaufnahme handelt es sich bei der Multimomentaufnahme um kein Messverfahren, sondern um ein Zählverfahren. Ablaufabschnitte oder Ablaufarten werden zu bestimmten Zeitpunkten stichprobenmäßig erfasst, gezählt und statistisch ausgewertet. Die Anzahl der Beobachtungen lässt Rückschlüsse auf die prozentuelle Häufigkeit des Vorkommens des jeweiligen Ablaufabschnitts oder der jeweiligen Ablaufart im Verhältnis zum gesamten Arbeitsablauf zu. Vgl. Künstner (1984), S. 65

3.3 Allgemeines zur Dokumentation

Die Dokumentation dient allgemein dazu Daten und Informationen gezielt auffindbar zu machen, um vergangene bzw. aktuelle Sachverhalte festzuhalten und weiter- bzw. wiederzugeben.

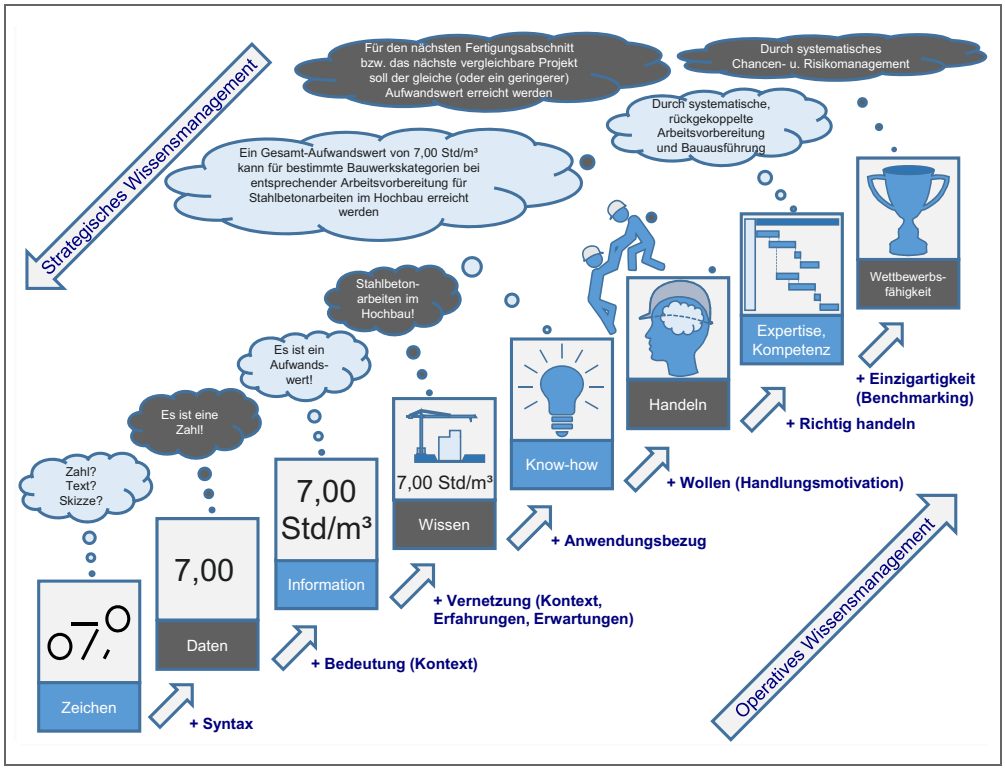


Abb. 3-2 Anwendung der Wissenstreppe nach *North* auf den Baubetrieb[21)]

Wissen wird mit der Dokumentation nur dann vermittelt, wenn Daten und Informationen systematisch vernetzt sind und im Kontext von Erfahrungen und Erwartungen stehen. Wissen ist der Output aus der Kombination von Daten und Informationen. Wissen ist gegenüber Information zweckrelativ, perspektivisch sowie kontext- und aspektabhängig. Die gleiche Information kann aus unterschiedlicher Perspektive, in verschiedenem Kontext unterschiedliches Wissen bedingen. Die Qualität der Dokumentation hängt davon ab, auf welcher Wissensstufe sich der Informationserzeuger befindet und wie einfach oder aufwendig die Dokumentation durchzuführen ist. Auch die Motivation zur Dokumentation hat einen wesentlichen Einfluss auf deren Qualität.

Die Wissenstreppe nach *North* wird beispielhaft auf das Bauwesen angewendet (siehe Abb. 3-2). Zu den verschiedenen Stufen gibt es Symbole und Sprechblasen, die in weiterer Folge

20) Eine weitere Vertiefung auf die Ebene der Vorgangselemente wäre mit zusätzlichem Aufwand für die Vorbereitung, Erhebung und Nachbereitung sowie für die Analyse der Beobachtungen verbunden, der wirtschaftlich in der Baupraxis nur in Ausnahmefällen zu argumentieren sein wird.

21) Vgl. North (2011), S. 36 weiterentwickelt in Hofstadler/Kummer (2016), S. 96

näher behandelt werden. Am Beginn der Treppe sind Zeichen sichtbar, die auf die Zahl 7 und 0 bzw. auf den Buchstaben O deuten. Es könnte sich aber auch um Skizzen handeln.

Erst durch die Syntax zum Baubetrieb wird ein sinnvoller Zusammenhang hergestellt und es stellt sich heraus, dass es sich nicht um die Zahl 0 bzw. den Buchstaben O oder um Skizzen handelt, sondern dass die Zahl 7,00 gemeint ist. Jetzt ist die erste Stufe auf der Treppe überwunden und Buchstaben und Skizzen können ausgeschlossen werden. Die isolierte Betrachtung der Zahl 7 hat jedoch noch keine Aussagekraft. Sie könnte eine Bedeutung für das Wetter haben (z.B. die mittlere Tagestemperatur beträgt 7 °C), sich auf die Produktionsfaktoren beziehen (z.B. 7 Arbeitskräfte wurden eingesetzt), für eine Dauer stehen (z.B. 7 Arbeitstage für einen Vorgang) etc.

Es fehlt der Kontext zu einem System bzw. Teilsystem. Erst durch Zuordnung einer Maßeinheit zur Zahl wird deutlich, dass es sich in dem Beispiel um eine Beziehungszahl handelt. Die Verknüpfung der Zahl mit der Bedeutung führt zur Erkenntnis, dass ein Aufwandswert gemeint ist. Konkret geht es um den Zusatz Std/m³, der als Einheit den Arbeitsaufwand in Lohnstunden je m³ beschreibt. Es fehlt jedoch noch der Bezug, worauf sich die Information der Kubikmeterangabe bezieht. Es könnte sich um das Volumen eines Bauwerks, Bauteils oder Baustoffs handeln. Auch ist noch nicht bekannt, ob es sich dabei um ein festes oder aufgelockertes Volumen handelt. Die alleinige, dekontextualisierte Information, dass der Aufwandswert 7 Std/m³ beträgt, ist für einen unbeteiligten Informationsbenutzer wertlos, da er keine Vernetzung zu aktuellen oder historischen Informationen herstellen kann. Es fehlt die Zuordnungs- und Einordnungsmöglichkeit.

In weiterer Folge ist von Bedeutung, welche Art von Aufwandswert gemeint ist. Der Aufwandswert muss wieder in Beziehung zu einer Tätigkeit und einem Bauwerkstyp, einem Bauteil und zu Leistungen gebracht werden. Durch die Herstellung des Kontexts zum Baubetrieb von Stahlbetonarbeiten bezogen auf ein gesamtes Bauwerk wird konkretisiert, dass es sich um einen Gesamt-Aufwandswert für die Stahlbetonarbeiten in der Höhe von 7 Std/m³ handelt. Durch die Vernetzung des Aufwandswerts mit einem Bild von der Baustelle wird augenscheinlich, dass es sich dabei um ein Hochbauprojekt handelt und damit wichtiges Wissen vermittelt wird. Bedingt durch das vernetzte Denken wird immer klarer, warum bei einem Bauwerk ein höherer Aufwandswert erzielt wird als bei einem Vergleichsbauwerk.

Durch den in weiterer Folge hergestellten Anwendungsbezug werden Details beispielsweise zur Art, Form und Komplexität des Bauwerks sowie zur Quantität und Qualität mit dem Gesamt-Aufwandswert verknüpft. Dadurch ist eine Zuordnung des konkreten Bauwerks zu einer Bauwerkskategorie möglich. Es wird für den Informationsbenutzer immer klarer, unter welchen Umständen und mit welchem Produktionssystem der Gesamt-Aufwandswert zustande gekommen ist. Es entsteht dadurch im Zusammenhang mit vergangenen und dem aktuell betrachteten Bauwerk Know-how. Durch die Vernetzung wird die genauere Bewertung der Einschätzung des Arbeitsaufwands für Bauteile bzw. das gesamte Bauwerk weiter verbessert.

Mit der Motivation, die Kombination der Produktionsfaktoren für das aktuelle und zukünftige Projekt zu verbessern und dadurch die Aufwandswerte zu senken, wird die Stufe des Handelns erreicht. Es wird aktiv versucht, Wissen in Können umzusetzen, das in konkreten messbaren Handlungen mündet. Es entsteht Know-how, das zielgerichtet angewendet werden kann, um die Ausführung von Bauarbeiten wirtschaftlicher zu gestalten (Stufe des Handelns).

Die Stufe der Kompetenz wird dann erreicht, wenn das Wissen zielgerichtet angewendet wird. Kompetenz liegt dann vor, wenn für ein Projekt realitätsnahe (genaue) Aufwandswerte ermittelt werden, weil die richtigen Schlüsse aus der Analyse des inneren und

äußeren Produktionssystems gezogen wurden. Im Produktionssystem sind systematische Rückkopplungsprozesse installiert, die zeitnahe Soll-Ist-Vergleiche liefern und durch richtiges Handeln im Produktionsprozess Gegensteuerungsmaßnahmen ermöglichen, damit die Produktivität erhöht wird und damit die Kosten gesenkt werden. Richtiges Handeln forciert die effiziente Auswahl und Kombination der Produktionsfaktoren, um die Projektziele zu erfüllen.

Die Einzigartigkeit wird dann erreicht, wenn Leistungen vollbracht werden, die von Mitbewerbern nicht möglich sind. Beispielsweise kann durch systematisches Chancen- und Risikomanagement und Implementierung von Chancen-Risikoverhältnissen in die Kalkulation der Angebotspreis derart gestaltet werden, dass der Auftrag erhalten und trotzdem das Projekt erfolgreich umgesetzt wird. Als besonders vorteilhaft werden für die Wettbewerbsfähigkeit die Kernkompetenzen[22)] einer Organisation angesehen. Hat sich beispielsweise ein Bauunternehmen Kernkompetenzen bei der Herstellung von geneigten Bauteilen aus hochwertigem Sichtbeton (z.B. Sichtbetonklasse SB4 nach DBV/VDZ – Merkblatt „Sichtbeton“:2015) angeeignet, verschafft ihm das einen besonderen Wert beim Kunden und einen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Unternehmen.

Bezogen auf die Wissenstreppe richtet sich die Dokumentation des AN einerseits an den AG (in Form von Daten und Informationen), andererseits dient die Dokumentation aber auch dem AN selbst, um seinen Wissensspeicher systematisch zu befüllen.

Ein wesentlicher Punkt, der an dieser Stelle anzuführen ist, ist jener des Nachtragsmanagements, das in besonderer Weise von einer effektiven Datenerfassung und einer damit einhergehenden Informationsgenerierung profitiert.

Für interne Zwecke werden vom AN jedoch nicht nur reine Daten und Informationen, sondern auch Wissen dokumentiert (siehe Abb. 3-3). Der AN wird dem AG nur jene baubetrieblichen Informationen liefern, zu deren Weitergabe er verpflichtet ist.

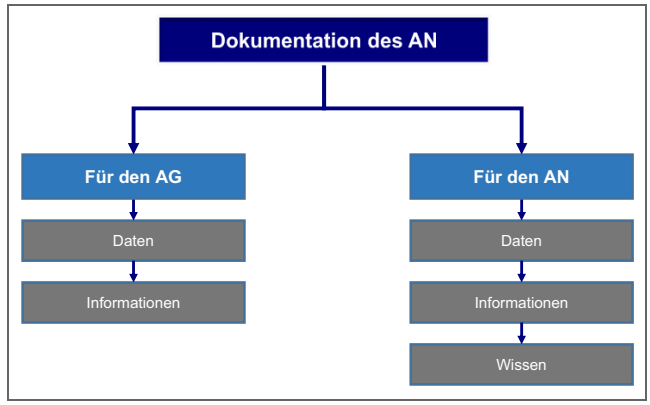


Abb. 3-3 Dokumentation des AN

Grundsätzlich sind dabei die unterschiedlichen Prozesse für eine systematische Datenerfassung und die einer Informationsgenerierung gegenüberzustellen (siehe Abb. 3-4). Erst wenn Daten inkl. der damit verbundenen Bedeutung (dem Kontext) in ein intelligentes Wissensmanagementsystem übergeführt werden, ist damit ein Anwendungsbezug hergestellt und führt zu einem erweiterten Know-how.

22) „Kernkompetenzen sind ein Verbund von Fähigkeiten und Technologien, der auf explizitem und verborgenem Wissen beruht und durch zeitliche Stabilität und produktübergreifenden Einfluss gekennzeichnet ist.“ North (2011), S. 38

Durch motiviertes und richtiges Handeln sind die höchsten Stufen auf der Wissenstreppe (siehe Abb. 3-2) erreichbar und führt zum aggregierten Know-why (Hintergründe, Wechselwirkungen etc.).

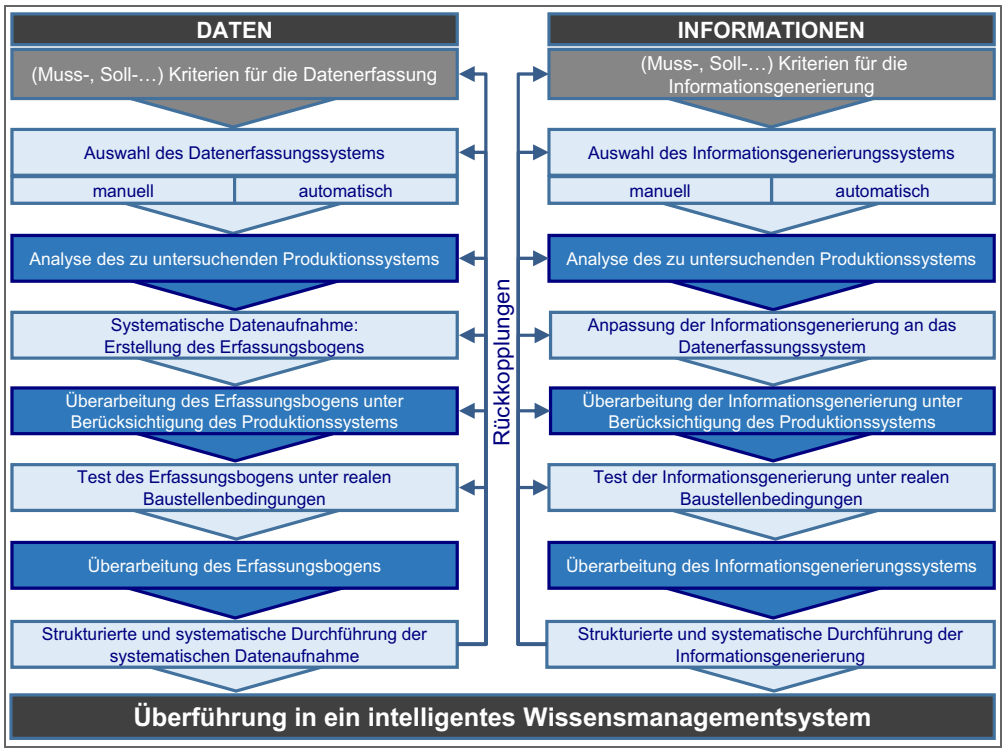


Abb. 3-4 Prozesse zur systematischen Datenerhebung und Informationsgenerierung[23)]

Die Form der Dokumentation kann dabei auf unterschiedliche Arten (z.B. Berichte, Fotos, Videos, Tabellen, Auflistungen) erfolgen. Entscheidend ist, dass die Gesamtheit der Dokumentation zu einem späteren Zeitpunkt nachvollzogen, Analysen durchgeführt, strittige Fragestellungen geklärt und möglichst eindeutige Aussagen getätigt werden können.

Dabei ist der Informationsfluss zwischen dem Informationserzeuger und dem Informationsbenutzer näher zu betrachten.

3.4 Informationsfluss

Der gezielte Austausch von Informationen wird als Informationsfluss oder auch als Informationsstrom bezeichnet. Dabei werden mündliche, schriftliche oder bildliche Daten von einem Informationserzeuger zu einem Informationsbenutzer transportiert.

23) Vgl. Hofstadler/Kummer (2016), S. 98

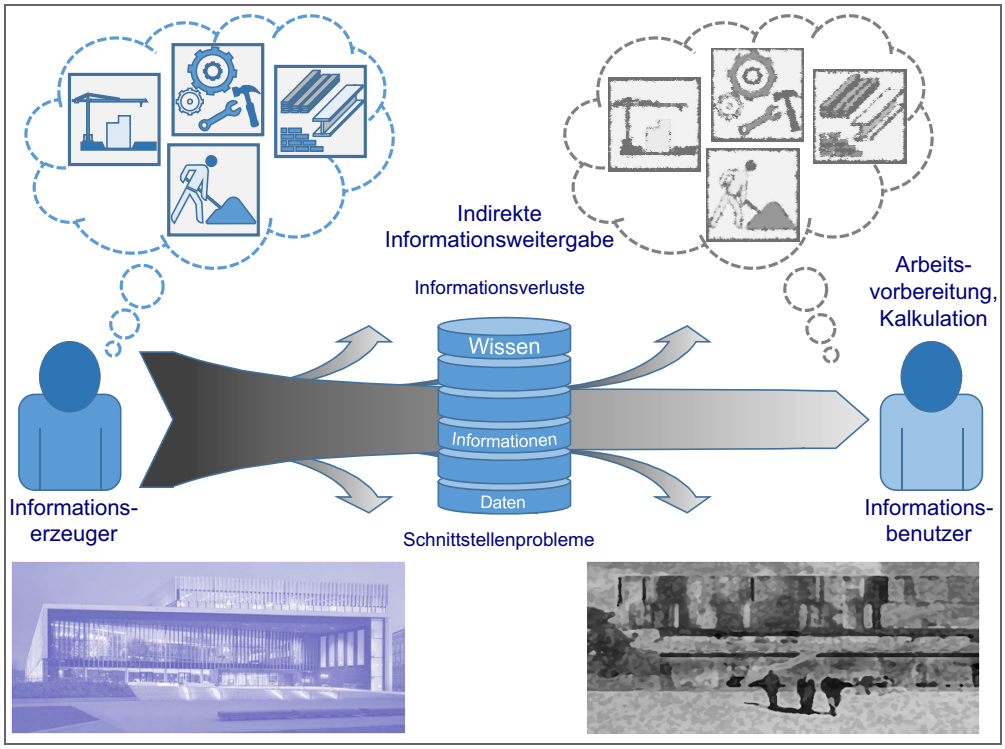


Abb. 3-5 Unvollständiger Informationsfluss[24)]

Umgelegt auf den Baubetrieb und die Bauwirtschaft wäre dabei folgende Situation denkbar (siehe Abb. 3-5): Ein Mitarbeiter aus der Kalkulationsabteilung ist damit beauftragt, die Stahlbetonarbeiten für ein neues Hochbauprojekt zu kalkulieren. Dieser hat wenig Erfahrung in diesem Bereich und wendet sich an einen Kollegen der Bauleitung eines kürzlich abgeschlossenen ähnlichen Projekts, um Aufwands- und Leistungswerte, Umstände der Leistungserbringung, Probleme bei der Ausführung etc. in Erfahrung zu bringen.

Die Informationen, die beim Informationsbenutzer ankommen, werden nicht die gleichen sein, die der Informationserzeuger glaubt, weitergegeben zu haben. Aufgrund von Schnittstellenproblemen, subjektiver Wahrnehmung, unvollständiger Erinnerung etc. wird es zu Informationsverlusten kommen und der Mitarbeiter der Kalkulationsabteilung wird ein unvollständiges Bild über den Einsatz der Produktionsfaktoren bekommen.

Für verlässliche Kalkulationen und Berechnungen in der Projektvorbereitung, in der Angebotskalkulation, in der Arbeitsvorbereitung, während der Bauausführung und im Zuge des Claimmanagements ist eine systematische und strukturierte Dokumentation durchzuführen. Der Informationsgehalt kann durch Bilder, Videos, Pläne, Darstellungen von Abläufen etc. verstärkt werden.

Der Weg der Informationen vom Informationserzeuger zum Informationsbenutzer ist in der Form zu gestalten, dass die erhobenen Daten und Informationen intuitiv richtig und ohne Erklärungen des Informationserzeugers verstanden werden können. Der qualitative

[24)] Vgl. Hofstadler/Kummer (2016), S. 99

Ablauf der Dokumentation ist in Abb. 3-6 dargestellt. Die Schaffung und Nutzung von intelligenten Wissensspeichern führt für alle Projektbeteiligten zu einer erhöhten Genauigkeit von Berechnungen zur Bauzeit und zu Baukosten.

Um Aufwands- und Leistungswerte sinnvoll zu dokumentieren, sind auch die Umstände, unter denen diese Werte zustande gekommen sind, mit aufzuzeichnen. Eine Kategorisierung nach Bauwerks- und Baustellentypen, Grund- und Aufrissgestaltung, Schwierigkeitsgraden, Qualitätsanforderungen etc. kann dabei helfen, Bandbreiten bzw. Verteilungsfunktionen für probabilistische Berechnungen aus dem Datenmaterial zu extrahieren.

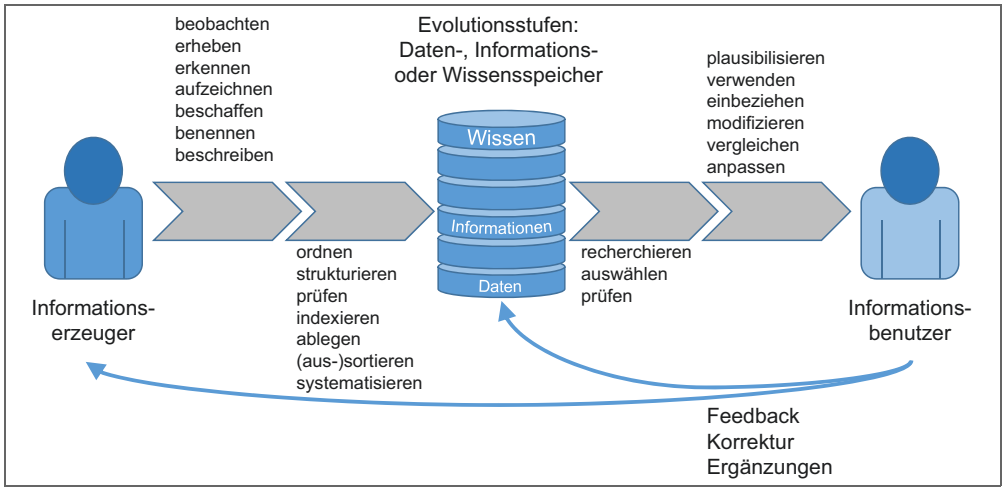


Abb. 3-6 Qualitativer Ablauf der Dokumentation[25)]

Die Dokumentation von baubetrieblich und bauwirtschaftlich relevanten Informationen erfolgt auf unterschiedliche Arten, die es weiter zu differenzieren gilt. Nachfolgend wird demonstrativ auf diese eingegangen.

3.5 Informationen und Datenqualität

Die Qualität von Informationen determiniert in hohem Maße, ob Sachverhalte präzise und richtig vermittelt werden können. Dies ist für die Zielerreichung unbedingt notwendig. Zu den häufig verwendeten Qualitätskriterien für Informationen zählen Korrektheit, Vollständigkeit, Relevanz, Konsistenz, Aktualität, Zuordenbarkeit, Klarheit, Zuverlässigkeit und Prägnanz.

Nach *Wang/Strong* wird die Qualität von Informationen anhand von folgenden Kategorien und Dimensionen betrachtet:

1. Informationszugang:
   Systemzugang, Zugangssicherheit

2. Darstellung:
   Interpretierbarkeit, Verständlichkeit, Manipulationsfähigkeit, Integrität und Widerspruchsfreiheit

[25)] Vgl. Kummer (2015a), S. 260

3. Informationszusammenhang:
   Relevanz, Zusatznutzen, Aktualität, Vollständigkeit, Informationsumfang

4. Eigenwert (inhärente bzw. intrinsische Dimension):
   Richtigkeit, Objektivität, Glaubwürdigkeit, Reputation[26)]

Menschen sind im privaten und beruflichen Bereich ständig mit Informationen konfrontiert. Privat können das beispielsweise Informationen in der Form von Beipacktexten für Medikamente sein. Im beruflichen Kontext sind z.B. Daten wie Aufwands- und Leistungswerte für die Berechnung von Bauzeiten und Baukosten als relevante Informationen denkbar.



Abb. 3-7 Aufwandswert, Medikament und Beipacktext

Wichtiges Informationsmedium bei Medikamenten ist der Beipacktext (Beispiel siehe Abb. 3-7). Es stellt sich hier die Frage, was der Beipacktext mit dem Baubetrieb und der Bauwirtschaft gemein hat? Wie in Beipacktexten ist in der Baubranche die Verlässlichkeit und Korrektheit der Informationen zentral für deren Anwendung. Dies gilt vor allem dann, wenn in der Baubranche historische Daten die Grundlage beispielsweise für Berechnungen von Kosten oder Zeiten darstellen. Allenfalls liegt es an der Qualität der Informationen, ob nach deren Anwendung gute oder schlechte Resultate erzielt werden.

Die Anwendung von Medikamenten, für die kein Beipacktext vorliegt, ist problematisch und risikoreich. Einerseits kann es sich um ein inadäquates Medikament handeln, andererseits kann die Dosierung zu hoch oder zu niedrig gewählt sein. Bei zu niedriger Dosierung bleibt die erwartete Wirkung aus bzw. stellt sich erst viel später ein. Wenn zu hoch dosiert wird, kann sich der Zustand verschlechtern und unerwünschte Nebenwirkungen können sich einstellen. Das Gleiche gilt, wenn es zwar einen Beipacktext gibt, dieser aber so verfasst wurde, dass sein Inhalt un- oder missverständlich formuliert wurde.

Auf den Baubetrieb und die Bauwirtschaft übertragen gilt die gleiche Vorgehensweise für den Umgang mit historischen Daten von vergangenen Projekten. Ohne Informationen (‚Beipacktext' z.B. für Aufwandswerte; AW_{STB} = Gesamt-Aufwandswert für Stahlbetonarbeiten) darüber, wie und unter welchen Umständen, die Werte ermittelt wurden, sind diese unbrauchbar und irreführend. Es ist erforderlich die Art und Weise wie die Produktionsfaktoren kombiniert wurden und welche Begleitumstände aufgetreten sind, als

[26)] Vgl. Wang/Strong (1996), S. 5ff.

anschauliche und nachvollziehbare Informationen zu verarbeiten. Für gestörte Bauprozesse ist es notwendig, die Symptome und auch die Anamnese zu dokumentieren und zu beschreiben, um eine Diagnose abgeben zu können. Darauf aufbauend können dann wirksame sowie ökonomisch sinnvolle Gegensteuerungsmaßnahmen gesetzt werden.

Für verlässliche Kalkulationen und Berechnungen in der Projektvorbereitung, in der Angebotskalkulation, in der Arbeitsvorbereitung, während der Bauausführung und im Zuge des Claimmanagements sind systematisch und strukturiert erstellte ‚Beipacktexte' unabkömmlich. Der Informationsgehalt kann durch Bilder, Pläne, Darstellungen von Abläufen etc. erhöht und damit eine Informationsverdichtung herbeigeführt werden. Dies ist auf jeden Fall erforderlich, da damit die Weitergabe einer unnötigen Fülle an Informationen verhindert wird. Zudem wird im Rahmen der Informationsverdichtung den zentralen Aspekten der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Daten, Grafiken, Diagrammen etc. eine große Bedeutung zugesprochen. Das Einrichten von Filtern ermöglicht einen systematischen Zugriff auf die relevanten Informationen. Der Nutzer der Informationsquelle gibt bekannt für welche Projektphase und welche Untersuchung (Kalkulation, Bauzeitenberechnung, Leistungsabstimmung, Produktivitätsverlustermittlung etc.) die benötigten Informationen gebraucht werden. Von einer eingesetzten Wissensmanagement-Software werden automatisch nur jene Informationen ausgegeben, die tatsächlich für das konkrete Vorhaben von Relevanz sind. Damit wird eines unnötig komplexitätserhöhenden Informationsüberschusses vorgebeugt und die Bedienerfreundlichkeit des Systems erhöht.

Das Wissensmanagement, bezogen auf historische Daten von Bauprojekten, umfasst das Auswerten, Selektieren, Erschließen, Bereitstellen, Wiederverwerten, Suchen, Vermitteln und Finden von relevantem (idealerweise digital vorliegendem) Wissen durch Informations- und Kommunikationsprozesse.

Für den Nutzer von Daten ist es von großer Bedeutung zu ergründen, welche und wie viele Informationen gerade notwendig sind, damit die historischen Daten für ein aktuelles Projekt überhaupt sinnvoll anzuwenden sind. Informationen sind dann als zweckdienlich zu betrachten, wenn daraus die Randbedingungen abgeleitet werden können, die beispielsweise für Aufwands- oder Leistungswerte gelten. Erst danach kann festgelegt werden, in welchem Umfang diese Werte an gegebene Sachverhalte und Bedingungen anzupassen sind (erhöhen oder reduzieren). Jedenfalls ist hier die Interpretation von Werten in Bandbreiten hilfreich. Noch besser ist die Anwendung probabilistischer Berechnungsverfahren (z.B. Monte-Carlo-Simulationen).

Es ist strikt davon abzuraten, Daten einfach zu übernehmen, ohne diese vorher auf ihre Plausibilität und Anwendbarkeit zu prüfen. Black-Box-Betrachtungen sind in diesem Zusammenhang jedenfalls nicht zu empfehlen, da nur Input-Output-Beziehungen gemessen werden. Eine Black Box ist ein System, dessen innerer Aufbau und innere Funktionsweise unbekannt sind oder nicht als bedeutsam erachtet werden. Es ist nur das Verhalten der Black Box, die über definierte Schnittstellen eine bestimmte Funktionalität sicherstellt, von Interesse.

Auf den Baubetrieb übertragen würde das beispielsweise heißen, dass nur gemessen wird, wie viele Produktionsfaktoren in welcher Zeit eingesetzt wurden und welche Leistung, Quantität und Qualität dabei herausgekommen ist. Welche Produktionsfaktoren sowie Art und Weise, wie die Produktionsfaktoren miteinander kombiniert wurden, und welche externen und internen Einflüsse auf das Produktionssystem gewirkt haben, ist nicht bekannt oder von Interesse. Im Rahmen eines Soll-Ist-Vergleichs sind Abweichungen in Aufwandswerten oder Leistungswerten anhand der Zahlen einfach darstellbar. Die Schwierigkeit dabei liegt in der eindeutigen und nachweisbaren Darstellung der Ursache-

Wirkungs-Zusammenhänge sowie in klaren Abgrenzungen der Sphären, die die Abweichungen verursacht haben. Diese Bemühungen enden in den meisten Fällen als Black Box bzw. werden vom Vertragspartner als solche dargestellt. Derart erstellte und begründete Mehrkostenforderungen werden vom Auftraggeber von vornherein abgelehnt.

Wenn auf Baustellen Bauabläufe beobachtet werden, gibt es Rahmenbedingungen, die einfach in Worte gefasst werden können, wie z.B. der Beginn des Regens um 09:00 und das Ende um 10:30 Uhr. Nicht in Worte gefasst und schon gar nicht quantifiziert werden können z.B. ein beobachteter, schleppender Beginn bei den Bewehrungsarbeiten in einem Fertigungsabschnitt für eine Decke sowie ein Zusammenhang mit einem nicht eindeutigen, teilweise widersprüchlichen Bewehrungsplan. Die dadurch entstandenen höheren Aufwandswerte sind zwar messbar, die Herausforderung liegt aber in der eindeutigen und nachweisbaren Zuordnung zur Ursache der mangelnden Planungsqualität.

Das Problem bei der Dokumentation ist die selektive Perzeption[27)] und in weiterer Folge die Transformation in zielgerichtete Informationen. Die zentrale Frage lautet, wie der Beipacktext für brauchbare Kalkulationsansätze aus abgeschlossenen Bauprojekten aussehen muss, damit historische Daten für zukünftige Projekte effizient und effektiv angewendet werden können. Mit der Qualität der Informationen steigt auch die Qualität in der Anwendung der historischen Daten, da z.B. die Bandbreite zwischen den minimalen- und maximalen Werten enger festgelegt werden kann.

Qualitätskriterien für die Datenqualität unterscheiden sich von denen für Informationsqualität und sind folgendermaßen geordnet:

- „Korrektheit: Die Daten müssen mit der Realität übereinstimmen.
- Konsistenz: Ein Datensatz darf in sich und zu anderen Datensätzen keine Widersprüche aufweisen.
- Zuverlässigkeit: Die Entstehung der Daten muss nachvollziehbar sein.
- Vollständigkeit: Ein Datensatz muss alle notwendigen Attribute enthalten.
- Genauigkeit: Die Daten müssen in der jeweils geforderten Exaktheit vorliegen (Beispiel: Nachkommastellen).
- Aktualität: Alle Datensätze müssen jeweils dem aktuellen Zustand der abgebildeten Realität entsprechen.
- Redundanzfreiheit: Innerhalb der Datensätze dürfen keine Dubletten vorkommen.
- Relevanz: Der Informationsgehalt von Datensätzen muss den jeweiligen Informationsbedarf erfüllen.
- Einheitlichkeit: Die Informationen eines Datensatzes müssen einheitlich strukturiert sein.
- Eindeutigkeit: Jeder Datensatz muss eindeutig interpretierbar sein.
- Verständlichkeit: Die Datensätze müssen in ihrer Begrifflichkeit und Struktur mit den Vorstellungen der Fachbereiche übereinstimmen.“[28)]

3.5.1 Methoden der Informationsbeschaffung

Um Aussagen über zukünftige Ereignisse auf Basis von vergangenen oder gegenwärtigen Umständen treffen zu können, sind entsprechende Informationen zu beschaffen und aufzubereiten. In Abb. 3-8 ist eine Übersicht der Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Methoden der Informationsbeschaffung (bei *Haberfellner et al.* als Informations-Beschaffungstechniken bezeichnet) gegeben.[29)]

---

27) Wahrnehmung (auch Perzeption) ist der Prozess und das Ergebnis der Informationsgewinnung und -verarbeitung von Reizen aus der Umwelt und dem Körperinnern eines Lebewesens.

28) http://www.computerwoche.de/a/gute-daten-schlechte-daten,1931857. Datum des Zugriffs: 29.10.2016

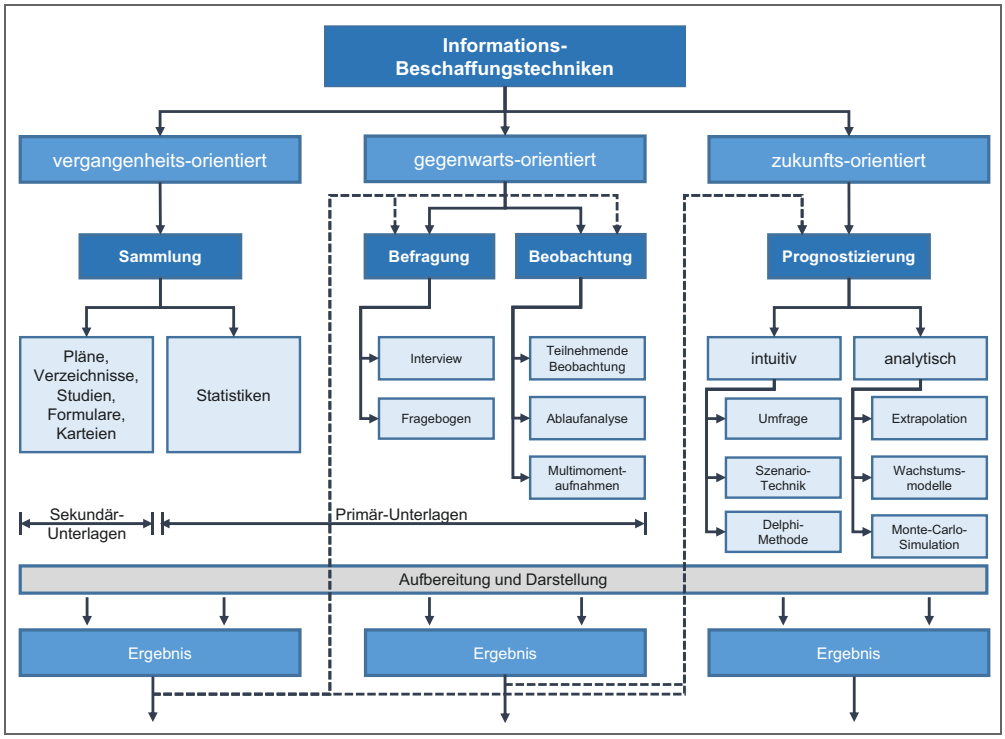


Abb. 3-8 Übersicht zu den Methoden der Informationsbeschaffung nach *Haberfellner et al.*[30)]

Je nach zeitlichem Aspekt kommen Sammlungen, Befragungen oder Beobachtungen zur Anwendung. Bei der Sammlung von Literaturquellen (Pläne, Verzeichnisse, Studien, Formulare, Karteien etc.) handelt es sich um sogenannte Sekundär-Unterlagen. Sie haben nur indirekte Bezüge zum Untersuchungsgegenstand bzw. zum Vorhaben. Primär-Unterlagen sind Unterlagen, die im Rahmen von mündlichen oder schriftlichen Befragungen, Beobachtungen oder Sammlungen (Statistiken) gezielt erschlossen werden. Prognosetechniken werden zur Erstellung von Informationen über zukünftige Entwicklungen und Zustände angewendet. Hierbei wird in intuitive und analytische Verfahren unterschieden.[31)]

Die Monte-Carlo-Simulation ist den modellbasierten Verfahren zuzuordnen, da hier Informationen einzelner Berechnungsparameter durch die Wahl von Verteilungsfunktionen in die Simulationen einfließen. Liegt keine systematisch erhobene Datenbasis vor, wird auf Einschätzungen von fachkundigen Experten zurückgegriffen. Die Experten definieren die Inputparameter dann aufgrund ihrer (unsystematisch) gesammelten Erfahrungen und Informationen aus persönlichen Beobachtungen. Das Wissen der Experten um Bandbreiten für bestimmte Parameter (z.B. Kosten, Aufwands- und Leistungswerte,

29) Anmerkungen zur Abbildung von *Haberfellner et al.*:
AD) „Teilnehmende Beobachtung“: auch eine nicht teilnehmende Beobachtung wäre hier zur Informationsbeschaffung möglich; AD) „intuitive Prognostizierung“: Die hier angeführten Methoden sind keineswegs als rein ‚intuitiv‘ im Sinne von Entscheidungen auf Basis unbewusster Schlussfolgerungen zu bezeichnen. Im Gegenteil werden hier (von Experten) rationale Abwägungen in Kombination mit Fachwissen getätigt. Die von *Haberfellner et al.* gewählte Begriffszuschreibung wird dennoch vollständigkeitshalber übernommen.

30) Vgl. Haberfellner et al. (2002), S. 482

31) Vgl. ebd., S. 481

Dauern) sowie ihre projekt- und situationsbezogenen Angaben können im Zuge von Monte-Carlo-Simulationen in Verteilungsfunktionen für die Inputparameter übergeführt werden. Liegt hingegen eine Datenbasis vor (auf die richtige Abgrenzung der Daten ist dabei besonderer Wert zu legen), kann durch ein Datenfitting untersucht werden, welche theoretische Verteilung die entsprechenden Daten bestmöglich abbildet bzw. repräsentiert.

3.5.2 Informationsasymmetrie

In weiterer Folge wird behandelt, was generell unter Informationsasymmetrie zu verstehen ist. Im Rahmen einer Unterhaltung über einen Sachverhalt zwischen zwei Personen besteht in den meisten Fällen eine Informationsasymmetrie, d.h. dass eine Person informierter ist als die andere. Dadurch entsteht eine Informationsasymmetrie. Im ökonomischen Kontext bedeutet Informationsasymmetrie vereinfacht gesagt lediglich, dass bei einer Transaktion oder Markthandlung von zwei Akteuren einer von einem Informationsnachteil betroffen ist. D.h., dass einer der beiden Geschäftspartner weniger Informationen hat als der andere Akteur und deshalb zwangsläufig einen vom Informationscharakter abhängigen Nachteil hat.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass in der Ökonomie die Information oder Informationsflüsse als spezielle Güter gelten. Dies lässt sich besonders bei der privaten Forschung beobachten, da dort innerhalb einer Fachrichtung geforscht wird und diese Informationen zunächst den Forschern und Organisationen vorbehalten sind. Bezogen auf die Märkte kann also gesagt werden, dass Informationen die Grundlage sämtlicher ökonomischer Handlungen darstellen.

Der Hauptgrund für die Entstehung von Informationsasymmetrien auf Märkten ist das Vorhandensein von privaten Informationen im Marktgeschehen. Diese privaten Informationen erlauben einigen Marktakteuren einen Vorteil gegenüber anderen Marktteilnehmern; letztere handeln in diesem Fall unter unvollständigen Informationen.

3.5.2.1 Umstände der Informationsasymmetrie

Es gibt einige Gründe, weshalb eine Partei bzw. ein Akteur mehr Informationen hat als sein Gegenüber, was als Informationsasymmetrie bezeichnet werden kann.

Mögliche Erklärungsansätze für Informationsasymmetrien:[32)]

- Hidden property bzw. Hidden characteristics: Dabei handelt es sich um eine verborgene, nicht beobachtbare und unveränderbare Eigenschaft eines Akteurs (bzw. des von ihm angebotenen Marktgutes).
- Hidden action: Dies bezeichnet die verborgene und unbeobachtbare Handlung eines Akteurs.
- Hidden information: Dabei handelt es sich um den verborgenen, unbeobachtbaren und unveränderlichen bzw. nicht beurteilbaren Umstand in Bezug auf die Handlungen eines Akteurs.
- Hidden intention: Dies bezeichnet die verborgene und unbeobachtbare Absicht eines Akteurs.

32) Vgl. Arrow (1984), S. 3ff.

3.5.2.2 Prinzipal-Agent-Theorie

Das am häufigsten genutzte Modell, um die unterschiedliche Verteilung von Informationen zwischen Vertragspartnern zu beschreiben, ist die Prinzipal-Agent-Theorie.

Das Problem der Informationsasymmetrie liegt hier in der Trennung von Eigentum und Kontrolle begründet. Große Unternehmen werden häufig nicht vom Eigentümer oder den Eigentümern selbst, sondern von einem Vorstand geführt. Den Agenten (Managern) obliegt damit die Interessenvertretung des Prinzipals (Eigentümers).

Auf die Bauwirtschaft übertragen stellt im Zuge des Vergabeprozesses der AG den Prinzipal dar und der AN den Agenten. Der AG besitzt in dieser Phase wesentlich mehr Informationen über das Bauprojekt und hat gegenüber dem AN einen großen Informations- und Wissensvorsprung. Nach der Auftragsvergabe beginnt der AN den Bauvertrag zu erfüllen und erbringt die geschuldeten Bauleistungen.

Der AN lernt den Baugrund, das Umfeld, das zu bauende Bauwerk und insgesamt das gesamte Produktionssystem immer besser kennen. In weiterer Folge kommt es zu einer Umkehr hinsichtlich des Informationsstandes zum Bauwerk und den Umständen der Leistungserbringung. Der AN wird teilweise zum Prinzipal und der AG zum Agenten. Ebenfalls kann der AN gegenüber seinen Nachunternehmern (Subunternehmern) zum Prinzipal werden. Diese Situation kann zu einem Interessenskonflikt führen, wenn die Ziele des Agenten sich nicht mit denen des Prinzipals decken.

Umgelegt auf den Baubetrieb und die Bauwirtschaft haben die Vertreter des AG im Zuge der Ausschreibung einen Informationsvorsprung gegenüber den Bietern. Diese haben meist nur wenig Zeit, um die Angebotsunterlagen vollständig und detailliert zu prüfen und zu analysieren. Dies gilt vor allem vor dem Hintergrund, dass nur etwa jedes zehnte Angebot zu einem Auftrag führt. Die Kosten für die Angebotsbearbeitung von etwa zehn Projekten müssen demnach auf ein Projekt umgelegt werden, um eine Kostendeckung zu erreichen.

Der AG ist von der ersten Projektidee involviert und hat bereits während der Projektvorbereitung und Planung einen Informationsstand erreicht den die Bieter in der meist kurzen Angebotsphase nicht aufholen können. Im Zuge der Bauausführung dreht sich dieses Verhältnis um. Der Informationsvorsprung geht auf den AN über, da er direkt mit der Ausführung des Projekts, beschäftigt ist und er Informationen seiner Subunternehmer und Lieferanten direkt erhält.

3.5.2.3 Ex-Ante Informationsasymmetrie

Unter Ex-Ante Informationsasymmetrie versteht man eine ungleiche Verteilung von Informationen vor Vertragsabschluss. In einer Prinzipal-Agenten Beziehung geht man davon aus, dass der Informationsvorteil auf Seiten des Prinzipals liegt. Auch wenn er nicht in der Lage ist die Informationen zu verändern, sind Sie ihm zumindest bekannt. Durch die Zurückhaltung relevanter Informationen (Hidden information) kann dieser Tatbestand zu ‚adverser Selektion' (siehe Abschnitt 3.5.2.4) führen.

3.5.2.4 Adverse Selektion

Hidden information kann zu adverser Selektion[33)] (negativer Auslese) führen. Die persönlichen Eigenschaften einer Person sind für Außenstehende letztlich nur schwer zu identifizieren.

Beispielsweise wird ein Verkäufer mehr Informationen bezüglich der Eigenschaften eines Verkaufsgegenstandes haben als der Käufer.

Ein oft herangezogener Artikel zur adversen Selektion stellt der ‚market for lemons' (Gebrauchtwagen) von *Akerlof* dar.[34)]

Im Markt für Gebrauchtwagen existieren sowohl schlechte als auch gute Fahrzeuge. Für den Nachfrager ist jedoch nicht, oder nur mit erheblichen Kosten, festzustellen, um welche Art von Fahrzeug es sich handelt. Er wird deshalb von einer durchschnittlichen Qualität der Fahrzeuge ausgehen.

Auf der anderen Seite kennt der Verkäufer eines Wagens die Qualität sehr gut. Er hat einen Informationsvorteil gegenüber seinen potenziellen Käufern.

Da die Käufer von einer nur durchschnittlichen Qualität ausgehen, werden sie auch nur bereit sein einen durchschnittlichen Preis zu zahlen.

Die Verkäufer der guten Fahrzeuge werden nun nicht mehr bereit sein ihre Autos anzubieten. Mit dem geringen Preis sind sie nicht in der Lage, ihre Kosten zu decken. Im Markt verbleiben nur die Autos von geringerer Qualität (als der Durchschnitt).

Adverse Selektion in der Bauwirtschaft

Am Markt für Bauwerke existieren schlechte als auch gute bzw. sehr gute Bauunternehmen. Für den Bauherrn ist jedoch nicht – besonders bei Konsumentengeschäften – oder nur mit erheblichen Kosten festzustellen, welche Ausführungsqualität sowie Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit vom Bauunternehmen zu erwarten ist. Auf der anderen Seite kennt der Vertreter der Baufirma die Qualität des Unternehmens sowie dessen Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit sehr gut. Er hat einen großen Informationsvorteil gegenüber dem potenziellen Auftraggeber.

Da in der Bauwirtschaft derzeit die Bauunternehmen einen schlechten Ruf haben (Medienberichte über Baumängel, Kostenüberschreitungen, Lohn- und Sozialdumping, Bauskandale, Unzuverlässigkeit etc.), werden die Auftraggeber nur bereit sein, einen durchschnittlichen oder niedrigen Preis für Bauleistungen zu bezahlen. Die Vertreter der guten Bauunternehmen, die gut ausgebildetes, eigenes Personal beschäftigen und sehr gute Geräte einsetzen können, werden nicht mehr bereit sein (können), ihre hochwertigen Leistungen anzubieten. Mit dem geringen Preis sind sie nicht mehr in der Lage ihre Kosten zu decken. Im Markt verbleiben nur die Baufirmen von geringerer Qualität (also höchstens der Durchschnitt), da schlicht und einfach der Betrieb des Bauunternehmens weniger kostet.

33) „Ausprägung von Marktversagen, welche aus der Informationsasymmetrie zwischen Vertragspartnern vor Vertragsabschluss resultiert. Anbieter hoher Qualität ziehen sich teilweise oder vollständig aus dem Markt zurück." http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/adverse-selection.html. Datum des Zugriff: 21.10.2016

34) Vgl. Akerlof (1970), S. 488ff.

3.6 Systematisches Wissensmanagement

Dokumentationssystemen, welche insbesondere darauf ausgerichtet sind, die einzelnen Einflussgrößen aufzuzeigen (z.B. Art der Produktionsfaktoren, Umstände der Leistungserbringung), kommt eine bedeutende Rolle beim Ursachennachweis zu. Wesentlich ist hier die Herstellung des Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs. Zur erfolgreichen Nachweisführung von Bauablaufstörungen ist es erforderlich, die von den Störungen betroffenen Bauabschnitte und Arbeiten zu dokumentieren.

Bei Bauverträgen mit Leistungsverzeichnissen ist für die entsprechenden Arbeiten darzustellen, um welche Leistungen es sich im Leistungsverzeichnis handelt (z.B. Positionsnummer und Planverweis) und wie die Leistungserbringung geplant war (bezogen auf den Zeitpunkt der Auftragsvergabe). Aus der Darstellung des Soll-Ablaufs gehen die geplanten ‚Soll-Produktionsfaktoren' (insbesondere Ausführungsqualität und Mitarbeiterqualifikation) sowie die ‚Soll-Kombination' bzw. ‚Sollte- Kombination' der Produktionsfaktoren (speziell Anzahl, zeitliche und räumliche Verteilung, Anordnungsbeziehungen) hervor. In der Dokumentation ist zu erfassen, welche Umstände der Leistungserbringung sich geändert haben und welche Auswirkungen auf die Ist-Produktionsfaktoren selbst sowie für deren ‚Ist-Kombination' (z.B. Bauablauf, Logistik) beobachtet worden sind.[35)]

Heck/Schubert führen die zeitnahe Dokumentation neben der allgemeinen Bauorganisation als ein wesentliches Problem in der heutigen Projektabwicklung an. Dies wird vor allem damit begründet, dass die Baustellenführungskräfte zu wenig Zeit haben, um eine zeitnahe Mitführung der Terminpläne vorzunehmen. Die Dokumentation der dynamischen Entwicklung der Ist-Bauabläufe ist aber für die Dokumentation und Nachweisführung ein entscheidender Erfolgsfaktor in der Durchsetzung allfälliger Ansprüche des AN. Weiters wird auf eine konsequente und im Bedarfsfall detaillierte Dokumentation der Behinderungsanzeigen, Bautagesberichte, Planlieferlisten, Aufnahme von Bildern und Videos sowie des Schriftverkehrs hingewiesen. Die Strukturierung des Ist-Terminplans und der Detaillierungsgrad sind an den vereinbarten Soll-Terminplan anzupassen, um eine konsistente Vergleichsbasis zu schaffen. Im Bedarfsfall ist es jedenfalls für die Beweisführung hilfreich, eine höhere Dichte für die Ist-Dokumentation anzustreben. Dadurch soll eine bessere Beweiskraft des Ist-Terminplans erzielt werden. Gleichzeitig bietet die sehr genaue Darstellung der Entwicklung des Bauzeitplans ein sehr gutes Controllinginstrument für Auftragnehmer aber auch Auftraggeber. Eine zeitnahe Anpassung der Bauzeitpläne an den tatsächlichen Bauablauf ist dazu zwingende Voraussetzung. Für eine systematische Nachweisführung ist es erforderlich, bei Leistungsstörungen, die sich auf die Bauzeit auswirken, die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge gesondert zu dokumentieren.[36)]

Girmscheid/Motzko erachten kurze Abstände zwischen den Baustellenbeobachtungen als zwingendes Erfordernis für eine zielgerichtete und systematische Prozesssteuerung. Das Problem bei der Auswertung der derzeit üblicherweise im Monatsrhythmus erfassten Daten besteht darin, dass eine zeitnahe und damit aktive Prozesssteuerung nicht gegeben ist, da bei Vorliegen der Analysedaten ein Teil der betrachteten Prozesse bereits abgeschlossen ist. Daher sind die Zeitintervalle der Erhebung zu verkürzen, wobei die Ausprägung der Verkürzung projekt- und gewerkeindividuell zu bestimmen ist. Bei kritischen Vorgängen wird fallweise eine mindestens tägliche Aufnahme der Leistung erforderlich werden.[37)]

35) Vgl. Hofstadler (2014a), S. 62

36) Vgl. Heck/Schubert (2011), S. 189

37) Vgl. Girmscheid/Motzko (2013), S. 132

Insbesondere durch die zunehmende Spezialisierung der verschiedenen Abteilungen großer Baufirmen gewinnt ein funktionierender Informationsfluss und ein damit verbundenes, systematisches Wissensmanagement zunehmend an Bedeutung. Aufgrund unzureichender Informationsweitergabe werden Berechnungen, Auswertungen, das Einholen von Informationen etc. vielfach parallel durchgeführt und stellen somit zusätzlichen, vermeidbaren Aufwand für das Personal dar. Dies kann durch ein projektbezogenes, zentrales Wissensmanagementsystem verhindert werden und zusätzlichen Aufwand, Fehler oder falsche Interpretationen von Bauablaufstörungen aufgrund eines unzureichenden und fehlerbehafteten Informationsflusses reduzieren.

Im Zuge der Weitergabe von Informationen über Daten und die Umstände der Leistungserbringung entstehen in der Regel Informationsdefizite. Der Informationserzeuger, der unmittelbar in die Beobachtungen und Messungen eingebunden ist, gibt die baubetrieblichen und umstandsbezogenen Perzeptionen nicht 1:1 an den Informationsverwender bzw. den Wissensspeicher weiter oder kann die gesammelten Eindrücke nicht bzw. nicht alle in relevante und verwertbare Informationen transformieren. Diese Informationsverluste entstehen besonders bei der Transformation von Eindrücken zum beobachteten Baubetrieb in nutzbare Informationen wie Beschreibungen, Skizzen, Darstellungen von Prozessen etc. für den an der Daten- und Informationsentstehung unbeteiligten Informationssuchenden. Ein Verlust ist dabei besonders beim Umfang, der Tiefe, der Präzision und der Eindeutigkeit der Information zu beobachten. Teilinformationen werden dann durch bewusstes und unbewusstes Filtern vom Beobachter in subjektiv sinnvolle Gesamteindrücke übergeführt.

Entscheidend ist, ob der Informationserzeuger die Art und Umstände der Kombination der Produktionsfaktoren durch eigene, frei formulierte Texte beschreibt oder ob es von der Organisation vorgegebene Informationsblätter mit Textbausteinen (geführte Informationen[38)]) gibt. Anhand dieser Vorgaben können beispielsweise durch Ankreuzen (z.B. auch auf einem mobilen Endgerät wie Smartphone oder Tablet) die zutreffendsten Beschreibungen ausgewählt werden. Selbstverständlich können spezifische, durch die Formblätter nicht vorgegebene Auswahlmöglichkeiten durch eigene Textierungen ergänzt werden. Es leuchtet ein, dass bei den zur Informationserzeugung Verantwortlichen die Bereitschaft zur lückenlosen Dokumentation eher gegeben ist, wenn wenig Text vom Beobachter zu entwickeln ist und auf standardisierte, bereits erprobte vorgefertigte Systeme und Prozesse zurückgegriffen werden kann.

Hinsichtlich des Eigenanteils der Generierung von Informationen wird hier in folgende Arten differenziert (siehe Abb. 3-9):

- Eigenständige Informationsgenerierung
    - Informationserzeuger und Vorgesetzter haben vorher die Muss-, Soll-, Kann- und Nichtziele vereinbart
    - Informationserzeuger leitet eigenständig die Informationsgenerierung ein
    - Informationserzeuger setzt die Informationsgenerierung auf der Baustelle um
    - Vorgesetzter unterstützt bei Interpretationsproblemen und Abgrenzungsfragen, auch vorab, wenn mit diesen zu rechnen ist oder es vom Erzeuger verlangt wird

- Unterstützte Informationsgenerierung
    - Informationserzeuger und Vorgesetzter haben vorher die Muss-, Soll-, Kann- und Nichtziele vereinbart
    - Informationserzeuger leitet eigenständig die Informationsgenerierung ein

[38)] Geführte Informationen: Im Zuge von geführten Informationen werden in einem Informationserfassungsblatt oder mit Hilfe einer Software fertige Textbausteine für ausgewählte Fragestellungen angeführt, die eine Auswahlmöglichkeit zur Beschreibung von z.B. bestimmten Baustellensituationen bieten. Der Nutzer kann durch die Auswahl eines Textfelds damit einfach und rasch Informationen generieren.

  - Informationserzeuger setzt die Informationsgenerierung auf der Baustelle um und hat eigene Ideen zur Verbesserung des Informationssystems
  - Vorgesetzter überprüft die Verbesserungsvorschläge und unterstützt bei Interpretationsproblemen und Abgrenzungsfragen, auch vorab, wenn mit diesen zu rechnen ist

- Geführte Informationsgenerierung
  - Informationserzeuger und Vorgesetzter haben vorher die Muss-, Soll-, Kann- und Nichtziele vereinbart
  - Informationserzeuger führt die Informationsgenerierung anhand von vorgegebenen Informationserfassungsblättern oder einer Software durch. Anhand fertiger Beschreibungen von bestimmten Produktionsverhältnissen kann für spezifische Fragestellungen vom Erzeuger auf vorgegebene Auswahlmöglichkeiten zurückgegriffen werden.
  - Durch die Auswahlmöglichkeit wird eine systematische und umfassende Informationsgenerierung ermöglicht
  - Vorgesetzter überprüft die Verbesserungsvorschläge und unterstützt bei Interpretationsproblemen sowie Abgrenzungsfragen, auch vorab, wenn mit diesen zu rechnen ist

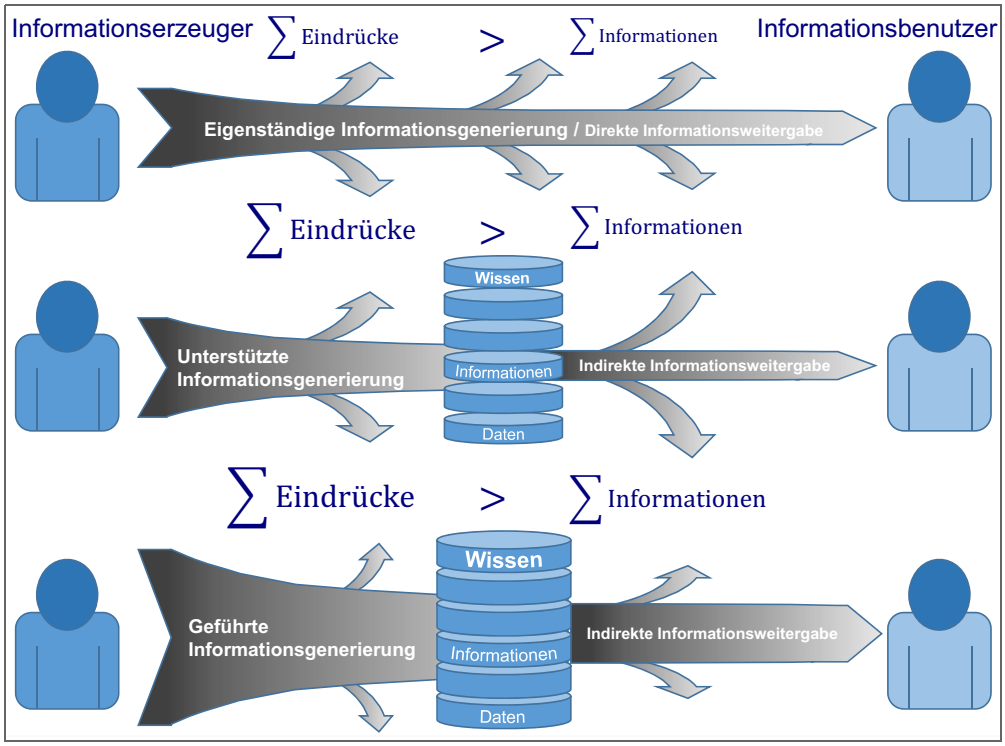


Abb. 3-9 Informationsgenerierung und -weitergabe

Im Zuge des Prozesses zur Generierung von Informationen ist zu beachten, dass der Informationserzeuger den späteren Informationsbenutzern i.d.R. nicht mehr für die Interpretation von Daten und Informationen zur Verfügung steht. Auch bei einer noch so guten Datenerfassung und Informationsgenerierung bleibt ein Rest an Informationsdefiziten bestehen.

Auf die Erreichung der gesteckten Ziele bzw. zur richtigen und präzisen Vermittlung von Sachverhalten hat die Qualität von Informationen wesentlichen Einfluss. Zu den häufig verwendeten Qualitätskriterien für Informationen zählen Korrektheit, Konsistenz, Zuverlässigkeit, Vollständigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Redundanzfreiheit, Relevanz, Einheitlichkeit, Eindeutigkeit und Verständlichkeit.

In den letzten Jahren wurde verstärkt Forschung hinsichtlich der Bauablaufsimulation durchgeführt. Es können Störungen verschiedener Ursachen simuliert und deren Auswirkungen dargestellt werden. Oberstes Ziel dieser Konzepte ist es, die Bauzeit und den Ressourceneinsatz zu optimieren und damit die Kosten zu senken, ohne dabei die Qualitätsziele zu verfehlen. Ein wesentlicher Faktor für die Qualität und Aussagekraft solcher Simulationen ist jedoch die Zuverlässigkeit der Eingangsdaten sowie ein permanenter Soll-Ist-Vergleich zwischen Planung und Ausführung. Um dies zu ermöglichen, sind Datenerhebungen hinsichtlich Personen-, Geräte- und Materialeinsatz auf Baustellen unumgänglich. Wie die Datenerfassung und -auswertung durch den Einsatz innovativer Methoden wie GPS-Erfassung, Sensoren, automatische Bilddatenauswertung etc. effizienter durchgeführt werden können, stellt derzeit im Zuge der Digitalisierung einen wichtigen und zukunftsweisenden Forschungs- und Entwicklungsbedarf dar und kann durch ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis im Vergleich zu traditionellen REFA-Studien in weiterer Folge zu einer flächendeckenden Praxisanwendung führen.

Die Auswertungen der Verteilung der Stunden, die für die REFA-Analyse aufgewendet werden müssen, zeigen, dass durch den Einsatz von mobilen Endgeräten (z.B. Smartphone, Tablet) und der zugehörigen Software, mit der bereits bei der Datenerfassung eine automatische Datenauswertung erfolgt, der Stundenaufwand auf weniger als die Hälfte reduziert werden kann. Diesbezüglich ist jedoch zu berücksichtigen, dass Baustellen in der Regel Witterungseinflüssen wie Regen, Wind, Schnee etc. ausgesetzt sind und dadurch die Datenerhebung erschwert wird.

3.7 Die lückenlose Dokumentation

Die Dokumentation soll einerseits lückenlos erfolgen und andererseits geringe Kosten verursachen. Hierzu herrscht ein großer Widerspruch. Mit den derzeitigen Dokumentationssystemen ist es nicht möglich, gleichzeitig kostengünstig und lückenlos zu dokumentieren. Für eine (nahezu) lückenlose Dokumentation mittels REFA-Studie können die Kosten für eine Leistungsposition mit arbeitsintensiven Tätigkeiten (hoher Arbeitskräfteeinsatz und damit einhergehender hoher Beobachtungsaufwand) ca. drei Viertel der Herstellkosten der vereinbarten Bauleistung betragen.[39)]

Einen großen Unterschied in den Kosten für die Dokumentation macht jedenfalls aus, ob es sich um eine Bauausführung mit geringen Leistungsabweichungen handelt oder ob die Baustelle von Baubeginn an mit umfangreichen Leistungsabweichungen belastet ist.

Im ersten Fall kann von einer Standarddokumentation ausgegangen werden (ohne REFA-Studien) und im zweiten Fall von einer sehr intensiven Dokumentation. Dabei werden tiefgehende Beweismittel für die entstandenen Leistungsabweichungen benötigt. Hier wird es erforderlich sein, sich einer fast lückenlosen Dokumentation zu bedienen, um einerseits berechtigte Forderungen erfolgreich durchzusetzen, andererseits aus AG-Sicht die unberechtigten abzuwehren.

[39)] Vgl. Hofstadler/Kummer (2016), S. 123ff.



Abb. 3-10 Wesentliche Fragen zur Dokumentation

Eine Problematik besteht darin, dass die Auftragnehmer im Vorhinein nie wissen, ob nicht doch eine REFA-Studie notwendig sein wird. Diesbezüglich müssten vorab vertragliche Vereinbarungen getroffen werden, wann und über welchen Zeitraum sowie in welchem Ausmaß zusätzliche Dokumentationsmaßnahmen (Wie?) und zu welchem Zweck (Warum?) erforderlich sind (siehe Abb. 3-10). Weiters muss geklärt werden, wer für die Datenerhebungen und Informationsgenerierung verantwortlich ist und in welchen Bauausführungsphasen die Untersuchungen durchzuführen sind.

Der systematischen und strukturierten Dokumentation in der Bauausführung sollte zukünftig – nicht nur im Hinblick auf das Claim- und Anti-Claim-Management, sondern auch für die Kalkulation und Arbeitsvorbereitung – eine größere Bedeutung zukommen. Hier ist ein entsprechender Forschungsbedarf gegeben, der sich sowohl auf die Datenerhebung auf der Baustelle, die Strukturierung und Organisation sowie die Filterung, Verwendung und Prüfung der erhobenen Daten als auch auf die Informationsgenerierung bezieht.

Die größten Herausforderungen bestehen darin, die Informationen über die Art sowie Umstände der Kombination der Produktionsfaktoren systematisch zu erfassen, damit der Wert für projektfremde Nutzer möglichst hoch ist. Weiters gilt es auch die Verknüpfung der erhobenen Daten und Informationen mit BIM-Modellen zu untersuchen.

Je genauer die Zeitanteile erfasst werden sollen (Vertrauensbereich) desto mehr Beobachtungen (Stichproben) müssen im Zuge einer Multimomentaufnahme durchgeführt werden. Lückenlos heißt auch, dass die Beobachtungen auch dann fortgesetzt werden, wenn die Anzahl der Stichproben für den gewählten REFA-Vertrauensbereich bereits erreicht worden sind.

3.8 Daten und Informationen für BIM

Werden die Ziele von BIM vollständig in die Realität umgesetzt, wird ein für alle Projektbeteiligten verbindliches BIM-Bauwerksmodell erzeugt, dass in weiterer Folge für alle Projektphasen als definiertes Planungs- und Änderungsmodell dient. Über eine gemeinsame Schnittstelle müssen alle Projektbeteiligten Daten und Informationen austau-

schen. Wichtig dabei ist zu definieren, wer informiert werden muss, wenn Änderungen durchgeführt werden, damit darauf folgende unbedingt erforderliche Änderungs- bzw. Überarbeitungsmaßnahmen bei den betreffenden Projektbeteiligten eingeleitet werden.

Das Änderungsmanagement stellt sicher eine große Herausforderung für die Zukunft dar. Hinsichtlich der Änderungen ist zu unterscheiden, ob diese Änderungen einen Wunsch von Projektbeteiligten darstellen oder ob sie sich aufgrund von Auflagen, Vorschriften etc. zwingend ergeben. Die Änderungen müssen jederzeit nachvollziehbar sein und von einer zentralen Stelle geprüft und auch freigegeben werden. Dies setzt natürlich umfassende Kenntnisse der Planungs- und Projektzusammenhänge voraus. Das Projekt entwickelt sich aus einer (Projekt-)Idee und sollte sehr zeitnah in ein 3D-Modell übergeführt werden, damit sich auch in frühen Projektphasen das Vorstellungsvermögen der Projektbeteiligten verbessert. Durch das integrale Zusammenarbeiten der zu involvierenden Projektbeteiligten können Leerläufe und Planungsfehler reduziert werden. Besonders bei komplizierten und komplexen Bauteilen können anhand des 3D-Modells die Schwierigkeiten erkannt und analysiert bzw. Planungsfehler beseitigt werden (z.B. Kollisionserkennung bei Leitungsführungen, Konsistenzprüfung). Des Weiteren können Bauwerke bzw. Bauteile anhand eines 3D-Modells besser optimiert werden, einerseits was die Nutzung und den Betrieb, andererseits was dessen wirtschaftliche Ausführung betrifft.

Für alle Projektphasen werden für die Überlegungen, Schätzungen und letztendlichen Berechnungen verlässliche Daten und Informationen benötigt, die nach Vertragsabschluss als Vertragsbestandteil verbindlich sind und eine bedeutende Rolle für den Projekterfolg einnehmen. Besonders in diesem Zusammenhang ist verstärkt hervorzuheben, dass Daten ohne Kontextinformationen für die weitere Nutzung Dritter von geringem Wert sind. Die Informationsqualität der Daten, die auch auf der systematischen Art der Erhebung basiert, ist ein wesentliches Kriterium zur Erreichung der gesteckten Ziele bzw. für die richtige und präzise Vermittlung von Sachverhalten. Chancen können bei einer höheren Qualität der Daten und Informationen besser eingeschätzt und genutzt sowie Risiken besser bewertet und vermieden werden.

Wird das Ziel verfolgt aussagekräftige und belastbare Ergebnisse als Entscheidungsgrundlagen zu gewinnen, ist es von großer Bedeutung die erhobenen Daten und Informationen mit BIM-Modellen zu verknüpfen. Jedes noch so gute BIM-Modell benötigt für die Simulation von Bauzeiten und Baukosten hochqualitative Daten (zeitlich und kontextuell richtig abgegrenzt) mit den dazugehörigen Informationen (z.B. Entstehung, Randbedingungen). Erst dann ist mit BIM-Modellen der größtmögliche Nutzen für alle Projektphasen und -beteiligten sowie in weiterer Folge für den gesamten Lebenszyklus eines Bauobjekts zu erzielen.

Diese Situationsanalyse und die Inhalte des Buchs zeigen den hohen Bedarf an der systematischen Handhabung von Chancen und Risiken und in weiterer Folge der transparenten und nachvollziehbaren Implementierung in den gesamten BIM-Prozess.

3.8.1 Grundsätze der BIM-Modelle

Das dreidimensionale Bauwerksmodell (objektorientiertes 3D-Modell mit Attributen) ist Hauptbestandteil des gesamten BIM-Prozesses, der sich von der ersten Planungsphase eines Bauwerks bis hin zur Nutzung, Nachnutzung und den Rückbau erstreckt. Das digitale Bauwerksmodell beinhaltet sämtliche aktuellen Daten und Informationen für alle Projektbeteiligten.

Für das 4D-Modell werden Leistungswerte und Mengen benötigt, damit Vorgangsdauern berechnet werden können (Vorwärtsrechnung). Andererseits kann aus der Sicht des Bieters/AN über die Gesamtdauer auf ‚Abschnittsdauern' rückgerechnet und daraus die zu erzielenden Leistungswerte ermittelt werden. Aus dem BIM-Modell kommen dazu die Angaben zu den Mengen und es werden idealerweise automatisch für den Baubetrieb wichtige Kennzahlen erzeugt. Interessant für die Beurteilung der Kompliziertheit bzw. Komplexität von Bauwerken ist, wie regelmäßig bzw. unregelmäßig sich das Bauwerk über den Grundriss und den Aufriss entwickelt. Auch sollten mit dem BIM-Modell verbindliche Anfangs-, Zwischen- und Endtermine verknüpft sein, damit sofort ersichtlich ist welche durchschnittlichen Mengen je Zeiteinheit zu verbauen sind.

Vom 4D-Modell wird durch Implementierung von Kostenansätzen in das 5D-Modell übergeleitet. Durch den zeitlichen Bezug wird die Dichte an Ressourcen sichtbar, die für die Realisierung benötigt werden. Durch Simulationen mit unterschiedlichen Bauzeitvorgaben sollen die Auswirkungen auf die Produktionsfaktoren sichtbar werden. Wichtig dabei ist, dass fertigungstechnische und technologische Abhängigkeiten berücksichtigt werden, um spätere Engpässe und Überschneidungen schon im Vorhinein ausschließen bzw. reduzieren zu können.

Eine wesentliche Aufgabe von BIM ist es, Daten und Informationen über die Bauelemente eines Gebäudes vollständig zu erfassen und einen Austausch über den gesamten Lebenszyklus mit sämtlichen Beteiligten uneingeschränkt, eindeutig und widerspruchsfrei zu ermöglichen.

3.8.2 Ziele der BIM-Modelle im Projekt-, Nutzungs- und Betriebsprozess

Effektives Bauen und Betreiben erfordert effiziente Werkzeuge und eine optimierte Auswahl und Kombination der Produktionsfaktoren (Arbeitskräfte, Geräte, Materialien) in der Realisierungs- und Betriebsphase. BIM ist modellbasiertes, integratives Arbeiten aller Projektbeteiligten (dispositive Produktionsfaktoren) über alle Projektphasen und Gewerke hinweg auf einer gemeinsamen Basis und mit definierten Schnittstellen. Durchgängiges Planen, Bauen und Betreiben wird hierdurch erst möglich (sofern die Schnittstellen und der Daten- und Informationsfluss einheitlich definiert und geregelt sind).

In Kapitel 5 wird der Ablauf eines Bauprojekts in fünf Projektphasen (PPH) gegliedert (siehe Abb. 5-1). Die schrittweise zu entwickelnde Arbeitsweise und die zugehörigen Werkzeuge im Zusammenhang mit BIM dienen für alle Projektphasen und Aufgaben als verbindliche Bearbeitungsbasis (siehe Abb. 3-11).

Die Projektphasen beginnen mit der Anforderungsfreigabe und enden – in der Darstellung in Kapitel 5 (siehe Abb. 5-1) – mit der Projektbewertung. Zur Nutzung des gesamten BIM-Potenzials ist zusätzlich eine sechste Projektphase einzuführen (in Abb. 3-11 als PPH 6 bezeichnet), in der die gesamte Nutzungsphase sowie die Beseitigungs-/Abbruchphase berücksichtigt werden können.

Besonders die Generierung und der (verlustfreie) Austausch realitätsnaher Daten und verwertbarer Informationen sind wichtig für den Mehrwert und Erfolg der Anwendung von BIM-Modellen.

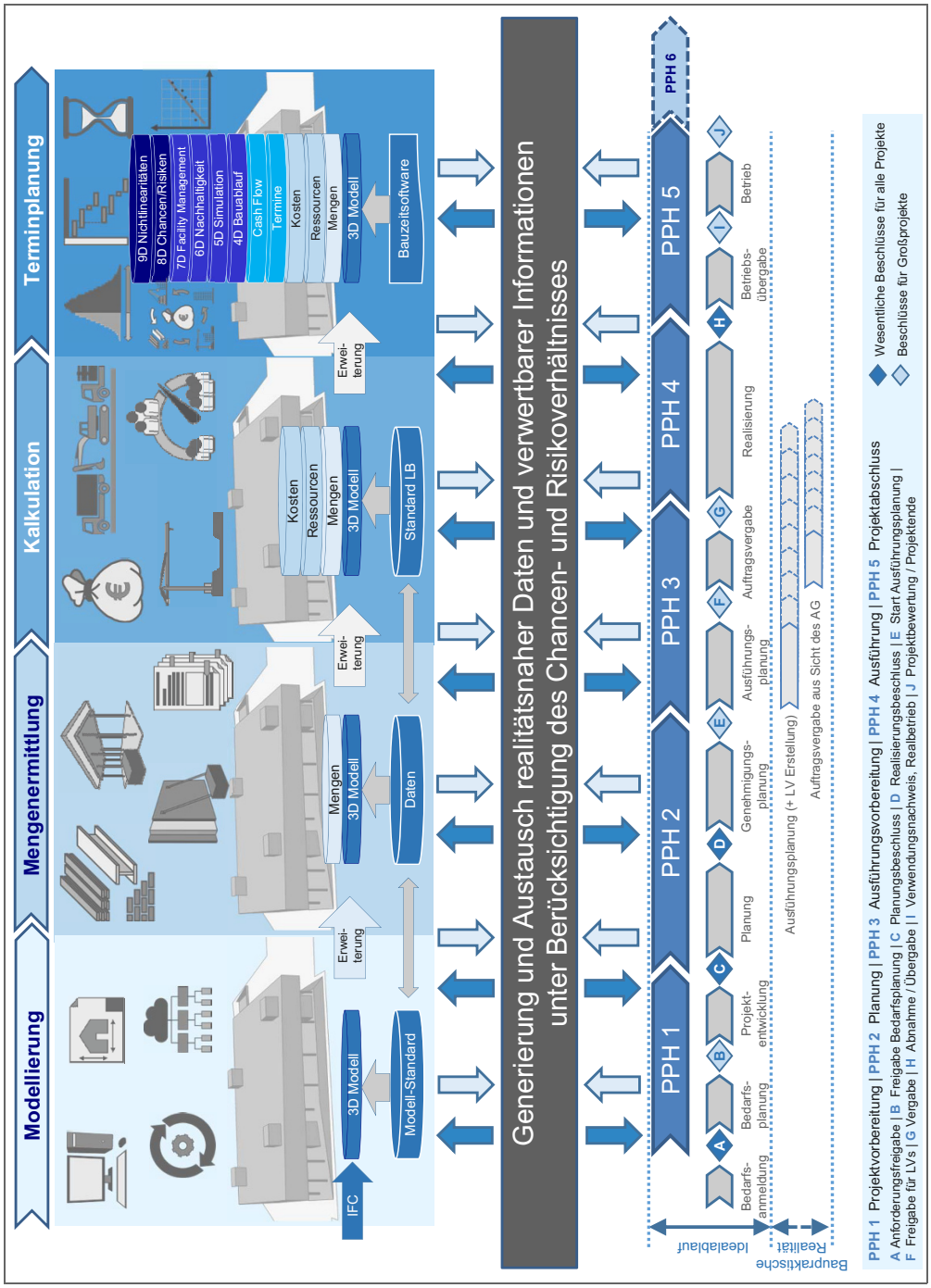


Abb. 3-11 BIM aus der Sicht eines Bauunternehmens[40] und der Austausch mit den verschiedenen Projektphasen – Gegenwart und Zukunft

[40] Weiterentwickelt nach Schreyer/Schütz/Hauber (2013), S. 88

Die Grundlage für alle Projektphasen bildet ein 3D-Modell mit einheitlichen Schnittstellen zum Austausch von Daten und Informationen (über alle Projektphasen). Durch die weiteren mehrdimensionalen Modelle werden schrittweise der Makro- bis hin zur Mikrobetrachtung folgend, Daten und Informationen hinsichtlich Mengen, Aufwandswerte, Leistungswerte, Produktivitätswerte, Kostenansätze, Betriebs- und Nutzungsangaben, Chancen/Risiken und Angaben zu Nichtlinearitäten ergänzt.

Das von ‚buildingSMART International' (bSI) entwickelte IFC-Format dient zum softwareherstellerunabhängigen Austausch von Informationen im Bauwesen. Mit dem Dateiformat IFC[41] ist zwar ein Datenaustausch zwischen Programmen unterschiedlicher Softwarehersteller heute grundsätzlich möglich. Gegenwärtig kommt es aber noch zu Datenverlusten beim Import von IFC-Daten aus anderen Programmen.[42]

Im englischsprachigen Raum wird zur Beschreibung der Modellinhalte auf klar definierte Ausarbeitungsgrade verwiesen (Level of Development, Level of Detail oder Level of Model Definition).[43]

Nachfolgend werden die mehrdimensionalen Datenmodelle[44] mit ihren Eigenschaften und Inhalten grundsätzlich beschrieben.

3.8.2.1 3D-Modell

Das dreidimensionale Bauwerksmodell mit seinen geometrischen, physikalischen und funktionalen Eigenschaften dient als Grundlage für die Koordination von Gewerken und zur Visualisierung diverser Planungs- und Bauphasen. Es stellt die Basis der Ausführungsplanung und der Fertigung dar.

Unter Berücksichtigung der Anforderungen des Auftraggebers wird das 3D-Projektmodell erstellt. Dieses besteht aus Teilmodellen der einzelnen verantwortlichen Stellen (in Österreich gemäß ÖNORM A 6241-1). Ein Teilmodell kann wiederum auf mehrere Modelle aufgeteilt sein (z.B. Technische Gebäudeausrüstung (TGA) in die Untermodelle: Heizung, Klima, Lüftung, Sanitär, Elektro u. dgl.).

Die Teilmodelle werden durch die Bearbeitungen in den einzelnen Projektphasen sukzessive weiterentwickelt.

Die für das Teilmodell Architektur[45] beschriebenen Anforderungen gelten sinngemäß für alle Teilmodelle.

Zur umfassenden digitalen Modellierung eines Bauwerks sind neben geometrischen Eigenschaften auch semantische[46] Informationen erforderlich, um eine systematische digitale Modellierung eines Bauwerks zu ermöglichen.[47]

---

41) IFC: Industry Foundation Classes – Offener Standard im Bauwesen zur digitalen Beschreibung von Gebäudemodellen

42) Vgl. Huhnt (2014), S. 13f.

43) Vgl. Borrmann et al. (2015), S. 11

44) „Mehrdimensionales Datenmodell – virtuelles Gebäudemodell, das unter Verwendung von Sachdaten weiterführende Bauwerks- und Bauprozessinformationen bereitstellt." ÖNORM A 6241-2:2015, S. 5

45) „Das Architekturmodell ist ein virtuelles Gebäudemodell mit wachsender Realitätsnähe. Die Darstellung aller zum Zeitpunkt der Eingabe bekannten Bauelemente als Abbildung der tatsächlich vorgesehenen Errichtung (mit deren relevanten Eigenschaften, zB tragend/nicht tragend, Material u. dgl.) und Bauelementdefinitionen muss in ihrer Verwendung der Elementklassifizierung entsprechen." ÖNORM B 6241-2:2015, S. 6

46) „In der Informatik versteht man unter dem Begriff Semantik die Bedeutung von Daten oder Informationen." Borrmann et al. (2015), S. 43

47) Vgl. ebd.

3.8.2.2 4D-Modell

Das 4D-Modell stellt eine Verknüpfung des 3D-Modells mit Terminplänen in der Form dar, dass Vorgangsdauern mit Elementen bzw. Bauteilen logisch miteinander verbunden werden. Diese Logik sollte alle fertigungstechnischen, technologischen, baubetrieblichen und bauwerksspezifischen Abhängigkeiten beinhalten, mit dem Ziel einen baubetrieblich und bauwirtschaftlich realitätsnahen Bauablauf abzubilden. Die darauf aufbauende Simulation integriert die Abhängigkeit der Prozesse von den Leistungs-, Aufwandswert-, Produktivitäts- und Verbrauchsansätzen der Produktionsfaktoren.

3.8.2.3 5D-Modell

Auf Basis des 3D-Modells werden alle relevanten Prozessdaten, die im Planungs-, Bau- und Betreiberprozess anfallen, in einer dynamischen Datenbank gespeichert. Die Massenermittlung und die damit verbundene Kalkulation stellen den ersten Baustein in dieser Entwicklung dar. Mittlerweile gibt es viele weitere Anwendungen bis hin zur digitalen Fabrikation (5D Simulation).

Die Ermittlung der Kosten und deren Zuweisung zu tatsächlichen Leistungen hat unter Verwendung von (eventuell) vorhandenen standardisierten Leistungsbeschreibungen zu erfolgen (in Österreich gemäß ÖNORM A 2063). Leistungen, die nicht in den standardisierten Leistungsbeschreibungen zu finden sind, sind durch frei formulierte Positionen zu ergänzen. Aufgrund der andauernden Übereinstimmung des Projektmodells mit dem tatsächlich ausgeführten Bauwerk (das As-built-Modell), der Durchgängigkeit und Transparenz der Prozesse sowie der Auswertungsmöglichkeiten ist es möglich, auf annähernde Mengenermittlungsverfahren, wie in den Werkvertragsnormen der einzelnen Gewerke beschrieben, zu verzichten und die ermittelten Mengen nach tatsächlichen Größen abzurechnen. Dies ist jedenfalls gesondert zu vereinbaren.

3.8.2.4 6D-Modell

Die Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken erfolgt hinsichtlich ihrer umweltbezogenen, sozialen und ökonomischen Qualität unter Berücksichtigung der technischen Eigenschaften und Funktionalität. Soll eruiert werden, welchen Beitrag Bauwerke zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten, steht auch die Nachhaltigkeit selbst auf dem Prüfstand. Dahingehend ist nicht nur die Bauwerksproduktivität, sondern besonders die Lebenszyklusproduktivität zu ermitteln und zu bewerten.

Die Produktivität ist eine wesentliche Kennzahl zur Beurteilung der Ergiebigkeit einzelner Arbeiten oder des gesamten Produktions- bzw. Wirtschaftsprozesses. Sie wird durch das Verhältnis von Output zu Input ausgedrückt und ist von komplexen Zusammenhängen geprägt. Das Maß der Lebenszyklusproduktivität wird durch die Effizienz in der Kombination der elementaren Produktionsfaktoren bestimmt. Die elementare Produktivität setzt sich aus der Arbeits-, Betriebsmittel- und Stoffproduktivität zusammen und wird von den dispositiven Produktionsfaktoren geplant, organisiert, gesteuert, kontrolliert etc., um unter den Aspekten der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie sowie sozio-kulturelle und funktionale Faktoren) die niedrigsten Lebenszykluskosten bzw. die höchste Lebenszyklusproduktivität zu erzielen.

Alle Komponenten sind gesamtheitlich und vernetzt zu betrachten und nicht einseitig zu optimieren. Zu beachten ist, dass sich die Produktionsfaktoren mit der Zeit und deren

Beanspruchung verändern. Die Projekt- bzw. Betriebsziele bleiben i.d.R. unverändert und müssen mit verschiedenen Produktionsfaktoren erfüllt werden. Dies stellt eine große Herausforderung für die beteiligten Personen in ihren Entscheidungsfindungen und im Umgang mit Lebenszykluskosten dar.

Im Zuge einer Gegenüberstellung der Lebenszyklusproduktivität z.B. unterschiedlicher Bauweisen werden die Werte berechnet und miteinander verglichen. Beispielsweise können für ein Bürogebäude als Output die m² Nutzfläche herangezogen werden und für den Input die Kosten in €. Die Kennzahl der Lebenszyklusproduktivität stellt eine Verhältniszahl dar und kann dadurch als wesentliche Beurteilungsgröße neben den Lebenszykluskosten, die absolute Ergebnisse liefern, herangezogen werden.

$$LZK = E + B + I + R \tag{3-1}$$

Als Basis der Lebenszykluskostenberechnung dient die rudimentäre Grundformel in Glg. (3-1). Die Lebenszykluskosten beinhalten die Kosten eines Objekts (z.B. Anlage oder Gebäude) und seiner Bestandteile, die im Laufe des gesamten Lebenszyklusses, während die Nutzungsanforderungen erfüllt werden, anfallen. Die Lebenszykluskosten (LZK) setzen sich aus Errichtungskosten (E), Betriebskosten (B), Instandhaltungskosten (I) und Rückbaukosten (R) zusammen.

Für das BIM-Modell sind spezielle Programme zu entwickeln, damit systematische und transparente Lebenszyklusbetrachtungen und -berechnungen durchgeführt werden können. Das wäre auch ein großer Vorteil im Zuge der Bewertung von verschiedenen Bauwerkskonzepten und im Rahmen des Angebotsvergleichs bei der Bestbieterermittlung.

3.8.2.5 7D-Modell

Mit dem 7D-Modell werden die Voraussetzungen geschaffen, damit wesentliche Aspekte des Facility-Management (FM) integriert werden können. FM bezeichnet die Verwaltung und Bewirtschaftung von Grundstücken, Gebäuden, Anlagen und Einrichtungen. Das Betreiben baulicher und technischer Anlagen bringt sehr komplexe Anforderungen an die Planung, Organisation, Koordination, Kontrolle und Steuerung mit sich. Deshalb ist es ideal, alle dahingehenden Aufgaben und Bearbeitungen sowie Daten und Informationen in ein BIM-Modell zu integrieren.

Basierend auf den Aufgaben und den Beteiligten sowie den Dokumenten und Daten im FM werden BIM-relevante Prozesse wie Aufgabenplanung, Erstellung und Aktualisierung der Gebäudedokumentation oder Kalkulation und Arbeitsvorbereitung aufgezeigt und entsprechende BIM-Lösungen im Gebäudemanagement von der Modellerstellung bis zur Modellauswertung beschrieben. Durch die Integration von Standards und die Berücksichtigung von Normen im BIM-Prozess, wird die Basis für einen einheitlichen Daten- und Informationsaustausch geschaffen und die Aufgaben und Spezifikationen der FM-Projektbeteiligten in den BIM-Prozess ermöglicht. Die aktuellen Entwicklungen im BIM – wie das FM-3D-Prozess- und Datenmodell, die BIM-Klassifikation nach StLB-Bau[48)] sowie die Nationale Bibliothek für BIM-Objekte – bieten sehr gute Voraussetzungen für die Vernetzung von Beteiligten und Prozessen über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden.[49)]

3.8.2.6 8D-Modell

Im angedachten 8D-Modell erfolgt die systematische Berücksichtigung von Chancen und Risiken im BIM-Modell. Dadurch soll es ermöglicht werden, den Parametern auch Chancen- und Risikoverhältnisse zuzuordnen. Wesentliche bzw. kritische Vorgänge können damit besser erfasst und bewertet werden. Ergeben sich im Zuge von Simulationen für ein Bauwerk unterschiedliche Bauzeiten, sollten damit auch die unterschiedlichen Chancen-Risikoverhältnisse ausgewiesen werden.

In der Realisierungsphase treten zumeist schwer vorhersehbare Änderungen und Störungen im Ablauf und der Logistik auf. Diese sind einerseits durch Nichtlinearitäten und Komplexität im Zusammenhang mit den Produktionsfaktoren, andererseits durch exogene Einwirkungen auf das Produktionssystem bedingt. Ähnlich einem Trichter, der sich von einer breiten Einfüllöffnung sukzessive bis hin zum Trichterhals verjüngt, sind die Unsicherheiten in frühen Projektphasen vergleichsweise breiter gestreut als nach der Auftragsvergabe, in der das Bauobjekt anhand von Ausführungsplänen konkretisiert wird. Mit zunehmendem Übergang von der Makro- zur Mikroplanungstiefe werden die Angaben zum Bauwerk immer konkreter. Jedenfalls bleiben aber Unsicherheiten über die Art und Weise wie die Produktionsfaktoren optimal miteinander zu kombinieren sind sowie über die in der Zukunft liegenden Baustellenumstände während der Leistungserbringung bestehen.

3.8.2.7 9D-Modell

Durch das zu schaffende 9D-Modell werden die in der Realität auftretenden Nichtlinearitäten systematisch berücksichtigt. Dazu gilt es beispielsweise für die Realisierungsphase für die Produktionsfaktoren und deren Kombination Grenzgrößen zu definieren. Diese Werte für Grenzgrößen beschreiben Einsatzbedingungen, unter denen mit einer Normal-Produktivität gerechnet werden kann. Werden diese Grenzgrößen unter- oder überschritten, treten Produktivitätsverluste auf. Zur Berücksichtigung der dabei entstehenden Nichtlinearitäten sind ‚Straffunktionen'[50] zu definieren, die zur realitätsnahen Reduktion von Produktivitäten bzw. zur Erhöhung von Aufwandswerten führen.

Durch das Berücksichtigen von nicht linearen Beziehungen können Produktivitätsverluste in die Berechnungen einfließen. Auf Basis dieses Szenarios gelingt eine realitätsnahe Abbildung der zukünftigen Kombinationen der Produktionsfaktoren (z.B. im Zuge der Berechnung von Bauzeit und Baukosten) und deren Auswirkungen auf die Kosten.

---

48) StLB-Bau: Standardleistungsbuch-Bau. „Das StLB-Bau wird vom Gemeinsamen Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB) aufgestellt, dem Vertreter der öffentlichen und privaten Auftraggeber, der Architekten, der Ingenieure und der Bauwirtschaft angehören, in Verbindung mit dem Deutschen Verdingungsausschuss für Bauleistungen (DVA) und vom Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) herausgegeben. Die nach Leistungsbereichen gegliederten StLB enthalten Standardbeschreibungen, das sind vorgegebene Texte für Allgemeine Bestimmungen zur Leistungsbeschreibung und für Zusätzliche Technische Vorschriften, sowie Standardleistungsbeschreibungen, das sind vorgegebene Texte zur Beschreibung von Leistungen oder Teilleistungen; sie enthalten die Angaben über Bauart, Bauteil, Baustoff und Dimension für den Herstellungsvorgang und die Qualität einer Leistung." Rösel/Busch (2008), S. 26

49) Vgl. Borrmann et al. (2015), S. 385

50) Beispiel zur Straffunktion: Mit Straffunktionen (in der Form von Gleichungen) werden beispielsweise bei der Berechnung der Bauzeit Nebenbedingungen berücksichtigt, die bei Verlassen der Zone der normalen Bauzeit (siehe dazu in Kapitel 8, Abschnitt 8.6.2) die Produktivität reduziert und die Kosten erhöht. Damit wird sichergestellt, dass die Kürze/Länge der Bauzeiten in den Berechnungen und Vergleichen realitätsnah berücksichtigt werden.

3.9 Zusammenfassung

Die Informationsqualität der Daten, die auch auf der systematischen Art der Erhebung basiert, ist ein wesentliches Kriterium zur Erreichung der gesteckten Ziele bzw. für die richtige und präzise Vermittlung von Sachverhalten. Wesentliche Qualitätskriterien für Informationen sind Korrektheit, Konsistenz, Zuverlässigkeit, Vollständigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Redundanzfreiheit, Relevanz, Einheitlichkeit, Eindeutigkeit und Verständlichkeit. Je schlechter die Qualität der Daten und Informationen ist, desto höher ist das Risiko für Fehleinschätzungen. Chancen können bei einer höheren Qualität der Daten und Informationen besser eingeschätzt und genutzt sowie Risiken besser bewertet und vermieden werden.

Wird das Ziel verfolgt aussagekräftige und belastbare Ergebnisse als Entscheidungsgrundlagen zu gewinnen, ist es von großer Bedeutung die erhobenen Daten und Informationen mit BIM-Modellen zu verknüpfen. Jedes noch so gute BIM-Modell benötigt für die Simulation von Bauzeiten und Baukosten hochqualitative Daten (zeitlich und betrieblich richtig abgegrenzt) mit den dazugehörigen Informationen (z.B. Entstehung, Randbedingungen). Erst dann ist mit BIM-Modellen der größtmögliche Nutzen für alle Projektphasen und -beteiligten sowie in weiterer Folge für den gesamten Lebenszyklus eines Bauobjekts zu erzielen.

Es besteht ein hoher Bedarf an der systematischen Handhabung von Chancen und Risiken. Die Weichen zum Erfolg werden dabei durch eine vorausschauende und intelligente Chancen- und Risikopolitik gestellt, mit der die Ziele und Methoden des Chancen- und Risikomanagements festgelegt werden. Wesentliche Aspekte davon werden durch das vorliegende Buch transparent und nachvollziehbar abgedeckt. Eine Ergänzung zu den theoretischen Darlegungen erfolgt im Rahmen von Praxisbeispielen (siehe Kapitel 9 und 10), die zum Mitdenken, Anwenden und Weiterentwickeln anregen.

Mit BIM wird das Ziel verfolgt, fehlerfreiere Abläufe und qualitativ höherwertigere Ergebnisse zu erzielen, damit Bauvorhaben unter Einhaltung von Zeit- und Kostenrahmen realisiert werden können. Dies gelingt allerdings nur dann, wenn qualitativ hochwertige Daten und Informationen dem BIM-Prozess interaktiv zur Verfügung gestellt werden. Für die Qualität der Ergebnisse aus den Simulationen ist es entscheidend, ob in den Ansätzen und Wechselwirkungen zwischen den Produktionsfaktoren und dem 3D-Modell auch Nichtlinearitäten berücksichtigt werden.

Während der Bauausführung treten zumeist schwer vorhersehbare Änderungen und Störungen im Ablauf und der Logistik auf. Diese sind einerseits durch Nichtlinearitäten und die Komplexität in der Kombination der Produktionsfaktoren und andererseits durch exogene Einwirkungen auf das Produktionssystem bedingt. Ähnlich einem Trichter, der sich von einer breiten Einfüllöffnung sukzessive bis hin zum Trichterhals verjüngt, sind die Unsicherheiten in frühen Projektphasen vergleichsweise breiter gestreut als nach der Auftragsvergabe, in der das Bauobjekt anhand von Ausführungsplänen konkretisiert wird. Mit zunehmender Planungstiefe werden die Angaben zum Bauwerk immer präziser. Was jedenfalls bleibt, sind Unsicherheiten über die Art und Weise wie die Produktionsfaktoren optimal miteinander zu kombinieren sind, sowie über die in der Zukunft liegenden Baustellen-, Nutzungs- und Betriebsumstände während der Leistungserbringung.

Zur Qualitätssteigerung der systematischen Dokumentation und für ein damit vernetztes Wissensmanagement bei gleichzeitiger Reduktion der Kosten sind Systeme und Prozesse zu entwickeln, die eine einfache und systematische Generierung, Speicherung und Nutzung ermöglichen. Dazu wird an der TU Graz, am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, anhand von gemeinsam durchgeführten Projekten mit der Bauwirtschaft, intensiv geforscht.

3.10 Literaturverzeichnis

Akerlof, George (1970). The Market of „Lemons“: Quality Uncertainty and the Market Mechanism. In: The Quarterly Journal of Economics. Vol. 84, No. 3 (August 1970). Seite 488-500. MIT Press.

Arrow, Kenneth (1984). The Economics of Agency. Technical Report No. 451. A Report of the Center of Research on organizational Efficiency. Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University. Stanford, California.

Berg, Gerhard (1984). REFA in der Baupraxis – Teil 1 Grundlagen. Hrsg.: REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. Frankfurt am Main. ztv-Verlag, 1984. (ISBN 3-923597-12-6)

Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob [Hrsg.] (2015). Building Information Modeling – Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden. Springer Vieweg. (ISBN 978-3-658-05605-6)

Girmscheid, Gerhard; Motzko, Christoph (2013). Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft – Produktionsprozessorientierte Kostenberechnung und Kostensteuerung – 2. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-36637-6)

Gust von Loh, Sonja (2008). Wissensmanagement und Informationsbedarfsanalyse in kleinen und mittleren Unternehmen – Teil 1: Grundlagen des Wissensmanagements. In: Information Wissenschaft & Praxis, 59/(2008)2. 2008. S. 118-126. (Online unter: http://www.phil-fak.uni-duesseldorf.de/fileadmin/Redaktion/Institute/Informationswissenschaft/gust_von-loh/1204549266wissensman.pdf. Datum des Zugriffs: 14.09.2016)

Haberfellner, Rainhard et al. (2002). Systems Engineering – Methodik und Praxis – 11. Auflage. Hrsg.: Daenzer, Walter; Huber, Fritz. Zürich. Verlag Industrielle Organisation. (ISBN 3-85743-998-X)

Heck, Detlef; Schubert, Eberhard (2011). Der adäquat-kausale Nachweis von Bauablaufstörungen. In: Bauablaufstörungen – Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, 9. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium. Hrsg.: Heck, Detlef; Hofstadler, Christian; Lechner, Hans. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2011. (ISBN 978-3-85125-136-4)

Hofstadler, Christian (2014a). Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-41632-3)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2016). Der Preis einer fast lückenlosen Dokumentation. In: Tagungsband – 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium – Belastbare Dokumentation in der Bauausführung – Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte. Hrsg.: Heck, Detlef; Hofstadler, Christian; Kummer Markus. Seite 91-138. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-442-6)

http://www.computerwoche.de/a/gute-daten-schlechte-daten,1931857.
Datum des Zugriffs: 29.10.2016.

Hunt, Wolfgang (2014). Digitalisierung im Bauwesen: Thema für Baupraxis, Lehre und Forschung. In: Tagungsband – 1. Grazer BIM-Tagung – BIM – Werkzeug zur Optimierung der Planungs- und Bauprozesse. Hrsg.: Heck, Detlef; Fellendorf, Martin. Seite 9-21. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-369-6)

Kummer, Markus (2015a). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten – Deterministische und probabilistische Betrachtungen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Künstner, Gerhard (1984). REFA in der Baupraxis – Teil 2 Datenermittlung. Hrsg.: REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. Frankfurt am Main. ztv-Verlag, 1984. (ISBN 3-923597-13-4)

Nonaka, Ikujiro; Takeuchi, Hirotaka (1997). Die Organisation des Wissens – Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen. Frankfurt am Main. Campus Verlag GmbH. (ISBN 3-593-35643-0)

North, Klaus (2011). Wissensorientierte Unternehmensführung – Wertschöpfung durch Wissen – 5. Auflage. Wiesbaden. Gabler Verlag | Springer Fachmedien. (ISBN 978-3-8349-2538-1)

ÖNORM A 2063 (Ausgabe: 2009-06-03) Austausch von Leistungsbeschreibungs-, Ausschreibungs-, Angebots-, Auftrags- und Abrechnungsdaten in elektronischer Form.

ÖNORM A 6241-1 (Ausgabe: 2015-07-01) Digitale Bauwerksdokumentation – Teil 1: CAD-Datenstrukturen und Building Information Modeling (BIM) – Level 2.

ÖNORM A 6241-2 (Ausgabe: 2015-07-01) Digitale Bauwerksdokumentation – Teil 2: Building Information Modeling (BIM) – Level 3-iBIM.

Probst, Gilbert; Raub, Steffen; Romhardt, Kai (2012). Wissen managen – Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen – 7. Auflage. Wiesbaden. Springer Gabler. (ISBN 978-3-8349-4562-4)

Rathswohl, Stefan (2014). Entwicklung eines Modells zur Implementierung eines Wissensmanagement-Systems in kleinen und mittleren Bauunternehmen. Schriftenreihe Bauwirtschaft – I Forschung 28. Hrsg.: Institut für Bauwirtschaft der Universität Kassel. Dissertation. Kassel. Kassel University Press GmbH. (ISBN 978-3-86219-824-5)

Romhardt, Kai (2001). Organisation aus der Wissensperspektive – Möglichkeiten und Grenzen der Intervention. Dissertation. Université de Genève. (Online unter: http://www.romhardt.com/tl_files/romhardt/Artikel%20und%20Ressourcen/Diss_-KRomhardt.pdf. Datum des Zugriffs: 16.08.2016)

Rösel, Wolfgang; Busch, Antonius (2008). AVA-Handbuch – Ausschreibung – Vergabe – Abrechnung – 6. Auflage. Wiesbaden. Springer Gabler. (ISBN 978-3-8348-0348-1)

Schreyer, Marcus; Schütz, Maximilian; Hauber, Thomas (2013). BIM in der Bauausführung – mit virtuellen Modellen in der Realisierung Prozesse optimieren und Risiken managen. In: BIM – Building Information Modeling – Ernst & Sohn Special – November 2013 – A61029. Berlin. Ernst & Sohn – Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co KG.

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Adverse Selection. Online unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/adverse-selection.html. Datum des Zugriff: 21.10.2016.

Stock, Wolfgang (2007). Information Retrieval – Informationen suchen und finden. München. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. (ISBN 978-3-486-58172-0)

Wang, Richard; Strong, Diane (1996). Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers. In: Journal of Management Information Systems, Vol. 12, No. 4 (Spring, 1996). Seite 5-33. M.E. Sharpe, Inc. (Online unter: http://mitiq.mit.edu/Documents/Publications/TDQMpub/14_Beyond_Accuracy.pdf. Datum des Zugriffs: 19.08.2016)

4 Chancen- und Risikomanagement

Die systematische Implementierung von Chancen- und Risikomanagement schafft die Voraussetzungen, um Chancen und Risiken organisationsintern einer komparativen Betrachtung zu unterziehen und um auf Basis von Aggregation vorhandene Potenziale optimal zu nutzen. Das Hauptziel besteht darin, zukünftige Chancen und Risiken frühzeitig zu erkennen und darauf aufbauend Maßnahmen zu deren Nutzung/Steigerung bzw. Reduktion/Vermeidung zu setzen. Damit das Entdecken und der Umgang mit Chancen und Risiken nicht zufällig und unsystematisch erfolgen, wird die Anwendung des in diesem Kapitel detailliert beschriebenen Chancen- und Risikomanagementprozesses empfohlen. Dabei beeinflusst die Größe, strategische Ausrichtung und Philosophie einer Organisation ob und in welchem Ausmaß (Intensität, Systematik) das Chancen- und Risikomanagement genutzt wird.

Zu den größten Chancen und Risiken in der Bauwirtschaft zählen die Entwicklung des Bauvolumens und des Baumarktes sowie die damit korrelierenden Baupreise. Nach eingehender Analyse dieser Chancen und Risiken trifft einerseits der Bauherr die Entscheidung, ob und wann gebaut werden soll. Anderseits legen die Bieter anhand des gegenwärtigen Chancen- und Risikoverhältnisses fest, ob die Teilnahme an einem Wettbewerb für einen Bauauftrag überhaupt als ökonomisch sinnvoll gewertet werden kann. Beeinflusst durch die aktuelle Auftragslage wird festgelegt, wie weit im Zuge der Angebotslegung bei der Preisermittlung die Kosten, ermittelt aus der Nullkalkulation, unter- oder überschritten werden. Bei allen wichtigen Entscheidungen die getroffen werden, sind profunde Kenntnisse über das jeweilige Chancen-Risikoverhältnis zwingende Voraussetzung für den dauerhaften Erfolg des Unternehmens.

Das Chancen- und Risikomanagement nimmt primär eine Perspektive ein, die sich auf zukünftige Entwicklungen bezieht. Unternehmensbezogen wird untersucht, wie sich die Chancen und Risiken in der Akquisition, der Produktion und der Finanzierung entwickeln werden. Projektbezogen liegt der Fokus darauf, wie sich die Chancen und Risiken bei der Auswahl und dem Einsatz der Produktionsfaktoren für zukünftige Projekte bewerten lassen und welche Produktivität und Preise anzusetzen sind, um definierte Ziele zu erreichen. Es ist essenziell, vor wichtigen unternehmensübergreifenden und projektbezogenen Entscheidungen das spezifische Chancen- und Risikoverhältnis zu ermitteln und zu bewerten. Es sollte einem Unternehmen durch eine ganzheitliche und vernetzte Sichtweise jederzeit bewusst sein, welches Risiko leistbar ist und wie lange noch. Bei den Projekten

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_4

ist das Portfolio derart zu wählen, dass längerfristig zumindest ein ausgewogenes Chancen- und Risikoverhältnis herrscht. Der Nutzen aus den Chancen ist limitiert, jedoch können resultierend aus den Risiken die Defizite bis zur Insolvenz des Unternehmens führen. Die optimierte Anwendung des Chancen-Risikomanagements erfolgt dynamisch und soll möglichst zeitnah auf aktuelle Entwicklungen abgestimmt sein.

In den letzten Jahren hat die Bedeutung eines systematisch durchgeführten Chancen-Risikomanagements zugenommen. In Abhängigkeit von der Art der Organisation (Corporate Governance) ist auch eine verpflichtende Anwendung dieses Steuerungsinstrumentes möglich. Chancen- und Risikomanagement sollte jedoch nicht nur aus Verpflichtung heraus betrieben werden, sondern es liegt im Eigeninteresse der am Bau beteiligten Akteure, da es nicht nur ein wesentlicher Faktor für den Fortbestand eines Unternehmens ist, sondern einen wertvollen Beitrag zu dessen Erfolg und Wachstum darstellt. Zur Erreichung von gesteckten Unternehmenszielen spielt die strukturierte und systematische Betrachtung der Chancen und Risiken als Regelkreis eine wichtige Rolle. Neben den strategischen, operationellen und finanziellen Zielen sind auch Vorgaben im Bereich der Sicherheit von Menschen und der Umwelt zu beachten. Besonders wichtig ist es, Aspekte der Nachhaltigkeit in der Festlegung der Ziele zu berücksichtigen. Bei Bauprojekten sind die Nachhaltigkeitsaspekte bereits in den frühen Projektphasen zu integrieren, da zu diesem Zeitpunkt der entscheidende Einfluss auf die Bauwerkskonstruktion und den Ausbau sowie die Technik genommen wird.

Chancen zu erkennen und schnell zu ergreifen bzw. Risiken entgegenzuwirken nimmt für jede Organisation bzw. jedes Unternehmen einen hohen Stellenwert ein. Dazu ist die Installation eines Frühwarnsystems für das gesamte Unternehmen sowie für einzelne Projekte von Vorteil. Für die quantitative Bewertung ist eine Basis für den jeweiligen Betrachtungsaspekt zu definieren, damit klar ist, ab wann eine Chance bzw. ein Risiko eintritt. Weiters gilt es eine Bewertung durchzuführen, die die Höhe der erwarteten Konsequenzen bei einem (Risiko- oder Chancen-)Eintritt quantifiziert (z.B. Kostenüber- oder -unterschreitungen, Bauzeitverlängerung oder -verkürzung).

Chancen- und Risikomanagement wird entweder global auf das gesamte Unternehmen bezogen oder lokal auf einzelne Projekte. In der globalen Betrachtung steht der strategische Fokus im Vordergrund – es wird das Projektportfolio betrachtet. In der lokalen Betrachtung bildet der operative Bereich das Zentrum der Untersuchungen. Ein systematischer Umgang mit Chancen und Risiken sollte in allen Unternehmensbereichen gefördert sowie eingefordert werden. Zudem ist eine Vorbildwirkung der unternehmerischen Führungsebene durch die lückenlose Anwendung des Chancen- und Risikomanagements anzustreben.

4.1 Chancen- und Risikomanagement in Regelwerken

Die Anwendung des Chancen- und Risikomanagements erstreckt sich auf Organisationen (private, öffentliche, gemeinnützige) und Systeme (technische Systeme, Prozesse, Projekte). Wie in Abschnitt 2.1 ausgeführt wird, ist der Begriff ‚Risiko' keineswegs eindeutig definiert. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Auffassungen des Begriffs. Einerseits wird damit eine rein negative Zielabweichung verbunden und im Gegensatz dazu eine positive Zielabweichung als Chance bezeichnet. Andererseits wird Risiko als Überbegriff für Gefahr und Chance gesehen. Bei dieser zweiten Definition bezieht ein Risiko sowohl positive als auch negative Folgen ein.

Diese begrifflichen Diskrepanzen äußern sich auch in der konzeptionellen Verortung der Chancen- und Risikomanagementsysteme: Entweder werden Chancen und Risiken gleichrangig behandelt oder das Risiko fungiert in anderen Systemen als Überbegriff für positive und negative Zielabweichungen. In der praktischen Anwendung solcher Systeme werden in weiterer Folge meist nur die Gefahren näher betrachtet und die Chancen, wenn überhaupt, oft nur marginal behandelt. In diesem Buch wird eine Perspektive eingenommen, die Chancen und Risiken gleichwertig behandelt, womit ein Mehrwert durch den proaktiven Umgang mit Chancen geschaffen werden soll. Das Management von Chancen erfolgt in vielen Unternehmen häufig im Rahmen des strategischen Managements, der Unternehmens- und Produktentwicklung, des Marketings und des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses. Es wird meist unsystematischer betrieben als das originäre Risikomanagement. Um jedoch Chancenpotenziale optimal ausschöpfen zu können, wird empfohlen auch das Management der Chancen systematisch und zielgerichtet wahrzunehmen sowie die Interaktion von Unternehmenszielen, Chancen und Risiken untereinander zu beachten.

Nachfolgend wird auf die Grundsätze des (Chancen-)Risikomanagements nach der ISO 31000 eingegangen. Weiters werden grundsätzliche Überlegungen für die Berücksichtigung von Projektrisiken bei der Kostenermittlung von Verkehrsinfrastrukturprojekten im Sinne der ÖGG-Richtlinie aufgezeigt.

4.1.1 Risikomanagement nach ISO 31000

In der ISO 31000 steht die Behandlung von Risiken im Fokus der Betrachtungen. Die Chancen werden nur am Rande erwähnt. Im Zuge der Risikobewältigung wird dazu ausgeführt, dass das Eingehen und/oder die Steigerung des Risikos als Maßnahmen zur Nutzung einer Chance dienen. Hinsichtlich der Risikoidentifikation ist es wichtig, auch jene Risiken aufzuzeigen, die aus verpassten Chancen resultieren.

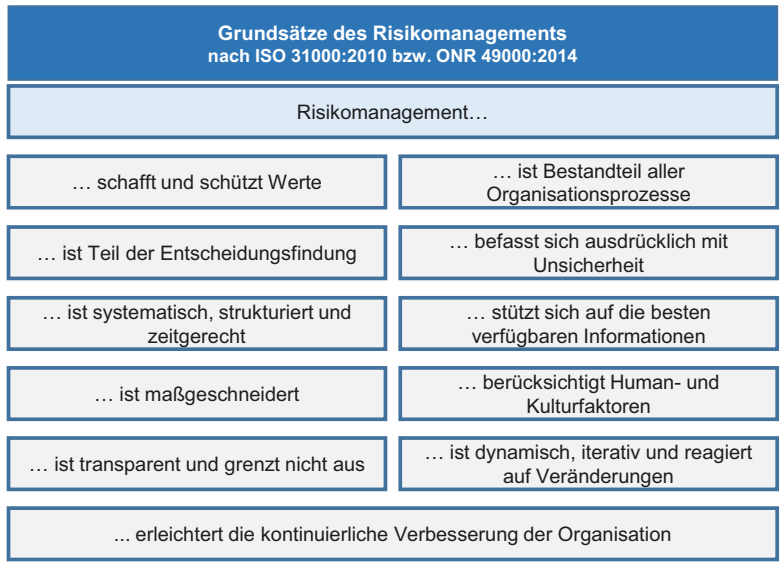


Abb. 4-1 Grundsätze des Risikomanagements[1)]

[1)] In Anlehnung an ÖNORM ISO 31000:2010 bzw. ONR 49000:2014 (Österreichische nationale Umsetzung der ISO 31000 in die Praxis).

Laut dieser Norm liegen die zentralen Aufgaben des Risikomanagements primär darin, Risiken zu identifizieren und zu handhaben, um die Umsetzung der gesteckten Projektziele zu gewährleisten. Die Grundsätze des Risikomanagements sind in Abb. 4-1 angeführt.[2)]

Die ISO 31000 wurde für Organisationen im Allgemeinen entwickelt und bezieht sich damit nicht auf ein spezifisches Fachgebiet oder eine besondere Branche. Sie ist auf den gesamten Lebenszyklus einer Organisation anwendbar, die praktische Umsetzung ist jedoch an die jeweiligen Erfordernisse und Eigenheiten (z.B. Ziele, Aufbau, Prozesse, Funktionen, Produkte, Projekte) anzupassen. Die Norm enthält zwar allgemeine Richtlinien, eine Vereinheitlichung des Risikomanagements wird jedoch nicht angestrebt.[3)]

Zudem enthält sie eine definitorische Begriffsklärung der tätigkeitsbezogenen Aspekte des Risikomanagementprozesses sowie eine graphische Übersicht des iterativen Aufbaus.

4.1.2 Chancen- und Risikomanagement nach ÖGG-Richtlinie

Die ÖGG-Richtlinie ‚Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur' beschäftigt sich mit den Kosten und Risiken von Infrastrukturprojekten aus der Perspektive des Auftraggebers. Verkehrsinfrastrukturprojekte zeichnen sich durch lange Projektphasen (durch längere Planungs- und Genehmigungsphasen), eine hohe Anzahl an Projektbeteiligten, schwer vorhersehbare Einflüsse (Unsicherheiten) und ihre Einmaligkeit aus. Die Richtlinie befasst sich mit der vollständigen und nachvollziehbaren Darstellung der voraussichtlichen Gesamtkosten von Projekten oder von Teilen davon, vom Projektstart bis zur Vergabe von Leistungen. Die Ermittlung von Folgekosten und die damit verbundenen Risiken sind bei Bedarf gesondert zu betrachten.[4)]

Eines kritischen Blicks bedarf die Berücksichtigung von Unsicherheiten im Rahmen der Kostenermittlung mit Hilfe deterministischer Verfahren, da hier keine Bandbreiten angegeben werden können.

Für die Bestimmung der ‚Risikokosten' werden im Wesentlichen zwei Verfahren vorgeschlagen, die je nach Höhe der prognostizierten Projektkosten, der Komplexität des Bauvorhabens, der öffentlichen Wahrnehmung des Projekts und der vorhandenen Datengrundlage einzeln oder auch in Kombination eingesetzt werden können:[5)]

- Richtwertverfahren
  Ermittlung eines pauschalen Risikozuschlags auf die Basiskosten aufgrund von qualitativen Bewertungen.
- Einzelrisikobewertung
  Durchlaufen eines Risikomanagementprozesses, der den Grundsätzen der ISO 31000 folgt. Quantitative Bewertung von Einzelrisiken und Ermittlung der Risikokosten mit Hilfe von deterministischen oder probabilistischen Berechnungen (Monte-Carlo-Simulation).

2) Vgl. Wiggert (2009), S. 118
3) Vgl. ÖNORM ISO 31000:2010, S. 6
4) Vgl. ÖGG-Richtlinie (2016), S. 1f.
5) Vgl. ebd., S. 15ff.

4.2 Situationsanalyse zum Chancen- und Risikoverhalten

Nachfolgend werden Teilergebnisse aus einer Umfrage zum Thema Chancen- und Risikoverhalten in Bauunternehmen vorgestellt. Weiters wird auf das Chancen- und Risikoverhalten unter den Aspekten der Wettbewerbsintensität sowie der Qualität der Planung und Ausschreibung eingegangen.

4.2.1 Chancen- und Risikoverhalten in Bauunternehmen

Spezielle Untersuchungen zu aktuellen Chancen- und Risikomanagementansätzen für ausführende Unternehmen der Bauwirtschaft bilden, insbesondere im deutschen Sprachraum, bislang die Ausnahme. Aufgrund der thematischen Aktualität und der begrenzten Verfügbarkeit an empirischen Daten wurde 2013 an der Technischen Universität Graz eine Expertenbefragung zur Thematik „Risikomanagement in Bauunternehmen“ durchgeführt (Erhebung von *Alber/Hofstadler*).

Die Datenerhebung wurde als explorative Studie konzipiert und verfolgte das Ziel, aktuelle Ansätze und auch Meinungen (Best-Practice-Empfinden) auf Basis eines standardisierten Fragebogens zu erheben.

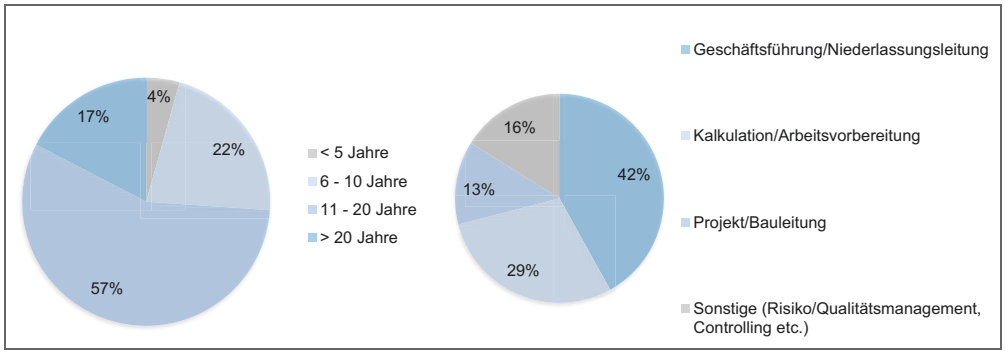


Abb. 4-2 Berufserfahrung und Zuständigkeit der Probanden

Die statistisch ausgewerteten Primärdaten umfassen Angaben von 31 persönlich kontaktierten Teilnehmern verschiedener Positionen aus mittleren und großen Bauunternehmen. In Abb. 4-2 ist die Stichprobe der befragten Experten nach Berufserfahrung in Jahren sowie beruflicher Zuständigkeit dargestellt. Der explorative Charakter wird durch die im Bauwesen empirisch relativ unerforschte Thematik und weiter durch die Stichprobenerhebung auf Basis verschiedener vorher festgelegter Kriterien bedingt. Die Zusammenstellung der Stichprobe erfolgte unter Berücksichtigung notwendiger Fachkenntnisse und Expertisen in den jeweils behandelten Bereichen.

Die Experten wurden gebeten, die Perspektive der Auftragnehmer einzunehmen und in dieser Eigenschaft zuzuordnen, welches Potenzial sie für vorgegebene externe und interne Risikofelder sehen. Weiters hatten sie die Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen Projektphase und Fehlerpotenzial zu bewerten.

4.2.1.1 Zusammenhang zwischen Risikopotenzial und -feldern

Von den 31 Experten haben 27 das Risikopotenzial von externen und internen Risikofeldern bewertet. Es konnten Werte in einer Bandbreite von -1 (‚sehr gering') bis 1 (‚sehr hoch') gewählt werden (0 bedeutet ‚risikoneutral').

Übergeordnetes Hauptrisikofeld ist der Preiskampf bzw. der Branchenwettbewerb (im Mittel mit ‚hoch' beurteilt). Ebenfalls hohes Risikopotenzial wird in der Kalkulation und Angebotsbearbeitung sowie der Vertragsgestaltung gesehen. Neben diesen bauwirtschaftlichen Aspekten fallen auch technische und baubetriebliche Risikofelder und damit verbundene Disziplinen wie die Bauablaufplanung und Logistik in den Bereich ‚hoher' Risiken. Den Experten zufolge ist der IT-Bereich für die Baubranche kaum als risikoreich anzusehen. Zusätzlich erwähnt wurde von mehreren Teilnehmern das Länderrisiko – welches vor allem für Konzerne relevant ist. In wenig bekannten Märkten können diese Länderrisiken nur schwer eingeschätzt werden und nahezu alle der gelisteten Risikofelder umfassen.

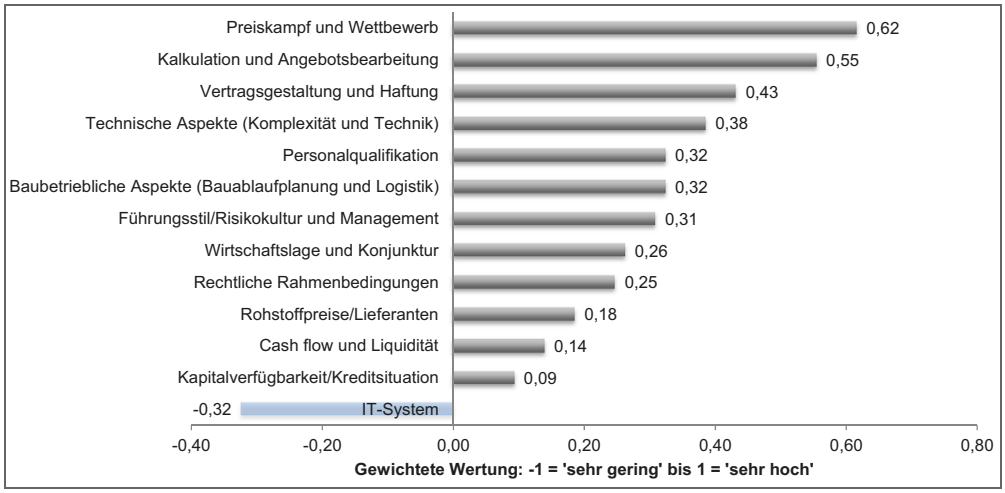


Abb. 4-3 Risikopotenzial von Risikofeldern aus Auftragnehmersicht[6)]

Diese Frage zielte darauf ab, eine hierarchische Reihung der wichtigsten Risikofelder hinsichtlich der Risikoeinschätzung der Experten zu erreichen (siehe Abb. 4-3). In der Praxis ist jedoch eine allgemeingültige Trennung schwierig, da zwischen den angeführten Bereichen Abhängigkeiten bestehen können. Dementsprechend nachvollziehbar ist das Ergebnis, wonach das projekt- und phasenunabhängige Risikofeld ‚Preiskampf und Wettbewerb' das höchste Risikopotenzial darstellt. Dieses wirkt sich auf alle weiteren aus. Phasenbezogen sehen die Experten die größten Risiken vor der Bauabwicklung bei der Angebotsbearbeitung und dem Vertragsmanagement. Je umfangreicher und komplexer ein Risikofeld, desto höher ist auch das durch die Teilnehmer zugeordnete Risikopotenzial, wodurch die Reihenfolge der teils nur bedingt differenzierbaren Risikobereiche plausibilisiert wird. Die Kalkulation baut etwa auf der Prognose technischer und baubetrieblicher, aber auch vertraglicher Aspekte auf. Das Risikopotenzial, welches sich aus der Personalqualifikation ergibt, wird ebenfalls als ‚hoch' eingestuft. Ein möglicher Zusammenhang ergibt sich aus der anschaulichen Tatsache, dass entsprechende Qualifikation ein wesent-

6) Alber (2013), S. 131

licher Kostenpunkt und gleichzeitig elementare Grundlage funktionierender Geschäftsprozesse ist. In einer branchenübergreifenden Studie aus dem Jahr 2009 wurde festgestellt, dass Fachkräftemangel in der Bauindustrie für 76 % der befragten Unternehmen zu den Hauptrisiken gehört.[7)] Im Vergleich zur Finanzdienstleistungsbranche und der stationären Industrie bergen IT-Systeme für Bauunternehmen dagegen eher geringe Risiken. Die hier von den Teilnehmern bewerteten und damit praxisorientiert gereihten Risikofelder zeigen auf, in welchen Bereichen Schwerpunkte im Risikomanagement für Bauunternehmen gesetzt werden sollten oder könnten.

4.2.1.2 Phasenabhängigkeit der Risikoentstehung

Ergänzend wurden die Teilnehmer gebeten, eine phasenbezogene Einschätzung zu treffen, wann im Projektverlauf die meisten Fehler gemacht werden. Abb. 4-4 zeigt die ‚Phasenabhängigkeit der Risikoentstehung' aus Sicht der Praxis. Die konkrete Frage an die 31 Experten lautete, in welcher Projektphase die Häufigkeit für Fehler, welche in weiterer Folge zu baubetrieblichen Problemen führen, am höchsten ist. Jeder Experte hatte die Möglichkeit drei Antworten aus den Vorgaben auszuwählen (von den 31 Experten haben 30 Experten ihre Wertung zu dieser Frage abgegeben).

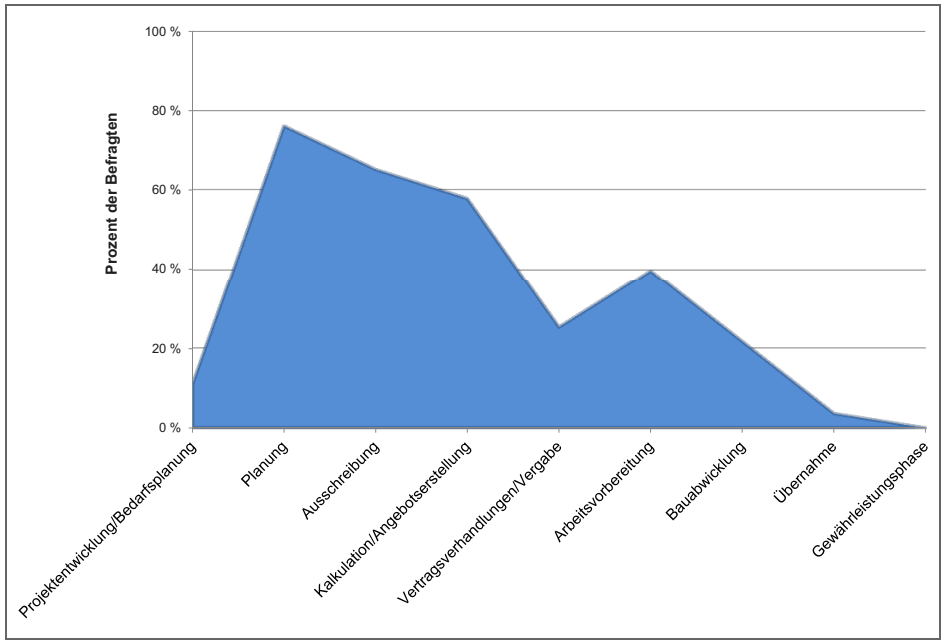


Abb. 4-4 Projektphasen als Fehler- und Risikoquellen[8)]

Die Auswertung zeigt sehr deutlich, dass die meisten Probleme (respektive Risikoeintritte) bereits auf Mängel in frühen Projektphasen zurückzuführen sind. Das größte Fehlerpotenzial wird in der Planungsphase gefolgt von der Ausschreibungsphase gesehen, die üblicherweise der Sphäre des Auftraggebers zuzuordnen sind.

7) Vgl. Mesaros/Vanselow/Weinkopf (2009), S. 17

8) Alber/Hofstadler (2014), S 132f.

Als häufige Ursache für nachfolgend auftretende Schwierigkeiten lassen sich naturgemäß Fehler bei Vertragsverhandlungen und der Vergabe aufzeigen. Neben der Angebotsbearbeitung spielt dabei auch die Qualität des in vielen Unternehmen professionell betriebenen Vertragsmanagements eine zentrale Rolle. Nach der Vergabe des Auftrags steigt für den AN in der Phase der Arbeitsvorbereitung das Risikopotenzial wieder an, da unter großem Zeitdruck wichtige Entscheidungen für die Auswahl der Bauverfahren, die Bauablaufplanung, die Logistik und die Baustelleneinrichtung zu treffen sind.

Neben den vorgegebenen Antwortkategorien wurde von den Studienteilnehmern noch der Bereich der Personalentwicklung als wesentliche Problem- und Risikoquelle in Ergänzung angeführt. Dies plausibilisiert nochmals eindrücklich die hohe Bedeutung von Personalrisiken in der dargestellten hierarchisierten Wertung der Risikofelder.

4.2.1.3 Risikoneigung

Als weiterer Erhebungsaspekt war es von Interesse, ob und inwiefern sich die Risikoneigung von Unternehmen von jener der Mitarbeiter unterscheidet. Für die Bewertung der eigenen und der Risikoneigung des Unternehmens standen folgende Antwortmöglichkeiten zur Auswahl:

- risikoavers
- eher risikoavers
- weder noch
- eher risikofreudig
- risikofreudig

In Abb. 4-5 ist das Ergebnis der Auswertung von 24 Expertenangaben dargestellt. Insgesamt stellt sich bei 11 Befragten (entspricht 46 %) kein Unterschied zwischen der eigenen Risikoneigung und jener des Unternehmens ein. Interessanterweise besteht in Bezug auf die Risikoeinschätzung bei mehr als der Hälfte (54 %) ein Unterschied. In sieben Unternehmen (ca. 29 %) ist die übergeordnete Risikoneigung höher als jene der Mitarbeiter. Ein Viertel der Experten (6 Antworten) gibt an, eine höhere Risikoneigung als ihr Unternehmen zu besitzen.

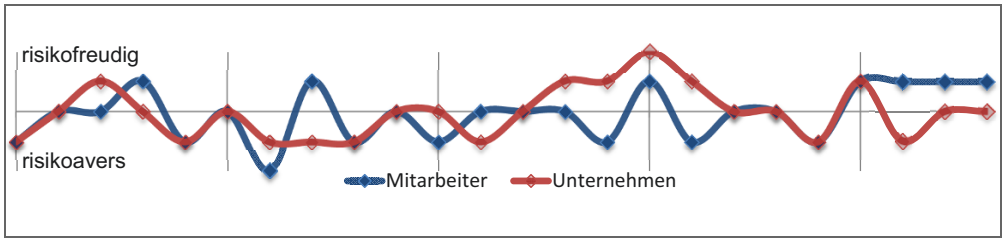


Abb. 4-5 Risikoneigung – Unterschied zwischen Mitarbeiter und Unternehmen

Bei zwei Befragten (ca. 8 %) trat ein konträres Risikoverhalten auf. Die Mitarbeiter sind riskofreudig, aber das Unternehmen risikoavers.

Die Ergebnisse zeigen mehrheitlich, dass die eigene Einstellung gegenüber Risiken als abweichend in Bezug auf die Ausrichtung und den Risikoumgang des Unternehmens empfunden wird. Diese Aussage ist auch ein Indiz dafür, dass häufig einheitliche Vorgaben im Risikoumgang fehlen (Risikopolitik des Unternehmens) und, dass hierin die Ursache für das unterschiedliche Risikoverhalten liegt.

4.2.2 Chancen- und Risikoverhalten und Wettbewerbsintensität

Für eine solide Chancen- und Risikobewertung der Angebotskalkulation sowie der darauf basierenden finalen Auftragskalkulation werden Angebotspreise auf Basis einer Nullkalkulation[9)] berechnet. Die darauf folgende Ermittlung der Preise stützt sich auf die Annahme, dass alle Produktionsfaktoren normal eingesetzt werden. Eine ex ante Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten ist in diesen Fällen nicht notwendig, da die Erreichung der Normal-Produktivität in der Bauausführung möglich ist. Dieser deterministisch berechnete Wert stellt den erwarteten Wert des Experten (z.B. Kalkulanten eines Bieters) dar. Liegt eine normale Bauzeit vor, führt dieser Preis zusammen mit evtl. strategischen Überlegungen direkt zum endgültigen Angebotspreis, der im Zuge der Auftragsvergabe eine exakte Zahl darstellen muss. Für die Vergegenwärtigung des Chancen-Risikoverhältnisses ist es notwendig, ein Histogramm für die Preisverteilung der Nullkalkulation zu berechnen. Dazu sind bei einem Einheitspreisvertrag für die Berechnung der Einheitspreise die Kalkulationsansätze – dort wo Unsicherheiten vermutet werden – mit Verteilungsfunktionen zu belegen, damit das Histogramm für die Preisverteilung z.B. anhand einer Monte-Carlo-Simulation ermittelt werden kann.

Für die stetige Verteilung in Abb. 4-6 ist horizontal das Chancen-Risikoverhältnis für berechnete Preise und auf der vertikalen Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte dargestellt. Die herrschende Wettbewerbssituation wird in der Abb. 4-6 durch eine etwa (zufällig gewählte) 20° geneigte, strichlierte Gerade verdeutlicht. Durch horizontales Verschieben der Geraden wird die herrschende Wettbewerbsintensität (mit der Bezeichnung „Wettbewerbsintensität 1“) berücksichtigt. Je stärker der Wettbewerb (viele Bieter stehen wenigen Ausschreibungen gegenüber), desto weiter ist die Gerade nach links zu verschieben und kommt immer weiter in die Zone der unauskömmlichen Preise[10)]. Gleichzeitig steigt das Risikopotenzial (Pfeil nach rechts, parallel zur Abszisse). Damit sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Chance genützt werden kann. In weiterer Folge ist es sehr unwahrscheinlich, dass die Kosten, die den vereinbarten Preisen der Ermittlung zugrunde liegen, nicht überschritten werden.

Die Steigung der Geraden kann als Prognose hinsichtlich der wichtigsten Kalkulationsrandbedingungen der jeweiligen Baumaßnahme angesehen werden („Planungs- und Ausschreibungsqualität = A+P 1“). Je genauer die Preise berechenbar sind (weniger Unsicherheiten in den Mengen und Kalkulationsansätzen), desto größer ist die Steigung dieser Geraden und umso enger liegen die Angebotspreise zusammen. Dieser Effekt tritt auch dann ein, wenn zwei Bieter bezüglich ihrer Risikoeinstellung weiter entfernt voneinander sind (die vertikal verschobenen Pfeile zu Bieter A und B; der vertikale Abstand zwischen Bieter A und B bleibt konstant). Der vertikale Abstand zwischen Bieter A und B wird als Chancen-Risikoverhalten angesehen. In dieser Darstellung ist Bieter B im Vergleich zu Bieter A um einiges risikofreudiger. Eine Erklärung dafür ist beispielsweise, dass Bieter B dringend einen Auftrag benötigt, um den geplanten Jahresumsatz zu erreichen. Ein weiterer möglicher Grund könnte darin bestehen, dass Bieter B unbedingt verhindern will, dass Bieter A in dieses Marktsegment eindringt.

9) Nullkalkulation: „Ermittlung kostendeckender Preise für später zu erbringende Bauleistungen; ohne spekulative Elemente.“ Oberndorfer/Jodl et al. (2001), S. 36

10) Die Tendenz zu unauskömmlichen Preisen steigt, je weiter sich ein Bieter im Zuge seines Angebotspreises im Vergleich zur Nullkalkulation von einer Vollkosten- in Richtung einer Teilkostendeckung bewegt.

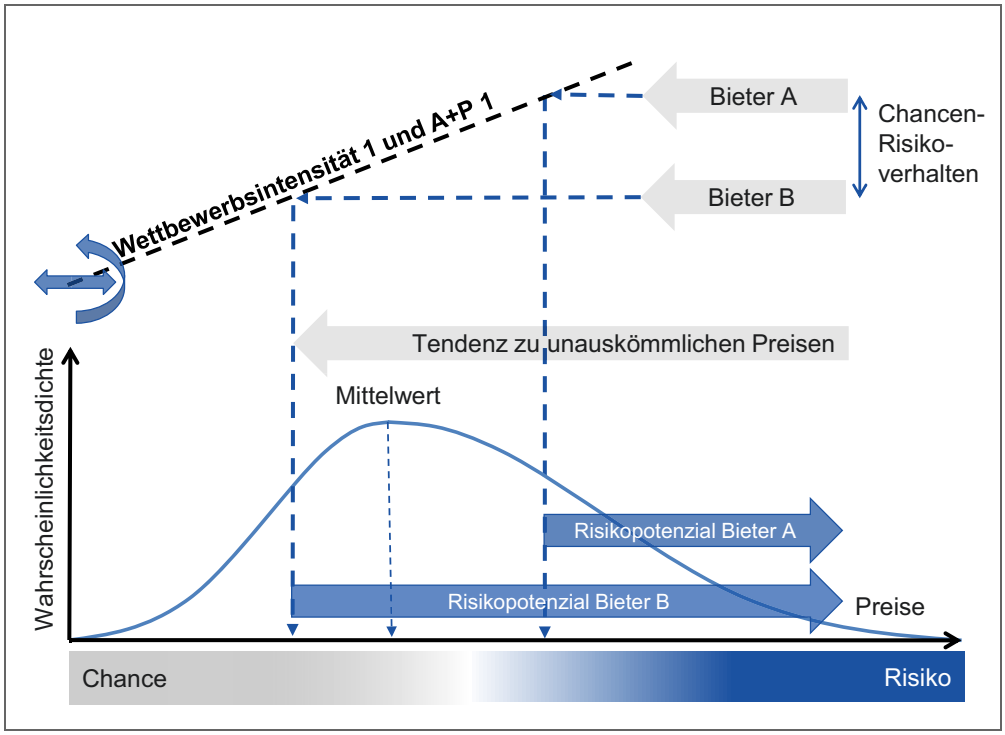


Abb. 4-6 Chancen- und Risikopotenzial in Abhängigkeit von der Wettbewerbssituation (maßgeblich beeinflusst durch Wettbewerbsintensität sowie Planungs- und Ausschreibungsqualität) – Szenario 1

In Abb. 4-7 ist im Vergleich zu Abb. 4-6 ein weiteres Szenario für die Wettbewerbsintensität sowie die Planungs- und Ausschreibungsqualität dargestellt. Das Chancen-Risikoverhalten zwischen Bieter A und B wurde dabei unverändert belassen. Die Gerade wurde aufgrund der für die Bieter günstigeren Wettbewerbssituation (mit der Bezeichnung „Wettbewerbsintensität 2“) weiter nach rechts verschoben. Dadurch wird eine geringere Wettbewerbsintensität ausgedrückt und die Angebotspreise müssten tendenziell höher ausfallen. Weiters wurde die Steigung der Geraden erhöht, um zu berücksichtigen, dass die Planungs- und Ausschreibungsqualität („Planungs- und Ausschreibungsqualität = A+P 2“) höher ist als beim vorangegangenen Beispiel in Abb. 4-6. Das hat zur Folge, dass die Wahrscheinlichkeit von Planungs- und Ausschreibungsfehlern reduziert wird und das Spekulationspotenzial geringer ausfällt. Insgesamt wird deutlich, dass die Angebotspreise von Bieter A und B näher zueinander gerückt sind.

Die Bieter gehen damit geringere Risiken ein und können eher davon ausgehen, dass sie in der Bauausführung die kalkulierten Herstellkosten einhalten werden. Das Potenzial an Chancen steigt für den späteren Auftragnehmer. Für den Auftraggeber gereicht dies dahingehend zum Vorteil, dass sehr wahrscheinlich mit einem Bauwerk gerechnet werden kann, welches im vorab festgelegten Zeitraum errichtet wird und die vereinbarten Vorgaben hinsichtlich der Qualität und des Budgets eingehalten werden.

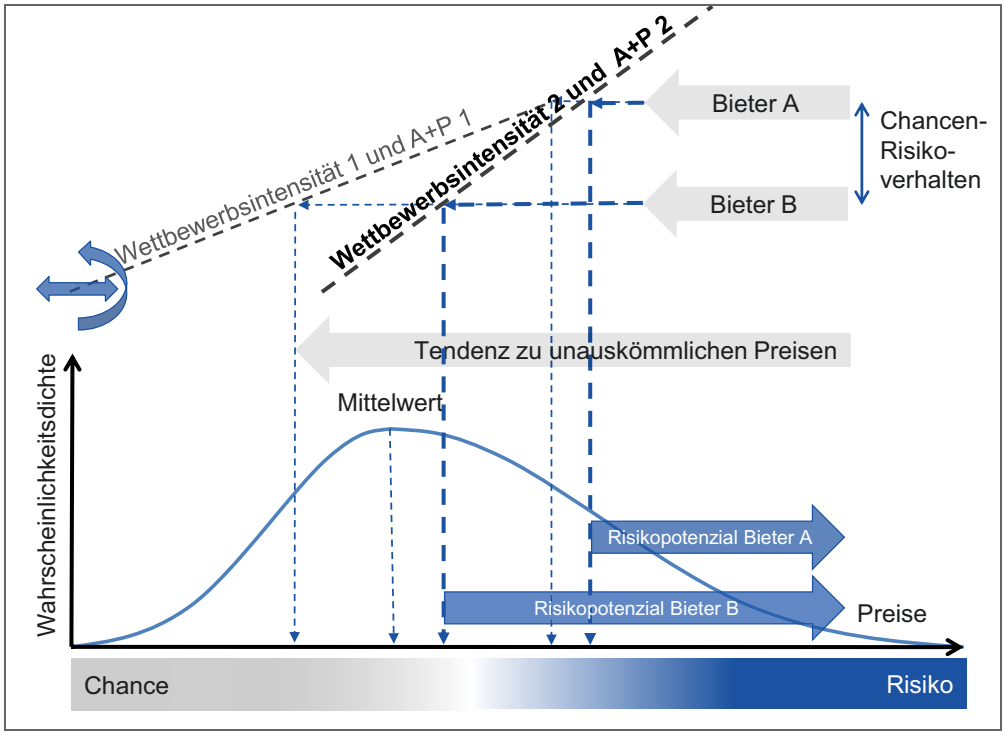


Abb. 4-7 Chancen- und Risikopotenzial in Abhängigkeit von der Wettbewerbssituation (maßgeblich beeinflusst durch Wettbewerbsintensität sowie Planungs- und Ausschreibungsqualität) – Szenario 2

Der Veränderung der Steigung der Geraden sind Grenzen gesetzt. Die Neigungen 0 und 90° sind rein theoretischer Natur und können in der Baupraxis nicht eintreten. Eine vertikale Gerade würde einem vollkommen durchgeplanten und lückenlos sowie widerspruchsfrei ausgeschriebenen Bauobjekt entsprechen. Weiters müssten zwischen den Vertragspartnern vollkommene Informationen[11)] vorliegen, was besonders bei Werkverträgen praktisch unmöglich ist. Eine vertikale Gerade ist nur theoretisch möglich, da die Bieter in der Praxis auch für dieses Szenario unterschiedliche Angebotspreise abgeben würden, obwohl die zur Verfügung gestellten Kalkulationsgrundlagen als vollkommen und widerspruchsfrei anzusehen sind. Dies ist maßgeblich auf den Unikatcharakter von Bauobjekten sowie die subjektiv unterschiedliche kostenmäßige Bewertung der Produktionsfaktoren zurückzuführen (inneres Produktionssystem). Auch die Komplexität und die Umstände der Leistungserbringung werden von den Kalkulanten verschieden beurteilt (äußeres Produktionssystem). Das hat mit dem unterschiedlichen Umgang mit Informationen zu tun, sowie der differierenden Chancen-Risikoaffinität. Dass Bauwerke völlig falsch geplant und ausgeschrieben werden, kommt in der Praxis nicht (kaum) vor. Es gibt Richtlinien und Standards für die Mindestqualität der Planung und Ausschreibung, was dazu führt, dass eine horizontale Lage der Geraden nie erreicht werden kann. Allerdings

11) Eine zentrale Annahme neoklassischer ökonomischer Modelle ist die vollständige Information, d. h. die Akteure kennen sämtliche Umweltzustände und können die Handlungen ihrer Vertragsparteien beobachten. Informationen sind kostenlos verfügbar, Verträge sind vollständig, ihre Erfüllung kann kostenlos beobachtet und vollständig durchgesetzt werden. Trotz dieser in der Realität nicht gegebenen Annahme können neoklassische Modelle in bestimmten Bereichen mit guten Ergebnissen verwendet werden.

führt eine tatsächlich sehr schlechte Planungs- und Ausschreibungsqualität zu einer geringen Steigung der Geraden und damit zu einer breiteren Streuung der Angebotspreise. Die Hauptursache liegt darin, dass aufgrund des hohen Interpretationsspielraums auch die Kalkulationsannahmen der Bieter sehr weit auseinander liegen können. Es liegt hier ein hoher Grad an asymmetrischen Informationen vor.

Selbst wenn alle Bieter in deren Kostenermittlungen (= Nullkalkulation) zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommen, können strategische und teilweise auch spekulative Überlegungen zu großen Unterschieden in den Angebotspreisen führen.

Obwohl diese Grafiken die zentralen Mechanismen zwischen Wettbewerb, Planungs- und Ausschreibungsgenauigkeit, Preisen und Chancen/Risiken rein idealtypisch darstellen, kann damit ein sehr guter Überblick über die üblicherweise vorherrschenden ökonomischen Zusammenhänge in der Bauwirtschaft geschaffen werden.

4.3 Chancen- und Risikopolitik

Die Chancen- und Risikopolitik wird von den Visionen, Werten und Missionen der jeweiligen Organisation abgeleitet. Sie repräsentiert die Normen, Einstellungen und Entscheidungspolitik einer Organisation im Umgang mit Chancen und Risiken, auch wenn diese nicht explizit dokumentiert werden. Diese organisationsinterne Ausrichtung bildet, wie in Abb. 4-8 ersichtlich, die Umsetzungsgrundlage für das Chancen- und Risikomanagementsystem.

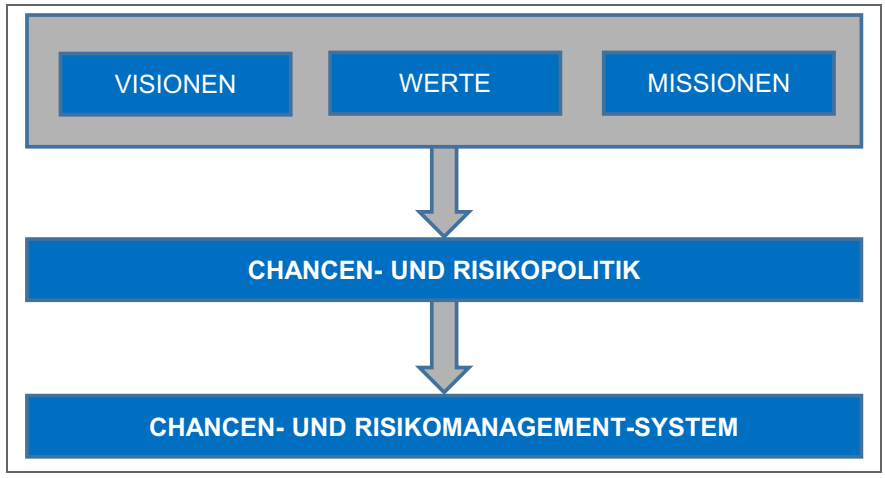


Abb. 4-8 Stellenwert der Chancen- und Risikopolitik[12)]

Im optimalen Fall stellt die oberste Leitung der Organisation sicher, dass die Chancen- und Risikopolitik

- für den Zweck der Organisation angemessen ist,
- sich mindestens auf die Chancen/Risiken erstreckt, die für das Überleben oder die Zielerreichung der Organisation von Bedeutung sind,
- wirtschaftliche, technische, ökologische und gesellschaftliche Aspekte des Umfeldes der Organisation berücksichtigt,

12) Vgl. ÖNORM S 2410:2010, S. 10

- Faktoren aufzeigt, die Erfolg sichern oder Erfolgspotenziale bedrohen,
- gesetzliche und regulatorische Anforderungen berücksichtigt,
- feststellt welche Chancen/Risiken die Organisation selbst zu tragen bereit ist,
- eine verpflichtende Umsetzung des Chancen- und Risikomanagementsystems im gesamten Verantwortungsbereich gewährleistet,
- auf ihre Funktionsfähigkeit und die fortdauernde Angemessenheit hin überwacht und bei Bedarf überarbeitet wird.[13)]

Vorab der Identifikation und Betrachtung der Risiken wird die Risikopolitik, also die Risikobereitschaft, festgelegt. Es werden dabei grundsätzliche Fragen der Strategie und KO-Kriterien bzw. ‚Go- und No-Go-Kriterien' für das gesamte Unternehmen oder für ein spezielles Projekt erarbeitet. So kann ein Projekt bereits an dieser Stelle (vor Projektbeginn) abgebrochen werden. Die Risikopolitik ist meist die Aufgabe der Geschäftsleitung, sollte aber für alle Beteiligten schriftlich festgehalten werden, um ein Risikobewusstsein zu schaffen und eine Risikokultur im Unternehmen zu etablieren.

Die Chancen- und Risikopolitik bezeichnet im Allgemeinen die Vorgaben des obersten Managements zu Grundsätzen, Umsetzung sowie Integration und Kommunikation des Chancen- und Risikomanagements. Die Chancen- und Risikopolitik lehnt sich dabei an die Ziele und Strategien der Organisation an. Diese sind in projektorientierten Unternehmen auf der Unternehmensebene festzulegen und von der Projektleitung individuell – angelehnt an die unternehmensweite Chancen- und Risikopolitik – für das jeweilige Projekt zu interpretieren und zu spezifizieren.

Die Chancen- und Risikokultur (Unternehmenskultur) beschreibt Einstellungen (Grundprämissen), Normen und Werte sowie das Verhalten der Individuen und Gruppen in Bezug auf Chancen/Risiken sowie das Chancen- und Risikomanagement.[14)]

4.4 Makro- und Mikrobetrachtung

Das Chancen- und Risikomanagement umfasst in der Makrobetrachtung die gesamte Organisation und in der Mikrobetrachtung einzelne Projekte. Zwischen den beiden Ebenen sollte den Projekten vorgelagert ein systematisches Projektportfoliomanagement etabliert sein.

Das primäre übergeordnete Ziel des Chancen- und Risikomanagements besteht in der langfristigen Sicherung des Unternehmenserfolgs bzw. der Unternehmensexistenz. Dazu zählt insbesondere die Liquiditätserhaltung. Außerdem kann zwischen qualitativen und quantitativen Zielanforderungen unterschieden werden. Zu ersteren gehören z.B. Qualität, Marktposition und Kommunikation, zu letzteren messbare Größen wie z.B. Renditen, Kosten, niedrige Gewährleistungsquoten und Termine.

Die nachfolgend konkretisierten Ziele stellen eine Zusammenfassung der Inhalte der hinzugezogenen Literatur dar, die sich in fundierter Weise mit Chancen- und Risikomanagement im Bauwesen auseinandersetzt:
- Proaktive statt reaktive Unternehmensführung und aktive Beeinflussung sowie gezieltes Identifizieren von Chancen und Risiken
- Bewusstseinsbildung in der Organisation und Zuweisung von Verantwortlichkeiten und besonders von Kompetenzen

13) Vgl. ÖNORM S 2410:2010, S. 11

14) Vgl. Spang/Gerhard (2016), S. 425f.

- Entsprechen externer, rechtlicher und normativer Anforderungen
- Gewinnen von Vertrauen durch Nachvollziehbarkeit der Risikobelastung
- Nachvollziehbare Risikoverteilung (z.B. ARGE) und Beeinflussung von Rating-Prozessen
- Bildung von Entscheidungsgrundlagen und risikoorientierter Projektauswahl mit geeignetem Risiko-Rendite-Profil
- Erhöhen der operationellen Leistungsfähigkeit und Planungssicherheit durch Reduzierung der Schwankungsbreite von Gewinn und Cashflow

Diesen Zielen gemein ist der letztlich angestrebte ‚Output' in Form eines konkreten und nachhaltigen kommerziellen Nutzens des Chancen- und Risikomanagementsystems.[15)]

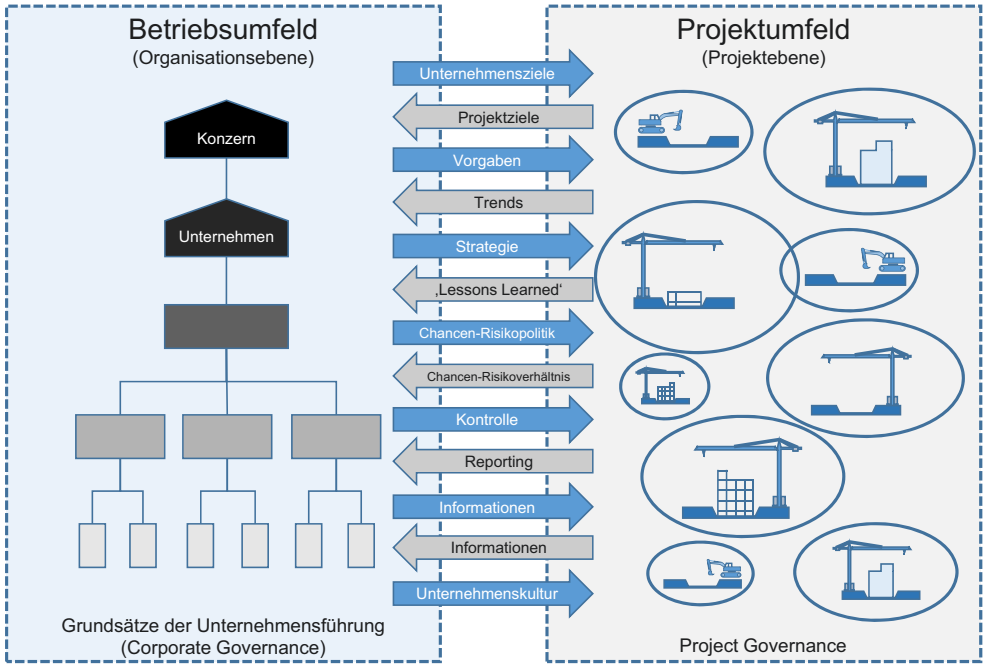


Abb. 4-9 Chancen- und Risikomanagement auf unterschiedlichen Ebenen – Interaktion zwischen Betriebsumfeld und Projektumfeld

In Abb. 4-9 ist die Interaktion zwischen dem Betriebs- und Projektumfeld exemplarisch dargestellt. In der Bauwirtschaft werden Betriebsergebnisse auf Basis unterschiedlicher Projekte erzielt (Umsatzgröße, private/öffentliche AG etc.). Dem Pareto-Prinzip[16)] folgend, werden ca. 80 % des Umsatzes mit ca. 20 % der Projekte erzielt. Besonders diese maßgeblichen Projekte sollten im Fokus des Chancen- und Risikomanagementprozesses stehen.

15) Vgl. Alber (2013), S. 16f.

16) Die Entdeckung dieser Regel geht auf den italienischen Wirtschaftswissenschaftler *Vilfredo Pareto* (1848-1923) zurück, der zu Beginn des 20. Jahrhunderts herausfand, dass 80 % des italienischen Staatsvermögens auf 20 % der Staatsbürger verteilt war. Die Pareto-Regel (auch allgemein bekannt als ‚80/20 Regel') ist eine idealtypische und somit nicht auf alle spezifischen Fälle zutreffende Regel. Dieses Prinzip wurde insofern in verallgemeinernder Weise weiterentwickelt, dass ungefähr 80 Prozent eines Ergebnisses auf 20 Prozent des Aufwands zurückzuführen sind. Auf Bauprojekte angewendet bedeutet dies beispielsweise, dass bei Einheitspreisverträgen 20 % der Positionen 80 % des Angebotspreises ausmachen.

Wesentliche Elemente des Chancen- und Risikomanagementprozesses lauten:
- Integrierter Prozess zur Erfassung, zur Bewertung, zum Monitoring, zur Dokumentation und zur Reflexion mit Rückkopplung
- Dezentrales Management konkreter Chancen und Risiken
- Aggregation auf Sparten, Gruppen- und Projektebene

Organisation und Zuständigkeiten:
- Die Verantwortung für das Chancen- und Risikomanagement liegt bei der Unternehmensleitung. Die Leitung definiert den Chancen- und Risikomanagementprozess für die übergeordneten Organisationseinheiten (Finanzierung, Controlling etc.), die Sparten (Hochbau, Bahnbau, Tiefbau etc.) und die Projekte.
- Die Unternehmensleitung wird durch die Organisationseinheiten sowie durch Compliance-Beauftragte (sofern erforderlich) unterstützt. Diese koordinieren den Chancen- und Risikomanagementprozess auf Gruppenebene und stellen die Struktur, geeignete Werkzeuge sowie Methoden bereit. So ist das Chancen- und Risikomanagement in die Strategie-, Planungs- und Budgetierungsprozesse integriert.
- Direkt beauftragte Chancen-Risikomanager treiben das Umsetzen und Einhalten von Chancen-Risikoprozessen voran und achten auf die Implementierung von Chancen- und Risikoregelkreisen im Projekt- und Tagesgeschäft. Durch Feedbackschleifen ist sicherzustellen, dass ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess (in Richtung Lean-Management) entsteht.
- Das Management konkreter Chancen und Risiken ist zum überwiegenden Teil an die jeweiligen Geschäftseinheiten delegiert und wird lokal gesteuert. Eine Ausnahme bilden übergeordnete Aufgaben wie beispielsweise Finanzierung, zentraler Einkauf oder Wechselkursrisiken. Hier findet zunächst eine Konsolidierung auf Gruppenebene statt, bevor z.B. derivative Sicherungsinstrumente zum Einsatz kommen.

Instrumente für das Chancen- und Risikomanagement:
- In Richtlinien werden die Muss-, Soll-, Kann- und Nichtziele für das Chancen- und Risikomanagement definiert.
- Anhand von Regelkreisen werden die unterschiedlichen Stufen dargestellt.
- Auf Projektebene wird gezeigt, welche Methoden und Werkzeuge für die jeweiligen Projektphasen systematisch einzusetzen sind (im Buch wird intensiv die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation gezeigt).
- Ein zentraler Wissensspeicher dient zum Austausch von Prozessen, Methoden und Werkzeugen sowie von Daten und Informationen.
- Ein Katalog mit Chancen- und Risikokategorien dient einer möglichst vollständigen Identifikation aller relevanten Chancen und Risiken.
- Für die Erfassung und Bewertung von Chancen und Risiken eignen sich standardisierte Bewertungs- und Berichtswerkzeuge. Die Aggregation von Chancen, Risiken und Sensitivitäten auf Geschäftsbereichs- und Konzernebene mittels Monte-Carlo-Simulation hilft, unternehmensweite Auswirkungen und Trends zu erkennen.
- Operative Chancen und Risiken (Betrachtungszeitraum von bis zu einem Jahr) werden der Unternehmensleitung im monatlich von Corporate Controlling erstellten Managementbericht gemeldet. Außerdem informieren die Zentraleinheiten Corporate Controlling und Finance halbjährlich über die aggregierte Chancen-Risiko-Exposition der Unternehmensgruppe, Sparten, Bereiche etc. Darüber hinaus besteht eine unmittelbare Berichtspflicht für neu auftretende Einzelrisiken, deren Ergebnisauswirkung einen zu definierenden Betrag übersteigt, sowie für Reputationsrisiken.
- Strategische Chancen-Risikoanalysen mit einem Betrachtungszeitraum von zehn Jahren führt die Einheit Strategic Planning & Controlling im Rahmen der Strategieentwicklung durch. Sie werden im Zuge des strategischen Controllings jährlich überprüft und gegebenenfalls angepasst.

- Ein unternehmensweites Compliance-Programm soll die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen und der unternehmensinternen Richtlinien sicherstellen. Ein globaler Verhaltenskodex für alle Mitarbeiter stellt sicher, dass diese Standards verbindlich im Unternehmensalltag nicht nur eingehalten, sondern auch gelebt werden. Wichtig ist, dass die Unternehmensleitung mit gutem Beispiel voran geht und die Regeln und Prozesse auch sichtbar vorzeigt.

4.4.1 Makrobetrachtung – Organisationsebene

Unternehmen sind angehalten ein Chancen- und Risikomanagementsystem einzuführen. Dabei wird oft verkannt, dass Chancen und Risiken von unterschiedlicher Natur sind, damit verschiedene Charakteristika aufweisen (Tab. 4-1 zeigt beispielhaft einige Unterschiede zwischen Chancen und Risiken auf) und nicht immer dieselbe Methodik angemessen ist, um eine gegenstandsbezogene Behandlung zu gewährleisten.

Lfd. Nr.	Kriterium	Eigenschaften von Risiken	Eigenschaften von Chancen
0	A	B	C
1	Eintritts-wahrscheinlichkeit	Risiken haben die unangenehme Eigenschaft, wiederkehrend zu sein. Deswegen macht es Sinn, bei Risiken die Eintrittswahrscheinlichkeit zu betrachten.	Chancen haben oft die Eigenschaften, einmalig und schwer erkennbar zu sein, weisen meistens einen sinkenden Zeitwert auf und können nur in einem gegebenen Zeitfenster realisiert werden. Man spricht davon, eine Chance verstreichen zu lassen. Als treffend in diesem Kontext erweist sich folgendes Sprichwort: "Wer zu spät kommt, den bestraft das Leben."
2	Wahrnehmung	Risiken können unabhängig davon eintreten, ob wir sie erkennen/wahrnehmen.	Chancen können nur dann genutzt werden, wenn sie erkannt werden.
3	Handlungsbedarf	Bezüglich der Exposition gegenüber Risiken ist man nicht frei. In vielen Fällen kann das Risiko lediglich reduziert werden. Ein Restrisiko verbleibt und dessen Eintritt kann nicht vollkommen verhindert werden.	Man ist frei in der Entscheidung, ob man versuchen will, eine Chance zu nutzen. Chancenmanagement ist von strategischer Natur. Es zielt darauf ab, die Handlungsoptionen und somit die Entscheidungsfreiheit zu erfassen. Es unterstützt die Frage "Was soll in der Zukunft erreicht werden?" Die Möglichkeit/Fähigkeit, eine Chance realisieren zu können, ist nicht grundsätzlich gegeben. Die Chancenrealisierung ist somit risikobehaftet!
4	Handhabung	Handhabung von Risiken: ▪ Ein Risiko kann vollständig vermieden werden. ▪ Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos kann reduziert werden. ▪ Das zu erwartende Schadensausmaß des Risikos kann reduziert werden. ▪ Risiken können akzeptiert werden.	Handhabung von Chancen: ▪ Eine Chance kann vollständig realisiert werden. ▪ Die Wahrscheinlichkeit einer Chancenrealisierung kann erhöht werden. ▪ Eine Chance kann teilweise realisiert werden. ▪ Chancen können ignoriert werden
5	Interaktion Chancen/Risiken	Risiken bergen Chancen.	Chancen sind risikobehaftet. Ohne das kalkulierte Eingehen von Risiken können Chancen nicht realisiert werden.

Tab. 4-1 Unterschiede zwischen Chancen und Risiken[17)]

[17)] Vgl. Secricon GmbH (2011), http://www.secricon.com/pdf/Chancenmanagement.pdf. Datum des Zugriffs: 11.11.2016

Risiken haben die unangenehme Eigenschaft, wiederkehrend zu sein, während Chancen in der Regel durch ihre Einmaligkeit gekennzeichnet sind und nur in einem begrenzten Zeitfenster einen ‚Zeitwert' haben (vgl. Realoptionen-Theorie). Dazu lässt sich folgendes Beispiel anführen: Nach ihrer Einführung in den 90er-Jahren stellte die frühzeitige Adaption der Internettechnik für einige Unternehmen eine große Chance mit einem Mehrwert dar. Heute ist die Internettechnik für viele Unternehmen nur eine zwingende Voraussetzung zur Geschäftsausführung.[18)]

Chancen- und Risikomanagement begreift alle Einheiten einer Organisation als zusammenhängendes System. Sämtliche Organisationseinheiten werden als voneinander abhängig angesehen und dürfen somit nicht isoliert voneinander betrachtet werden.

Die oberste Leitung stellt sicher, dass ein Chancen- und Risikomanagementsystem eingeführt, dokumentiert und funktionsfähig erhalten wird. Sie verbessert die Wirksamkeit des Chancen- und Risikomanagementsystems ständig.

Das Chancen- und Risikomanagementsystem kann in die Bereiche Verantwortlichkeiten und Elemente unterteilt werden, wie in Abb. 4-10 ersichtlich.[19)]

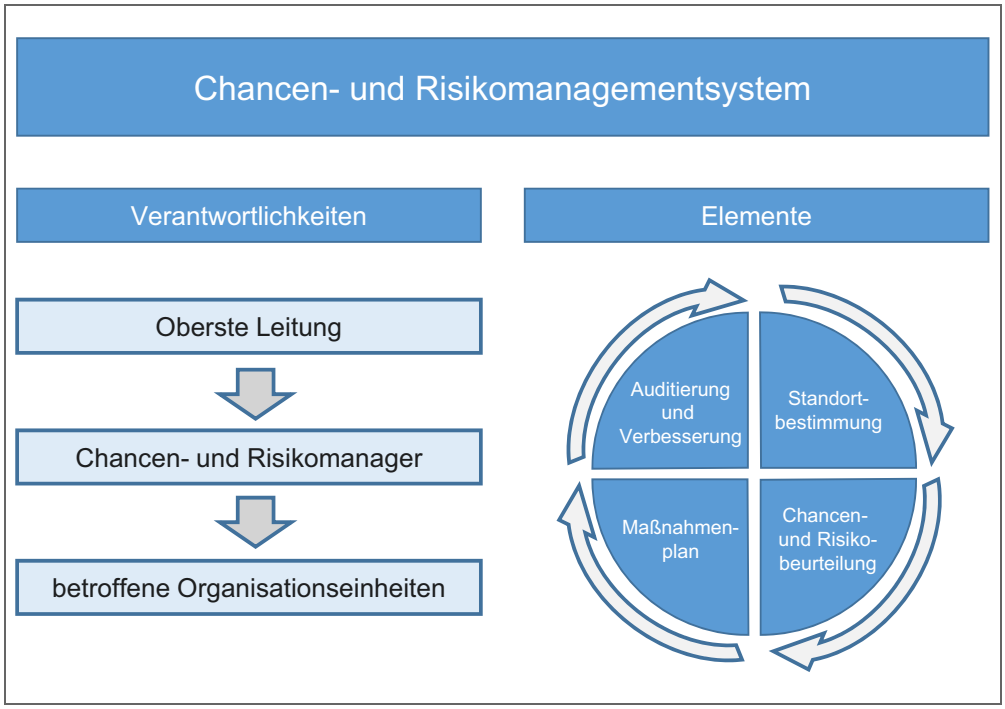


Abb. 4-10 Chancen- und Risikomanagementsystem[20)]

Das Chancen- und Risikomanagementsystem dient zur Orientierung von Verantwortlichen in Organisationen, um den mannigfaltigen wirtschaftlichen, rechtlichen und normativen Anforderungen gerecht zu werden.

18) Vgl. Secricon GmbH (2011), http://www.secricon.com/pdf/Chancenmanagement.pdf. Datum des Zugriffs: 11.11.2016
19) Vgl. ÖNORM S 2410:2010, S. 11
20) Vgl. ebd. S. 12

Zu den wesentlichen Zielen des Chancen- und Risikomanagementsystems zählen:[21)]
- Sicherung des Fortbestands der Organisation
- Schutz vor Informations-, Vermögens- oder Reputationsverlusten
- Etablierung einer Risikokultur bzw. eines unternehmerischen Risikobewusstseins
- Strukturierte Identifikation von Chancen/Risiken, die auf Unternehmensziele einwirken
- Minderung der Insolvenzwahrscheinlichkeit
- Schaffung strategischer Flexibilität durch eine Steigerung der Anpassungsfähigkeit der Organisation
- Erschließung neuer Erfolgspotenziale
- Sicherstellung der Einhaltung rechtlicher bzw. normativer Vorgaben
- Effizienzsteigerung durch Optimierung organisationsinterner Prozesse
- Verbesserung strategischer und operativer Planung
- Etablierung einer chancen- und risikoorientierten Steuerung der Organisation
- Anpassung des Geschäftsmodells und des Marktverhaltens an zukünftige Entwicklungen
- Nachhaltige und wertorientierte Weiterentwicklung sowie Steigerung des Marktwerts

In der Makrobetrachtung der Organisation werden die Weichen für ein systematisches Chancen- und Risikomanagement auf der Mikroebene gestellt. Hier sollen aus der Sicht des AN für die einzelnen Projekte anhand eines vorgegebenen Prozesses von der Angebotsbearbeitung, der Arbeitsvorbereitung, der Bauausführung bis hin zu den Mehrkostenforderungen sowie dem Projektabschluss die maßgeblichen Chancen und Risiken erkannt und behandelt werden.

4.4.2 Mikrobetrachtung – Projektebene

Die lokale Betrachtung stellt Bauprojekte in den Fokus. Zuerst werden die Chancen und Risiken analysiert, die mit dem zu untersuchenden Projekt eingegangen werden. Hier gilt es die wichtige Grundsatzentscheidung zu treffen, ob das Projekt überhaupt weiter verfolgt wird oder ob es zum Abbruch kommt, da beispielsweise ein technisches Risiko als KO-Kriterium erkannt und als solches bewertet wurde.

Wenn die Untersuchung eines Bauprojekts hinsichtlich Chancen und Risiken erfolgt, sollten vorher die Ziele, der zeitliche Rahmen, die Beteiligten der Untersuchung sowie die anzuwendenden Methoden[22)] festgelegt werden. Im Rahmen einer ABC-Analyse ist zu Beginn zu ermitteln, welche Bereiche sehr bedeutend, bedeutend und weniger bedeutend sind, damit die Schwerpunkte richtig festgelegt werden können. Für die Projektphasen drei und vier erfolgt die zielgerichtete Anwendung des Kreislaufs anhand des Produktionswürfels (siehe Kapitel 1, Abb. 1-2). Zu beachten ist, dass es sich dabei um einen iterativen Prozess handelt, der in Form eines Regelkreises aufgebaut ist. Umgelegt auf ein Bauprojekt ist dies auch durchaus schlüssig, da im Verlauf eines solchen Vorhabens zahlreiche Entscheidungen getroffen werden müssen, sich aber in der Rohbauphase andere Risiken ergeben als beispielsweise im Ausbau oder während der Nutzung.

Neue Situationen auf der Baustelle oder geänderte Umstände der Leistungserbringung müssen immer wieder hinsichtlich der Chancen und Risiken analysiert, optimiert, kontrolliert und verfolgt werden.

---

21) Vgl. ÖNORM S 2410:2010, S. 12

22) Der Begriff ‚Methode' ist nicht gleichzusetzen mit dem Begriff des Werkzeugs. Aus der angewandten Methode folgt die Art und Weise, wie und welche Werkzeuge eingesetzt werden. Werkzeuge stellen Hilfsmittel zur Zielerreichung dar und deren Kombination ergibt sich aus der gewählten Methode.

4.5 Chancen- und Risikomanagementprozess

Der Chancen- und Risikomanagementprozess ist in Abb. 4-11 dargestellt und ist für die Bearbeitung von Projekten konzipiert. Das Gesamtsystem und auch seine Teilsysteme, wie z.B. Chancen- und Risikoidentifikation, sind als Regelkreise zu betrachten und bilden je nach Status die Eingabe oder Ausgabe für weitere Bearbeitungsschritte bzw. Regelkreise.

Ein Chancen- und Risikomanagementprozess wird zu Beginn durch einen Auftrag/Anstoß ausgelöst. Im Block der Chancen-Risikoanalyse liegen die Hauptziele darin, die relevanten Chancen und Risiken zu erfassen, zu selektieren und auf deren Relevanz einzuschätzen. Dazu werden in Abhängigkeit von der Projektphase mehr oder weniger detaillierte Unterlagen zur Verfügung stehen.

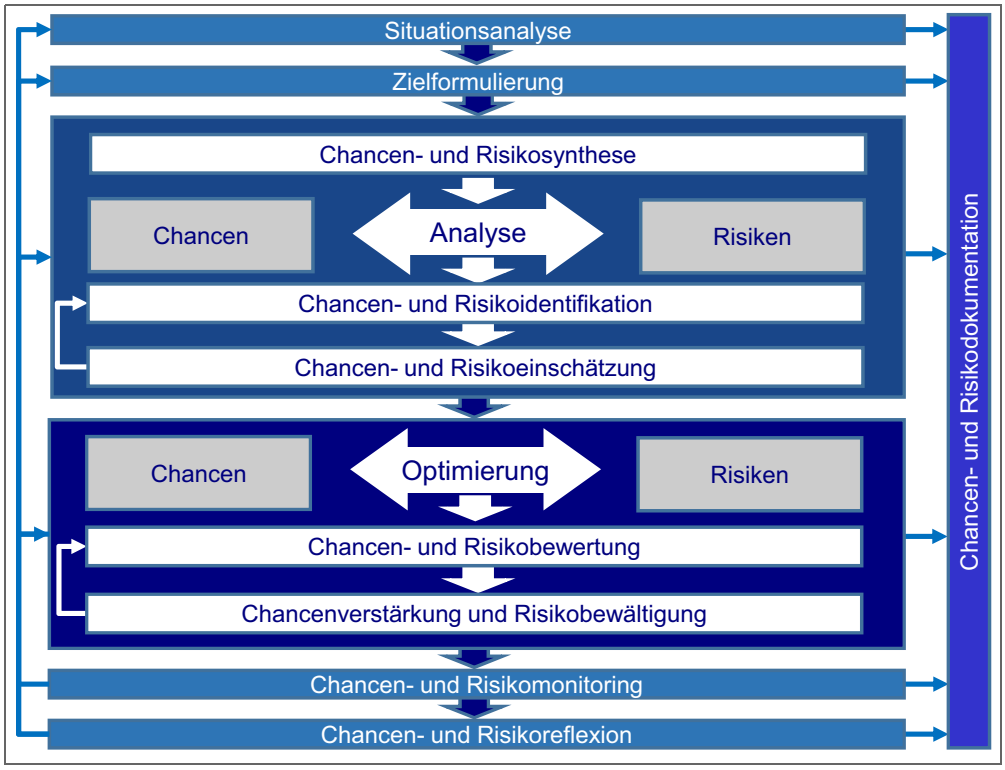


Abb. 4-11 Chancen- und Risikomanagementprozess

Ein Prozess beschreibt die dynamische Verknüpfung von Systemen. Prozesse sind derart zu gestalten, dass die Menschen, die anhand dieser Prozesse Aufgaben bearbeiten, diese gerne annehmen und auch zum kontinuierlichen Verbessern der Prozesse motiviert werden. Übergeordnetes Ziel des vorgestellten Chancen- und Risikomanagementprozesses ist es, die maßgeblichen Chancen und Risiken zeitnah zu erkennen und effizient zu behandeln.

Für einen zielorientierten und systematischen Chancen- und Risikomanagementprozess werden Regelkreise empfohlen, die in weiterer Folge dargestellt und beschrieben werden. Ein Regelkreis besteht im Wesentlichen aus einem Kreislauf und setzt sich aus dem

Führungsglied, dem Steuerglied, der Regelstrecke und dem Messglied zusammen. Die Steuerung der Regelkreise erfolgt durch positive und negative Rückkopplungen. Die Ziele werden durch das Führungsglied vorgegeben, während das Steuerglied diese für die Regelstrecke verfeinert. Durch das mehrmalige Durchlaufen des Kreislaufs steigt die Wahrscheinlichkeit, dass keine wesentlichen Chancen und Risiken übersehen bzw. falsch bewertet werden.

Je nach Organisationsgröße bzw. Projektgröße können die einzelnen Glieder des Regelkreises von Teams oder Einzelpersonen gebildet werden. Bei kleinen Organisationen und Projekten reduziert sich der gesamte Regelkreis auf ein und dieselbe Person.

4.5.1 Chancen- und Risikosynthese und -analyse

Die Chancen- und Risikosynthese umfasst im ersten Schritt das Erkennen und Sammeln aller möglichen Chancen und Risiken. Für die verschiedenen Produktionsfaktoren und -beteiligten sowie aus dem Umfeld und der Umwelt werden mögliche Chancen und Risiken erfasst. Zudem sollte die Quantität, die Qualität und in besonderem Ausmaß die Komplexität Eingang in die Betrachtungen finden. Ob und wie viele Chancen und Risiken erkannt werden, hängt wesentlich von der Erfahrung der Beteiligten und den eingesetzten Werkzeugen und Methoden ab. Nicht alles was durch die Kollektion erfasst wird, ist für den weiteren Prozess relevant. Im Zuge der Analyse werden die in der Synthese erfassten Chancen und Risiken anhand der Zieldefinition gefiltert und im Prozess intensiver untersucht. Im Rahmen der Einschätzung ist es sehr hilfreich zu erfassen, welche Chancen und Risiken vom Bieter/Auftragnehmer direkt, indirekt bzw. nicht beeinflussbar sind.

In weiterer Folge werden besonders die bedeutungsvollen (auf Projektziele ausgerichteten) Chancen und Risiken optimiert. Zu diesem Zweck erfolgt zuerst eine Bewertung dieser und anschließend werden Maßnahmen gesucht, mit denen Chancen vergrößert und Risiken vermieden werden können.

4.5.1.1 Chancen- und Risikoidentifikation

Nachfolgend werden die Ziele der Chancen- und Risikoidentifikation und der Regelkreise für die Identifikation dargestellt und beschrieben.

4.5.1.1.1 Ziel der Chancen- und Risikoidentifikation

Die Chancen- und Risikoidentifikation bildet einen wichtigen Schritt des operativen Chancen- und Risikomanagementprozesses mit dem Ziel einer umfassenden und systematischen Erfassung aller relevanten Projektunsicherheiten, die im Zuge der Synthese aufgezeigt und in weiterer Folge in der Analyse übrig geblieben sind. Die Chancen- und Risikoidentifikation sollte auch auf die Unternehmensebene ausgeweitet werden, um neben den Projektunsicherheiten auch allgemeine Chancen und Risiken des Unternehmens zu erfassen. Des Weiteren ist die Identifikation ein kritischer Schritt, weil unerkannte Chancen und Risiken in weiteren Analysen nicht miteinbezogen werden.

Bei der Chancen- und Risikoidentifikation kann zwischen intuitiven und systematischen Methoden unterschieden werden.

Eine weitere Möglichkeit Identifikationsmethoden zu kategorisieren besteht darin, in Kollektionsmethoden (z.B. Checklisten, Morphologische Kästen) und Suchmethoden (z.B. ein analytischer Fragenkatalog oder Kreativitätstechniken wie beispielsweise Brainstorming und Brainwriting) einzuteilen. Die Wahl einer geeigneten Methodik ist wesentlich von den spezifischen Risikoprofilen abhängig.

Es ist auch denkbar, dass Kombinationen der zur Verfügung stehenden Methoden eingesetzt werden, um eine möglichst zielsichere Chancen- und Risikoidentifikation durchführen zu können.

Mit der Chancen- und Risikoidentifikation werden folgende Hauptziele angestrebt:
- Möglichst vollständige Erhebung aller aktuellen und zukünftigen Chancen und Risiken
- Frühzeitige und prozessbegleitende Identifikation (Zuweisung)
- Wirtschaftlichkeit und Effizienz

Die geforderte Wirtschaftlichkeit steht dabei im Widerspruch zu den ersten beiden Anforderungen. Deshalb wird häufig die Anwendung des ‚Pareto-Prinzips' z.B. in Form einer ABC-Analyse vor einer weiteren Chancen- und Risikobehandlung als sinnvoll erachtet. Mit Bezug zur Bauwirtschaft können beispielsweise die Methoden in Tab. 4-2 für den gesamten Chancen- und Risikomanagementprozess eingesetzt werden. Die Bearbeitung erfolgt spontan intuitiv oder systematisch.

Weitere Methoden, die für den Chancen- und Risikomanagementprozess zur Verfügung stehen:
- Pondering[23)]
- Strukturierte Analyse der Projektunterlagen
- Mitarbeiterbefragungen
- Brainwriting
- 6-3-5-Methode[24)]
- Checklisten
- Morphologischer Kasten
- Indikatoren-Analyse
- Funktionsanalysen
- Expertenbefragung

Das Empfinden für Chancen und Risiken ist personen-, positions- und ausbildungsbezogen sehr unterschiedlich. Wo die einen ein Risiko sehen, sehen die anderen kein Risiko oder gar eine Chance. Eine Chance kann jedoch nie realisiert werden, wenn vorher nicht ein Risiko eingegangen wurde. Weiters spielt auch der Zeitfaktor eine wichtige Rolle. Steht wenig Zeit zur Verfügung, wird auch der Untersuchungsgrad sehr niedrig sein. Für solche Situationen liegt häufig eine Neigung zur Risikoaffinität vor.

Ziel der Chancen- und Risikoidentifikation (oder auch Chancen- und Risikoerkennung) ist es, alle durch die Synthese erfassten Chancen und Risiken eines Projekts zu analysieren und jene zu selektieren, die als relevant zu identifizieren sind. Lediglich diese Chancen und Risiken sind zu bewerten und werden letztendlich in der Entscheidungsfindung berücksichtigt.

Die verschiedenen Methoden können natürlich bei Bedarf auch in Kombination angewendet werden.

---

23) Pondering (engl. Grübelei) ist die einfachste intuitive und unstrukturierte Methode um Risiken zu identifizieren. Es werden lediglich eine Person, ein Stift, Papier und die Projektunterlagen benötigt.

24) Kreative Brainwriting-Methode. Die Bezeichnung der Methode ergibt sich aus der Anzahl der Teilnehmer (optimal: sechs), die je drei erste Ideen produzieren, die jeweils fünf Mal weitergereicht werden um darauf aufbauende bzw. abgeleitete Ideen zu entwickeln (sechs Teilnehmer, je drei Ideen, fünfmal weiterreichen).

Lfd. Nr.	Gruppe	Prozess Risikomanagement						Mögliche Anwendung in der Bauindustrie
		Methode	Identifikation	Bewertung			Bewältigung	
				Auswirkungen	Wahrscheinlichkeit	Risikohöhe		
0	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Kreativitätstechniken	Brainstorming	+++	+	+		+	- Projektentwicklung/-planung - Variantenanalyse
2		Delphi-Methode	(++)	++	++		++	- Bewertung neuer Verfahren, Techniken und Prozesse
3		World Cafe	+++	+	+			- Projektentwicklung/-planung - Variantenanalyse
4	Szenario-Analysen	Citizen Conference (Bürgerkonferenz)	+++	++	+		+	- Projektentwicklung/-planung - Variantenanalyse
5		Schadensanalyse	++	+	+		++(+)	- Analyse von Ausführungs-, Planungs- und Ausschreibungsfehlern
6		London-Protokoll	+++	+			+++	- Arbeitssicherheit/Unfallschutz
7		Fehlerbaum- und Ablaufanalyse		++	+++	+	+	- Logistik - Terminplanung
8		Szenario-Analyse	+++	+++	++	++	++(+)	- Umgang mit Planungs-, Ausführungs- und Investitionsrisiken
9	Indikatoren-Analysen	CIRS (Critical Incident Reporting System)	+++		+		+(+)	- Soll-Ist-Vergleiche
10		CBRM (Change Based Risk Management)	+++	+		(++)		- Umgang mit veränderten Marktpreisen (z.B. Stahl)
11	Funktions-Analysen	FME(C)A (Failure Mode and Effects (and Criticality) Analysis)	+++	++	++	+	++(+)	- Schnittstellenmanagement - Funktions- und Raumplanung - Ausführung komplexer Bauverfahren
12		Gefährdungsanalyse	++	+++	++	++	++(+)	- Arbeitssicherheit (SiGE)
13		HAZOP (Hazard and Operability Study)	+++	+++	++	+	++(+)	- Terminplanung (Bewertung des kritischen Weges)
14		HACCP (Hazard and Critical Control Point)	++	++			++(+)	- Beton- und Asphaltherstellung
15	Statistische Analysen	Standardabweichung		++	+++	++		- Kostenermittlung, Preisbildung
16		Konfidenzintervall		++	+++	++		- Instrument der Risikopolitik - Verhältnis zwischen Risiko und Chance
17		Monte-Carlo-Simulation	+	++	+++	++		- Anwendbar auf sämtliche Berechnungen, die unsichere Faktoren enthalten
18		Legende:	+ geeignet	++ gut geeignet	+++ sehr gut geeignet			
			(...) unterschiedliche Bewertung in der ONR 49002-2:2010 und 2014					

Tab. 4-2 Übersicht der Methoden im Chancen- und Risikomanagementprozess[25)]

Neben den Methoden muss der zeitliche Aspekt der Risikoidentifikation berücksichtigt werden. Eine Identifikation kann vor Eintritt von Abweichungen als auch nach deren Eintritt erfolgen. Häufig werden die Methoden entsprechend auch in ex ante (progressive) und ex post (retrograde) Verfahren eingeteilt. Zu ersteren gehören die Methoden der

25) Vgl. ONR 49002-2:2010, S. 5
Vgl. ONR 49002-2:2014, S. 5

Frühaufklärung, Früherkennung und Frühwarnung. Letztere bezeichnen beispielsweise die Nachkalkulation.

Die bei der Identifikation verfolgten Ansätze sind dabei unterschiedlich umfangreich:
- Frühwarnung: Frühzeitige Ortung von Risiken
- Früherkennung: Frühzeitige Ortung von Chancen und Risiken
- Frühaufklärung: Frühzeitige Ortung von Chancen und Risiken sowie Initiierung von Maßnahmen

Hinsichtlich der operativen Umsetzung der Prozesse und Methoden wird zwischen dem Top-Down und Bottom-Up Ansatz unterschieden. Top-Down werden z.B. Chancen- bzw. Risikobereiche und Kategorien von der Unternehmensführung vorgegeben. Von einer Top-Down Chancen- und Risikobewertung spricht man ferner auch in alternativem Zusammenhang, wenn bekannte Folgen von identifizierten Chancen und Risiken im Vordergrund stehen (wirkungsbezogen). Der Bottom-Up Ansatz geht von einer Chancen-Risikobetrachtung auf Ebene der Mitarbeiter bzw. Organisationseinheiten aus (unterhalb des Führungsmanagements). Grundidee ist es, z.B. Einzelrisiken der Baustelle bis zu einem gesamthaften Projekt- oder Unternehmensrisiko zu konsolidieren. Dieser ursachenbezogene Ansatz ist i.d.R. deutlich chancen-/risikointensiver als ersterer. Zudem basiert er auf komplexen Verfahren wie Szenarioanalysen, was seinen höheren Aufwand bzw. benötigten Ressourceneinsatz begründet. Ergebnis sind Chancen-/Risikosummen und Kennzahlen, welche dem Management zur Verfügung gestellt werden. Der Ansatz eignet sich insbesondere für Bauprojekte, da nur aus Sicht der im jeweiligen Teilbereich vorhandenen Expertise eine dem Projekt angepasste Chancen-Risikoidentifikation und -einschätzung möglich wird.

Generell sollte die Identifikation zwar systematisch durchgeführt werden, aber dennoch nicht zu stark formalisiert sein. Eine erfahrungsbasierte Betrachtung garantiert im Vorlauf oder ergänzend zu systematischen Ansätzen die Nutzung von Kreativität und Fachwissen bei der Lokalisierung von Chancen und Risiken.[26)]

4.5.1.1.2 Chancen- und Risikoidentifikation als Regelkreis

Für einen zielorientierten und systematischen Identifikationsprozess wird der in Abb. 4-12 dargestellte Regelkreis empfohlen. Der Kreislauf kann nach Bedarf mehrmals durchlaufen werden, wodurch die Wahrscheinlichkeit erhöht wird, dass keine wesentlichen Chancen und Risiken übersehen werden.

In der vernetzten Betrachtung eines Systems mit Elementen und Beziehungen, entsteht ein Regelkreis, der einen iterativen Lösungs-, Entscheidungs- oder Findungsprozess abbildet. Ein Regelkreis ist grundsätzlich ein geschlossener Kreislauf von Wirkungen, d.h. dass die Wirkung eines Systemelements hat Einfluss auf dieses Systemelement selbst und die Elemente zu denen es in Wechselwirkung steht.

Mit Regelkreisen können Aufgaben oder Problemstellungen quantitativer und qualitativer Natur bearbeitet werden. Bei quantitativen Messgrößen ist die Zielerreichung durch einen Soll-Ist-Vergleich feststellbar. Werden als Output eines Regelkreises qualitative Lösungen erzielt, ist der Soll-Ist-Vergleich nicht mehr so einfach und wird durch subjektive Einschätzungen des Messglieds bzw. des Führungs- und Steuerglieds beeinflusst.

26) Vgl. Alber (2013), S. 33ff.

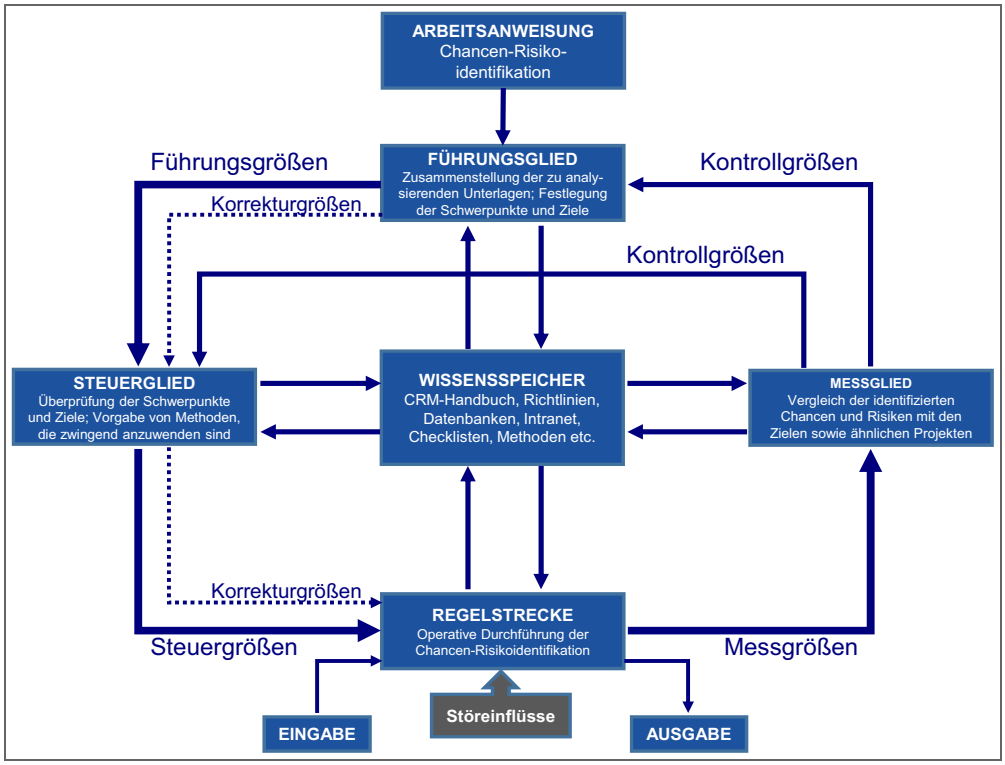


Abb. 4-12 Regelkreis für die Chancen- und Risikoidentifikation

Wesentliche Vorteile und Merkmale eines Regelkreises:
- Besseres Verständnis komplexer realer Prozesse
- Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens
- Erkennung komplexer Sachverhalte
- Gedankliche Verarbeitung grundsätzlicher Systemeigenschaften als Voraussetzung dafür, dass Handlungen nur gewollte Veränderungen bewirken
- Vermeidung von monokausalem Ursache-Wirkungs-Denken
- Erfassung und Visualisierung von Rückkopplungseffekten und Abhängigkeiten
- Interaktiver Zugriff auf einen Wissensspeicher

Nachfolgend werden wesentliche Elemente des Regelkreises detaillierter erläutert.

Führungsglied

Vom Führungsglied werden die Arbeitsanweisungen für den Regelkreis vorgegeben und die Ziele und Bearbeitungsschwerpunkte festgelegt. Weiters wird die Aufgabe wahrgenommen, die relevanten Unterlagen für die Analyse bereitzustellen. Eine Vorselektion der Unterlagen durch das Führungsglied ist sehr hilfreich, da damit nur wesentliche Informationen weitergegeben und Leerläufe reduziert werden können.

Zur Unterstützung greift das Führungsglied auf den Wissensspeicher zu, um nach Erfolgsrezepten zu suchen, die sich bei anderen Projekten bewährt haben. Dabei erweisen sich nicht nur Angaben zur ‚best practice' als hilfreich, sondern auch Fehlerlisten können sich als unterstützend herausstellen. Diese sollten so gestaltet sein, dass klar hervorgeht, wo

welche Fehler aufgetreten sind und wie diese zukünftig vermieden werden können. Das Führungsglied sollte die Arbeitsanweisungen auch an die Art und Eigenheiten des Projekts bzw. der Projektbeteiligten anpassen.

Steuerglied

Das Steuerglied nimmt die Arbeitsanweisungen und Unterlagen vom Führungsglied entgegen und überprüft diese auf Vollständigkeit und Klarheit. Falls Unklarheiten auftreten oder die Unterlagen unvollständig erscheinen, erfolgt eine Rückkopplung[27)] an das Führungsglied. Aufgrund der Größe und Art des Projekts sowie des zur Verfügung stehenden Bearbeitungszeitraums werden Methoden vorgegeben, anhand derer die Regelstrecke die Chancen- und Risikoidentifikation durchführen soll. Die an das Steuerglied weitergegebenen Führungsgrößen werden aufbereitet und in bearbeitbare Steuergrößen umgewandelt.

Beispiele für Steuergrößen sind:
- Definierte Arbeitspakete
- Definierter Untersuchungsbereich
- Zeitlicher Horizont bis zum Abschluss der Chancen- und Risikoidentifikation
- Art der Ergebnisaufbereitung
- Involvierte Personen
- Verwendete Identifikationsmethode(n)

Anhand dieser Steuergrößen soll es der Regelstrecke möglich sein, die Bearbeitungen effizient und effektiv durchführen zu können. Falls Unklarheiten auftreten oder die Unterlagen unvollständig erscheinen, erfolgt eine Rückkopplung an das Steuerglied. Alle Steuergrößen und Unterlagen bilden die Eingabe für die Regelstrecke, in der nach Chancen und Risiken gesucht wird. Für die Qualität der Bearbeitung spielt die Erfahrung und die systematische und strukturierte Arbeitsweise der in der Regelstrecke beteiligten Mitarbeiter eine wesentliche Rolle. Nicht nur die Qualität der Bearbeitung hängt davon ab, sondern auch der Umfang der erfassten Chancen und Risiken.

Regelstrecke

In der Regelstrecke werden anhand der Eingaben und der Informationen aus dem Wissensspeicher bzw. von eigenen Erfahrungen Chancen und Risiken identifiziert. Die Bearbeitung ist zeitlich und ressourcenmäßig begrenzt. Deshalb ist es wichtig, die Chancen-Risikoidentifikation mit den geeigneten Werkzeugen zu beginnen. Ein geeignetes Werkzeug kann z.B. eine bereits als Software vorhandene Chancen-Risikocheckliste sein, die verschiedene Chancen-Risikokriterienblöcke zur Auswahl stellt. Anhand dieser Checkliste können für das zu bearbeitende Projekt die geeigneten Kriterien mit den Subkriterien ausgewählt werden. Dadurch gibt es bereits eine große strukturierte Auswahlmöglichkeit an Chancen/Risiken, die im Sinne eines hermeneutischen Regelkreises projektspezifisch erweitert werden können. Mit jedem Projekt wächst diese Checkliste im Wissensspeicher, da durch neue Projekte neue Kriterien bzw. Chancen und Risiken implementiert werden. Aufgrund der bereits vorhandenen Auswahlmöglichkeiten wird die Wahrscheinlichkeit des Vergessens oder Übersehens von Chancen und Risiken minimiert. Bereits vorhandene Checklisten können für neue Projekte herangezogen, erweitert und bereinigt werden. Damit können Synergieeffekte zwischen ähnlichen

27) Eine Rückkopplung ist ein Mechanismus in signalverstärkenden oder informationsverarbeitenden Systemen, bei dem ein Teil der Ausgangsgröße direkt oder in modifizierter Form auf den Eingang des Systems zurückgeführt wird. Negative Rückkopplung führt zum selbstregulierenden Einpendeln des Systems innerhalb vorher definierter Grenzwerte. Wenn es nur positive Rückkoppelungen geben würde, käme es zur Explosion oder Stillstand des Systems.

Projekten genutzt, der Bearbeitungsaufwand minimiert und der Ablauf optimiert werden. Je größer der ‚Pool' möglicher Chancen und Risiken ist, desto geringer wird auch der Anteil nicht identifizierter Chancen und Risiken. Die Ausgabe, das Ergebnis der Regelstrecke, kann eine an das aktuelle Projekt angepasste Chancen-Risikocheckliste sein, die als Basis für den Regelkreis der Chancen- und Risikoeinschätzung dient. Natürlich ist es auch möglich und oft auch notwendig, wieder in den Regelkreis der Chancen- und Risikoidentifikation zurückzukehren, um aufgrund des erweiterten Vorverständnisses zuvor nicht berücksichtigte oder nicht erkannte Chancen/Risiken zu erfassen.

Störeinflüsse auf die Regelstrecke können sowohl externer als auch interner Natur sein. Ändern sich die Rahmenbedingungen des gesamten Projekts oder von Teilbereichen, hat dies auch Auswirkungen auf die zu identifizierenden Chancen und Risiken. Interne Störeinflüsse können durch den Ausfall erfahrener Mitarbeiter, falsche Schwerpunktsetzung, ungeeignete Identifikationsmethoden oder inadäquate Darstellungsformen auftreten. Störeinflüsse beeinflussen die Regelstrecke und damit den Vorgang der Chancen- und Risikoidentifikation und müssen entweder durch die Regelstrecke selbst oder durch das Führungs- bzw. Steuerglied gemanagt werden.

Messglied

Das Messglied überprüft, ob die Vorgaben, die sich aus den Führungs- und Steuergrößen ergeben, eingehalten wurden. Da es sich hier um schwer messbare Größen handelt, wird die Prozesseinhaltung kontrolliert und die Art und Anzahl der identifizierten Chancen und Risiken dargestellt. Mit der Nutzung des Wissensspeichers wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass alle relevanten Chancen und Risiken erkannt werden. Falls Daten und Informationen von vergleichbaren Projekten vorliegen, bietet es sich an, Vergleiche zur besseren Einschätzung der wesentlichen Chancen und Risiken anzustellen. Dazu greift das Messglied idealerweise auf einen Wissensspeicher zu, in dem systematisch nach den spezifischen Daten und Informationen gesucht werden kann. Der Wissensspeicher steht nicht nur passiv für den gesamten Regelkreis zur Verfügung, sondern wird vom aktiven Regelkreis wieder mit neuen Daten und Informationen versorgt. Im Wissensspeicher sind geeignete Methoden zur Identifikation von Chancen/Risiken angeführt, die sich bereits bei anderen Projekten bewährt haben. Idealerweise gibt es auch Beschreibungen dazu, wie effizient vorzugehen ist und welche Fehler zu vermeiden sind.

Vom Messglied werden je nach internen Regeln (Grenzen für die Selbstorganisation) die Kontrollgrößen an das Führungs- bzw. Steuerglied weitergegeben. Anhand der Kontrollgrößen kann festgestellt werden, ob die definierten Ziele erreicht wurden oder ob der Bedarf für Gegensteuerungsmaßnahmen gegeben ist. Sind Gegensteuerungsmaßnahmen erforderlich, werden dazu adäquate Korrekturgrößen festgelegt.

Im Zusammenhang mit diesem Regelkreis könnten das beispielsweise folgende Größen sein:
- Vorgabe einer anderen (oder anderer) Identifikationsmethode(n)
- Vorgabe einer anderen Darstellungsform der Chancen und Risiken
- Ausweitung/Einschränkung des Untersuchungsbereichs
- Andere Schwerpunktsetzung der Untersuchungen
- Änderung der beteiligten Personen in der Regelstrecke (z.B. Hinzuziehen von Experten)

Mit den Korrekturgrößen wird von der Regelstrecke ein neuer Bearbeitungszyklus ausgelöst. Dieses Ergebnis wird vom Messglied wieder einer Analyse unterzogen und die daraus resultierenden Kontrollgrößen weitergegeben. Der Regelkreis wird so lange durchlaufen, bis die erwartete Quantität und Qualität an identifizierten Chancen und Risiken erreicht ist und/oder die Zeit für die Bearbeitung abgelaufen ist. Diese Untersuchungen

werden unter hohem zeitlichen Druck durchgeführt und haben große Auswirkungen auf den Projekterfolg. Werden maßgebliche Chancen bzw. Risiken übersehen, kann das zu empfindlichen Nachteilen führen.

Im Zuge der Chancen- und Risikoidentifikation kann zwischen einem systematischen und einem unsystematischen Lösungsweg unterschieden werden (siehe Abb. 4-13).

Mit der proaktiven Anwendung des Regelkreises und der Orientierung am systematisch festgelegten Lösungsweg (siehe Abb. 4-13) werden die Voraussetzungen für die optimierte Identifikation von Chancen und Risiken geschaffen. Durch den Regelkreis wird eine diskursive (schlussfolgernde; methodisch fortschreitende) Vorgangsweise induziert. Darauf basierend können bei Zielabweichungen – durch das Einwirken von Korrektur- und Steuergrößen auf die Regelstrecke – permanente Ergebnisverbesserungen erzielt werden.

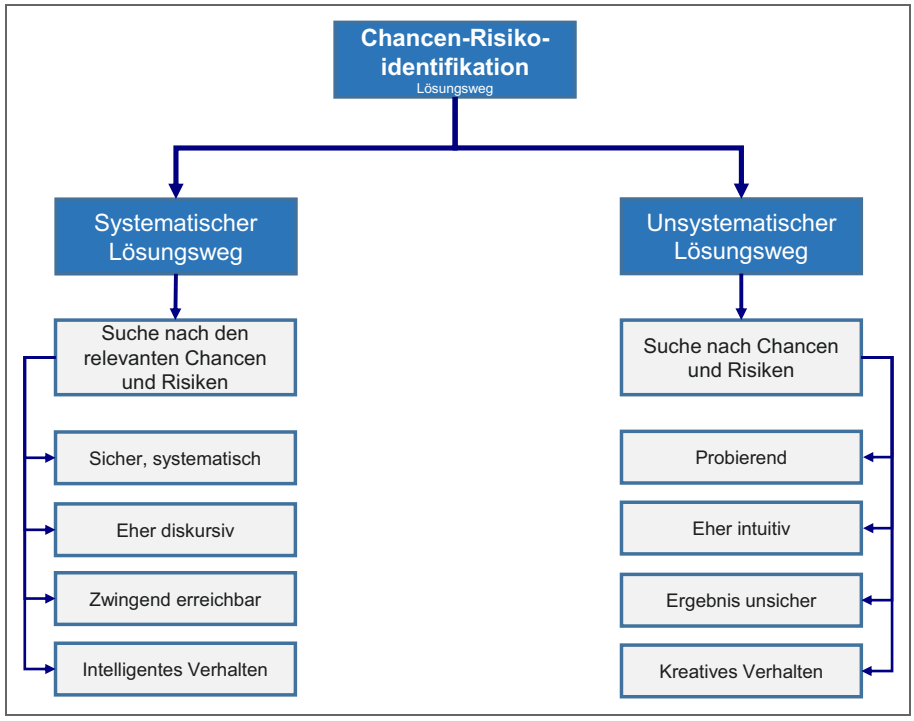


Abb. 4-13 Systematischer und unsystematischer Lösungsweg

Der unsystematische Lösungsweg ist durch Ausprobieren und intuitives Vorgehen gekennzeichnet. Durch die intuitive Vorgangsweise erfolgt die Identifikation von Chancen/Risiken eher zufällig und unstetig. Das Verhalten kann dabei sehr kreativ sein, aber in weiterer Folge weniger effizient und effektiv. Kreative Identifikationsmethoden können aber dabei helfen, bisherige Denkmuster aufzubrechen und Chancen und Risiken zu identifizieren, die ansonsten nicht erkannt worden wären (z.B. Black Swan[28)]).

28) Als Black Swan bezeichnet man unerwartete Risiken mit niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit, die allerdings hohe Auswirkungen entfalten können.

4.5.1.2 Chancen- und Risikoeinschätzung

In weiterer Folge werden die maßgebenden Ziele der Chancen- und Risikoeinschätzung sowie der dazugehörige Regelkreis beschrieben und dargestellt.

4.5.1.2.1 Ziele der Einschätzung

Im Anschluss an die Identifikation der Chancen und Risiken sind diese einzuschätzen und zu bewerten. Dabei sollten folgende Kriterien Beachtung finden:

- Bedeutung für das Projekt
- Beeinflussbarkeit (direkt, indirekt, nicht beeinflussbar)
- Veränderung über die Zeit
- Auswirkung
- Eintrittswahrscheinlichkeit
- Gegensteuerungsmaßnahmen bei Risiken
- Verstärkungsmaßnahmen bei Chancen
- Abhängigkeiten zwischen einzelnen Chancen bzw. Risiken
- Einfluss auf das Chancen- und Risikoverhältnis

4.5.1.2.2 Chancen- und Risikoeinschätzung als Regelkreis

Für eine zielorientierte und systematische Einschätzung von Chancen/Risiken wird der in Abb. 4-14 dargestellte Regelkreis empfohlen. Als Basis für die Bearbeitung dieses Regelkreises dient ein im vorhergehenden Regelkreis erarbeiteter Katalog an Chancen und Risiken. Die wesentlichen Elemente des Regelkreises werden in weitere Folge detaillierter erläutert.

Führungsglied

Vom Führungsglied werden die Arbeitsanweisungen und die Chancen-Risikocheckliste (als Ergebnis der Chancen- und Risikoidentifikation) für den Regelkreis vorgegeben und die Ziele und Bearbeitungsschwerpunkte festgelegt. Weiters wird die Aufgabe wahrgenommen, die relevanten Unterlagen für die weiterführende Einschätzung bereitzustellen. Zur Unterstützung greift das Führungsglied auf den Wissensspeicher zu, um nach Methoden und Informationen für die Einschätzungen zu suchen, die sich bei anderen Projekten bewährt haben. Dabei erweisen sich nicht nur Angaben zur ‚best practice' als hilfreich, sondern auch Fehlerlisten können sich als unterstützend herausstellen. Diese sollten so gestaltet sein, dass klar hervorgeht, wo welche Fehler aufgetreten sind und wie diese zukünftig vermieden werden können. Das Führungsglied sollte die Arbeitsanweisungen auch an die Art und Eigenheiten des Projekts bzw. der Projektbeteiligten anpassen.

Steuerglied

Das Steuerglied nimmt die Arbeitsanweisungen und Unterlagen vom Führungsglied entgegen und überprüft diese auf Vollständigkeit und Klarheit. Falls Unklarheiten auftreten oder die Unterlagen unvollständig erscheinen, erfolgt eine Rückkopplung an das Führungsglied. Aufgrund der Größe und Art des Projekts sowie des zur Verfügung stehenden Bearbeitungszeitraums werden Methoden vorgegeben, anhand derer die Regelstrecke die Chancen- und Risikoeinschätzung durchführen soll. Die an das Steuerglied weitergegebenen Führungsgrößen werden aufbereitet und in bearbeitbare Steuergrößen umgewandelt.

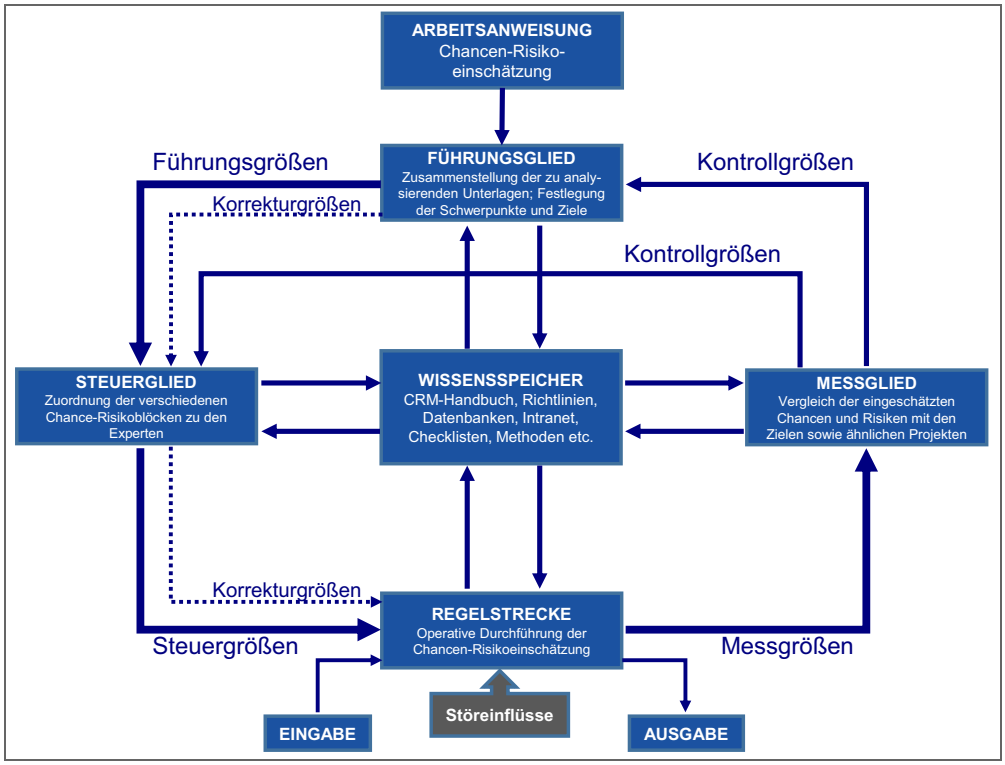


Abb. 4-14 Regelkreis für die Chancen- und Risikoeinschätzung

Beispiele für Steuergrößen sind:
- Definierte Arbeitspakete
- Definierter Untersuchungsbereich
- Zeitlicher Horizont bis zum Abschluss der Chancen- und Risikoeinschätzung
- Art der Ergebnisaufbereitung
- Involvierte Personen
- Verwendete qualitative Methode(n)
- Verwendete quantitative Methode(n)
- Festlegung der Art der Einschätzung (subjektiv, objektiv oder kombinierte Einschätzung)

Anhand dieser Steuergrößen soll es der Regelstrecke möglich sein, die Bearbeitungen effizient und effektiv durchführen zu können. Falls Unklarheiten auftreten oder die Unterlagen unvollständig erscheinen, erfolgt eine Rückkopplung an das Steuerglied. Alle Steuergrößen und Unterlagen bilden die Eingabe für die Regelstrecke, in der nach Chancen und Risiken gesucht wird. Für die Qualität der Bearbeitung spielt die Erfahrung und die systematische und strukturierte Arbeitsweise der in der Regelstrecke beteiligten Mitarbeiter eine wesentliche Rolle. Nicht nur die Qualität der Einschätzungen hängt davon ab, sondern auch die Belastbarkeit der getätigten Einschätzungen für zukünftige Entscheidungen und die Planung von Verstärkungs- (Chancen) und Bewältigungsmaßnahmen (Risiken).

Regelstrecke

In der Regelstrecke werden anhand der Eingaben und der Informationen aus dem Wissensspeicher bzw. von eigenen Erfahrungen Chancen und Risiken eingeschätzt. Die Bearbeitung ist zeitlich und ressourcenmäßig begrenzt. Deshalb ist es wichtig, die Chancen- und Risikoeinschätzung mit den geeigneten Werkzeugen durchzuführen. Dazu zählen z.B. eine bereits als Software vorhandene Chancen-Risikocheckliste in Verbindung mit Einschätzungen, die verschiedene Chancen-Risikokriterienblöcke zur Auswahl stellt. Anhand dieser Checkliste können für das zu bearbeitende Projekt die geeigneten Einschätzungen durchgeführt werden. Dadurch gibt es bereits eine große strukturierte Auswahlmöglichkeit an Chancen-Risikoeinschätzungen, die im Sinne eines hermeneutischen Regelkreises projektspezifisch erweitert werden können. Mit jedem Projekt wächst diese Checkliste im Wissensspeicher, da durch neue Projekte neue Kriterien bzw. Chancen und Risiken implementiert werden. Aufgrund der bereits vorhandenen Auswahlmöglichkeiten wird die Wahrscheinlichkeit von Unter-/Überbewertungen von Risiken minimiert. Bereits vorhandene Checklisten können für neue Projekte herangezogen, erweitert und bereinigt werden. Damit können Synergieeffekte zwischen ähnlichen Projekten genutzt, der Bearbeitungsaufwand minimiert und der Ablauf optimiert werden. Je größer der ‚Pool' dokumentierter Chancen und Risiken ist, desto geringer wird auch der Anteil falsch eingeschätzter Chancen und Risiken. Die Ausgabe, das Ergebnis der Regelstrecke, kann eine an das aktuelle Projekt angepasste Chancen-Risikocheckliste sein, die im Regelkreis für die Chancen- und Risikoeinschätzung bearbeitet wurde. Natürlich ist es auch möglich und oft auch notwendig, wieder in den Regelkreis der Chancen- und Risikoidentifikation bzw. Chancen- und Risikoeinschätzung zurückzukehren, um aufgrund des erweiterten Vorverständnisses zuvor nicht berücksichtigte oder nicht erkannte Chancen/Risiken zu erfassen.

Störeinflüsse auf die Regelstrecke können sowohl externer als auch interner Natur sein. Ändern sich die Rahmenbedingungen des gesamten Projekts oder von Teilbereichen, hat dies auch Auswirkungen auf die einzuschätzenden Chancen und Risiken. Interne Störeinflüsse können durch den Ausfall erfahrener Mitarbeiter, falsche Schwerpunktsetzung, ungeeignete Einschätzungsmethoden oder inadäquate Darstellungsformen auftreten. Störeinflüsse beeinflussen die Regelstrecke und damit den Vorgang der Chancen- und Risikoeinschätzung und müssen entweder durch die Regelstrecke selbst oder durch das Führungs- bzw. Steuerglied gemanagt werden.

Messglied

Das Messglied überprüft, ob die Vorgaben, die sich aus den Führungs- und Steuergrößen ergeben, eingehalten wurden. Die von der Regelstrecke durchgeführten Einschätzungen der identifizierten Chancen und Risiken werden überprüft. Mit der Nutzung des Wissensspeichers wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass brauchbare Einschätzungen aller Chancen und Risiken getätigt wurden. Falls Daten und Informationen von vergleichbaren Projekten vorliegen, bietet es sich an, Vergleiche zur besseren Einschätzung der wesentlichen Chancen und Risiken anzustellen. Dazu greift das Messglied idealerweise auf einen Wissensspeicher zu, indem systematisch nach den spezifischen Daten und Informationen gesucht werden kann. Der Wissensspeicher steht nicht nur passiv für den gesamten Regelkreis zur Verfügung, sondern ist vom aktiven Regelkreis wieder mit neuen Daten und Informationen zu versorgen.

Im Wissensspeicher sind geeignete Methoden zur Einschätzung von Chancen/Risiken angeführt, die sich bereits bei anderen Projekten bewährt haben. Idealerweise gibt es auch Beschreibungen dazu, wie effizient vorzugehen ist und welche Fehler zu vermeiden sind.

Vom Messglied werden je nach internen Regeln (Grenzen für die Selbstorganisation) die Kontrollgrößen an das Führungs- bzw. Steuerglied weitergegeben. Anhand der Kontroll-

größen kann festgestellt werden, ob die definierten Ziele erreicht wurden oder ob der Bedarf für Gegensteuerungsmaßnahmen gegeben ist. Sind Gegensteuerungsmaßnahmen erforderlich, werden dazu adäquate Korrekturgrößen festgelegt.

Im Zusammenhang mit diesem Regelkreis könnten das beispielsweise folgende Größen sein:
- Vorgabe einer anderen Einschätzungsmethode
- Vorgabe einer anderen Darstellungsform der Chancen und Risiken
- Ausweitung/Einschränkung des Untersuchungsbereichs
- Andere Schwerpunktsetzung der Untersuchungen
- Änderung der beteiligten Personen in der Regelstrecke (z.B. Hinzuziehen von Experten)

Mit den Korrekturgrößen wird von der Regelstrecke ein neuer Bearbeitungszyklus ausgelöst. Dieses Ergebnis wird vom Messglied wieder einer Analyse unterzogen und die daraus resultierenden Kontrollgrößen weitergegeben. Der Regelkreis wird so lange durchlaufen, bis die erwartete Quantität und Qualität an eingeschätzten Chancen und Risiken erreicht ist und/oder die Zeit für die Bearbeitung abgelaufen ist. Zu beachten ist, dass diese Untersuchungen unter hohem zeitlichen Druck durchgeführt werden und große Auswirkungen auf den Projekterfolg haben. Werden maßgebliche Chancen bzw. Risiken falsch eingeschätzt, kann das zu empfindlichen Nachteilen führen.

4.5.2 Chancen- und Risikooptimierung

Häufig werden die Begriffe Chancen- und Risikoanalyse und -bewertung nicht klar unterschieden. Ziel der Chancen- und Risikoanalyse ist es, Verständnis für Chancen und Risiken zu schaffen und effiziente Strategien und Methoden für deren weitere Behandlung zu bestimmen. Als Eingabe für die Chancen- und Risikobewertung, welche die Entscheidungsfindung unterstützen soll, werden Chancen und Risiken ursachenbezogen betrachtet und analysiert. Dazu zählt beispielsweise die bevorzugte Bearbeitung von Chancen und Risiken, um die beiden Basisziele der zeitnahen Information von Entscheidungsträgern über den möglichen Chancen- und Risikoumfang und die Potenziale zur Effizienzsteigerung im Chancen- und Risikomanagement zu erreichen.

Eine methodische Trennung zwischen den Teilschritten, findet in der Beschreibung der praktischen Anwendung, wie sie in der Fachliteratur aufzufinden ist, häufig nur implizit statt, und es werden diverse Methoden (qualitative, semiquantitative und quantitative Ansätze) im Rahmen der Begriffsexplikation genannt und vorgestellt.

Die Phase der Chancen- und Risikooptimierung hat zum Ziel, das Eintreten von Chancen aktiv zu forcieren und die schädigende Auswirkung von Risiken zu reduzieren. Das Projektteam entscheidet, wie mit den identifizierten und bewerteten Chancen und Risiken umgegangen wird. Der Prozess umfasst folgende Schritte:
- Prüfen der Chancen und Risiken auf Handlungsalternativen
- Entscheidung für eine Handlungsalternative
- Realisierung der Handlungsalternative, d.h. Ergreifen der erforderlichen Maßnahmen

4.5.2.1 Chancen- und Risikobewertung

Abb. 4-15 zeigt eine systematische Einteilung diverser Ansätze zur Chancen- und Risikobewertung. Anzumerken ist, dass Methoden wie die Monte-Carlo-Simulation oder Sensi-

tivitätsanalysen nicht unbedingt von Expertenbefragungen auf Basis der Delphi-Methode abhängig sind, wie die Grafik vermuten lässt.

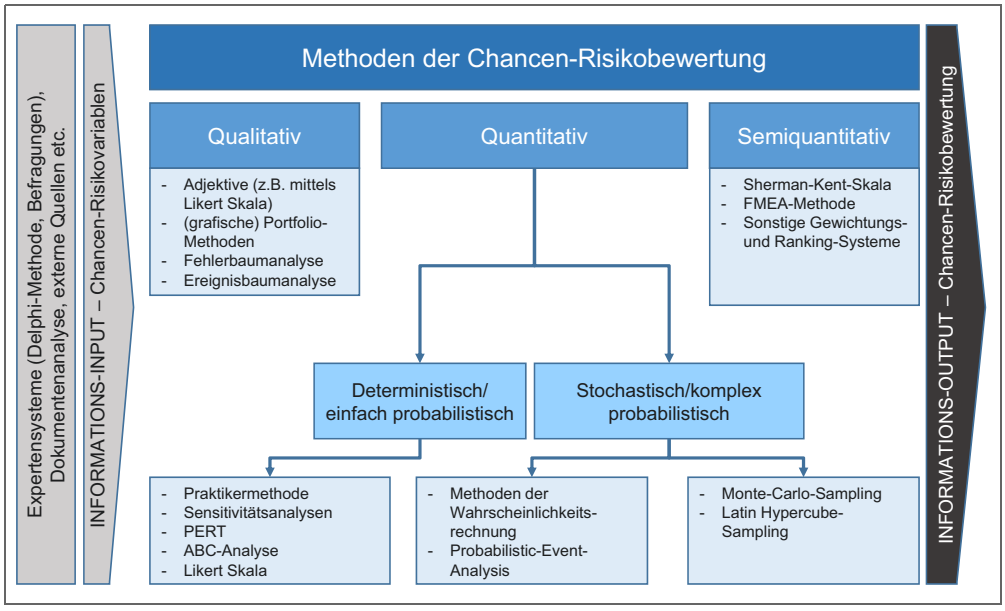


Abb. 4-15 Methoden der Chancen- und Risikobewertung (demonstrative Auswahl)[29)]

4.5.2.1.1 Ziele der Chancen- und Risikobewertung

Die Chancen- und Risikobewertung sollte mit den als wesentlich erscheinenden Bereichen begonnen werden. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Kriterien, die für die Bewertung herangezogen werden, zu richten.

Die identifizierten Chancen und Risiken sind in folgender Hinsicht zu bewerteten:
- Bedeutung für das Projekt
- Beeinflussbarkeit: direkt, indirekt, nicht beeinflussbar
- Veränderung über die Zeit
- Auswirkung
- Eintrittswahrscheinlichkeit
- Gegensteuerungsmaßnahmen bei Risiken
- Verstärkungsmaßnahmen bei Chancen
- Abhängigkeiten zwischen einzelnen Chancen bzw. Risiken
- Einfluss auf das Chancen- und Risikoverhältnis

4.5.2.1.2 Chancen- und Risikobewertung als Regelkreis

Für eine zielorientierte und systematische Bewertung von Chancen/Risiken wird der in Abb. 4-16 dargestellte Regelkreis empfohlen. Als Basis für die Bearbeitung dieses Regelkreises dient ein, im vorhergehenden Regelkreis erarbeiteter, Katalog. Dieser enthält

[29)] Weiterentwickelt nach Alber (2013), S. 88

Chancen und Risiken, die als bedeutend eingeschätzt wurden. Im Folgenden werden zentrale Elemente des Regelkreises genauer erläutert.

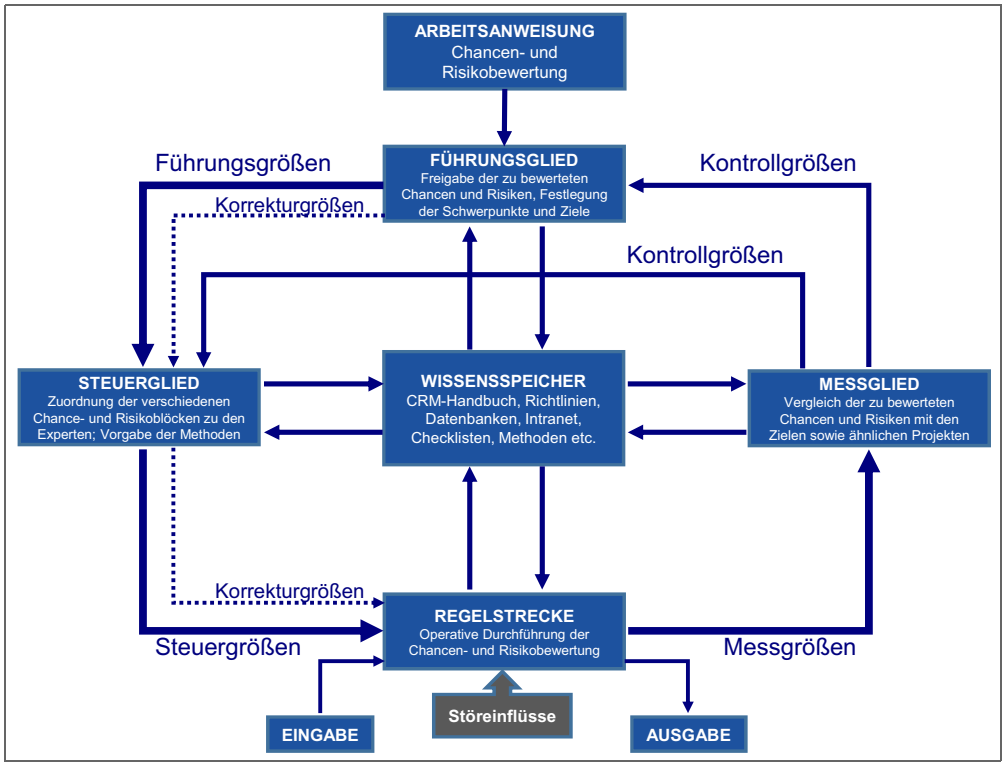


Abb. 4-16 Regelkreis für die Chancen- und Risikobewertung

Führungsglied

Vom Führungsglied werden die Arbeitsanweisungen und die vertieft zu untersuchende Chancen- und Risikoliste (als Ergebnis der Chancen- und Risikoeinschätzung) für den Regelkreis vorgegeben und die Ziele und Bearbeitungsschwerpunkte festgelegt. Weiters sollten für die Bewertung die für den Regelkreis relevanten Unterlagen bereitgestellt werden. Zur Unterstützung greift das Führungsglied auf den Wissensspeicher zu, um nach Methoden und Informationen für die Bewertungen zu suchen, die sich bei anderen Projekten bewährt haben. Dabei erweisen sich nicht nur Angaben zur ‚best practice' als hilfreich, sondern auch Fehlerlisten können sich als unterstützend herausstellen. Diese sollten so gestaltet sein, dass klar hervorgeht, wo welche Fehler aufgetreten sind und wie diese zukünftig vermieden werden können. Das Führungsglied sollte die Arbeitsanweisungen auch an die Art und Eigenheiten des Projekts bzw. der Projektbeteiligten anpassen.

Zusätzlich zu den in der Darstellung zusammengefassten Methoden sind beispielsweise die ABC-Analyse oder Equi-Risk-Contour-Methode (Linien gleichen Risikopotenzials) zu erwähnen, welche Spezialfälle von Portfolio-Analysen darstellen. Zwischen qualitativen und quantitativen Methoden gibt es hinsichtlich ihrer Eignung und Effizienz eine breite Diskussion.

Grundsätzlich ist eine Quantifizierung nicht bei allen Risiken möglich und andererseits können gewisse Fragestellungen (z.B. Teil- oder Gesamtrisikoaggregation) nur mit quantitativen Methoden erfolgen, deren Aufwand häufig nicht wesentlich höher ist.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Risikobewertung ist die Festlegung von einheitlichen Maßstäben bei unternehmensweiter Abstimmung.

Im Zuge der Bewertung von Risiken werden folgende Informationen erhoben:
- Eintrittswahrscheinlichkeit
- Tragweite/Auswirkung
- Verteilungsfunktionen einzelner Berechnungsparameter
- Dimension (Zeit/Kosten)
- Bandbreite
- Zeitpunkt
- Dringlichkeit/Entfernung
- Kontrollierbarkeit
- Maßnahmeneffizienz
- Korrelationen
- Verantwortlichkeiten

Steuerglied

Das Steuerglied nimmt die Arbeitsanweisungen und Unterlagen vom Führungsglied entgegen und überprüft diese auf Vollständigkeit und Klarheit. Falls Unklarheiten auftreten oder die Unterlagen unvollständig erscheinen, erfolgt eine Rückkopplung an das Führungsglied. Aufgrund der Größe und Art des Projekts sowie des zur Verfügung stehenden Bearbeitungszeitraums werden Methoden vorgegeben, anhand derer die Regelstrecke die Chancen- und Risikobewertung durchführen soll. Die an das Steuerglied weitergegebenen Führungsgrößen werden aufbereitet und in bearbeitbare Steuergrößen umgewandelt.

Beispiele für Steuergrößen sind:
- Definierte Arbeitspakete
- Definierter Untersuchungsbereich
- Zeitlicher Horizont bis zum Abschluss der Chancen- und Risikoeinschätzung
- Art der Ergebnisaufbereitung
- Involvierte Personen
- Verwendete qualitative Methode(n)
- Verwendete quantitative Methode(n)
- Festlegung der Art der Bewertung (subjektiv, objektiv oder kombinierte Bewertung)

Anhand dieser Steuergrößen soll es der Regelstrecke möglich sein, die Bearbeitungen effizient und effektiv durchführen zu können. Falls Unklarheiten auftreten oder die Unterlagen unvollständig erscheinen, erfolgt eine Rückkopplung an das Steuerglied. Alle Steuergrößen und Unterlagen bilden die Eingabe für die Regelstrecke, in der nach Chancen und Risiken gesucht wird. Für die Qualität der Bearbeitung spielt die Erfahrung und die systematische und strukturierte Arbeitsweise der in der Regelstrecke beteiligten Mitarbeiter eine wesentliche Rolle. Nicht nur die Qualität der Einschätzungen hängt davon ab, sondern auch die Belastbarkeit der getätigten Einschätzungen für zukünftige Entscheidungen und die Planung von Förderungs- (Chancen) und Bewältigungsmaßnahmen (Risiken).

Die Wichtigkeit dieses Aspekts im Zusammenhang mit der Wahrnehmung und Bewertung von Chancen und Risiken ergibt sich aus den Erkenntnissen der Entscheidungspsychologie:[30)]

- Durch kognitive Heuristiken (Repräsentativität und Verfügbarkeit) wird die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis höher eingeschätzt, je schneller Menschen sich ‚plastische' Beispiele vorstellen bzw. in Erinnerung rufen können.
- Bei der Einschätzung von bedingten Wahrscheinlichkeiten machen Menschen fast ausnahmslos Fehler (vgl. Kombinatorik und Bayes-Theorem).
- Die Interpretation von Aussagen ist stark davon abhängig, in welchem Kontext sie vermittelt werden bzw. wie sie formuliert sind.
- Präzise Aussagen erscheinen glaubwürdiger, auch wenn sie unwahrscheinlicher sind (‚Scheindeterminismus' bei generell probabilistischen Problemen der Realität, wie der übliche Kostenanschlag anstelle eines Kostenintervalls).
- Einmal getroffene Aussagen oder Beurteilungen neigen dazu, auch bei neuen Informationen persistent zu bleiben.
- Die Wahrscheinlichkeit von möglichen positiven Zielabweichungen wird generell überschätzt und negative Ereignisse unterschätzt.
- Die Beeinflussbarkeit von externen Risiken wird häufig überschätzt, sogenannte ‚Kontrollillusion'.
- Sogenannte ‚Sunk-Costs-Effects' veranlassen Menschen weiter in (inzwischen) verlustreiche Handlungen zu investieren, obwohl ein Abbruch objektiv sinnvoller wäre. Bereits investierte Zeit und Geldressourcen erscheinen als so wertvoll, dass um deren Verlust zu vermeiden, zukünftige, oft noch höhere Aufwendungen in Kauf genommen werden.
- Gemäß dem Prinzip der Gewinnsicherung und Verlustreparation handeln Menschen in Gewinnsituationen eher risikoavers (‚Gewinnerhaltung') und umgekehrt, wie im Bauwesen häufiger der Fall, eher risikofreudig.
- Gemäß empirischer Untersuchungen ist die Risikobereitschaft von Managern weitgehend unabhängig von der Risikotragfähigkeit des Unternehmens (siehe Abschnitt 4.2.1.3).

Die aus diesen Gegebenheiten resultierende Gefahr einer systematischen Fehleinschätzung von Risiken sowie Überschätzung von Chancen muss bei der Analyse und Bewertung von Chancen und Risiken berücksichtigt werden. Diese Problemfelder treten aber meist bei subjektivierten Methoden der Chancen- und Risikobewertung zum Vorschein.

Nach der Bewertung der Einzelrisiken erfolgt in logischer Abfolge eine Analyse möglicher Abhängigkeits- und Überlagerungseffekte für einzelne Projekte und im Idealfall projektübergreifend auf Unternehmensebene.

Aus systemtheoretischer Sicht ist das Gesamtrisiko eines Unternehmens oder eines Projekts nicht mit der Summe der Einzelrisiken identisch. Zwischen Risiken herrschen häufig variable Ursachen-Wirkungs-Beziehungen, die bei der Risikoaggregation berücksichtigt werden müssen (z.B. Korrelationen zwischen Aufwandswerten).

Zusammenfassend soll die Risikoanalyse fundierte Managemententscheidungen in verschiedenen Projektphasen ermöglichen. Häufig sind die in der Literatur vorgestellten Ansätze für die Praxis jedoch nicht geeignet. *Dayyari*[31)] führt dazu in Anlehnung an *Link*[32)] mögliche Probleme an. Dazu zählen die Kompliziertheit von Modellen, Datenin-

[30)] Vgl. Gleißner (2011), S. 33ff.

[31)] Vgl. Dayyari (2008), 64f.

tensität, Bearbeitungszeitraum, nötige Annahmen und Bestimmung der Akzeptanzlinie (z.B. in der Risikolandkarte).

Deshalb ist eine unternehmens- und projektspezifische Auswahl geeigneter Vorgehensweisen umso wichtiger. Für Bauprojekte mit verhältnismäßig geringer Komplexität und hoher Wiederholungsrate kann beispielsweise die ‚triviale' Risikoformel (R = EW * TW) trotz der erwähnten Schwachstellen dennoch praktikabel sein. Nach erfolgter Risikobewertung folgen in logischer Prozessfolge Risikobewältigung und Steuerung.

Regelstrecke

In der Regelstrecke werden anhand der Eingaben und der Informationen aus dem Wissensspeicher bzw. von eigenen Erfahrungen Chancen und Risiken bewertet. Die Bearbeitung ist zeitlich und ressourcenmäßig begrenzt. Deshalb ist es wichtig, die Chancen- und Risikobewertung mit den geeigneten Werkzeugen zu beginnen. Ein geeignetes Werkzeug kann z.B. eine bereits als Software vorhandene Chancen-Risikocheckliste in Verbindung mit Bewertungen sein, die verschiedene Chancen-Risikokriterienblöcke zur Auswahl stellt. Anhand dieser Checkliste können für das zu bearbeitende Projekt die geeigneten Bewertungen durchgeführt werden. Dadurch gibt es bereits eine große strukturierte Auswahlmöglichkeit an Chancen- und Risikobewertungen, die im Sinne eines hermeneutischen Regelkreises projektspezifisch erweitert werden können. Mit jedem Projekt wächst diese Checkliste im Wissensspeicher, da durch neue Projekte neue Kriterien bzw. Chancen und Risiken implementiert werden. Aufgrund der bereits vorhandenen Auswahlmöglichkeiten wird die Wahrscheinlichkeit von Über-/Unterbewertungen von Chancen und Risiken minimiert. Bereits vorhandene Checklisten können für neue Projekte herangezogen, erweitert und bereinigt werden. Damit können Synergieeffekte zwischen ähnlichen Projekten genutzt, der Bearbeitungsaufwand minimiert und der Ablauf optimiert werden. Je größer der ‚Pool' der bewerteten Chancen und Risiken ist, desto geringer wird auch der Anteil falsch bewerteter Chancen und Risiken. Die Ausgabe, das Ergebnis der Regelstrecke, kann eine an das aktuelle Projekt angepasste Chancen-Risikocheckliste sein, die im Regelkreis für die Chancen- und Risikobewertung bearbeitet wurde. Natürlich ist es auch möglich und oft auch notwendig, wieder in den Regelkreis der Chancen- und Risikoidentifikation bzw. Chancen- und Risikoeinschätzung zurückzukehren, um aufgrund des erweiterten Vorverständnisses zuvor nicht berücksichtigte oder nicht erkannte Chancen/Risiken zu erfassen.

Störeinflüsse auf die Regelstrecke können sowohl externer als auch interner Natur sein. Ändern sich die Rahmenbedingungen des gesamten Projekts oder von Teilbereichen hat dies auch Auswirkungen auf die zu bewertenden Chancen und Risiken. Interne Störeinflüsse können durch den Ausfall erfahrener Mitarbeiter, falsche Schwerpunktsetzung, ungeeignete Bewertungsmethoden oder inadäquate Darstellungsformen auftreten. Störeinflüsse beeinflussen die Regelstrecke und damit den Vorgang der Chancen- und Risikobewertung und müssen entweder durch die Regelstrecke selbst oder durch das Führungs- bzw. Steuerglied gemanagt werden.

Messglied

Das Messglied überprüft, ob die Vorgaben, die sich aus den Führungs- und Steuergrößen ergeben, eingehalten wurden. Die von der Regelstrecke durchgeführten Einschätzungen der identifizierten Chancen und Risiken werden überprüft. Mit der Nutzung des Wissensspeichers wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass brauchbare Bewertungen der vorher als wesentlich identifizierten Chancen und Risiken durchgeführt wurden. Falls Daten und

[32] Vgl. Link (1999), S. 34f.

Informationen von vergleichbaren Projekten vorliegen, bietet es sich an, Vergleiche zur optimierten Bewertung der wesentlichen Chancen und Risiken anzustellen. Dazu greift das Messglied idealerweise auf einen Wissensspeicher zu, indem systematisch nach den spezifischen Daten und Informationen gesucht werden kann. Der Wissensspeicher steht nicht nur passiv für den gesamten Regelkreis zur Verfügung, sondern ist vom aktiven Regelkreis wieder mit neuen Daten und Informationen zu versorgen. Im Wissensspeicher sind geeignete Methoden zur Bewertung von Chancen/Risiken angeführt, die sich bereits bei anderen Projekten bewährt haben. Idealerweise gibt es auch Beschreibungen dazu, wie effizient vorzugehen ist und welche Fehler zu vermeiden sind.

Vom Messglied werden je nach internen Regeln (Grenzen für die Selbstorganisation) die Kontrollgrößen an das Führungs- bzw. Steuerglied weitergegeben. Anhand der Kontrollgrößen kann festgestellt werden, ob die definierten Ziele erreicht wurden oder ob der Bedarf für Gegensteuerungsmaßnahmen gegeben ist. Sind Gegensteuerungsmaßnahmen erforderlich, werden dazu adäquate Korrekturgrößen festgelegt.

Im Zusammenhang mit diesem Regelkreis könnten das beispielsweise folgende Größen sein:
- Vorgabe einer anderen oder anderer Bewertungsmethode(n)
- Vorgabe einer anderen Darstellungsform der Chancen und Risiken
- Ausweitung/Einschränkung des Untersuchungsbereichs
- Andere Schwerpunktsetzung der Untersuchungen
- Änderung der beteiligten Personen in der Regelstrecke (z.B. Hinzuziehen von Experten)

Mit den Korrekturgrößen wird von der Regelstrecke ein neuer Bearbeitungszyklus ausgelöst. Dieses Ergebnis wird wieder vom Messglied einer Analyse unterzogen und die daraus resultierenden Kontrollgrößen weitergegeben. Der Regelkreis wird so lange durchlaufen, bis die erwartete Quantität und Qualität an bewerteten Chancen und Risiken erreicht ist und/oder die Zeit für die Bearbeitung abgelaufen ist. Zu beachten ist, dass diese Untersuchungen unter hohem zeitlichen Druck durchgeführt werden und große Auswirkungen auf den Projekterfolg haben. Werden maßgebliche Chancen bzw. Risiken falsch bewertet, kann das zu empfindlichen Nachteilen führen.

4.5.2.2 Chancenverstärkung und Risikobewältigung

Die Chancenverstärkung umfasst die Selektion und Nutzung von Opportunitäten, um eine oder mehrere Chancen zu aggregieren. Hingegen umfasst die Risikobewältigung die Auswahl und Umsetzung einer oder mehrerer Möglichkeiten, um den Risiken zu begegnen.

Grundsätzlich kann zwischen aktiven (ursachenbezogenen) und passiven (wirkungsbezogenen/korrektiven) Maßnahmen unterschieden werden.

Folgende Aspekte sollten bei der Chancenverstärkung forciert werden:
- Eintrittswahrscheinlichkeit
- Ausmaß

Folgende Aspekte sollten bei der Risikoverminderung beachtet werden:
- Eintrittswahrscheinlichkeit
- Ausmaß

4.5.2.2.1 Chancenverstärkung

Das Nichterkennen von Chancen in einem Unternehmen (z.B. gesunkene Markteintrittskosten, Einführung neuer Technologien, Möglichkeit der Übernahme eines Wettbewerbers) kann dazu führen, dass andere Unternehmen diese Chancen wahrnehmen, was ökonomisch betrachtet zu nachteiligen Konsequenzen für das eigene Unternehmen führen kann. Eine nicht erkannte Chance oder die Nichtnutzung einer Chance kann für das Unternehmen selbst ein Risiko darstellen.

In Abb. 4-17 wird zwischen aktiven und passiven Methoden der Chancenverstärkung differenziert.

Tritt der Fall einer möglichen Nutzung einer Chance ein, ist es ratsam diesen Bereich zu forcieren, um das Chancenpotenzial möglichst zu erhöhen.

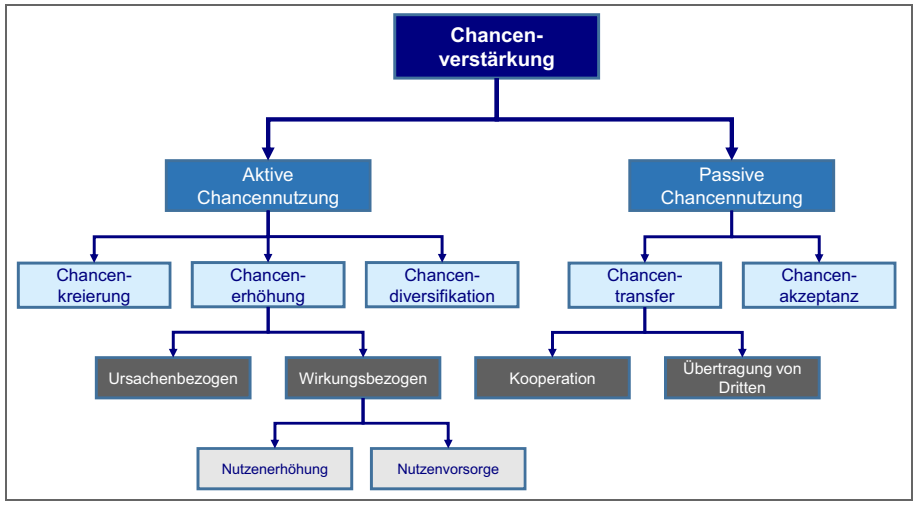


Abb. 4-17 Methoden zur Chancenverstärkung

Im Folgenden werden zentrale Elemente der Chancenverstärkung aus Abb. 4-17 detaillierter erläutert.

Chancenkreierung

Chancenkreierung entsteht, wenn beispielsweise dem Bauherren eine andere Art der Ausführung von Bauteilen vorgeschlagen wird und dadurch die Produktionsfaktoren wirtschaftlicher eingesetzt werden können. Im Zuge eines ‚Value Engineering'[33] entstehen dadurch auch Chancen für den AG. Auch Auftragnehmer können über Alternativangebote zusätzliche Chancen erzeugen. Durch diese neuen Ausführungsmöglichkeiten und/oder Bauweisen können die Art der Produktionsfaktoren und deren Kombination effizienter gestaltet werden.

[33] Im Zuge des Value Engineering wird in Verbindung mit technischen, organisatorischen und ablaufbedingten Optimierungen bei der Herstellung von Bauwerken/Bauteilen die Kombination der Produktionsfaktoren verbessert um die Effizienz der Zielerreichung zu steigern.

Chancenerhöhung

Für jene Bereiche in denen das Chancenerhöhungspotenzial am größten erscheint, sollten Maßnahmen gesetzt werden, diese Möglichkeiten zu nutzen bzw. weiter auszubauen.

Chancendiversifikation

Die Diversifikation von Chancen bedeutet die Ausweitung des Leistungsprogramms auf neue Produkte oder Märkte zur Verstärkung der Chancen. Die Diversifikation kann intern oder extern erfolgen. Eine interne Diversifikation bezieht sich auf Eigenentwicklung von neuen Bauverfahren und Baugeräten. Im Zuge der externen Strategien werden Kooperationen, Arbeitsgemeinschaften u.ä. eingegangen.

Chancentransfer

Chancen werden vollständig oder in Form einer Kooperation an andere Akteure übertragen, die bessere Kompetenzen zur Nutzung des Chancenpotenzials aufweisen.

Chancenakzeptanz

Im Rahmen der Chancenakzeptanz werden auftretende Chancen passiv genutzt. Dies bedeutet auch, dass keine Schritte gesetzt werden, um die Chancennutzung zu optimieren.

4.5.2.2.2 Risikobewältigung

Die Wahl von geeigneten Bewältigungsmaßnahmen erfolgt primär in Abhängigkeit von der Kontrollierbarkeit des Risikos und leitet sich aus der gewählten Risikostrategie bzw. Risikopolitik des Unternehmens ab. Eine objektive Entscheidung kann durch Anwendung von Entscheidungsbaumverfahren, Entscheidungstabellen, Sensitivitäts-, Nutzwert- oder SWOT-Analysen erfolgen.

Alle Behandlungsalternativen verursachen mit Sicherheit (z.B. Versicherungen) oder einer gewissen Wahrscheinlichkeit (z.B. Schaden bei Risikoeintritt) Kosten. Damit ist eine Auswahl der bevorzugten Bewältigungsmaßnahme situationsbezogen zu treffen und insbesondere neben den Kosten auch die Auswirkung auf andere Parameter wie Termine und Qualität zu berücksichtigen. Eine mögliche Vorgehensweise bei der Risikobewältigung ist in Abb. 4-18 dargestellt.

Ein wichtiger Aspekt bei der Risikosteuerung ist die Eventualfallplanung, welche auch nach Ergreifen der vorgestellten Handlungsalternativen im Eintrittsfall von nicht identifizierten Risiken zur Anwendung kommt.

Darüber hinaus ist es eine häufig vernachlässigte Praxis, Risiken in Kombination mit möglichen Bewältigungsmaßnahmen wie z.B. Versicherungen erneut zu bewerten, da beispielsweise die Projektrentabilität maßgeblich davon beeinflusst werden kann (man spricht von Brutto- und Nettorisikoposition eines Projekts).

Auf eine allgemeine Aufzählung und Beschreibung von Methoden der Risikosteuerung wird an dieser Stelle verzichtet. Im Anschluss an die Auswahl und Umsetzung geeigneter Maßnahmen zur Risikobewältigung, ist deren Effektivität und Effizienz im Rahmen der Risikoüberwachung bzw. des Risikocontrollings kontinuierlich zu verifizieren. Im ungünstigsten Fall können falsche oder wirkungslose Risikobewältigungsmaßnahmen sogar selbst Risiken darstellen (Sekundärrisiken).

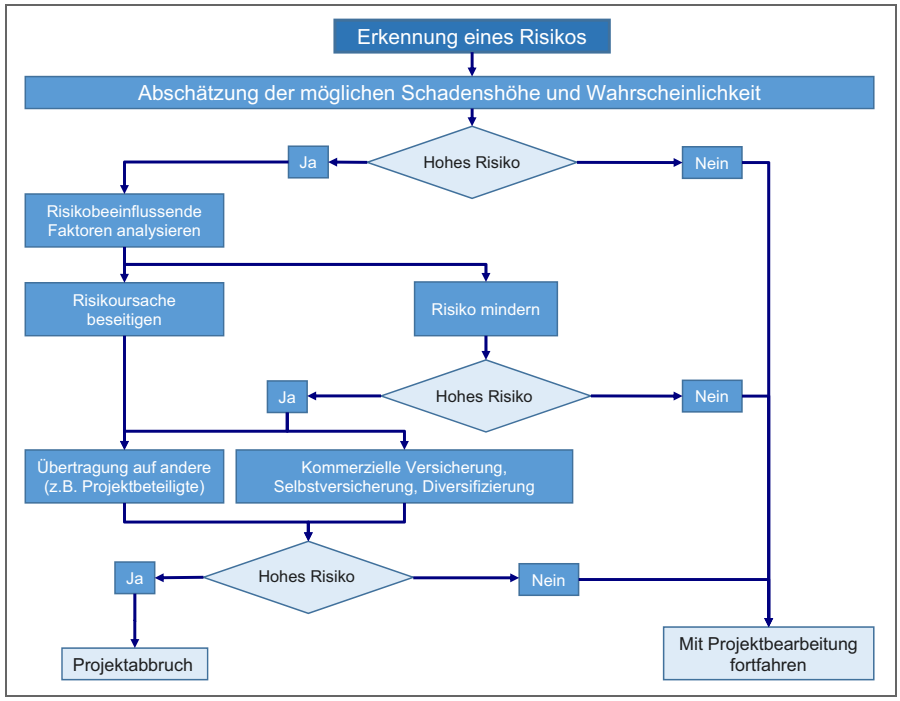


Abb. 4-18 Ablauf der Risikobewältigung[34)]

Sind die möglichen Risiken für ein Projekt bekannt, wird danach getrachtet, es bei einem Eintritt nicht zu den vollen Auswirkungen (im negativen Sinne) kommen zu lassen. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten der Risikobegegnung bzw. -bewältigung (siehe Abb. 4-19).

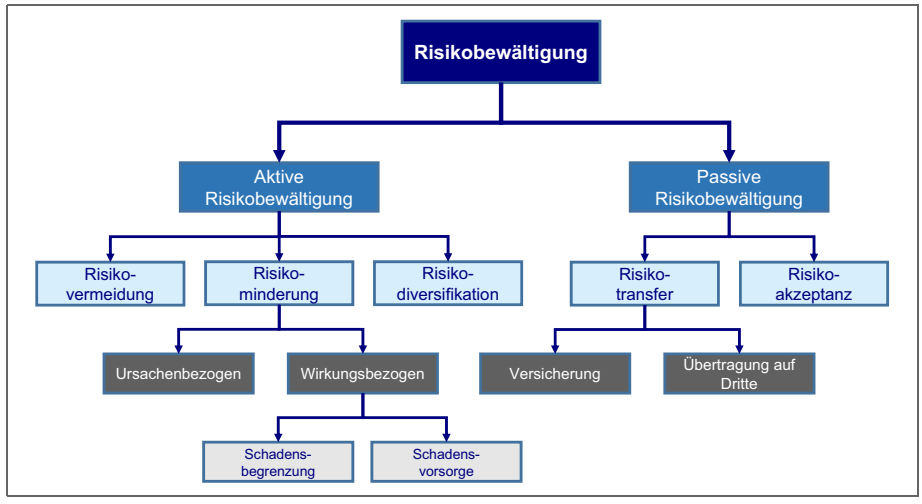


Abb. 4-19 Methoden zur Risikobewältigung

34) Alber (2014), S. 33

Für die Bewältigung der Risiken ist eine Risikostrategie festzulegen, auf deren Basis entschieden wird, welche Methoden der aktiven oder passiven Risikobewältigung jeweils Anwendung finden. Die Bewältigungsmaßnahmen haben sich dabei an den Zielen und Vorgaben des Unternehmens bzw. an den Projektzielen zu orientieren und sind im Hinblick auf Kosten und Nutzen auszuwählen.

Eine optimale Risikostrategie für die Bewältigung von Risiken trägt dabei zur Sicherung des Unternehmensfortbestands und zur Steigerung des Unternehmenswerts bei. Es folgt daraus wie die identifizierten Risiken gehandhabt und ob sie akzeptiert, transferiert, diversifiziert, gemindert oder vermieden werden sollen. Im Folgenden werden zentrale Elemente der Risikobewältigung aus Abb. 4-19 detaillierter erläutert.

Risikovermeidung

Im Zuge der Angebotslegung wird bei der Analyse der Leistungsbeschreibung überlegt, welche Leistungen prinzipiell selbst erbracht werden können. Für diese Überlegungen ist es wichtig herauszufiltern, ob das eigene Leistungsniveau ausreicht um die geforderten Qualitäten zu erbringen. Die weiteren Überlegungen zielen darauf ab, welches Chancen- und Risikoverhältnis für die unterschiedlichen Leistungspositionen eingegangen werden muss, um überhaupt eine Chance zu bekommen im Zuge der Auftragsvergabe als Bestbieter hervorzugehen. Jene Positionen mit sehr hohen Risiken wird man versuchen zu vermeiden, in dem sie durch andere Positionen substituiert werden.

Entscheidet sich ein Unternehmen geplante Aktivitäten (beispielsweise Investitionen in neue Baugeräte) nicht durchzuführen oder ein Angebot nicht abzugeben (da der für den Akquisitionserfolg erforderliche Angebotspreis das Ergebnis der Nullkalkulation beispielsweise um 20 % unterschreiten müsste), liegt Risikovermeidung vor. Dieses Beispiel der Risikovermeidung beschreibt den gänzlichen Verzicht auf einen risikobehafteten (möglichen) Auftrag. Diese Vorgangsweise sollte erst dann gewählt werden, wenn das vorliegende schlechte Chancen-Risikoverhältnis nicht mehr verbessert werden kann. Bei dieser Art der Risikobewältigung wird die Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. der Schaden eines konkreten Risikos auf null gesetzt.

Bei der Risikovermeidung gilt es entweder den Schaden bzw. den Eintritt des Risikos vollständig zu vermeiden.

Risikominderung

Ist ein Risiko nicht vermeidbar, ist eine wirtschaftlich sinnvolle Risikominderung durchzuführen, um ein Risiko auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Dabei kann ursachenbezogen oder wirkungsbezogen agiert werden. Bei einer wirkungsbezogenen Risikominderung, ist entweder eine Schadensbegrenzung oder eine Schadensvorsorge zielführend. Bei der ursachenbezogenen Risikominderung zielen die Maßnahmen auf die Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos ab. Wesentlich dabei ist eine Verbesserung des Informationsstands der unsicheren Parameter. Ebenfalls hat die Wahl der Basis (siehe Abschnitt 2.1.7) wesentlichen Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos.

Wirkungsbezogen

Bei der wirkungsbezogenen Risikominderungen wird davon ausgegangen, dass die Auswirkungen eines bereits schlagend gewordenen Risikos noch zu beeinflussen sind. Der entstehende Schaden ist geringer als der ursprünglich erwartete Schaden.

Ursachenbezogen

Im Zusammenhang mit ursachenbezogenen Risikominderungsmaßnahmen wird versucht die Eintrittswahrscheinlichkeit von Risiken zu reduzieren.

Risikodiversifikation

Eine Risikodiversifikation liegt vor, wenn ein Gesamtrisiko in mehrere, möglichst nicht positiv miteinander korrelierende Einzelrisiken aufgespalten wird und hierdurch eine breite Streuung entsteht. Das ist beispielsweise bei Kreditportfolios der Fall, die im günstigsten Fall eine hohe Granularität und geringe Klumpenrisiken aufweisen (in der Portfoliotheorie gilt das Prinzip: ‚Nicht alle Stoffe vom gleichen Lieferanten beziehen'). Innerhalb eines Konzerns können durch Risikodiversifikation voneinander unabhängige Risiken regional, objektbezogen oder personenbezogen gestreut werden:

- Regionale Streuung erfolgt durch Herstellung desselben Produkts in verschiedenen Betriebsstätten (Parallelproduktion);
- objektbezogene Diversifizierung erfolgt beispielsweise durch Schaffung mehrerer gleichartiger Produktionsanlagen (Redundanz);
- personenbezogene Diversifizierung liegt vor, wenn mehrere Personen im Team der Bauleitung auch Bauleitungsfunktionen übernehmen.

Die Risikodiversifikation dient der Regulierung von Risiken, minimiert allerdings nicht die Eintrittswahrscheinlichkeit des Einzelrisikos, sondern wirkt auf den Schadensumfang. Da ein synchrones Eintreten aller Risiken in ihrer Gesamtheit sehr unwahrscheinlich ist, sollte man die Gefahr von Abhängigkeiten verhindern, indem darauf geachtet wird, mehrere Lieferanten zur Verfügung stehen zu haben und Geschäftspartner vergleichend auswählt.

Risikotransfer

Risiken, die weder vermieden noch weiter vermindert werden können, müssen von einem der Projektbeteiligten getragen werden. Vertraglich kann dabei eine Risikoteilung oder eine Risikoübertragung, entweder an eine Versicherung oder an Dritte (z.B. Subunternehmer) festgelegt werden. Zu beachten ist, dass in beiden Fällen Kosten (entweder in Form von Versicherungsprämien oder von Risikozuschlägen) anfallen. Eine Risikoakzeptanz kann in der Regel nur bei Risiken mit ‚unwesentlichem' und ‚geringfügigem' Schadensausmaß bei gleichzeitiger ‚unvorstellbarer' oder ‚unwahrscheinlicher' Eintrittswahrscheinlichkeit hingenommen werden.

Am Ende der Risikobewältigungsmaßnahmen müssen schließlich all jene Risiken, die nicht vermieden, vermindert oder übertragen werden konnten, zusätzlich zu den nicht berücksichtigten bzw. nicht identifizierten Risiken, als Restrisiken selbst getragen werden. Dabei kann es durchaus sein, dass prinzipiell übertragbare Risiken selbst getragen werden, da es sich dabei um die wirtschaftlichere Variante handelt (z.B. Nutzung einer Chance).

Beim Risikotransfer werden bestehende Risiken auf andere Wirtschaftssubjekte, die diese Risiken mindestens genauso gut beherrschen, übertragen. Der Risikotransfer reduziert die Folgen des Risikoeintritts, nicht jedoch die Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos. Zu nennen sind in erster Linie Versicherer, die Schadensversicherungen (wie Feuerversicherung, Betriebsunterbrechungsversicherung), Kreditversicherungen (für Lieferanten) oder Exportkreditversicherungen (für Exporteure) übernehmen. Das gesamte Versicherungsgeschäft wird als Risikotransfer zwischen Versicherer und Versicherungsnehmer gegen Beitragszahlung (Risikotransferkonzept) verstanden. Dabei müssen vor allem die Kosten in einer sinnvollen Relation zum Nutzen stehen. Auch die Risikoteilung durch Arbeitsgemeinschaften, Konsortien oder Rückversicherungen ist ein Risikotransfer. Das Outsourcing (z.B. EDV, Buchhaltung) ist ebenfalls ein Risikotransfer.

Risikoakzeptanz (Risikovorsorge)

Die Risikovorsorge besteht aus bilanziellen Maßnahmen, die das risikotragende Unternehmen betreffen. Das Vorsichtsprinzip verlangt, dass bei der Bilanzierung alle Risiken und Verluste angemessen zu berücksichtigen sind. Deshalb sind nach handelsrechtlichen Vorschriften Rückstellungen, Wertberichtigungen und Abschreibungen vorzunehmen. Zur bilanziellen Risikovorsorge gehört auch die Schaffung einer akzeptablen Eigenkapitalbasis zur Deckung eventuell eintretender Verluste und Liquiditätsreserven zwecks Vermeidung der Zahlungsunfähigkeit. Bei der Risikovorsorge wird das Risiko vom Unternehmen selbst getragen. Als passive Risikobewältigung bezieht sich diese Maßnahme nur auf die Folgen des Risikoeintritts, die durch die Bilanz und Gewinn- und Verlustrechnung abgefedert werden müssen.

4.5.3 Chancen- und Risikomonitoring

Ziel ist es, die Chancen- und Risikosituation, welche im Zuge der Identifikation, Analyse und Bewältigung definiert wurde, im weiteren Projektverlauf zu verfolgen. Dabei steht die Überwachung der Effektivität von Bewältigungsmaßnahmen durch einen Soll-Ist-Vergleich sowie die Dokumentation im Vordergrund. Risikocontrolling kann beispielsweise in das bestehende Projektcontrolling in Form einer zusätzlichen Controlling-Schleife eingebunden werden.

In der bauwirtschaftlichen Forschung nimmt der Prozessschritt des Risikocontrollings nur eine untergeordnete Rolle ein. Ein möglicher Grund für diesen Sachverhalt kann im fließenden Übergang zwischen ‚klassischem' Projektcontrolling und dessen logischer Erweiterung um gezielte Aspekte der Risikoverfolgung vermutet werden.

Der in der Organisation installierte Chancen-Risikomanagementprozess ist laufend auf Aktualität und Zielorientiertheit zu überprüfen. Für alle maßgebenden Projekte ist festzustellen, welche Chancen und Risiken im Soll erfasst und behandelt wurden und wie sich die Nutzung von Chancen bzw. die Vermeidung oder Reduktion von Risiken im Ist zugetragen hat. Anhand dieses Vergleichs sind die Methoden und Werkzeuge zu überdenken und für neue Projekte gegebenenfalls Korrekturmaßnahmen einzuleiten. Das Risikoberichtswesen beinhaltet die fortlaufende Berichterstattung über die identifizierten und bewerteten Chancen und Risiken sowie die eingeleiteten Maßnahmen zur Chancennutzung bzw. Risikobewältigung an die entsprechenden Interessensgruppen.

Das Risikoberichtswesen hat sicherzustellen, dass die Erkenntnisse der Risikokontrolle frühzeitig und in nachvollziehbarer, aussagefähiger Form dokumentiert werden. Das Berichtswesen beinhaltet die Darstellung und Beurteilung der Risikosituation sowie ggf. Handlungsvorschläge zur Verbesserung der Risikoposition. Es sorgt damit für eine angemessene Kommunikation im Unternehmen und ermöglicht eine fundierte Entscheidungsfindung zu notwendigen Maßnahmen der Risikobewältigung.

Zudem werden die Rechenschaftsfunktionen (Nachweisen des pflichtgemäßen Verhaltens), die Sicherungsfunktionen (Fehler verhindernde Maßnahmen) und die Prüfbarkeitsfunktionen (Grundlage für die Prüfung des Aufsichtsrats, interne Revision etc.) durch das Risikoberichtswesen abgedeckt.

4.5.4 Chancen- und Risikodokumentation

Eine lückenlose Dokumentation bildet die Bearbeitungsschritte und Ergebnisse des gesamten Chancen- und Risikomanagementprozesses ab und stellt eine solide Grundlage für die systematische Vergrößerung des internen Wissensspeichers dar. Des Weiteren kann eine aussagekräftige Dokumentation abgeschlossener Projekte für den AN einen wesentlichen Wettbewerbsvorteil bei der Bearbeitung von Folgeprojekten darstellen. Die Dokumentation dient allgemein dazu Daten und Informationen gezielt auffindbar zu machen, um vergangene bzw. aktuelle Sachverhalte festzuhalten und weiterzugeben. Wissen[35)] wird mit der Dokumentation nur dann vermittelt, wenn Daten und Informationen systematisch vernetzt und in den Kontext von Erfahrungen und Erwartungen gestellt werden. Aus dem Output der Kombination von Daten und Informationen entsteht Wissen – im Vergleich zu Informationen – zweckrelativ, perspektivisch, kontext- und aspektabhängig. Die gleiche Information kann aus unterschiedlicher Perspektive oder auch in verschiedenem Kontext unterschiedliches Wissen bedingen. Auch Aspekte des Leanmanagements sollten dafür in Betracht gezogen werden.

4.5.5 Chancen- und Risikoreflexion

Bei der Chancen- und Risikoreflexion erfolgt anhand der Ergebnisse der Chancen- und Risikobewertung und der eingetretenen Chancen und Risiken sowie der getroffenen Maßnahmen eine gesamtheitliche Betrachtung. Dazu werden die Bewertungen vor und nach den Maßnahmen den Ist-Werten gegenübergestellt. Das Projektteam sollte noch während der Bearbeitung und nach Abschluss eines Projekts den vorgegebenen Prozess und dessen Anwendung im Rahmen eines ‚Debriefings' erörtern. Beim Debriefing wird reflektiert, was am Chancen- und Risikomanagementprozess adäquat und was verbesserungswürdig ist. Es werden Probleme aufgezeigt und besprochen sowie Lösungen dafür gesucht. Die daraus gewonnen Erkenntnisse tragen zur kontinuierlichen Verbesserung des Prozesses, der eingesetzten Methoden und verwendeten Werkzeuge bei.

4.6 Zusammenfassung

Im Vordergrund des Kapitels steht die Förderung des chancen- und risikobasierten Denkens, dass als wertvolle Basis für effizientes und effektives Handeln dient.

Systematisches Chancen- und Risikomanagement bildet die Voraussetzung, um mit den Werkzeugen und Methoden im Chancen- und Risikomanagementprozess, in effizienter Weise die Chancennutzung zu optimieren und Risiken zu bewältigen. Mit dieser Unterstützung können übergeordnet die Unternehmens- und untergeordnet die Projektziele effektiv erreicht werden.

Zentrale Ergebnisse einer Expertenbefragung zum Thema Chancen- und Risikoverhalten in Bauunternehmen sind im Kapitel integriert. Dabei wird erläutert, wie aus Auftragnehmersicht die Risikopotenziale der abgefragten Risikofelder eingeschätzt werden. Weiters

35) „Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen. Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden. Es wird von Individuen konstruiert und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge." Probst/Raub/Romhardt (2012), S. 23

wird gezeigt in welchen (ausgewählten) Projektphasen das höchste Potenzial an Fehlern und Risiken besteht.

Anhand einer Verteilung und dem von Bietern eingegangenen Chancen- und Risikoverhältnis wird qualitativ aufgezeigt, wie das Chancen- und Risikoverhalten im Zusammenhang mit der Wettbewerbsintensität und der Qualität der Planung und der Ausschreibung zu sehen ist. Das Chancen- und Risikoverhalten einer Organisation bzw. der beteiligten Akteure wird entscheidend von der übergeordneten Chancen- und Risikopolitik und des installierten Chancen- und Risikomanagementsystems geprägt.

In der Makrobetrachtung bezieht sich das Chancen- und Risikomanagement auf die gesamte Organisation und in der Mikrobetrachtung auf einzelne Projekte. Damit ein zeitnaher Überblick über die wesentlichen Projekte gegeben ist, sollte zwischen den beiden Ebenen ein systematisches Projektportfoliomanagement vorgelagert sein.

Primäres übergeordnetes Ziel des Chancen-Risikomanagements ist die langfristige Sicherung des Unternehmenserfolgs bzw. der Unternehmensexistenz. Dazu zählt besonders die Liquiditätserhaltung. Unterschieden wird in qualitative und quantitative Zielanforderungen. Zu ersteren zählen z.B. Qualität, Marktposition und Kommunikation, zu letzteren messbare Größen wie z.B. Renditen, Kosten, Gewährleistungsquoten und Termine.

Für die erfolgreiche Implementierung eines zielorientierten und systematischen Chancen-Risikomanagementprozesses werden Regelkreise dargestellt und beschrieben. Ein Regelkreis besteht im Wesentlichen aus einem Kreislauf und setzt sich aus dem Führungsglied, dem Steuerglied, der Regelstrecke und dem Messglied zusammen. Die Steuerungsimpulse für die Regelkreise resultieren aus positiven und negativen Rückkopplungen. Die Ziele gibt das Führungsglied vor und das Steuerglied präzisiert diese für die Regelstrecke. Durch das mehrmalige Durchlaufen des Kreislaufs steigt die Wahrscheinlichkeit, dass keine wesentlichen Chancen und Risiken übersehen bzw. falsch bewertet werden. Im Zentrum des Regelkreises befindet sich der Wissensspeicher, der für die verschiedenen Bearbeitungsphasen wertvolle Daten und Informationen liefert. Für ein systematisches Wissensmanagement ist es unerlässlich, den Wissensspeicher mit neu gewonnen Daten und Informationen aus den Projektbearbeitungen zu speisen.

Chancen- und Risikomanagement ist für Auftraggeber und Auftragnehmer eine unumgängliche und zeitgemäße Managementdisziplin. Gelingt eine funktionierende Verknüpfung der schlussendlich von den Mitarbeitern umgesetzten Prozessschritte auf Projekt- und Unternehmensebene, bringt der bewusste Umgang mit Chancen und Risiken einen Mehrwert für alle Beteiligten.

4.7 Literaturverzeichnis

Alber, Alexander (2013). Risikomanagement in Bauunternehmen – Eine Analyse von Theorie und Praxis. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Alber, Alexander; Hofstadler, Christian (2014). Risikomanagement in Bauunternehmen – Eine Analyse in Theorie und Praxis. In: bau aktuell, 5. Jahrgang, Heft Nr. 2, März 2014. Seite 42-53. Wien. Linde-Verlag Ges.m.b.H. (ISSN 2077-4737)

Dayyari, Amir (2008). Beitrag zur projektspezifischen Ausrichtung eines feed-forward- und feed-back-orientierten Risikomanagements für Bauprojekte. Dissertation. Kassel. Schriftenreihe Projektmanagement – Heft 4. Fachgebiet Projektmanagement an der Universität Kassel. Hrsg.: Spang, Konrad; Dayyari, Amir. (ISBN 978-3-89958-415-8)

Feik, Roland (2006). Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen – Ein Konzept eines elektronischen Chancen- und Gefahrenmanagementsystems für Auftraggeber. Dissertation. Innsbruck. Fakultät für Bauingenieurwissenschaften der Leopold-Franzens Universität Innsbruck.

Gleißner, Werner (2011). Grundlagen des Risikomanagements in Unternehmen – Controlling, Unternehmensstrategie und wertorientiertes Management – 2. Auflage. München. Verlag Franz Vahlen GmbH. (ISBN 978-3-8006-3767-6)

Link, Doris (1999). Risikobewertung von Bauprozessen – Modell ROAD – Risk and Opportunity Analysis Device. Dissertation. Wien. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Wien.

Mesaros, Leila; Vanselow, Achim; Weinkopf, Claudia (2009). Fachkräftemangel in KMU – Ausmaß, Ursachen und Gegenstrategien – Eine Literaturanalyse. Institut Arbeit und Qualifikation, Universität Duisburg-Essen. Duisburg. (Online unter: http://www.fes.de/wiso/pdf/mittelstand/2009/040609/expertise.pdf. Datum des Zugriffs: 22.11.2016)

Oberndorfer, Wolfgang; Jodl, Hans Georg et al. (2001). Handwörterbuch der Bauwirtschaft – ON V 208 – 2. Auflage. Wien. ON Österreichisches Normungsinstitut. (ISBN 3-85402-072-4)

ÖGG-Richtlinie (2016). Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken. Salzburg. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik.

ÖNORM ISO 31000 (Ausgabe: 2010-02-01) Risikomanagement – Grundsätze und Richtlinien.

ÖNORM S 2410 (Ausgabe: 2010-01-01) Chancen- und Risikomanagement – Analyse und Maßnahmen zur Sicherung der Ziele von Organisationen.

ONR 49000 (Ausgabe: 2014-01-01) Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Begriffe und Grundlagen – Umsetzung von ISO 31000 in die Praxis.

ONR 49002-2 (Ausgabe: 2010-01-01) Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Teil 2: Leitfaden für die Methoden der Risikobeurteilung – Umsetzung der ISO 31000 in die Praxis.

ONR 49002-2 (Ausgabe: 2014-01-01) Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Teil 2: Leitfaden für die Methoden der Risikobeurteilung – Umsetzung der ISO 31000 in die Praxis.

Probst, Gilbert; Raub, Steffen; Romhardt, Kai (2012). Wissen managen – Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen – 7. Auflage. Wiesbaden. Springer Gabler. (ISBN 978-3-8349-4562-4)

Secricon GmbH – Risk and Security Consulting (2011). Online unter: http://www.secricon.com/pdf/Chancenmanagement.pdf. Datum des Zugriffs: 11.11.2016

Spang, Konrad; Gerhard, Michael (2016). Risikomanagement. In: Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten. Hrsg.: Spang, Konrad. Seite 419-453. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-662-46457-1)

Wiggert, Marcel (2009). Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

5 Methoden des Chancen- und Risikomanagements in den Projektphasen

Jedes Bauwerk entspringt aus einem bestimmten Bedürfnis nach Bedarfsbefriedigung und ist mit dem Anspruch verknüpft, eine nachhaltige (Nach-)Nutzung sowie einen ressourcenschonenden Rückbau am Ende der Nutzungsphase zu gewährleisten. Das Objekt wird entweder von einem öffentlichen oder einem nicht öffentlichen Auftraggeber geordert. Öffentliche bzw. andere darunter subsumierte Auftraggeber (wie z.B. Sektorenauftraggeber) unterliegen dem Vergabegesetz sowie der Vergabeordnung. Bei nicht öffentlichen Auftraggebern kann es sich auch um Konsumenten handeln, die dem Konsumentenschutzgesetz unterliegen.

Jedes Bauobjekt durchlebt verschiedene Projektphasen und kann auf unterschiedliche Art und Weise umgesetzt werden. Zu Beginn steht eine Idee, die wiederum verschiedene Projektphasen durchlaufend zu einem konkreten Vertragsgegenstand wird und sich schlussendlich in einem nutzbaren Objekt manifestiert. In Abhängigkeit von der Art des Auftraggebers bestehen in den verschiedenen Projektphasen mehr oder weniger Zwänge, sich an festgeschriebene Prozesse, Gesetze und Regelwerke zu halten.

Auftraggeber sind in allen Projektphasen in das Bauprojekt involviert und treffen Entscheidungen hinsichtlich der Qualitäten, der Quantitäten, der Bauzeit (bzw. der Termine) sowie des Budgets. Auftragnehmer[1)] hingegen steigen in der Regel erst am Ende der PPH 3 im Zuge der Angebotsbearbeitung in das Projekt ein und treten mit Ende der PPH 4 mit der Übergabe/Übernahme (abgesehen von Gewährleistungsfristen) als aktiv projektbeteiligte Akteure aus dem Projekt aus.

Sowohl Auftraggeber als auch Auftragnehmer sind in den verschiedenen Projektphasen mit Unsicherheiten konfrontiert und haben wichtige und weitreichende Entscheidungen zu treffen. Die Entscheidungsgrundlagen stützen sich auf unsichere Parameter und Zahlenwerte oder basieren auf groben Schätzungen. Um einen systematischen Umgang mit diesen Unsicherheiten und Bandbreiten zu ermöglichen, ist der gezielte Einsatz probabilistischer Berechnungsverfahren für Auftraggeber und Auftragnehmer empfehlenswert. Die Entscheidungssicherheit wird dadurch gesteigert. Die nachfolgenden Kapitel handeln davon, wie und mit welchen Werkzeugen und Methoden dies realisiert werden kann.

Die wertbezogenen Bandbreiten von Mengen, Produktivitäten und Kostenansätzen sind in frühen Projektphasen breiter gestreut, da aufgrund der noch nicht fortgeschrittenen

[1)] Unter Auftragnehmern (AN) werden in diesem Zusammenhang ausführende Bauunternehmen verstanden.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_5

Konkretisierung höhere Unsicherheiten bei den zentralen Parametern vorhanden sind. Mit dem Projektfortschritt und der damit einhergehenden Projektspezifikation sinkt die Möglichkeit der Einflussnahme durch den AG.

Für Bieter und spätere Auftragnehmer stellen der Fertigstellungsgrad der Planung sowie die Qualität der Ausschreibungsunterlagen wesentliche Faktoren für die Angebotslegung und Ressourceneinsatzplanung dar. Müssen beispielsweise viele Schätzungen in die Kalkulation einbezogen werden (wie es z.B. bei Mischpreispositionen der Fall ist), sind die Unsicherheiten in den Ansätzen automatisch höher.

In diesem Kapitel wird auf die Projektphasen eines Bauprojekts eingegangen und gezeigt, in welchen Phasen Auftraggeber und Auftragnehmer probabilistische Berechnungen systematisch einsetzen können. Es werden nur jene Anwendungsmöglichkeiten mit den Projektphasen verknüpfend dargestellt und in weiterer Folge beschrieben, zu denen in den nachfolgenden Kapiteln auch Praxisbeispiele angeführt werden.

5.1 Projektphasen eines Bauprojekts

Für das (Bau-)Projektmanagement wird der Ablauf eines Bauprojekts in fünf Projektphasen (PPH) gegliedert (siehe Abb. 5-1). Die Projektphasen beginnen mit der Anforderungsfreigabe und enden mit der Projektbewertung.

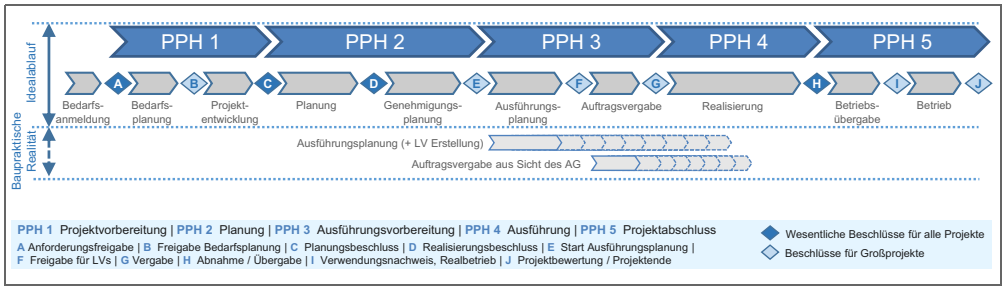


Abb. 5-1 Projektphasen[2)]

Die fünf Projektphasen Projektvorbereitung, Planung, Ausführungsvorbereitung, Ausführung und Projektabschluss können in weitere Ebenen untergliedert werden. Bei den Übergängen von einer Projektphase zur nächsten finden sich sogenannte ‚Quality Gates' (QG). Diese stellen sicher, dass erst dann mit der nächsten Projektphase begonnen wird, wenn die maßgeblichen Beschlüsse für die aktuelle Projektphase gefasst wurden.

Bevor die Anforderungsfreigabe für ein neues Projekt erteilt wird, muss naturgemäß eine Projektidee vorhanden sein und eine entsprechende Bedarfsanmeldung erfolgen (QG A). Die Projektvorbereitung (PPH 1) wird in weiterer Folge in die Bedarfsplanung (QG B) und die Projektentwicklung unterteilt. Die PPH 1 wird mit dem Planungsbeschluss (QG C) finalisiert und die Planung (Vorentwurf und Entwurf – PPH 2) eingeleitet. Nach dem Realisierungsbeschluss (QG D) folgt ebenfalls in der PPH 2 die Genehmigungsplanung (Einreichplanung) mit deren Fertigstellung die PPH 2 durch das Einleiten des Einreichverfahrens abgeschlossen wird.

2) Vgl. Lechner (2014). http://www.pmtools.eu/download/seminar/Zeitstrukturmodell_PPH_LPH-A_TW_TA.pdf. Datum des Zugriffs: 11.10.2016

Ist die Baubewilligung erteilt, beginnt mit dem Start der Ausführungsplanung (QG E) auch die PPH 3 (Ausführungsvorbereitung). Nach Freigabe der Ausführungsplanung werden die entsprechenden Leistungsverzeichnisse erstellt, damit die Leistungen ausgeschrieben (QG F) und vergeben (Auftragsvergabe, QG G) werden können.

In einem idealen Projektablauf erfolgt die Abwicklung der einzelnen Projektphasen chronologisch. Die Ausführungsplanung und Vergabe aller Leistungen wäre damit abgeschlossen, bevor mit der Realisierung begonnen wird. In der Realität ist die Ausführungsplanung mit dem Beginn der Realisierungsphase jedoch meist noch nicht abgeschlossen, sondern wird ‚baubegleitend' fortgeführt. Auch der AG hat i.d.R. die Auftragsvergabe aller Gewerke mit dem Baubeginn noch nicht vollständig abgewickelt. Dies hängt allerdings maßgeblich von der Art der Vergabe ab (GU-Vergabe, Einzelvergabe usw.).

Durch diese Überlappung der PPH 3 und PPH 4 kann die Gesamtdauer des Projekts zwar reduziert werden, was insgesamt als vorteilhaft für den AG zu beurteilen ist, da er sein Objekt früher nutzen kann. Diese Vorgehensweise bringt allerdings auch Probleme mit sich, da mit einer baubegleitenden Planung ein hoher Zeitdruck einhergeht. Einerseits kann durch die nicht abgeschlossene Planung flexibler auf geänderte Anforderungen an das Bauobjekt reagiert werden, andererseits verursachen Planungsänderungen in weiterer Folge meist Mehrkosten und/oder Bauzeitüberschreitungen, die bei einer im Vorhinein abgeschlossenen Planung vermieden hätten werden können.

Zusätzlich besteht immer die Gefahr, dass Pläne bei nicht abgeschlossener Planung nicht rechtzeitig zur jeweiligen Baumaßnahme beigestellt werden können oder diese aufgrund des dann vorherrschenden Zeitdrucks eine geringere Qualität aufweisen.

Wenn allerdings während der Bauausführung keine Planungsänderungen mehr durchgeführt werden dürfen, kann nicht mehr flexibel auf neue Bedürfnisse oder Erkenntnisse reagiert werden. Die Änderungserfordernisse resultieren überwiegend aus neuen Orientierungen hinsichtlich der Bedarfsanforderungen des AG. Besonders bei Projekten mit mehrjähriger Bauzeit steigt die Intensität der baubegleitenden Planung und damit die Störungsanfälligkeit, wenn es beispielsweise zu Verzögerungen bei Planlieferungen kommt. Das Gleiche gilt für Bauwerke, bei denen Entscheidungen für gebäude- oder medizintechnische Anlagen und Ausrüstungen erst spät nach Baubeginn getroffen werden können. Flughafenterminals oder Krankenhäuser sind dafür sehr gute Beispiele. Die systembedingt erst sehr spät ansetzbaren Entscheidungen können zu massiven Änderungen in der Bauwerkskonstruktion, den Leitungsführungen und der Gebäudeausrüstung führen. Das wirkt sich unweigerlich in beträchtlichem Maße auf Bauzeiten und Baukosten aus.

Baubegleitende Planungen in der PPH 4 sind mit hohem Zeitdruck verbunden und daher auch fehleranfälliger als jene vor der Auftragsvergabe (PPH 3). Auch die Koordination der Planungen verschiedener Gewerke ist während der Realisierungsphase schwieriger und störungsanfälliger. Der Einsatz von BIM[3)] soll hier zukünftig dabei helfen, die Schnittstellen zwischen den beteiligten Planern besser zu koordinieren.

Mit dem Studium der Ausschreibungsunterlagen und der Entscheidung für eine Angebotsbearbeitung steigt der Bieter bzw. spätere Auftragnehmer in das Projekt ein. Der Informationsvorsprung über das Projekt ist für den Auftraggeber gegenüber dem Auftragnehmer in dieser Phase besonders groß. Der eindeutigen, vollständigen und neutralen Beschreibung der Leistungen durch den AG wird daher eine zentrale Bedeutung für die Kalkulation, die Angebotserstellung und in weiterer Folge für die Arbeitsvorbereitung der

[3)] Building Information Modeling, siehe Abschnitt 3.8

AN zuteil. Die Bieter müssen sich auf die Angaben in den Ausschreibungsunterlagen verlassen können und auf Basis ihrer Erfahrungen sowie durch den systematischen Umgang mit Unsicherheiten ihre Kalkulation durchführen.

Nach der Auftragsvergabe und mit dem Beginn der Bauausführung in der PPH 4 steigt der Kenntnis- und Informationsstand des AN über das Projekt stetig an (im Laufe des Projekts ergibt sich damit ein Informationsvorsprung für den AN). Während der Realisierung ist der AN ständig mit der Optimierung seines Produktionssystems beschäftigt und versucht die erforderlichen Leistungen in der vereinbarten Qualität mit den geringstmöglichen Kosten zu erbringen.

Nach Fertigstellung der Leistungen erfolgt die Übergabe durch den AN bzw. die Übernahme durch den AG (QG H). Das Erreichen dieses Quality Gates wird auch als technischer Projektabschluss bezeichnet. Nachfolgend beginnt die PPH 5 (Projektabschluss) mit der Betriebsübergabe, im Zuge derer noch ausstehende Abrechnungen und Mängelbehebungen durchgeführt werden. Sind auch diese Bearbeitungen abgeschlossen (kaufmännischer Projektabschluss), erfolgt in Abhängigkeit vom Bauwerkstyp der Verwendungsnachweis und der Start für den Probe- oder Realbetrieb (QG I). Spätestens in diesem Projektstadium schließen die AN das Projekt ab (sofern sie nicht auch als Betreiber des Bauobjekts fungieren, wie beispielsweise bei PPP-Projekten[4]). Mit der Übernahme beginnen die Gewährleistungsfristen zu laufen, innerhalb dieser der AN über eventuell erforderliche Mängelbehebungen wieder aktiv mit dem Projekt in Verbindung kommt.

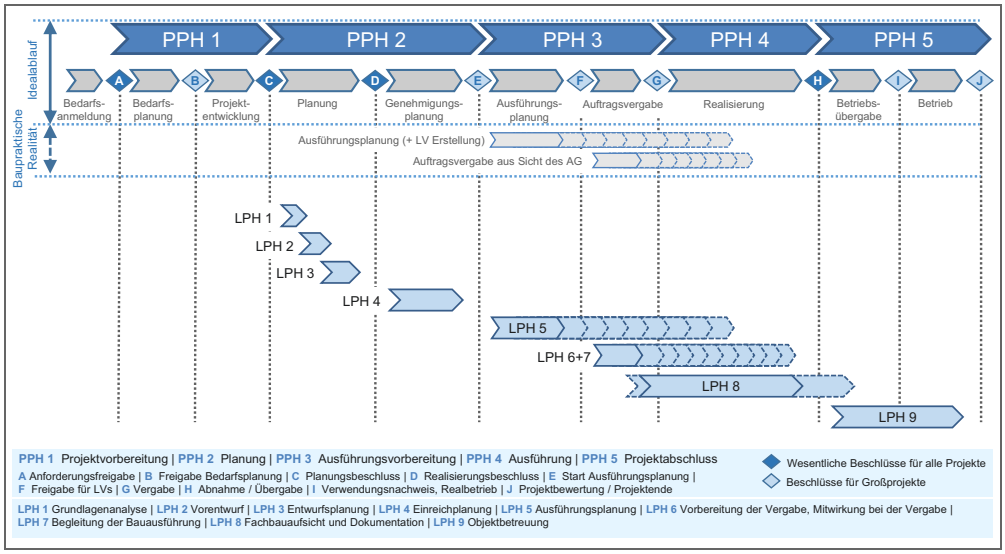


Abb. 5-2 Gegenüberstellung – Projektphasen und Leistungsphasen für Planer[5]

Im Zuge des Projektabschlusses (Ende der PPH 5) ist es unerlässlich eine Projektbewertung durchzuführen. Im Zuge dieser Bewertung werden zentrale Daten und Kennwerte erhoben und dokumentiert, womit diese Erfahrungswerte systematisch in neue Projekte bzw. interne Vorgaben des AG einfließen können (QG J).

4) Public-Private-Partnership

5) Vgl. Lechner (2014). http://www.pmtools.eu/download/seminar/Zeitstrukturmodell_PPH_LPH-A_TW_TA.pdf. Datum des Zugriffs: 11.10.2016

Werden mehrere Projekte gleichzeitig abgewickelt, weisen diese in der Regel unterschiedliche Projektvolumen auf, befinden sich in unterschiedlichen Projektstadien und haben voneinander abweichende Chancen-Risikoverhältnisse. Die übergeordnete Analyse und Bewertung dieser Auswahl an unterschiedlichen Projekten kann sowohl für den AG als auch für den AN durch ein gezieltes Projektportfoliomanagement erfolgen.

Projekte können neben der Gliederung in Projektphasen (PPH) auch in Leistungsphasen (LPH) für Planer unterteilt werden. Dabei werden den Projektphasen 1 bis 5 insgesamt zehn Leistungsphasen (0 bis 9) zugeordnet (siehe Abb. 5-2). Die Leistungsphase 0 ist als fiktive Phase zu sehen.

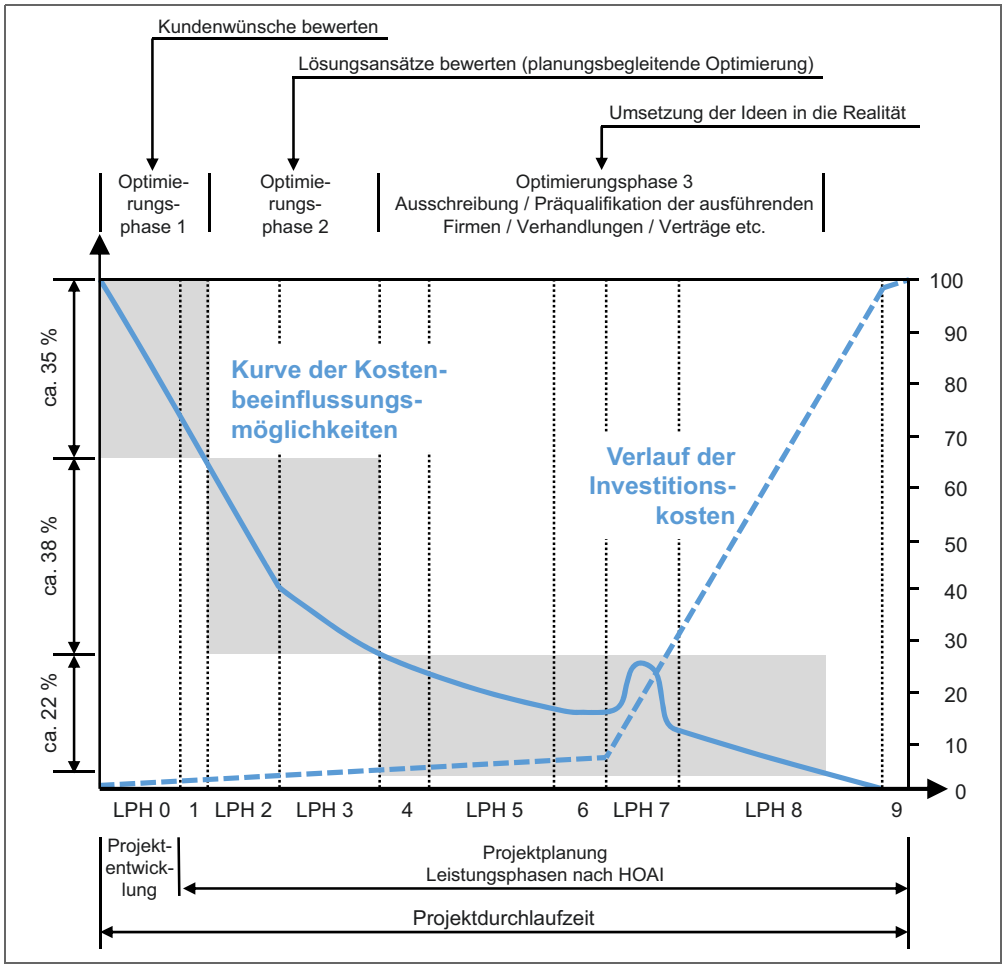


Abb. 5-3 Beeinflussbarkeit der Kosten über die Projektlaufzeit[6)]

Die Beeinflussbarkeit bzgl. der Projektkosten ist in den ersten Leistungsphasen (siehe Abb. 5-3) am größten und nimmt dann sukzessive ab. In der Phase der Vorbereitung der Vergabe (LPH 6) bzw. während der Bauausführung (LPH 7) ist der Einfluss auf die Kosten im Vergleich zur Phase der Projektvorbereitung (LPH 0) bereits stark einge-

6) Vgl. Volkmann (2003), S. 115

schränkt, jedoch erreicht die Kenntnis über die Ausführungskosten in dieser Phase zum ersten Mal (auf Basis einer detaillierten Ausschreibung) eine Genauigkeit innerhalb eines üblichen Toleranzrahmens (siehe Kostentrichter mit Abweichungstoleranzen in Abb. 5-5). Weiters ist in Abb. 5-3 in der Ausführungsphase (LPH 7) wieder ein Anstieg bei der Beeinflussbarkeit der Kosten zu erkennen (Beispielhafte Gründe dafür: zusätzliche Leistungen, Inanspruchnahme von Wahl- und/oder Eventualpositionen, Regieaufträge).[7)]

Der Bieter bzw. der spätere AN tritt in der Regel erst mit der Angebotsbearbeitung bzw. dem Zuschlag in das Projekt ein. Er muss seine Projektziele (wirtschaftliche Kombination seiner Produktionsfaktoren) an diese verbleibende Beeinflussbarkeit adaptieren und ist an einer Leistungserbringung mit möglichst geringem Aufwand (Minimalprinzip) und daher niedrigen Kosten interessiert. Umgekehrt ist es auch im Interesse des AG die Ausführungskosten – ohne Einbußen in der späteren Nutzung in der geforderten Qualität – möglichst gering zu halten, um eine Überschreitung des Projektbudgets zu vermeiden.

Die bereits in frühen Projektphasen anzustrebende Erwägung von Varianten und die Untersuchungen dieser hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Nutzen, die Kosten und die Bauzeit trägt jedenfalls zur Reduktion von Störungen und Fehlern in der Ausführungsplanung bei (beispielsweise in der Form von Value Engineering[8)]). Je mehr Szenarien in frühen Planungsstadien systematisch untersucht werden, desto besser kann die Planung auf die Muss-Ziele und Nicht-Ziele abgestimmt werden. Anschauliche Darstellungen von Ursache-Wirkungszusammenhängen ermöglichen es dem Auftraggeber, divergierende bzw. fehlende Vorstellungen von der geplanten Wirklichkeit anhand von Varianten frühzeitig zu erkennen und zu korrigieren. Durch eine frühe integrale Planung[9)] wird angestrebt, dass je mehr sich die Planung an den geplanten Baubeginn annähert, desto weniger grundlegende konzeptionelle Änderungen notwendig werden.

Durch eine funktionierende und gelebte integrale Planung wird jedenfalls die Baubarkeit (Constructability) des Bauwerks verbessert. Dieser Prozess der Verbesserung der Baubarkeit ist darauf ausgerichtet, die Erbringung der Bauleistung zu erleichtern, die Qualität sicherzustellen, die Arbeitssicherheit und die Produktivität zu verbessern, die Bauzeiten (im Sinne der Vorgabe von normalen Bauzeiten) für alle Beteiligten zu optimieren und Nachbesserungen aufgrund von Mängeln zu vermeiden bzw. zu verringern sowie die Umweltbelastungen zu reduzieren. Besonders die Aspekte der Nachhaltigkeit erfahren dadurch eine umfassendere Berücksichtigung. Diesbezüglich gilt es Anreizsysteme (Erweiterung der Wertschöpfungskette) hinsichtlich des nachhaltigen Planens und Bauens zu forcieren.

5.2 Einsatz von Werkzeugen und Methoden des Chancen- und Risikomanagements in den Projektphasen

In Abb. 5-4 sind für AG und Bieter/AN die fünf Projektphasen dargestellt, sowie Werkzeuge und Methoden des probabilistischen Chancen-Risikomanagements, die das Buch dazu anbietet. Dadurch wird die Orientierung erleichtert und der zielgerichtete Zugriff auf Praxisbeispiele und Informationen ermöglicht.

---

7) Vgl. Lechner (2010), S. 11

8) Denkmethode zur Verbesserung und Weiterentwicklung von Produkten, Aufgaben, Abläufen etc. mit dem Ziel den Wert bzw. den Nutzen bei geringst möglichem Ressourceneinsatz zu optimieren.

9) Bei der integralen Planung wird proaktiv, simultan und interdisziplinär der kreative Prozess mit den Planungsprozessen aller Beteiligten kombiniert. Die Interaktion findet zwischen Bauherrn/Nutzer und Architekten, Tragwerksplaner sowie den Fachleuten der technischen Gebäudeausrüstung statt.

Der systematische Umgang mit Unsicherheiten stellt sowohl für AG als auch für Bieter und spätere AN im Projektverlauf einen essenziellen Bestandteil ihres Chancen-Risikomanagements dar, wobei sich die Bandbreiten im Laufe des Projektfortschritts verringern. Dies ist dadurch begründet, dass sich der Informations- und Wissensstand hinsichtlich der projektspezifischen Daten vergrößert. Während in frühen Projektphasen Erfahrungswerte und Kennzahlen herangezogen werden müssen, kann in späteren Projektphasen auf projektspezifische historische Daten[10)] zugegriffen werden.

Probabilistische Berechnungsverfahren bzw. Werkzeuge und Methoden des Chancen-Risikomanagements können von Auftraggebern und Auftragnehmern in den Projektphasen zur Unterstützung in Analysen, in Kalkulationen im Zuge der Entscheidungsfindung, bei der Kontrolle, im Zuge der Steuerung etc. eingesetzt werden. Bis zur LPH 4 werden kennwertbasierte Analysen durchgeführt. Ab LPH 6 liegen verbindliche Bieterangebote vor.

AG und AN treten außerdem in den unterschiedlichen Phasen mit verschiedenem Informationsstand in das Projekt ein. Auftraggeber müssen besonders in der Projektvorbereitung, Planung und Ausführungsvorbereitung einen höheren Unsicherheitsgrad in den Daten und Informationen systematisch berücksichtigen und trotzdem belastbare Entscheidungen treffen. Der Vorteil liegt allerdings darin, dass Auftraggeber in frühen Projektphasen noch relativ flexibel reagieren und wesentlich in den weiteren Projektverlauf eingreifen können (z.B. Wahl des Bauplatzes, Anforderungen an die Nutzung und Nachnutzung, Wahl von Qualitäten, Wahl der Vergabeart und Vertragsform, Festlegung der Bauzeiten sowie von wichtigen Zwischenterminen).

Erst zu einem späteren Zeitpunkt (i.d.R. in der PPH 3) steigen Auftragnehmer in das Projekt ein und können hier nur noch eingeschränkt auf die vom AG (mehr oder weniger) abgeschlossene Planung (z.B. Tragwerksentwurf, Dimensionen) reagieren. Sie müssen mit den zum Vergabezeitpunkt vorhandenen Vorgaben aus den Ausschreibungsunterlagen auf die zukünftige Art und Kombination ihrer Produktionsfaktoren schließen. Weiters stehen sie vor der Herausforderung, sich meist im Zuge eines intensiven Preiswettbewerbs gegen andere Bieter durchsetzen zu müssen. Das Erkennen von möglichen Chancen- und Risikopotenzialen ist in der Angebotsbearbeitung im Hinblick auf die eigene Kostenkalkulation (Nullkalkulation) essenziell, um einen adäquaten Spielraum für die Preisgestaltung festzulegen. Auftragnehmer analysieren im Rahmen der Angebotserstellung wesentliche Kennzahlen des Bauprojekts, um Rückschlüsse auf den Ressourceneinsatz (Verteilung und Intensität) und den Schwierigkeitsgrad des Bauvorhabens zu ziehen.

[10)] Unter historischen Daten wird dabei ein Datenbestand zu einem bestimmten Zeitpunkt (z.B. Stand zum Betrachtungszeitpunkt, Stand zum Jahresanfang/Monatsbeginn etc.) verstanden (siehe dazu auch Abschnitt 2.4.12).

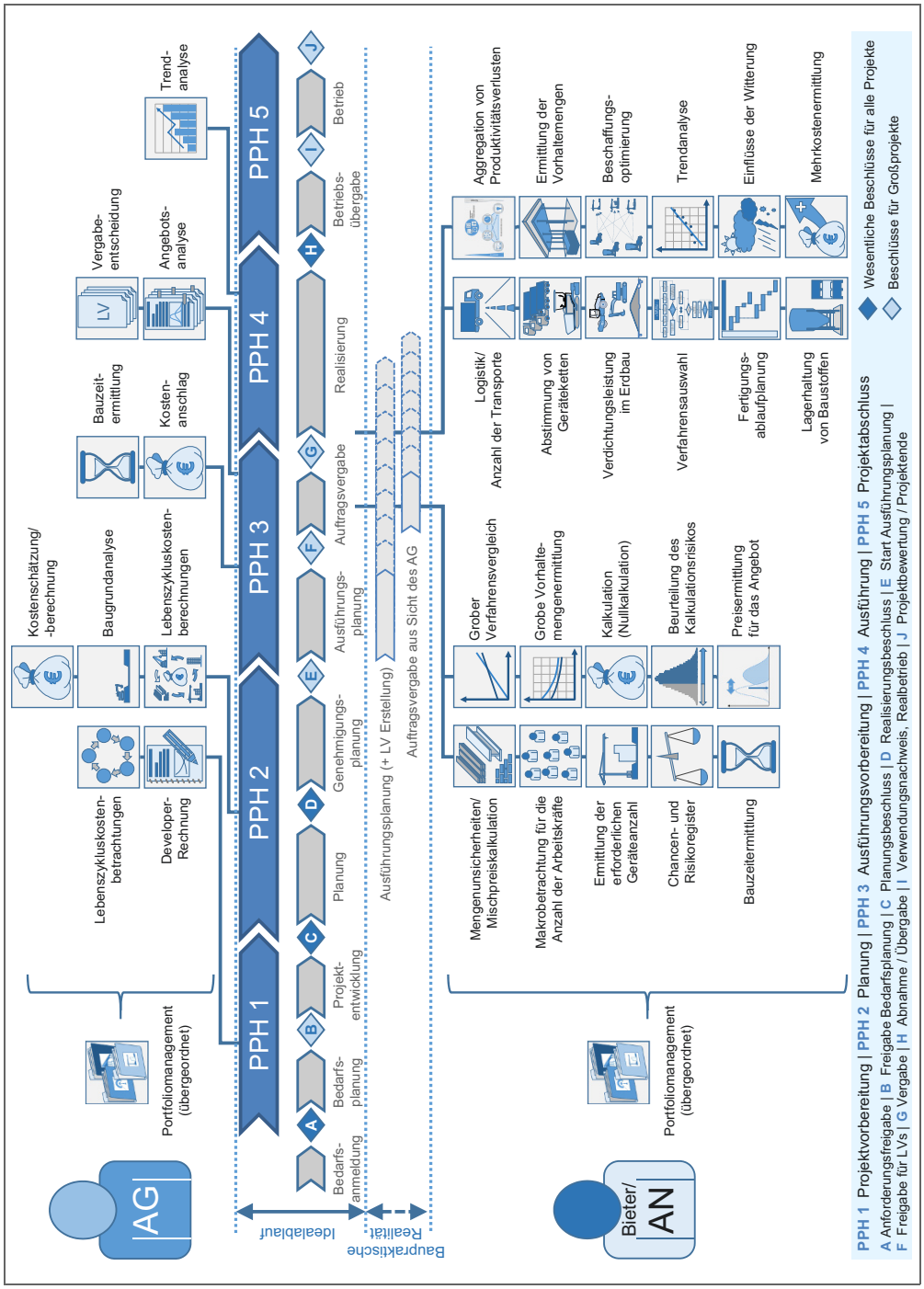


Abb. 5-4 Einsatz von Werkzeugen und Methoden des Chancen-Risikomanagements für AG und AN – Zuordnung zu den Projektphasen

Nach der Angebotsabgabe liegt es wiederum am Auftraggeber die eingelangten Angebote auf Plausibilität und Angemessenheit anhand folgender Fragestellungen zu prüfen:

- Kann im Zuge der Ausführungsplanung evtl. noch auf besonders hohe oder besonders niedrige Einheitspreise in den Angeboten reagiert werden?
- Welche Auswirkungen haben die Angebotspreise auf die Finanzierung des Bauvorhabens und welcher Finanzpuffer wird vom AG eingeplant?
- Kann es durch Mengenänderungen zu einem Bietersturz kommen?

Diese und weitere Fragen sind für den AG entscheidend, um hinsichtlich der eingeplanten Kosten und der vorgegebenen Bauzeit keine negativen Überraschungen zu erleben.

Nach der Zuschlagserteilung beginnt der Auftragnehmer auf Mikroebene (Fertigungsablaufplan, Takteinteilung etc.) sein Produktionssystem entsprechend abzustimmen und zu optimieren. Dies erfolgt immer nach dem Minimalprinzip vor dem Hintergrund der Erbringung der Leistung in der geforderten Qualität und der vereinbarten Bauzeit zu den für den AN geringsten Kosten.

Sowohl Auftraggeber als auch Auftragnehmer führen während der Realisierung (PPH 4) laufend Soll-Ist-Vergleiche durch, um den Projektfortschritt zu kontrollieren und korrigierend eingreifen zu können. In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von Trendanalysen zielführend, da aufbauend auf projektspezifischen Daten eine Vorausberechnung (Prognose) der bis zu einem gewissen Betrachtungshorizont zu erwartenden Entwicklungen durchgeführt werden kann. Trendanalysen können dabei z.B. für Leitmengen, Leistungswerte, Kosten oder Lohnstunden durchgeführt werden. Auch die Ausführungsqualität ist in die Analysen zu integrieren, um zeitnah festzustellen, ob die Auswahl und die Kombination der Produktionsfaktoren weiterhin zur Zielerreichung geeignet sind. Der Vorteil von zeitnahen Soll-Ist-Vergleichen liegt im frühzeitigen Aufzeigen von Abweichungen. Dadurch erfolgt eine rasche Rückkopplung auf Störungen und es können optimale Voraussetzungen für eine proaktive Prozesssteuerung gewährleistet werden.

Übergeordnet ist es für Auftragnehmer entscheidend, eine Gesamtbetrachtung aller aktuell bearbeiteten Projekte (unterschiedliche Projektvolumina, unterschiedliche Chancen-Risikoverhältnisse, unterschiedlicher Projektfortschritt) durchzuführen, um mittel- und langfristig ein Portfolio von Projekten zusammenzustellen. Wird ein langfristiger wirtschaftlicher Erfolg angestrebt, sollte auf ein optimales Mischungsverhältnis der Projektrisiken und -chancen innerhalb des Portfolios geachtet werden. Einzelne Projekte können durchaus als ‚Risiko- oder Prestigeprojekte' in dieses Portfolio aufgenommen werden, um z.B. strategische Ziele des Unternehmens[11)] zu verfolgen. Insgesamt sollte jedoch der Anteil der Chancen größer sein, als jener der Risiken, um längerfristig erfolgreich zu wirtschaften.

Für große öffentliche Auftraggeber, z.B. bei Infrastrukturprojekten, die für eine neue Trassenführung mehrere Teilaufträge in Form von Baulosen ausschreiben, ist ebenfalls ein Portfoliomanagement effektiv, um den Finanzrahmen des Gesamtprojekts einhalten und gegebenenfalls eine Aufteilung in Teilbereiche bzw. Bauabschnitte durchführen zu können.

5.3 Projektvorbereitung (PPH 1)

Die Projektvorbereitung umfasst die Anforderungsfreigabe, die Bedarfsermittlung, die Freigabe der Bedarfsplanung sowie die Projektentwicklung.

[11)] z.B. die Erschließung neuer Märkte

5.3.1 Auftraggeber

In Abschnitt 9.1 wird beispielhaft gezeigt, wie Auftraggeber in der PPH 1 probabilistische Methoden für Projektentwicklungsrechnungen (Developer-Rechnung) einsetzen können. Weiters werden in dieser Phase auch erste Überlegungen hinsichtlich der Lebenszykluskosten angestellt.

5.3.1.1 Developer-Rechnung

Die Errichtung eines Bauprojekts stellt immer eine Investitionsentscheidung des AG dar. Die Bewertung von Grundstücken und/oder Immobilien, die für die Umsetzung von geplanten Bauprojekten dienen, nimmt einen hohen Stellenwert ein und ist mit Unsicherheiten verbunden. Im Vordergrund steht die Bezifferung der Investitionskosten. Als Bewertungsgrundlagen werden dabei z.B. die Grunderwerbskosten, Grundstücksaufbereitung, Baukosten, Baunebenkosten, Projektmanagement-Honorare, Finanzierungskosten etc. berücksichtigt. Hierbei stehen meist mehrere Varianten zur Verfügung, die hinsichtlich ihres Werts und ihrer Eignung für die Realisierung eines geplanten Bauvorhabens verglichen werden müssen.

Die Bewertung kann dabei auf qualitativen und/oder quantitativen Ansätzen beruhen. Werden probabilistische Berechnungsverfahren eingesetzt, können die Investitionskosten verschiedener Varianten einander in Form von Histogrammen gegenübergestellt und hinsichtlich ihres jeweiligen Chancen-Risikoverhältnisses, bezogen auf das veranschlagte Budget bzw. im Hinblick auf die Finanzierungskosten, beurteilt werden.

In Abschnitt 9.1.1 wird dazu beispielhaft eine Developer-Rechnung[12)] zur Bewertung eines zukünftigen Bauprojekts gezeigt, wobei zwei unterschiedliche Varianten miteinander verglichen werden.

5.3.1.2 Lebenszykluskostenbetrachtungen

In der PPH 1 werden bereits erste Überlegungen hinsichtlich der Lebenszykluskosten des geplanten Bauobjekts getroffen. Hierbei stehen besonders die geplante Nutzungsdauer (Lebensdauer), die Erneuerungs- sowie Wartungsintervalle und damit auch die Qualität der Bauausführung sowie der eingesetzten Materialien, der Aufwand für Instandhaltungs- bzw. Wartungsarbeiten und die Kosten für den Betrieb (inkl. laufender Ver- und Entsorgung) im Zentrum der Betrachtungen. In dieser Phase können bereits Vorgaben für die weitere Planung definiert und erste Einschätzungen über Bandbreiten getroffen werden.

In Abschnitt 9.1.2 wird gezeigt, wie die Monte-Carlo-Simulation für die Berechnung des Kapitalwerts eingesetzt werden kann.

---

12) Unter einer Developer- oder Projektentwicklungsrechnung versteht man die zunächst vage, dann immer weiter verfeinerte Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Erstellung eines bestimmten Gebäudes bzw. für dessen Erweiterung. Hierbei bewegt sich der Projektentwickler vielfach im Bereich von Prognosen, sodass derartige Rechnungen mit Unsicherheiten behaftet sind. Vgl. http://www.bwl-institut.ch/?go=lexikon&detail=294. Datum des Zugriffs: 29.09.2016

5.3.2 Auftragnehmer

Auftragnehmer sind in dieser Projektphase in der Regel noch nicht in das Projekt involviert, sofern es sich nicht beispielsweise um Eigenprojekte oder PPP-Projekte handelt. Wenn der AN auch AG-Funktionen übernimmt, können die für den AG angeführten Methoden und Werkzeuge eingesetzt werden.

5.4 Planung (PPH 2)

Nach dem Planungsbeschluss gliedert sich die PPH 2 in die Vorentwurfs- und Entwurfsplanung, den Realisierungsbeschluss, die Genehmigungsplanung und endet mit dem Start der Ausführungsplanung. Für diese Phase werden probabilistische Methoden und Werkzeuge gezeigt, die der AG für die Kostenschätzung/-berechnung, die Baugrundanalyse und die Lebenszykluskostenberechnung einsetzen kann.

5.4.1 Auftraggeber

Mit wachsender Planungstiefe erfolgt auch die Bestimmung der Einzelkomponenten, die dann aus teilweise sehr vielen Elementen zu Bauteilen zusammengefügt werden. Die wachsende Vielfalt der Produkte und die noch unvollständigen Kenntnisse über deren Funktionieren nach dem Zusammenfügen oder Vermischen sowie die zeitliche Abfolge in der Ausführung gestalten die Aufgaben in der Planung zunehmend komplexer.

5.4.1.1 Lebenszykluskostenberechnungen

Lebenszykluskostenberechnungen beinhalten Elemente der Kosten- und Investitionsrechnung. Aufgrund der verschiedenen Entwicklungen im Bereich der Lebenszyklusbetrachtungen gibt es auch entsprechend unterschiedliche Ansätze und Berechnungsmethoden, die für diese weit in die Zukunft reichenden Prognosen angewendet werden. Die Berechnungsergebnisse aus Lebenszykluskostenmodellen liefern Aussagen über die Wirtschaftlichkeit eines Projekts (bei Berücksichtigung aller prognostizierten Ausgaben und Einnahmen).

Auf Basis der Nutzeranforderungen, Planungen bzw. Sanierungsszenarien werden Lebenszyklusmodelle entwickelt und ausgewertet. Sie dienen dabei als Entscheidungs- bzw. Zertifizierungsgrundlage. Grundsätzlich handelt es sich bei Lebenszyklusberechnungen um Kostenerfassungsmethoden, die dazu dienen Zahlungsströme nach ihrer Höhe und dem Zeitpunkt ihres Anfallens zu bewerten. Dabei werden – besonders für längere Betrachtungszeiträume – dynamische Verfahren angewendet. Die Zahlungsströme können durch Diskontierung vergleichbar gemacht werden. Dies ermöglicht eine phasenspezifische Identifizierung und Analyse der Lebenszykluskosten.[13)]

Insbesondere wenn mehrere Ausführungs- und Qualitätsvarianten verglichen werden sollen, bieten sich Lebenszykluskostenberechnungen als Entscheidungsgrundlage an. Sofern die Berechnungen unter Berücksichtigung von Unsicherheiten probabilistisch durchgeführt werden, ist einerseits die steigende Bandbreite der berechneten Kennwerte

[13)] Vgl. Hofstadler (2014c), S. 139ff.

(z.B. Kapitalwert oder Endwert) mit zunehmendem Prognosehorizont sichtbar, andererseits kann das Chancen-Risikoverhältnis für die einzelnen zu untersuchenden Varianten dargestellt werden.

Im Zuge von Lebenszyklusbetrachtungen sollten den Systemgrenzen hinsichtlich der zugrunde gelegten Kosten und der damit in Verbindung stehenden Kostengruppen besondere Beachtung geschenkt werden. Um einen Vergleich verschiedener Investitionsentscheidungen überhaupt zu ermöglichen, ist es notwendig, die gezogenen Systemgrenzen und gewählten Ansätze genau zu betrachten (durch das Herunterbrechen auf funktionale Einheiten wie z.B. €/m² Fassade).

Durch die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation können Unsicherheiten der Berechnungsparameter (besonders von Nutzungsdauern, einmaligen und periodischen Kosten, Erneuerungs- und Wartungsintervallen sowie des angesetzten Zinssatzes aber auch von Einnahmen z.B. aus Mieten oder Mautgebühren) systematisch in Form von Verteilungsfunktionen berücksichtigt werden. Erst aus der probabilistischen Berechnung, die eine kontinuierliche Erhöhung der Streuung mit Vergrößerung des Betrachtungshorizonts zeigt, wird ersichtlich, wie unsicher Aussagen über Lebenszykluskosten in Form einer einzigen Zahl für sehr lange Betrachtungszeiträume sind.

Im Gegensatz dazu führt der Einsatz probabilistischer Verfahren zu einer Ergebnisverbesserung und Erhöhung der Entscheidungssicherheit bei Vorliegen unterschiedlicher Varianten z.B. mit abweichenden Instandhaltungsszenarien und/oder Nutzungsdauern.[14)] Das Praxisbeispiel zur Anwendung der Monte-Carlo-Simulation zur Lebenszykluskostenberechnung folgt in Abschnitt 9.2.1.

5.4.1.2 Baugrundanalyse

Der Baugrund stellt einen der wesentlichsten Risikofaktoren (Baugrundrisiko) bei Bauprojekten sowohl für Auftraggeber als auch für Auftragnehmer dar. Im Zuge der Projektvorbereitung, der Grundlagenermittlung, Planung und Ausschreibung erfolgt die Baugrunderkundung, deren Ergebnisse und Interpretationen die Basis für die Ausschreibung und damit auch für die Preisbildung der Bieter darstellt. Gleichzeitig liegt in dieser Phase auch das zukünftige Chancen-Risikopotenzial für AG und AN begründet. Je genauer die Beschreibungen bzw. die Mengenangaben in der Ausschreibung sind, desto genauer können die Bieter ihre Preise kalkulieren und desto weniger Potenzial für Nachträge ist gegeben.

Beispielsweise ist es für den Aushub einer Baugrube entscheidend, welche Bodenklassen anzutreffen sind bzw. welche Aufteilung zwischen den Bodenklassen vorherrscht. Die Bieter führen ihre Kalkulationen, die sich auf einen bestimmten Einsatz der Produktionsfaktoren beziehen, aufgrund dieser in den Ausschreibungsunterlagen angeführten Angaben durch. Ändern sich in der Ausführung die Mengenverhältnisse der Bodenklassen gegenüber der Ausschreibung, kommt es zu einer Störung des Produktionssystems und auch die Bandbreite der möglichen Kosten ändert sich. In weiterer Folge führt dies zu einer Veränderung des Chancen-Risikoverhältnisses – entweder zugunsten des AG oder des AN.

Je genauer die Erkundung durchgeführt wird und die Mengenverhältnisse der Bodenklassen bereits in der Ausschreibung beziffert werden können, desto weniger Überraschungen ergeben sich in weiterer Folge für Auftraggeber und Auftragnehmer. Allerdings

[14)] Vgl. Hofstadler/Kummer (2015b), S. 755ff.

wird das Budget für Baugrunderkundungen bei den meisten Projekten sehr knapp veranschlagt, um Kosten zu sparen. Dieser falsche Spargedanke führt in der Bauausführung häufig zu Mehrkosten aufgrund von unzutreffenden Baugrundprognosen.

Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation wird in Abschnitt 9.2.2 gezeigt, wie eine ausgewogene Balance zwischen der Intensität und den Kosten einer Baugrunderkundung gefunden werden kann.

5.4.1.3 Kostenschätzung/-berechnung

Obwohl in frühen Projektphasen die Beeinflussbarkeit der Kosten noch relativ groß ist (siehe Abb. 5-3), ist es für AG mit Fortschreiten der Planung wichtig, die zukünftigen Kosten der Bauausführung zu beziffern. Einerseits um im Hinblick auf das zur Verfügung stehende Budget noch korrigierend in die Planung einzugreifen, andererseits um die Finanzierung des Projekts zu konkretisieren und um Chancen-Risikoabschätzungen durchführen zu können.

Zur Berechnung der zukünftigen Baukosten stehen je nach Planungstiefe und Projektfortschritt unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Nutzungs- und bauwerksbezogene Verfahren sind dabei gängig und beruhen auf Kostenkennwerten. Je nach Verfahren, Kenntnisstand und Konkretisierungsgrad kann die jeweilige Betrachtungstiefe verfeinert und ein höherer Detaillierungsgrad erreicht werden.

Im Buch wird gezeigt, wie anhand von Kostenkennwerten aus abgeschlossenen Projekten – die als Bandbreiten angegeben sind – Verteilungsfunktionen definiert und eine probabilistische Kostenberechnung durchgeführt werden kann (siehe Abschnitt 9.2.3).

5.4.2 Auftragnehmer

Auftragnehmer sind in dieser Projektphase (PPH 2) in der Regel noch nicht in das Projekt involviert, sofern es sich nicht beispielsweise um Eigenprojekte oder PPP-Projekte handelt. Wenn der AN auch AG-Funktionen übernimmt, können die für den AG angeführten Methoden und Werkzeuge eingesetzt werden.

5.5 Ausführungsvorbereitung (PPH 3)

Die PPH 3 setzt sich aus der Ausführungsplanung und der Auftragsvergabe zusammen. Im Übergang zwischen diesen beiden Projektelementen liegt das Quality Gate für die Freigabe der Leistungsbeschreibung. Mit der Auftragsvergabe an den/die Auftragnehmer ist diese Phase abgeschlossen.

Ein Projekt erreicht mit der Ausführungsplanung und besonders mit der Ausschreibung eine weitere Konkretisierungsstufe, in der auch die Bieter und späteren Auftragnehmer in den Projektablauf einsteigen. AG treffen in dieser Phase essenzielle Entscheidungen betreffend der Festlegung der Bauzeit, der Erstellung der Leistungsbeschreibung und schließlich der Angebotsanalyse sowie der finalen Auftragsvergabe. Die Bieter stehen in direktem Wettbewerb und müssen meist in kurzer Zeit die ausgeschriebenen Leistungen, die Umstände der Leistungserbringung und den Einsatz sowie die Kombination ihrer Produktionsfaktoren beurteilen und in einem Angebot preislich zusammenfassen.

Für diese Phase werden in Abschnitt 9.3 probabilistische Methoden und Werkzeuge vorgestellt und eingesetzt, die vom AG für den Kostenanschlag, die Bauzeitermittlung und die Analyse der Angebote sowie für die Vergabeentscheidung angewendet werden können. Vom AN können die Monte-Carlo-Simulationen für die Berücksichtigung von Mengenunsicherheiten, die Makrobetrachtung der Anzahl an Arbeitskräften, die Ermittlung der erforderlichen Geräteanzahl, die grobe Bewertung von Chancen und Risiken mit Hilfe eines Chancen-Risikoregisters, die Bauzeitermittlung, den groben Verfahrensvergleich, die Bewertung von Vorhaltemengen, die Kalkulation sowie Beurteilung des Kalkulationsrisikos und die Preisermittlung für das Angebot eingesetzt werden (siehe Abschnitt 10.3).

5.5.1 Auftraggeber

Für die Auftraggeber ist es hinsichtlich der Einhaltung der Projektziele sehr ratsam, widerspruchsfreie und mengensichere Leistungsverzeichnisse zu verfassen. Damit tragen sie wesentlich zu einer verursachungsgerechten Kalkulation der Bieter bei und reduzieren das Spekulationspotenzial in den eingehenden Angeboten.

Nach der formalen und fachlichen Prüfung der Angebote folgt die rechnerische Analyse, die hier in zwei Stufen gegliedert ist:

- Die erste Stufe der Angebotsprüfung hat das primäre Ziel festzustellen, ob sich bei Mengenänderungen Veränderungen in der Reihenfolge der Bieter ergeben (Sensitivitätsanalyse). Zusätzlich werden die Angebote auf Rechen- und/oder Formalfehler sowie andere Ausschlussgründe hin geprüft.
- Die zweite Stufe zielt auf die vertiefte Angebotsprüfung des Billigst-/Bestbieters ab.

5.5.1.1 Kostenanschlag

Der Kostenanschlag dient als Kostenvorgabe für die Auftragsvergabe und als Basis für die Kostenkontrolle (Soll-Ist-Vergleich mit der Kostenberechnung). Er bildet die Grundlage für die Entscheidung über die Ausführungsplanung und die Vorbereitung der Vergabe. Es handelt sich um die Kostenermittlung vor der Ausgabe der LVs. Er wird auf Basis der Ausführungsplanung, der Leistungsbeschreibung und des Ausführungsterminplans erarbeitet.

Anhand eines Beispiels (Abschnitt 9.3.1) wird gezeigt, wie die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Berechnung des Kostenanschlags unter Einsatz von Monte-Carlo-Simulationen erfolgt. Die intensive Analyse mit den etwaigen Bandbreiten der Positionspreise bietet die Chance noch Korrekturen im Leistungsverzeichnis vorzunehmen, bevor die Ausschreibung zur Veröffentlichung kommt. Der AG bekommt bereits vor der Angebotsöffnung einen Überblick über mögliche Bandbreiten der Angebotspreise.

Die anhand der Simulation erzeugten Histogramme für die Preise dienen in weiterer Folge der Angebotsprüfung. Damit kann beispielsweise die Beurteilung erfolgen, ob die Angebote der Bieter plausibel sind bzw. welche Chancen-Risikoverhältnisse bei den angebotenen Preisen vorliegen.

5.5.1.2 Bauzeitermittlung

Die Bauzeit hat nicht nur entscheidenden Einfluss auf die wirtschaftliche Ausführung der Bauarbeiten, sondern insgesamt auf den Projekterfolg des Auftraggebers. Dem Bauherrn gereicht es meist nicht zum Vorteil, wenn er für das Bauprojekt eine kurze oder gar extrem kurze Bauzeit vorgibt.

Die vom AG vorgegebene Bauzeit stellt daher eine wesentliche Rahmenbedingung für die Ausführung und damit für den Einsatz der Produktionsfaktoren der Bieter bzw. späteren AN dar. Indirekt wird mit der Bauzeitvorgabe durch den AG auch vorbestimmt, ob alle gesteckten und in weiterer Folge vereinbarten Projektziele überhaupt erreichbar sind. Sollen besonders hohe Qualitätsansprüche (z.B. hohe Sichtbetonanforderungen, wasserundurchlässige Bauwerke) erfüllt werden, müssen entsprechende zeitliche Kapazitäten eingeplant werden.

Die erzielbare Produktivität wird wesentlich von der festgesetzten Bauzeit beeinflusst. Wird von der normalen Bauzeit abgewichen, ist besonders bei zu kurzer Bauzeit das wirtschaftliche Gleichgewicht der Produktionsfaktoren gestört. Auch bei einer zu langen Bauzeit tritt eine Störung des Gleichgewichts auf, allerdings mit geringeren Auswirkungen. Davon sind neben den elementaren Produktionsfaktoren (Arbeitskräfte, Stoffe, Maschinen und Geräte) auch die dispositiven (Projektleiter, Bauleiter, Techniker etc.) betroffen. Faktum ist, dass sich besonders zu kurze Bauzeitvorgaben erhöhend auf die Baukosten auswirken.

Im Buch wird in Abschnitt 9.3.2 gezeigt, wie im Zuge einer Grobbetrachtung und unter Berücksichtigung von Anlaufphase, Hauptbauzeit und Auslaufphase (Trapezmodell), der AG die normale Bauzeit für sein Projekt ermitteln kann.

5.5.1.3 Angebotsanalyse

Nachdem die Angebote der Bieter abgegeben wurden, liegt es am Auftraggeber eine Reihung der Bieter (nach dem Billigst- bzw. Bestbieterprinzip) vorzunehmen und schließlich den Auftrag zu vergeben. Ist eine vertiefte Angebotsprüfung durchzuführen, muss der Auftraggeber die Plausibilität der Angebotspreise prüfen.

Im Zuge der vertieften Angebotsprüfung hat der Auftraggeber festzustellen, ob die Preise plausibel und angemessen sind. Bei Einheitspreisverträgen werden dazu die Anteile Lohn und Sonstiges überprüft. Als Basis dafür dienen die Kalkulationsgrundlagen die beispielsweise in Österreich in den Kalkulationsformblättern (K-Blättern) angeführt sind.

Es stellt sich hier die wesentliche Frage, wie Angebote hinsichtlich auskömmlicher, plausibler und nachvollziehbarer Preise systematisch sowie baubetrieblich, bauwirtschaftlich und rechtlich einwandfrei geprüft werden können.

In Abschnitt 9.3.3 wird der Einsatz einer probabilistischen Berechnungsmethode gezeigt und wie damit der Nachweis von ‚Unter-Aufwandswerten' gelingt. Als Praxisbeispiel wird die vertiefte Angebotsprüfung für Bewehrungsarbeiten herangezogen.

5.5.1.4 Vergabeentscheidung

Die gewissenhafte Überprüfung des Leistungsverzeichnisses und der sonstigen Ausschreibungsunterlagen, inwiefern sich die fiktive Bieterreihenfolge (es werden Preise für das Leistungsverzeichnis für unterschiedliche Szenarien angenommen) bei bestimmten

Mengenänderungen verschieben kann, ist vor der Freigabe der Ausschreibungsunterlagen durchzuführen. Bei Vorliegen diesbezüglicher Mängel im Leistungsverzeichnis, steht einer rechtzeitigen Behebung nichts im Wege.

Werden Mängel (wie z.B. Unvollständigkeiten, Widersprüche) im Leistungsverzeichnis übersehen, kann es zu einem Bietersturz und in manchen Fällen zu einer massiven Erhöhung der Angebotssumme bzw. der Abrechnungssumme kommen.

Weiters ist bei öffentlichen Auftragsvergaben zu prüfen, ob bestimmte Grenzwerte (Schwellenwerte) des Auftragswerts über- bzw. unterschritten werden und damit nationale (regionale) oder EU-weite Verfahren zur Vergabe von Leistungen anzuwenden sind.

Im Zuge des Vergabeverfahrens ist unter Berücksichtigung der abgegebenen Angebote zu prüfen, ob es durch Mengenänderungen zu einem Bietersturz kommen kann und wie groß das Risiko eines solchen ist (siehe Abschnitt 9.3.4). Bei mangelhaften Leistungsverzeichnissen fällt bei der Prüfung meist auf, dass für Spekulationen die Preise für jene Positionen sehr niedrig sind, bei denen vermutet wird, dass sie später nicht oder nur in geringem Ausmaß zur Ausführung gelangen und umgekehrt Positionen mit geringen Ausschreibungsmengen und hohen Einheitspreisen verstärkt notwendig werden. Solchen Spekulationen kann nur durch fachliche und mengenmäßig richtige Ausschreibungen Einhalt geboten werden.

5.5.2 Auftragnehmer

Die Auftragnehmer treten in der PPH 3 als Bieter auf. In Abhängigkeit von der individuellen Notwendigkeit den Auftrag zu erhalten, gestaltet sich die Intensität der Analyse der Ausschreibungsunterlagen und der Kalkulation. Die Bieter müssen Überlegungen und Entscheidungen hinsichtlich der geforderten Leistungen (Qualitäten und Quantitäten – Eigenleistung oder Nachunternehmerleistung), der vorgegebenen Bauzeit, dem Einsatz und der Kombination der Produktionsfaktoren sowie der Preisbildung, unter Berücksichtigung des Wettbewerbs sowie des Marktes, treffen.

5.5.2.1 Mengenunsicherheiten/Mischpreiskalkulation

Weisen die Mengenangaben des AG vom Bieter identifizierte Mängel auf, kann im Zuge der Preisermittlung strategisch vorgegangen werden und in den einzelnen Positionen – innerhalb der Plausibilitätsgrenzen – ein höherer oder niedrigerer Preis angeboten werden. Das Ausmaß von zulässigen Mengenänderungen innerhalb der normativen Vorgaben (z.B. in Österreich lt. ÖNORM B 2110:2013: +/- 20 % Mengenänderung je Position[15)]) muss vom AN in seiner Nullkalkulation berücksichtigt werden. Schließlich hat die auszuführende Menge auch wesentlichen Einfluss auf den Einsatz und die Kombination der Produktionsfaktoren – dies gilt besonders bei der Kombination unterschiedlicher Leistungen vermischt in einer Position.

Die Mischpreiskalkulation wird durch den Ausschreibenden dann veranlasst, wenn Leistungen unterschiedlicher Bauteile, Gewerke, Bodenarten, Stabdurchmesser etc. die eine variierende Art und Kombination der Produktionsfaktoren bedingen, in einer Position zusammengefasst werden. Sie ist dann erforderlich, wenn für den Einsatz der Produktionsfaktoren aus unterschiedlichen kalkulatorischen Ansätzen ein Einheitspreis gebildet wird. Der Auftraggeber kann jedoch trotz der Ausschreibung von Mischpreispositionen die

15) Vgl. ÖNORM B 2110:2013, S. 28f.

Voraussetzungen für eine sachgerechte Kalkulation des AN liefern und zwar durch die Offenlegung der Kalkulationsgrundlagen (z.B. Mischungsverhältnis der Mengenanteile).[16)]

Wesentlich ist dabei das Mischungsverhältnis (z.B. Bodenklassen, Bewehrungsdurchmesser, Biegeformen) der jeweiligen Komponenten der Mischpreisposition. Werden solche grundlegenden Informationen nicht in den Ausschreibungsunterlagen an die Bieter weitergegeben, müssen diese selbst Annahmen treffen.

Besonders zur Wahl des Mischungsverhältnisses bieten sich probabilistische Berechnungen an, da damit unterschiedliche Zusammensetzungen der einzelnen Anteile der Mischpreisposition systematisch berücksichtigt werden können. Im Buch wird in Abschnitt 10.3.1 die Mischpreiskalkulation für das Bewehren mit Stabstahl unterschiedlicher Kaliber und Biegeformen gezeigt.

5.5.2.2 Makrobetrachtung für die Anzahl der Arbeitskräfte

Die Anzahl der einzusetzenden Arbeitskräfte hat nicht nur Auswirkungen auf die Baustelleneinrichtung (Anzahl der Container, Parkplätze, Sanitäreinrichtungen etc.), sondern wirkt sich auch direkt auf die Anzahl der erforderlichen Leitgeräte (z.B. im Hochbau auf die Anzahl der Krane) aus. Aus der vom AG vorgegebenen Bauzeit [d] und der herzustellenden Leitmenge [MEH] (z.B. m³ Stahlbeton) kann die durchschnittliche tägliche Leistung [MEH/d] und in weiterer Folge (nach Wahl der täglichen Arbeitszeit [h/d] und Ermittlung des mittleren Aufwandswerts [Std/MEH]) die mittlere Anzahl an Arbeitskräften (als Durchschnittswert über die gesamte Bauzeit) berechnet werden (Praxisbeispiel siehe Abschnitt 10.3.2). Für die Wahl der Anzahl an Geräten und auch für die Dimensionierung der sonstigen Baustelleneinrichtungselemente ist aber die maximale Anzahl an Arbeitskräften zu ermitteln. Diese wird durch Anwendung eines Trapezmodells, welches die gesamte Bauzeit in eine Anlaufphase, die Hauptbauzeit und eine Auslaufphase gliedert, ermittelt.

Bei dieser Vorgehensweise handelt es sich um eine Makrobetrachtung. Diese muss gegebenenfalls für einzelne Leistungen oder Fertigungsabschnitte jeweils im Hinblick auf Quellen von Produktivitätsverlusten (z.B. Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche, optimale Gruppengrößen, optimale Gruppenzusammensetzung) im Detail betrachtet werden.

5.5.2.3 Ermittlung der erforderlichen Geräteanzahl

Gerätekapazitäten stellen eine Basiskomponente des Produktionssystems dar (neben Arbeit und Material) und sind möglichst in ausreichendem Ausmaß auf der Baustelle zur Verfügung zu stellen. Schlüsselgeräten kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da sie wesentlicher Bestandteil für das reibungslose Zusammenwirken der Produktionsfaktoren darstellen. Im Hochbau bilden die Krane ein solches Schlüsselgerät, da damit ein Großteil der horizontalen und vertikalen Transportvorgänge abgewickelt wird. Bestimmt wird die Anzahl der Krane neben geometrischen und örtlichen Rahmenbedingungen (z.B. Überschwenkverbote, Anzahl und Größe geeigneter Aufstellflächen) auch von der Anzahl der zu bedienenden Arbeitskräfte. Im Stahlbetonbau beeinflusst zudem auch noch die Art des Betonierverfahrens, die Anzahl der Arbeitskräfte, die je Kran bedient werden können.

16) Vgl. Hofstadler/Kummer (2015a), S. 53

Unter anderem kann die Bestimmung der Anzahl an Kranen auch über Kranbelegungswerte erfolgen. In Abschnitt 10.3.3 wird die Berechnung der Anzahl an erforderlichen Kranen sowohl über die Anzahl der Arbeitskräfte als auch unter Anwendung der Kranbelegungswerte gezeigt und die Ergebnisse miteinander verglichen.

5.5.2.4 Chancen-Risikoregister

Im klassischen Risikomanagement werden Risiken oft anhand der ‚Praktikermethode' durch die einfache Gleichung „Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit * Konsequenz" (siehe Abschnitt 2.1.2) bewertet und anschließend die Summe dieser Risiken gebildet. Diese Vorgangsweise dient dazu, Entscheidungen über den weiteren Umgang mit den identifizierten Risiken zu treffen und gegebenenfalls Maßnahmen der Risikobewältigung (Vermeidung, Minderung, Diversifikation, Transfer oder Akzeptanz) einzuleiten. Die Praktikermethode basiert dabei auf einem möglichst umfassenden Risikoregister (Sammlung möglicher Einzelrisiken), welches ständig überarbeitet, aktualisiert und erweitert werden sollte. Chancen bleiben in der klassischen Anwendung dieser Methode meist unberücksichtigt.

Neben der reinen Fokussierung auf Risiken ist bei der Praktikermethode der Umstand, dass die Bewertung der Konsequenzen durch einzelne (deterministische) Zahlenwerte erfolgt, als kritisch aufzufassen. Weiters wird bei der Praktikermethode immer das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit [%] und Konsequenz (z.B. Kosten in [€]) gebildet. Diese bilden nur einen Teilaspekt des tatsächlichen Schadens ab, der bei einem Risikoeintritt erwartet wird, und kann zu Fehlinterpretationen der Ergebnisse führen.

Mit Hilfe von probabilistischen Berechnungsverfahren wird eine deutliche Ergebnisverbesserung erzielt und eine realitätsnahe Darstellung über die möglichen Kombinationen der identifizierten Risiken geliefert.

Das Anwendungsbeispiel in Abschnitt 10.3.4 wird um die Betrachtung der Chancen erweitert. Die Methodik kann von AG und AN in gleicher Weise zur groben Bewertung von Chancen und Risiken herangezogen werden.

5.5.2.5 Bauzeitermittlung

Die für ein Bauprojekt vertraglich vorgegebene Bauzeit sowie die fixierten Zwischentermine haben großen Einfluss auf die Planungs- und Realisierungsprozesse. Neben der rechtlichen Relevanz ist besonders die baubetriebliche und bauwirtschaftliche Bedeutung hervorzuheben. Durch die Bauzeit werden die Teilqualitäten und die Gesamtqualität sowie auch die Anzahl der Bauablaufstörungen und damit das Potenzial für Mehrkostenforderungen beeinflusst.

Hat der AN die Anzahl der Arbeitskräfte sowie die Anzahl der erforderlichen Schlüsselgeräte und die Mengenunsicherheiten in seinen Überlegungen konkretisiert bzw. die damit verbundenen Unsicherheiten in Form von Verteilungsfunktionen modelliert, kann die aus seiner Sicht ‚normale' Bauzeit[17)] ermittelt werden. Als Basis dient der geplante Ressourceneinsatz ohne Auftreten von Produktivitätsverlusten. Bei sozio-technischen Systemen wird die in der Bauausführung erzielbare Produktivität durch die optimale Abstimmung der Arbeitskräfte mit den Geräten bestimmt.

[17)] Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Arbeitskräfte und die Anzahl der Geräte, welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte um 10 % unterschreiten. Vgl. Hofstadler (2014a), S. 57

Zur Veranschaulichung des Begriffs der normalen Bauzeit wird im Buch die Kombination der Arbeitskräfteanzahl mit der Anzahl an Kranen betrachtet (siehe dazu in Abschnitt 8.6.2.2). Die Wechselwirkung zwischen diesen beiden Parametern drückt der Kranproportionalitätsfaktor aus, der angibt wie viele Arbeitskräfte durch einen Kran maximal bedient werden können, ohne dass Produktivitätsverluste aufgrund zu geringer Krankapazität entstehen.[18)] Das damit ermittelte Histogramm für die normale Bauzeit aus der Sicht des AN kann in weiterer Folge der deterministischen Bauzeitvorgabe des AG gegenübergestellt und das entsprechende Chancen-Risikoverhältnis bestimmt werden.

In Abschnitt 10.3.5 wird gezeigt, wie die Monte-Carlo-Simulation für die Ermittlung der normalen Bauzeit aus der Sicht der AN eingesetzt werden kann.

5.5.2.6 Grober Verfahrensvergleich

Im Zuge der Angebotsbearbeitung sind für die Grobplanung der Hauptleistungen Bauverfahren auszuwählen, mit denen es zum Betrachtungszeitpunkt möglich scheint, das Bau-Soll hinsichtlich Zeit, Kosten, Qualität und Quantität zu erfüllen. Vergleichswerte von vergangenen Projekten bilden erste Anhaltspunkte für die Verfahrenswahl. Wichtig ist hier, dass die Leistungsbeschreibung dahingehend analysiert wird, welche Bauverfahren aufgrund des Bauvertrags (z.B. fugenloses Bauwerk) oder der spezifischen Grund- und Aufrissgestaltung auszuschließen sind. Die Auswahl eines später nicht einsetzbaren Bauverfahrens kann zu falschen Annahmen für die Terminplanung bzw. für die Bewertung der vorgegebenen Bauzeit sowie für die Angebotskalkulation führen.

Anhand von kalkulatorischen – oder besser differenzierten[19)] – Verfahrensvergleichen werden z.B. das effizienteste Deckenschalungssystem und die optimale Anzahl an Fertigungsabschnitten für das jeweilige Projekt ermittelt. Aus diesen Untersuchungen ergeben sich die prognostizierten Kosten je m² Deckenschalung.

Anhand des gewählten Bauverfahrens werden unter Berücksichtigung der bereits erkennbaren Einflüsse aus den spezifischen Bauwerks- und Baustellenbedingungen die Größenordnungen für Aufwands- und Leistungswerte abgeleitet.

In Abschnitt 10.3.6 wird anhand eines Praxisbeispiels gezeigt, wie die Monte-Carlo-Simulation zur Auswahl des wirtschaftlichsten Schalungssystems eingesetzt werden kann. Im Beispiel erfolgt der Vergleich zwischen einem Schalungssystem ohne (Trägerschalung) und einem mit Grund- und Demontage (Deckentische).

5.5.2.7 Grobe Vorhaltemengenermittlung

Bei den Stahlbetonarbeiten haben besonders bei Bauwerken mit einem hohen Schalungsanteil (Schalungsgrad > 4 m²/m³) die Schalarbeiten einen maßgeblichen Anteil an den Kosten. Auftragnehmer sind bestrebt die Vorhaltemenge an Schalung gering zu halten, um damit die Geräte- und Materialkosten auf einem niedrigen Niveau zu halten. Die Bauzeit hat auf die Ermittlung der Vorhaltemenge einen wesentlichen Einfluss. Je kürzer die Bauzeit, desto höher die erforderliche tägliche Schalungsleistung und desto größer wird die Vorhaltemenge.

[18)] Werden zu wenige Arbeitskräfte je Kran eingesetzt (der Kran ist nicht ausgelastet), sind Verluste in der Geräteproduktivität zu erwarten (z.B. durch nicht genutzte Krankapazität entstehen Leerkosten).

[19)] Bewertung und Vergleich technischer, wirtschaftlicher und organisatorischer Aspekte.

Anhand eines realisierten Bauwerks wird in Abschnitt 10.3.7 gezeigt, wie die Monte-Carlo-Simulation bei der Berechnung der Vorhaltemenge angewendet wird. Als Basis dazu dient ein Diagramm, in dem der Zusammenhang zwischen der Bauzeit (mit den Kategorien: extrem kurz, sehr kurz, kurz, normal, lang; Erklärungen dazu siehe in Abschnitt 8.6.2.1) und dem Bedarf an Vorhaltemenge dargestellt ist. Aus dem Histogramm sind als Ergebnis verschiedene, wählbare Prozentsätze für die Vorhaltemenge dargestellt. Die Prozentsätze werden in weiterer Folge auf die gesamte Schalungsfläche angewendet. Für den in weiterer Folge gewählten Prozentsatz an Vorhaltemenge ist das damit erzielte Chancen- und Risikoverhältnis ersichtlich. Mit der ermittelten Vorhaltemenge können in weiterer Folge die Gerätekosten der Schalung errechnet werden.

5.5.2.8 Kalkulation (Nullkalkulation)

Im Rahmen der Angebotsbearbeitung müssen die Bieter zunächst die Ausschreibungsunterlagen analysieren, Überlegungen zum Ressourceneinsatz und der vorgegebenen Bauzeit treffen und schließlich die Kosten für die zu erbringenden Leistungen kalkulieren. Dazu empfiehlt sich zunächst eine ‚Nullkalkulation'[20], bei der kostendeckende Preise ohne spekulative Elemente berechnet werden.

Die Art der Leistungen, die Umstände der Leistungserbringung, die Mengen und Qualitäten sowie die vom AG vorgegebene Bauzeit in Zusammenschau mit der Baustelleneinrichtung, der Bauablaufplanung und Logistik sowie dem Einsatz und der Kombination der Produktionsfaktoren sind bestimmende Faktoren für die Höhe der Kosten und in weiterer Folge der Preise. Der Bauherr beeinflusst durch die Vorgabe der Bauzeit maßgeblich die Kosten und damit auch die Preisbildung der Bieter bzw. späteren AN. Bei der Vorgabe zu kurzer oder zu langer Bauzeiten (Grenzwerte für den produktiven Einsatz von Geräten und/oder Arbeitskräften sind über- bzw. unterschritten) verringert sich die Produktivität und die Kosten steigen. Ob diese höheren Kosten sich auch in der Preisbildung widerspiegeln, hängt zunächst davon ab ob die Bieter die zu kurze oder zu lange Bauzeit überhaupt erkennen und schließlich ob die höheren Kosten im Zuge des Wettbewerbs durchgesetzt werden können.

Die Betrachtungen sind für Lohn und Sonstiges (Geräte- und Materialkosten) getrennt durchzuführen. Die Lohnkosten folgen aus dem Produkt der Aufwandswerte [Std/MEH] und den jeweiligen Mittellohnkosten je Lohnstunde. Aufwandswerte[21] können dabei jedenfalls, wie in Abschnitt 5.5.1.3 erläutert wurde, nicht über ein realistisches Maß reduziert werden. Die Reduktionen sind dann nur über die Steigerung der Stoff- und Betriebsmittelproduktivität möglich:

- Bei den Gerätekosten ist zu eruieren, ob beispielsweise die Kosten für Hebezeuge und Gerüste in einzelnen Positionen zu berücksichtigen oder als Pauschale in die Baustellengemeinkosten einzurechnen sind. Oder ob für das Vorhalten und Einrichten der Geräte sogar eigene Positionen im Leistungsverzeichnis vorgesehen sind, also ob diese nicht einfach pauschal mit den Baustellengemeinkosten abgerechnet werden sondern als separate Positionen.
- Die Materialkosten können besonders bei länger andauernden Baustellen Schwankungen des Marktpreises ausgesetzt sein, die über (oder auch unter) dem Maß der Indexanpassung liegen.

[20] Vgl. Oberndorfer/Jodl et al. (2001), S. 36

[21] Werden Aufwandswerte im Zuge der Angebotskalkulation zu niedrig angesetzt, muss der AN dafür die daraus entstehenden höheren Kosten tragen.

Nur mit der Kenntnis der tatsächlich zu erwartenden Kosten und den damit verbundenen Unsicherheiten können Bieter die Chancen und Risiken, die sie mit ihren Angeboten eingehen, beziffern und in ihre Entscheidungsfindung integrieren.

Anhand der Kalkulation der Kosten für die Stahlbetonarbeiten wird in Abschnitt 10.3.8 für ein Praxisbeispiel die Monte-Carlo-Simulation eingesetzt. Das mit der Simulation erzeugte Histogramm für die Kosten dient als Entscheidungsgrundlage für die darauf aufbauende Preisermittlung. Je nach Höhe des gewählten Preisniveaus, in Abhängigkeit von der Wettbewerbssituation sowie der Marktverhältnisse und der Notwendigkeit den Auftrag zu erhalten, wird für Bieter anhand des Histogramms ersichtlich, welches Chancen-Risikoverhältnis sie mit ihren Angeboten eingehen.

5.5.2.9 Beurteilung des Kalkulationsrisikos

Für die erfolgreiche Akquisition eines Auftrags ist meist der Angebotspreis maßgebend (Billigstbieterprinzip). Basierend auf der Durchführung der probabilistischen Kostenermittlung (Nullkalkulation, siehe Abschnitt 10.3.8) stellt sich im Zuge der Preisgestaltung die Frage, welches Kalkulationsrisiko der Bieter mit seinem Angebot eingeht bzw. eingehen kann/soll. Die Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses sowie der Einfluss von Zuschlägen und Nachlässen auf dieses Verhältnis stehen dabei im Zentrum der Betrachtungen.

Anhand des Beispiels (siehe Abschnitt 10.3.9) wird gezeigt, wie sich die Lage des Angebotspreises auf das Chancen- und Risikoverhältnis auswirkt. Der Bieter bzw. spätere Auftragnehmer kann nur dann abschätzen welches Risiko er mit seinem Angebot eingeht, wenn er die Bandbreite der möglichen Kosten (auf Basis der Nullkalkulation) kennt. Anhand der Verteilung lässt sich das Verhältnis zwischen Chancen und Risiken ableiten und mittels Histogrammen grafisch darstellen. Sowohl für die interne Kommunikation über Unsicherheiten als auch für die externe Kommunikation gegenüber dem AG oder anderen AN bieten sich die Histogramme an, um das mögliche Ergebnisspektrum plakativ zu vermitteln. Auch die Bewertung pauschaler Nachlässe oder Zuschläge ist anhand dieser Systematik möglich.

5.5.2.10 Preisermittlung für das Angebot

Die Erstellung des Angebots bzw. die finale Preisermittlung erfolgt auf Basis der Nullkalkulation und wird durch strategische Überlegungen und das Marktpreisniveau bestimmt. Weiters sind die Vorgaben der Chancen-Risikopolitik des Unternehmens sowie übergeordnete Betrachtungen des Gesamtportfolios der aktuell ausgeführten Projekte in die Entscheidung über die Angebotssumme und das damit verbundene Chancen-Risikoverhältnis zu integrieren. Liegt eine probabilistische Kostenermittlung vor, können auch die Auswirkungen eines pauschalen prozentuellen Preisnachlasses auf das eingegangene Chancen-Risikoverhältnis direkt ermittelt werden. Der Einfluss eines solchen Preisnachlasses hängt im Wesentlichen von der Streuung und der Form (Schiefe) der ermittelten Kostenverteilung ab.

Im Buch wird in Abschnitt 10.3.10 gezeigt, welche Möglichkeiten die Bieter im Zuge der Preisbildung haben, um die Einflüsse der herrschenden Marktverhältnisse und des Wettbewerbs zu berücksichtigen. Für den letztendlich gewählten Angebotspreis wird das dafür gegebene Chancen- und Risikoverhältnis dargestellt.

5.6 Ausführung (PPH 4)

Die PPH 4 umfasst die Realisierung der ausgeschriebenen und vergebenen Leistungen und wird durch deren Abnahme bzw. Übergabe beendet. Für die Auftragnehmer stellt diese Phase in der Regel die wichtigste und intensivste Phase dar. Sie bindet die meisten Ressourcen und bietet das größte Optimierungspotenzial. Weiters dreht sich in dieser Phase das Verhältnis über das vorhandene Projektwissen um. Während bis zur Vergabe der Auftraggeber einen Informationsvorsprung gegenüber den Bietern bzw. späteren AN hat, gewinnt der Auftragnehmer mit fortschreitender Ausführung immer mehr Informationen über die Umstände der Ausführung und das Projekt selbst.

5.6.1 Auftraggeber

Während der Bauausführung hat der AG insbesondere überwachende und kontrollierende Aufgaben. Zur Wahrung der Projektziele kann er noch während der Bauausführung regulierend und steuernd in die Realisierung eingreifen. Der Nutzen von laufend durchgeführten Soll-Ist-Vergleichen kann dabei durch den Einsatz von Trendanalysen und Prognoseverfahren deutlich gesteigert werden.

5.6.1.1 Trendanalysen

Jeder Bauausführung geht eine Planung in Bezug auf den Soll-Ablauf voraus. Dieser Soll-Ablauf bezieht sich in der Regel auf aussagekräftige Bezugsgrößen (z.B. Mengen, Lohnstunden, Kosten), die über die Projektdauer einen bestimmten Verlauf aufweisen. Die Darstellung erfolgt dazu meist als Summenkurve, die nach Ablauf der Projektdauer einen Fertigstellungsgrad von 100 % erreicht. Als projektbegleitende Kontrollinstanz für die Zielerreichung bzw. die Erfüllung des geplanten Ablaufs werden Soll-Ist-Vergleiche durchgeführt. Dazu ist es erforderlich, in regelmäßigen Abständen (je kürzer desto aussagekräftiger) Ist-Daten zu erheben und dem geplanten Soll (auch dem Sollte-Verlauf für das Anti-Claimmanagement) gegenüberzustellen. Wichtig ist dabei die Abgrenzung der erhobenen Daten für den jeweiligen Betrachtungsgegenstand (z.B. Abgrenzung von Zusatzleistungen, Lohnstunden anderer Gewerke oder Unternehmen, Abgrenzung zwischen unterschiedlichen Bauwerksteilen).

Die singuläre Gegenüberstellung des geplanten und des tatsächlichen Fortschritts lässt keine verlässlichen Aussagen über zukünftige Entwicklungen zu. Durch die Anwendung von Trendanalysen können hingegen die aufgezeichneten Ist-Werte bzw. die jeweiligen Fortschrittszuwächse zwischen den Zeitpunkten der Datenerhebungen in Verteilungsfunktionen übergeführt und Prognosen für die Zukunft erstellt werden. Eine Differenzierung in Anlaufphase, Hauptbauzeit und Auslaufphase ist dabei sinnvoll und zielführend, da in den jeweiligen Phasen mit unterschiedlichen Leistungen zu rechnen ist (unterschiedlicher Ressourceneinsatz). Je mehr Datenpunkte aus dem Ist vorliegen und je kürzer der Prognosehorizont gewählt wird, desto zuverlässiger sind die wahrscheinlichkeitstheoretischen Aussagen.

Mit der Trendanalyse können Chancen-Risikoverhältnisse einerseits über den Projektfortschritt bis zu einer bestimmten Dauer angegeben werden, andererseits lässt sich die Zeit bis zum Erreichen eines bestimmten Fertigstellungsgrads ermitteln.

Für AG bieten sich z.B. Trendanalysen auf Basis der erbrachten Lohnstunden an, da diese direkt aus den vorgelegten Bautagesberichten der AN abgeleitet werden können. Die verbrauchten Lohnstunden je Zeiteinheit werden mit den erwarteten Gesamt-Lohnstunden in Relation gesetzt. Anhand dieser Daten können belastbare Prognosen durchgeführt werden. Weiters sind auf Basis des verbauten Brutto-Rauminhalts oder der eingebauten Betonmenge jeweils bezogen auf eine bestimmte Zeiteinheit (Woche, Arbeitstag etc.), Trendanalysen durchführbar. Auch anhand der abgerechneten Leistungen kann daraus geschlossen werden, ob das Budget und auch die Bauzeit eingehalten werden.

In Abschnitt 9.4.1 wird gezeigt, wie der AG Monte-Carlo-Simulationen für die Fortschrittsprognosen zielsicher einsetzen kann.

5.6.2 Auftragnehmer

Während der Bauausführung trachten AN ständig danach ihr Produktionssystem zu optimieren und entsprechend abzustimmen, um die Leistungen möglichst kostengünstig und in der geforderten Qualität erbringen zu können. Für das Transport- und Logistikkonzept ist vor allem die Kenntnis über die Anzahl der Transporte und deren Verteilung über die Bauzeit wichtig. Für geräteintensive Arbeiten ist die Abstimmung der Geräteketten (Leistungsabstimmung) entscheidend zur Erzielung einer möglichst hohen Produktivität. Die Auswahl von Bauverfahren erfolgt durch differenzierte Verfahrensvergleiche und für die Fertigungsablaufplanung kommen vernetzte Balkenpläne zum Einsatz. Die ausreichende Lagerhaltung von Baustoffen sowie entsprechende Vorhaltemengen (z.B. für Schalungsgeräte) sind Grundvoraussetzungen zur Erzielung einer hohen Produktivität der Arbeitskräfte. Außerdem gilt es die Beschaffungsprozesse zu optimieren und im Sinne von Soll-Ist-Vergleichen und zur Abgabe von Prognosen Trendanalysen durchzuführen. Schließlich sind neben den Einflüssen der Witterung auch noch die Effekte aus sich überlagernden Produktivitätsverlusten (Aggregation) zu untersuchen und bei Änderungen der Umstände der Leistungserbringung Mehrkosten zu ermitteln.

5.6.2.1 Logistik/Anzahl der Transporte

Innerhalb der Arbeitsvorbereitung hat die Baulogistik besonders bei beengten Baustellenverhältnissen und kurzen Bauzeiten eine große Bedeutung. Zentrale Aufgabe der Arbeitsvorbereitung ist es, die Produktionsfaktoren zeitlich, räumlich, qualitativ und quantitativ in der Art und Weise zu kombinieren, dass dadurch mit minimalen Herstellkosten die vereinbarten Projektziele erreicht werden. Bei der Kombination der Produktionsfaktoren sind alle technologischen, sicherheitstechnischen, rechtlichen sowie umwelt- und umfeldspezifischen Randbedingungen zu beachten. Weiters gilt es die externen und internen Arbeitsanweisungen in die Untersuchungen aufzunehmen.

Für die Planung und Optimierung der Baulogistik sind Angaben zu den Mengen und zur Leistungsintensität erforderlich. Die Genauigkeit der Angaben zu den verwendeten Materialien und Abmessungen wird wesentlich von der betrachteten Projektphase beeinflusst. Mit steigender Detaillierung wächst auch die Genauigkeit der Eingangsgrößen für die Berechnung von z.B. der Transportanzahl und/oder der Transportdichte. Ein gewisses Maß an Unsicherheiten in den Eingangsparametern wird es aber auch im höchsten Detaillierungsgrad noch geben.

Logistische Überlegungen sind auch zwingend bei der Ermittlung der Bauzeit zu berücksichtigen. Ausgehend von den Bauwerks- und Baustellenbedingungen können sich

aufgrund logistischer Zwänge Grenzen für die kürzest mögliche Bauzeit ergeben. Die Begrenzung kann z.B. aus der maximal verträglichen Verkehrsdichte aufgrund der prognostizierten Verkehrssituation folgen.

Anhand eines Praxisbeispiels (Abschnitt 10.4.1) erfolgt die probabilistische Berechnung der Transportanzahl. Die Monte-Carlo-Simulation liefert Bandbreiten über die zu erwartende Gesamtanzahl an Transporten sowie – in Abhängigkeit der Bauzeit – über die zu erwartende Transportdichte. Bei Bauteilen (z.B. Bodenplatte) oder Fertigungsabschnitten mit großen Mengen (z.B. Betonmengen) die in kurzer Zeit anfallen, empfiehlt sich für diese Bereiche bzw. Bauteile eine detailliertere Betrachtung. Die Systematik dieser Detailbetrachtungen entspricht dabei der gezeigten Vorgehensweise für das Beispiel.

5.6.2.2 Abstimmung von Geräteketten

Beim Einsatz von Geräteketten ist es für die Kalkulation und auch die Arbeitsvorbereitung sehr wichtig zu ergründen, welche Leistung die Basis für den kritischen Weg bildet. Als Beispiel dienen Asphaltierungsarbeiten. Die wesentlichen Untersuchungsbereiche bilden die Produktion des Asphalts, die Transportkette, der Wagenwechsel am Einsatzort und der Mischguteinbau.

Anhand eines Praxisbeispiels wird in Abschnitt 10.4.2 untersucht, welche Leistungen im Transport (LKW-Flotte) und beim Einbau des Asphalts mittels Fertiger baupraktisch erzielbar sind. Weiters wird herausgearbeitet, welche dieser Leistungen die Engpassleistung darstellt und damit die kürzest mögliche Bauzeit bestimmt.

Für die probabilistische Betrachtung werden die Eingangswerte mit Verteilungsfunktionen (im konkreten Fall als Dreiecksverteilungen) belegt. Sowohl die Breite als auch die Dicke des Fertigungsabschnitts werden in gewissen (schmalen) Bandbreiten angenommen, um mögliche Mengenänderungen in der probabilistischen Betrachtung berücksichtigen zu können.

5.6.2.3 Verdichtungsleistung im Erdbau

Für die Leistungen im Erdbau werden von den Auftraggebern Mindestleistungen vertraglich eingefordert, um sicherzustellen, dass die gewünschten Termine eingehalten werden. Anhand eines Erdbaubeispiels (siehe Abschnitt 10.4.3) für die Herstellung eines Schüttdamms wird sowohl das Material vor Ort als auch zugeliefertes Material eingebaut. Es wird mittels LKW bzw. Mulden zur Einbaustelle transportiert und flächig verteilt. Die weitere Verteilung und Vorverdichtung dieses flächig aufgetragenen Schüttguts erfolgt durch drei Bagger. Im Anschluss wird die finale Verdichtung von einer Walze durchgeführt.

Zur systematischen Berücksichtigung von Unsicherheiten wird für die Leistungsberechnungen die Monte-Carlo-Simulation angewendet. Durch den Ansatz von Verteilungsfunktionen kann eine Vielzahl unterschiedlicher Kombinationen der Inputparameter in den Simulationen berücksichtigt und in weiterer Folge als Histogramme dargestellt werden.

Anhand der Histogramme erfolgen die Rückschlüsse auf das Chancen-Risikoverhältnis der einzelnen Glieder der Gerätekette. Damit ist die Identifikation der Engpassleistung möglich, die letztendlich die Leistung am kritischen Weg bestimmt.

5.6.2.4 Verfahrensauswahl

Durch die Bildung von Vergleichskriterien kann die Beurteilung verschiedener Bauverfahren objektiviert und die Durchgängigkeit des Entscheidungsprozesses gewährleistet werden. Als zielführende Methode wird die Nutzwertanalyse in der Form einer Entscheidungsmatrix eingesetzt. Anhand der Leistungsbeschreibung und im Zuge der Analyse des Produktionssystems werden Einzelkriterien zu gebündelten Blöcken in einer Entscheidungsmatrix zusammengefasst. Anhand des vorher festgelegten Zielsystems werden die Kriterienblöcke und die darin enthaltenen Einzelkriterien unterschiedlich gewichtet. Die in der Matrix angeführten Verfahren/Systeme können anhand des Punktesystems verglichen werden. Darauf folgend wird ein Verfahren/System ausgewählt.

Aufbauend auf die deterministische Entscheidungsmatrix erfolgt in Abschnitt 10.4.4 die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation. Erst dadurch ist sowohl für die Gewichtungen als auch die Bewertungen der Einsatz von Verteilungsfunktionen möglich. Für jedes Verfahren/System wird als Ergebnis ein Histogramm dargestellt, aus dem das Chancen- und Risikoverhältnis ersichtlich ist.

5.6.2.5 Fertigungsablaufplanung

In der Fertigungsablaufplanung herrschen Unsicherheiten in der Ermittlung der Vorgangsdauern und in den Anordnungsbeziehungen. Durch den Einsatz der Monte-Carlo-Simulation ist es möglich, Unsicherheiten in den Eingabewerten systematisch zu berücksichtigen. Nach der Simulation werden für die Endtermine einer Abfolge von vernetzten Vorgängen Bandbreiten in Form von Histogrammen dargestellt. Es ist in weiterer Folge möglich einzelne Termine bzw. Dauern hinsichtlich ihrer Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit zu beurteilen bzw. zu analysieren.

Anhand eine Hochbaubeispiels (siehe Abschnitt 10.4.5) wird für die Herstellung der Decken (in Summe 18 Fertigungsabschnitte) die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation gezeigt. Ausgehend von der gesamten Zeit, die für die Stahlbetonarbeiten der Decken zur Verfügung steht wird zurückgerechnet, wie lange ein Regeltakt dauern darf. Bezogen auf diese Dauer für einen Fertigungsabschnitt, wird unter Berücksichtigung der vorhandenen Unsicherheiten das Chancen-Risikoverhältnis für die Einhaltung des geplanten Taktablaufs ermittelt. In die Betrachtungen fließen nur die am kritischen Weg liegenden Arbeiten (Schalen, Bewehren und Betonieren) ein.

5.6.2.6 Lagerhaltung von Baustoffen

Die Planung der Vorratsmengen (Lagermengen, Bestände) beinhaltet zwei zentrale Aufgaben, nämlich die Vorratsoptimierung und die Vorratssicherung. Die Vorratsoptimierung zielt auf die Ermittlung der optimalen Bestellmenge bzw. des optimalen Lagerbestands ab. Im Rahmen der Vorratssicherung stehen die kontinuierliche Versorgung der Fertigung und die Vermeidung von Materialengpässen im Zentrum der Betrachtungen.

Die Dimensionierung von Vorratslagern für verschiedene Baustoffe zählt weiters zu den wichtigsten Aufgaben in der Logistik. In den Überlegungen spielt der Leistungsfortschritt auf der Baustelle, die zur Verfügung stehende Lagerfläche und die Verkehrsanbindung eine wesentliche Rolle.

Für ein Praxisbeispiel wird in Abschnitt 10.4.6 gezeigt wie probabilistische Berechnungen in der Vorratsoptimierung für die Zementlagerhaltung auf der Baustelle angewendet werden können.

5.6.2.7 Aggregation von Produktivitätsverlusten

Die Art der Leistung, die Umstände der Leistungserbringung, die Menge und Qualität sowie die Bauzeit sind bestimmende Faktoren für die Höhe der Kosten und in weiterer Folge der Preise. Der Bauherr beeinflusst durch die Vorgabe der Bauzeit die Kosten und damit auch die Preisbildung des AN. Zu kurze Bauzeiten führen zu Produktivitätsverlusten und auch zu höheren Kosten. Aber auch zu lange Bauzeiten wirken sich negativ auf den Einsatz der Ressourcen aus und führen ebenfalls zu Produktivitätsverlusten. Die Grenzen für Produktivitätsverluste sind teilweise noch nicht durchgängig bekannt bzw. umstritten. In der Fachliteratur[22)] finden sich für spezifische Einzelproduktivitätsverluste funktionale (nichtlineare) Zusammenhänge, mit deren Hilfe die Auswirkungen von Produktivitätsverlusten quantitativ bewertet werden können.

Tritt nur ein Produktivitätsverlust auf, kann dieser über entsprechende funktionale Zusammenhänge bzw. Kurvenverläufe direkt berechnet werden. Anders verhält es sich, wenn mehrere Produktivitätsverluste gleichzeitig auftreten. Als Basis dienen zwar die gleichen funktionalen Zusammenhänge, wie sie bei der Beurteilung von Einzelproduktivitätsverlusten herangezogen werden, es muss aber auch die gegenseitige Beeinflussung und kettenreaktive Wirkung (Aufschaukelung) dieser berücksichtigt werden.

Sind die gleichen Ressourcen (z.B. Anzahl der Krane oder Anzahl der Arbeitskräfte) von Produktivitätsverlusten betroffen, ist die Gesamtheit der gemeinsam (zeitgleich) auftretenden Produktivitätsverluste größer, als die Summe zweier Einzelproduktivitätsverluste.

In diesem Zusammenhang ist zu untersuchen, ob sich die unterschiedlichen Einzelfaktoren gegenseitig beeinflussen oder ob diese unabhängig voneinander sind. Weiters ist zu klären, ob die vorgegebene Bauzeit als fixiert gilt oder ob eine Bauzeitverlängerung infolge der Produktivitätsverluste zulässig ist und damit eine Abschwächung der Effekte möglich ist. Muss die vorgegebene Bauzeit unbedingt eingehalten werden, sind die auftretenden Produktivitätsverluste durch einen erhöhten Ressourceneinsatz auszugleichen (Forcierung). Dies kann aber – sofern entsprechende Puffer aufgebraucht sind und es zu Grenzgrößenüber- oder -unterschreitungen kommt – in weiterer Folge zu erhöhten oder zusätzlichen Produktivitätsverlusten führen. Beeinflussen sich die Produktivitätsverluste nicht gegenseitig und kann auch die Bauzeit entsprechend verlängert werden, genügt eine einfache Addition der Effekte. Sind gegenseitige Abhängigkeiten vorhanden, ist eine Addition alleine nicht mehr ausreichend und es muss eine (stufenweise) iterative Berechnung durchgeführt werden (Aggregation).[23)]

„Unter Aggregation wird die Zusammenfassung von Einzelmerkmalen (Risiken, Chancen, Produktivitätsverlusten etc.) zu einem globalen Merkmal (Bottom-Up-Ansatz) unter Berücksichtigung gegenseitiger Abhängigkeiten, Beziehungen und individueller Aufschaukelungen – mit Hilfe iterativer Berechnungen – verstanden.“[24)]

Im Buch wird anhand eines Beispiels in Abschnitt 10.4.7 der Unterschied zwischen einer reinen Addition und einer Aggregation von Produktivitätsverlusten gezeigt.

22) Vgl. z.B. Hofstadler (2014a)

23) Vgl. Kummer (2014), S. 175f.

24) Kummer (2015b), S. 172

5.6.2.8 Ermittlung der Vorhaltemengen

Die Vorhaltemenge an Schalung hängt in hohem Ausmaß von der durchschnittlichen Standzeit und der erforderlichen Schalungsleistung (folgt aus der Länge der Bauzeit) ab. Für eine wirtschaftliche Herstellung der Bauteile wird versucht den Anteil der Vorhaltemenge an der gesamten Schalungsfläche so gering wie möglich zu halten. Die Vorhaltemenge an Schalung hat Einfluss auf die Beschaffungs-, Produktions- und Entsorgungslogistik. Der Großteil der Schalung wird nach dem Baustelleneinsatz nicht entsorgt, sondern auf eine andere Baustelle, auf den Bauhof oder zum Schalungslieferanten (bei gemieteter Schalung) transportiert. Die Gesamtanzahl an erforderlichen Schalungstransporten erfährt eine hohe Beeinflussung von der Vorhaltemenge, Art der Schalung (z.B. Einzelteile oder Großflächenschalung), Transportkapazität der Transportgeräte, Gewicht der Schalung und Verkehrsanbindung.

In Abschnitt 10.4.8 wird für das Schalen von Decken gezeigt, wie die Monte-Carlo-Simulation zur Ermittlung der Vorhaltemenge eingesetzt werden kann. Anhand des durch die Simulation erzeugten Histogramms kann für den gewählten Wert der Vorhaltemenge das jeweilige Chancen-Risikoverhältnis festgestellt werden. Dieser Wert bildet in weiterer Folge die Basis für die Kalkulation der Geräte- und Materialkosten der Schalung.

5.6.2.9 Beschaffungsoptimierung

Die Planung der Beschaffungslogistik (z.B. Qualität des Materials, lückenlose Lieferkette, niedrige Bezugskosten) beinhaltet zwei zentrale Aufgaben, einerseits die wirtschaftliche Optimierung der Bezugsquellen (z.B. Lieferwerke, Herstellungswerke, Lager) und andererseits die funktionierende Gerätekette. Besonders bei hohen Anforderungen an die Materialqualität wie beispielsweise bei Sichtbeton oder sehr eng gesteckten Zeitplänen, ist das zeitgerechte Eintreffen der Betonlieferfahrzeuge besonders wichtig.

Wenn mehrere Parameter zu optimieren sind (z.B. unterschiedliche Betonmengen für verschiedene Baustellen von mehreren Lieferquellen) liegt ein mehrdimensionales Optimierungsproblem vor. Die Zielgröße der Optimierung stellt dabei der wirtschaftlichste Bezug der Materialien für verschiedene Baustellen dar.

Die Anwendung erfolgt anhand eines Praxisbeispiels in Abschnitt 10.4.9. Es zeigt wie probabilistische Berechnungen in der mehrdimensionalen Beschaffungsoptimierung für die wirtschaftlichsten Betonlieferungen für drei Baustellen angewendet werden können.

5.6.2.10 Trendanalysen (AN)

Zur Bauablaufsteuerung und -optimierung werden vom AN zeitnah (wöchentlich, besser täglich) Daten und Informationen zum Leistungsfortschritt und zum Einsatz der Produktionsfaktoren erhoben. Anhand der Daten ist der Trend für den zukünftigen Leistungsfortschritt ermittelbar. Trendanalysen sind essenziell um feststellen zu können, ob die vergangene und gegenwärtige Fertigungsgeschwindigkeit dazu geeignet ist, vereinbarte Zwischentermine und letztendlich den Endtermin einhalten zu können.

Anhand der Stahlbetonarbeiten eines Hochbauprojekts wird in Abschnitt 10.4.10 die deterministische Anwendung von Trendanalysen gezeigt. Darauf aufbauend wird dargestellt, wie die Monte-Carlo-Simulation dafür eingesetzt werden kann. Dazu wird unter Berücksichtigung der bisherigen Fortschrittsschwankungen der Baufortschritt für gewählte Intervalle berechnet.

Werden diese Werte zu dem bisher dokumentierten Ist-Baufortschritt in das Diagramm eingetragen, zeigt sich eine Streuung der möglichen zukünftigen Fortschrittsverläufe auf Basis der Gesamtheit der historischen Projektdaten. Diese Streuungen werden mit der noch einzubauenden Stahlbetonmenge in Beziehung gesetzt.

5.6.2.11 Einflüsse der Witterung

Die Witterungsverhältnisse beeinflussen die Leistungsfähigkeit der Produktionsfaktoren. Bei Arbeiten im Freien bestimmt u.a. die Außentemperatur die Leistungsfähigkeit der Arbeitskräfte. Menschen auf der Baustelle können bei kälteren Temperaturen ihre Tätigkeiten nicht mehr mit der ‚Normal-Produktivität' ausführen, da sie beispielsweise durch die wärmere Bekleidung (z.B. dickere Handschuhe) in den Bewegungsabläufen beeinträchtigt sind. Weiters reduziert sich die Produktivität durch Pausen zum Aufwärmen sowie dem Adjustieren der Kleidung. Auch Geräte, die zur Beheizung aufgestellt sind, können die Bewegungsabläufe der Arbeitskräfte beeinträchtigen. Während des Arbeitens bei tieferen Temperaturen werden Präzision und Schnelligkeit der einzelnen Handgriffe verringert und somit die Produktivität reduziert. Wird dagegen keine Schutzkleidung verwendet, die die Bewegung behindern würde sinkt dennoch der Aufwandswert, da nun körperliches Unbehagen (klamme Finger, zittern etc.) die Leistung noch deutlicher herabsetzen.

Bei zu hohen Temperaturen im Arbeitsbereich verringert sich die Produktivität beispielsweise durch zusätzliche Erholungs- und Trinkpausen. Weiters kann es bei höheren Temperaturen besonders bei Arbeiten mit Stahl notwendig werden, Schutzhandschuhe zu tragen, die wiederum die Bewegungsabläufe beeinträchtigen. Die zusätzliche persönliche Schutzausrüstung wirkt störend auf den Arbeitsablauf und verringert die Arbeitsproduktivität.

In Abschnitt 10.4.11 wird gezeigt, wie sich der Zeitpunkt des Baubeginns, durch die Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten aufgrund nicht optimaler mittlerer Tagestemperaturen, auf die Lohnstundensumme auswirkt.

5.6.2.12 Mehrkostenermittlung

Für den Einsatz der Monte-Carlo-Simulation für die Mehrkostenermittlung werden als Beispiel Bewehrungsarbeiten herangezogen (siehe Abschnitt 10.4.12). Anhand einer konstruktiven Leistungsbeschreibung hat der Auftragnehmer den Einheitspreis für das Verlegen der Bewehrung auf Basis einer Mischpreiskalkulation ermittelt. Zur systematischen Berücksichtigung von Unsicherheiten werden für die Angebotskalkulation für die Kaliber- und Biegeformverteilungen sowie Aufwandswerte Verteilungsfunktionen angesetzt. Als Folge davon wird das Histogramm für den Soll-Aufwandswert erzeugt. Im Zuge der Ausführung wird die Bewehrung durch Ausführungspläne konkretisiert und die tatsächlichen Kaliber- und Biegeformverteilungen sind damit offen gelegt. Gegenüber den freien Kalkulationsannahmen (mangels Vorgaben durch den AG) des AN haben sich Veränderungen in der Kaliber- und Biegeformverteilung ergeben. Mit den Ist-Verteilungen und den Soll-Aufwandswerten wird ein Histogramm für den Ist-Aufwandswert erzeugt. Zur sachgerechten Ermittlung des Unterschieds zwischen Soll (Sollte) und Ist, ist das gleiche Chancen- und Risikoverhältnis zu wählen. In weiterer Folge können damit die Veränderungen im Einheitspreis und letztendlich die Mehrkosten systematisch berechnet werden.

5.7 Projektabschluss (PPH 5)

Für diese Projektphase sind in der vorliegenden Fassung keine Beispiele angeführt. Denkbar wären allerdings Anwendungen der Monte-Carlo-Simulation sowohl im operativen als auch im strategischen Facility Management. Für die Vermietung und den Betrieb von Immobilien können Mietausfälle und deren Auswirkungen auf die Rentabilität eines Objekts mit den verbundenen Unsicherheiten beurteilt werden.

5.8 Übergeordnetes Portfoliomanagement

Der Begriff Portfolio (lat. portare ‚tragen' und folium ‚Blatt') bezeichnet allgemein eine Sammlung von Objekten eines bestimmten Typs. Im Finanzwesen wird unter Portfolio der Bestand von Vermögenswerten bzw. Wertpapieren, der im Besitz einer Institution oder eines Individuums ist, verstanden. Im Vertrieb und Marketing bezeichnet Portfolio eine Kollektion von Produkten, Dienstleistungen, Projekten oder Marken, die ein Unternehmen anbietet.

Das Projektportfoliomanagement[25)] (siehe Abb. 5-4) fokussiert sich auf Projekte einer Führungseinheit und führt eine permanente Planung, Priorisierung, übergreifende Steuerung und Überwachung der Projekte durch.

Zu den wesentlichen Aufgaben zählen dabei u.a.:
- Beurteilung von zukünftigen Projekten
- Laufende Überwachung von Projekten
- Wahrnehmung projektübergreifender Informations- und Wissensmanagementaufgaben

Die gezeigte Methode für die Bewertung und Steuerung des Chancen-Risikoverhältnisses der Gesamtheit von laufenden und neuen Projekten (Portfolio) dient sowohl Auftraggebern als auch Auftragnehmern als übergeordnetes Kontroll- und Steuerungsinstrument.

5.8.1 Auftraggeber

Der Auftraggeber kann die demonstrierte Methode anwenden, um seine laufenden Projekte zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt zu analysieren. Auf Basis dieser Analysen, kann er geplante Projekte dahingehend beurteilen, wie viel Budget noch zur Verfügung steht. Im Zuge dieser Überlegungen nimmt die Analyse des Chancen- und Risikoverhältnisses wieder eine zentrale Rolle ein.

Es können dabei unterschiedliche Projekte oder Teilprojekte gesamtheitlich betrachtet und bewertet werden. Unterschiedliche Projektfortschritte und -volumina fließen dabei jeweils anteilig in das Portfolio ein. Die Erläuterung der Grundlagen und der Vorteile, die der Einsatz der Monte-Carlo-Simulation im Portfoliomanagement beinhaltet, erfolgt in Abschnitt 9.6.

[25)] Auch als strategisches Multiprojektmanagement bezeichnet.

5.8.2 Auftragnehmer

Um die Resilienz[26] eines Unternehmens bzw. einer Abteilung im Hinblick auf laufende und mögliche zukünftige Projekt zu untersuchen, werden Elemente des Projektportfoliomanagements angewendet. Da große Verluste im Zuge eines Großauftrags das Fortbestehen des Unternehmens gefährden können, ist eine strategische Gesamtbetrachtung aller laufenden Projekte essenziell.

Als (Projekt-)Portfolio wird in diesem Zusammenhang eine Menge von Projekten verstanden, die gemeinsam analysiert und bewertet werden, um dem Unternehmen bzw. der Abteilung einen größeren Nutzen zu stiften als bei einer unabhängigen Einzelbetrachtung der Projekte. Die Zusammenfassung bzw. Bündelung zu einem Portfolio erfolgt dabei aus Projekten, die einem bestimmten Teil der Organisation zugeordnet werden können und vergleichbar sind.

Mit der in Abschnitt 10.6 gezeigten Systematik gelingt es, Projekte mit unterschiedlichem Projektfortschritt, unterschiedlichen Auftragsvolumen und unterschiedlichen Chancen-Risikoverhältnissen in einer Gesamtbetrachtung zu vereinen und daraus wiederum Rückschlüsse auf einzelne neue Projekte ziehen zu können.

Das Projektportfoliomanagement erfolgt übergeordnet und ist sowohl als Kontroll- als auch als Steuerungselement einsetzbar.

5.9 Kosten von Bauwerken – Kostentrichter – Reserven

Planer können in der Systematik der Leistungsphasen zu Beginn des Projekts weder alle technischen Einzelheiten noch die ‚sehr genauen' Kosten[27] vorhersagen. Technische Planungen erfolgen in schrittweiser Konkretisierung der Aufgabenstellung des AG über die LPH 0-9 bis zum fertigen Objekt. Die ersten Leistungsphasen sind gekennzeichnet von Arbeitshypothesen (Annahmen), die durch die weiteren Planungsschritte verifiziert, aber auch falsifiziert werden können. Durch diese Methodik wird das Projekt schrittweise klarer und detaillierter definiert, zugleich nimmt die Beeinflussbarkeit und der Handlungsspielraum für Auftraggeber und Planer ab, vergleichbar mit dem hermeneutischen Regelkreis[28].

In Anwendung dieser methodischen, schrittweisen Bearbeitung müssen die ersten Kostenaussagen von denen der Kostenfeststellung am Ende abweichen. Wären sie ident, würde ein Zufall zutage treten. Dies begründet sich dadurch, dass in der Ausschreibung/Vergabe die Kostenprognose der Planer durch die – nicht im Detail prognostizierbaren, oft ziemlich unterschiedlichen – Preise der Bieter (ein Spotmarkt[29] mit hohen Einschätzungsfaktoren zu den Umständen der Leistungserbringung auf Seiten der Bieter) ersetzt werden.

---

[26] Der Begriff der Resilienz bezeichnet in den Ingenieurwissenschaften die Fähigkeit von technischen Systemen, bei einem Teilausfall nicht vollständig zu versagen.

[27] Als ‚sehr genaue' Kostenprognosen werden Berechnungen verstanden, die zu präzisen und richtigen Ergebnissen führen.

[28] Ausgehend von einem gegebenen Kenntnisstand zum Zeitpunkt 0, erfolgt eine laufende Erkenntniserweiterung durch Wissensaggregation (Studium der Projektunterlagen und Regelwerke sowie von Literatur, Besprechungen, Ideenfindungsprozesse) und kritischer Rückkopplung.

[29] Spotmarkt: auch Kassamarkt, Effektivmarkt, Lokomarket. Ort, an dem Kassageschäfte (Kauf oder Verkauf von Waren, der innerhalb eines kurzen Zeitraums kurzfristig erfüllt werden muss; Gegensatz: Termingeschäft) durchgeführt werden. Es kann sich dabei um eine Kassabörse oder um einen außerbörslichen Markt (Over-the-Counter Market) handeln. Vgl. Springer Gabler (2014), S. 304

Diesem Dilemma begegnet beispielsweise in Österreich die ÖNORM B 1801-1 mit der Kostengruppe 9, in der für Indizes, Planungsänderungen etc. Reserven vorzusehen sind. In den Stufen der Planungsarbeit werden zunächst die A-, danach die B- und zuletzt die C-Positionen der endgültigen Kosten geklärt, sodass eine Regel für die mögliche Prognose aufzustellen ist. Dazu bietet sich u.a. der in der Fachliteratur verbreitete Kostentrichter an.

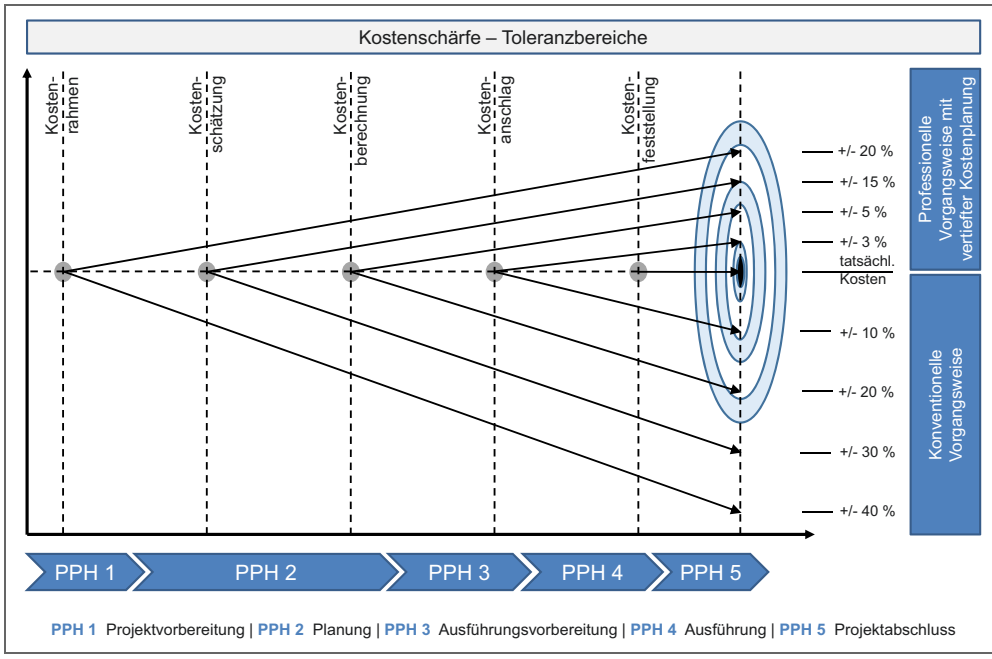


Abb. 5-5 Kostentoleranzen bei professioneller Kostenplanung bzw. bei traditioneller Vorgehensweise[30)]

Die in Abb. 5-5 dargestellte Grafik zeigt sehr deutlich, dass in frühen Projektphasen mit größeren Bandbreiten in der Kostenermittlung zu rechnen ist. Für eine verlässliche Information, welches Chancen-Risikoverhältnis mit den ermittelten Werten eingegangen wird, ist ein systematisches Chancen-Risikomanagement erforderlich. Damit kann auch in frühen Projektphasen sehr effektiv mit Unsicherheiten umgegangen werden.

Kostenprognosen können mit einer Zielscheibe verglichen werden, bei der es immer wahrscheinlicher wird, in die Mitte der Scheibe zu treffen – und damit die endgültigen Herstellkosten vorherzusagen – je weiter man sich der Scheibe nähert. In Abb. 5-5 sind jene Toleranzbereiche für die Kostenplanung dargestellt, die bei professionellem Vorgehen erreicht werden sollten und jene, bei denen ein Planer im Falle einer Überschreitung mit Haftungskonsequenzen zufolge deutscher Judikatur zu rechnen hat (‚konventionelle Vorgehensweise').[31)]

Das Gleiche gilt für die Prognosen über die Bauzeiten. Als Grundlagen dafür dienen Leistungswerte, die wiederum bei arbeitsintensiven Tätigkeiten von den Aufwandswerten, der Anzahl der Arbeitskräfte und der täglichen Arbeitszeit bestimmt werden. Bei geräteein-

30) In Anlehnung an: Lechner (2007), Folie 44

31) Vgl. ebd.
Vgl. Kummer (2012), S. 16

tensiven Tätigkeiten ist die tatsächlich nutzbare Leistung meist von den einsetzbaren Geräteketten – dabei besonders von den Engpassgeräten – abhängig. Zusätzlich hängen die Leistungswerte auch von Randbedingungen wie Wetter, Bodenbeschaffenheit etc. sowie den Qualifikationen und der Motivation der Arbeitskräfte bzw. Geräteführer ab. Allen Inputparametern ist in diesem Zusammenhang gemein, dass sie besonders in frühen Projektphasen größeren Unsicherheiten behaftet sind.

Insgesamt verdeutlicht die Situationsanalyse hinsichtlich der Prognose der Kosten und der Bauzeiten, dass Unsicherheiten in den verschiedenen Projektphasen systematisch zu berücksichtigen sind, um fehlende Vorstellungen über das jeweilige Chancen- und Risikoverhältnis zu vermeiden.

5.10 Zusammenfassung

Ein Bauprojekt kann auf unterschiedliche Art und Weise umgesetzt werden. Zu Beginn steht eine Projektidee, die im Laufe der Projektphasen konkretisiert und am Ende der PPH 3 zum Vertragsgegenstand wird (QG G).

Sowohl Auftraggeber als auch Auftragnehmer sind in den verschiedenen Projektphasen auf Kalkulationsansätze (z.B. Leistungs- und Kostenwerte) angewiesen, die mit unterschiedlichen Bandbreiten an Unsicherheiten behaftet sind. Vergleichbar mit einem Trichter, der sich von einer breiten Einfüllöffnung sukzessive bis zum Trichterhals verjüngt, sind die Unsicherheiten in frühen Projektphasen vergleichsweise breiter gestreut als nach der Auftragsvergabe, in der das Bauobjekt anhand von Ausführungsplänen konkretisiert wird. Mit zunehmender Planungstiefe nimmt die Präzisierung der Angaben durch den AG zum Bauwerk zu. Was jedenfalls bleibt, sind Unsicherheiten über die Art und Weise wie die Produktionsfaktoren optimal miteinander zu kombinieren sind, sowie über die in der Zukunft liegenden Baustellenumstände während der Realisierungsphase.

In frühen Projektphasen sind die Bandbreiten von Mengen-, Produktivitäts- und Kostenansätzen höher, da hier insgesamt die Einflussnahme auf das Gesamtprojekt größer ist. In späteren Projektphasen wird das Bauprojekt immer weiter konkretisiert und die Beeinflussbarkeit durch den AG sinkt.

Aufbauend auf unsicheren Parametern und Zahlenwerten oder nur groben Schätzungen sind Entscheidungen zu treffen. Mit der Anwendung der Monte-Carlo-Simulation wird der systematische Umgang mit Unsicherheiten und Bandbreiten ermöglicht. Der gezielte Einsatz probabilistischer Berechnungsverfahren in den Sphären der Auftraggeber und Auftragnehmer ist empfehlenswert und steigert die Entscheidungssicherheit.

Für die PPH 1 bis PPH 4 von Bauprojekten sind Methoden und Instrumente in Kombination mit der Monte-Carlo-Simulation dargestellt. Den Projektbeteiligten (AG und Bieter bzw. AN) wird in diesem Kapitel gezeigt, in welchen Abschnitten des Buchs, mit Lösungsbeispielen untermauerte Informationen zu den erläuterten Projektphasen, zu finden sind.

5.11 Literaturverzeichnis

Hofstadler, Christian (2014a). Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-41632-3)

Hofstadler, Christian (2014c). Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. In: Nachhaltig Bauen mit Beton: Werkstoff und Konstruktion, Beton Graz´14 – 2. Grazer Betonkolloquium; 25. / 26. September 2014. Hrsg.: Nguyen, Viet Tue; Maydl, Peter; Freytag, Bernhard; Santner, Gerhard. Seite 139-152. Graz, Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-360-3

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2015a). Risiken und Chancen der Mischpreiskalkulation. In: Tagungsband – 13. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium – Preisermittlung und Vergabe in der Bauwirtschaft – Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte. Hrsg.: Heck, Detlef; Mauerhofer, Gottfried; Hofstadler, Christian. Seite 49-92. Graz, Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-385-9)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2015b). Application of the Monte-Carlo Method to Calculate the Life-Cycle Costs of Bridges. In: Multi-Span Large Bridges. Hrsg.: Pacheco, Pedro; Magalháes, Filipe. London. Seite 751-758. CRC Press – Taylor & Francis Group. (ISBN 978-1-138-02757-2)

http://www.bwl-institut.ch/?go=lexikon&detail=294. Datum des Zugriffs: 29.09.2016.

Kummer, Markus (2012). Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Kummer, Markus (2014). Additive Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. In: Tagungsband – 25. BBB-Assistententreffen in Graz – Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik. Hrsg.: Heck, Detlef; Mauerhofer, Gottfried; Hofstadler, Christian. Seite 171-186. Graz, Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-356-6)

Kummer, Markus (2015b). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. In: Tagungsband – 26. BBB-Assistententreffen – Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauverfahrenstechnik. Hrsg.: Berner, Fritz. Seite 167-183. Stuttgart, Institut für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart. (ISBN 978-3-9814355-7-3)

Lechner, Hans (2007). Vergleichende Beurteilung von (Bau-) Kostenaussagen in frühen Planungsphasen. Präsentation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz, 17.04.2007.

Lechner, Hans (2010). Kostenplanung, Normen, Regelwerke – Projektmanagement in der Bau- und Immobilienwirtschaft – Bauprojektmanagement LEVEL D – 1. Auflage. Hrsg.: Lechner, Hans; Heck, Detlef. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-099-2)

Lechner, Hans (2014). http://www.pmtools.eu/download/seminar/Zeitstrukturmodell_PP-H_LPH-A_TW_TA.pdf. Datum des Zugriffs: 11.10.2016.

Oberndorfer, Wolfgang; Jodl, Hans Georg et al. (2001). Handwörterbuch der Bauwirtschaft – ON V 208 – 2. Auflage. Wien. ON Österreichisches Normungsinstitut. (ISBN 3-85402-072-4)

ÖNORM B 2110 (Ausgabe: 2013-03-15) Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm

Springer Gabler (2014). Kompakt-Lexikon Wirtschaft – 12. Auflage. Wiesbaden. Springer Gabler. (ISBN 978-3-658-05790-9)

Volkmann, Walter (2003). Projektabwicklung für Architekten und Ingenieure – Handbuch für die planerische und baupraktische Umsetzung – Methoden, Arbeitshilfen, Vordrucke – 2. Auflage. Essen. Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen GmbH + Co. (ISBN 3-8028-0513-5)

6 Grundlagen der Monte-Carlo-Simulation

Da die Monte-Carlo-Simulation als wahrscheinlichkeitstheoretische Anwendung nicht jedem potenziellen Anwender (vertiefend) bekannt ist, werden im folgenden Kapitel die wesentlichen Grundlagen beschrieben und anhand von Beispielen erläutert. Dies dient der Vermittlung von Basiskenntnissen, die die Grundlage für das Verständnis der nachfolgenden Kapitel bilden sowie zum Mitdenken und selbstbestimmten Anwenden anregen.

6.1 Herkunft und Entwicklung der Methode

Bei der Monte-Carlo-Methode werden Zufallszahlen zur näherungsweisen Lösung von Berechnungen herangezogen. Für mathematische Probleme und Berechnungen, die durch analytische Verfahren nicht oder nur mit sehr großem Aufwand gelöst werden können, ist der Einsatz der Monte-Carlo-Methode – die auf dem Gesetz der großen Zahlen und der Wahrscheinlichkeitstheorie basiert – möglich, um angenäherte (approximative) Lösungen zu ermitteln. Die Berechnungen beruhen dabei auf wiederholenden Iterationen, die mit Hilfe von Zufallszahlen durchgeführt werden.

Der Begriff ‚Monte-Carlo-Methode' bezeichnet nicht einen Algorithmus, sondern eine Gruppe von numerischen Methoden, bei denen Zufallszahlen zur approximativen Lösung oder zur Simulation verschiedener Prozesse eingesetzt werden.[1)]

Schon im 18. Jahrhundert wurden zufällige Ereignisse zur Lösung von numerischen Problemen verwendet. Ein bekanntes Beispiel ist die Ermittlung der Kreiszahl π durch das zufällige zu liegen kommen von Nadeln auf liniertem Papier.[2)]

Bedeutung erlangte die Methode aber erst während des Zweiten Weltkriegs. Bei Arbeiten im Zusammenhang mit der Herstellung der Atombombe (‚Manhattan Project') wurden weitere Forschungen auf dem Gebiet der Monte-Carlo-Methode durchgeführt.[3)]

1) Vgl. Theis/Kernbichler (2002), S. 2

2) Diese Bestimmung der Kreiszahl ist als ‚Nadelproblem von Buffon' bekannt. Die Berechnung erfolgt dabei über den Winkel den die Nadeln mit den parallelen Linien auf dem Papier einschließen.

3) Es wurden dabei Zufallsprozesse im Zusammenhang mit der Diffusion von Neutronen in spaltbarem Material simuliert. Vgl. Hengartner/Theodorescu (1978), S. 12f.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_6

Als Begründer der Methode gelten *John von Neumann* und *Stanislaw Ulam* wobei der Name der Methode auf das berühmte Casino in Monte Carlo zurückgeht. Dort wurden die Ergebnisse der Roulettespiele regelmäßig veröffentlicht. Es handelt sich beim Roulettespiel um eine einfache mechanische Möglichkeit um (diskrete) Zufallszahlen zu generieren.

Die erste Arbeit zum Thema stammt von *Metropolis/Ulam*[4] mit dem Titel „The Monte Carlo Method" und wurde im Jahre 1949 veröffentlicht. Dies wird auch als Geburtsjahr des Verfahrens angesehen.[5]

Zufallszahlen, die durch (mechanische) Experimente wie z.B. Würfeln oder Roulettespiele generiert werden, werden als diskrete Zufallszahlen bezeichnet, da bei jedem Versuch nur eine begrenzte Anzahl an Ergebnisausprägungen möglich ist. Bei einem Würfel sind dies beispielsweise die Augenzahlen eins bis sechs. Beim französischen Roulette sind nur ganzzahlige Werte zwischen 0 und 36 möglich.

Für stetige Zufallszahlen werden Zufallsgeneratoren eingesetzt, die auf Basis eines Algorithmus Zahlen im Intervall zwischen null und eins liefern. Breite Anwendung fand die Methode daher erst als Computer für die Erstellung dieser Zufallszahlen verfügbar wurden.[6]

Nähere Ausführungen zur Generierung von Zufallszahlen und zu Probenerhebungsverfahren sind den Abschnitten 6.3 und 6.3.1 zu entnehmen.

6.2 Differenzierung zwischen Methode und Simulation

Eine klare Trennung zwischen Monte-Carlo-Methode und Monte-Carlo-Simulation gelingt nicht immer eindeutig, dennoch werden in diesem Abschnitt, die wesentlichen Unterschiede zwischen der Monte-Carlo-Methode, Simulation und Monte-Carlo-Simulation erläutert.

6.2.1 Monte-Carlo-Methode

Beim Begriff ‚Monte-Carlo-Methode' handelt es sich um eine Bezugnahme auf die Verwendung von Wiederholungen als eine Methode der Untersuchung langfristiger Ergebnisse eines Ereignisses. Es werden dazu stochastische Techniken eingesetzt, um ein deterministisches Problem zu lösen.[7]

Ein Anwendungsbeispiel für die Monte-Carlo-Methode, bei dem Wiederholungen zur approximativen Lösung eines Problems herangezogen werden, ist die Bestimmung der Fläche einer beliebigen geschlossenen Figur. Dazu wird die Figur in ein Quadrat mit der Seitenlänge 1 eingezeichnet. Durch die Generierung von zwei Zufallszahlen zwischen eins und null (x- und y-Achse) können zufällige Koordinatenpunkte innerhalb des Quadrats erhoben und in die Grafik eingezeichnet werden (siehe Abb. 6-1). Es handelt sich bei diesen Koordinatenpunkten entweder um einen ‚Treffer' (z.B. der Punkt $(x_2|y_2)$ in Abb. 6-1) oder einen ‚Flop' (z.B. der Punkt $(x_1|y_1)$ in Abb. 6-1), je nachdem ob der Punkt innerhalb oder außerhalb der betrachteten Figur liegt.

4) Metropolis/Ulam (1949)

5) Vgl. Hengartner/Theodorescu (1978), S. 17

6) Vgl. ebd., S. 12f.

7) Vgl. Sawilowsky (2003), S. 218f.

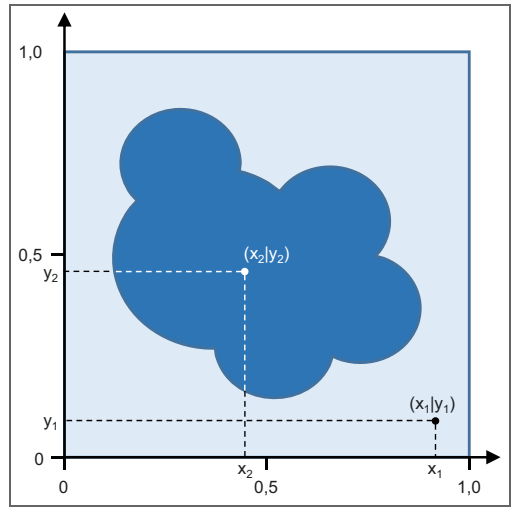


Abb. 6-1 Beispiel – Flächenermittlung mittels Monte-Carlo-Methode

Um ein näherungsweises Ergebnis für die Fläche der Figur zu erhalten, muss dieser Vorgang mehrfach wiederholt werden. Die Fläche ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Anzahl an ‚Treffern' zur Anzahl der gesamten generierten Koordinatenpunkte (siehe Glg. (6-1)).

$$A = \frac{ANZ_{Treffer}}{ANZ_{Treffer} + ANZ_{Flops}} \tag{6-1}$$

Je mehr zufällige Koordinatenpunkte erzeugt werden und je gleichmäßiger diese über das gesamte Quadrat verteilt sind, desto genauer wird auch das Ergebnis für die gesuchte Fläche der angenommenen Figur sein.

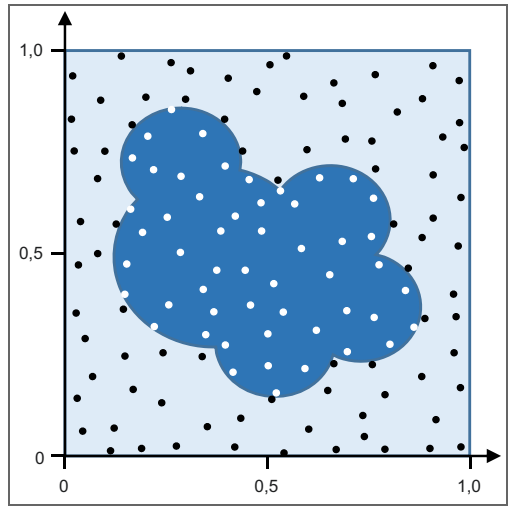


Abb. 6-2 Beispiel – Flächenermittlung mittels Monte-Carlo-Methode – 125 Koordinatenpunkte

Werden nur 125 Koordinatenpunkte generiert, bildet sich beispielsweise ein Punktmuster wie es in Abb. 6-2 dargestellt ist. Für das angeführte Beispiel sind 43 ‚Treffer', die innerhalb der gesuchten Fläche liegen, ersichtlich. Dementsprechend ergibt sich die Anzahl der ‚Flops', die außerhalb der Fläche liegen, mit 82 (= 125 - 43). Durch Anwendung der Glg. (6-1) errechnet sich die Fläche der Figur mit 0,344 (= 43 / 125).

In Abb. 6-3 sind einander die Punktwolken für 250 und 500 zufällige Koordinatenpunkte gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass mit immer mehr Punkten, die vorhandene Fläche immer dichter abgedeckt wird und damit auch die gesuchte Fläche immer besser durch die ‚Treffer' repräsentiert wird.

Für das Beispiel mit 250 Koordinatenpunkten können 103 ‚Treffer' (siehe Abb. 6-3 – links) gezählt werden. Die Fläche wird durch Einsetzen in Glg. (6-1) mit 0,412 (= 103 / 125) berechnet. Es handelt sich um eine angenäherte Lösung für die tatsächliche Fläche, die vom Ergebnis mit lediglich 125 Koordinatenpunkten (siehe Abb. 6-2) abweicht.

Bei 500 Koordinatenpunkten ergibt sich beispielsweise eine Darstellung entsprechend Abb. 6-3 (rechts). Die Anzahl der ‚Treffer' beträgt auf Basis der erzeugten Zufallszahlen 197. Die Fläche kann mit 0,394 (= 197 / 500) berechnet werden.

Das Beispiel verdeutlicht, wie mit Hilfe von Zufallszahlen ein Problem näherungsweise gelöst werden kann. Ein entscheidendes Element ist dabei die Wiederholung. Je öfter die entsprechenden Schritte wiederholt werden (in diesem Fall je mehr Koordinatenpunkte generiert werden), desto genauer wird die approximierte Lösung. Die Monte-Carlo-Methode beruht dabei auf dem Gesetz der großen Zahlen.[8)]

Zu beachten ist allerdings, dass obwohl Zufallszahlen und Wiederholungen (Iterationen) zur Lösung der Aufgabenstellung in diesem Beispiel herangezogen wurden, es sich nicht um eine Monte-Carlo-Simulation im eigentlichen Sinne handelt. Es erfolgt keine Abbildung der Realität oder eines realen Systems durch ein mathematisches Berechnungsmodell, wie es für eine Simulation erforderlich wäre.

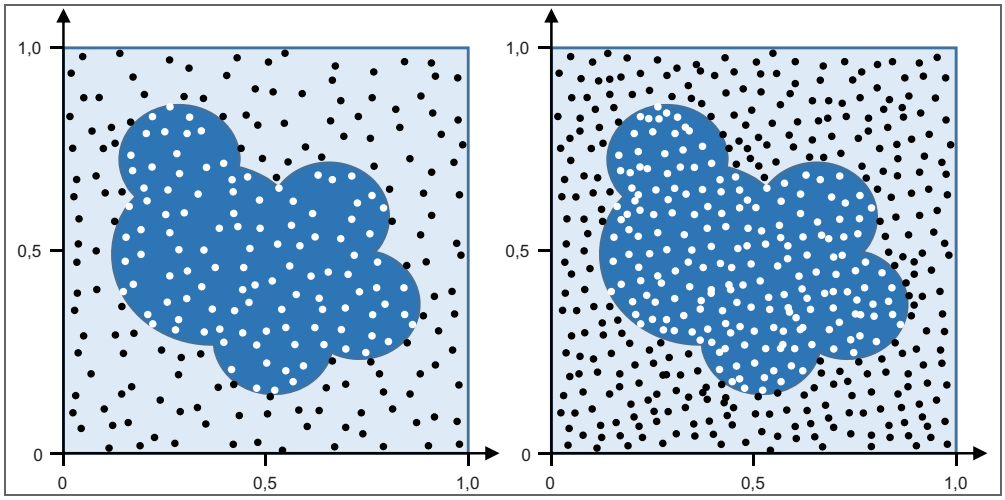


Abb. 6-3 Beispiel – Flächenermittlung mittels Monte-Carlo-Methode – Links: 250 Koordinatenpunkte – Rechts: 500 Koordinatenpunkte

8) Das Gesetz der großen Zahlen besagt, dass sich die relative Häufigkeit eines Zufallsergebnisses in der Regel um die theoretische Wahrscheinlichkeit stabilisiert, wenn das zu Grunde liegende Zufallsexperiment bzw. die Simulation immer wieder unter denselben Voraussetzungen durchgeführt wird (Iterationen).

6.2.2 Simulation

Unter einer Simulation wird in dieser Arbeit das rechnerische Nachahmen realer und/oder geplanter Situationen mit Hilfe eines computerbasierten Rechenmodells verstanden. Simulationen empfehlen sich dann, wenn ein Ausprobieren in der Realität zu teuer ist, zu einer Zerstörung des Untersuchungsgegenstands oder zu einer Gefährdung von Menschenleben führen könnte (z.B. Flugsimulator). Sie werden auch dann eingesetzt, wenn Problemstellungen in der Realität durch ein mathematisches Modell beschrieben werden können, eine analytische Lösung aber nicht möglich ist oder der Rechenaufwand zu groß wäre.[9)]

Zudem erfolgt die Anwendung von Simulationen, um durch systematische Parametervariation Erkenntnisse zu gewinnen, die sich auf die Realität übertragen lassen.[10)] Simulationen werden dabei eingesetzt, um den Möglichkeitsraum abzubilden und zu strukturieren.[11)]

In Abb. 6-4 wird die Einordnung von Experimentiermöglichkeiten und die Klassifizierung von Simulationsmodellen dargestellt. Bei den Verzweigungen der Unterpunkte wird jeweils nur auf jene eingegangen, die für dieses Buch von Interesse sind (gekennzeichnet mit durchgezogenen Pfeilen).

Bei der Einordnung von Experimentiermöglichkeiten kann ausgehend vom betrachteten System[12)] in Experimente am realen System und Experimente an einem Systemmodell unterschieden werden. Dabei kommen entweder physische oder mathematische Modelle zum Einsatz. In diesem Buch werden mathematische Modelle herangezogen, wobei eine analytische Lösung – für die in den folgenden Kapiteln gezeigten Beispiele – nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand möglich wäre. Im konkreten Fall kommen Monte-Carlo-Simulationen zum Einsatz.

Für die Klassifikation von Simulationsmodellen ist zunächst in statische und dynamische Modelle zu unterscheiden, wobei bei statischen Modellen der Faktor Zeit keinerlei Berücksichtigung findet. Dynamische Modelle bilden Prozesse bzw. Abläufe ab und werden in kontinuierliche und diskrete Modelle differenziert. Diskrete Simulationen werden in Produktions- und Logistikbereichen zur Planung, Bewertung, Verbesserung und Steuerung von Systemen und Prozessen eingesetzt.[13)]

Kontinuierliche Modelle sind durch physikalische oder biologische Gesetze beschrieben und werden in Form von Differentialgleichungen dargestellt.[14)]

Diskrete Simulationsmodelle können in ereignisorientierte und zeitgesteuerte Modelle unterschieden werden. Bei zeitgesteuerten Simulationen wird die Simulationszeit fortlaufend erhöht und Modellkomponenten auf Basis der Zustandsänderungen der letzten Epoche aktualisiert. Typische Anwendungsbeispiele sind ökologische Prognosemodelle, volkswirtschaftliche Planspiele sowie Modelle aus dem Bereich der Meteorologie. Bei ereignisorientierten Simulationen werden Zustandsänderungen aufgrund von Ereignissen verursacht. Es wird in transaktionsorientierte und prozessorientierte Modelle unterschieden.[15)]

---

9) Vgl. Suhl/Mellouli (2013), S. 13f.

10) Vgl. Wenzel et al. (2008), S. 1

11) Vgl. Gottschalk-Mazouz (2011), S. 503

12) Unter ‚System' wird allgemein eine Gesamtheit von Elementen verstanden, die miteinander in Beziehung stehen und interagieren.

13) Vgl. Wenzel et al. (2008), S. 1

14) Vgl. Raffel (2001), S. 4

15) Vgl. Mattern (1996), S. 4ff.

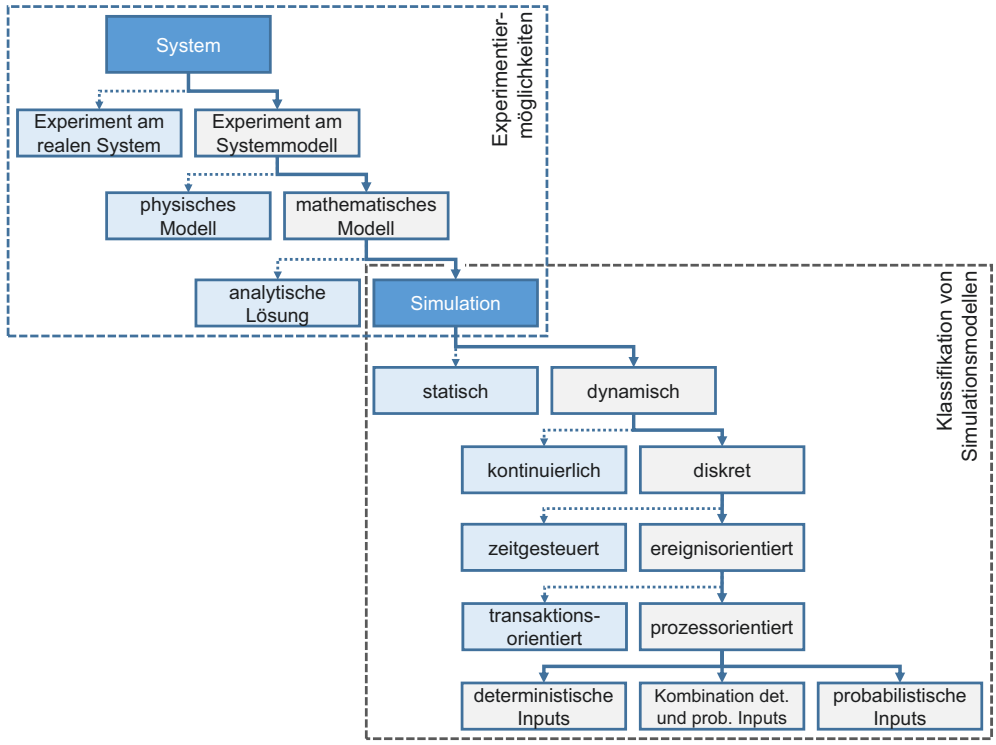


Abb. 6-4 Einordnung von Experimentiermöglichkeiten inkl. Klassifikation von Simulationsmodellen[16)]

Transaktionsorientierte Simulationen eignen sich besonders für Warteschlangensysteme, bei denen in einem System vernetzter Stationen Arbeitseinheiten (Transaktionen) von einer Station zur nächsten weitergereicht werden.[17)]

In prozessorientierten Modellen werden die auf ein Objekt bezogenen Aktivitäten zu einem Prozess zusammengefasst. Prozesse können sich deaktivieren und andere Prozesse aktivieren (z.B. Eintritt von Produktivitätsverlusten).[18)]

Schließlich wird noch die Art der Eingabeparameter (Inputs) unterschieden. Ist das mathematische Modell erstellt, können die Eingaben sowohl mittels deterministischer als auch probabilistischer oder einer Kombination aus deterministischen und probabilistischen Inputs erfolgen. Probabilistische Betrachtungen haben dabei den Vorteil, dass Unsicherheiten direkt durch die Wahl von Verteilungsfunktionen in die Berechnungen integriert werden können.

Anhand von Simulationen können Experimente, Sensitivitätsanalysen, Variantenuntersuchungen und Optimierungen (Operations Research) an einem mathematischen Modell kostengünstig vorgenommen werden. Entscheidend ist, dass die Ergebnisse aus dem Simulationsmodell auch auf reale Systeme übertragbar sind.[19)]

16) Vgl. Böhnlein (2004), S. 1ff., Böhnlein (2010), S. 95ff., Raffel (2001), S. 4
17) Vgl. Mattern (1996), S. 4f.
18) Vgl. Raffel (2001), S. 4
19) Vgl. Suhl/Mellouli (2013), S. 269

Als Beispiel für eine Simulation wird angenommen, dass ein Münzwurf durch ein mathematisches Modell abgebildet wird. Dabei wird mit Hilfe eines Zufallsgenerators eine Zahl zwischen null und eins erstellt. Ist diese Zahl kleiner oder gleich 0,50 bedeutet dies, dass im simulierten Münzwurf ‚Kopf' geworfen wurde. Bei einem zufälligen Zahlenwert größer als 0,50 ist das Ergebnis der Simulation ‚Zahl'.

Bei dem beschriebenen Beispiel wird eine Simulation mit Hilfe eines Zufallsgenerators durchgeführt. Es handelt sich aber nicht um eine Monte-Carlo-Simulation, da keine Wiederholung (Iterationen) der Schritte durchgeführt, sondern nur ein einmaliger Münzwurf betrachtet wird. Um wahrscheinlichkeitstheoretische Aussagen auf Basis des Gesetzes der großen Zahlen treffen zu können, müssen mehrere Simulationsdurchläufe (Iterationen) durchgeführt werden und die Gesamtheit der somit ermittelten Ergebnisse analysiert und bewertet werden (z.B. in Form von Histogrammen).[20)]

6.2.3 Monte-Carlo-Simulation

Die Kombination aus einem mathematischen Berechnungsmodell (Simulation), dessen Inputparameter durch Zufallszahlen (in Form von Verteilungsfunktionen) definiert sind, und der wiederholenden Berechnung von zufallsbedingten Ergebnissen (Monte-Carlo-Methode) mittels einer geeigneten Computersoftware, wird als ‚Monte-Carlo-Simulation' bezeichnet. Es handelt sich dabei um ein numerisches Verfahren, bei dem die Ergebnisse jedes Simulationsschritts (auch als Iteration bezeichnet) als Zufallsgröße und auf Basis eines vorgegebenen Berechnungsmodells ermittelt werden. Bei Monte-Carlo-Simulationen wird eine individuell festgelegte Anzahl an Iterationen durchgeführt.

Möchte man beispielsweise die Verteilung der Summe mehrerer unabhängiger Zufallsvariablen bilden, geschieht dies durch die Faltung der Einzelverteilungen. Bei mehreren Summanden ergeben sich bei der Faltung schnell komplizierte Integrale, die gelöst werden müssen. Werden noch andere Rechenoperationen mit unterschiedlichen Variablen durchgeführt, bei denen einzelne Parameter voneinander abhängig sind (Korrelationen), stößt die mathematische Operation der Faltung schnell an ihre Grenzen. Die Lösung für solche Probleme, wie sie z.B. bei der probabilistischen Kostenkalkulation vorkommen, kann mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation sehr gut und mit vertretbarem Aufwand angenähert werden.

„Die Monte-Carlo-Simulation bedient sich der Wahrscheinlichkeitsrechnung[21)], der Statistik, Probabilistik und wird auch für Verfahren des Operations Research eingesetzt. Es handelt sich dabei um Teilgebiete der Stochastik, die wiederum einen Teilbereich der Mathematik darstellt."[22)]

Abb. 6-5 zeigt die in Abschnitt 2.3 bereits vorgestellten, wesentlichen Teilbereiche der Mathematik und in welche Bereiche die Monte-Carlo-Simulation z.B. für die Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten eingeordnet werden kann.

---

20) Vgl. Sawilowsky (2003), S. 218f.

21) Zur Wahrscheinlichkeitsrechnung zählt beispielsweise auch die Entscheidungstheorie.

22) Kummer (2015a), S. 114
Eine weitere Möglichkeit zur Einordnung in die Teildisziplinen der Mathematik bietet die 2010 Mathematics Subject Classification (MSC2010). Darin sind 62 Hauptkategorien mit insgesamt mehr als 6.130 Unterkategorien definiert. Ziel der MSC2010 ist es, die Literatur der Mathematik so zu klassifizieren, dass Interessierte in einem speziellen Gebiet schnell neue Informationen und Erkenntnisse finden können. Vgl. http://www.ams.org/mathscinet/msc/pdfs/classifications2010.pdf. Datum des Zugriffs: 05.10.2016

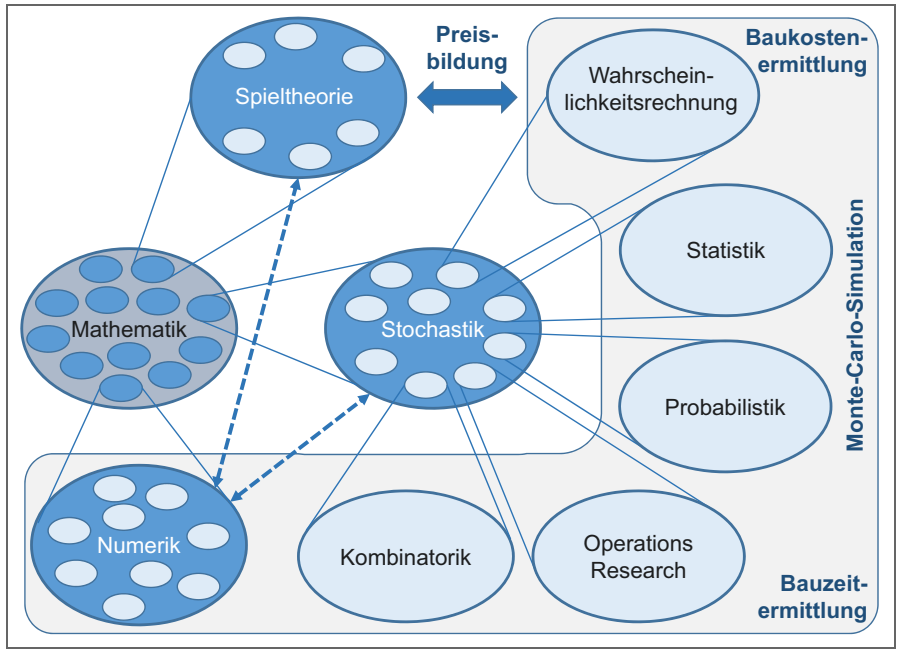


Abb. 6-5 Einordnung der Monte-Carlo-Simulation in die Teilbereiche der Mathematik[23)]

Wie in der Darstellung ersichtlich, ist die Monte-Carlo-Simulation sowohl der Numerik als auch der Stochastik zuzuordnen, da dabei mit Zufallszahlen operiert wird. Es handelt sich um ein numerisches Verfahren der Stochastik.

Während die Monte-Carlo-Simulation in diesem Buch für das Chancen- und Risikomanagement eingesetzt wird, sind z.B. für die Preisbildung weitere strategische Überlegungen notwendig. Vor allem durch die Kombination von Ergebnissen aus Monte-Carlo-Simulationen und Überlegungen der Spieltheorie kann eine optimierte Entscheidungsbasis geschaffen werden. Für eine vertiefende Betrachtung entscheidungstheoretischer Grundlagen sowie des Risikonutzenverhaltens von wirtschaftlichen Akteuren sei an dieser Stelle beispielhaft auf die Dissertation von *Werkl*[24)] verwiesen.

6.2.4 Szenario/Iteration

Die Begriffe Iteration und Szenario werden oft synonym verwendet, beschreiben aber im Zuge von Berechnungen unterschiedliche Sachverhalte. Szenarien beziehen sich auf die (variierenden) Kontextbedingungen einer Berechnung, während es sich bei Iterationen um die Beschreibung von Rechenvorgängen handelt, die entweder stufenweise oder wiederholend durchgeführt werden.

23) Kummer (2015a), S. 113
24) Vgl. Werkl (2013)

6.2.4.1 Iteration

Bei Iterationen gilt es zwischen stufenweisen und wiederholenden Iterationen zu differenzieren. Ein schematischer Vergleich der beiden Iterationsarten ist in Abb. 6-6 dargestellt.

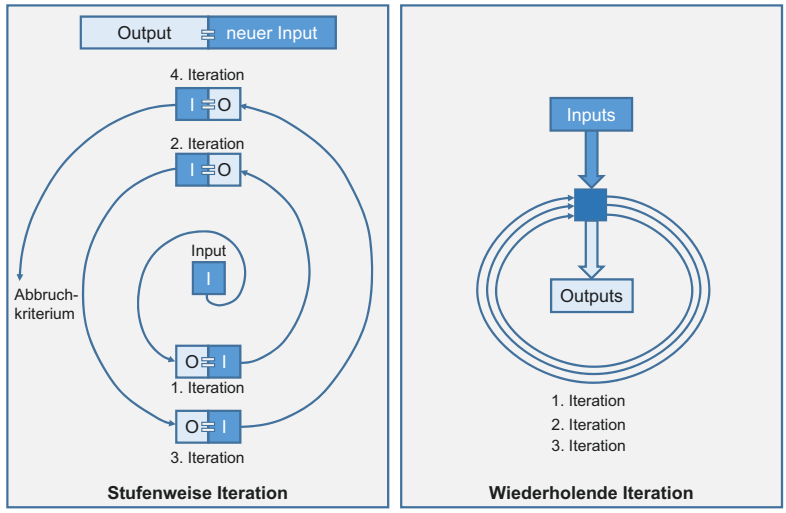


Abb. 6-6 Schematische Darstellung stufenweiser und wiederholender Iterationen[25)]

Stufenweise Iterationen werden z.B. bei der Aggregation von Produktivitätsverlusten oder im Zuge von Optimierungsverfahren eingesetzt. Dabei bauen die Ergebnisse eines Durchlaufs (Iteration) auf vorhergehende Ergebnisse auf. Der Output (O) eines Iterationsschritts n wird zum neuen Input (I) des nächsten Berechnungsdurchgangs n+1 (siehe Abb. 6-6 – links). Es kommt also zu einer schrittweisen Annäherung des zu ermittelnden Outputs. Die Berechnungen werden solange fortgeführt, bis ein Abbruchkriterium (z.B. Zeitlimit, vorgegebene Anzahl an Iteration erreicht, keine signifikante Änderung des Outputs bei steigender Anzahl an Iterationen) erfüllt wird.[26)]

Wiederholende Iterationen werden z.B. bei einem Simulationsdurchlauf mit der Monte-Carlo-Methode durchgeführt. Hier ändern sich die Zufallszahlen der Inputs unabhängig vom Ergebnis einer vorhergehenden Iteration. Die Einzelergebnisse von wiederholenden Iterationen können gesammelt als Histogramm dargestellt werden.[27)]

6.2.4.2 Szenario

Bei einem Szenario handelt es sich um den Rahmen, in dem das Geschehen eingebettet ist. Es umschreibt die Gesamtheit der Gegebenheiten und Umstände, in denen sich ein Ereignis abspielt.[28)]

25) Kummer (2015a), S. 137
26) Vgl. ebd.
27) Vgl. ebd.
28) Vgl. Duden (2007), S. 1654

Übertragen auf die Durchführung von Berechnungen für zukünftige Ereignisse kann beispielsweise in ein Szenario mit sicherer Erwartung (deterministische Berechnung) und ein Szenario mit unsicherer Erwartung (z.B. probabilistische Berechnung) unterschieden werden.

Ein Szenario definiert demnach die Rahmenbedingungen, unter denen eine Berechnung durchgeführt wird. Weitere Szenarien im Zusammenhang mit Monte-Carlo-Simulationen könnten eine Berechnung mit unabhängigen Variablen und eine Berechnung, bei der Abhängigkeiten zwischen den Parametern durch Korrelationen definiert sind, sein.

Bei der Berechnung der Bauzeit können für ein Szenario beispielsweise nur lineare Zusammenhänge berücksichtigt werden. In einem anderen Szenario ist es jedoch möglich, Nichtlinearitäten in den Beziehungen zu integrieren. Durch das Berücksichtigen von nicht linearen Beziehungen können Produktivitätsverluste in die Berechnungen einfließen. Auf Basis dieses Szenarios gelingt eine realitätsnahe Abbildung der zukünftigen Kombination der Produktionsfaktoren (z.B. im Zuge der Berechnung von Bauzeit und Baukosten).

6.2.5 Anwendungsgebiete

Die Anwendungsgebiete für Monte-Carlo-Simulationen sind sehr vielfältig. Es handelt sich dabei um ein Instrument der Mathematik, das häufig in den Natur-, Ingenieur- und Sozialwissenschaften[29)] eingesetzt wird. Überall dort, wo von unsicheren Eingabewerten ausgegangen wird oder numerisch angenäherte Lösungen ermittelt werden sollen, ist der Einsatz von probabilistischen Berechnungsverfahren denkbar. Einige Anwendungsfälle sind nachfolgend demonstrativ aufgezählt:

- Naturwissenschaften
    - Physik – Neutronendurchgang
    - Biologie – Populationsentwicklung
    - Medizin – Arzneimittelentwicklung

- Ingenieurwissenschaften
    - Konstruktiver Ingenieurbau – Ermittlung von Teilsicherheitsbeiwerten, Materialverhalten
    - Wirtschaftsingenieurwesen – Kosten- und Zeitenermittlungen
    - Baubetrieb – Ermittlung von Ressourcen, Logistik, Analysen zur Verfahrensauswahl, Baustelleneinrichtung, Leistungsermittlung
    - Energietechnik – Schätzungen zu Erdölvorkommen, Kerntechnik und Kernfusionstechnik
    - Analysen in Bereichen der Logistik
    - (Siedlungs-)Wasserbau und Verkehrswesen – Modellierung und Analyse von Netzen
    - Warteschlangenmodelle
    - Lebenszykluskostenbetrachtungen
    - Optimierungsverfahren

- Sozialwissenschaften
    - Wirtschaft – Entwicklung von Wertpapieren, Investitionsrechnungen
    - Volkswirtschaft – Wirtschaftsprognosen
    - Kostenermittlungen, Preisgestaltung
    - Demographie

[29)] Hierzu zählen auch die Wirtschaftswissenschaften als Teilbereich der Sozialwissenschaften. Die Baubetriebs- und Bauwirtschaftswissenschaften sind anwendungsorientiert und interdisziplinär den Ingenieur- und Sozialwissenschaften zuzuordnen.

6.2.5.1 Anwendungsbeispiel – Augensumme von Würfeln

Zur Veranschaulichung der Funktionsweise der Monte-Carlo-Simulation wird die Wahrscheinlichkeit der Summe der Augenzahl zweier Würfel zunächst analytisch und dann mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation ermittelt.

Für die Berechnungen wird angenommen, dass zwei Würfel mit sechs Seiten vorliegen und, dass die Wahrscheinlichkeit für jede Seite, auf der der Würfel zu liegen kommen kann, gleich groß ist. Es wird dabei vorausgesetzt, dass die Beschaffenheit der Würfel im Hinblick auf die Oberfläche, das Gewicht und die Geometrie identisch ist. Die Wahrscheinlichkeit für jede Seite eines Würfels beträgt demnach 1/6 bzw. 16,67 %.

Die Augenzahlsumme zweier Würfel kann Werte zwischen zwei und zwölf annehmen. Jeder der Werte innerhalb dieser Bandbreite kann sich durch unterschiedliche Augenpaarkombinationen ergeben:

- 1 + 1 = 2
- 1 + 2 = 2 + 1 = 3
- 1 + 3 = 2 + 2 = 3 + 1 = 4
- 1 + 4 = 2 + 3 = 3 + 2 = 4 + 1 = 5
- 1 + 5 = 2 + 4 = 3 + 3 = 4 + 2 = 5 + 1 = 6
- 1 + 6 = 2 + 5 = 3 + 4 = 4 + 3 = 5 + 2 = 6 + 1 = 7
- 2 + 6 = 3 + 5 = 4 + 4 = 5 + 3 = 6 + 2 = 8
- 3 + 6 = 4 + 5 = 5 + 4 = 6 + 3 = 9
- 4 + 6 = 5 + 5 = 6 + 4 = 10
- 5 + 6 = 6 + 5 = 11
- 6 + 6 = 12

Anhand dieses einfachen Beispiels wird deutlich, dass viele Kombinationen möglicher Ergebnisse realisiert werden können. Obwohl es sich um ein System mit nur zwei diskreten Zufallsvariablen handelt, erfordert die Auflistung aller möglichen Kombinationen bereits einen beträchtlichen Arbeitsaufwand.

Insgesamt sind für das angeführte Beispiel 36 Kombinationen (Ereignisraum) möglich. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine dieser Kombinationen bei zufälligem Würfeln auftreten wird, beträgt 100 %.

Die Anzahl der möglichen Kombinationen kann auch mit Hilfe der Glg. (6-2) ermittelt werden. Dabei ist n die Anzahl der Seiten eines Würfels und k die Anzahl der Würfel.

$$\text{Anzahl möglicher Kombinationen} = n^k \tag{6-2}$$

Da die Augenzahlsumme zwei und zwölf jeweils nur durch eine mögliche Kombination auftreten können, beträgt deren Eintrittswahrscheinlichkeit 1/36 oder 2,78 %.

Nach diesem Muster können nun auch die Wahrscheinlichkeiten der übrigen möglichen Augenzahlen ermittelt werden. Die Wahrscheinlichkeit mit zwei Würfeln eine Augenzahlsumme von sieben zu erhalten beträgt 6/36 oder 16,67 % und ist damit unter allen möglichen Ergebnissen am größten.

Alternativ zur analytischen Berechnung wird auch die Ermittlung mittels Monte-Carlo-Simulation gezeigt. Am Beginn der Simulation steht immer die Modellbildung, bei der ein realer oder ein geplanter Sachverhalt bzw. ein Systemverhalten durch ein mathematisches Berechnungsmodell abstrahiert wird. Es gilt also zunächst die möglichen Ergebnisse eines Würfels in einem Modell bzw. mit einer Verteilungsfunktion zu modellieren.

Da jede Augenzahl eines Würfels die gleiche Wahrscheinlichkeit aufweist (16,67 %) und somit nur diskrete Werte gewürfelt werden können, bietet sich die Modellierung mit einer diskreten Rechteckverteilung an (siehe Abb. 6-7).

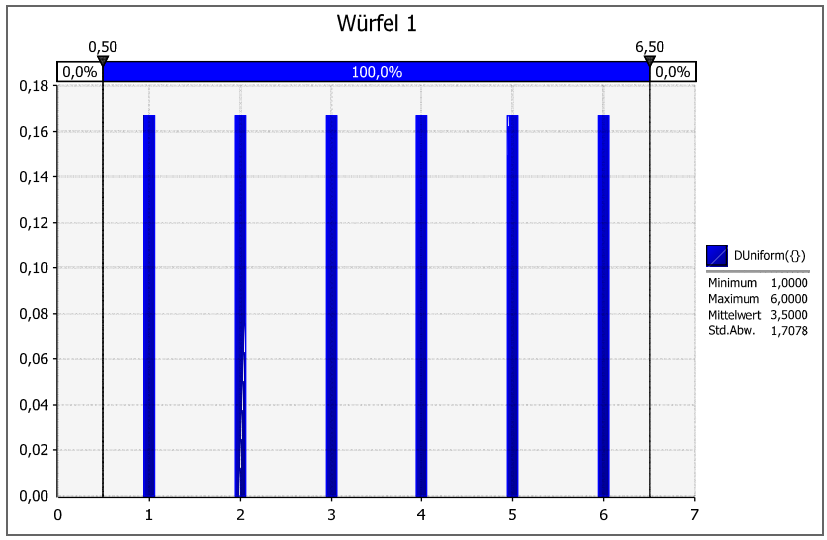


Abb. 6-7 Wahrscheinlichkeitsverteilung – Augenzahl eines Würfels

Auf der Abszisse sind die Augenzahlen eines Würfels (also die möglichen Ergebnisse) und auf der Ordinate die zugehörige Eintrittswahrscheinlichkeit aufgetragen. Die sechs Balken zeigen, dass jede der Augenzahlen mit der gleichen Wahrscheinlichkeit (16,67 %) auftreten kann.

Im Berechnungsmodell werden nun zwei unabhängige Zufallsvariablen durch eine Verteilung, wie sie in Abb. 6-7 dargestellt ist, definiert. Als Output der Simulation wird die Summe der beiden Zufallsvariablen festgelegt. Dieser Output kann – nach mehreren Wiederholungen (Iterationen) des Würfelexperiments und Sammlung der Ergebnisse – als Histogramm dargestellt werden und gibt die Eintrittswahrscheinlichkeit für die möglichen Ergebnisse näherungsweise wieder (siehe Abb. 6-8).

Für diskrete Verteilungen wie in Abb. 6-8 kann die Eintrittswahrscheinlichkeit jeder Ausprägung auf der Ordinate direkt abgelesen werden. Bei stetigen Verteilungen kann die jeweilige Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit eines bestimmten deterministischen Werts angegeben werden. Ist das Auftreten eines Outputs innerhalb eines gewissen Wertebereichs von Interesse, kann dieser Bereich mittels zweier deterministischer Werte definiert und die entsprechende Wahrscheinlichkeit ermittelt werden.

Beispielhaft ist in Abb. 6-8 durch die Gleitbegrenzer im oberen Bildrand ein Bereich von 1,00 bis 13,00 definiert. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Summe der Augenzahlen von zwei Würfeln innerhalb dieses Bereichs liegt, beträgt 100 %.[30)]

Während der Simulation wird aus jeder der beiden definierten Zufallsvariablen (vgl. Abb. 6-7) ein Wert zwischen eins und sechs zufällig gewählt und die Summe gebildet. Die Einzelergebnisse werden in Form des dargestellten Histogramms (siehe Abb. 6-8)

[30)] Im Softwareprogamm @Risk können die Gleitbegrenzer beliebig verschoben werden und es wird direkt die Wahrscheinlichkeit für die drei definierten Bereiche angegeben.

gesammelt. Mit steigender Anzahl der Iterationen nähert sich das Ergebnis jenem der analytischen Berechnung an. Für das angeführte Beispiel wurden 50.000 Iterationen mit dem Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren durchgeführt.

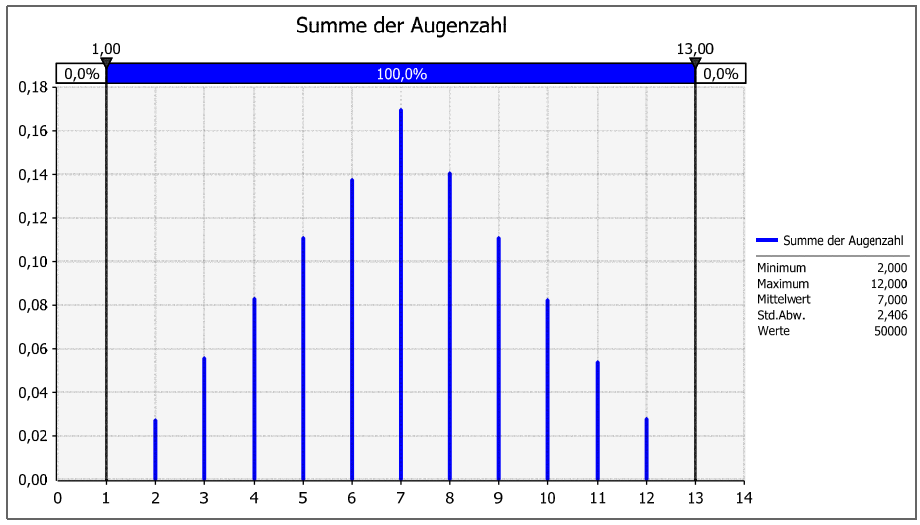


Abb. 6-8 Wahrscheinlichkeitsverteilung – Summe der Augenzahl von zwei Würfeln[31)]

In Abb. 6-8 ist als Ergebnis das Histogramm für die Summe der Augenzahl aus den Würfelversuchen dargestellt (nach 50.000 Iterationen). Da es sich beim Output um eine diskrete Verteilung handelt, kann ausgesagt werden, dass das Ergebnis mit der Gesamtaugenzahl sieben die größte Eintrittswahrscheinlichkeit aufweist.

Das Hinzufügen weiterer Würfel bedeutet in der Simulation keinen großen zusätzlichen Aufwand, da lediglich eine weitere unabhängige Verteilung in die Summenbildung integriert werden muss. Bei der analytischen Lösung müsste wiederum der neue Ereignisraum (Anzahl möglicher Kombinationen) sowie die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten ermittelt werden.

Die Vorteile numerischer Berechnungsverfahren im Vergleich zu analytischen Vorgangsweisen zeigen sich vor allem angesichts einer hohen Komplexität von Berechnungsmodellen und einer damit verbundenen großen Anzahl an erforderlichen Berechnungsschritten.

6.2.5.2 Anwendungsbeispiel – Aushub

Ein weiteres baupraktisches Beispiel im Hinblick auf die Aushubmenge einer Baugrube verdeutlicht die Vorteile probabilistischer Berechnungen. Angenommen wird ein Baugrubenaushub von 1.500 m³ (ohne Auflockerung; fest). Es werden insgesamt drei verschiedene Bodenklassen im Bereich des Aushubs erwartet. Die Ergebnisse von Voruntersuchungen lassen darauf schließen, dass pro Bodenklasse jeweils ein Drittel der Gesamtaushubmenge anfallen wird.

31) Obwohl für die Darstellung des Histogramms 50.000 Iterationen mit dem Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren durchgeführt wurden, zeigt sich beim Vergleich der Ergebnisse für die Augenzahlen sechs und acht, ein geringfügiger Unterschied in der Balkenhöhe, der durch die numerische Berechnung begründet ist. Die analytische Berechnung der Wahrscheinlichkeiten ergibt für die Augenzahlen sechs und acht genau die gleiche Wahrscheinlichkeit (5/36 oder 13,89 %).

Diese Aussage bzw. Experteneinschätzung ist jedoch mit Unsicherheiten behaftet, da eine vollständige Bodenerkundung (ohne Unsicherheiten) nicht möglich ist.

Es wird angenommen, dass für die Menge jeder der drei Bodenklassen eine Schwankungsbreite von +/- 20 % zu erwarten ist. Zudem gelten alle Werte in dieser definierten Bandbreite als gleich wahrscheinlich. Darauf basierend fällt die Wahl auf eine rechteckige Verteilungsfunktion.

Bei den Angaben handelt es sich um subjektive Einschätzungen fachkundiger Experten, die ihre Aussagen auf Erfahrungen und Ergebnisse der Voruntersuchung stützen.

Je nach Bodenklasse unterscheiden sich auch die Kosten für den Aushub und evtl. auch für die Verfuhr und Lagerung bzw. Deponierung. Für das Berechnungsbeispiel werden folgende Kosten (als deterministische Werte) je Bodenklasse angenommen:

- Bodenklasse 3-5: 5,00 €/m³
- Bodenklasse 6: 20,00 €/m³
- Bodenklasse 7: 30,00 €/m³

Aufgrund der angestellten Überlegungen und der Vorerkundung wird für die Modellbildung die mögliche Aushubmenge jeder Bodenklasse in der Bandbreite zwischen 400 und 600 m³ gleichverteilt (siehe Abb. 6-9).

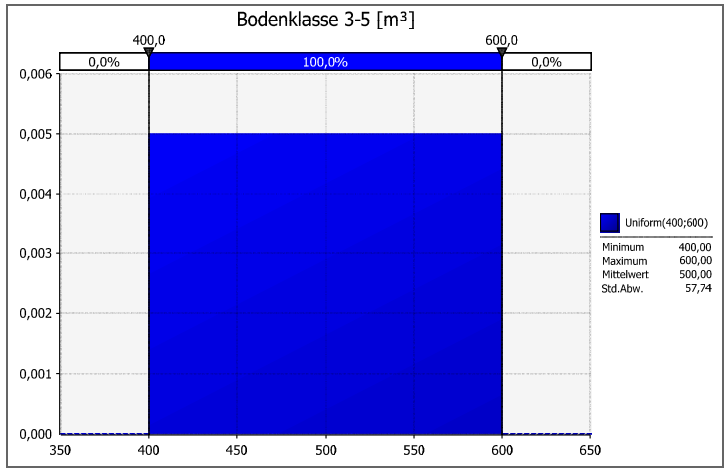


Abb. 6-9 Verteilungsfunktion für die Aushubmengen der Bodenklasse 3-5

Im Gegensatz zum vorhergehenden Beispiel mit den Würfeln (siehe Abschnitt 6.2.5.1) ist nun jeder Wert innerhalb der gegebenen Bandbreite (400 bis 600 m³) gleich wahrscheinlich – dies gilt für alle Mengen zwischen dem Minimum und Maximum. Für die anderen beiden Bodenklassen gilt die Annahme identischer Verteilungsfunktionen.[32)]

Im Zuge der Monte-Carlo-Simulation wird nun in jedem Berechnungsdurchgang (Iteration) ein zufälliger Wert aus den Bandbreiten für die drei Bodenklassen gewählt und mit dem jeweiligen Einheitspreis multipliziert. Damit ergibt sich in Summe eine Verteilung für den zu erwartenden Preis des gesamten Aushubs der Baugrube.

Zu beachten ist allerdings, dass während der Simulation Abweichungen von der anfangs fix angenommenen Aushubmenge von 1.500 m³ auftreten werden. Dies ist durch die

32) Kann z.B. einem bestimmten Mengenwert eine erhöhte Wahrscheinlichkeit zugewiesen werden, wäre für die Wahl der Verteilungsfunktionen der Inputparameter auch eine unimodale Verteilung (z.B. eine Dreiecks- oder PERT-Verteilung) möglich.

zufällige Zusammensetzung der Aushubmenge aus den drei Bodenklassen begründet. Als Extremmenge können Aushubmengen von lediglich 1.200 m³ (= 3 * 400 m³) bzw. am oberen Ende der Verteilung von 1.800 m³ (= 3 * 600 m³) auftreten. Zur Verhinderung von unerwünschten und unrealistischen Gesamtmengen in den Iterationen wird in der Modellbildung eine Normierung der Mengen in jedem Iterationsschritt berücksichtigt. Die zufällig ausgewählten Werte werden dabei auf die Gesamtaushubmenge von 1.500 m³ (festes Volumen) normiert und in weiterer Folge für die Ermittlung des Aushubpreises herangezogen.

In Abb. 6-10 ist das Histogramm für den Preis des gesamten Aushubs dargestellt. Es zeigt sich, dass nur durch die möglichen Mengenanteilsverschiebungen innerhalb der Bodenklassen eine deutliche Streuung des Gesamtpreises auftritt. Mit einer 90 %igen Wahrscheinlichkeit liegt der Preis zwischen 25.776 und 29.229 €. Diese beiden Preise werden jeweils mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % über- bzw. unterschritten (siehe Gleitbegrenzer am oberen Rand des Histogramms in Abb. 6-10).[33)]

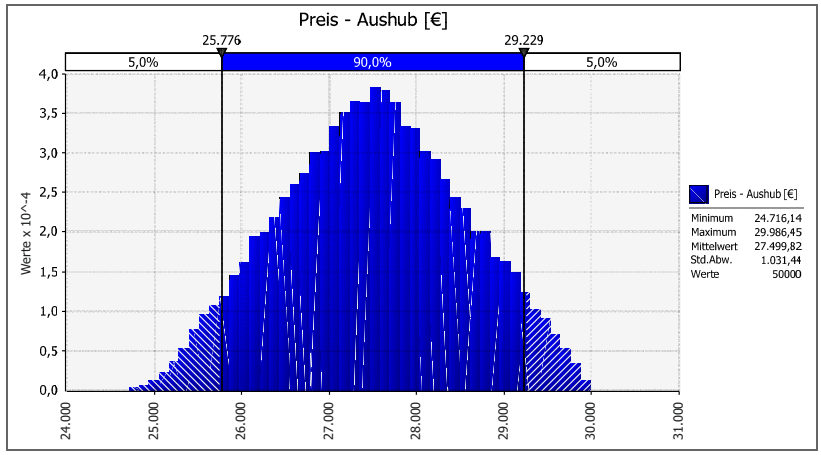


Abb. 6-10 Histogramm – Preis für den Aushub der gesamten Baugrube

33) Aus einer theoretischen Überlegung für dieses einfache Beispiel kann der minimale Aushubpreis auch analytisch ermittelt werden. Ist die Aushubmenge der günstigsten Bodenklasse am größten und jene der teuersten am geringsten ergibt sich aus der Überlegung der niedrigste Preis mit 25.000 € (= 600 m³ * 5,00 €/m³ + 500 m³ * 20 €/m³ + 400 m³ * 30 €/m³). Aus dem Histogramm gehen aber auch Werte unterhalb von 25.000 € hervor (Minimum: 24.716,14 €). Dies begründet sich durch die durchgeführte Normierung der Mengenanteile auf 1.500 m³. In seltenen Fällen kommt es durch die Normierung vor, dass die ursprünglich angegebenen Bandbreiten der Bodenklassen überschritten werden. Für das konkrete Beispiel ist das dann der Fall, wenn für die Bodenklasse 3-5 ein Wert nahe bei 600 m³ und für die Bodenklassen 6 und 7 jeweils ein Wert nahe bei 400 m³ in einer Iteration ausgewählt werden (in Summe ca. 1.400 m³). Durch die Normierung werden die zufällig gewählten Werte so umgerechnet, dass sich in Summe eine Aushubmenge von 1.500 m³ ergibt. Diese Menge setzt sich nach der vorgegebenen Systematik wie folgt zusammen: Bodenklasse 3-5: 642,86 m³ (= 600 m³/ 1.400 m³ * 1.500 m³) | Bodenklassen 6 und 7: 428,57 m³ (= 400 m³/ 1.400 m³ * 1.500 m³). Werden diese Mengen mit den angegebenen deterministischen Preisen multipliziert ergibt sich ein Gesamtpreis von 24.642,86 € (= 642,86 m³ * 5,00 €/m³ + 428,57 m³ * 20 €/m³ + 428,57 m³ * 30 €/m³) der somit unter dem theoretischen Minimum von 25.000 € liegt. Grund für die Werte unter 25.000 € ist damit ein pragmatischer Ansatz in der Modellbildung, der vor dem Hintergrund der ohnehin unsicheren Parameter in Kauf genommen wird. Im gegenständlichen Beispiel weisen von insgesamt 50.000 Iterationen lediglich ca. 66 eine Mengenkombination auf, die zu einem Preis unter 25.000 € führen. Dies entspricht einem Anteil von 0,132 % (= 66 / 50.000 * 100 %).

Dem aufgezeigten Effekt lässt sich entweder bereits in der Modellbildung durch eine stufenweise Iteration im Zuge der Normierung und durch die Einführung von fixen Grenzen für die Mengenanteile begegnen, oder es wird auf das Simulationsergebnis ein Filter angewendet, der Werte über und unter den theoretischen Extremwerten ausschließt. Je mehr Einzelanteile (hier: Bodenklassen) für die Bildung einer Gesamtmenge in das Modell einfließen, desto unwahrscheinlicher wird das Auftreten eines derartigen Sonderfalls.

Die Anzahl möglicher Kombinationen erhöht sich für das angeführte Beispiel nicht nur durch die drei betrachteten Bodenklassen, sondern auch durch die stetigen Verteilungen, die für die Teilmengen angesetzt wurden. Jeder Wert (mit beliebig vielen Nachkommastellen) innerhalb der angegebenen Bandbreiten kann für die Bildung möglicher Kombinationen herangezogen werden. Eine analytische Berechnung für dieses Beispiel mit wenigen Variablen und einfachen Verteilungsfunktionen erfordert bereits vertiefte mathematische Kenntnisse.

Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation und einer ausreichenden Anzahl an Iterationen (gewählt: 50.000) ist eine sehr gute Näherung für die gesuchten Ergebnisse möglich.

Im Vordergrund baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Betrachtungen steht nicht die mathematische Lösung komplizierter Gleichungen, Integrale und wahrscheinlichkeitstheoretischer Probleme, sondern die Definition der Inputparameter, die Entscheidung, ob Korrelationen berücksichtigt werden, die Modellbildung sowie die Interpretation der Ergebnisse.

Die Monte-Carlo-Simulation stellt dabei ein Werkzeug dar, welches dem Erfordernis einer exakten analytischen Lösung von mathematischen Problemen durch numerische Berechnungen mit Hilfe von Zufallszahlen begegnet. Durch eine große Anzahl an Iterationen und die Wahl ‚intelligenter' Probenerhebungsverfahren (Latin Hypercube) können für baubetriebliche und bauwirtschaftliche Fragestellungen in kurzer Zeit und mit wenig Aufwand, Ergebnisse mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden.

6.2.5.3 Anwendungsbeispiel – Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten

Im Folgenden wird anhand eines konkreten Beispiels demonstriert, wie die Monte-Carlo-Simulation im Rahmen einer bauwirtschaftlichen Berechnung Anwendung findet. Dazu wird die Einzelkostenberechnung für Stahlbetonarbeiten im Zuge einer Grobbetrachtung anhand der Glg. (6-3) einmal mit deterministischen und einmal mit probabilistischen Werten durchgeführt.

$$K_{STB} = (ML_{STB} \cdot AW_{STB} + k_{Gerät} + k_{Material}) \cdot BT_M \tag{6-3}$$

Die Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten K_{STB} [€] ergeben sich aus der Multiplikation des Mittellohns ML_{STB} [€/Std] mit dem Gesamt-Aufwandswert für die Stahlbetonarbeiten AW_{STB} [Std/m³] plus den Gerätekosten $k_{Gerät}$ [€/m³] und Materialkosten $k_{Material}$ [€/m³]. Die Summe wird schließlich mit der Stahlbetonmenge BT_M [m³] multipliziert.

Werden für die einzelnen Berechnungsparameter lediglich deterministische Werte (also nur einzelne Zahlenwerte) eingesetzt (siehe Spalte D der Tab. 6-1), folgt als Ergebnis dieser Berechnung wiederum ein Zahlenwert (Zelle D6). Dieser einzelne Wert ist zwar mathematisch richtig berechnet, berücksichtigt jedoch nicht die Unsicherheiten mit denen die Berechnungsparameter behaftet sind. Soll das Ergebnis als Prognose für zukünftige Kosten dienen, steht bereits fest, dass dieser Wert höchstwahrscheinlich nicht genau erreicht wird. Eine Aussage über Unsicherheiten, Bandbreiten und Wahrscheinlichkeiten kann auf Basis einer deterministischen Berechnung nicht getroffen werden.

Lfd. Nr.	Berechnungsparameter		Einheit	ERW
0	A	B	C	D
1	Mittellohn	ML_{STB}	€/Std	34,00
2	Gesamt-Aufwandswert	AW_{STB}	Std/m³	5,90
3	Gerätekosten	$k_{Gerät}$	€/m³	65,00
4	Materialkosten	$k_{Material}$	€/m³	180,00
5	Betonmenge	BT_M	m³	38.000,00
6	**Einzelkosten - Stahlbetonarbeiten**	**K_{STB}**	**€**	**16.932.800,00**

Tab. 6-1 Deterministische Berechnung der Einzelkosten für Stahlbetonarbeiten

Wird die gleiche deterministische Berechnungsvorschrift (Glg. (6-3)) herangezogen, aber anstelle der deterministischen Inputwerte Verteilungen für die Berechnungsparameter angesetzt, ergibt sich nach einer Monte-Carlo-Simulation mit mehreren tausend Einzelergebnissen ein Histogramm, anhand dessen Aussagen über Wahrscheinlichkeiten getroffen werden können.

In Tab. 6-2 wurde für jeden Eingangsparameter (Zeilen 1 bis 5) eine Dreiecksverteilung – definiert durch einen minimalen, erwarteten und maximalen Wert (Spalten D bis F) – angesetzt. Die Verteilungen selbst sind in der Spalte G hinterlegt. Die Zahlenwerte in den Zellen G1 bis G5 stellen die Mittelwerte der definierten Verteilungen dar. Werden diese Werte in Glg. (6-3) eingesetzt, ergibt sich für die Einzelkosten jener Wert, der in Zelle G6 eingetragen ist.[34)]

Durch die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation wird jedoch nicht nur ein Wert, sondern im vorliegenden Fall 50.000 Einzelergebnisse (= 50.000 wiederholende Iterationen) berechnet. Als Ergebnis dieser Iterationen ist in Zelle G6 ein Histogramm hinterlegt[35)], welches das Spektrum möglicher Szenarien abbildet. Aus darstellungstechnischen Gründen wird das Histogramm nicht direkt in Tab. 6-2, sondern in einer separaten Abbildung dargestellt (siehe Abb. 6-11 – unten).

Lfd. Nr.	Berechnungsparameter		Einheit	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F	G
1	Mittellohn	ML_{STB}	€/Std	32,00	34,00	36,00	34,00
2	Gesamt-Aufwandswert	AW_{STB}	Std/m³	5,30	5,90	6,80	6,00
3	Gerätekosten	$k_{Gerät}$	€/m³	61,00	65,00	69,00	65,00
4	Materialkosten	$k_{Material}$	€/m³	165,00	180,00	192,00	179,00
5	Betonmenge	BT_M	m³	36.600,00	38.000,00	39.200,00	37.933,33
6	**Einzelkosten - Stahlbetonarbeiten**	**K_{STB}**	**€**				**16.994.133,33**

Tab. 6-2 Probabilistische Berechnung der Einzelkosten für Stahlbetonarbeiten

Die Funktionsweise der Simulation ist in Abb. 6-11 dargestellt. Bei jeder der durchgeführten Iterationen werden zufällige Werte aus dem Bereich der angesetzten Dreiecksverteilungen gewählt (symbolisiert durch weiße Pfeile) und ein Ergebnis für die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten nach der vorgegebenen Berechnungsgleichung (Glg. (6-3)) ermittelt. Werden diese Einzelergebnisse zusammengefasst als Histogramm dargestellt, kann eine Bandbreite angegeben werden, innerhalb der sich z.B. die zentralen 90 % aller ermittelten Werte befinden (Quantilsabstand zwischen Q_5 und Q_{95}).

34) Geringfügige Abweichungen gegenüber einer Berechnung ‚von Hand' können sich durch die Tatsache ergeben, dass die in den Tabellen eingetragenen Werte mit MS Excel – und damit mit mehr Nachkommastellen als angeschrieben – berechnet wurden.

35) Spezifikum des verwendeten Softwareprogramms @Risk.

Der weiße Pfeil, der im Histogramm der Einzelkosten eingezeichnet ist, stellt den deterministisch ermittelten Wert (16.932.800,00 €) dar. Erst mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation wird verdeutlicht, welche Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit für diesen einzelnen Wert vorliegt bzw. wo sich dieser innerhalb der ermittelten Bandbreite befindet.

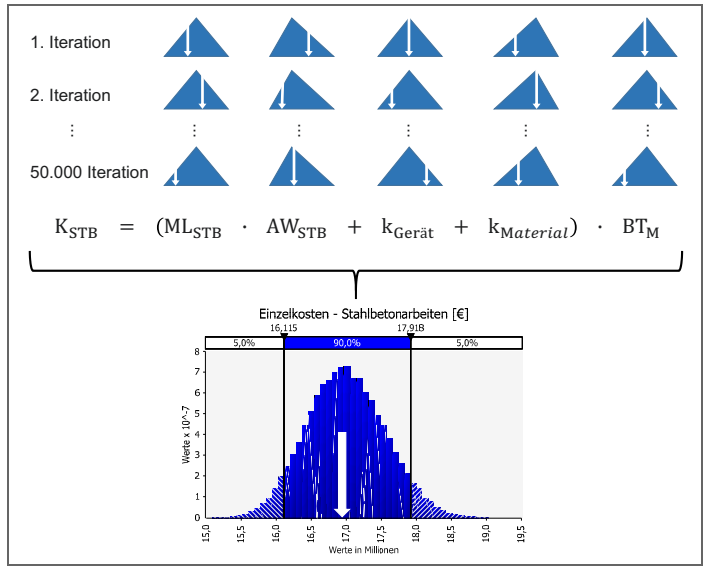


Abb. 6-11 Funktionsweise der Monte-Carlo-Simulation

Für das gezeigte Beispiel wurde angenommen, dass die Inputparameter unabhängig voneinander sind. Um die Zusammenhänge zwischen den Parametern noch besser abbilden und berücksichtigen zu können, ist der Einsatz von Korrelationen denkbar (siehe Abschnitt 6.5).

Die Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation sind für Ingenieure zunächst ungewohnt. Sie stellen kein scharfes Bild dar, sondern beschreiben die Unschärfen einer Berechnung. Diese können durch die Darstellung als Histogramm in weiterführenden Überlegungen und Entscheidungen berücksichtigt werden. Das eingegangene Risiko bzw. die erwartete Chance von Entscheidungen lassen sich auf Basis eines gewählten Sicherheitsniveaus quantifizieren. Entscheidungen können damit objektiviert werden.[36)]

Nachfolgend wird auf die Generierung von Zufallszahlen eingegangen. Dabei erfolgt eine Unterscheidung in echte Zufallszahlen und Pseudozufallszahlen. Zudem werden im Besonderen unterschiedliche Probenerhebungsverfahren (Monte-Carlo und Latin Hypercube beleuchtet und erklärt. Damit soll das Verständnis für die Abläufe, die in der Regel durch spezielle Softwareprogramme automatisch im Hintergrund durchgeführt werden, gesteigert werden.

6.3 Generierung von Zufallszahlen

Für die Monte-Carlo-Simulation spielen Zufallszahlen die entscheidende Rolle und haben zudem für verschiedene Bereiche der Statistik und beispielsweise auch in der Kryptographie eine große Bedeutung. Zufallszahlen bilden eine künstliche Stichprobe, die mit

36) Vgl. Lederer (1982), S. 45

einem Zufallsgenerator ermittelt wird. Für heutige Anwendungen handelt es sich bei diesen generierten Zahlen nicht um echte Zufallszahlen, wie sie sich bei Zufallsexperimenten (z.B. Roulette) ergeben, sondern um sogenannte Pseudozufallszahlen, die auf Grundlage eines vorgegebenen Algorithmus erzeugt werden.[37)]

Moderne Softwareprogramme bieten meist die Möglichkeit aus unterschiedlichen Algorithmen (Zufallsgeneratoren[38)]) auszuwählen. Dabei wird grundsätzlich in nicht-deterministisch und deterministisch erzeugte Zufallszahlen unterschieden.

Deterministische Zufallsgeneratoren liefern bei gleichen Ausgangsbedingungen immer die gleiche Folge von Zufallszahlen. Von Nicht-deterministischen Zufallsgeneratoren spricht man dann, wenn auch bei gleicher Ausgangslage immer unterschiedliche Zufallswerte erzeugt werden. Für Softwareprogramme, die immer deterministisch arbeiten, muss zur Realisierung eines nicht-deterministischen Zufallsgenerators ein externer (z.B. ein physikalischer) Vorgang einbezogen werden.

Wenn die Anzahl der Iterationen groß genug und die Qualität der Zufallszahlen (Kriterien siehe weiter unten) gut ist, ist die Verwendung eines deterministischen Zufallsgenerators durchaus auch mit Vorteilen verbunden. Bei deterministischen Zufallsgeneratoren können bei wiederholter Simulation die gleichen Ergebnisse rekonstruiert werden. Es müssen also nicht immer alle Iterationsergebnisse gespeichert werden, sondern diese können auch nachdem das verwendete Softwareprogramm geschlossen und später wieder geöffnet wird, einfach neu simuliert werden.

Nicht-deterministisch ist ein Zufallszahlengenerator dann, wenn er auch bei gleichen Ausgangsbedingungen unterschiedliche Werte liefert. Da die Implementierung einer Software-Prozedur immer deterministisch arbeitet, muss zur Realisierung eines nicht-deterministischen Zufallszahlengenerators ein externer, beispielsweise ein physikalischer, Vorgang einbezogen werden.

Softwareprogramme nutzen häufig nicht-deterministische Zufallsgeneratoren, die als Eingangsgröße ‚quasizufällige' Ereignisse (z.B. die Systemzeit bis zu der eine Benutzeraktion eintritt) verwenden. Wird der Ausgangswert (engl.: ‚seed') für die Erzeugung der Zufallszahlen als fixe Größe definiert, wird aus einem nicht-deterministischen ein deterministischer Zufallsgenerator.[39)]

In der praktischen Anwendung werden Zufallszahlen demnach mit Hilfe eines Algorithmus von Computern erzeugt. Es handelt sich damit nicht um ‚echte' Zufallszahlen, sondern um sogenannte ‚Pseudozufallszahlen', da sie mit Hilfe von deterministischen Verfahren erzeugt werden. Die wichtigsten Eigenschaften von Zufallszahlen sind die Unabhängigkeit und deren Gleichverteilung. Diese und weitere Bedingungen müssen bei Pseudozufallszahlen durch den Zufallsgenerator und dem dafür zugrunde liegenden Algorithmus erfüllt werden. Weitere Eigenschaften, die Pseudozufallszahlen erfüllen sollten, lauten:[40)]

---

37) Vgl. Hengartner/Theodorescu (1978), S. 12f.

38) In @Risk stehen in der Version 6 insgesamt acht Zufallsgeneratoren zur Verfügung: RAN3I; MersenneTwister; MRG32k3a; MWC; KISS; LFIB4; SWB; KISS_SWB. Standardmäßig wird der ‚MersenneTwister' für die Simulationen verwendet. Dieser Algorithmus hat eine lange Periode (Wiederkehrzyklus von ~ 4,3 * 10^6001) und eine sehr geringe Korrelation zwischen aufeinanderfolgenden Wertefolgen der Ausgabesequenz. Der MersenneTwister ist als Freeware online erhältlich: http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m-mat/MT/emt.html. Datum des Zugriffs: 07.11.2016.

39) Ohne einen festgelegten ‚seed' weichen die Ergebnisse von unterschiedlichen Simulationsdurchgängen bei unveränderten Inputs und unverändertem Modell immer geringfügig voneinander ab, da mit Zufallswerten gerechnet wird. Durch die Wahl einer größeren Anzahl an Iterationen können die Unterschiede zwischen den Simulationen vermindert werden, da die Ergebnisse immer stabiler werden, je größer die Anzahl an Iterationen ist.

40) Vgl. Suhl/Mellouli (2013), S. 280f.

- Effizienz: Die Erzeugung der Zufallszahlen sollte schnell und speicherschonend erfolgen.
- Reproduzierbarkeit: Durch Setzen eines ‚seed' (ein Startwert für die Generierung der Zufallszahlen) können die Zufallszahlen bei einer neuerlichen Simulation wiederhergestellt werden (deterministische Zufallszahlen).
- Lange Zyklen: Echte Zufallszahlenreihen liegen dann vor, wenn man eine solche Folge nicht durch ein Gesetz beschreiben kann. Zufallszahlen, die durch Algorithmen erzeugt werden (Pseudozufallszahlen), sind daher nicht zufällig und weisen Perioden auf. Diese Zyklen sollten möglichst lange sein, damit nicht immer die gleichen (Pseudo-)Zufallszahlen verwendet/erzeugt werden.

Für die Durchführung von Simulationsexperimenten ist die Generierung von Ausprägungen der Zufallsvariablen entsprechend der gewählten Inputverteilungen erforderlich. Mit Hilfe der Zufallsgeneratoren können zwar (Pseudo-)Zufallszahlen generiert werden, die Auswahl von Zufallswerten innerhalb definierter Verteilungen, mit denen in weiterer Folge ein Berechnungsdurchgang einer Simulation durchgeführt werden kann, erfordert den Einsatz spezieller Probenerhebungsverfahren.

6.3.1 Probenerhebungsverfahren

Die Wahl der Zufallswerte für einen (wiederholenden) Iterationsschritt aus den vorgegebenen Verteilungen der Inputgrößen kann im verwendeten Softwareprogramm (@Risk) über zwei unterschiedliche Probenerhebungsverfahren geschehen:
- Monte-Carlo-Probenerhebungsverfahren
- Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren

Bei beiden Verfahren werden ausgehend von der kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilung (Summenkurve) der Inputparameter Zufallszahlen aus der vorgegebenen Bandbreite gewählt. Mit diesen zufällig ‚abgetasteten' Werten werden in weiterer Folge die Berechnungen durchgeführt.

6.3.1.1 Monte-Carlo-Probenerhebungsverfahren

Die Funktionsweise des Monte-Carlo-Probenerhebungsverfahrens wird anhand einer Prinzipskizze (siehe Abb. 6-12) gezeigt. Für jede Iteration wird zunächst (mit Hilfe eines Zufallsgenerators, siehe Abschnitt 6.3) ein zufälliger Wert (Pseudozufallszahl) zwischen 0 und 1 generiert. Mit diesen Zufallswerten wird auf der Ordinate der kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilung begonnen und durch eine Horizontale ein Schnittpunkt mit der Summenkurve gebildet. Wird von diesem Schnittpunkt eine Vertikale auf die Abszisse verlängert, ergibt sich ein Zufallswert innerhalb der vorgegeben Bandbreite, mit dem in einer Iteration als Input gerechnet wird. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis die in der Simulation angegebene Anzahl an Iterationen erreicht ist. Der Nachteil dieses Verfahrens zeigt sich bei einer geringen Anzahl an Iterationen, da es dann zu einer Bündelung der abgetasteten Werte auf der Abszisse kommen kann (siehe Abb. 6-12). D.h. die Extremwerte in den Randbereichen werden kaum oder gar nicht in die Simulation einbezogen. Besonders jene Werte, die sich in Bereichen mit einer flach verlaufenden Summenkurve befinden (geringe Eintrittswahrscheinlichkeit), werden bei wenigen Iterationen seltener erhoben. Dies bedeutet generell, dass mit dem Monte-Carlo-Probenerhebungsverfahren die definierten Verteilungsfunktionen mit den Zufallswerten weniger schnell (im Sinne der Anzahl an erforderlichen Iterationen) abgebildet werden.

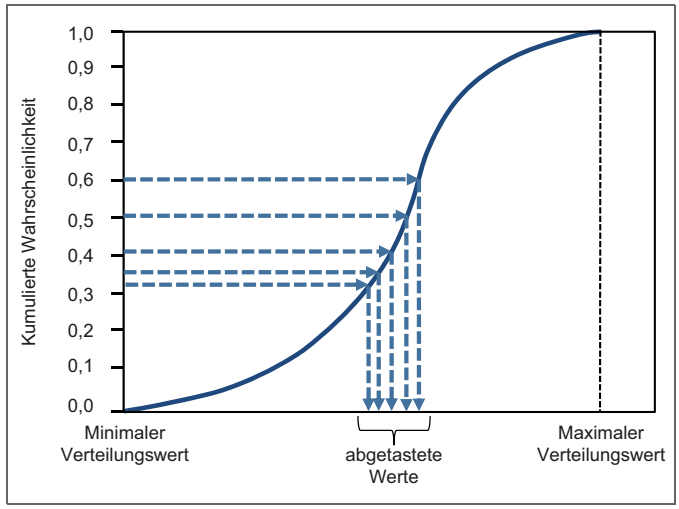


Abb. 6-12 Prinzipskizze – Monte-Carlo-Probenerhebungsverfahren – Beispiel für eine ungünstige Probenerhebung[41)]

6.3.1.2 Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren

Die Funktionsweise des Latin Hypercube Probenerhebungsverfahrens wird ebenfalls anhand einer Prinzipskizze (siehe Abb. 6-13) gezeigt. Bei der Latin Hypercube Probenerhebung wird die Ordinate in Bereiche gleicher Wahrscheinlichkeit eingeteilt. Die Anzahl der Bereiche entspricht dabei der Anzahl an gewählten Iterationen. In jedem dieser Bereiche wird eine Zufallszahl generiert und durch den Schnitt mit der Summenkurve ein Wert auf der Abszisse ermittelt. Der Vorteil bei diesem Verfahren ist der Umstand, dass bereits bei wenigen Iterationen ein breiterer Bereich an abgetasteten Werten erhoben werden kann (siehe Abb. 6-13). Es sind damit insgesamt weniger Iterationsschritte als beim Monte-Carlo-Probenerhebungsverfahren notwendig, um ein stabiles Ergebnis der Simulation zu erzielen.

Für die Simulationen in diesem Buch wird ausschließlich das Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren angewendet. Trotzdem wird die Methode als Monte-Carlo-Simulation bezeichnet, da es sich beim Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren lediglich um ein verbessertes (weniger rechenintensives) Verfahren für die Durchführung von Monte-Carlo-Simulationen handelt.

41) Vgl. Palisade Corporation (2013), S. 940
Die Probenerhebung ist deswegen ungünstig, da der abgetaste Bereich der Werte sehr klein gegenüber der vorhandenen Bandbreite der definierten Verteilung (zwischen minimalem und maximalem Verteilungswert) ist.

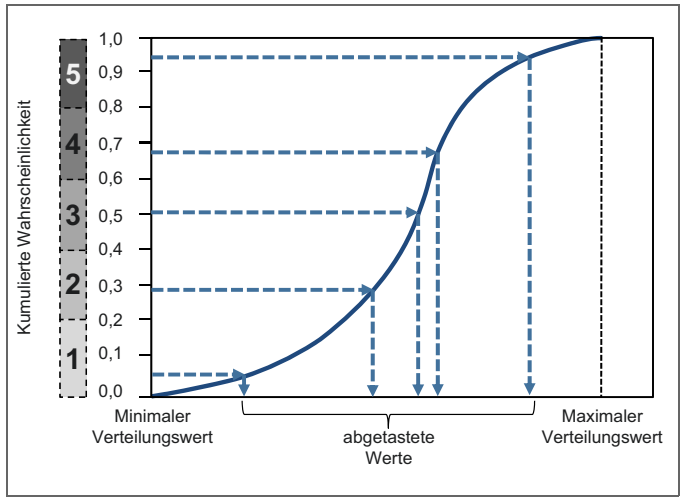


Abb. 6-13 Prinzipskizze – Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren[42)]

6.3.2 Anzahl der Iterationen

Die Wahl der Anzahl an durchzuführenden (wiederholenden) Iterationen hängt wesentlich von der Fragestellung, dem zugrunde gelegten Modell und auch von den angesetzten Verteilungen ab. Wird beispielsweise die Wahrscheinlichkeit von einzelnen Ausreißern untersucht (Extremwerte), ist eine größere Anzahl an Iterationen erforderlich, um in diesen Extrembereichen überhaupt eine ausreichende Ergebnismenge zu erhalten. Werden nur geschlossene Verteilungen (z.B. Rechteckverteilung, Dreiecksverteilung, PERT-Verteilungen) eingesetzt, kann in der Regel mit weniger Iterationen gerechnet werden als bei einseitig (z.B. LogLogistic-Verteilung) oder beidseitig offenen Verteilungen (z.B. Normalverteilung).

In Abb. 6-14 ist das Histogramm für die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten, berechnet mit Dreiecksverteilungen als Inputs (siehe Beispiel in Abschnitt 6.2.5.3), bei unterschiedlichen Iterationsanzahlen dargestellt. Es zeigt sich, dass bei wenigen Iterationen Ergebnisse in den Extrembereichen fehlen und das Histogramm ‚Lücken' aufweist. Je mehr Einzelergebnisse generiert werden, desto glatter wird das Histogramm und desto stabiler werden die Quantilwerte gegenüber weiteren Iterationen.[43)] Für die nachfolgenden Monte-Carlo-Simulationen wurden jeweils 50.000 (wiederholende) Iterationen mit dem Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren durchgeführt.[44)]

[42)] Vgl. Palisade Corporation (2013), S. 941

[43)] In Abb. 6-14 wurden die Gleitbegrenzer am oberen Rand der Histogramm immer so eingestellt, dass das 5 %- und das 95 %-Quantil bezogen auf die entsprechenden Histogramme angezeigt wird.

[44)] Ein ähnlicher Vergleich findet sich auch in: Naumann (2007), S. 170ff.

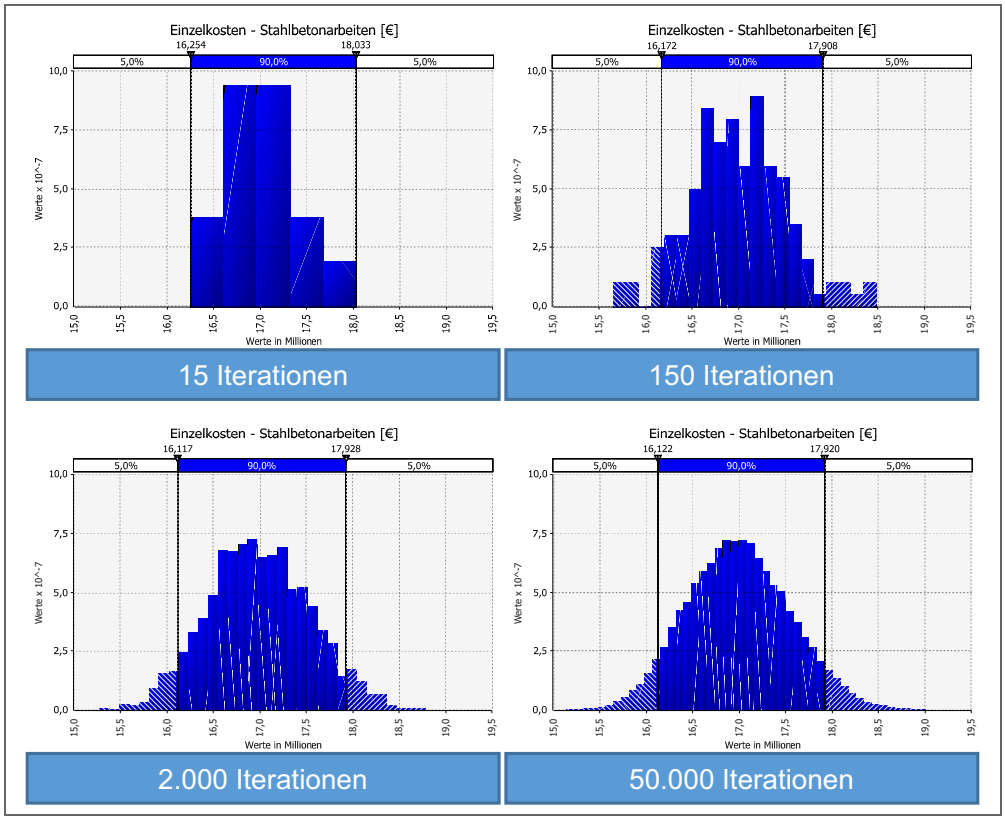


Abb. 6-14 Einfluss der Anzahl an Iterationen auf die Darstellung der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation (Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren)

6.4 Verteilungsfunktionen

Für die Durchführung von Monte-Carlo-Simulationen müssen nach der Modellbildung, in der die Berechnungsvorschriften festgelegt werden, den mit Unsicherheiten behafteten Inputparametern Verteilungsfunktionen zugewiesen werden.

Ausgewählte Literaturansätze für Verteilungsfunktionen unterschiedlicher Parameter werden in den nachfolgenden Tabellen (Tab. 6-3, Tab. 6-4 und Tab. 6-5) vergleichend gegenübergestellt.

Unterscheidungskriterien sind:

- Verlauf
  - diskret
  - stetig

- Ausbildung der Grenzen
  - geschlossen
  - einseitig offen
  - beidseitig offen

- Schiefe
    - symmetrisch
    - rechtsschief
    - linksschief

- Modus
    - unimodal
    - multimodal

- Erhebungsmethode
    - theoretische Überlegungen
    - historische bzw. erhobene Daten
    - Befragungen

Auffällig ist die häufige Angabe von stetigen, geschlossenen, unimodalen Verteilungen. Sehr oft wird auch angeführt, dass rechtsschiefe Verteilungen anzusetzen sind. Diskrete Verteilungen werden nur in seltenen Fällen angewendet; multimodale und linksschiefe Verteilungen werden in den zitierten Literaturquellen nicht aufgelistet.[45)]

In der Mehrheit der Literaturangaben wird lediglich aufgrund von theoretischen Überlegungen auf die Form der Verteilungen geschlossen. Nur in seltenen Fällen erfolgt eine empirische Erhebung über historisches Datenmaterial oder aufgrund von Befragungsergebnissen. Die Parameterermittlung im Rahmen der beiden letztgenannten Möglichkeiten bedient sich zumeist in ergänzender Weise theoretischer Überlegungen und kombiniert somit Methoden.[46)]

[45)] Vgl. Kummer (2015a), S. 166f.

[46)] Vgl. ebd., S. 167

Lfd. Nr.	Autor	Parameter	Verlauf		Grenzen			Schiefe			Modus		Erhebungsmethode			konkrete Verteilung
			diskret	stetig	geschlossen	einseitig offen	beidseitig offen	symmetrisch	rechtsschief	linksschief	unimodal	multimodal	theoretische Überlegungen	historische bzw. erhobene Daten	Befragung	
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Hruschka (1968)	Aufwandswert - Frischbeton herstellen		X					X		X			X		k.A.
2		Aufwandswert - Bewehren		X					X		X			X		k.A.
3	Schubert (1971)	Risiko des Arbeitsausfalls infolge Witterung		X		X			X		X		X	X		Gammaverteilung
4		Risiko eines geringeren Leistungsergebnisses als erwartet		X		X			X		X		X			Gammaverteilung
5		Schadenshöhe		X		X			X		X				X	Exponentialverteilung
6			X			X			X		X				X	Poissonverteilung
7		Risiko aus Änderung der Leistungsumfangs		X		X			X		X		X			Gammaverteilung
8		Preisrisiko		X		X			X		X		X			Gammaverteilung
9		Risiko aus Verzögerungen und Behinderungen des Bauablaufs		X		X			X		X		X			Exponentialverteilung
10			X			X			X		X		X			Poissonverteilung
11	Golenko (1972)	Vorgangsdauern		X	X						X		X	X		Beta-Verteilung
12				X	X								X			Rechteckverteilung
13				X		X			X		X		X			Logarithmische Normalverteilung
14				X	X						X		X			Dreiecksverteilung
15	Dinort (1977)	Niederschlags-verteilung		X		X			X		X			X		Logarithmische Normalverteilung
16		Anzahl der Frost- und Eistage	X		X				X		X			X		Binomialverteilung (p = 0,1)
17			X		X				X		X			X		Poissonverteilung
18				X		X			X		X			X		Chi-Quadrat-Verteilung
19		Ausfallzeiten		X		X			X		X		X	X		Gammaverteilung
20				X		X					X		X	X		Gamma-Erlang-Verteilung
21				X		X			X		X		X	X		Chi-Quadrat-Verteilung
22	Schulz (1980)	Kalkulationsansätze		X	sind zu beachten						X			X		Normalverteilung
23	Lederer (1982)	Vorgangsdauern		X		X			X		X		X			k.A.
24	Strehl (1983)	Aufwandswerte - Schalen (Stützen, Wände, Decken)		X		X			X		X			X		Gammaverteilung
25		Aufwandswerte - Betonieren (Stützen, Wände, Decken)		X		X			X		X			X		Gammaverteilung
26	Liberda (1985)	Aufwandswerte		X		X			X		X			X		Gammaverteilung
27		Bruttomittellohn		X			X	X			X		X			Normalverteilung
28	Iwan (1992)	Vorgangsdauern		X		X			X		X		X			Exponentialverteilung
29				X	X								X			Rechteckverteilung
30				X			X	X			X		X			Normalverteilung
31				X		X			X		X		X			Erlangverteilung
32		Ausfallzeiten		X		X			X		X		X	X		Exponentialverteilung
33		Zwischenausfallzeiten		X		X			X		X		X	X		Erlangverteilung
34	Chau (1995a)	Baukosten		X		X			X		X		X		X	k.A.
35				X	X				X		X		X		X	LogTriangular-Verteilung
36	Raftery (1999)	Verteilungen, die in der Risikoanalyse angewendet werden		X	X								X			Rechteckverteilung
37				X	X						X		X			Dreiecksverteilung
38				X	X								X			Trapezverteilung
39				X	X								X			Stufenweise Rechteckverteilung
40			X		X								X			Diskrete Verteilung

Tab. 6-3 Auswertung ausgewählter Literaturansätze für Verteilungsfunktionen unterschiedlicher Parameter – Teil 1[47)]

47) Kummer (2015a), S. 167

Lfd. Nr.	Autor	Parameter	Verlauf		Grenzen			Schiefe			Modus		Erhebungsmethode			konkrete Verteilung
			diskret	stetig	geschlossen	einseitig offen	beidseitig offen	symmetrisch	rechtsschief	linksschief	unimodal	multimodal	theoretische Überlegungen	historische bzw. erhobene Daten	Befragung	
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
41	Link (1999)	Lebensdauer von Werkstücken		X		X			X		X		X			Exponentialverteilung
42		Inflationsrate		X			X	X			X		X			Normalverteilung
43		Preisentwicklung von Treibstoffen		X			X	X			X		X			Normalverteilung
44		Treibstoffverbrauch		X	X						X		X			Dreiecksverteilung
45		Verkaufszahlen von Baustoffen pro Woche		X	X						X		X			Dreiecksverteilung
46		Fehlerhafte Ziegel in der Produktion	X		X			X			X		X			Binomialverteilung
47		Telefonanrufe pro Minute / Anzahl Schreibfehler auf einer Seite	X			X			X		X		X			Poissonverteilung
48		Anzahl der Leerbohrungen (Ölsuche)	X			X			X		X		X			Geometrische Verteilung
49		Anzahl defekter Waren in einer Packung	X		X						X		X			Hypergeometrische Verteilung
50	Werner (2002)	Zeitaufwandswerte und Kosten		X	X		X				X		X	X		PERT-Verteilung
51				X			X	X			X		X	X		Normalverteilung
52				X	X						X		X			Rechteckverteilung
53	Raaber (2003)	Mengen- und Kostenansätze		X	X						X		X			Rechteckverteilung
54				X	zu beachten						X		X			Normalverteilung
55				X	X						X		X			Dreiecksverteilung
56				X	X						X		X			Parabolische Verteilung (nicht näher definiert)
57	Rohr (2005)	Vorgangsdauern		X	X				X		X		X	X		Beta-Verteilung
58				X		X			X		X		X	X		Dreiparametrige Gammaverteilung
59				X		X			X		X		X	X		Dreiparametrige inverse Gauß-Verteilung
60				X		X			X		X		X	X		Dreiparametrige logarithmische Normalverteilung
61				X		X			X		X		X	X		Dreiparametrige Weibull-Verteilung
62	Schach (2005)	Kostenansätze		X	X								X	X	X	Rechteckverteilung
63				X	X				X		X		X	X	X	Dreiecksverteilung
64				X	X				X		X		X	X	X	Beta-Verteilung
65				X	X				X		X		X	X	X	PERT-Verteilung
66	Feik (2006)	Einzelrisiken		X	X						X		X			Dreiecksverteilung
67	Girmscheid/ Motzko (2007)	Schadenshöhe		X	X				X		X		X			PERT-Verteilung
68	Girmscheid/ Busch (2008b)	Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses - Grobmodellierung		X	X						X		X			Beta-Verteilung
69		Vorgangsdauern und Expertenmeinungen		X	X						X		X			PERT-Verteilung
70		Finanztheorie - Gewinn und Cashflow		X			X	X			X		X			Normalverteilung
71		Expertenmeinungen		X	X						X		X			Dreiecksverteilung
72		Lebensdauer von Maschinen mit konstanter Versagenswahrscheinlichkeit		X		X			X		X		X			Exponentialverteilung
73		Grobmodellierung von Risiken		X	X								X			Rechteckverteilung
74		Ausfallwahrscheinlichkeit	X		X						X		X			Binomialverteilung
75		Risikoeintritt	X		X								X			Diskrete Verteilung
76		Ausfallwahrscheinlichkeit	X			X			X		X		X			Poissonverteilung
77	Demmler (2009)	Tunnelbau - Bruttovortriebsleistung		X	X								X	X		Rechteckverteilung
78		Ausfallzeiten		X	X						X		X	X		Dreiecksverteilung

Tab. 6-4 Auswertung ausgewählter Literaturansätze für Verteilungsfunktionen unterschiedlicher Parameter – Teil 2[48)]

48) Kummer (2015a), S. 168

Lfd. Nr.	Autor	Parameter	Verlauf		Grenzen			Schiefe			Modus		Erhebungsmethode			konkrete Verteilung
			diskret	stetig	geschlossen	einseitig offen	beidseitig offen	symmetrisch	rechtsschief	linksschief	unimodal	multimodal	theoretische Überlegungen	historische bzw. erhobene Daten	Befragung	
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
79	Hauwermeiren/ Vose (2009)	Risikokosten		X		X			X		X		X			Exponentialverteilung
80				X		X			X		X		X			LogGamma-Verteilung
81				X		X			X		X		X			LogLogistic-Verteilung
82				X		X			X		X		X			Logarithmische Normalverteilung
83				X		X			X		X		X			Pareto-Verteilung
84		Expertenmeinungen	X		X								X			Bernoulli-Verteilung
85			X		X								X			Diskrete Verteilung
86				X	X						X		X			PERT-Verteilung
87				X	X						X		X			Dreiecksverteilung
88				X	X								X			Rechteckverteilung
89	Gleißner (2011)	Eintritts-wahrscheinlichkeit	X		X								X			Binomialverteilung
90		Anzahl der Schadensereignisse	X			X			X		X		X			Poissonverteilung
91		Schadenshöhe		X			X	X			X		X			Normalverteilung
92		Einkommen und Produktpreise		X		X			X		X		X			Logarithmische Normalverteilung
93		Quantitative Risikoeinschätzung durch Anwender		X	X						X		X			Dreiecksverteilung
94		Lebensdauer von Geräten		X		X			X		X		X			Exponentialverteilung
95		Finanzmarktrenditen		X		X			X		X		X	X		Pareto-Verteilung
96		Modellierung von Variablen über die wenig Informationen vorliegen		X	X								X			Rechteckverteilung
97	Sander (2012)	Expertenmeinungen		X	X						X		X			Dreiecksverteilung
98				X	X						X		X			PERT-Verteilung
99		Mengen- und Kostenunsicherheiten		X	X				X		X		X			Dreiecksverteilung
100				X	X				X		X		X			PERT-Verteilung
101				X	X								X			Rechteckverteilung
102	Mayer (2013)	Basiseinheitspreise		X			X	X			X		X			Normalverteilung
103		Mengenwerte		X			X	X			X		X	X		Normalverteilung
104	Hofstadler (2014b)	Aufwandswerte - Schalarbeiten		X	X				X		X		X		X	LogLogistic-ähnliche Verteilung
105	Schach/ Flemming (2014)	Risikomodellierung		X	X								X			Rechteckverteilung
106				X	X						X		X			Dreiecksverteilung
107				X	X								X			Trapezverteilung
108			X		X								X			Diskrete Verteilung

Tab. 6-5 Auswertung ausgewählter Literaturansätze für Verteilungsfunktionen unterschiedlicher Parameter – Teil 3[49)]

Aus der gezeigten Literaturanalyse kann die Tendenz zu stetigen, geschlossenen, rechtsschiefen, unimodalen Verteilungen für Parameter des Baubetriebs, der Bauwirtschaft bzw. des Chancen-Risikomanagements abgeleitet werden. Diese Angaben werden in der Literatur meist durch theoretische Überlegungen – teilweise unterlegt von historischen Daten und Analysen aus empirischen Erhebungen – begründet.[50)]

In Abschnitt 7.1 wird erläutert, wie die systematische Auswahl von Verteilungsfunktionen für die Modellierungen funktioniert. In Ergänzung dazu erfolgt die Beschreibung der Ermittlung von Verteilungsfunktionen auf Basis von Datensätzen. Zunächst wird aber anhand eines Beispiels gezeigt, welchen Einfluss die Form der Verteilungsfunktionen der Inputparameter überhaupt auf die Ergebnisse haben können.

49) Kummer (2015a), S. 169

50) Vgl. ebd.

6.4.1 Einfluss der Form von Verteilungsfunktionen

Dieser Abschnitt handelt vom Einfluss unterschiedlicher Verteilungen der Inputs auf den Output.[51] Anhand der Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten werden folgende Verteilungsfunktionen für die Inputparameter verglichen:

- Dreiecksverteilung
- PERT-Verteilung
- Rechteckverteilung
- Normalverteilung
- LogTriangular-Verteilung nach *Chau*[52]
- LogLogistic-ähnliche Verteilung nach *Hofstadler*[53]

Der Gesamt-Aufwandswert für Stahlbetonarbeiten AW_{STB} [Std/m³] ergibt sich aus den Aufwandswerten für das Schalen AW_S [Std/m²], Bewehren AW_{BW} [Std/t] und Betonieren AW_{BT} [Std/m³] sowie dem Schalungsgrad $s_{g,bwk}$ [m²/m³] und dem Bewehrungsgrad $bw_{g,bwk}$ [kg/m³] nach Glg. (6-4).

$$AW_{STB} = AW_S \cdot s_{g,bwk} + AW_{BW} \cdot bw_{g,\,bwk} + AW_{BT} \tag{6-4}$$

Ausgangsbasis für das gezeigte Beispiel bildet eine deterministische Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts mit den Zahlenwerten aus Tab. 6-6. Der deterministische Gesamt-Aufwandswert ergibt sich nach Anwendung der Glg. (6-4) mit 6,10 Std/m³.

Ldf. Nr.	Berechnungsparameter		Einheit	ERW
0	A	B	C	D
1	Schalungsgrad	$s_{g,bwk}$	m²/m³	3,00
2	Bewehrungsgrad	$bw_{g,bwk}$	kg/m³	115,00
3	Aufwandswert für die Schalarbeiten	AW_S	Std/m²	1,20
4	Aufwandswert für die Bewehrungsarbeiten	AW_{BW}	Std/t	13,00
5	Aufwandswert für die Betonarbeiten	AW_{BT}	Std/m³	1,00
6	**Gesamt-Aufwandswert**	**AW_{STB}**	**Std/m³**	**6,10**

Tab. 6-6 Beispielhafte deterministische Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten

Diese deterministischen Eingabewerte werden in weiterer Folge durch unterschiedliche Verteilungsfunktionen ersetzt. Es werden dazu je Simulation immer die gleichen Verteilungsfunktionen für alle Einflussgrößen angesetzt, um den Einfluss unterschiedlicher Verteilungsfunktionen der Inputs auf die Ergebnisse zu zeigen.

Für die Dreiecksverteilungen werden die deterministischen Werte aus Tab. 6-6 als erwartete Werte angenommen und jeweils zusätzliche minimale und maximale Werte für die entsprechende Bandbreite angesetzt.

In Tab. 6-7 sind die minimalen, erwarteten und maximalen Werte für die fünf Inputparameter in den Spalten D, E und F eingetragen.

---

51) Siehe auch eine ähnliche Untersuchung von Hofstadler (2011b).

52) Vgl. Chau (1995b), S. 378

53) Vgl. Hofstadler (2014b), S. 194ff.

Ldf. Nr.	Berechnungsparameter		Einheit	MIN	ERW	MAX
0	A	B	C	D	E	F
1	Schalungsgrad	$s_{g,bwk}$	m²/m³	2,70	3,00	3,30
2	Bewehrungsgrad	$bw_{g,bwk}$	kg/m³	100,00	115,00	140,00
3	Aufwandswert für die Schalarbeiten	AW_S	Std/m²	1,00	1,20	1,60
4	Aufwandswert für die Bewehrungsarbeiten	AW_{BW}	Std/t	12,00	13,00	16,00
5	Aufwandswert für die Betonarbeiten	AW_{BT}	Std/m³	0,90	1,00	1,30

Tab. 6-7 Beispielhafte Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten – Dreiecksverteilungen

Für die PERT-Verteilungen sind die gleichen Input-Werte wie für die Dreiecksverteilungen erforderlich. Es werden dazu die gleichen minimalen, erwarteten und maximalen Werte herangezogen.

Die Rechteckverteilungen werden jeweils durch die angegebenen Minimal- und Maximalwerte definiert. Ein erwarteter Wert ist hier nicht erforderlich, da die Wahrscheinlichkeit jedes Werts innerhalb der angegebenen Bandbreite gleich groß ist.

Normalverteilungen definieren sich auf Basis des Mittelwerts und der Standardabweichung. Für den Vergleich werden die Mittelwerte und Standardabweichungen der angesetzten Dreiecksverteilungen (siehe Tab. 6-7) ermittelt und als Eingabewerte für die Normalverteilungen herangezogen.

Für die LogTriangular-Verteilung nach *Chau*[54] werden ebenfalls die minimalen, erwarteten und maximalen Werte der Dreiecksverteilungen herangezogen und daraus jeweils der natürliche Logarithmus gebildet. Die aus diesen logarithmierten Werten gebildete Dreiecksverteilung wird in weiterer Folge exponiert, um die von *Chau* definierte Verteilung zu erhalten. Die Eingabe im Programm @Risk lautet wie folgt: =EXP(RiskTriang(LN(D);LN(E);LN(F))). Die Parameter D, E und F beziehen sich auf die Spalten der Eingabeparameter in Tab. 6-7.

Die LogLogistic-ähnliche Verteilung nach *Hofstadler*[55], die ursprünglich nur für Aufwandswerte der Schalarbeiten ermittelt wurde, wird hier auch für die restlichen Eingangsparameter der Glg. (6-4) angesetzt. Für die Definition dieses Verteilungstyps sind sowohl ein minimaler als auch ein erwarteter Wert erforderlich. Diese werden wiederum aus den eingangs angesetzten Dreiecksverteilungen herangezogen.

Für den Vergleich der Outputs werden immer die gleichen Arten von Verteilungsfunktionen (Dreiecks-, Rechteck-, PERT-Verteilung usw.) für die Aufwandswerte sowie für den Schalungs- und Bewehrungsgrad angesetzt. Zudem gilt die Annahme, dass die Eingangsparameter unabhängig voneinander sind. Für Informationen zum Einfluss von Korrelationen und deren adäquate Berücksichtigung kann auf Abschnitt 6.5 verwiesen werden.

Die Ergebnisse für den Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten bei unterschiedlichen Inputverteilungen werden in Abb. 6-15 vergleichend gegenübergestellt. Die Simulation wurde mit dem Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren mit 50.000 Iterationen durchgeführt. Die Ergebnisse werden durch Linien (als ‚Spline') und nicht durch klassische Histogramme dargestellt, um die graphische Darstellung des Vergleichs zu optimieren.

54) Vgl. Chau (1995b), S. 378

55) In Anlehnung an Hofstadler (2014a), S. 194ff. – Für den Vergleich wurde die Methode von Hofstadler so abgeändert, dass als Eingabeparameter für die Definition der LogLogistic-ähnlichen Verteilung nur ein minimaler und ein erwarteter Wert erforderlich sind. Dabei dürfen die beiden Werte nicht identisch sein, da die Verteilung ansonsten nicht definiert ist. Näher beschrieben wird das Verfahren in Abschnitt 7.2.

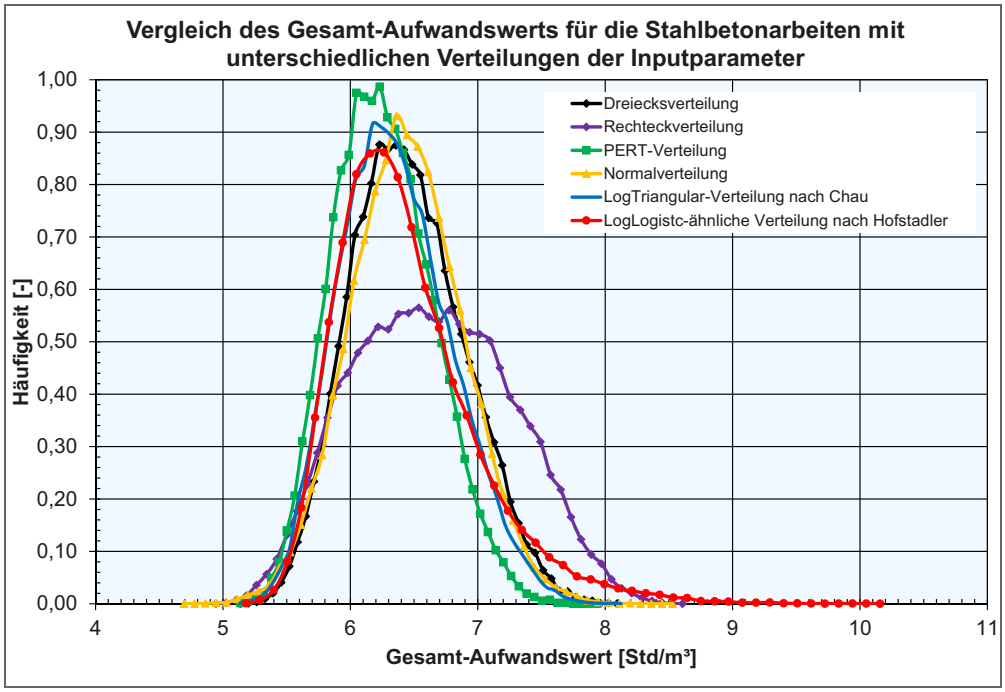


Abb. 6-15 Vergleich des Gesamt-Aufwandswerts für die Stahlbetonarbeiten mit unterschiedlichen Verteilungen der Inputparameter

Es ist erkennbar, dass die Outputs durch die verschiedenen Verteilungsformen beeinflusst sind und zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den Ergebnissen vorherrschen. Es treten besonders die unterschiedlichen Ergebnisse für die Spannweiten zum Vorschein.

Die Spannweite ist bei den Ergebnissen mit LogLogistic-ähnlichen Verteilungen nach *Hofstadler* als Inputs besonders groß. Hier gilt es aber zu beachten, dass für dieses Beispiel Aufwandswerte über 9 Std/m³ sehr unwahrscheinlich sind und aufgrund theoretischer Überlegungen praktisch ausgeschlossen werden können.

Die Unterschiede in den Outputs sind auch dadurch begründet, dass nur wenige Rechenoperationen für die Ermittlung des Gesamt-Aufwandwerts erforderlich sind. Werden eine Vielzahl von Berechnungsschritten durchgeführt, nähert sich der Output für Additionen einer Normal- und für Multiplikationen einer logarithmischen Normalverteilung an (Zentraler Grenzwertsatz). Voraussetzung ist, dass die Variablen unabhängig voneinander sind.

Besonders die Verteilung des Gesamt-Aufwandswerts, bei dem Rechteckverteilungen als Inputs dienten, weist eine deutlich andere Form auf, als die Ergebnisse für die anderen Verteilungen. Dies ist damit zu begründen, dass alle Werte der Inputparameter die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen und damit auch der aus der Simulation ermittelte Gesamt-Aufwandswert tendenziell gleichverteilt ist.

Dieser Vergleich zeigt, dass die Art der Verteilungen, die für Inputparameter angesetzt werden, einen deutlichen Einfluss auf die Simulationsergebnisse hat.

6.4.2 Einfluss der Schiefe von Verteilungsfunktionen

Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Ergebnisse der Simulationen stellt die Schiefe spezieller Verteilungen dar. In diesem Abschnitt wird erläutert, wie dieser Einfluss bei Anwendung der vier Grundrechnungsarten ausgeprägt ist.

Dazu werden jeweils zwei Dreiecksverteilungen variierender Schiefe miteinander kombiniert und einander in Form der Histogramme (Ergebnisse aus Monte-Carlo-Simulationen mit 50.000 Iterationen – Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren) grafisch gegenübergestellt.[56] Die Schiefe der Outputs wird in den Abbildungen auch als Zahlenwert[57] angegeben, um eine bessere Vergleichbarkeit optisch ähnlich anmutender Verteilungen zu gewährleisten.

Verteilung 1 ist durch eine Bandbreite von 2 bis 10 definiert. Innerhalb dieser Bandbreite wird der erwartete Wert variiert, sodass eine rechtsschiefe (erwarteter Wert = 4), eine symmetrische (erwarteter Wert = 6) und eine linksschiefe Verteilung (erwarteter Wert = 8) entsteht.

Verteilung 2 ist durch eine Bandbreite von 4 bis 20 definiert (doppelte Spannweite wie Verteilung 1). Innerhalb dieser Bandbreite wird der erwartete Wert variiert, sodass eine rechtsschiefe (erwarteter Wert = 8), eine symmetrische (erwarteter Wert = 12) und eine linksschiefe Verteilung (erwarteter Wert = 16) entsteht.

6.4.2.1 Addition

Bei der Addition unabhängiger Zufallsvariablen mit endlicher und positiver Varianz gilt der Zentrale Grenzwertsatz, der besagt, dass die Summe dieser Variablen annähernd normalverteilt ist. Werden jedoch nur wenige Parameter miteinander addiert, hat die Schiefe der Zufallsvariablen durchaus einen Einfluss auf die Schiefe der Summe. Hier stellt der Anteil eines Summanden an der Summe einen entscheidenden Faktor für die zu erwartende Schiefe des Ergebnisses dar. In Abb. 6-16 sind die Inputverteilungen (Verteilung 1 und Verteilung 2) mit unterschiedlicher Schiefe (rechtsschief, symmetrisch, linksschief) sowie die jeweiligen Summen als Histogramme dargestellt. Es fällt auf, dass sich die Schiefe der Summe an der Schiefe der Verteilung 2 (größere Bandbreite und insgesamt höhere Werte) orientiert. Ist Verteilung 2 beispielsweise linksschief, weist auch die Summe tendenziell eine solche Schiefe auf (positive Werte der Schiefe zwischen +0,27 und +0,34). Werden Verteilungen unterschiedlicher Schiefe miteinander addiert, orientieren sich die Ergebnisse hin zu eher symmetrischen Verteilungen. Sind beide Inputs symmetrisch, weist auch das Histogramm für die Summe tendenziell einen symmetrischen Verlauf auf (Schiefe = +0,0034).

[56] Vgl. Beispiel in Kummer (2015a), S. 146ff.

[57] Die Schiefe ist eine statistische Kennzahl, die die Art und Stärke der Asymmetrie einer Verteilung angibt. Ist die Schiefe < 0, spricht man von einer linksschiefen oder rechtssteilen Verteilung. Nimmt die Schiefe einen Wert > 0 an, handelt es sich um eine rechtsschiefe oder linkssteile Verteilung. Beträgt die Schiefe 0 liegt eine symmetrische Verteilung vor. Für definierte Outputs wird in @Risk die Schiefe automatisch berechnet.

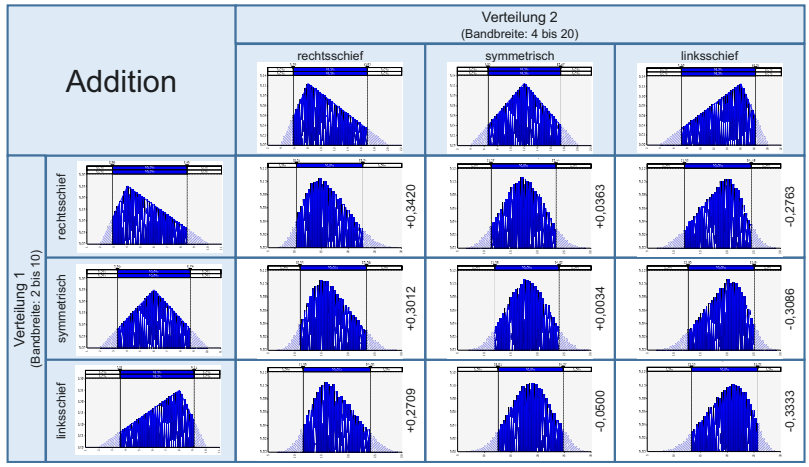


Abb. 6-16 Addition zweier Verteilungsfunktionen mit unterschiedlicher Schiefe[58)]

6.4.2.2 Subtraktion

Bei der Subtraktion der beiden angenommenen Verteilungen wird jeweils jene, die in Summe die geringeren Werte innerhalb der definierten Bandbreite aufweist (Verteilung 1) von der anderen (Verteilung 2) abgezogen. Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Addition. Bei der Subtraktion beeinflusst der Minuend die Schiefe der Differenz. Anders als bei der Addition wirkt sich eine unterschiedliche Schiefe der Inputs erhöhend auf die Schiefe des Outputs aus (siehe Abb. 6-17). Auch bei der Subtraktion nähert sich bei symmetrischen Inputs das Ergebnis einer symmetrischen Verteilung an (Schiefe = -0,0093).

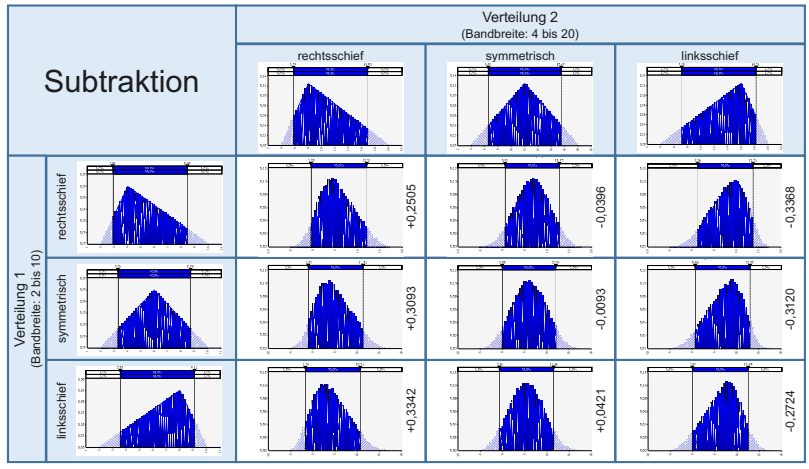


Abb. 6-17 Subtraktion zweier Verteilungsfunktionen mit unterschiedlicher Schiefe[59)]

[58)] Vgl. Kummer (2015a), S. 147

[59)] Vgl. ebd., S. 148

6.4.2.3 Multiplikation

Bei der Multiplikation unabhängiger Zufallsvariablen mit endlicher und positiver Varianz ergibt sich für das Produkt annähernd eine logarithmische Normalverteilung. Dieser Umstand zeigt sich bereits bei der Multiplikation von lediglich zwei Faktoren, wie in Abb. 6-18 dargestellt ist. Alle Histogramme für die Produkte sind rechtsschief (wenn auch mit unterschiedlich starker Ausprägung – ca. zwischen +0,99 und +0,18).

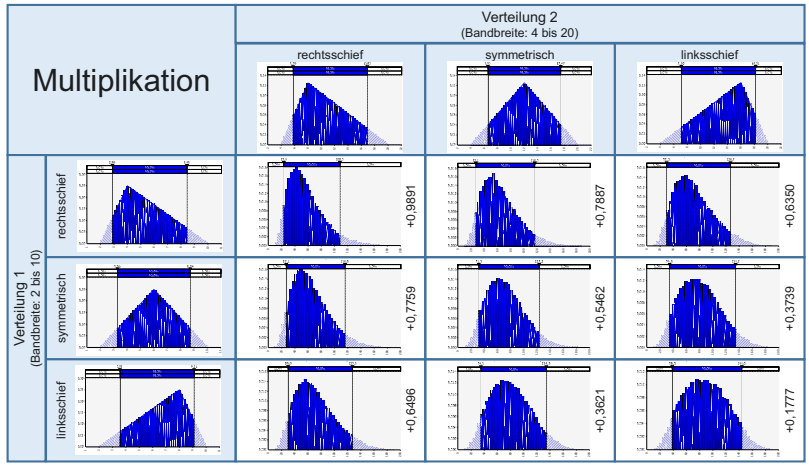


Abb. 6-18 Multiplikation zweier Verteilungsfunktionen mit unterschiedlicher Schiefe[60)]

Werden zwei linksschiefe Verteilungen miteinander multipliziert, ergibt sich eine geringere Schiefe als bei der Multiplikation zweier rechtsschiefer Verteilungen. Auch wenn symmetrische Verteilungen miteinander multipliziert werden, weist das Produkt einen rechtsschiefen Verlauf auf.

6.4.2.4 Division

Bei der Division der beiden angenommenen Verteilungen wird jeweils jene, die in Summe die höheren Werte innerhalb der definierten Bandbreite aufweist (Verteilung 2) durch die andere (Verteilung 1) dividiert. Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Multiplikation. Unabhängig von der Schiefe der Inputs weist der Quotient immer eine rechtsschiefe Verteilung (mit unterschiedlich starker Ausprägung – ca. zwischen +0,94 und +1,70) auf (siehe Abb. 6-19). Wie bei der Multiplikation zeigt sich auch bei der Division symmetrischer Verteilungen ein deutlich rechtsschiefer Verlauf für den Quotient (Schiefe = +1,3448).

60) Vgl. Kummer (2015a), S. 148

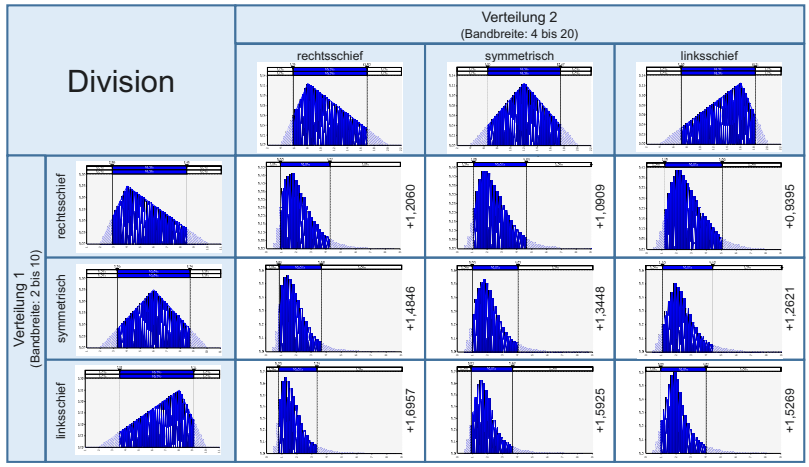


Abb. 6-19 Division zweier Verteilungsfunktionen mit unterschiedlicher Schiefe[61)]

6.4.2.5 Zusammenfassung zum Einfluss der Schiefe

Die beispielhafte Kombination zweier Dreiecksverteilungen hat gezeigt, dass die Schiefe der Inputparameter einen wesentlichen Einfluss auf die Schiefe der Outputs hat. Je weniger Rechenschritte durchgeführt werden, desto größer ist dieser Einfluss.

Die gezeigte grafische Gegenüberstellung der Ergebnisse einer Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division zweier Zufallsvariablen mit unterschiedlicher Schiefe kann zur Kontrolle und Plausibilitätsprüfung von Simulationsmodellen herangezogen werden. Sind der Rechenweg und die Form der Inputparameter bekannt, kann mit Hilfe der gezeigten Abbildungen auf die Form des gesuchten Outputs geschlossen werden.

6.5 Korrelationen

Grundlagen zu Korrelationen bzw. Korrelationskoeffizienten wurden bereits in Abschnitt 2.4.11 angeführt.

Die Erhebung von Korrelationen erfolgt üblicherweise indirekt durch die Analyse vorhandener Datenreihen, die aus Messungen, Befragungen, Experimenten etc. stammen und hinsichtlich ihres linearen Zusammenhangs untersucht werden (siehe Abb. 6-20 – rechts).

Direkt können Korrelationskoeffizienten beispielsweise durch Expertenbefragungen erhoben werden. Die Ergebnisse einer solchen Befragung sind in Abschnitt 7.3 für die Parameter des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten angeführt.

61) Vgl. Kummer (2015a), S. 149

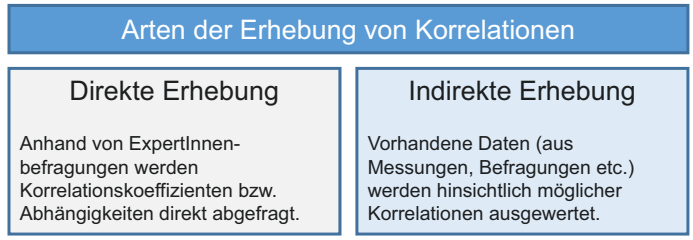


Abb. 6-20 Erhebungsmethoden für Korrelationen[62)]

6.5.1 Korrelationen in der baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Literatur

In Tab. 6-8 und Tab. 6-9 werden ausgewählte Angaben zu Korrelationen aus der baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Literatur gegenübergestellt, sofern Angaben zur Art bzw. zur Höhe möglicher Korrelationskoeffizienten identifiziert werden konnten. Unterscheidungskriterien sind:[63)]

- Art der Korrelation
  - positiv
  - negativ
  - unabhängig
- Zahlenmäßige Angabe von Korrelationskoeffizienten (als Einzelwert oder als Bandbreite)
- Erhebungsmethode
  - theoretische Überlegungen
  - historische bzw. erhobene Daten
  - Befragungen
- Angaben zur Bedeutung von Korrelationen

Häufig werden von den Autoren positive Korrelationen angegeben, obwohl die tatsächliche Anwendung in Simulationen meist mit dem Argument des großen Aufwands bei der Modellierung und wertmäßigen Beurteilung der Korrelationskoeffizienten nicht erfolgt. Von einigen Autoren werden negative Korrelationen generell vernachlässigt.

62) Vgl. Kummer (2015a), S. 134
63) Vgl. ebd., S. 198f.

Lfd. Nr.	Autor	Anwendungs-bereich	Parameter zwischen denen eine Korrelation vermutet wird		Korrelation				Erhebungsmethode			Bedeutung von Korrelationen
					positiv	negativ	unabhängig	konkrete Angabe von Korrelations-koeffizienten	theoretische Überlegungen	historische bzw. erhobene Daten	Befragung	
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Hruschka (1968)	Bauablaufplanung und Kalkulation	Aufwandswert Betonieren	Schalungsgrad	X					X		
2			Gesamt-Aufwandswert Stahlbetonarbeiten	Schalungsgrad	X					X		
3			Lohnstunden je m³ umbauter Raum	Baustoffgewicht je m³ umbauter Raum	X					X		
4	Schulz (1980)	Kalkulation	Wirtschaftsvorgänge		X				X			theoretisch von großer Bedeutung
5	Lederer (1982)	Netzplantechnik	Volumen	Vorgangsdauern	X				X			große Bedeutung
6			Volumen	Vorgangsleistungen	X				X			
7			Baufortschritt	Produktionsapparat	X				X			
8	Liberda (1985)	Kalkulation	Bruttomittellohn	Arbeitsaufwand		X		-0,95	X			Korrelationen können durch Entscheidungen ausgeschlossen werden
9			Arbeitsaufwand	Stoffverbrauch					X			
10			Stoffkosten	Stoffverbrauch					X			
11			Aufwandswerte		X				X			
12	Touran/Wiser (1992)	Kalkulation	konkrete Korrelationsmatrix für Kosten-komponenten – 12 x 12 Matrix		X	X		zwischen -0,31 und +0,75		X		bedeutend für die Vorhersage der Varianz von Kosten
13			konkrete Korrelationsmatrix für Kosten-komponenten – 6 x 6 Matrix		X			zwischen +0,28 und +0,75		X		
14	Chau (1995a)	Kalkulation	konkrete Korrelationsmatrix für Kosten-komponenten – 19 x 19 Matrix		X	X		zwischen -0,81 und +0,95		X		unabhängige Eingangs-parameter verfälschen die Simulations-ergebnisse
15			konkrete Korrelationsmatrix für Kosten-komponenten (Elektroinstallationen) – 10 x 10 Matrix		X	X		zwischen -0,79 und +0,89		X		
16	Link (1999)	Kalkulation und Risiko-management	Inflation	Energiekosten	X				X			durch Berücksichtigung von Korrelationen ist eine beträchtliche Steigerung der Vorhersage-genauigkeit möglich
17			Produktpreis	Verkaufszahlen		X			X			
18			Eintritt von Schlechtwetter	Terminverschiebung	X				X			
19			Dokumentations-aufwand	Risiko von Auseinander-setzungen bei der Abrechnung und Übernahme		X			X			
20	Yang (2005)	Kalkulation	konkrete Korrelationsmatrix für Kosten-komponenten – 8 x 8 Matrix		X		X	zwischen +0,10 und +0,64	X	X		Einfluss sowohl auf die Streuung als auch auf den Mittelwert des Outputs
21	Girmscheid/ Busch (2008b)	Unternehmens-risikomanagement Interne Einflussfaktoren	Risiken innerhalb des Projekts aus den Management- und Supportprozessen, z.B. Finanzierung, IT und Personal		X			möglich: 0,00 bis +1,00 wahr-scheinlich: +0,50 bis +1,00	X			Korrelationen beeinflussen generell die Streuung um den Erwartungswert und haben im Zuge der Risikoaggregation Einfluss auf die Höhe der Risikozuschläge. Als praktikabler Ansatz wird Unabhängigkeit zwischen Einzelrisiken und Projekten angenommen.
22			Risiken aus der projektspezifischen Bauverfahrenstechnik und den verarbeiteten Materialien und Bauprodukten		X			wahr-scheinlich: 0,00 bis +1,00	X			
23		Unternehmens-risikomanagement Externe Einflussfaktoren	Projektspezifische Risiken aufgrund des Unikatcharakters der Projekte, z.B. in Bezug auf Bauherr und weitere externe Projektbeteiligte (z.B. Architekt, Fachplaner, Subunternehmer), geologische und örtliche Verhältnisse etc.		X			wahr-scheinlich: 0,00 bis +1,00	X			
24			Nachfragerisiken aufgrund der regionalen Verteilung der Projekte		X	X		möglich: -1,00 bis +1,00 wahr-scheinlich: -0,50 bis +1,00	X			
25	Sander (2012)	Risiko-management und Kalkulation	Detailbewertung von Risiken		X			+1,00	X			Einsatz von Korrelationen soll das Ergebnis verbessern, ohne dabei den Anwender zu überfordern

Tab. 6-8 Vergleich ausgewählter Literaturansätze zu Korrelationen – Teil 1[64)]

64) Kummer (2015a), S. 200

Lfd. Nr.	Autor	Anwendungs-bereich	Parameter zwischen denen eine Korrelation vermutet wird		Korrelation				Erhebungsmethode			Bedeutung von Korrelationen
					positiv	negativ	unabhängig	konkrete Angabe von Korrelations-koeffizienten	theoretische Überlegungen	historische bzw. erhobene Daten	Befragung	
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
26	Krempl (2012)	Kalkulation – Schalungs- und Bewehrungs-arbeiten für Decken	Aufwandswert Schalen – einfache Grundrissklasse	Aufwandswert Schalen – mittlere Grundrissklasse	X			+0,36			X	
27			Aufwandswert Schalen – einfache Grundrissklasse	Aufwandswert Schalen – komplizierte Grundrissklasse	X			+0,63			X	
28			Aufwandswert Schalen – mittlere Grundrissklasse	Aufwandswert Schalen – komplizierte Grundrissklasse	X			+0,44			X	
29			Aufwandswert Schalen – Decke auf rechteckigen Stützen	Aufwandswert Schalen – Decke auf runden Stützen	X			+0,90			X	
30			Aufwandswert Bewehren	Bewehrungsgrad	kein allgemein positiver Zusammenhang nachweisbar						X	
31			Aufwandswert Schalen	Aufwandswert Bewehren – Stabstahl	X			+0,89			X	
32			Aufwandswert Schalen	Aufwandswert Bewehren – Mattenstahl	X			+0,86			X	
33	Mayer (2013)	Kalkulation	Basiseinheitspreis	Zuschlagsfaktor		X	X	Wechsel-beziehung ist auszu-schließen, negative Korrelation aber denkbar	X			negative Korrelationen werden aufgrund der Verringerung der Streuung völlig außer Acht gelassen
34			Zuschlagsfaktor	Menge			X		X			
35			Basiseinheitspreis	Menge			X		X			
36	Schach/ Flemming (2014)	Risikomodellierung	Betonmenge	Bewehrungsmenge	X				X			Die Modellierung von Abhängigkeiten ist eine Notwendigkeit, um ein möglichst genaues Abbild der Realität darstellen zu können

Tab. 6-9 Vergleich ausgewählter Literaturansätze zu Korrelationen – Teil 2[65)]

Die Einbeziehung von Korrelationen hat sich im Laufe der Zeit durch den Einsatz von Simulationstechniken gegenüber analytischen Berechnungen (Faltung) wesentlich vereinfacht. Einige Autoren heben die Bedeutung von Korrelationen auf die Outputwerte hervor. Dabei werden jedoch nur vereinzelt konkrete Werte über die Stärke des Zusammenhangs angegeben, sondern zumeist nur die Richtung der Korrelation (positiv, negativ, unabhängig) angeführt.

Teilweise werden Korrelationsmatrizen aus historischen Daten abgeschlossener Projekte oder auf Basis von Expertenbefragungen ermittelt. Wenn Korrelationen berücksichtigt werden sollen, sind auch immer theoretische Überlegungen von hoher Bedeutung, um die ermittelten Abhängigkeiten zu verifizieren und um Kausalzusammenhänge zu identifizieren.

Generell sollte man sich bei der Durchführung von Monte-Carlo-Simulationen und bei der Interpretation von Simulationsergebnissen des Einflusses von Korrelationen bewusst sein. Bei Outputs, die besonders hinsichtlich möglicher Spannweiten oder möglicher maximaler und/oder minimaler Werte beurteilt werden sollen, ist eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Korrelationskoeffizienten besonders wichtig. Für Sensitivitätsanalysen können auch Bandbreitenuntersuchungen für unterschiedliche Korrelationskoeffizienten durchgeführt werden (z.B. Schrittweise von -1 bis +1).

Simulationsergebnisse mit unabhängigen Variablen können dabei Ergebnissen, denen besonders viele negative bzw. besonders viele positive Korrelationen zugrunde liegen, gegenübergestellt werden.

65) Kummer (2015a), S. 200

Aus der Literaturanalyse ist beim (Chancen- und) Risikomanagement und in der Kalkulation eine Tendenz zu positiven Korrelationen erkennbar. Eine pauschale Aussage ist jedoch nicht möglich und muss gesondert untersucht werden. Können Abhängigkeiten im Berechnungsmodell direkt abgebildet werden, ist der Ansatz von Korrelationen für die betroffenen Parameter nicht erforderlich.

6.5.2 Einfluss von Korrelationen

Bei probabilistischen Berechnungen wird meist Unabhängigkeit zwischen den Eingangsparametern vorausgesetzt. Dies wird in der Literatur dadurch begründet, dass es schwierig ist Korrelationen subjektiv anzugeben bzw. für eine mathematische Ermittlung von Korrelationen oft nicht die entsprechenden Daten vorhanden sind. Weiters ist die Integration von Korrelationen in die Simulationsmodelle mit zusätzlichem Aufwand verbunden.

Welchen Einfluss Korrelationen bei unterschiedlichen Grundrechenoperationen auf die Ergebnisse haben können, wird in diesem Abschnitt anhand von einfachen Berechnungsbeispielen gezeigt.[66)]

Chau untersuchte anhand von Dreiecksverteilungen die Auswirkungen auf die Summe von zwei Variablen.[67)]

Hier werden auch die Differenz, das Produkt und der Quotient unter Variation der Korrelationskoeffizienten gebildet und die Auswirkungen der angesetzten Korrelationen untersucht. Die Bandbreite der beiden Dreiecksverteilungen liegt zwischen 2 und 10, der erwartete Wert wird mit 6 angesetzt, womit sich symmetrische Verteilungen ergeben.

Für die nachfolgenden Analysen wird der Korrelationskoeffizient zwischen den beiden Variablen von -1 bis +1 variiert und in 25 separaten Simulationen jeweils 50.000 Iterationen mit dem Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren durchgeführt.[68)] Der ‚seed' wurde mit dem Wert 1 fixiert, um die Simulationsergebnisse bei Bedarf rekonstruieren zu können. Es werden bewusst symmetrische Verteilungen angesetzt, da lediglich der Einfluss der Korrelationen auf die Ergebnisse gezeigt werden soll. Die Auswirkungen der Schiefe wurden bereits in Abschnitt 6.4.2 gezeigt.

6.5.2.1 Addition

Es wird die Summe aus zwei identischen Verteilungsfunktionen (Dreiecksverteilungen – definiert durch die Werte: 2 | 6 | 10) mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation gebildet. Folgende statistische Kennwerte sind in einem Diagramm ersichtlich (siehe Abb. 6-21), um die Veränderungen des Outputs in Bezug auf den Korrelationskoeffizienten aufzuzeigen:

- 5 %-Quantil
- 95 %-Quantil
- Einfache Standardabweichung vom Mittelwert (in beide Richtungen)
- Mittelwert

Die strichlierte (horizontale) Linie in Abb. 6-21 bei 12,00 zeigt jene Summe, die bei einer deterministischen Berechnung mit den erwarteten Werten für die beiden Variablen

66) Vgl. Beispiel in Kummer (2015a), S. 178ff.

67) Vgl. Chau (1995b), S. 371

68) Die Eingabe der Korrelationskoeffizienten erfolgt in @Risk durch symmetrische Matrizen. Sollen z.B. die Abhängigkeiten zwischen drei Parametern abgebildet werden, erfolgt dies durch die Eingabe einer 3 x 3 Matrix.

(= 6 + 6) erwartet wird. Die äußersten Kurven grenzen den Bereich zwischen dem 5 %- und dem 95 %-Quantil ein, der sich bei unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten ergibt. Die Kurven mit der Bezeichnung „MW + Std.Abw." und „MW - Std.Abw." decken die einfache Standardabweichung um den Mittelwert ab. Die schwarze Gerade entspricht dem Mittelwert der Summe aus den beiden angenommenen Zufallsvariablen und ist unabhängig von den Korrelationen konstant. Aufgrund der symmetrischen Inputverteilungen sind die beiden Geraden des erwarteten Werts und der Mittelwerte (aus den Simulationen) deckungsgleich bei 12,00.

Die Bandbreite der Ergebnisse bei einem Korrelationskoeffizient nahe -1 ist sehr gering und wird immer breiter, je weiter sich dieser dem Wert von +1 nähert.

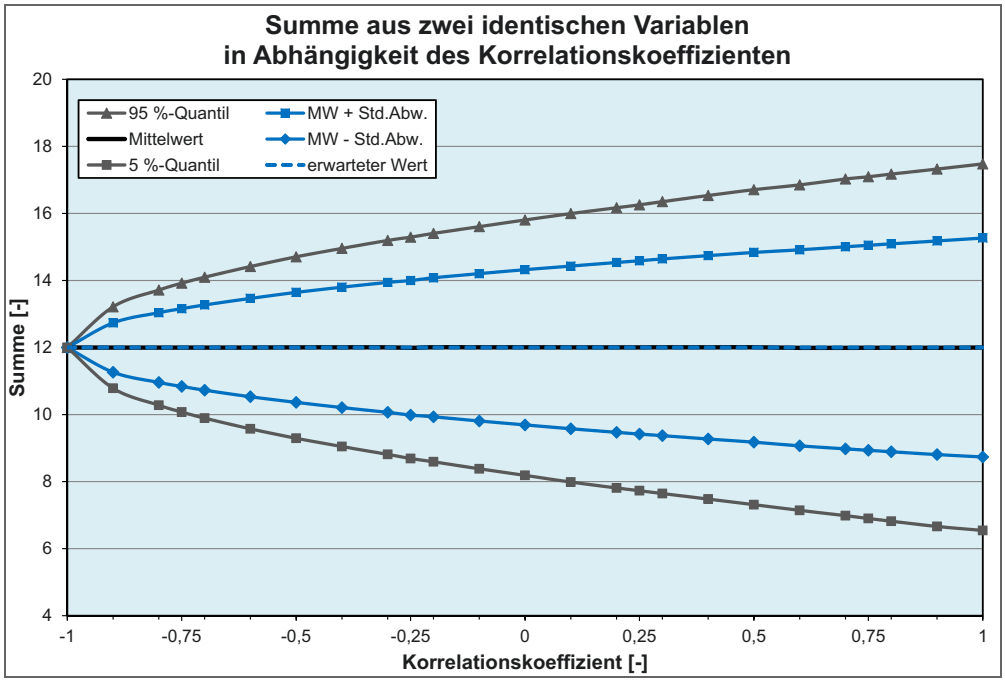


Abb. 6-21 Summe aus zwei identischen Variablen in Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten[69)]

Die Varianz für die Summe zweier Variablen x und y errechnet sich wie folgt:

$$\mathrm{Var}(x + y) = \mathrm{Var}(x) + \mathrm{Var}(y) + 2 \cdot \mathrm{Cov}(x, y) \tag{6-5}$$

Var(x + y) ..... Varianz der Summe von x und y
Var(x) ..... Varianz von x
Var(y) ..... Varianz von y
Cov(x,y) ..... Kovarianz von x und y

[69)] Kummer (2015a), S. 179

Dabei ist die Kovarianz positiv, wenn eine positive Abhängigkeit zwischen den beiden Variablen herrscht und entsprechend negativ bei negativer Abhängigkeit. Var(x + y) ist am größten (kleinsten), wenn eine positive (negative) Kovarianz vorherrscht. Die Kovarianz ist null, wenn es sich um zwei unabhängige Zufallsvariablen handelt. Die Varianz der Summe entspricht dann der Summe der beiden Einzelvarianzen für x und y (siehe Glg. (6-6)).

$$\mathrm{Var}(x + y) = \mathrm{Var}(x) + \mathrm{Var}(y) \tag{6-6}$$

Beim gezeigten Beispiel ist zu beachten, dass die beiden Summanden mit symmetrischen Verteilungen modelliert wurden. Werden schiefe Verteilungen angesetzt, kann der erwartete Wert einer deterministischen Berechnung vom Mittelwert der Simulationen abweichen (je nach Lage der erwarteten Werte). In Abhängigkeit der Korrelationskoeffizienten ändert sich dann auch die Wahrscheinlichkeit, dass der erwartete Wert über- oder unterschritten wird.

6.5.2.2 Subtraktion

Wird die Differenz aus den beiden identisch angenommenen Dreiecksverteilungen (2 | 6 | 10) gebildet, liegen der simulierte Mittelwert als auch der erwartete Wert der Differenz konstant bei 0. Die Streuung der Differenz verläuft umgekehrt zur Summenbildung. Bei einem Korrelationskoeffizient von -1 ist diese am größten und nimmt mit steigendem Korrelationskoeffizienten ab.

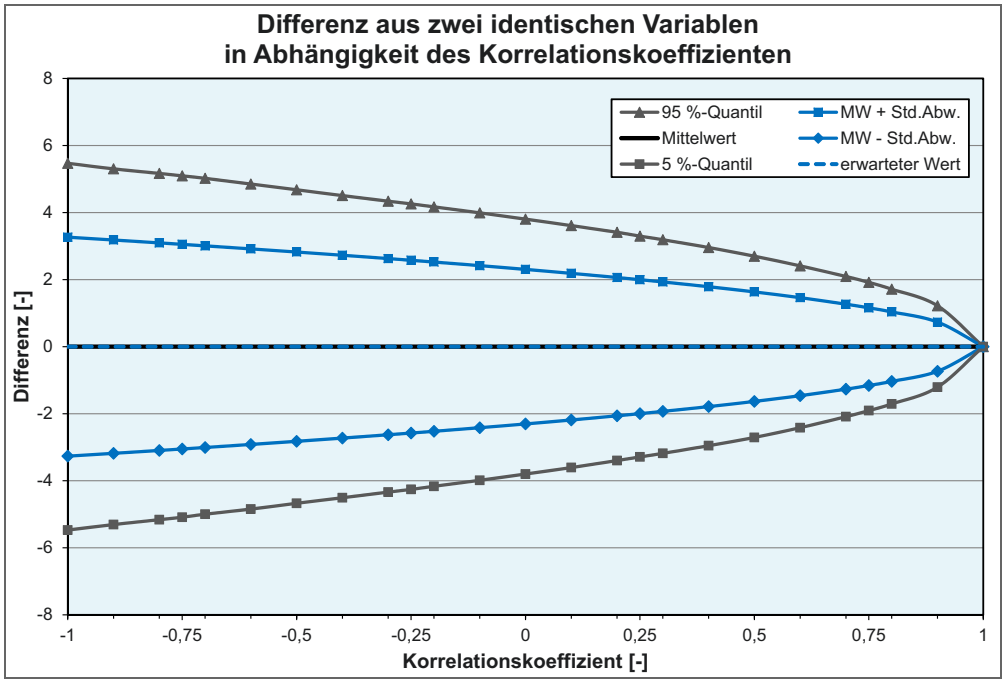


Abb. 6-22 Differenz aus zwei identischen Variablen in Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten[70)]

[70)] Kummer (2015a), S. 180

Begründet wird dies dadurch, dass bei einem Korrelationskoeffizient von +1 für die Bildung der Differenz jeweils Werte aus ähnlichen Bereichen der identischen Bandbreiten der Inputverteilungen ausgewählt werden. Dadurch vermindert sich die Streuung der Differenz bei steigendem Korrelationskoeffizient. Der Extremfall liegt dann vor, wenn exakt die gleichen Zufallswerte aus den beiden Verteilungen gewählt werden. Die Differenz dieser beiden ergibt dann immer einen Wert von null. Bei einer negativen Korrelation werden jeweils Werte aus gegensätzlichen Bereichen der Verteilungen gewählt, um die Differenz zu ermitteln. Wird beispielsweise ein hoher Zufallswert aus der ersten Verteilung gewählt, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass bei einer Korrelation nahe -1 ein entsprechend niedriger Zufallswert aus der zweiten Verteilung gewählt wird und die Differenz damit entsprechend groß ist. Umgekehrt ergibt sich eine hohe negative Differenz, wenn von einem niedrigen Wert der ersten Verteilung ein hoher Wert der zweiten Verteilung abgezogen wird. Dieser Zusammenhang spiegelt sich in Abb. 6-22 in Form einer variierenden Streuung in Abhängigkeit der Korrelationskoeffizienten wider.

6.5.2.3 Multiplikation

Wird das Produkt aus den beiden Dreiecksverteilungen (2 | 6 | 10) gebildet, ergibt sich für unterschiedliche Korrelationskoeffizienten zwischen den beiden Variablen ein Verlauf für die betrachteten statistischen Kenngrößen entsprechend Abb. 6-23.

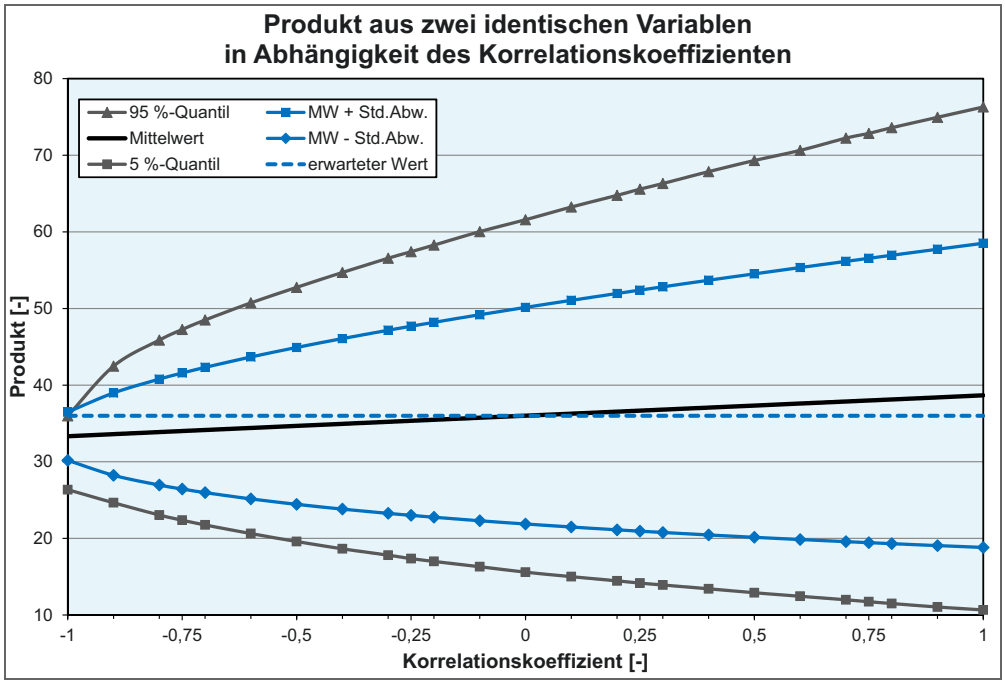


Abb. 6-23 Produkt aus zwei identischen Variablen in Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten[71)]

Die Bandbreite der Ergebnisse steigt mit dem Anstieg des Korrelationskoeffizienten kontinuierlich an (ähnlich wie bei der Addition). Auffällig ist, dass das 95 %-Quantil bei

[71)] Kummer (2015a), S. 181

einem Korrelationskoeffizienten von -1 unter dem Mittelwert, erhöht um eine Standardabweichung (Kurve mit der Bezeichnung: „MW + Std.Abw.“), liegt. Dies ist auf die markante linksschiefe Form des Histogramms, welches die Basis für die dargestellten Datenpunkte darstellt, zurückzuführen (siehe Abb. 6-24).

Weiters ist in Abb. 6-23 ersichtlich, dass sich auch der aus den Simulationen berechnete Mittelwert mit steigendem Korrelationskoeffizient erhöht. Hier haben Korrelationen nicht nur einen Einfluss auf die Streuung der Ergebnisse, sondern auch auf den Mittelwert.

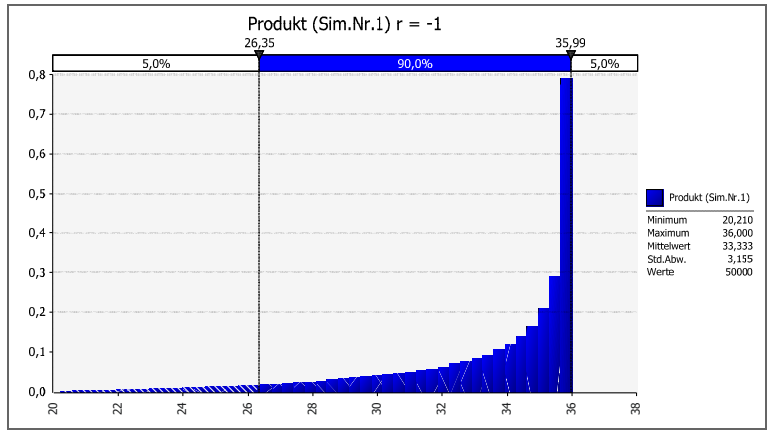


Abb. 6-24 Produkt von zwei Dreiecksverteilungen (2 | 6 | 10) mit einem Korrelationskoeffizienten von r = -1[72)]

6.5.2.4 Division

Wird der Quotient aus den beiden Variablen (in Form von identischen Dreiecksverteilungen – 2 | 6 | 10) gebildet, ergibt sich mit geändertem Korrelationskoeffizient zwischen den Parametern eine markante Änderung der Streuung der Ergebnisse. Abb. 6-25 zeigt, dass sich bei negativen Korrelationskoeffizienten eine größere und bei positiven eine kleinere Bandbreite der Simulationsergebnisse errechnet (ähnlich wie bei der Subtraktion). Weiters nimmt der Mittelwert für den Quotienten aus den Simulationen mit steigendem Korrelationskoeffizienten ab.

72) Kummer (2015a), S. 182

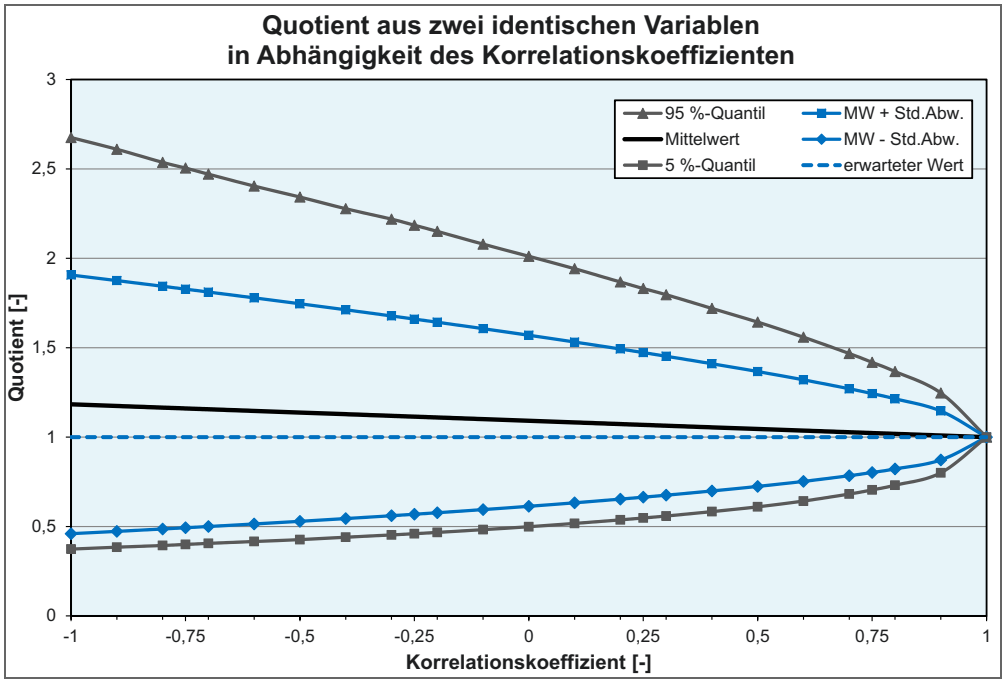


Abb. 6-25 Quotient aus zwei identischen Variablen in Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten[73)]

Wie bei der Multiplikation hat auch bei der Division der zugrunde gelegte Korrelationskoeffizient nicht nur Einfluss auf die Bandbreite der Ergebnisse, sondern auch auf den Mittelwert. Der Extremfall ist dann erreicht, wenn immer die gleichen Zufallswerte aus den beiden angesetzten Dreiecksverteilungen gewählt werden. Ist dies der Fall, ergibt sich der Quotient konstant mit dem Wert eins.

6.5.2.5 Zusammenfassung – Einfluss von Korrelationen auf zwei Variablen

Bei der Addition und Multiplikation zweier Zufallsvariablen vergrößert sich die Bandbreite der Ergebnisse mit steigendem Korrelationskoeffizient und erreicht bei r = +1 ihr Maximum. Bei Subtraktionen und Divisionen wird die Streuung der Ergebnisse mit steigendem Korrelationskoeffizienten kleiner und erreicht bei r = +1 ihr Minimum. Der Mittelwert aus den Simulationen bleibt bei der Addition und Subtraktion gegenüber einer Änderung des Korrelationskoeffizienten unverändert. Bei der Multiplikation und Division ändert sich auch der Mittelwert der Outputs in Abhängigkeit der Korrelationskoeffizienten. Eine Übersicht der Einflüsse von Korrelationen auf die Ergebnisse der vier Grundrechnungsarten bei zwei (symmetrischen) Variablen ist in Tab. 6-10 dargestellt.

73) Kummer (2015a), S. 182

Rechenoperation		Addition		Multiplikation		Subtraktion		Division	
Korrelation		negativ	positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ	positiv
Streuung der Ergebnisse wird	größer		X		X	X		X	
	kleiner	X		X			X		X
Einfluss der Korrelationen auf den Mittelwert	ja			X				X	
	nein	X				X			

Tab. 6-10 Einfluss von Korrelationen auf die Streuung und den Mittelwert getrennt nach den vier Grundrechnungsarten[74)]

Für baubetriebliche und bauwirtschaftliche Zusammenhänge werden häufig Additionen und Multiplikationen benötigt, die zusammen mit positiven Korrelationen die Streuung der Ergebnisse gegenüber jenen bei unabhängigen Inputvariablen tendenziell erhöhen.

Die Ergebnisse der oben gezeigten einfachen Beispiele mit nur zwei (symmetrischen) Variablen sind für das grundsätzliche Verständnis des Einflusses von Korrelationen auf die Simulationsergebnisse sehr anschaulich. Für praktische Anwendungen sind diese Zusammenhänge aber nicht direkt anwendbar, da bei anwendungsorientierten Berechnungen meist mehrere Variablen mit unterschiedlichen Rechenoperationen verknüpft werden. Der Einfluss von variierenden Korrelationen (positiv und negativ) auf die Summenbildung wird nachfolgend dargestellt.

6.5.2.6 Einfluss von Korrelationen auf die Summe mehrerer Variablen – Praktische Anwendung mit @Risk

Chau[75)] untersuchte den Einfluss von positiven und negativen Korrelationen auf die Summe von elf identischen Variablen. Dabei wurde angenommen, dass jeder Parameter von der ersten Variable abhängig ist, wobei sich der Betrag der angesetzten Korrelation nicht ändert. Für die Simulation wurden in der Korrelationsmatrix alle Koeffizienten zwischen der ersten und den nachfolgenden Variablen mit +0,9 angesetzt (siehe Tab. 6-11).

In @Risk sind nur positive definite und positive semidefinite Korrelationsmatrizen zulässig. Die Prüfung einer eingegebenen Matrix auf Konsistenz erfolgt durch Berechnung ihrer Eigenwerte. Vom Softwareprogramm @Risk wird vor jeder Simulation eine solche Prüfung durchgeführt. Eine positive definite Matrix hat nur positive Eigenwerte, eine positive semidefinite Matrix hat Eigenwerte, die größer oder gleich null sind. Demnach wird eine Matrix, die zumindest einen negativen Eigenwert aufweist, für die weiteren Berechnungsschritte abgelehnt und muss neu definiert bzw. angepasst werden.[76)]

Die konkrete Eingabe für das Berechnungsbeispiel (siehe Tab. 6-11) führt zu einer nicht konsistenten Korrelationsmatrix. Die restlichen Felder der symmetrischen Matrix müssen aufgefüllt und die bisher eingetragenen Korrelationskoeffizienten evtl. angepasst werden.

74) Kummer (2015a), S. 183

75) Vgl. Chau (1995b), S. 372

76) Vgl. http://kb.palisade.com/index.php?pg=kb.page&id=74. Datum des Zugriffs: 16.10.2016

$ANZ_{NEG,KORR} = 0$		1 A	2 B	3 C	4 D	5 E	6 F	7 G	8 H	9 I	10 J	11 K
1	A	1,00										
2	B	0,90	1,00									
3	C	0,90		1,00								
4	D	0,90			1,00							
5	E	0,90				1,00						
6	F	0,90					1,00					
7	G	0,90						1,00				
8	H	0,90							1,00			
9	I	0,90								1,00		
10	J	0,90									1,00	
11	K	0,90										1,00

Tab. 6-11 Ansatz einer Korrelationsmatrix für den Fall, dass die Korrelationen zwischen der ersten und den nachfolgenden Variablen jeweils +0,9 entspricht[77)]

Das Softwareprogramm @Risk, mit dem auch *Chau* seine Untersuchungen durchgeführt hat,[78)] prüft eingegebene Korrelationsmatrizen automatisch auf Konsistenz. Wird eine Matrix wie in Tab. 6-11 in @Risk eingegeben, wird automatisch nachgefragt, ob diese angepasst werden soll. Wählt man ‚Ja' aus, rechnet @Risk mit folgender automatisch angepassten Matrix (siehe Tab. 6-12) weiter.[79)] Diese kann als ‚nächstbeste' bezeichnet werden, da sie keine besonderen Anforderungen erfüllt.[80)]

$ANZ_{NEG,KORR} = 0$		1 A	2 B	3 C	4 D	5 E	6 F	7 G	8 H	9 I	10 J	11 K
1	A	1,00										
2	B	0,32	1,00									
3	C	0,32	0,00	1,00								
4	D	0,32	0,00	0,00	1,00							
5	E	0,32	0,00	0,00	0,00	1,00						
6	F	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00					
7	G	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00				
8	H	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00			
9	I	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00		
10	J	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
11	K	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

Tab. 6-12 Automatisch von @Risk angepasste Korrelationsmatrix – Bezogen auf die Matrix in Tab. 6-11[81)]

Anhand eines Beispiels wird veranschaulicht, wie eine nicht konsistente Matrix automatisch angepasst wird. Angenommen wird ein 3 x 3 Matrix (K) aus Glg. (6-7).

77) Kummer (2015a), S. 184

78) *Chau* verwendete @Risk Version 1.55

79) Wählt man ‚Nein' bzw. ‚Abbrechen' kann keine Simulation durchgeführt werden und @Risk bricht den Vorgang ab.

80) Unter besonderen Anforderungen wird die Fixierung der getätigten Eingaben mit Hilfe einer Anpassungsmatrix verstanden. Damit kann bei der automatischen Anpassung einer nicht konsistenten Matrix verhindert werden, dass die händisch eingegebenen Koeffizienten während dieser Anpassung verändert werden.

81) Kummer (2015a), S. 185

$$K = \begin{array}{c} \\ A \\ B \\ C \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} A & B & C \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0,9 & 0,8 \\ 0,9 & 1 & 0 \\ 0,8 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \tag{6-7}$$

Die Eigenwerte dieser Matrix ergeben sich wie folgt:

$\lambda_1 = -0{,}204159$

$\lambda_2 = 1$

$\lambda_3 = 2{,}204159$

Da einer der Eigenwerte negativ ist, handelt es sich um eine nicht konsistente Matrix und muss angepasst werden. Zu diesem Zweck wird der kleinste Eigenwert (λ_1) mit der Einheitsmatrix multipliziert und von der ursprünglichen Korrelationsmatrix (K) abgezogen:

$$K' = \begin{bmatrix} 1 & 0,9 & 0,8 \\ 0,9 & 1 & 0 \\ 0,8 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0{,}204159 & 0 & 0 \\ 0 & -0{,}204159 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}204159 \end{bmatrix}$$

$$K' = \begin{bmatrix} 1{,}204159 & 0,9 & 0,8 \\ 0,9 & 1{,}204159 & 0 \\ 0,8 & 0 & 1{,}204159 \end{bmatrix}$$

Diese neue Matrix K‘ wird in einem nächsten Schritt durch den Wert $(1 - \lambda_1)$ dividiert. Die so erhaltene neue Korrelationsmatrix K“ ist bereits jene angepasste Matrix, mit der eine Simulation in @Risk fortgeführt werden kann.

$$K'' = \begin{bmatrix} 1{,}204159 & 0,9 & 0,8 \\ 0,9 & 1{,}204159 & 0 \\ 0,8 & 0 & 1{,}204159 \end{bmatrix} / (1 + 0{,}204159)$$

$$K'' = \begin{bmatrix} 1 & 0{,}747409 & 0{,}664364 \\ 0{,}747409 & 1 & 0 \\ 0{,}664364 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Die neuen Eigenwerte dieser Matrix errechnen sich zu:

$\lambda_1 = 0$

$\lambda_2 = 1$

$\lambda_3 = 2$

Eine solche automatische Anpassung erfolgte auch bei der 11 x 11 Korrelationsmatrix für die Ermittlung der Summe aus elf Variablen. Die neue Korrelationsmatrix ist in Tab. 6-12 dargestellt.

Diese Matrix bzw. die Korrelationswerte in der ersten Spalte haben nur noch wenig mit den ursprünglich angesetzten (stark positiven) Korrelationen zu tun. Das Ergebnis der Summe aus den elf Variablen wird dadurch verfälscht.

Um diesen Umstand zu umgehen, aber trotzdem eine konsistente und damit gültige Korrelationsmatrix zu erhalten, gibt es die Möglichkeit eine ‚Anpassungsfaktor-Matrix' anzusetzen, mit der die vom Benutzer eingegebenen Korrelationen im Zuge der automatischen Anpassung ‚fixiert' werden können. Die Anpassungsfaktoren sind dimensionslos und können Werte zwischen 0 und 100 annehmen. Je höher diese Faktoren sind, desto genauer wird die eingegebene Korrelation bei der automatischen Anpassung beibehalten. Damit entspricht die automatisch angepasste Korrelationsmatrix den inhaltlichen Zusammenhängen, die bei der Eingabe einzelner Korrelationskoeffizienten beabsichtigt wurden. Die Anpassungsfaktor-Matrix für die Korrelationsmatrix in Tab. 6-11 sieht wie folgt aus:

Anpassungs-faktor-Matrix		1 A	2 B	3 C	4 D	5 E	6 F	7 G	8 H	9 I	10 J	11 K
1	A											
2	B	100										
3	C	100										
4	D	100										
5	E	100										
6	F	100										
7	G	100										
8	H	100										
9	I	100										
10	J	100										
11	K	100										

Tab. 6-13 Anpassungsfaktor-Matrix – Bezogen auf die Matrix in Tab. 6-11[82)]

Die neue (automatisch angepasste) Korrelationsmatrix unter Berücksichtigung der Anpassungsfaktor-Matrix entspricht jener in Tab. 6-14. Es ist zu erkennen, dass die ursprünglich in der Spalte 1 eingetragenen Korrelationskoeffizienten auch bei der automatischen Anpassung beibehalten wurden.

$ANZ_{NEG,KORR} = 0$		1 A	2 B	3 C	4 D	5 E	6 F	7 G	8 H	9 I	10 J	11 K
1	A	1,00										
2	B	0,90	1,00									
3	C	0,90	0,86	1,00								
4	D	0,90	0,79	0,72	1,00							
5	E	0,90	0,65	0,86	0,79	1,00						
6	F	0,90	0,81	0,80	0,83	0,81	1,00					
7	G	0,90	0,78	0,73	0,71	0,79	0,83	1,00				
8	H	0,90	0,81	0,79	0,82	0,80	0,75	0,82	1,00			
9	I	0,90	0,80	0,78	0,81	0,79	0,77	0,81	0,78	1,00		
10	J	0,90	0,81	0,79	0,82	0,80	0,76	0,81	0,77	0,78	1,00	
11	K	0,90	0,81	0,78	0,82	0,80	0,75	0,82	0,77	0,78	0,77	1,00

Tab. 6-14 Angepasste Korrelationsmatrix unter Berücksichtigung der Anpassungsfaktor-Matrix in Tab. 6-13 – Bezogen auf die Korrelationsmatrix in Tab. 6-11[83)]

82) Kummer (2015a), S. 186

83) ebd., S. 187

Mit dieser neuen Korrelationsmatrix und den elf Variablen kann mittels Monte-Carlo-Simulation (Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren) eine Verteilung der Summe errechnet werden. Im vorliegenden Fall wurden 50.000 Iterationen durchgeführt. Es werden symmetrische Dreiecksverteilungen (Minimum: 2; erwarteter Wert: 6 und Maximum: 10) zur Berechnung der Summe angesetzt.

Für die weiteren Untersuchungen wurden die positiven Korrelationen in der ersten Spalte der Tab. 6-11 nach und nach durch negative Korrelationen (r = -0,9) ersetzt, bis nur noch negative Korrelationen vorhanden waren. Mit der Anpassungsfaktor-Matrix (Tab. 6-13) wurden jeweils automatisch, konsistente Korrelationsmatrizen erzeugt. Für die elf identischen Verteilungsfunktionen der Eingangsparameter (Dreiecksverteilungen: 2 | 6 | 10) erfolgten im Rahmen der Summenbildung keine Veränderungen. Die Ergebnisse der Summe werden auf Basis der variierenden Korrelationen in Form eines Diagramms dargestellt. Neben dem Mittelwert und dem erwarteten Wert der deterministischen Berechnung werden auch noch nachfolgende statistische Werte je Simulation aufgetragen (siehe Abb. 6-26):

- 5 %-Quantil
- 95 %-Quantil
- Einfache Standardabweichung vom Mittelwert (in beide Richtungen)

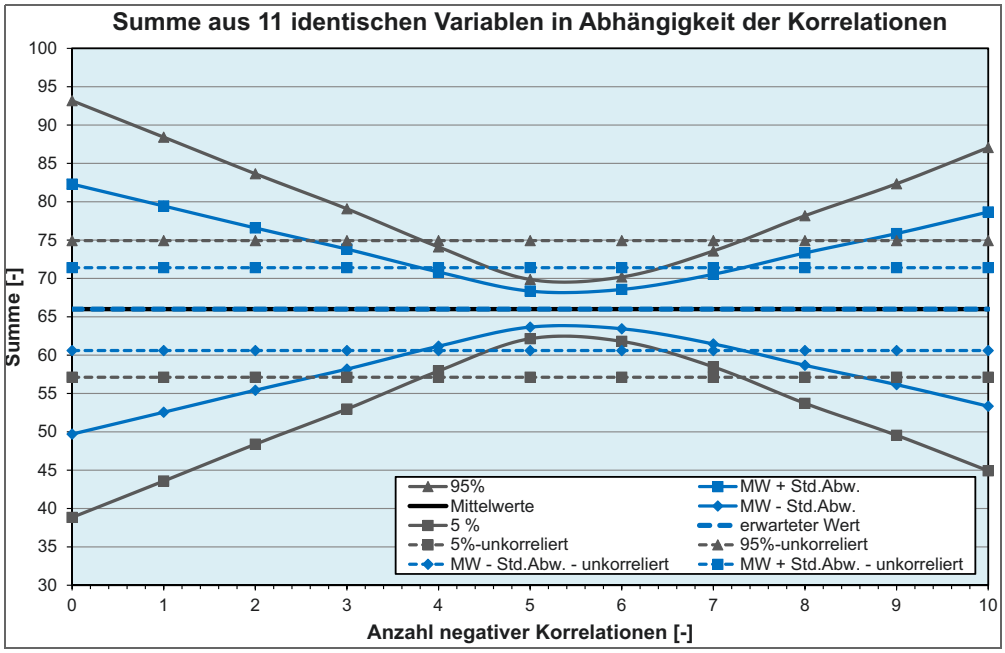


Abb. 6-26 Summe aus elf identischen Variablen in Abhängigkeit der Korrelationen im Vergleich mit dem unkorrelierten Ergebnis[84)]

Zum Vergleich werden die gleichen statistischen Werte auch für eine unkorrelierte Berechnung (es herrscht Unabhängigkeit zwischen den Parametern) strichliert eingezeichnet.

Bei einem ausgeglichenen Verhältnis zwischen positiven und negativen Korrelationen liegt die geringste Bandbreite für die Summe aus 11 identischen Variablen vor. Die

84) Kummer (2015a), S. 188

Bandbreite der Ergebnisse wird lediglich durch die entsprechende Wahl der Korrelationen um ein Vielfaches eingeengt, ohne dass die Bandbreite der Eingangsvariablen verändert wird. Im Vergleich zu unkorrelierten Berechnungen ergeben sich je nach Wahl der Korrelationskoeffizienten breitere oder engere Bandbreiten für die Ergebnisse.

Bei dem gezeigten Beispiel ist zu beachten, dass alle Summanden mit symmetrischen Verteilungen modelliert wurden. Werden schiefe Verteilungen angesetzt, weicht der erwartete Wert einer deterministischen Berechnung vom Mittelwert der Simulationen ab.

6.6 Vergleich – deterministische und probabilistische Berechnungen

Nachfolgend wird auf die Problematik deterministischer Berechnungen im Vergleich zu den Ergebnissen einer Monte-Carlo-Simulation sowie auf die Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen (SWOT-Analyse) dieser eingegangen.

6.6.1 Kritik an deterministischen Berechnungen

In der Praxis sind deterministische Berechnungen im Hinblick auf Baukosten- und Bauzeitermittlungen die Regel. Probabilistische Verfahren werden nur selten eingesetzt und sind vielen der Verantwortlichen nur wenig bis gar nicht bekannt.[85)]

Eine Problematik zeigt sich darin, dass die Eingangsparameter deterministischer Berechnungen zumeist mit großen Unsicherheiten behaftet sind und über den Weg der qualifizierten Schätzung ermittelt werden müssen. Eine systematische Berücksichtigung dieser Unsicherheiten erfolgt bei deterministischen Berechnungsverfahren bestenfalls durch prozentuelle Zuschläge oder Puffer. Die Quantifizierung eines Chancen-Risikoverhältnisses ist damit nicht möglich.

Problematisch sind die geringe Aussagekraft und die scheinbar hohe Genauigkeit von deterministischen Berechnungsergebnissen. Von einem deterministischen Ergebnis (eine einzige Zahl – siehe Berechnungsmodus 1 in Abb. 6-27) kann nicht auf Wahrscheinlichkeiten geschlossen werden. Das Wissen über mögliche Bandbreiten der Eingangsparameter und deren Zusammenhänge geht durch eine deterministische Betrachtung ebenfalls verloren. Auch bei anderen Berechnungsmodi (verbesserter deterministischer Ansatz, PERT-Methode[86)], vereinfachter probabilistischer Ansatz) können keine Aussagen über Eintrittswahrscheinlichkeiten getroffen werden und es stehen immer nur einzelne Zahlen (im besten Fall drei Werte: Minimum, erwarteter Wert und Maximum) für die Darstellung möglicher Szenarien zur Verfügung. Ein Vergleich von fünf Berechnungsmodi zeigte, dass erst durch die Ergebnisse eines probabilistischen Berechnungsverfahrens (Monte-Carlo-Simulation) eine Einschätzung über die Ergebnisqualität der anderen Verfahren möglich wird (siehe Abb. 6-27).[87)]

85) Vgl. Alber (2013), S. 165ff.

86) PERT steht für Program Evaluation and Review Technique

87) Vgl. Kummer/Hofstadler (2013), S. 183ff.

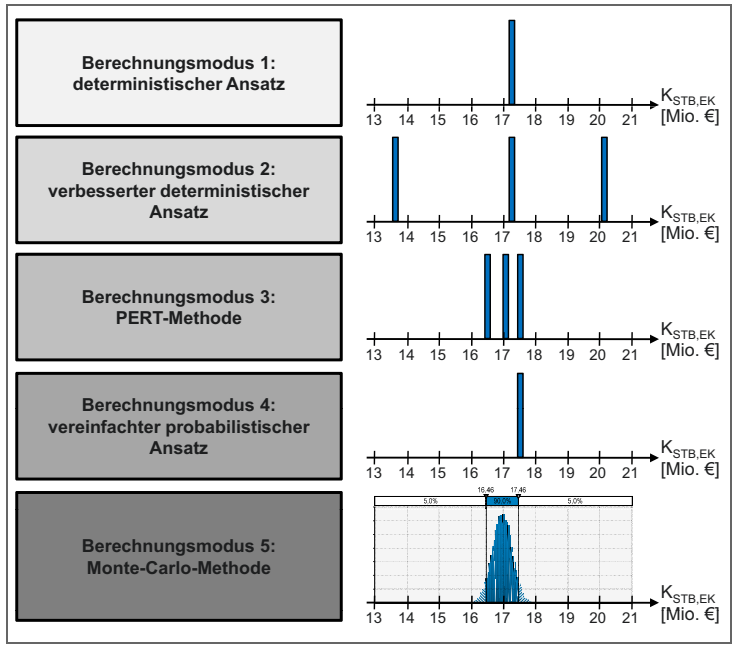


Abb. 6-27 Vergleich von fünf Berechnungsmodi – Ermittlung von Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten

In der Fachliteratur wird diese Problematik schon seit vielen Jahren diskutiert und auch einige Kritik an deterministischen Berechnungsverfahren für die Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten geübt.

Schach gibt an, dass eine deterministische Ermittlung von Investitionskosten als problematisch anzusehen ist. Kostenüberschreitungen können bei deterministischen Betrachtungen nur vereinfacht z.B. mit Sensitivitätsanalysen oder Extremwertbetrachtungen untersucht werden. Im Zuge von Monte-Carlo-Simulationen werden solche Sensitivitäts- und Extremwertanalysen automatisch mitgeliefert. *Schach* empfiehlt nachdrücklich, dass die zu erwartenden Kosten künftig mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation ermittelt werden sollten.[88)]

Die Forderung nach einer exakten Zahl steht lt. *Schneider/Spiegl/Sander* in direktem Widerspruch nach einer möglichst genauen Prognose. Der oft eingeschlagene Weg deterministischer Methoden führt zu Ergebnissen mit äußerst geringer Aussagekraft.[89)]

Schulz führt an, dass aus historischen Daten Häufigkeitsverteilungen gewonnen werden können und ein Schluss auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen vergleichbarer Vorgänge zulässig ist. Er untersuchte 712 Angebote aus Submissionen des Bauwesens und ermittelte für jede Submission den Mittelwert der Angebote und die jeweiligen Abweichungen in Prozent. Die Ergebnisse wurden als Histogramm aufgetragen und die Spannweite zwischen dem teuersten und dem günstigsten Angebot lag zwischen 55 % und 165 %, wobei 100 % den Mittelwert der Angebote je Submission darstellten. Man könnte auch sagen, dass das teuerste Angebot um ca. das dreifache höher lag als das günstigste. *Schulz* führt weiter an, dass bei einer größeren Anzahl an ausgewerteten Angeboten die Spann-

88) Vgl. Schach (2005), S. 124

89) Vgl. Sander/Spiegl/Schneider (2010), S. 606

weite vermutlich noch größer gewesen wäre. Er weist auf die Unbrauchbarkeit von absoluten Streugrenzen hin.[90)]

Schulz beschreibt den Nutzen der Kenntnis von Streuungen von Kostenwerten folgendermaßen:[91)]

- Ein Kalkulant könnte seine eigenen Kalkulationsstreuungen mit denen seiner Kollegen oder Konkurrenten vergleichen.
- Ein Bauunternehmer kann sich die Verlustgefahr vor Augen führen, wenn er einen Auftrag zu einem vergleichsweise niedrigeren Preis erhalten hat.
- Ein Bauunternehmer müsste seine Leistungsfähigkeit und Produktivität hinterfragen, wenn er trotz knapp bemessener Preise immer weit über dem Angebot des Billigstbieters liegt.
- Ein Bauherr könnte sich fragen, um wie viel die angebotenen Preise sinken, wenn er die Zahl der Angebotsaufforderungen erhöht.

Lederer führt in diesem Zusammenhang an, dass auch auf Auftraggeberseite für die Finanzplanung eine konkrete Zahl wenig hilfreich ist, da diese mit Sicherheit falsch ist. Es wird eine Angabe über die Zuverlässigkeit gefordert, da fixierte Zahlenwerte alleine keine hinreichende Grundlage für eine Prognose liefern.[92)]

Als Kritik an der Monte-Carlo-Simulation werden der höhere Ressourcenaufwand und das erforderliche mathematische Verständnis für die Eingabe genannt. Ein solches Verständnis ist bei der Modellbildung, bei der Definition der Inputs sowie bei der Interpretation der Simulationsergebnisse jedenfalls erforderlich.

6.6.2 SWOT-Analyse für Monte-Carlo-Simulationen

Der Einsatz der Monte-Carlo-Simulation stellt sowohl für den AG als auch für den AN in den jeweiligen Projektphasen ein nützliches Werkzeug dar, um Entscheidungen vorzubereiten und um Sensitivitätsanalysen und Optimierungen durchzuführen.

Im Zuge einer SWOT-Analyse wird untersucht, welche Vor- und Nachteile mit dem Einsatz von Monte-Carlo-Simulationen verbunden sind.

Wenzel et al. führen in diesem Zusammenhang bezogen auf die ‚Simulationswürdigkeit' an: „Eine Aufgabenstellung ist immer simulationswürdig, wenn die Lösung eines Problems nur mit der Methode Simulation gefunden werden kann. Das ist etwa der Fall, wenn dynamische Prozesse oder stochastische Einflüsse eine nicht zu vernachlässigende Rolle in dem zu untersuchenden System spielen. Die Simulationswürdigkeit ist ebenfalls gegeben, wenn die Lösung mit anderen mathematischen Verfahren zwar möglich wäre, ein Simulationsmodell die Lösung aber wesentlich erleichtert. Sind besondere Anforderungen bezüglich Kommunikation und Visualisierung der Ergebnisse gestellt, so ist die Erstellung eines Simulationsmodells durchaus auch dann zu vertreten, wenn das zugrunde liegende Problem mit anderen Mitteln u.U. sogar einfacher und schneller zu lösen wäre."[93)]

90) Vgl. Schulz (1980), S. 29ff.

91) Vgl. ebd., S. 34

92) Vgl. Lederer (1982), S. 11f.

93) Wenzel et. al. (2008), S. 15

Bei der SWOT-Analyse[94)] handelt es sich um ein Instrument des strategischen Managements, bei dem in vier Kategorien punktuell die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken einer Methode, eines Verfahrens, einer Maßnahme usw. identifiziert und aufgelistet werden.

Im Folgenden wird eine solche SWOT-Analyse für den baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Einsatz von Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Es handelt sich bei den angeführten Punkten jeweils um eine demonstrative Aufzählung der Vor- und Nachteile.

6.6.2.1 Stärken (Strengths)

Nachfolgend werden die Stärken einer Monte-Carlo-Simulation gegenüber deterministischen Berechnungen aufgezählt:
- Bandbreiten können systematisch berücksichtigt werden.
- Überlegungen hinsichtlich unsicherer Parameter werden direkt in die Berechnungen integriert und sind auch im Nachhinein aus dem Simulationsmodell rekonstruierbar.
- Der unsystematischen Wahl von deterministischen Eingangswerten wird mit dem Einsatz von Verteilungsfunktionen begegnet.
- Deterministische und probabilistische Inputs können gemeinsam in einer Simulation angesetzt werden.
- Best- und Worst-Case Szenarien werden bei Monte-Carlo-Simulationen automatisch abgebildet.
- Eine Vielzahl möglicher Szenarien kann im Zuge eines Simulationsdurchlaufs betrachtet werden.
- Expertenwissen wird durch Monte-Carlo-Simulationen auf eine breitere Basis gestellt.
- Sensitivitätsanalysen sind Teil der Simulation, da unsichere Inputwerte zufällig innerhalb der vorgegebenen Bandbreiten in den Iterationsschritten berücksichtigt werden.
- Analytische Lösungen (mit Hilfe von Faltungen) sind nicht erforderlich, da mit Zufallszahlen operiert wird. Probabilistische Berechnungen mit Hilfe von Simulationen sind dabei relativ einfach gegenüber analytischen Verfahren (Faltung) durchzuführen.
- Unsicherheiten einzelner Parameter können einfach in die Berechnungen integriert werden.
- Rechenmodelle bleiben gegenüber einer deterministischen Berechnung weitgehend unverändert.
- Ergebnisse können anschaulich in Form von Histogrammen grafisch darstellt werden.
- Kommerzielle Programme sind für die Durchführung von Monte-Carlo-Simulationen verfügbar, vertiefte Programmierkenntnisse sind für die Anwendung daher nicht erforderlich.
- Kommerzielle Softwarelösungen verfügen meist über ein umfangreiches Handbuch, technischen Support, Online-Tutorials und Foren etc.

6.6.2.2 Schwächen (Weaknesses)

Nachfolgend werden die Schwächen einer Monte-Carlo-Simulation gegenüber deterministischen Berechnungen aufgezählt:
- Vom Anwender ist ein grundlegendes mathematisches Verständnis sowohl bei der Eingabe als auch bei der Interpretation der Ergebnisse erforderlich.
- Es wird – sofern kein eigenes Programm entwickelt wird – eine kommerzielle Softwarelösung benötigt. Es handelt sich dabei meist um Add-Ins für MS Excel.

[94)] Engl. Akronym für Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Gefahren)

- Die Eingabe ist aufwändiger als bei einer deterministischen Berechnung.
- Subjektive Elemente der Berechnungen bleiben auch bei der Monte-Carlo-Simulation erhalten, werden jedoch durch Verteilungsfunktionen in die Berechnungen systematisch integriert.

6.6.2.3 Chancen (Opportunities)

Nachfolgend werden die Chancen, die mit dem Einsatz von Monte-Carlo-Simulation verbunden sind aufgezählt:
- Zur Interpretation von Simulationsergebnissen können Empfindlichkeitsanalysen (z.B. Tornado-, Punkt- und Spiderdiagramme) herangezogen werden.
- Simulationsmodelle haben das Potenzial zur Durchführung probabilistischer Optimierungen (Operations Research) einen wertvollen Beitrag zu leisten.
- Abhängigkeiten zwischen Eingabeparametern können mit Hilfe von Korrelationen in die Berechnungen integriert werden.
- Die Aussagekraft von Berechnungsergebnissen wird durch wahrscheinlichkeitstheoretische Informationen und statistische Kenngrößen erhöht.
- Entscheidungen können auf Basis eines gewählten Chancen-Risikoverhältnisses gefällt werden.
- Bandbreiten von Eingangsparametern können direkt aus der Praxis (Datenerhebungen und/oder Expertenbefragungen) abgeleitet werden.
- Kombinationen aus historischen Daten, eigenen Aufzeichnungen und Expertenwissen können zusammen mit theoretischen Überlegungen und Charakteristika in Verteilungsfunktionen übergeführt werden und damit in die Berechnungen einfließen.
- Werden Daten systematisch erhoben, ist eine Verknüpfung mit entsprechenden Wissensspeichern (Datenbanken) denkbar, um Verteilungsfunktionen für einzelne Inputparameter zu fitten und die Ansätze damit zu präzisieren und zu aktualisieren.

6.6.2.4 Risiken (Threats)

Nachfolgend werden die Risiken, die mit dem Einsatz von Monte-Carlo-Simulation verbunden sind, aufgezählt:
- Die Qualität der Ergebnisse hängt von der Qualität der Eingabe und des Berechnungsmodells ab (‚garbage in = garbage out').
- Ohne Darstellung und Beschreibung der verwendeten Inputwerte erscheinen Simulationsergebnisse als Produkt einer ‚Black Box'.
- Wird bei der Berücksichtigung von Korrelationen keine Anpassungsfaktor-Matrix definiert, kann das Vorliegen einer nicht konsistenten Korrelationsmatrix im Zuge der automatischen Anpassung zu einer Matrix führen, die inhaltlich nicht jenen Zusammenhängen entspricht, die bei der Eingabe beabsichtigt wurden.

6.7 Zusammenfassung

Wahrscheinlichkeitstheoretische Berechnungen durchzuführen stellt eine mathematische Herausforderung für Studierende, Forscher und Praktiker dar. Durch den Einsatz der Monte-Carlo-Simulation sind auf Basis eines mathematischen Vorverständnisses und der deterministischen Modellbildung probabilistische Berechnungen einfach durchführbar.

Die Simulationen liefern numerische Lösungen, die es den Anwendern ermöglichen, mehr Zeit und Überlegungen in die Modellbildung und die Wahl der Verteilungsfunktionen sowie Korrelationen zu investieren.

Da die Monte-Carlo-Simulation als wahrscheinlichkeitstheoretische Anwendung nicht jedem potenziellen Anwender (vertiefend) bekannt ist, werden im Kapitel die wesentlichen Grundlagen beschrieben und anhand von Beispielen verdeutlicht. Es erfolgt damit die Vermittlung von Basiskenntnissen, die dem Verständnis der nachfolgenden Kapitel dienen und zum Mitdenken und eigenständigen Anwenden anregen.

Neben der Herkunft und Entwicklung der Methode sowie der Abgrenzung zwischen ‚Methode' und ‚Simulation' wird vertiefend auf die Generierung von Zufallszahlen eingegangen. Die Veranschaulichung und Interpretation von Auswirkungen unterschiedlicher Verteilungsfunktionen und Korrelationen auf die Ergebnisse der Simulationen erfolgt anhand von Beispielen.

Die für die Modellierung sehr wichtige systematische Auswahl von Verteilungsfunktionen steht im Zentrum des folgenden Kapitels. Weiters wird im weiteren Verlauf gezeigt, wie auf Basis von Datensätzen (Datenfitting) Verteilungsfunktionen für Inputparameter generiert werden können. Welche Bedeutung den Korrelationen zukommt und wie diese anhand von Expertenbefragungen ermittelt werden, wird ebenfalls hervorgehoben. Den Abschluss des nächsten Kapitels bildet die wesentliche Thematik der Interpretation von Simulationsergebnissen.

6.8 Literaturverzeichnis

Alber, Alexander (2013). Risikomanagement in Bauunternehmen – Eine Analyse von Theorie und Praxis. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Böhnlein, Claus-Burkard (2004). Simulation in der Betriebswirtschaft. In: Experiences from the Future – New Methods and Applications in Simulation for Production and Logistics – Tagungsband 11. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Berlin, 04.-05. Oktober 2004. Hrsg.: Mertins, Kai; Rabe, Markus. Seite 1-22. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag. (ISBN 3-8167-6640-4)

Böhnlein, Claus-Burkard (2010). Simulationsunterstützte Spezifikation und Analyse von Geschäftsmodellen und Geschäftsprozessen. (Online unter: http://www.asim-fachtagung-spl.de/asim2010/papers/E9_Boehnlein.pdf. Datum des Zugriffs: 11.11.2016)

Chau, Kwong Wing (1995a): The validity of the triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: empirical evidence from Hong Kong. In: Construction Management and Economics, Volume 13, Issue 1, 1995. Seite 15-21. London. Taylor & Francis Group. (ISSN 0144-6193)

Chau, Kwong Wing (1995b): Monte Carlo simulation of construction cost using subjective data. In: Construction Management and Economics, Volume 13, Issue 5, 1995. 13, Seite 369-383. London. Taylor & Francis Group. (ISSN 0144-6193)

Demmler, Markus (2009). Risikomanagement im internationalen Tunnelbau unter Anwendung der Vertragsform FIDIC Red Book. Dissertation. Darmstadt. Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt. (ISBN 978-3-00-027533-3)

Dinort, Günter (1977). Berücksichtigung stochastischer Einflüsse in der Kostenrechnung einer Bauunternehmung. Dissertation. München. Lehrstuhl für Tunnelbau und Baubetriebslehre der Technischen Universität München.

Duden (2007). Deutsches Universalwörterbuch. Mannheim. Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG. (ISBN-10: 3-411-05506-5)

Feik, Roland (2006). Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen – Ein Konzept eines elektronischen Chancen- und Gefahrenmanagementsystems für Auftraggeber. Dissertation. Innsbruck. Fakultät für Bauingenieurwissenschaften der Leopold-Franzens Universität Innsbruck.

Girmscheid, Gerhard; Motzko, Christoph (2007). Kalkulation und Preisbildung in Bauunternehmen – Grundlagen, Methodik und Organisation. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-540-36694-2)

Girmscheid, Gerhard; Busch, Thorsten A. (2008b). Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. Berlin. Bauwerk Verlag GmbH. (ISBN 978-3-89932-184-5)

Gleißner, Werner (2011). Grundlagen des Risikomanagements im Unternehmen – Controlling, Unternehmensstrategie und wertorientiertes Management – 2. Auflage. München. Verlag Franz Vahlen. (ISBN 978-3-8006-3767-6)

Golenko, D. I. (1972). Statistische Methoden der Netzplantechnik. Stuttgart, Leipzig. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft. (ISBN 3-519-02013-0)

Gottschalk-Mazouz, Niels (2011). Risiko. In: Handbuch Ethik. Hrsg.: Düwell, Marcus; Hübenthal, Christoph; Werner, Micha H. Stuttgart, Weimar. Metzler-Verlag. (ISBN 978-3-476-02388-9)

Hauwermeiren, Michael Van; Vose, David (2009). A Compendium on Distributions. eBook. (Online unter: http://www.vosesoftware.com/content/ebook.pdf. Datum des Zugriffs: 21.10.2016)

Hengartner, Walter; Theodorescu, Radu (1978). Einführung in die Monte-Carlo-Methode. München, Wien. Carl Hanser Verlag. (ISBN 3-446-12331-8)

Hofstadler, Christian (2011b). Application of the Monte-Carlo Method to Determine the Costs for Construction Projects – Influence of Ranges and Correlations on Probability Distribution. Vortrag im Rahmen der Palisade 2011 Palisade Risk Conference – Risk Analysis, Applications & Training. Amsterdam. (Online unter: http://www.palisade.com/downloads/UserConf/EU11/2011-Palisade@RISK-Hofstadler.pdf. Datum des Zugriffs: 18.10.2016)

Hofstadler, Christian (2014a). Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-41632-3)

Hofstadler, Christian (2014b). Monte-Carlo-Simulation im Baubetrieb – Verteilungsfunktion für Aufwandswerte bei Schalarbeiten – Herleitung der Verteilungsfunktion aus den Ergebnissen einer Expertenbefragung. In: Bauingenieur, Band 89, Mai 2014. Seite 189-201. Düsseldorf. Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG. (lSSN 0005-6650)

Hruschka, Johann (1968). Die Anwendung des Normprodukts in der Baubetriebsplanung, Erläutert am Beispiel der Rohbauarbeiten im Hochbau. Dissertation. München. Fakultät für Bauwesen der Technischen Hochschule München.

http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m-mat/MT/emt.html. Datum des Zugriffs: 07.11.2016.

Iwan, Gerhard (1992). Beitrag zur Anwendung der Simulation und Reihenfolgeoptimierung bei der Analyse von Bauproduktionsprozessen. Fortschrittsberichte VDI – Reihe 4: Bauingenieurwesen, Nr. 113. Düsseldorf. VDI-Verlag. (ISBN 3-18-141304-6)

Krempl, Simone (2012). Korrelationen bei Aufwandswerten für Schal- und Bewehrungsarbeiten. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Kummer, Markus (2015a). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten – Deterministische und probabilistische Betrachtungen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Kummer, Markus; Hofstadler, Christian (2013). Einsatz der Monte-Carlo-Simulation zur Berechnung von Baukosten. In: bau aktuell, 4. Jahrgang, Heft Nr. 5, September 2013. Seite 178-188. Wien. Linde-Verlag Ges.m.b.H. (ISSN 2077-4737)

Lederer, Siegfried (1982). Die Mittelbereitstellung für Bauleistungen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Planung. Dissertation. Institut für Bauingenieurwesen IV Tunnelbau und Baubetriebslehre der Technischen Universität München.

Liberda, Walter (1985). Ermittlung des Kalkulationswagnisses im Bauwesen durch stochastische Berechnung der Herstellkosten. Dissertation. Graz. Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Graz, Erzherzog-Johann-Universität.

Link, Doris (1999). Risikobewertung von Bauprozessen – Modell ROAD – Risk and Opportunity Analysis Device. Dissertation. Wien. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Wien.

Mattern, Friedmann (1996). Modellbildung und Simulation. Fachbereich Informatik der Technischen Hochschule Darmstadt, 1996. (Online unter: http://www.vs.inf.ethz.ch/publ/papers/Mod_Sim.pdf. Datum des Zugriffs: 22.10.2016)

Mayer, Franz Xaver (2013). Kostensicherheit zum Zeitpunkt der Realisierungsentscheidung – Entwicklung eines Kosten-Prognose-Modells für Bauwerkskosten im Hochbau. Dissertation. München. Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung der Technischen Universität München.

Metropolis, Nicholas; Ulam, Stanislaw (1949). The Monte Carlo Method. In: Journal of the American Statistical Association, Vol. 44, No. 247, September 1949. Seite 335-341. Oxford. Taylor & Francis, Ltd. (ISSN 01621459)

MSC2010: http://www.ams.org/mathscinet/msc/pdfs/classifications2010.pdf. Datum des Zugriffs: 05.10.2016.

Naumann, René (2007). Kosten-Risiko-Analyse für Verkehrsinfrastrukturprojekte. Aus Forschung und Praxis – Band 8 – Schriftenreihe des Instituts für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden. Hrsg.: Schach, Rainer. Dresden. Expert Verlag. (ISBN-13: 978-3-8169-2701-3)

Palisade Corporation (2013). Benutzerhandbuch – @Risk – Risikoanalysen- und Simulations-Add-In für Microsoft Excel – Version 6. März 2013.

Palisade Corporation: 5.3. How @Risk Tests a Correlation Matrix for Validity. Palisade Knowledge Base.
http://kb.palisade.com/index.php?pg=kb.page&id=74. Datum des Zugriffs: 16.10.2016.

Raaber, Norbert (2003). Beitrag zu Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen. Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz – Heft 15. Hrsg.: Stadler, Gert. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 3-901351-76-0)

Raffel, Wolf-Ulrich (2001). Simulationstheorie. Institut für Informatik der Freien Universität Berlin. (Online unter: http://www.wuraffel.de/wissenschaft/publikationen/Simulationstheorie.pdf. Datum des Zugriffs: 01.11.2016).

Raftery, John (1999). Risk Analysis – In Project Management. London, New York. E & FN Spon, an Imprint of Routledge. (ISBN 0-419-18420-1)

Rohr, Stefan (2005). Optimierung der Bauproduktion durch Simulation von Prozessen. Dissertation. München. Institut für Geologie, Geotechnik und Baubetrieb der Technischen Universität München.

Sander, Philip (2012). Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte – Entwicklung eines branchenorientierten softwaregestützten Risiko-Analyse-Systems. Dissertation. Innsbruck. Fakultät für Bauingenieurwissenschaften der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.

Sander, Philip; Spiegl, Markus; Schneider, Eckart (2010). Die exakte Zahl – Gedanken zum Umgang mit Unschärfen. In: Die Wirtschaftliche Seite des Bauens – Festschrift zum 60. Geburtstag von Rainer Wanninger. Hrsg.: Wanninger, Rainer. Braunschweig. Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb der Technischen Universität Braunschweig.

Sawilowsky, Shlomo S. (2003). You Think You‘ve Got Trivials? In: Journal of Modern Applied Statistical Methods, Vol. 2, No. 1, May 2003. Seite 218-225. JMASM Inc. (ISSN 1538-9472 – Online unter: http://digitalcommons.wayne.edu/coe_tbf/21)

Schach, Rainer (2005). Stochastische Investitionskostenberechnung für Verkehrsinfrastrukturprojekte. In: Tagungsband zur 5. Dresdner Fachtagung Transrapid am 29.09.2005. S. 107-125. Hrsg.: Schach, Rainer. Dresden. Verlag der Technischen Universität Dresden. (ISBN-13: 978-3860054901)

Schach, Rainer; Flemming, Christian (2014). Grundlagen der Kostensimulation unter Einbeziehung von Risiken. In: Informationssysteme im Bauwesen 2 – Anwendungen. Hrsg.: Scherer, Raimer J.; Schapke, Sven-Eric. Seite 253-267. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-662-44760-4)

Schubert, Eberhard (1971). Die Erfaßbarkeit des Risikos der Bauunternehmung bei Angebot und Abwicklung einer Baumaßnahme – Heft 7. Hrsg.: Jebe, Hans. Lehrstuhl für Baubetrieb und Baubetriebswirtschaft der Technischen Universität Hannover. Düsseldorf. Werner-Verlag. (ISBN 3-8041-3303-7)

Schulz, Josef (1980). Risikorechnung bei der Preiskalkulation – Ein Weg zur Ermittlung der maximalen Überschreitung von Kostenvoranschlägen. Wiesbaden, Berlin. Bauverlag GmbH. (ISBN 3-7625-1303-1)

Strehl, Gustav (1983). Ein Modell für die Ermittlung eines Angebotspreises von Bauleistungen bei stochastischer Kostenermittlung. Dissertation. Wien. Technische Universität Wien.

Suhl, Leena; Mellouli, Taïeb (2013). Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen – 3. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-38936-8)

Theis, Christian; Kernbichler, Winfried (2002). Grundlagen der Monte Carlo Methoden. TU Graz, Institut für Theoretische Physik – Computational Physics. (Online unter: https://itp.tugraz.at/MML/MonteCarlo/MCIntro.pdf. Datum des Zugriffs: 15.10.2016)

Touran, Ali; Wiser, Edward P. (1992). Monte Carlo Technique with Correlated Random Variables. In: Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 118, No. 2, June 1992. S. 258-272. American Society of Civil Engineers (ASCE). (ISSN 0733-9364)

Wenzel, Sigrid et al. (2008). Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik – Planung und Durchführung von Simulationsstudien. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-540-35276-1)

Werkl, Michael (2013). Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft – Eine entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Werner, Andreas (2002). Datenbankgestützte Risikoanalyse von Bauprojekten – Eine Methode zur rechnergestützten Monte-Carlo-Simulation des Bauablaufes für die Risikoanalyse im Bauunternehmen. Dissertation. Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Rostock.

Yang, I.-T. (2005). Simulation-based estimation for correlated cost elements. In: International Journal of Project Management, Volume 23, Issue 4, May 2005. Seite 275-282. Elsevier Ltd. and IPMA. (ISSN 0263-7863)

7 Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen

Auf Basis der Grundlagen aus Kapitel 6 wird in diesem Abschnitt auf Überlegungen zur praktischen und nutzbringenden Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen sowie auf die Interpretation der damit erzielten Ergebnisse eingegangen. Im Fokus stehen dabei besonders die Wahl von Verteilungsfunktionen, das Datenfitting (Anpassung von Verteilungsfunktionen an eine bestehende Datenbasis), die Ermittlung von Korrelationen und die Interpretation von Histogrammen und anderen grafischen Simulationsergebnissen.

7.1 Wahl von Verteilungsfunktionen

Für die Durchführung von probabilistischen Berechnungen ist es erforderlich, unsichere Eingangsparameter mit Verteilungsfunktionen zu belegen. Die Wahl der ‚richtigen' Verteilung stellt die Anwender immer wieder vor das Problem, welche der zahlreichen zur Verfügung stehenden theoretischen (mathematisch beschriebenen) Verteilungen[1)] die Eigenschaften eines Parameters bestmöglich widerspiegeln. Ist die Entscheidung für einen Verteilungstyp bzw. eine bestimmte Verteilungsart getroffen, müssen die entsprechenden Formparameter festgelegt werden, um eine Monte-Carlo-Simulation durchführen zu können.

Die Wahl von Verteilungsfunktionen ist grundsätzlich auf Basis von drei Methoden und deren Kombination möglich (siehe Abb. 7-1):

- Theoretische Überlegungen auf Basis bekannter bzw. angenommener Charakteristika
- Datenerhebung aus der Praxis
- Expertenbefragungen

Für nicht abzählbare Parameter unterscheidet sich die Wahl von Verteilungsfunktionen grundlegend von abzählbaren Parametern, bei denen die Wahrscheinlichkeit berechnet

[1)] z.B.: Dreiecksverteilungen, Rechteckverteilungen, Normalverteilungen, PERT-Verteilungen, LogLogistic-Verteilungen, Binomialverteilungen, Bernoulli-Verteilungen
Weiters besteht auch die Möglichkeit, Verteilungen für Inputparameter frei zu definieren. Diese können sich dann beispielsweise aus unterschiedlichen stetigen Funktionen zusammensetzen oder als frei definierte diskrete Verteilungen angesetzt werden.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_7

werden kann. Die Eintrittswahrscheinlichkeit der Augenzahl eines Würfels kann aufgrund einer begrenzten Anzahl an Möglichkeiten und aufgrund der Tatsache, dass das Auftreten jeder Augenzahl gleich wahrscheinlich ist, rechnerisch ermittelt werden. Wenn in der Praxis tatsächlich ein Bauwerk ausgeführt und fertiggestellt wird, sind die Leistungs- und Aufwandswerte nach oben und unten begrenzt. Aber nicht jeder der Werte innerhalb dieser Bandbreite wird gleich wahrscheinlich auftreten. Zusätzlich enthält die Wahl von Verteilungsfunktionen zur Beschreibung zukünftiger Ereignisse immer auch eine subjektive Komponente. Dieser rein subjektive Zugang kann durch Einbeziehung historischer Daten oder Einschätzungen von Experten (damit erreicht man zwar keine ‚Objektivität', jedoch zumindest ‚Intersubjektivität'[2]) verringert werden.[3]

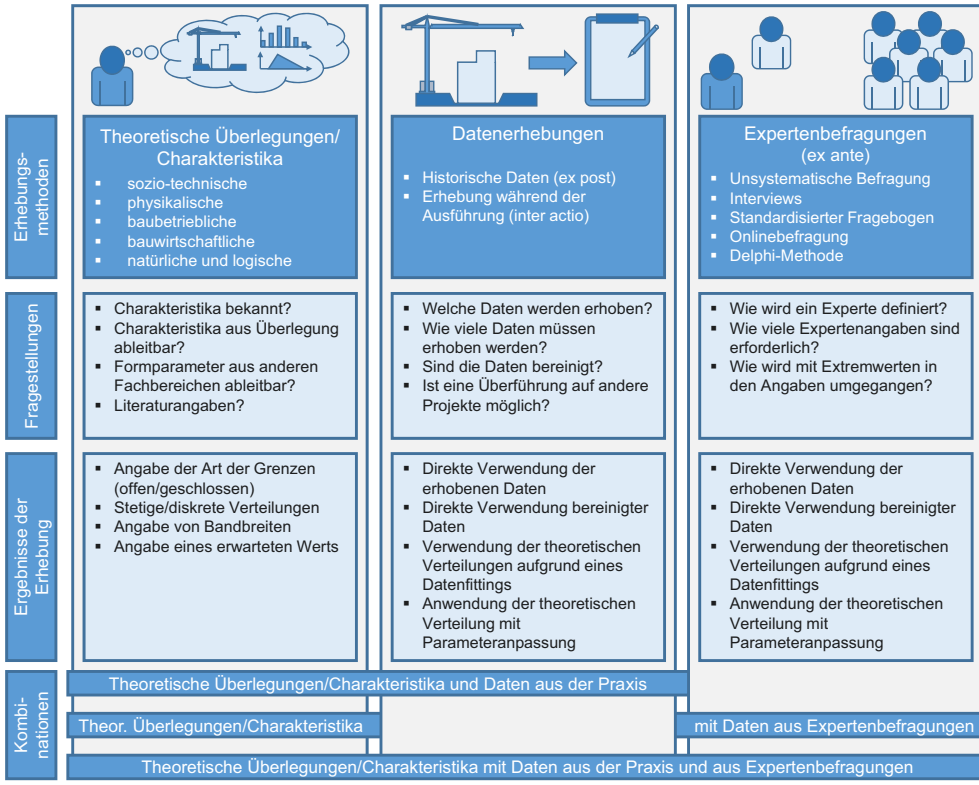


Abb. 7-1 Arten der Erhebung von Verteilungsfunktionen

Liegt keine oder nur eine unzureichende Datenbasis vor, können in der Regel von entsprechend erfahrenen Mitarbeitern Wertangaben innerhalb einer praktikablen Bandbreite für einzelne Parameter angegeben bzw. abgeschätzt werden.

In den folgenden Abschnitten wird näher auf die Erhebungsmethoden und die Generierung von Verteilungsfunktionen eingegangen.

2) ‚Intersubjektivität' bildet eine Zwischenstufe zwischen ‚Subjektivität' und ‚Objektivität'. Sie beschreibt die Übereinstimmung gewisser Wahrnehmungen, des Denkens und Erlebens verschiedener Personen, ungeachtet ihrer individuellen Unterschiede.

3) Vgl. Kummer (2015a), S. 170

7.1.1 Theoretische Überlegungen auf Basis bekannter bzw. angenommener Charakteristika

Bei der Entscheidung für eine Verteilungsfunktion können zunächst grundsätzliche theoretische Überlegungen angestellt werden und bekannte oder angenommene Charakteristika auf Basis von sozio-technischen, physikalischen, baubetrieblichen, bauwirtschaftlichen, natürlichen oder logischen Eigenschaften des Eingangsparameters einbezogen werden. Es ist beispielsweise nicht sinnvoll, mit negativen Preisen oder einer unendlichen Anzahl an Kranen zu rechnen. Meist können bestimmte Parameter in baubetrieblich realistischen Bandbreiten angegeben werden. Es macht daher für Inputgrößen im Baubetrieb und in der Bauwirtschaft meist wenig Sinn, einseitig oder gar beidseitig offene Verteilungen als Inputs zu wählen[4], da damit auch Werte bis minus und plus unendlich zugelassen werden würden.[5]

Ziel von theoretischen Überlegungen und der Bestimmung theoretischer Charakteristika ist es, unsinnige oder unmögliche Ergebnisse von vornherein durch die Wahl der Verteilungsfunktionen für die Inputparameter auszuschließen. Dadurch wird einerseits eine möglichst gute Entscheidungsgrundlage bei der Interpretation der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation geschaffen, andererseits im Hinblick auf Optimierungsverfahren (im Sinne des Operations Research) die Rechenkapazitäten ideal genutzt, da Lösungsmöglichkeiten nur innerhalb bestimmter realistischer Bandbreiten zulässig sind.

Zudem muss je nach Fragestellung und Inputgröße untersucht werden, ob die Umstände und Rahmenbedingungen besser durch diskrete oder stetige Verteilungen abgebildet werden. Wird eine Eingabe durch eine einfache Eins-Null-Beziehung (ja/nein bzw. wahr/falsch) definiert, ist eine diskrete Verteilung (genauer eine Bernoulli-Verteilung) anzusetzen. Sind für eine Größe nur bestimmte Werte möglich, ist ebenfalls eine diskrete Verteilung anzusetzen (z.B. die konkrete Anzahl der Krane in einer bestimmten Bauphase). Kann ein Parameter beliebige Dezimalzahlen annehmen, ist eine stetige Verteilung zu wählen (z.B. für Aufwandswerte, vereinfacht auch für Kosten und Preise). Für die Berechnung von durchschnittlichen Größen, wie etwa der mittleren Anzahl an Arbeitskräften, können durchaus stetige Verteilungen den diskreten vorgezogen werden, da zwar die tatsächlich eingesetzte Anzahl an Arbeitskräften natürlich nur ganzzahlige Werte, die mittlere Anzahl jedoch auch Dezimalwerte annehmen kann.

Wird einem oder mehreren Werten eines Parameters eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit zugewiesen, wird die Verteilung entsprechend einen unimodalen oder multimodalen Verlauf[6] aufweisen.

Weitere Überlegungen hinsichtlich der möglichen Form und der Charakteristika der parameterabhängigen Verteilungsfunktionen sind eventuell auch aus anderen Fachbereichen oder aus Literaturangaben ableitbar.

Die Wahl von Verteilungsfunktionen wird auch durch subjektive Einschätzungen sowie die Risikoeinstellung bzw. Risikopräferenz (Risikoneutralität, Risikoaffinität oder Risikoaversion) jener Person oder Personengruppe beeinflusst, die die Simulationen bzw. die Modellbildung durchführt. Der Grad der Risikoneigung kann sich damit auf die Wahl der Schiefe von Verteilungsfunktionen auswirken.

---

4) Für die Wahl der Verteilungsfunktionen gilt dabei als Randbedingung, dass das Bauwerk tatsächlich gebaut und fertiggestellt wird.

5) Vgl. Kummer (2015a), S. 171

6) In der betrachteten Literatur finden sich keine Beispiele für multimodale Inputparameter – siehe auch Tab. 6-3 bis Tab. 6-5.

Risikoneutrale Personen werden eher zu symmetrischen Verteilungsfunktionen tendieren, bei denen die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit des erwarteten Werts (vorausgesetzt es handelt sich um unimodale Verteilungen) gleich groß ist.

Die Vermutung liegt nahe, dass rechtsschiefe Verteilungen (bei denen hohe Werte eine geringere Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen) für Parameter wie Aufwandswerte, Kosten etc. eher von risikoaffinen Personen angesetzt werden. Der erwartete Wert wird eher optimistisch im unteren Bereich der Bandbreite gewählt (siehe Abb. 7-2 – links).[7)]

Bei einer risikoaversen Wahl von Verteilungsfunktionen wird ungünstigen Werten innerhalb einer definierten Bandbreite eher ein höheres Gewicht (bzw. eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit) zugewiesen. Der erwartete Wert wird für Aufwandswerte, Kosten etc. eher pessimistisch im oberen Bereich der Bandbreite angesetzt. Es ergibt sich dadurch eher eine linksschiefe Verteilung (siehe Abb. 7-2 – rechts).[8)]

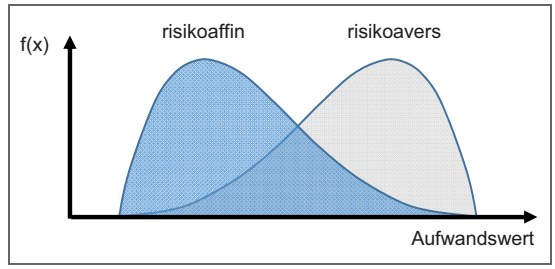


Abb. 7-2 Einfluss der Risikoneigung auf die Schiefe von Verteilungsfunktionen

Abb. 7-3 zeigt mögliche Kriterien und Auswahlmöglichkeiten, nach denen die Form von Verteilungen stufenweise definiert werden kann. Zudem sind in der Abbildung qualitative grafische Beispiele für die jeweiligen Verteilungsformen angeführt. Zunächst gilt es zwischen deterministischen und probabilistischen Inputs zu unterscheiden, je nachdem ob diese mit Unsicherheiten behaftet sind oder nicht. Wird ein deterministischer Input vorausgesetzt, erfolgt die Eingabe durch eine einzelne Zahl und nicht durch Verteilungsfunktionen. Im Zuge von Monte-Carlo-Simulationen können durchaus deterministische und probabilistische Eingabeparameter in einer Simulation miteinander kombiniert werden. Werte, die mit Sicherheit bekannt sind, müssen nicht ‚künstlich' mit Verteilungen belegt werden.

7) Für Leistungswerte etc. werden von risikoaffinen Personen eher linksschiefe Verteilungen angesetzt.

8) Für Leistungswerte etc. werden von risikoaversen Personen eher rechtsschiefe Verteilungen angesetzt.

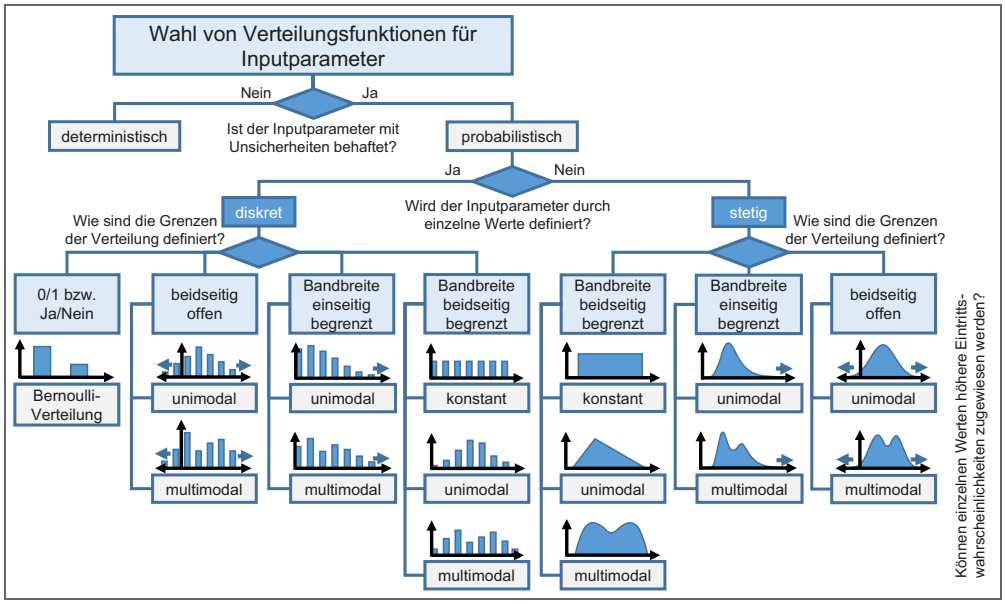


Abb. 7-3 Qualitative Darstellung möglicher Ausprägungen von Verteilungsfunktionen – Entscheidungsstruktur[9)]

Liegt ein unsicherer Parameter vor, muss zunächst unterschieden werden, ob für den probabilistischen Input eine diskrete oder eine stetige Verteilung zu wählen ist. Ist der Parameter durch einzelne Werte abbildbar, werden diskrete Verteilungen zum Einsatz kommen. Sind innerhalb eines Wertebereichs sämtliche Ausprägungen möglich, wird die Verteilung einen stetigen Verlauf aufweisen. Weiters wird die Art der Grenzen (beidseitig offen, einseitig offen oder beidseitig begrenzt) unterschieden. In einem letzten Schritt erfolgt die Auswahl der Merkmalsausprägungen innerhalb der gewählten Bandbreite. Bei beidseitig begrenzten (geschlossenen) Verteilungen ist auch ein konstanter Verlauf innerhalb der angegebenen Bandbreite möglich. Bei allen anderen Verteilungen ist entweder ein uni- oder multimodaler Verlauf zu erwarten. Eine Sonderstellung nimmt die Bernoulli-Verteilung innerhalb der diskreten Verteilungen ein. Sie lässt nur zwei Merkmalsausprägungen (0 und 1) zu und ist damit für ja/nein- bzw. wahr/falsch-Eingaben geeignet (z.B. Eintrittswahrscheinlichkeit von Risiken).

Zusätzlich gilt es bei den beidseitig offenen und den beidseitig geschlossenen (nicht konstanten) Verteilungen noch zwischen symmetrischen und asymmetrischen (schiefen) Verteilungen zu unterscheiden (in Abb. 7-3 nicht dargestellt).

Raaber führt dazu an, dass für Untersuchungen im Bauwesen in jenen Fällen, in denen Grenzen so gut wie immer zu erkennen sind, dreieckige, parabolische oder seltener rechteckige Verteilungen heranzuziehen sind, da im Allgemeinen deutliche Häufungen um einen wahrscheinlichsten Erwartungswert bestehen und die Bandbreite um diesen meist unsymmetrisch sein wird.[10)]

9) Vgl. Kummer (2015a), S. 172

10) Vgl. Raaber (2003), S. 167ff.

7.1.2 Datenerhebung aus der Praxis

Die zweite Entscheidungsgrundlage für eine bestimmte Verteilungsfunktion stellt die direkte Erhebung von Daten aus der Praxis dar. Hier wird zusätzlich in historische Daten (ex post – nach der Ausführung z.B. aus Nachkalkulationen oder aus Bautagesberichten) und Daten, die während der Bauausführung (inter actio – z.B. aus direkten Baustellenbeobachtungen) erhoben werden, unterschieden.

Bei der Datenerfassung, die während der Bauausführung laufend durchgeführt wird, ist auf die Abgrenzung (räumlich, zeitlich, inhaltlich etc.) und die Qualität der erhobenen Daten besonderer Wert zu legen. Zudem muss festgestellt werden, ob die erhobenen Daten vor der Analyse einer Bereinigung bedürfen oder ob diese direkt übernommen werden können. An dieser Stelle sei besonders auf die Problematik der Datenerfassung und Informationsgenerierung (siehe Kapitel 3) hingewiesen. Erst wenn Daten in einen Kontext gesetzt bzw. mit einem solchen verknüpft werden, können daraus Informationen generiert werden, welche die Daten für weitere Analysen und Berechnungen nutzbar machen.

Für die Qualität erhobener Daten ist auch die Anzahl der Datenpunkte (bzw. Anzahl der Beobachtungen) entscheidend. Je geringer die Stichprobe und je größer die Standardabweichung der erhobenen Daten, desto ungenauer ist die darauf basierende Schätzung für die Parameter der Grundgesamtheit.

AbouRizk/Halpin geben an, dass die Kategorisierung von Verteilungen mit weniger als 20 Beobachtungen[11)] nicht möglich ist.[12)]

Hierbei ist anzumerken, dass 20 Ergebnisse aus Expertenbefragungen als höherwertigere Informationsquelle anzusehen sind, als 20 Datenpunkte aus Beobachtungen, die z.B. aus unterschiedlichen Projekten aufgrund von Aufzeichnungen ermittelt wurden. Dies gilt besonders dann, wenn auf die Auswahl der Experten, die Erstellung und Formulierung eines standardisierten Fragebogens und die Erörterung der Antworten mit den Befragten (ähnlich der Delphi-Methode) besonderes Augenmerk gelegt wird (siehe dazu Abschnitt 7.1.2.3).

Die hier beschriebene Präferenz für die Expertenangaben im Vergleich zu einzelnen Messungen aus der Baupraxis begründet sich auch dadurch, dass jede Expertenangabe schon Erfahrungswerte aus mehreren Projekten aus der Vergangenheit vereint sowie die Befragten zudem in der Lage sind, in ihrem Anwortverhalten objektive Daten mit (bekannten) komplexen Kontextbedingungen der Baupraxis zu verknüpfen, wodurch sich ein Mehrwert ergibt.

7.1.2.1 Verteilungen aus historischen Daten (ex post)

Bereits *Dinort* erkannte das Potenzial und den Nutzen historischer Daten für die Ermittlung von Verteilungsfunktionen:

„Es muß Ziel von betrieblichen Untersuchungen sein, die Verteilung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der verschieden möglichen Werte zu gewinnen.“[13)]

Liegen historische Daten aus vergangenen Projekten vor, kann im Rahmen der schließenden Statistik (Inferenzstatistik) mit Signifikanztests auf theoretische Verteilungen der

11) Der Begriff ‚Beobachtungen‘ wird dabei im Sinne von ‘Zeitmessungen einzelner baupraktischer Tätigkeiten‘ verwendet.

12) Vgl. AbouRizk/Halpin (1992), S. 538

13) Dinort (1977), S. 16

Grundgesamtheit geschlossen werden. Die Daten aus den vergangenen Projekten stellen dabei die Stichprobe dar, auf deren Basis verallgemeinernde Aussagen getroffen werden. Dabei ist zu untersuchen, ob die vorhandene Datenbasis inhaltlich überhaupt für die Bildung von Verteilungsfunktionen genutzt werden kann. Außerdem ist zu verifizieren, ob die vorliegenden Kontextbedingungen für die Erhebung der historischen Daten einen Vergleich mit einem aktuellen Projekt überhaupt zulassen und somit die Anwendung der ermittelten Verteilung legitimieren.

Zu beachten ist, dass es sich bei den Daten, die aus der Praxis erhoben werden, immer nur um eine Stichprobe aus der Grundgesamtheit handelt. In weiterer Folge muss bedacht werden, ob die erhobene Stichprobe zufällig ist und ob somit überhaupt auf die Grundgesamtheit (hier: Projekte aus der Baupraxis) geschlossen werden kann.

Die Methoden der schließenden Statistik dürfen streng genommen nur für Zufallsstichproben angewandt werden. Mögliche Formen der Stichprobenerhebung sind:[14)]

- zufällige Auswahl (Wahrscheinlichkeitsauswahl)
- bewusste Auswahl (z.B. Quotenstichprobe)
- willkürliche Auswahl (z.B. nach dem Schneeballprinzip[15)])

Auch wenn die formalen Anforderungen an eine Zufallsstichprobe nicht erfüllt werden können (dies wäre aufgrund der vorhandenen Datenlage in der Baupraxis kaum zu realisieren), kann doch aus den gewonnenen Daten zumindest eine Verteilungsform ermittelt und für weitere Überlegungen herangezogen werden. Die unreflektierte Verwendung der damit erhobenen Verteilungen ist als kritisch zu erachten, da sich die historischen Daten auf Projekte und Umstände beziehen, die mit einem aktuellen Untersuchungsgegenstand (z.B. aktuelles Bauprojekt) meist nicht unmittelbar verglichen werden können. In einem derartigen Fall die historischen Daten direkt und unreflektiert anzusetzen, kann zu falschen Ergebnissen und Interpretationen führen. Werden die Formparameter der ermittelten Verteilungsfunktionen allerdings fachkundig an die gegebenen Umstände angepasst, ist eine deutliche Ergebnisverbesserung gegenüber einer rein subjektiven Wahl von Verteilungsfunktionen auf Basis von theoretischen Überlegungen und Charakteristika zu erwarten.

Anhand von Datenfittings wird jene theoretische Verteilung ermittelt, die eine Datenbasis (z.B. aus historischen Daten) bestmöglich (also mit dem geringsten Fehler) abbildet.

Vor einem Fitting sind die historischen Daten auf ihre Reinheit, Plausibilität und Verwendbarkeit hin zu untersuchen. Sind die Randbedingungen und Umstände, unter denen die Daten erhoben wurden, nicht mehr bekannt, ist von einer unreflektierten Heranziehung dieser Daten für ein Fitting abzuraten.

Die direkte Verwendung von Nachkalkulationswerten, beispielsweise für die Durchführung einer Angebotskalkulation, ist nur bedingt möglich, da es im Zuge der Bauausführung zu Leistungsänderungen, Behinderungen, Produktivitätsverlusten etc. gekommen sein kann. Die historischen Daten müssten vor ihrer Verwendung von derartigen Einflüssen bereinigt und entsprechend den jeweiligen Leistungspositionen (bereinigt um Nachtragsangebote und zusätzliche Leistungen) zugeordnet werden. Diese Datenaufbereitung ist mit einem erhöhten Aufwand verbunden, muss aber jedenfalls erfolgen, da ansonsten mit einer Verfälschung der Berechnungsergebnisse zu rechnen ist.

14) Vgl. Diekmann (2007), S. 378

15) Verbreitungsart einer Nachricht o. Ä., bei der jede Person die erhaltene Information an mehrere Personen weiterverbreitet.

Song/AbouRizk geben an, dass historische Daten fehlerfrei (‚accurate'), widerspruchsfrei (‚consistent') und umfassend (‚comprehensive') sein müssen, um einen Nutzen aus diesen Daten in Kombination mit einem Berechnungsmodell zu ziehen. Es werden folgende Probleme in Zusammenhang mit historischen Daten angegeben:[16)]

- Viele Unternehmen haben keinen formalen Prozess für die Erhebung des Projektfortschritts und -aufwands in ihrer Organisation integriert. Historische Daten liegen also oft einfach nicht vor.
- Die Datenerhebungen variieren über unterschiedliche Projekte, d.h. es liegt kein einheitlicher Datenpool vor.
- Wenn Daten in papierbasierten Systemen gesammelt werden, ist die zeitaufwändige manuelle Datengewinnung mit einer hohen Ressourcenintensität verbunden.
- In Unternehmen werden oft nur globale Daten systematisch erhoben. Für Produktivitätsmessungen und Vorhersagen müssen die Daten aber auch auf einer detaillierten Ebene erfasst und analysiert werden.

Hutzelmeyer zeigt ebenfalls die Gefahr ungeeigneter Vergleichsdaten auf:
„Bei Übertragung von Kostendaten aus laufenden oder durchgeführten Projekten auf ein neues Projekt muß darauf geachtet werden, daß Vergleichbarkeit auf folgenden Gebieten vorhanden ist oder hergestellt werden kann:

- technische Ähnlichkeiten oder Konstruktion
- gleichwertige Qualität
- regionale Baumarktlage

Die kritiklose Übernahme von Mittelwerten oder Richtwerten führt eventuell zu völlig falschen Ergebnissen."[17)]

Eine verbesserte Datenbasis durch BIM-Modelle[18)] entsteht nur dann, wenn die Daten und Informationen zentral erhoben werden. Besonders wichtig ist die sachliche und leistungsbezogene Abgrenzung der erhobenen Daten. Sind die Voraussetzungen für ein derart systematisches Datenerhebungs- und Informationssystem nicht gegeben, haben BIM-Modelle keinen Mehrwert für 4-D und 5-D Betrachtungen.

7.1.2.2 Datenerhebung während der Ausführung (inter actio)

Die Datenerhebung (z.B. von Leistungs- und/oder Aufwandswerten) während der Bauausführung kann als solide Basis für die Prognostizierung von Fertigstellungsterminen und zu erwartenden Einzelkosten sowie für Soll-Ist-Vergleiche und für Trendanalysen dienen.

Eine Datenerhebung während der Bauausführung dient der Darstellung von Leistungsveränderungen oder unerwarteten/geänderten Umständen der Leistungserbringung bzw. in weiterer Folge dem Vergleich mit den getroffenen Kalkulationsannahmen. Für die Argumentation von Nachtragsforderungen (AN) und für die Nachtragsabwehr (AG) besteht die Möglichkeit, dass die erhobenen Daten der Angebotskalkulation gegenübergestellt und anhand von probabilistischen Berechnungen bzgl. der Chancen und Risiken beurteilt werden.

Bei der Datenerhebung sollte systematisch vorgegangen und eine ausreichende Datenmenge erhoben werden. Doch erst wenn Daten inkl. der damit verbundenen Bedeutung

16) Vgl. Song/AbouRizk (2008), S. 788

17) Hutzelmeyer (1984), S. 70

18) BIM = Building Information Modeling

(dem Kontext) in ein intelligentes Wissensmanagementsystem übergeführt werden, ist ein Anwendungsbezug hergestellt und führt zu einem erweiterten Know-how. Daten alleine sind ohne den entsprechenden Kontext nutzlos. Erst mit Hilfe der Bedeutung entstehen Informationen, die entsprechend durch Vernetzung Wissen generieren können (siehe Abb. 3-2 – Wissenstreppe nach *North*).

Auch bei der Erhebung während der Bauausführung können die Aufzeichnungen von äußeren und inneren Kontextbedingungen beeinflusst sein. Beispielhaft seien hier der Einarbeitungseffekt, Störungen im Bauablauf und ungünstige Witterungsbedingungen genannt. Werden etwa Aufwandswerte im Sommer erhoben und es soll damit eine Prognose für Arbeiten in den Wintermonaten erstellt werden, ist eine Abgrenzung und Bereinigung der erhobenen Daten durchzuführen.[19)]

Bei Untersuchungen an der TU Graz hat sich gezeigt, dass die REFA-Systematik eine effektive, nachvollziehbare und relativ einfach durchzuführende Methode darstellt, um Daten während der Bauausführung zu erheben. Es wurden dabei Multimomentaufnahmen durchgeführt, bei denen einzelne Tätigkeiten einer Arbeitsgruppe durch ein Zählverfahren erhoben wurden. Es können Haupt- und Nebentätigkeiten sowie zusätzliche Tätigkeiten und ablaufbedingte, störungsbedingte, erholungsbedingte sowie persönlich bedingte Unterbrechungen unterschieden werden. Eine Abgrenzung der Tätigkeiten ist damit möglich. Allerdings sind diese Aufzeichnungen, wenn sie systematisch durchgeführt werden, sehr zeit- und arbeitsintensiv.

Durch die Erhebung der Mannschaftsstärke, der Arbeitszeit und der geleisteten Arbeit (z.B. Menge an verlegter Bewehrung) können Aufwandswerte für die tatsächliche Ausführung direkt aus der Praxis ermittelt werden.

Auch bei der Datenerhebung während der Ausführung kann nur in Ausnahmefällen die durch Datenfitting erhobene theoretische Verteilung direkt für weitere Berechnungen herangezogen werden. Die Anwendung der parameterspezifischen Verteilungsfunktion, modifiziert um individuell definierte Formparameter (z.B. Minimum und erwarteter Wert) und theoretische Überlegungen, führt aber in jedem Fall zu einer Ergebnisverbesserung.

Ein Beispiel für die Integration von erhobenen Ausführungsdaten in ein Simulationsmodell findet sich z.B. bei *Xie/AbouRizk/Fernando*.[20)] Hier werden Vortriebsleistungen einer Tunnelbohrmaschine erhoben und ein Datenfitting durchgeführt, um mit den erhobenen Verteilungsfunktionen weitere Berechnungen durchführen und Prognosen abgeben zu können. Je mehr Daten vorhanden sind, desto stabiler werden die Datenfittings.

7.1.2.3 Expertenbefragungen (ex ante)

Expertenbefragungen können grundsätzlich schriftlich und/oder mündlich durchgeführt werden. Bei den mündlichen Befragungen wird in persönliche und telefonische Befragungen unterschieden.

In der empirischen Sozialforschung wird oft zwischen einem qualitativen und einem quantitativen Ansatz unterschieden. Erstere Vorgehensweise zeichnet sich durch Offenheit in der Befragung aus, während zweiterer Forschungsansatz einen hohen Standardisierungsgrad aufweist (z.B. Erhebung mittels Fragebogen).

19) Vgl. Kummer (2015a), S. 175

20) Vgl. Xie/AbouRizk/Fernando (2011), S. 3457f.

Ist nur mit einer geringen Anzahl an Teilnehmern zu rechnen und wird Spezialwissen abgefragt, ist es sinnvoll eine schriftliche Befragung (z.B. Ausfüllen eines standardisierten Fragebogens) direkt im Beisein der Forscher durchzuführen. Ist dies nicht möglich, bietet sich eine persönliche oder telefonische Erörterung der Antworten im Anschluss an die schriftliche Befragung an. Dies bietet den Vorteil, dass Verständnisprobleme und Unklarheiten direkt ausgeräumt werden können, womit sich die Validität (Güte der Messung) erhöht. Den Befragten wird damit auch die Möglichkeit geboten, ihre Antworten zu revidieren und richtigzustellen (ähnlich der Delphi-Methode) oder anfangs nicht ausgefüllte Fragen im Zuge der mündlichen Erörterung doch noch zu beantworten.

Aufgrund begrenzter Ressourcen, der Abhängigkeit von der Bereitschaft der Befragten und aus forschungspragmatischen Gründen kann zumeist nur eine Auswahl aller Experten auf einem Fachgebiet befragt werden. Es werden daher Stichproben gezogen, um darauf aufbauend verallgemeinernde Schlüsse ziehen zu können.

Bevor entsprechende Personen kontaktiert werden können, muss aber zunächst geklärt werden, was überhaupt unter einem Experten in einem bestimmten Fachgebiet verstanden wird. Es handelt sich dabei um Personen, die in einem klar abgrenzbaren Feld über spezielle Kenntnisse verfügen und in der Befragung als Quelle für dieses Wissen fungieren.[21)]

Experten verfügen demnach auf einem Fachgebiet über Kenntnisse und Fähigkeiten, die weit über dem Durchschnitt liegen. Expertenwissen besteht in der Regel aus sehr großen Informationsmengen in Verbindung mit Vereinfachungen, wenig bekannten Fakten, Faustregeln und Heuristiken, die eine effiziente Problemlösung (in diesem Gebiet) ermöglichen.[22)]

Die Entscheidungskriterien für die Auswahl der Experten stützen sich dabei auf theoretische Vorüberlegungen und damit auf Grundsatzfragen wie:
- Wer verfügt über die relevanten Informationen?
- Wer ist am ehesten in der Lage präzise Informationen zu geben?
- Wer ist am ehesten bereit Informationen zu geben?
- Wer von den Informanten ist verfügbar?[23)]

Die Berufserfahrung der Experten in einem abgegrenzten Fachbereich ist als weiteres wesentliches Kriterium für die Beurteilung der Expertenangaben als maßgebend zu beachten.

Für die Erhebung von quantitativen Daten ist ein standardisierter Fragebogen ein zweckmäßiges Instrument. Aus quantitativen Expertenangaben können mittels Datenfitting theoretische Verteilungsfunktionen (z.B. für Mengenabweichungen oder Aufwandswerte – siehe Abschnitt 7.2) generiert werden. Diese werden nur in Ausnahmefällen allen theoretischen Überlegungen und Charakteristika (siehe Abschnitt 7.1.1) eines Berechnungsparameters entsprechen. Hinsichtlich der Form der Verteilungen sind daher die Ergebnisse der Datenfittings in Kombination mit theoretischen Überlegungen und Charakteristika zu betrachten.

21) Vgl. Gläser/Laudel (2010), S. 117ff.

22) Vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55229/expertenwissen-v9.html. Datum des Zugriffs: 20.10.2016

23) Vgl. Gorden (1969), S. 115ff.

7.1.3 Kombination der Erhebungsmethoden

Die gezeigten drei Erhebungsmethoden haben, jede für sich gesehen, entsprechende Vor- und Nachteile, weshalb die Kombination der Erhebungsmethoden empfohlen wird.

Auch *Yang* gibt an, dass eine Kombination aus historischen Daten und subjektiven Einschätzungen (im Idealfall auf Basis von Expertenwissen) in der Praxis erforderlich sein wird, um Verteilungsfunktionen für unterschiedliche Kostenelemente abbilden zu können. Es werden nicht für alle Parameter historische Daten vorliegen bzw. könnten die Grenzen (Bandbreiten) für ein konkretes Projekt anderes eingeschätzt werden, als dies aus den historischen Daten hervorgeht.[24)]

Folgende Kombinationen sind denkbar:
- Theoretische Überlegungen und Charakteristika kombiniert mit Daten aus der Praxis
- Theoretische Überlegungen und Charakteristika kombiniert mit Daten aus Expertenbefragungen
- Theoretische Überlegungen und Charakteristika kombiniert mit Daten aus der Praxis und aus Expertenbefragungen

Eine reine Kombination aus den Daten der Praxis und den Expertenbefragungen erscheint nicht ideal, da die theoretischen Überlegungen und Charakteristika, die sich aus der Natur der Parameter ergeben, dann nicht in die Wahl der Verteilungsfunktionen einfließen. Gerade durch derartige theoretische Überlegungen können aber unlogische und unsinnige Verteilungsformen (z.B. in Hinblick auf die Grenzen der Verteilungen) ausgeschlossen oder modifiziert werden.

Bei Datenfittings kommt es nicht selten vor, dass die erhobenen Werte bestmöglich durch offene Verteilungen (z.B. LogLogistic- oder Normalverteilungen) repräsentiert werden. In der Praxis bewegen sich die Werte aber innerhalb einer baupraktischen (geschlossenen) Bandbreite. Sehr hohe Werte (gegen $+\infty$) können oft nach obenhin eingegrenzt werden und negative Werte (bis $-\infty$) können meist ausgeschlossen werden.

Werden Daten aus der Praxis (ex post oder inter actio) mit Daten aus Expertenbefragungen (ex ante) kombiniert, ist die Frage der Abgrenzung und Bereinigung wesentlich. Können die Daten zu einem Datenpool zusammengefasst werden oder ist eine gesonderte Datenaufbereitung erforderlich? Wenn die Daten nicht direkt zusammengefasst werden können, ist es grundsätzlich möglich zwei Fittings durchzuführen und die Verteilungsfunktionen auf Basis von Verhältniszahlen (Prozentwerte) oder nur aufgrund der Formen der Verteilungen miteinander zu vergleichen. Darauf basierend, mit dem ergänzenden Miteinbezug von theoretischen Überlegungen sowie anhand der Charakteristika kann dann die Wahl der Verteilungsfunktion getroffen werden.

Wird die Form der Verteilung übernommen, die lage- und bandbreitenbestimmenden Parameter aber fachkundig an die gegebenen Umstände angepasst und erfolgt zusätzlich noch eine Berücksichtigung von theoretischen Überlegungen und Charakteristika, ist in jedem Fall mit einer deutlichen Ergebnisverbesserung gegenüber einer rein subjektiven Wahl der Verteilungsfunktionen für die Inputparameter zu rechnen. Eine chancen-risikobasierte Betrachtung baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Kenngrößen und Fragestellungen wird damit durch den Einsatz von Monte-Carlo-Simulationen möglich.

[24)] Vgl. Yang (2005), S. 276

7.2 Datenfitting

Die Frage, welche Verteilungsfunktionen für einzelne Berechnungsparameter angesetzt werden sollen, ist wesentlich für die Qualität des Outputs einer Monte-Carlo-Simulation und kann nicht pauschal beantwortet werden. Neben Überlegungen hinsichtlich der ‚Natur' und möglicher Ausprägungen einzelner Parameter, werden auch die Einbeziehung historischer Daten sowie der Einsatz von Expertenmeinungen in der Literatur diskutiert.

Die Überführung solcher Datensätze (z.B. aus ex ante, ex post oder inter actio Erhebungen) in theoretisch beschreibbare Verteilungsfunktionen wird als ‚Datenfitting' bezeichnet. Dabei werden die vorhandenen Daten zunächst grafisch in Form von Histogrammen analysiert und in weiterer Folge mit mathematisch-statistischen Verfahren untersucht, welche theoretische Verteilungsfunktion die vorhandenen Daten bestmöglich (mit der geringsten Abweichung) abbildet. Da die Verteilungen an die jeweiligen projektspezifischen Umstände angepasst werden müssen, interessieren weniger die absoluten Werte, sondern die Form der Verteilungen für die unsicheren Berechnungsparameter.

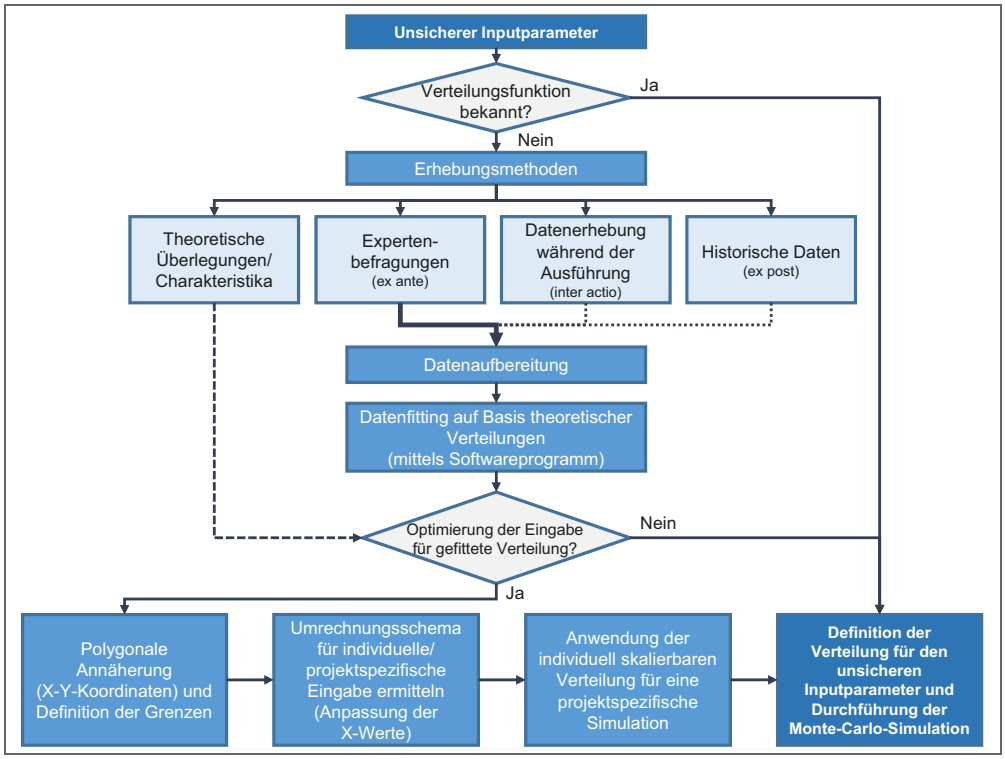


Abb. 7-4 Ablaufdiagramm – Datenfitting

In Abb. 7-4 ist der Ablauf für die Erhebung von Verteilungsfunktionen mit Hilfe von Datenfittings für einen unsicheren Inputparameter, für den die Form der Verteilungsfunktion nicht bekannt ist, dargestellt.

Bei der Wahl der Datenbasis wird als Erhebungsmethode eine Expertenbefragung empfohlen, da bei Erhebungen inter actio und ex post mit Abgrenzungs- und Zuordnungsproblemen im Zuge der Datenaufbereitung zu rechnen ist.

Nach der Datenaufbereitung kann das eigentliche Datenfitting (welches in Abschnitt 7.2.1.2 anhand eines Beispiels näher beschrieben wird) durchgeführt werden. Die bereinigten Daten werden im Zuge dieses Fittings mit theoretischen (mathematisch beschreibbaren) Verteilungen verglichen und auf deren Übereinstimmung überprüft. In weiterer Folge kann diese theoretische Verteilung entweder direkt für den unsicheren Inputparameter herangezogen werden oder es erfolgt eine Optimierung der Eingabe für die gefittete Verteilung. Die Optimierung hat den Vorteil, dass die Grenzen der Verteilung auf Basis von theoretischen Überlegungen und Charakteristika angepasst werden können und die Eingabe (z.B. in Form von minimalen und erwarteten Werten) für die Anwender deutlich vereinfacht werden kann (siehe Abschnitt 7.2.1.3). Zusätzlich kann durch die Optimierung ein Umrechnungsschema angegeben werden, mit Hilfe dessen auch Skalierungen und Anpassungen der ermittelten Verteilungsfunktion an individuelle/projektspezifische Umstände erfolgen können.

Ein Fitting ist dabei von einer reinen Regressionsanalyse zu unterscheiden. Regressionen und Fittings unterscheiden sich in den Problemstellungen und den auszuwertenden Daten.

Bei einer Regression werden mögliche Korrelationen zwischen Datenpunkten mit einem angenommenen inneren Zusammenhang (z.B. linearer) untersucht. Dabei werden die Datenpunkte als konstant und fest angenommen (Messfehler werden zumeist nicht berücksichtigt bzw. wird in der Regression davon ausgegangen, dass deren Einfluss vernachlässigbar ist). Mit einer angenommenen kontinuierlichen Funktion (z.B. Geradengleichung für einen linearen Zusammenhang) wird versucht, die vorliegenden Daten so gut wie möglich zu erfassen (z.B. mit der Methode der kleinsten Quadrate). Regressionsanalysen können auch für Trendanalysen im Zuge von Soll-Ist-Vergleichen herangezogen werden (siehe Abschnitt 10.4.10).

Unter einem Fit wird dahingegen eine Funktionsanpassung unter Berücksichtigung von Messfehlern oder Unsicherheiten der Messpunkte verstanden. Die resultierenden Funktionsparameter der angepassten Funktion sind dann wie die Ausgangsdaten mit Unsicherheiten behaftet. Die bekannteste Methode für Datenfittings ist die Methode der kleinsten Quadrate. Das Ergebnis eines Fits ist immer eine Kurvenschar, in der der ‚wahre' funktionale Zusammenhang mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit liegt.

Ziel des Fittings ist es, numerisch die Parameter (Verschiebungs- und Formparameter) einer Verteilungsfunktion zu bestimmen, sodass die Verteilung möglichst genau die erhobenen Rohdaten abdeckt.

7.2.1 Aufwandswerte

Zur Herleitung der Verteilungsfunktion für Aufwandswerte bei Schalarbeiten wurde an der TU Graz (Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft) eine Expertenbefragung von *Hofstadler* durchgeführt. Zu diesem Zweck erfolgte eine Erhebung von 19 Expertenangaben auf Basis eines standardisierten Fragebogens (etwaige Unklarheiten konnten mit dem Forscher direkt erörtert werden), u.a. zu Aufwandswerten für Deckenschalungsarbeiten. Nach einer Ausfertigung von Informationen über Abmessungen und Beschaffenheit der Bauteile (vertikale Tragglieder: Stützen; horizontale Tragglieder: Decken) an die Experten, wurden diese gebeten, quantitative Einschätzungen zu den Aufwandswerten für sieben verschiedene Deckengrundrisse (getrennt in Ein- und Ausschalen) abzugeben.

Ziel der Umfrage war es, aus den Nennungen der Befragten – mit der Anwendung von Datenfittings – theoretische Verteilungsfunktionen abzuleiten. Darauf basierend lassen sich anwendungspraktische Empfehlungen für den Einsatz der ermittelten Verteilungsfunktionen abgeben.

Um die Ergebnisse für die verschiedenen Deckengrundrisse in eine allgemeine Form zu bringen, wurden aus den Ergebnissen der Expertenumfrage Grundrissklassen abgeleitet. Die sieben verschiedenen Grundrisse wurden nach Kompliziertheit geordnet und daraufhin in drei verschiedene Klassen eingeteilt (siehe Abb. 7-5). Dadurch werden die daraus gewonnenen Verteilungsfunktionen nicht präziser, jedoch robuster gegenüber Schwankungen und sich ergebenden Bandbreiten aus der Expertenbefragung.

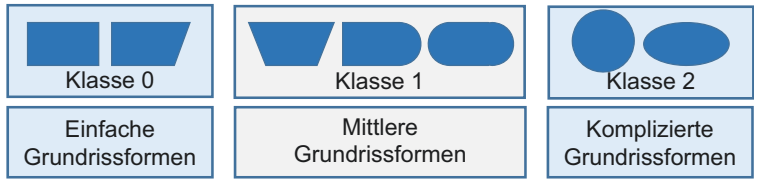


Abb. 7-5 Einteilung in Grundrissklassen[25)]

Ein Datensatz der Expertenbefragung besteht aus den Schätzungen des Aufwandswerts verschiedener Experten zu einem gewissen Grundriss. Eine indirekte Nutzung der Daten wird möglich, wenn auf Basis der in den vorigen Abschnitten beschriebenen Kriterien und Überlegungen eine Verteilungsfunktion gefittet wird.

7.2.1.1 Datenaufbereitung

Die Einteilung in die Klassen erfolgt durch Zusammenfassung der Daten. Aufgrund der unterschiedlichen Kompliziertheit sind die Datensätze der Expertenbefragung verschoben. Diese Verschiebung muss bei der Zusammenführung korrigiert werden.

Insgesamt werden drei Klassen K_k (k = 0, 1, 2) definiert:
- einfach K_0
- mittel K_1
- kompliziert K_2

Diese Klassen werden aus den Datensätzen der Grundrissformen wie folgt ermittelt:
- K_0 setzt sich aus den Grundrissformen G_1 und G_2 zusammen
- K_1 setzt sich aus den Grundrissformen G_3, G_4 und G_5 zusammen
- K_2 setzt sich aus den Grundrissformen G_6 und G_7 zusammen

Jede Grundrissform i wird durch 19 Expertenwerte j (E_{ij}) repräsentiert.

Die Zusammenfassung der Expertenbefragungsdatensätze zu den Klassen erfolgt nach folgendem Schema:

1.) Im ersten Schritt wird der durchschnittliche minimale Wert aus den Expertenwerten der zugehörigen Grundrissformen der Klasse K_k (k = 0, 1, 2) berechnet.

$$\min K_k = \frac{\sum_{i \in K} \min(G_i)}{\text{Anzahl der Grundrissformen der Klasse}} \tag{7-1}$$

25) Vgl. Hofstadler (2014b), S. 193

2.) Berechnung der Spannweite der Expertenwerte innerhalb der einzelnen Grundrissformen der jeweiligen Klasse ($i \in K$).

$$s_{G_i} = \max(G_i) - \min(G_i) \tag{7-2}$$

3.) Berechnung der durchschnittlichen Spannweite der Klasse K_k.

$$s_k = \frac{\sum_{i \in K} s_{G_i}}{\text{Anzahl der Grundrissformen der Klasse}} \tag{7-3}$$

4.) Skalierung der Expertenwerte E_{ij} für den j-ten Befragten der i-ten Grundrissform innerhalb der k-ten Klasse.

$$E_{ij,neu} = \frac{E_{ij} - \min(G_i)}{s_{G_i}} \cdot s_k + \min K_k \tag{7-4}$$

Die in Klassen zusammengefassten Expertenwerte $E_{ij,neu}$ haben jetzt eine durchschnittliche Spannweite.

Ein Beispiel für die mittlere Klasse K_1 soll die Vorgehensweise verdeutlichen:

Für die Klasse K_1 werden die Datensätze der Grundrissformen G_3, G_4 und G_5 herangezogen (Lagerung der Decken auf Stützen mit rundem Querschnitt). Diese Datensätze sind in nachstehender Tab. 7-1 aufgelistet:

G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
Aufwandswert [Std/m³] Ein- und Ausschalen	0,55	0,65	0,58	0,80	0,70	0,65	0,60	0,65	0,60	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,70	0,60	1,00	1,10	0,45
G4	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
Aufwandswert [Std/m³] Ein- und Ausschalen	0,65	0,70	0,66	0,75	0,70	0,75	0,70	0,70	0,60	0,60	0,62	0,60	0,60	0,65	0,70	0,65	1,00	1,10	0,55
G5	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
Aufwandswert [Std/m³] Ein- und Ausschalen	0,65	0,70	0,66	0,90	0,80	0,85	0,80	0,80	0,65	0,70	0,67	0,70	0,70	0,70	0,75	0,75	1,15	1,30	0,55

Tab. 7-1 Datensätze aus der Expertenbefragung für die Grundrisse G_3, G_4 und G_5[26)]

Die minimalen Expertenwerte aus jeder Grundrissform $\min(G_i)$ werden herangezogen, aufsummiert und durch die Anzahl der eingerechneten Grundrissformen für die Klasse K_1 dividiert (in diesem Fall 3).

$$\min K_1 = \frac{\min(G_3) + \min(G_4) + \min(G_5)}{3} \tag{7-5}$$

$$\min K_1 = \frac{0{,}45 + 0{,}55 + 0{,}55}{3}$$

$$\min K_1 = 0{,}517 \frac{\text{Std}}{\text{m}^2}$$

26) Hofstadler (2014b), S. 193

Als Nächstes werden die Spannweiten der Expertenwerte je Grundrissform errechnet:

$$s_{G_3} = \max(G_3) - \min(G_3) \tag{7-6}$$

$$s_{G_3} = 1{,}10 - 0{,}45$$

$$s_{G_3} = 0{,}65 \ \frac{\text{Std}}{\text{m}^2}$$

$$s_{G_4} = \max(G_4) - \min(G_4) \tag{7-7}$$

$$s_{G_4} = 1{,}10 - 0{,}55$$

$$s_{G_4} = 0{,}55 \ \frac{\text{Std}}{\text{m}^2}$$

$$s_{G_5} = \max(G_5) - \min(G_5) \tag{7-8}$$

$$s_{G_5} = 1{,}30 - 0{,}55$$

$$s_{G_5} = 0{,}75 \ \frac{\text{Std}}{\text{m}^2}$$

In Schritt drei wird die durchschnittliche Spannweite der Klasse K_1 wie folgt berechnet:

$$s_1 = \frac{s_{G_3} + s_{G_4} + s_{G_5}}{3} \tag{7-9}$$

$$s_1 = \frac{0{,}65 + 0{,}55 + 0{,}75}{3}$$

$$s_1 = 0{,}650 \ \frac{\text{Std}}{\text{m}^2}$$

Zuletzt werden alle Expertenwerte E_{ij} der Klasse K_1 skaliert, um einen neuen Datensatz zu erhalten, mit dem das Fitting in weiterer Folge durchgeführt werden kann. Stellvertretend wird hier die Skalierung eines Werts gezeigt:

$$E_{ij,neu} = \frac{E_{ij} - \min(G_i)}{s_{G_i}} \cdot s_k + \min K_k \tag{7-10}$$

$$E_{3,1,neu} = \frac{E_{3,1} - \min(G_3)}{s_{G_3}} \cdot s_1 + \min K_1$$

$$E_{3,1,neu} = \frac{0{,}55 - 0{,}45}{0{,}65} \cdot 0{,}650 + 0{,}517$$

$$E_{3,1,neu} = 0{,}62 \ \frac{\text{Std}}{\text{m}^2}$$

Die Tab. 7-2 zeigt den gesamten skalierten Datensatz für die Klasse K_1.

G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
Aufwandswert [Std/m³] Ein- und Ausschalen	0,62	0,72	0,65	0,87	0,77	0,72	0,67	0,72	0,67	0,57	0,62	0,62	0,62	0,67	0,77	0,67	1,07	1,17	0,52
G4	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
Aufwandswert [Std/m³] Ein- und Ausschalen	0,63	0,69	0,65	0,75	0,69	0,75	0,69	0,69	0,58	0,58	0,60	0,58	0,58	0,64	0,69	0,63	1,05	1,17	0,52
G5	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
Aufwandswert [Std/m³] Ein- und Ausschalen	0,60	0,65	0,61	0,82	0,73	0,78	0,73	0,73	0,60	0,65	0,62	0,65	0,65	0,65	0,69	0,69	1,04	1,17	0,52

Tab. 7-2 Skalierte Datensätze für die Grundrisse G_3, G_4 und G_5[27)]

Mit diesen skalierten Datensätzen kann in weiterer Folge das Fitting mit dem Softwareprogramm @Risk durchgeführt werden.

7.2.1.2 Datenfitting mittels Softwareprogramm

Sind die Daten entsprechend bereinigt, auf Plausibilität geprüft und für die weitere Bearbeitung aufbereitet wird in weiterer Folge mit dem Softwareprogramm @Risk nach der geeignetsten Verteilungsfunktion gesucht.

Die verwendete Software @Risk nutzt dabei die Levenberg-Marquardt-Methode, welche mit folgendem vereinfacht dargestellten Algorithmus arbeitet:

1. Zuerst werden Anfangswerte für die Parameter der anzupassenden Funktion gewählt.
2. Mit dem Chi-Quadrat-Test wird der Fehler ermittelt, um den die Funktion von den Rohdaten abweicht.
3. Die Parameter der Funktion werden um den Faktor λ verändert.
4. Es wird wieder der Fehler wie in Punkt 2 ermittelt.
5. Wenn die in Schritt 3 veränderten Parameter einen geringeren Fehler produzieren, werden diese Parameter übernommen, und der Faktor λ verringert.
6. Wenn der Fehler nach Schritt 3 größer wurde, wird der Faktor λ vergrößert.
7. An dieser Stelle wird wieder bei Schritt 3 weitergemacht.

Der Algorithmus endet, wenn sich der Fehler nur noch um einen sehr kleinen Stellenwert verändert.

Nach diesem Vorgang gibt es natürlich noch einen Restfehler. Dieser kann mit verschiedenen statistischen Tests quantifiziert werden. Beispiele dazu sind etwa der Chi-Quadrat-, Kolmogorow-Smirnow- oder der Anderson-Darling-Test.

Für die statistischen Tests wurden alle potenziellen, in @Risk zur Verfügung stehenden, Verteilungsfunktionen herangezogen. Jene Verteilung, die den geringsten Fehler aufweist, bildet die vorhandene Datenbasis bestmöglich durch eine theoretische Verteilung ab.

Für die Auswertung von Expertenbefragungen wird der Fehler mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test ermittelt, da sich dieser Test am besten eignet, wenn nur eine kleine Anzahl an Daten vorhanden ist.

Der Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest, KS-Test oder KSA-Test (nach *Andrei Nikolajewitsch Kolmogorow* und *Nikolaj Wassiljewitsch Smirnow*) ist ein statistischer Test auf Übereinstimmung zweier Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Das kann ein Vergleich der Verteilungen zweier Stichproben sein (zweiseitiger KS-Test), aber auch der Test

27) Hofstadler (2014b), S. 194

darauf, ob eine Stichprobe einer zuvor angenommenen Wahrscheinlichkeitsverteilung folgt (einseitiger KS-Test). Speziell bei letzterem ist der KS-Test im Gegensatz zum Chi-Quadrat-Test auch für kleine Stichproben geeignet (n < 50).

Für die Ermittlung der Verteilungsfunktionen der Aufwandswerte für das Schalen von unterschiedlichen Deckengrundrissen wurden für das Fitting sowohl die Datensätze der einzelnen Grundrisse als auch die skalierten Datensätze der drei Klassen (einfach, mittel und kompliziert) untersucht. In allen Fällen erwies sich dabei die LogLogistic-Verteilung als adäquater Verteilungstyp.

Allgemein werden LogLogistic-Verteilungen durch Glg. (7-11) beschrieben. Die Wahrscheinlichkeitsdichte der LogLogistic-Verteilung ist für x > 0 definiert als:

$$f(x) = \frac{\left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \cdot \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta - 1}}{\left[1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^2} \tag{7-11}$$

Dabei sind $\alpha > 0$ und $\beta > 0$ Parameter der Verteilung.

Die Verteilung wird durch einen Verschiebungs- und einen Formparameter bestimmt. Die Verschiebung gibt an, wo der Mittelwert der Daten liegt (α). Bei vielen Verteilungen ist das der Erwartungswert. Der Formparameter gibt an, wie breit die Verteilung ist (β).

Als Konvergenzkriterium wurde das Kolmogorow-Smirnow-Kriterium als statistischer Test herangezogen, da dieses auch für kleinere Stichproben geeignet ist. Hier werden die Ergebnisse aus den Expertenbefragungen mit verschiedenen Verteilungsfunktionen verglichen und dem Test unterzogen. Jene Verteilung mit der geringsten Abweichung lässt die beste Übereinstimmung vermuten. In den betrachteten Fällen ist die LogLogistic-Verteilung jene mit der höchsten Übereinstimmung.

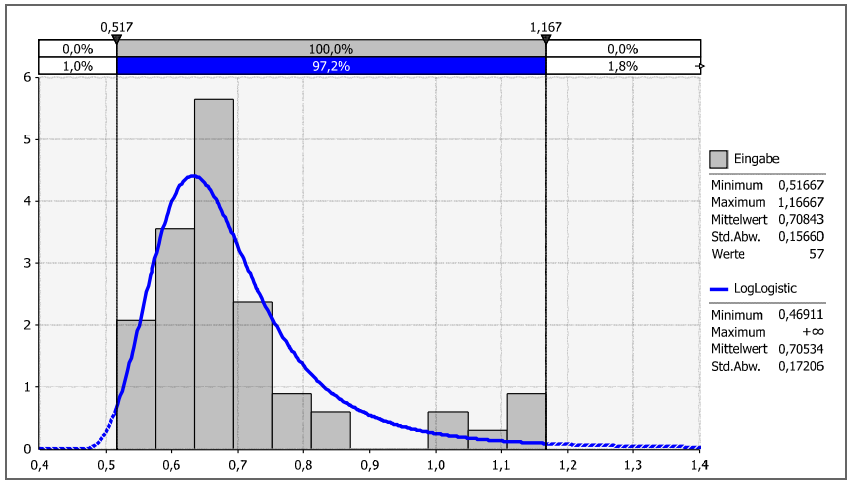


Abb. 7-6 Fitting – Klasse 1: Schalarbeiten für Decken (Lagerung der Decken auf Stützen mit rundem Querschnitt)

In Abb. 7-6 ist die ermittelte Verteilungsfunktion für die Schalungsklasse 1 dargestellt. Die Steilheit der LogLogistic-Funktionen begründet sich dadurch, dass die Mehrheit der

Experten die Aufwandswerte in einer kleineren Bandbreite im niedrigeren Wertebereich eingeschätzt haben. Dennoch werden Ausreißer nach oben nicht ausgeschlossen, deren Eintrittswahrscheinlichkeit ist aber wesentlich geringer als bei den niedrigeren Aufwandswerten.

Würde man im vorliegenden Fall eine Dreiecks- der LogLogistic-Verteilung vorziehen, würden die Werte im Bereich des Maximums eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit zugewiesen bekommen. Dieser Umstand würde aber den Ergebnissen der Expertenbefragung widersprechen (siehe Abb. 7-7). Der minimale Wert der LogLogistic- sowie der Dreiecksverteilung sind in Abb. 7-7 für die Gegenüberstellung gleich angesetzt. Der Mittelwert der LogLogistic-Verteilung entspricht dem erwarteten Wert der Dreiecksverteilung.

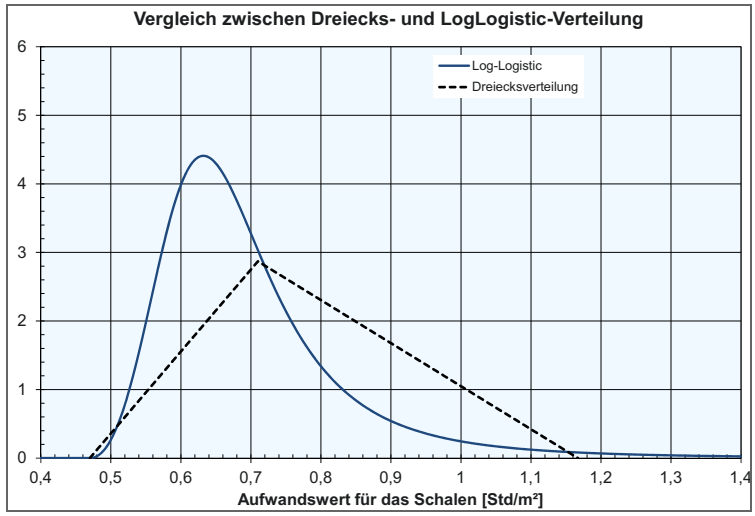


Abb. 7-7 Vergleich zwischen einer Dreiecks- und der aus dem Fitting generierten LogLogistic-Verteilung

Um eine LogLogistic-Verteilung im Zuge einer Monte-Carlo-Simulation als Input zu definieren, müssen die beiden Parameter für die Form und Verschiebung der Verteilung eingegeben werden (α, β). Dies entspricht jedoch nicht der bisherigen Vorgehensweise, bei der für die Dreiecksverteilungen minimale, erwartete und maximale Eingangswerte angegeben wurden. Da α und β für praxisorientierte Anwender sehr schwer abzuschätzen sind, werden weiterführende Überlegungen notwendig, um einerseits die LogLogistic-Form der Verteilung beizubehalten und andererseits die Eingabe mit minimalen, erwarteten und maximalen Eingangswerten durchführen zu können.

7.2.1.3 Optimierung der Eingabe für die gefittete Verteilung

Für die Modifikation der aus dem Datenfitting erhobenen LogLogistic-Verteilung erfolgt eine Kombination mit theoretischen Überlegungen.

Es wird angenommen, dass generell eine stetige Verteilung den Aufwandswert für die Schalungsarbeiten besser und zielführender abbildet als eine diskrete Verteilung. Weiters werden als Randbedingungen folgende Annahmen getätigt:

- Das Bauwerk wird tatsächlich gebaut
- Das Bauwerk wird tatsächlich fertiggestellt

Damit können nach oben offene Verteilungen ausgeschlossen werden. Nach unten hin offene Verteilungen können ebenfalls ausgeschlossen werden, da Aufwandswerte ein Minimum aufweisen, das nicht unterschritten werden kann.[28)] Negative Werte sind ebenfalls nicht zulässig. Tendenziell können erfahrene Kalkulanten einem Wert eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit zuweisen als anderen (auch als Expertenwert oder erwarteter Wert bezeichnet). Damit wird die Verteilung einen unimodalen Verlauf aufweisen.

Auf Basis der rein theoretischen Überlegungen ergibt sich, dass eine stetige, beidseitig begrenzte, unimodale Verteilung die Aufwandswerte für die Schalarbeiten realitätsnah abbilden kann (siehe Abb. 7-3). Die LogLogistic-Verteilung erfüllt diese Kriterien bis auf die beidseitige Geschlossenheit und muss daher modifiziert werden.

Um die durch das Datenfitting ermittelte LogLogistic-Verteilung in der praktischen Durchführung von Simulationen auf unterschiedliche Aufwandswerte und Berechnungssituationen anwenden zu können, wird die Form der LogLogistic-Verteilung durch eine ähnliche, polygonal (also mit verbundenen Geraden) angepasste, approximierte Verteilung substituiert. Diese angenäherte Verteilung verläuft einerseits nicht gegen unendlich, andererseits sind für die Definition der Verteilung nicht Form- und Lageparameter (α und β) wie bei der ursprünglichen LogLogistic-Verteilung erforderlich, sondern ein vom Anwender gewähltes Minimum und ein erwarteter Wert. In @Risk erfolgt die Annäherung der Verteilungsfunktion mit der sogenannten ‚General Distribution'.

Abb. 7-8 zeigt die polygonal approximierte LogLogistic-Verteilung wie sie aus dem Fitting für die Klasse 1 errechnet wurde.

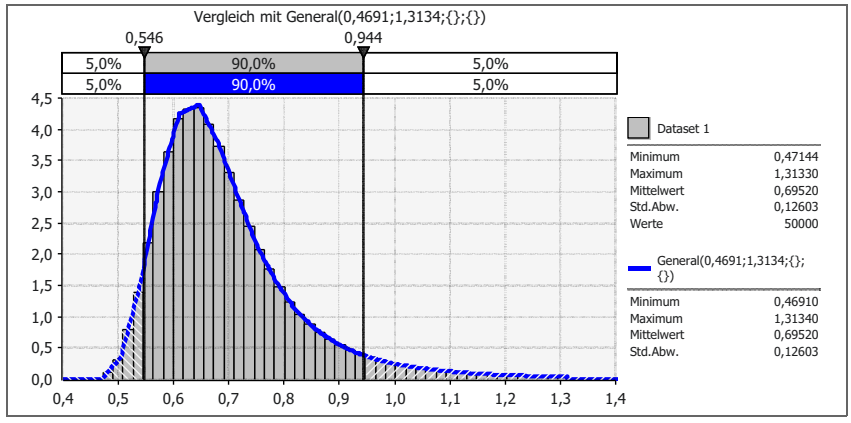


Abb. 7-8 Polygonal approximierte Verteilung

Die angenäherte Verteilung wird durch Koordinatenpunkte mit X- und Y-Werten definiert. Werden nun individuelle Grenzen für die Eingabewerte gewählt, müssen die X-Werte auf die neue Eingabe umgerechnet werden, um die Form der Verteilungsfunktion aus dem Fitting beizubehalten. Der Flächeninhalt unter der Kurve wird dabei von @Risk automatisch auf 1 normiert.

28) Ergeben sich aus der Rückrechnung von Positionspreisen und dem Mittellohnpreis Aufwandswerte, die unter dem baubetrieblichen und arbeitstechnischen absolut möglichen Minimum liegen, ist dies ein Indiz für die Anwendung illegaler Praktiken (Lohn- und/oder Sozialdumping). Vgl. Hofstadler et al. (2016).

Lfd. Nr.	Koordinaten der Datenpunkte der polygonal approximierten Verteilung	
	X	Y
0	A	B
1	0,4691	0,0000
2	0,4691	0,0000
3	0,5043	0,0810
4	0,5395	0,3480
5	0,5746	0,7100
6	0,6098	0,9670
7	0,6450	1,0000
8	0,6802	0,8620
9	0,7154	0,6670
10	0,7505	0,4900
11	0,7857	0,3530
12	0,8209	0,2530
13	0,8561	0,1830
14	0,8913	0,1340
15	0,9264	0,1000
16	0,9616	0,0750
17	0,9968	0,0570
18	1,0320	0,0450
19	1,0671	0,0350
20	1,1023	0,0280
21	1,1375	0,0220
22	1,1727	0,0180
23	1,2079	0,0150
24	1,2430	0,0120
25	1,2782	0,0100
26	1,3134	0,0090
27	1,3134	0,0000

Tab. 7-3 Koordinaten der polygonal approximierten LogLogistic-Verteilung (für die Klasse K_1)[29)]

Für diese Umrechnung wird zunächst der minimale und der erwartete Wert (jener mit der größten Wahrscheinlichkeit bzw. mit dem höchsten zugehörigen Y-Wert) aus der polygonal approximierten Verteilung ermittelt (siehe Tab. 7-3):

Minimaler X-Wert der polygonal approximierten Verteilung: 0,4691

Erwarteter X-Wert der polygonal approximierten Verteilung: 0,6450 (siehe Zeile 7 in Tab. 7-3 – zugehöriger Y-Wert = 1,0000)

Der Abstand zwischen den beiden X-Werten wird mit r bezeichnet und ergibt sich aus der Differenz zwischen den erwarteten und den minimalen X-Werten mit 0,1759 (= 0,6450 - 0,4691).

Möchte der Kalkulant die LogLogistic-ähnliche Verteilung an ein spezielles Bauvorhaben anpassen, muss er nur einen minimalen und einen erwarteten Wert angeben und damit neue X-Werte für die polygonale Verteilung wie folgt ermitteln:

Beispielhaft sei angenommen, dass der Anwender einen minimalen Aufwandswert von 1,100 Std/m² und einen erwarteten Aufwandswert von 1,200 Std/m² für seine Kalkulation ansetzen möchte. Aus diesen beiden Werten ergibt sich ein r_{neu} mit 0,100 Std/m² (= 1,200 Std/m² - 1,100 Std/m²). Dieser Wert wird für die weiteren Umrechnungen benötigt.

[29)] Die Werte stammen aus der in @Risk automatisch gebildeten Freiformverteilung (polygonale Approximation), die noch nicht normiert wurde. Bei der in Abb. 7-8 dargestellten Verteilung sind die Ordinatenwerte bereits entsprechend angepasst (die Fläche der Verteilung beträgt 1). Für die Berechnungen können trotzdem die Werte in Tab. 7-3 herangezogen werden, da jede in @Risk eingegebene Verteilung für die weiteren Betrachtungen und Darstellungen automatisch auf eine Fläche von 1 normiert wird.

In @Risk kann eine Verteilung durch die Häufigkeit und die Ausprägung einzelner Werte als ‚General Distribution' definiert werden. Der minimale X-Wert der neuen Verteilung (siehe Tab. 7-4, Spalte C, Zeile 1) entspricht der Eingabe des Anwenders (= 1,100 Std/m²) und dem zugehörigen Y-Wert (siehe Tab. 7-4, Spalte B, Zeile 1) aus der ursprünglichen Approximation (= 0,000). Die restlichen X-Werte müssen entsprechend nachfolgender Gleichung umgerechnet werden:

$$x_{neu,i} = Eingabe_{Minimum} + (x_i - x_{min,Polygon}) \cdot \frac{r_{neu}}{r} \tag{7-12}$$

Die Umrechnung wird beispielhaft für den dritten X-Wert (Zeile 3 in Tab. 7-4 gezeigt):

$$x_{neu,3} = 1{,}1000 + (0{,}5043 - 0{,}4691) \cdot \frac{0{,}1000}{0{,}1759} = 1{,}12001$$

Als Kontrollwert der neu ermittelten X-Werte kann der erwartete Wert herangezogen werden, der sich in Zeile 7 der Tab. 7-4 befindet. Sowohl bei den ursprünglichen als auch bei den neuen X-Werten stellt hier der siebente Datenpunkt den erwarteten Wert (mit der höchsten Wahrscheinlichkeit bzw. mit dem höchsten zugehörigen Y-Wert) dar. Hier muss sich der vom Benutzer eingegebene erwartete Wert (= 1,2000 Std/m²) wiederfinden (vgl. Tab. 7-4).

Lfd. Nr.	Koordinaten der Datenpunkte der polygonal approximierten Verteilung		
	X	Y	X_{neu}
0	A	B	C
1	0,4691	0,0000	1,1000
2	0,4691	0,0000	1,1000
3	0,5043	0,0810	1,1200
4	0,5395	0,3480	1,1400
5	0,5746	0,7100	1,1600
6	0,6098	0,9670	1,1800
7	0,6450	1,0000	1,2000
8	0,6802	0,8620	1,2200
9	0,7154	0,6670	1,2400
10	0,7505	0,4900	1,2600
11	0,7857	0,3530	1,2800
12	0,8209	0,2530	1,3000
13	0,8561	0,1830	1,3200
14	0,8913	0,1340	1,3400
15	0,9264	0,1000	1,3600
16	0,9616	0,0750	1,3800
17	0,9968	0,0570	1,4000
18	1,0320	0,0450	1,4200
19	1,0671	0,0350	1,4400
20	1,1023	0,0280	1,4600
21	1,1375	0,0220	1,4800
22	1,1727	0,0180	1,5000
23	1,2079	0,0150	1,5200
24	1,2430	0,0120	1,5400
25	1,2782	0,0100	1,5600
26	1,3134	0,0090	1,5800
27	1,3134	0,0000	1,5800

Tab. 7-4 Neue Koordinaten der polygonal approximierten LogLogistic-Verteilung (für die Klasse K_1)

Die neue LogLogistic-ähnliche Verteilung mit benutzerspezifischen Eingabedaten für den minimalen und erwarteten Wert ist in Abb. 7-9 dargestellt und kann in dieser Form für probabilistische Berechnungen – z.B. der Baukosten oder der Bauzeit – herangezogen werden.

Die Eingabeparameter beschränken sich für den Anwender demnach auf nur zwei praxisgerechte und auf ein konkretes Projekt angepasste Werte (zum Vergleich: um eine asymmetrische Dreiecksverteilung zu definieren, müssen sowohl ein minimaler, ein erwarteter als auch ein maximaler Wert eingegeben werden).

Aus der Legende ist erkennbar, dass das Minimum und der Modus (entspricht dem erwarteten Wert) genau jenen Angaben entspricht, die im Anwendungsbeispiel als Eingabedaten gewählt wurden.

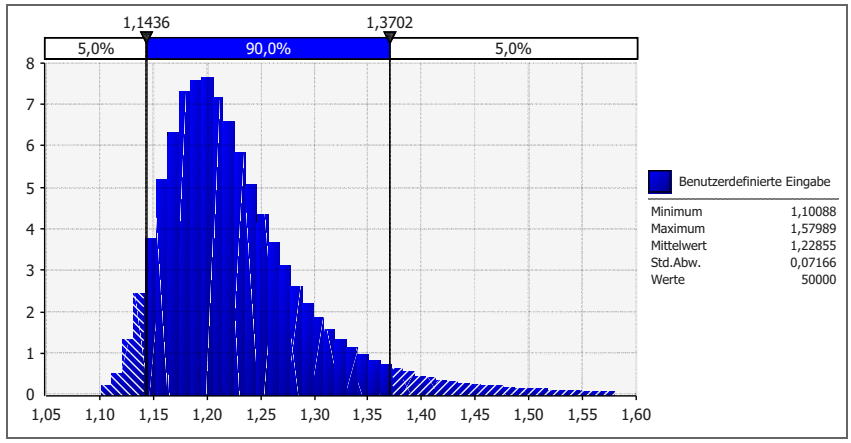


Abb. 7-9 LogLogistic-ähnliche Verteilung mit benutzerdefinierten Eingabedaten

Das gezeigte Schema kann für jede rechtsschiefe, unimodale Verteilungsfunktion in ähnlicher Form angewendet werden. Der Vorteil liegt darin, dass die Form der Verteilung durch ein Datenfitting von Praxiswerten (Expertenbefragung, Erhebungen während der Ausführung, historische Daten etc.) gewonnen werden kann; für die weitere Anwendung jedoch theoretische Überlegungen und Charakteristika einbezogen werden. Weiters wird die Definition der angewendeten Verteilungsfunktion durch lediglich zwei ‚greifbare' Werte (Minimum und erwarteter Wert) für die Anwendung praktikabler als komplizierte Form- und Lageparameter, die nur mit vertieftem mathematischen Verständnis abgeschätzt werden können oder erst durch Umrechnungen ermittelt werden müssen. Die Form der aus einem Datenfitting erhobenen Verteilung kann auch auf andere Projekte angewendet werden. Eine projektspezifische Anpassung erfolgt in weiterer Folge durch den Anwender, der auch weiterhin mit seinem baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Verständnis sowie mit seinen Erfahrungen einen zentralen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse nimmt. Er kann mit der Wahl der Eingabeparameter (Minimum und erwarteter Wert) weiterhin grundsätzliche Charakteristika der Verteilung bestimmen. Lediglich die Form wird durch die Einschätzungen mehrerer Experten bzw. auf Basis von historischen Daten (stammend aus vorangegangenen Projekten) bestimmt und unterstützt damit die Anwender aus der Praxis bei ihren Analysen mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation.

Im nächsten Abschnitt wird gezeigt, wie aus den Angaben einer Expertenbefragung Verteilungen für die Mengenabweichungen von Stahlbeton- und Mauerarbeiten im Hochbau gewonnen werden konnten.

7.2.2 Mengenabweichungen

Im Zuge einer Expertenbefragung (2015/16 von *Kummer/Hofstadler* an der TU Graz durchgeführt) wurde erhoben, welche Abweichungen von den ausgeschriebenen Mengen einer konstruktiven Leistungsbeschreibung für die Stahlbeton- und Mauerarbeiten für öffentliche und private Auftraggeber erwartet werden.

Es wurden dabei keine absoluten Mengen abgefragt, sondern prozentuelle Abweichungen von der ausgeschriebenen Menge, welche mit 100 % definiert wurde. Die untere Grenze der Mengenabweichungen (Mengenminderung) wurde von den Experten mit einem Prozentwert ≤ 100 % und die obere Grenze (Mengenmehrung) mit einem Prozentwert von ≥ 100 % angegeben. Die Angabe einer Untergrenze von z.B. 80 % entspricht damit einer Mengenreduktion um 20 %. Umgekehrt bedeutet eine angegebene Obergrenze von z.B. 115 % eine Erhöhung der Ausführungsmenge um 15 %. Die Erhebung bezog sich auf Mengenabweichungen für das Schalen, Bewehren (getrennt in Stab- und Mattenstahl) und Betonieren sowie das Mauern im Hochbau, wobei in öffentliche und private Auftraggeber unterschieden wurde.

Insgesamt wurden die Fragebögen von 29 Experten ausgefüllt, wobei nicht immer alle Fragen von den Studienteilnehmern vollständig beantwortet wurden (in Abhängigkeit von der vorhandenen Expertise). Die Anzahl der Nennungen je Frage wird in der deskriptiven Auswertung explizit angegeben.

Es wurden hohe Ansprüche an die Datenerhebung sowie deren Durchführung und anschließende Auswertung gestellt. Dabei erfolgte eine Orientierung an den zentralen Gütekriterien der empirischen Forschung, welche die Aussagekraft der Daten maßgeblich beeinflussen: Objektivität, Reliabilität (Zuverlässigkeit) und Validität (Gültigkeit).

7.2.2.1 Schalarbeiten

Bei den Schalarbeiten konnten im Zuge der Expertenbefragung 23 Antworten für die Mengenabweichungen erhoben werden (siehe Tab. 7-5). Die Angaben für öffentliche und private Auftraggeber unterscheiden sich dabei nur geringfügig, was auf eine ähnliche Ausschreibungsgenauigkeit bei den Schalarbeiten insgesamt schließen lässt. Im Mittel kommt es bei den Schalarbeiten zu einer Mengenunterschreitung auf bis zu ca. 93 % (siehe Tab. 7-5 in der Zeile 2, Zellen B und D sowie Zeile 14, Zellen B und D). Der Modus für die Mengenunterschreitungen liegt aufgrund des bimodalen Verlaufs bei den Antworten zu privaten AG bei 90 % bzw. 95 % (mit jeweils sechs Nennungen). Die größte angegebene Mengenunterschreitung reicht bis 80 % bei öffentlichen und 85 % bei privaten Auftraggebern. Mengenminderungen bei der Schalung fallen demnach bei öffentlichen AG tendenziell auch größer aus. Die Experten begründeten diesen Umstand damit, dass die ausschreibenden Stellen öffentlicher AG in die Mengenvordersätze der Positionen konstruktiver Leistungsbeschreibungen einen zusätzlichen Puffer einbauen. Werden geringere Mengen ausgeführt, kann die Differenz aus den abgerechneten Preisen mit evtl. vom AN eingereichten Mehrkostenforderungen aus anderen Positionen gegengerechnet werden. Die Argumentation gegenüber dem Bauherrn wird dadurch leichter, da größere Mengen im Angebot tendenziell auch die Angebotssumme erhöhen und damit gegenüber der Abrechnung ein Spielraum entsteht, der für Verhandlungen zwischen Bauherrenvertretern und den ausführenden Firmen genutzt werden kann, ohne Einfluss auf die Finanzierung des Projekts nehmen zu müssen.

Bei den Mengenüberschreitungen werden im Mittel 7 bis 8 % erwartet (siehe Tab. 7-5 in der Zeile 2, Zellen C und E sowie Zeile 14, Zellen C und E). Bezogen auf die Mittelwerte und die robusten M-Schätzer ist mit einer geringfügig größeren Mengenmehrung bei öffentlichen AG zu rechnen. Diese Tendenz bestätigt sich auch, wenn die maximalen Angaben für Mengenmehrungen betrachtet werden. Bei privaten AG wird eine Mengenmehrung von bis zu 25 %, bei öffentlichen AG dagegen bis zu 40 % angegeben. Der Modus liegt aber sowohl bei öffentlichen als auch bei privaten AG bei 100 %. Dies bedeutet inhaltlich, dass die meisten Experten kein Potenzial für Mengenüberschreitungen vermuten.

Zudem ist erkennbar, dass bei negativen Abweichungen eine linksschiefe und bei positiven Abweichungen eine rechtsschiefe Verteilung der Antworten vorliegt (siehe Tab. 7-5 – Zeile 13). Bezogen auf die gesamte Bandbreite der Antworten kann also davon ausgegangen werden, dass es im Bereich um 100 % zu einer Häufung der Nennungen kommt.

Lfd. Nr.	Parameter	Schalen – öffentliche AG		Schalen – private AG	
		negative Abweichung	positive Abweichung	negative Abweichung	positive Abweichung
0	A	B	C	D	E
1	n	23,00	23,00	23,00	23,00
2	Mittelwert	92,87	108,17	93,17	107,61
3	Standardfehler des MW	1,03	1,93	0,86	1,54
4	Standardabweichung	4,96	9,26	4,11	7,37
5	Variationskoeffizient	5,34 %	8,56 %	4,41 %	6,85 %
6	Median	93,00	105,00	95,00	107,00
7	MAD	3,00	5,00	3,00	6,00
8	robuster Variationskoeffizient (basierend auf Median)	3,23 %	4,76 %	3,16 %	5,61 %
9	Modus	90,00	100,00	90,00 bzw. 95,00	100,00
10	Minimum	80,00	100,00	85,00	100,00
11	Maximum	100,00	140,00	100,00	125,00
12	Spannweite	20,00	40,00	15,00	25,00
13	Schiefe	-0,65	1,95	-0,16	0,76
14	M-Schätzer (H12 (80%))	93,18	107,01	93,25	106,91
15	Standardabweichung (H12 (80%))	4,92	7,52	4,68	7,32
16	robuster Variationskoeffizient (basierend auf M-Schätzer)	5,28 %	7,03 %	5,01 %	6,85 %
17	Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Ja	Nein	Ja	Nein

Tab. 7-5 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Schalarbeiten

Um eine praxisnahe Empfehlung für mögliche Verteilungsfunktionen der Mengen der Schalungsarbeiten abgeben zu können, wurde ein Datenfitting auf Basis der Expertenangaben für öffentliche und private AG mit dem Softwareprogramm @Risk durchgeführt (siehe Abb. 7-10). In beiden Fällen (öffentliche und private AG) können die Expertenangaben mit sehr guter Übereinstimmung (KS-Test) durch LogLogistic-Verteilungen abgebildet werden.[30)]

[30)] Bei privaten AG gibt es mit der LogLogistic-Verteilung die beste Anpassung (KS-Test). Bei den öffentlichen AG wird die vorhandene Datenbasis nur durch eine ‚Extremwertverteilung' geringfügig besser angepasst. Dieser Verteilungstyp hat allerdings die Eigenschaft beidseitig offen zu sein, was für Mengenabweichungen besonders für Mengenunterschreitungen von mehr als 100 % inhaltlich nicht plausibel ist.

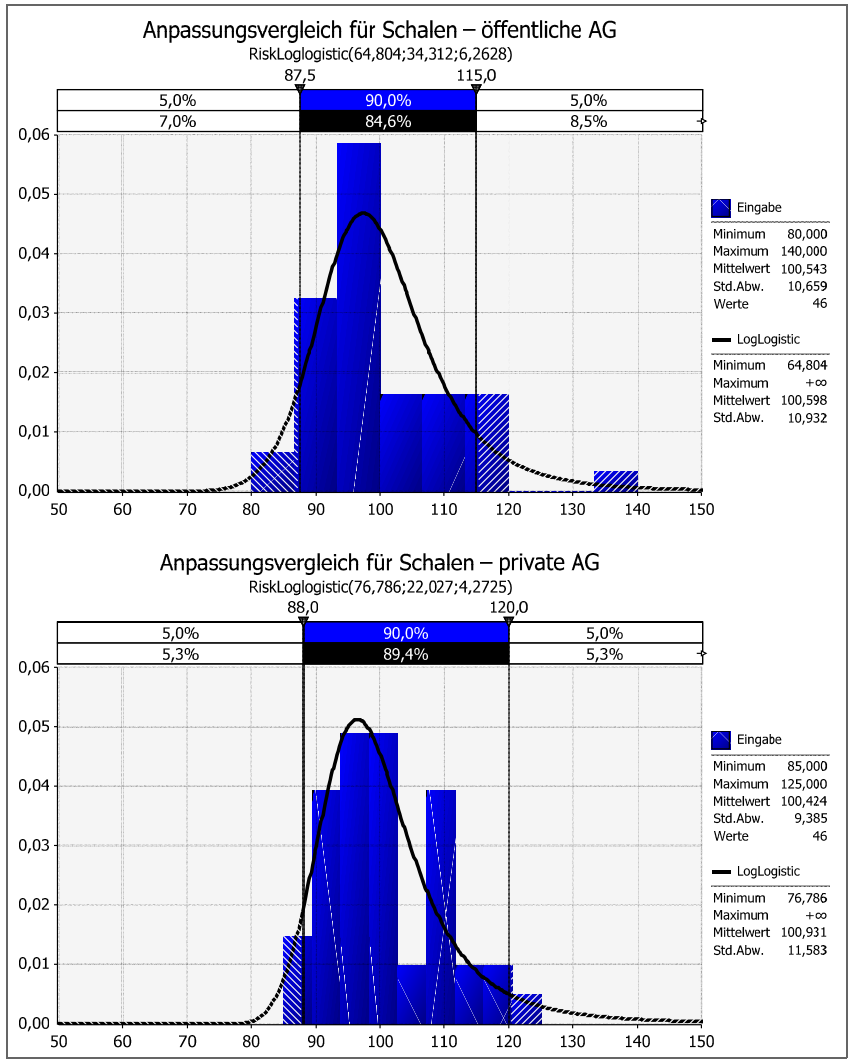


Abb. 7-10 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Schalarbeiten – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG

7.2.2.2 Bewehrungsarbeiten – Stabstahl

Bei den Bewehrungsarbeiten mit Stabstahl konnten im Zuge der Expertenbefragung wie bei den Schalarbeiten 23 Antworten für die Mengenabweichungen erhoben werden (siehe Tab. 7-6). Die Angaben für öffentliche und private Auftraggeber unterscheiden sich dabei nur geringfügig, was insgesamt auf eine ähnliche Ausschreibungsgenauigkeit bei den Bewehrungsarbeiten mit Stabstahl schließen lässt. Im Mittel kommt es bei den Bewehrungsarbeiten mit Stabstahl zu einer Mengenunterschreitung auf bis ca. 92 % (siehe Tab. 7-6 in der Zeile 2, Zellen B und D sowie Zeile 14, Zellen B und D). Der Modus für die Mengenunterschreitungen liegt bei den Antworten zu privaten AG bei 90 % und bei öffentlichen AG bei 95 % (mit jeweils sechs Nennungen). Auch bei der Mengenmehrung

unterscheiden sich der Modus bei öffentlichen (110 %) und privaten AG (100 %). Die größte angegebene Mengenunterschreitung reicht bis 60 % bei privaten und 70 % bei öffentlichen AG. Mengenminderungen bei Stabstahl fallen demnach bei privaten AG tendenziell größer aus. Dies wurde von den Experten dadurch begründet, dass bei privaten AG meist nur auf Basis einer Vorstatik ausgeschrieben wird, die im Zuge der Projektabwicklung noch entsprechend optimiert wird.

Das Maximum der Mengenmehrungen wurde bei den öffentlichen AG mit 140 % gegenüber 135 % bei privaten AG angegeben. Das Potenzial für eine Überschreitung der ausgeschriebenen Menge ist damit bei öffentlichen AG größer. Im Mittel beträgt die Mengenmehrung allerdings sowohl bei öffentlichen als auch bei privaten AG etwa 7 bis 8 %.

Insgesamt ist weiters erkennbar, dass bei negativen Abweichungen eine linksschiefe und bei positiven Abweichungen eine rechtsschiefe Verteilung der Antworten angegeben wurde (siehe Tab. 7-6 – Zeile 13). Bezogen auf die gesamte Bandbreite der Antworten kann also davon ausgegangen werden, dass es im Bereich um 100 % zu einer Anhäufung der Nennungen kommt.

Lfd. Nr.	Parameter	Bewehren – Stabstahl – öffentliche AG		Bewehren – Stabstahl – private AG	
		negative Abweichung	positive Abweichung	negative Abweichung	positive Abweichung
0	A	B	C	D	E
1	n	23,00	23,00	23,00	23,00
2	Mittelwert	91,57	108,30	91,30	108,70
3	Standardfehler des MW	1,57	1,81	1,77	1,90
4	Standardabweichung	7,53	8,66	8,48	9,10
5	Variationskoeffizient	8,22 %	7,99 %	9,28 %	8,37 %
6	Median	95,00	110,00	95,00	110,00
7	MAD	5,00	5,00	5,00	6,00
8	robuster Variationskoeffizient (basierend auf Median)	5,26 %	4,55 %	5,26 %	5,45 %
9	Modus	95,00	110,00	90,00	100,00
10	Minimum	70,00	100,00	60,00	100,00
11	Maximum	100,00	140,00	100,00	135,00
12	Spannweite	30,00	40,00	40,00	35,00
13	Schiefe	-1,25	2,24	-2,45	1,26
14	M-Schätzer (H12 (80%))	92,51	107,26	92,65	107,54
15	Standardabweichung (H12 (80%))	6,69	6,73	5,78	7,99
16	robuster Variationskoeffizient (basierend auf M-Schätzer)	7,24 %	6,27 %	6,24 %	7,43 %
17	Normalverteilung (Shapiro-Wilk, $p < 0,05$)	Nein	Nein	Nein	Nein

Tab. 7-6 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Bewehrungsarbeiten – Stabstahl

Um eine praxisnahe Empfehlung für mögliche Verteilungsfunktionen der Mengen der Bewehrungsarbeiten für Stabstahl abgeben zu können, wurde ein Datenfitting auf Basis der Expertenangaben für öffentliche und private AG mit dem Softwareprogramm @Risk durchgeführt (siehe Abb. 7-11). Für öffentliche AG konnte als beste Anpassung eine Weibull-Verteilung und als zweitbeste eine LogLogistic-Verteilung (in Abb. 7-11 oben dargestellt) identifiziert werden. Bei den Mengenabweichungen für private AG liefert das Datenfitting mit dem KS-Test eine Logistic-Verteilung als beste Übereinstimmung.[31)]

[31)] Die Weibull-Verteilung weist ähnlich wie die LogLogistic-Verteilung ein definiertes Minimum auf, ist aber nach oben hin offen.

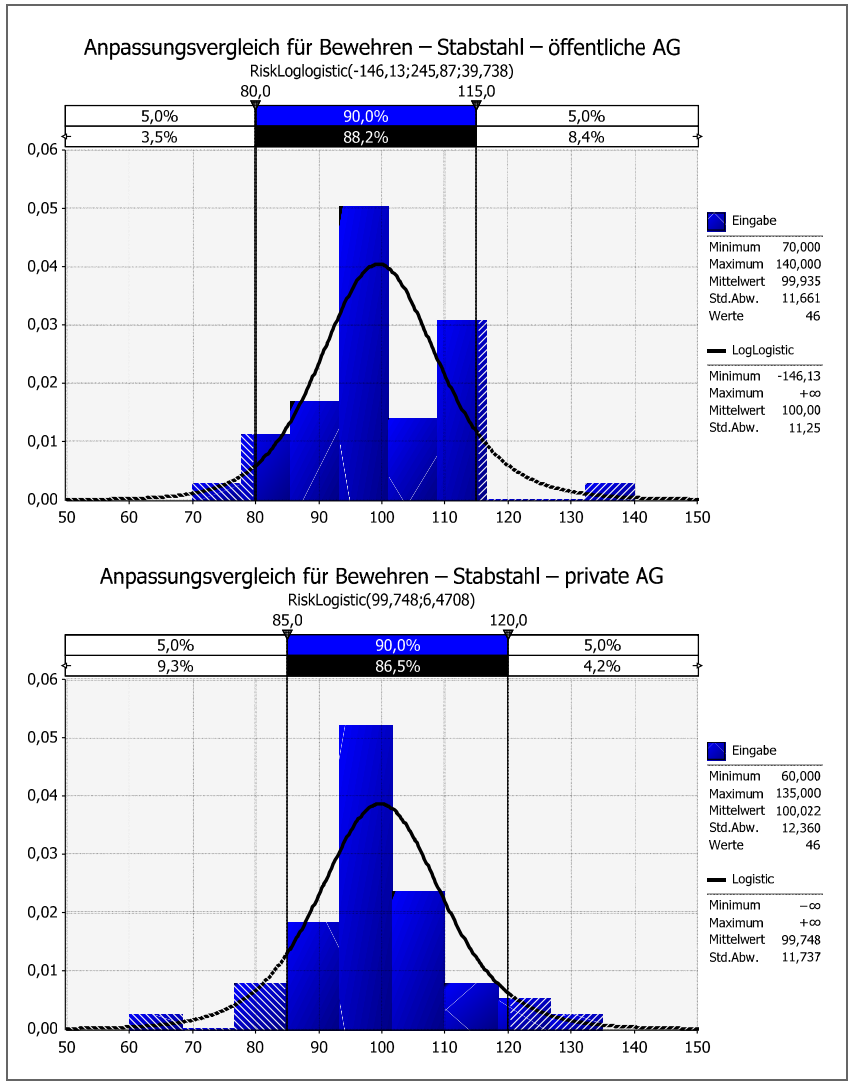


Abb. 7-11 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Bewehrungsarbeiten – Stabstahl – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG

7.2.2.3 Bewehrungsarbeiten – Mattenstahl

Bei den Bewehrungsarbeiten mit Mattenstahl konnten im Zuge der Expertenbefragung 21 Antworten für die Mengenabweichungen erhoben werden (siehe Tab. 7-7). Die Angaben für öffentliche und private Auftraggeber unterscheiden sich nur geringfügig, was insgesamt auf eine ähnliche Ausschreibungsgenauigkeit bei den Bewehrungsarbeiten mit Mattenstahl schließen lässt. Generell wird aber bei öffentlichen AG eine größere Bandbreite der Mengenabweichungen angegeben. Im Mittel kommt es bei den Bewehrungsarbeiten mit Mattenstahl zu einer Mengenunterschreitung auf bis ca. 90 bis 91 % (siehe Tab. 7-7 in der Zeile 2, Zellen B und D sowie Zeile 14, Zellen B und D). Der Modus

für die Mengenunterschreitungen liegt bei den Antworten zu privaten und öffentlichen AG bei je 95 %. Der Modus bei der Mengenmehrung unterscheidet sich bei öffentlichen (110 %) und privaten AG (100 %). Die größte angegebene Mengenunterschreitung reicht bis 70 % bei öffentlichen und 60 % bei privaten AG. Mengenminderungen bei Mattenstahl fallen demnach bei privaten AG tendenziell größer aus. Dies wurde von den Experten dadurch begründet, dass bei privaten AG meist nur auf Basis einer Vorstatik ausgeschrieben wird, die im Zuge der Projektabwicklung noch entsprechend optimiert wird.

Das Maximum der Mengenmehrungen wurde bei den öffentlichen AG mit 140 % gegenüber 120 % bei privaten AG angegeben. Das Potenzial für eine Überschreitung der ausgeschriebenen Menge ist damit bei öffentlichen AG größer. Im Mittel beträgt die Mengenmehrung bei öffentlichen AG etwa 6 bis 8 % und bei privaten AG etwa 6 bis 7 %.[32)]

Insgesamt ist weiters erkennbar, dass sich bei negativen Abweichungen eine linksschiefe und bei positiven Abweichungen eine rechtsschiefe Verteilung der Antworten ergeben hat (siehe Tab. 7-7 – Zeile 13). Bezogen auf die gesamte Bandbreite der Antworten kann also davon ausgegangen werden, dass es im Bereich um 100 % zu einer Anhäufung der Nennungen kommt.

Lfd. Nr.	Parameter	Bewehren – Mattenstahl – öffentliche AG		Bewehren – Mattenstahl – private AG	
		negative Abweichung	positive Abweichung	negative Abweichung	positive Abweichung
0	A	B	C	D	E
1	n	21,00	21,00	21,00	21,00
2	Mittelwert	90,57	107,76	89,24	106,76
3	Standardfehler des MW	1,60	2,00	1,87	1,59
4	Standardabweichung	7,33	9,15	8,56	7,28
5	Variationskoeffizient	8,09 %	8,49 %	9,59 %	6,82 %
6	Median	92,00	108,00	90,00	105,00
7	MAD	3,00	3,00	5,00	5,00
8	robuster Variationskoeffizient (basierend auf Median)	3,26 %	2,78 %	5,56 %	4,76 %
9	Modus	95,00	110,00	95,00	100,00
10	Minimum	70,00	100,00	60,00	100,00
11	Maximum	100,00	140,00	100,00	120,00
12	Spannweite	30,00	40,00	40,00	20,00
13	Schiefe	-1,24	2,32	-2,12	0,70
14	M-Schätzer (H12 (80%))	91,49	106,26	90,50	106,17
15	Standardabweichung (H12 (80%))	6,41	6,19	6,05	7,55
16	robuster Variationskoeffizient (basierend auf M-Schätzer)	7,01 %	5,82 %	6,68 %	7,11 %
17	Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Nein	Nein	Nein	Nein

Tab. 7-7 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Bewehrungsarbeiten – Mattenstahl

Um eine praxisnahe Empfehlung für mögliche Verteilungsfunktionen der Mengen der Bewehrungsarbeiten für Mattenstahl abgeben zu können, wurde ein Datenfitting auf Basis der Expertenangaben für öffentliche und private AG mit dem Softwareprogramm @Risk durchgeführt (siehe Abb. 7-12). Für öffentliche AG konnte als beste Anpassung eine LogLogistic-Verteilung (Abb. 7-12 – oben) identifiziert werden. Bei den Mengenabweichungen für private AG liefert das Datenfitting mit dem KS-Test eine Logistic-Verteilung (Abb. 7-12 – unten) als beste Übereinstimmung.

[32)] Siehe M-Schätzer und Mittelwerte in Tab. 7-7.

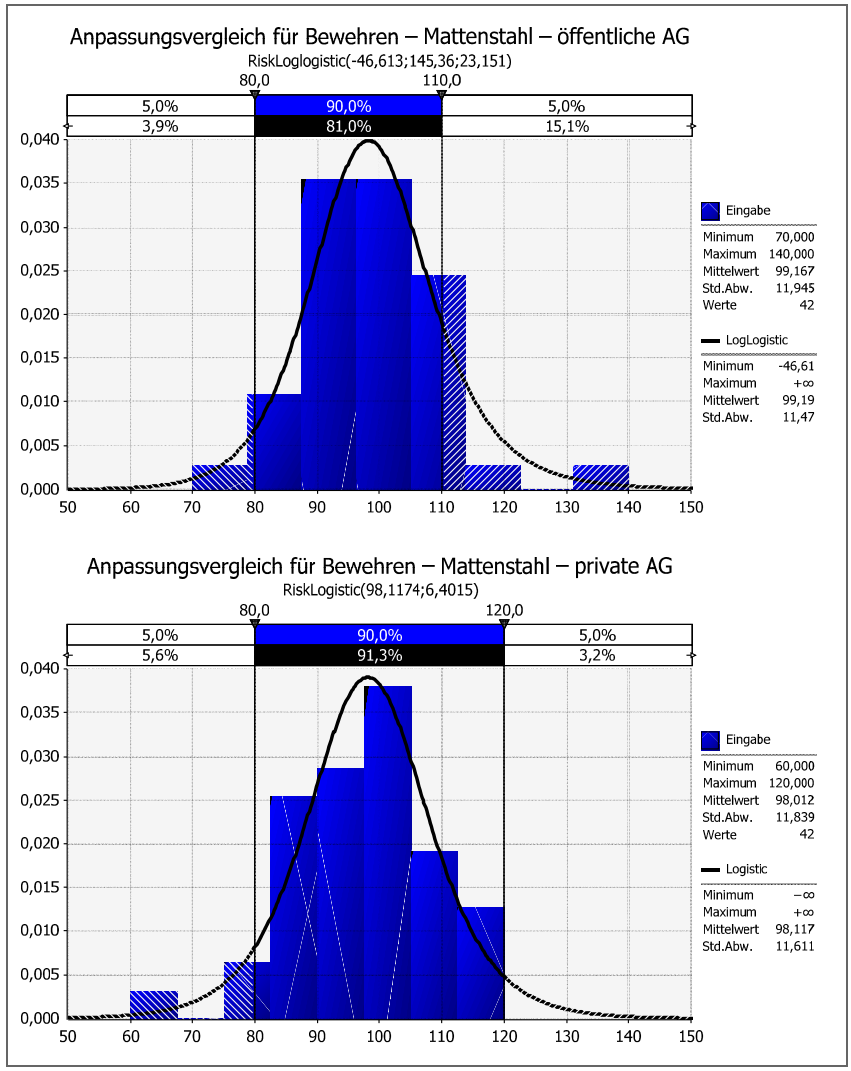


Abb. 7-12 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Bewehrungsarbeiten – Mattenstahl – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG

7.2.2.4 Betonierarbeiten

Bei den Betonierarbeiten konnten im Zuge der Expertenbefragung 23 Antworten für die Mengenabweichungen erhoben werden (siehe Tab. 7-8). Die Angaben für öffentliche und private Auftraggeber unterscheiden sich nur geringfügig, was auf eine ähnliche Ausschreibungsgenauigkeit bei den Betonierarbeiten schließen lässt. Im Mittel kommt es bei den Betonierarbeiten zu einer Mengenunterschreitung auf bis zu ca. 93 % (siehe Tab. 7-8 in der Zeile 2, Zellen B und D sowie Zeile 14, Zellen B und D). Der Modus für die Mengenunterschreitungen liegt aufgrund des bimodalen Verlaufs bei den Antworten zu privaten AG bei 90 % bzw. 95 % (mit jeweils fünf Nennungen) und bei öffentlichen AG bei 95 %. Die größte angegebene Mengenunterschreitung reicht bei öffentlichen und privaten AG bis 80 %.

Bei den Mengenüberschreitungen werden im Mittel 6 bis 8 % erwartet (siehe Tab. 7-8 in der Zeile 2, Zellen C und E sowie Zeile 14, Zellen C und E). Die maximalen Angaben für Mengenüberschreitungen belaufen sich bei privaten AG auf 125 % und bei öffentlichen AG auf 130 %. Der Modus der Mengenüberschreitungen weist bei privaten AG einen bimodalen Verlauf (100 % und 110 % – jeweils sieben Nennungen) auf. Bei öffentlichen AG liegt der Modus bei 100 %. Dies bedeutet inhaltlich, dass die meisten Experten kein Potenzial für Mengenüberschreitungen vermuten.

Zudem ist erkennbar, dass bei negativen Abweichungen eine linksschiefe und bei positiven Abweichungen eine rechtsschiefe Verteilung der Antworten vorliegt (siehe Tab. 7-8 – Zeile 13). Bezogen auf die gesamte Bandbreite der Antworten kann also davon ausgegangen werden, dass es im Bereich um 100 % zu einer Häufung der Nennungen kommt.

Lfd. Nr.	Parameter	Betonieren – öffentliche AG		Betonieren – private AG	
		negative Abweichung	positive Abweichung	negative Abweichung	positive Abweichung
0	A	B	C	D	E
1	n	23,00	23,00	23,00	23,00
2	Mittelwert	92,61	106,35	93,00	107,52
3	Standardfehler des MW	1,25	1,39	0,93	1,61
4	Standardabweichung	6,00	6,65	4,45	7,72
5	Variationskoeffizient	6,48 %	6,25 %	4,79 %	7,18 %
6	Median	95,00	105,00	95,00	107,00
7	MAD	3,00	5,00	3,00	6,00
8	robuster Variationskoeffizient (basierend auf Median)	3,16 %	4,76 %	3,16 %	5,61 %
9	Modus	95,00	100,00	95,00	110,00
10	Minimum	80,00	100,00	80,00	100,00
11	Maximum	100,00	130,00	100,00	125,00
12	Spannweite	20,00	30,00	20,00	25,00
13	Schiefe	-1,02	2,01	-1,17	0,84
14	M-Schätzer (H12 (80%))	93,52	105,59	93,42	106,62
15	Standardabweichung (H12 (80%))	5,12	5,42	3,70	7,38
16	robuster Variationskoeffizient (basierend auf M-Schätzer)	5,48 %	5,13 %	3,96 %	6,93 %
17	Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Nein	Nein	Nein	Nein

Tab. 7-8 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Betonierarbeiten

Um eine praxisnahe Empfehlung für mögliche Verteilungsfunktionen der Mengen der Betonierarbeiten abgeben zu können, wurde ein Datenfitting auf Basis der Expertenangaben für öffentliche und private AG mit dem Softwareprogramm @Risk durchgeführt (siehe Abb. 7-13). In beiden Fällen (öffentliche und private AG) können die Expertenangaben mit sehr guter Übereinstimmung (KS-Test) durch LogLogistic-Verteilungen abgebildet werden.[33)]

[33)] Bei öffentlichen AG gibt es für die vorhandene Datenbasis mit einer Weibull-Verteilung eine geringfügig bessere Anpassung als mit der angegebenen LogLogistic-Verteilung (KS-Test). Bei den privaten AG wird die vorhandene Datenbasis nur durch eine ‚Extremwertverteilung' geringfügig besser angepasst. Dieser Verteilungstyp hat allerdings die Eigenschaft beidseitig offen zu sein, was für Mengenabweichungen besonders für Mengenunterschreitungen von mehr als 100 % inhaltlich nicht plausibel ist.

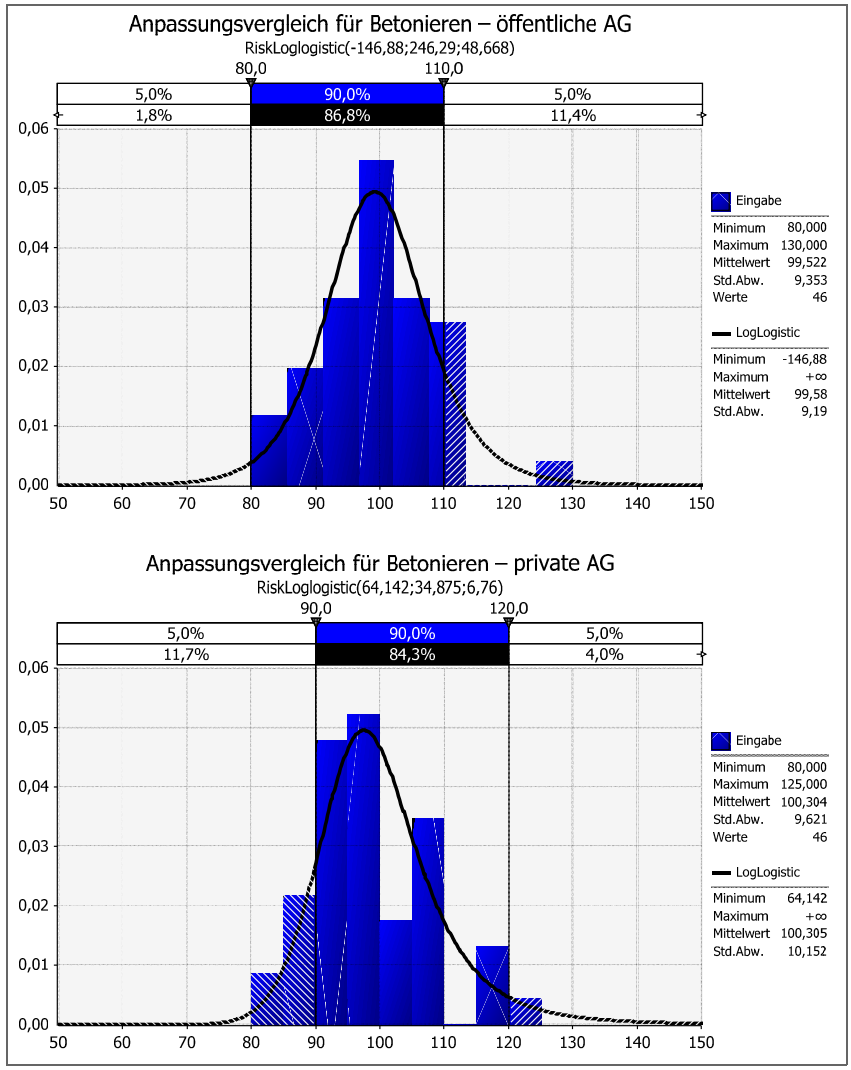


Abb. 7-13 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Betonierarbeiten – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG

7.2.2.5 Mauerarbeiten

Für Mauerarbeiten konnten im Zuge der Expertenbefragung 23 Antworten für die Mengenabweichungen erhoben werden (siehe Tab. 7-9). Die Angaben für öffentliche und private Auftraggeber unterscheiden sich nur geringfügig, was auf eine ähnliche Ausschreibungsgenauigkeit bei den Mauerarbeiten schließen lässt. Im Mittel kommt es bei den Mauerarbeiten zu einer Mengenunterschreitung auf bis zu ca. 94 bis 95 % (siehe Tab. 7-9 in der Zeile 2, Zellen B und D sowie Zeile 14, Zellen B und D). Der Modus für die Mengenunterschreitungen liegt sowohl bei den Antworten zu privaten als auch zu öffentlichen AG bei 95 %. Die größte angegebene Mengenunterschreitung reicht bei öffentlichen und privaten AG bis 80 %.

Bei den Mengenüberschreitungen werden im Mittel 5 bis 8 % erwartet (siehe Tab. 7-9 in der Zeile 2, Zellen C und E sowie Zeile 14, Zellen C und E). Die maximalen Angaben für Mengenüberschreitungen belaufen sich bei privaten und öffentlichen AG auf 125 %. Der Modus der Mengenüberschreitungen weist bei privaten und öffentlichen AG einen Wert von 100 % auf. Dies bedeutet inhaltlich, dass die meisten Experten kein Potenzial für Mengenüberschreitungen vermuten.

Insgesamt ist erkennbar, dass sich bei negativen Abweichungen eine linksschiefe und bei positiven Abweichungen eine rechtsschiefe Verteilung der Antworten ergeben hat (siehe Tab. 7-9 – Zeile 13). Bezogen auf die gesamte Bandbreite der Antworten kann also davon ausgegangen werden, dass es im Bereich um 100 % zu einer Häufung der Nennungen kommt.

Lfd. Nr.	Parameter	Mauern – öffentliche AG		Mauern – private AG	
		negative Abweichung	positive Abweichung	negative Abweichung	positive Abweichung
0	A	B	C	D	E
1	n	23,00	23,00	23,00	23,00
2	Mittelwert	93,74	106,04	94,22	107,57
3	Standardfehler des MW	1,23	1,39	1,18	1,65
4	Standardabweichung	5,90	6,66	5,66	7,89
5	Variationskoeffizient	6,30 %	6,28 %	6,00 %	7,34 %
6	Median	95,00	105,00	95,00	107,00
7	MAD	5,00	5,00	4,00	7,00
8	robuster Variationskoeffizient (basierend auf Median)	5,26 %	4,76 %	4,21 %	6,54 %
9	Modus	95,00	100,00	95,00	100,00
10	Minimum	80,00	100,00	80,00	100,00
11	Maximum	100,00	125,00	100,00	125,00
12	Spannweite	20,00	25,00	20,00	25,00
13	Schiefe	-1,08	1,33	-1,34	0,94
14	M-Schätzer (H12 (80%))	94,56	105,17	94,99	106,61
15	Standardabweichung (H12 (80%))	5,16	5,71	4,80	7,31
16	robuster Variationskoeffizient (basierend auf M-Schätzer)	5,46 %	5,43 %	5,05 %	6,86 %
17	Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Nein	Nein	Nein	Nein

Tab. 7-9 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Mauerarbeiten

Um eine praxisnahe Empfehlung für mögliche Verteilungsfunktionen der Mengen der Mauerarbeiten abgeben zu können, wurde ein Datenfitting auf Basis der Expertenangaben für öffentliche und private AG mit dem Softwareprogramm @Risk durchgeführt (siehe Abb. 7-14). In beiden Fällen (öffentliche und private AG) können die Expertenangaben mit sehr guter Übereinstimmung (KS-Test) durch LogLogistic-Verteilungen abgebildet werden.[34)]

[34)] Sowohl bei privaten als auch bei öffentlichen AG wird die vorhandene Datenbasis nur durch eine ‚Extremwertverteilung' geringfügig besser angepasst (KS-Test). Dieser Verteilungstyp hat allerdings die Eigenschaft beidseitig offen zu sein, was für Mengenabweichungen besonders für Mengenunterschreitungen von mehr als 100 % inhaltlich nicht plausibel ist.

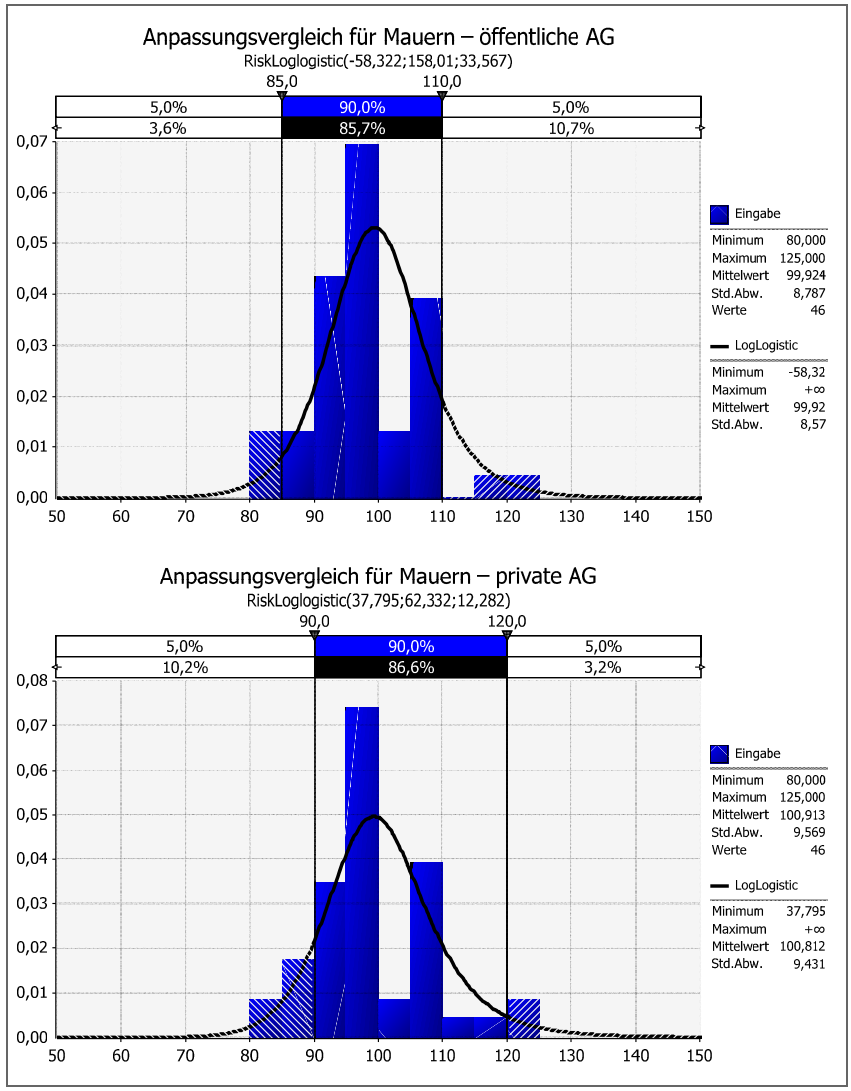


Abb. 7-14 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Mauerarbeiten – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG

7.2.2.6 Vergleich der Mengenabweichungen

Eine direkte Gegenüberstellung der Bandbreiten für Mengenabweichungen auf Basis der Expertennennungen zeigt, dass besonders bei den Mengenüberschreitungen der Schalarbeiten eine größere Bandbreite bei öffentlichen AG erwartet wird. In Abb. 7-15 sind die Spannweiten aller Nennungen (heller Balken) und die Bandbreiten zwischen den ermittelten M-Schätzern der Mengenmehrung und Mengenminderung (dunkler Balken) für das Schalen, Bewehren, Betonieren und Mauern sowie für private und öffentliche AG aufgetragen.

Bei den Mauerarbeiten und beim Betonieren zeigen sich unabhängig von der Art der AG ähnliche Antworten für die Mengenabweichungen. Tendenziell weisen die öffentlichen AG für diese beiden Arbeiten etwas geringere Bandbreiten der M-Schätzer auf.

Bei den Bewehrungsarbeiten wird grundsätzlich bei privaten AG die Bandbreite für eine Mengenunterschreitung größer eingeschätzt als bei öffentlichen AG – unabhängig, ob es sich um Stab- oder Mattenstahl handelt. Die größte Spannweite aller abgefragten Mengenabweichungen (75 %) zeigt sich bei den Bewehrungsarbeiten mit Stabstahl bei privaten AG (zwischen 60 und 135 %). Die ermittelte Bandbreite der M-Schätzer für die Bewehrungsmengen ist sowohl bei Stab- als auch bei Mattenstahl bei öffentlichen AG geringer als bei privaten.

Bei den Schalarbeiten wurde von den Experten allgemein die Möglichkeit von Mengenmehrungen höher eingeschätzt als für Mengenminderungen. Allerdings weist die Bandbreite aller Nennungen für öffentliche AG eine deutlich größere Spannweite für die Mengenabweichungen auf (60 %) als für private AG (40 %). Die errechnete Bandbreite der M-Schätzer ist für öffentliche und private AG nahezu identisch.

Die geringsten Unsicherheiten für Mengenunterschreitungen werden von den Experten bei den Schalungsmengen und für Mengenüberschreitungen bei Mattenstahl (jeweils bei privaten AG) erwartet. Die größten Unsicherheiten sehen die Experten bei Mengenunterschreitungen von Matten- und Stabstahl bei privaten AG und bei Mengenmehrungen von Matten- und Stabstahl sowie der Schalung bei öffentlichen AG.

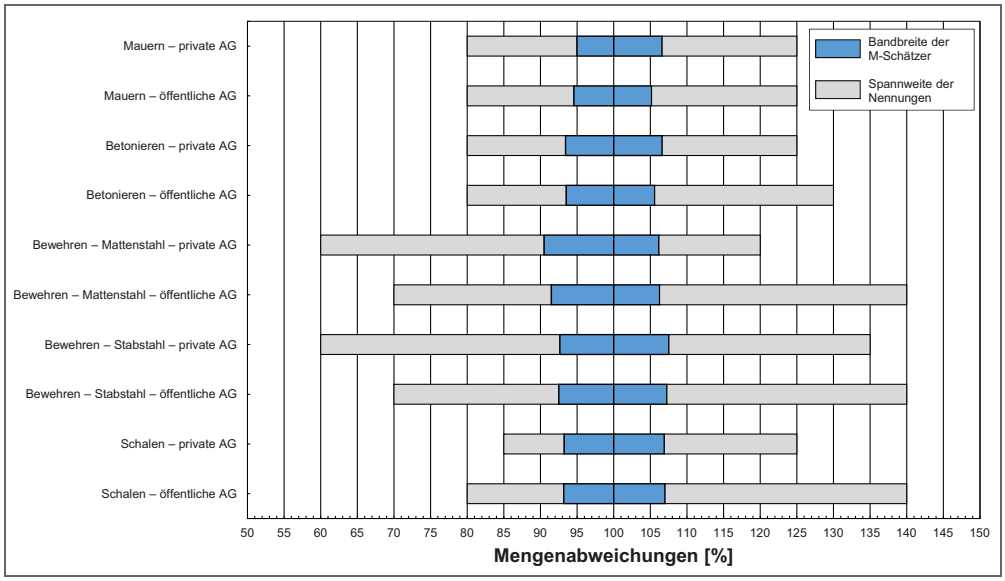


Abb. 7-15 Mengenabweichungen – Spannweiten der Expertenangaben und Bandbreiten der M-Schätzer

Abb. 7-16 zeigt zusätzlich zu den Bandbreiten der Nennungen auch die Violinplots der Expertennennungen. Violinplots stellen eine Erweiterung der bekannten Boxplots dar. Sie kombinieren die Informationen einer Dichtefunktion (oder eines geglätteten Histogramms) mit jenen eines Boxplots in einem Diagramm. Der Vorteil von Violinplots liegt darin, dass neben den Informationen eines Boxplots auch noch die Verteilungscharakteristika grafisch dargestellt werden. Der Dichteverlauf wird dabei symmetrisch ober- und unterhalb des (vertikalen) Boxplots aufgetragen.[35)] Die beiden Hälften des Violinplots

unterscheiden sich nur in der Richtung, in der die Dichte aufgetragen wird. Sie sind also entlang der Achse, auf welcher der betrachtete Parameter aufgetragen wird, gespiegelt. Diese symmetrische Darstellung erleichtert die Interpretation und den Vergleich mehrerer nebeneinander aufgetragener Verteilungen.[36)]

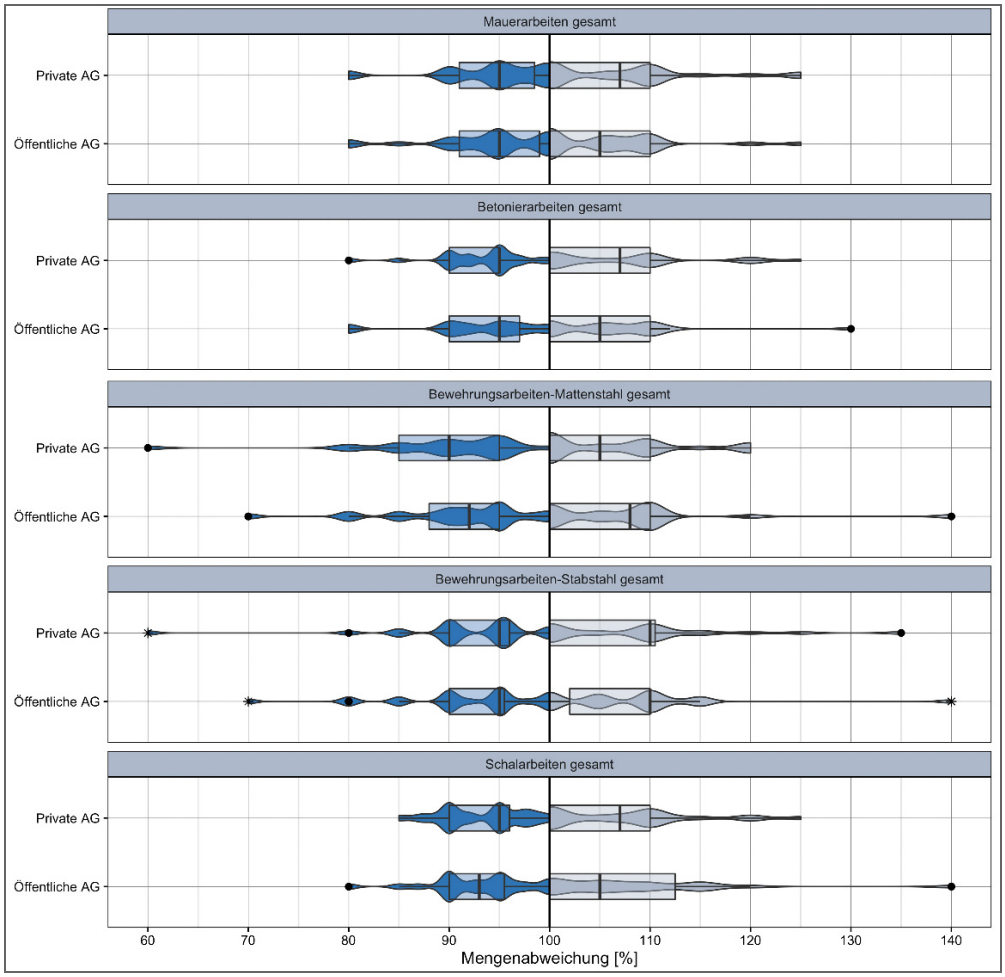


Abb. 7-16 Violinplots der Mengenabweichungen – Schalen, Bewehren, Betonieren und Mauern – Öffentliche und private AG

Violinplots haben weiters den Vorteil, dass die Form der Verteilung bzw. vorhandene Anhäufungen in bestimmten Wertebereichen besser ersichtlich sind. Diese Informationen können bei den klassischen Boxplots verloren gehen. Je häufiger Taillierungen in der Darstellung des Violinplots ersichtlich sind, desto eher wurden gehäufte Nennungen der Experten in bestimmten Wertebereichen angegeben. Bei der Mengenmehrung von Mauerarbeiten bei privaten AG zeigt sich beispielsweise eine Häufung der Nennungen bei 100 % und bei 110 %. zwischen diesen beiden Werten verläuft der Violinplot mit geringer

35) Analog können Box- und Violinplots auch vertikal dargestellt werden.

36) Vgl. Hintze/Nelson (1998), S. 181f.

Breite eher flach, was auf annähernd gleich verteilte Nennungen innerhalb dieses Bereichs schließen lässt. Sind in einem Wertebereich keine Nennungen vorhanden, reduziert sich die Fläche des Violinplots in diesem Bereich auf null und wird als Linie dargestellt (siehe z.B. Mengenunterschreitung bei Mauerarbeiten – private AG – im Bereich von 85 %). Ausreißer werden in Abb. 7-16 als Kreise/Punkte und Extremwerte als Sterne dargestellt. Die Anzahl der Nennungen kann nicht direkt aus der Darstellung der Violinplots abgelesen werden, da auch die Anzahl der zugrunde liegenden Antworten nicht angegeben ist. Daher wurden in den vorhergehenden Abschnitten auch jeweils die deskriptiven Datenauswertungen angeführt. Neben den Violinplots sind in Abb. 7-16 auch die klassischen Boxplots in die Darstellung integriert. Der dickere Strich innerhalb der Boxen gibt die Lage des Medians an.

Unter Einbezug der Daten aus der Expertenbefragung kann die Eingabe der Parameter für die gefitteten Verteilungsfunktionen für die Mengenabweichungen anwendungsfreundlich optimiert werden (siehe Abschnitt 7.2.1.3).

Neben der Wahl der Verteilungsfunktionen haben aber auch Korrelationen (Abhängigkeiten) zwischen den Inputparametern einen Einfluss auf die ermittelten Outputs einer probabilistischen Berechnung.

7.3 Erhebung von Korrelationen

Die Erhebung von Korrelationen erfolgt üblicherweise indirekt durch die Analyse vorhandener Datenreihen, die aus Messungen, Befragungen, Experimenten etc. stammen und hinsichtlich ihres linearen Zusammenhangs untersucht werden (siehe Abb. 6-20 – Seite 225).

Eine weitere Möglichkeit stellt die direkte Erhebung von Korrelationskoeffizienten anhand von Expertenbefragungen dar. Im Rahmen der Befragung, die an der TU Graz 2015/16 von *Kummer/Hofstadler* durchgeführt wurde, haben Experten für die Zusammenhänge zwischen bestimmten Parametern Einschätzungen zu den korrespondierenden Korrelationskoeffizienten abgegeben. Dies erfolgte unter Berücksichtigung der Ermittlung des Gesamt-Aufwandswerts für die Stahlbetonarbeiten. Die Auswertung erfolgte in Form von Violinplots und deskriptiven Statistiken. Weiters wurden Mittelwerte und M-Schätzer gebildet, die eine fundierte Empfehlung für den Ansatz von Korrelationen bei der Ermittlung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten liefern.

7.3.1 Gesamt-Aufwandswert für die Stahlbetonarbeiten

Die Arbeitsintensität für die Stahlbetonarbeiten eines Bauwerks oder Bauteile wird durch die Kennzahl des Gesamt-Aufwandswerts AW_{STB} [Std/m³] ausgedrückt. Dieser gibt den Arbeitsaufwand für die Stahlbetonarbeiten bezogen auf den Kubikmeter Beton an. Der Gesamt-Aufwandswert ist der Durchschnittswert für die gesamten Stahlbetonarbeiten eines Bauwerks oder von Bauteilgruppen. In der Größenordnung des Gesamt-Aufwandswerts für die Stahlbetonarbeiten sind alle systemimmanenten Tätigkeiten wie Schalen, Bewehren und Betonieren zu berücksichtigen.[37)]

[37)] Vgl. Hofstadler (2008), S. 302

Zur globalen Betrachtung der Arbeitsintensität eines Bauwerks – in der Phase der Grobplanung – werden die spezifischen Aufwandswerte für das Schalen AW_S [Std/m²], Bewehren AW_{BW} [Std/t] und Betonieren AW_{BT} [Std/m³] nach Glg. (7-13) zum Gesamt-Aufwandswert zusammengefasst.

$$AW_{STB} = AW_S \cdot s_g + AW_{BW} \cdot bw_g + AW_{BT} \tag{7-13}$$

Im ersten Term wird das Produkt aus dem mittleren Aufwandswert für die Schalarbeiten [Std/m²] und dem Schalungsgrad s_g [m²/m³] gebildet. Aus der Multiplikation des mittleren Aufwandswerts für die Bewehrungsarbeiten [Std/t] und dem Bewehrungsgrad bw_g [kg/m³] folgt der zweite Term. Am Ende steht der mittlere Aufwandswert für die Betonarbeiten [Std/m³].

Glg. (7-13) enthält insgesamt fünf Berechnungsparameter, von denen das Ergebnis des Gesamt-Aufwandswerts abhängt. Zwischen diesen fünf Eingangsgrößen können insgesamt 10 mögliche Abhängigkeiten bzw. Korrelationen herrschen (siehe Abb. 7-17).

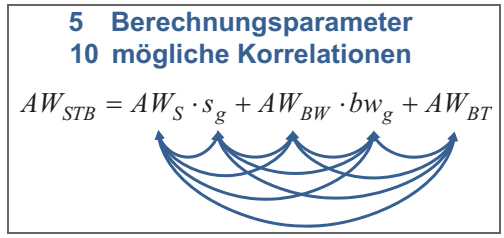


Abb. 7-17 Mögliche Korrelationen zwischen den Berechnungsparametern des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten

Im Zuge der Expertenbefragung wurden die Teilnehmer befragt, wie sie die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Parametern für die Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts einschätzen. Es konnten dabei in 0,1-Schritten Korrelationen zwischen -1,0 und +1,0 gewählt werden. Eine Korrelation von 0,0 beschreibt dabei eine völlige Unabhängigkeit zwischen zwei Berechnungsparametern. Eine Änderung des einen Inputs wirkt sich dabei nicht auf den anderen aus.

Zusätzlich wurden die positiven und negativen Abhängigkeiten inhaltlich beschrieben, um bei den Experten das Verständnis zu erhöhen.

Positive Abhängigkeiten sind demnach so zu verstehen, dass mit dem Anstieg eines Parameters auch der zweite ansteigt. Änderungen eines Parameters führen zu einer gleichgerichteten Änderung des korrelierten Parameters. Steigt z.B. der Schalungsgrad, erhöht sich auch der Aufwandswert für das Schalen.

Negative Abhängigkeiten sind entsprechend so aufzufassen, dass bei der Erhöhung eines Parameters der korrelierte Parameter sinkt (und umgekehrt). Änderungen eines Berechnungsparameters führen also zu einer entgegengesetzten Änderung des zweiten Parameters. Steigt z.B. der Bewehrungsgrad, sinkt der Aufwandswert für das Bewehren.

Die Stärke der jeweiligen quantitativ ausgeprägten Korrelation kann wie folgt beschrieben werden:

- 0,9 bis 1,0 sehr stark
- 0,7 bis 0,8 stark
- 0,5 bis 0,6 mittel
- 0,3 bis 0,4 schwach
- 0,1 bis 0,2 sehr schwach
- 0,0 unabhängig
- -0,1 bis -0,2 sehr schwach
- -0,3 bis -0,4 schwach
- -0,5 bis -0,6 mittel
- -0,7 bis -0,8 stark
- -0,9 bis -1,0 sehr stark

Im nächsten Abschnitt werden die Ergebnisse der Expertenbefragung sowohl grafisch als auch tabellarisch in Form von deskriptiven Statistiken dargestellt und beschrieben.

7.3.2 Ergebnisse der Expertenbefragung

Korrelationen werden üblicherweise durch die statistische Auswertung vorhandener Daten ermittelt. Im Baubetrieb und der Bauwirtschaft liegt eine derartige Datenbasis meist nicht vor, die Zusammenhänge zwischen einzelnen Berechnungsparametern sind aber durchaus vorhanden und teilweise aufgrund der baubetrieblichen oder bauwirtschaftlichen Charakteristik nachvollziehbar. Im Zuge der Expertenbefragung wurde eruiert, ob Experten überhaupt in der Lage sind, Werte für Korrelationen einzuschätzen und anzugeben bzw. plausibel zu begründen. Zu diesem Zweck wurde mit jedem der Experten eine mündliche Fragebogenerörterung durchgeführt, in der offene Fragen und Verständnisprobleme ausgeräumt werden konnten.

Von den Experten wurden für die abgefragten Abhängigkeiten überwiegend positive Korrelationen angegeben. Demonstrative Gründe für die Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern werden nachfolgend angeführt:[38)]

Schalungsgrad s_g [m²/m³] und Bewehrungsgrad bw_g [kg/m³]

Der Zusammenhang zwischen Schalungs- und Bewehrungsgrad wird als positiv angesehen. Der Schalungsgrad beschreibt den Zusammenhang zwischen Schalungsfläche und Betonmenge und gibt damit Aufschluss über die Feingliedrigkeit eines Bauwerks oder Bauteils. Bei einer Änderung des Schalungsgrads wird von den Experten mehrheitlich auch eine gleichgerichtete Änderung des Bewehrungsgrads erwartet. Steigt demnach der Schalungsgrad, wird auch ein Anstieg des Bewehrungsgrads erwartet. Sinkt der Schalungsgrad, rechnen die Experten ebenfalls mit einem niedrigeren Bewehrungsgrad. Es wird also vermutet, dass feingliedrigere Bauteile grundsätzlich die Tendenz höherer Bewehrungsmengen je m³ Beton aufweisen – und umgekehrt.

Schalungsgrad s_g [m²/m³] und Aufwandswert für das Schalen AW_S [Std/m²]

Bei feingliedrigeren Gebäuden/Gebäudeteilen/Bauteilen (hoher Schalungsgrad) wird hinsichtlich der Stahlbetonarbeiten tendenziell ein höherer Aufwand für das Schalen erwartet, als bei Konstruktionen mit einem niedrigen Schalungsgrad. Die Mehrheit der

[38)] Vgl. Kummer (2015a), S. 246ff.

Experten gab hier einen mittleren positiven Zusammenhang an. Bei einem hohen Schalungsgrad steigt üblicherweise der Anteil an Passflächen und konventionell herzustellenden Schalungsteilen (Abschalungen, Aussparungen etc.), was mit einem höheren Aufwand verbunden ist.

Schalungsgrad s_g [m²/m³] und Aufwandswert für das Bewehren AW_{BW} [Std/t]

Ein hoher Anteil an Schalungsflächen erhöht in der Regel auch den Aufwand für das Bewehren, da mehr Bewehrungspositionen, mehr kompliziert gebogene Bewehrungsstäbe, weniger Mattenanteil, mehr Verbügelungen und insgesamt eine aufwändigere Bewehrungsführung unter engeren Platzverhältnissen erwartet wird.

Schalungsgrad s_g [m²/m³] und Aufwandswert für das Betonieren AW_{BT} [Std/m³]

Zwischen dem Schalungsgrad und dem Aufwandswert für das Betonieren wird ebenfalls ein positiver Zusammenhang gesehen. Massive Bauteile, die einen geringen Schalungsgrad aufweisen, sind in der Regel leichter zu betonieren als feingliedrigere Bauteile. Begründet wird dies durch evtl. vorhandene Aussparungen/Öffnungen, die das Einfüllen und Verdichten des Betons erschweren, und nicht zuletzt die Problematik der Steiggeschwindigkeit, die vor allem bei schlanken vertikalen Bauteilen maßgebend für die Betoniergeschwindigkeit und damit für den Aufwandswert beim Betonieren verantwortlich ist.

Bewehrungsgrad bw_g [kg/m³] und Aufwandswert für das Schalen AW_S [Std/m²]

Ändert sich der Bewehrungsgrad, wird auch eine gleichgerichtete Änderung des Aufwandswerts für das Schalen vermutet. Ein steigender Bewehrungsgrad führt demnach tendenziell zu einem steigenden Aufwandswert für das Schalen (und umgekehrt). Begründet wird dies dadurch, dass es bei vertikalen Bauteilen zu Schwierigkeiten beim Schließen der Schalung kommen kann, allgemein die Abschalung im Bereich der Anschlussbewehrung mit größerem Aufwand verbunden ist und dass zur Einhaltung der Betondeckung Nacharbeiten erforderlich werden können.

Bewehrungsgrad bw_g [kg/m³] und Aufwandswert für das Bewehren AW_{BW} [Std/t]

Für den Großteil der Experten lieferte die Frage nach dem Zusammenhang zwischen dem Bewehrungsgrad und dem Aufwandswert für das Bewehren ein sehr eindeutiges Ergebnis. Hier wird eine positive Korrelation vermutet, die dadurch begründet wird, dass bei einem hohen Bewehrungsgrad tendenziell mehr Bewehrungspositionen, kompliziertere Bewehrungspläne, eine dichtere Bewehrungsführung und ein größerer Aufwand beim Ausbessern von Verlegefehlern vermutet werden.
Weiters gab es bei diesem erfragten Zusammenhang aber auch zwei Ausreißer und einen Extremwert bei denen eine Unabhängigkeit bzw. eine negative Korrelation zwischen den beiden angeführten Parametern angegeben wurden. Dies wurde damit begründet, dass ein Anstieg des Bewehrungsgrads auch durch die reine Vergrößerung der Stabdurchmesser der Bewehrung erfolgen kann. Größere Stabdurchmesser weisen im Allgemeinen (bei gleicher Bewehrungsführung) einen geringeren Aufwandswert [Std/t] auf als kleinere Stabdurchmesser.
Damit erscheint hier auch eine negative Korrelation plausibel, sofern nur von einer reinen Veränderung der Stabdurchmesser ausgegangen wird. Meist sind mit einer Änderung der Bewehrungsgrade aber auch andere Bewehrungsführungen und Verbügelungen verbunden, die sich entsprechend der Änderung des Bewehrungsgrads auch entsprechend gleichgerichtet auf den Aufwandswert der Bewehrung auswirken (positive Korrelationen).

Bewehrungsgrad bw_g [kg/m³] und Aufwandswert für das Betonieren AW_{BT} [Std/m³]

Nach Meinung der Experten sinkt bei verringertem Bewehrungsgrad in der Regel auch der Aufwand für das Betonieren, da genügend Einfüllöffnungen vorhanden sind, das Verdichten des Betons leichter vonstattengeht und die Gefahr von hängenbleibenden Innenrüttlern geringer ist. Auch die Betonrezeptur (Größtkorn, Konsistenz etc.) ist bei geringeren Bewehrungsgraden nicht so kritisch wie bei hochbewehrten Bauteilen.

Aufwandswert für das Schalen AW_S [Std/m²] und Aufwandswert für das Bewehren AW_{BW} [Std/t]

Zwischen dem Aufwandswert für das Schalen und dem Aufwandswert für das Bewehren wird ein leicht positiver Zusammenhang vermutet. Tritt ein höherer Aufwand für das Schalen ein, kommt es tendenziell auch zu einer Erhöhung des Aufwandswerts für das Bewehren. Die Experten begründeten ihre Angaben damit, dass sie auch

- zwischen dem Schalungsgrad und dem Bewehrungsgrad,
- zwischen dem Schalungsgrad und den Aufwandswerten für Schalen und Bewehren sowie
- zwischen dem Bewehrungsgrad und den Aufwandswerten für das Schalen und Bewehren

positive Abhängigkeiten vermutet haben und dass für die Korrelation zwischen den Aufwandswerten für das Schalen und Bewehren damit auch ein positiver Wert zu erwarten wäre.

Aufwandswert für das Schalen AW_S [Std/m²] und Aufwandswert für das Betonieren AW_{BT} [Std/m³]

Für die beiden Aufwandswerte (Schalen und Betonieren) wird ein ähnlich positiver Zusammenhang mit ähnlicher Argumentation wie zwischen den Aufwandswerten für das Schalen und Bewehren angegeben. Steigt der Schalungsgrad, wird damit ein höherer Aufwandswert für das Schalen und auch für das Betonieren vermutet. Das Gleiche gilt bei einem Anstieg des Bewehrungsgrads. Im Umkehrschluss wird auch zwischen den Aufwandswerten für das Schalen und Betonieren ein positiver Zusammenhang erwartet.

Aufwandswert für das Bewehren AW_{BW} [Std/t] und Aufwandswert für das Betonieren AW_{BT} [Std/m³]

Da die Korrelation zwischen Bewehrungsgrad und den Aufwandswerten für das Bewehren und Betonieren bereits mehrheitlich positiv angegeben wurde, wird auch zwischen den beiden Aufwandswerten für das Bewehren und Betonieren eine positive Abhängigkeit vermutet.

Tab. 7-10 und Tab. 7-11 zeigen die deskriptive Statistik der erhobenen Korrelationen zwischen den einzelnen Berechnungsparametern. Es wurde jedoch nicht jeder der 29 abgegebenen Fragebögen von allen Experten vollständig ausgefüllt (Anzahl der Nennungen – siehe Zeile 1 in den Tab. 7-10 und Tab. 7-11).

Lfd. Nr.	Parameter	s_g – bw_g	s_g – AW_S	s_g – AW_{BW}	s_g – AW_{BT}	bw_g – AW_S
0	A	B	C	D	E	F
1	n	25,00	26,00	25,00	25,00	25,00
2	Mittelwert	0,52	0,49	0,48	0,51	0,36
3	Standardfehler des MW	0,05	0,08	0,06	0,06	0,06
4	Standardabweichung	0,26	0,41	0,31	0,29	0,32
5	Variationskoeffizient	49,96 %	83,58 %	64,77 %	56,74 %	88,57 %
6	Median	0,50	0,60	0,50	0,50	0,30
7	MAD	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30
8	robuster Variationskoeffizient (basierend auf Median)	40,00 %	33,33 %	40,00 %	40,00 %	100,00 %
9	Modus	0,50	0,70	0,50	0,60	0,00
10	Minimum	0,00	-0,60	-0,20	0,00	0,00
11	Maximum	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
12	Spannweite	1,00	1,60	1,20	1,00	1,00
13	Schiefe	-0,55	-1,06	-0,57	-0,24	0,48
14	M-Schätzer (H12 (80 %))	0,54	0,54	0,50	0,52	0,34
15	Standardabweichung (H12 (80 %))	0,23	0,38	0,32	0,32	0,35
16	robuster Variationskoeffizient (basierend auf M-Schätzer)	41,88 %	71,32 %	65,00 %	60,62 %	101,68 %
17	Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein

Tab. 7-10 Deskriptive Darstellung zu den Angaben der Korrelationen zwischen Parametern zur Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten – Teil 1

Lfd. Nr.	Parameter	bw_g – AW_{BW}	bw_g – AW_{BT}	AW_S – AW_{BW}	AW_S – AW_{BT}	AW_{BW} – AW_{BT}
0	A	B	C	D	E	F
1	n	27,00	26,00	24,00	25,00	25,00
2	Mittelwert	0,62	0,59	0,39	0,32	0,52
3	Standardfehler des MW	0,08	0,04	0,07	0,06	0,05
4	Standardabweichung	0,42	0,21	0,34	0,28	0,24
5	Variationskoeffizient	67,27 %	35,65 %	87,36 %	87,88 %	45,27 %
6	Median	0,70	0,60	0,40	0,40	0,60
7	MAD	0,20	0,15	0,30	0,20	0,10
8	robuster Variationskoeffizient (basierend auf Median)	28,57 %	25,00 %	75,00 %	50,00 %	16,67 %
9	Modus	0,80	0,60	0,00	0,00	0,50
10	Minimum	-0,80	0,20	0,00	0,00	0,00
11	Maximum	1,00	0,90	1,00	1,00	1,00
12	Spannweite	1,80	0,70	1,00	1,00	1,00
13	Schiefe	-2,04	-0,27	0,15	0,43	-0,57
14	M-Schätzer (H12 (80 %))	0,70	0,60	0,39	0,31	0,53
15	Standardabweichung (H12 (80 %))	0,26	0,25	0,41	0,32	0,22
16	robuster Variationskoeffizient (basierend auf M-Schätzer)	37,68 %	42,00 %	105,10 %	101,50 %	41,36 %
17	Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja

Tab. 7-11 Deskriptive Darstellung zu den Angaben der Korrelationen zwischen Parametern zur Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten – Teil 2

Die Standardfehler der Mittelwerte nehmen relativ niedrige Werte an, womit tendenziell von einer erwartungsgetreuen Schätzung ausgegangen werden kann. Der Variationskoeffizient liegt zwischen ca. 36 % und 89 %. Die geringsten robusten Variationskoeffizienten[39] (basierend auf den M-Schätzern) ergeben sich bei folgenden Zusammenhängen:

- Bewehrungsgrad bw_g und Aufwandswert für das Bewehren AW_{BW} (Tab. 7-11 – Spalte B)
- Aufwandswert für das Bewehren AW_{BW} und Aufwandswert für das Betonieren AW_{BT} (Tab. 7-11 – Spalte F)
- Schalungsgrad s_g und Bewehrungsgrad bw_g (Tab. 7-10 – Spalte B)
- Bewehrungsgrad bw_g und Aufwandswert für das Betonieren AW_{BT} (Tab. 7-11 – Spalte C)

[39] Hier gab es bei den Schätzungen der Experten tendenziell die größte Übereinstimmung. Die Antworten weisen hier die geringste Streuung auf.

Die Antworten weisen großteils eine linksschiefe Verteilung auf. Inhaltlich bedeutet dies, dass eine Häufung der Antworten bei den höheren Korrelationswerten vorliegt.

Abb. 7-18 zeigt die Violinplots der Expertenangaben zu den Korrelationen der Berechnungsparameter für die Ermittlung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten. Es sind nur vereinzelt negative Korrelationswerte erkennbar, der überwiegende Teil der Antworten sind positive Korrelationen. Für einige Zusammenhänge wurde von einzelnen Experten auch angegeben, dass keine Abhängigkeiten vermutet werden (r = 0).

Bei den Zusammenhängen zwischen bw_g – AW_S, AW_S – AW_{BW} und AW_S – AW_{BT} sind aus Abb. 7-18 bimodale Verteilungen zu erkennen. Eine Häufung der Antworten erfolgt neben den positiven Korrelationswerten auch bei r = 0. Aus einer vertieften Analyse konnte kein Zusammenhang zwischen der Berufserfahrung und den Nennungen der Korrelationen bei dieser Frage festgestellt werden.

Es sind vereinzelt Extremwerte und Ausreißer zu erkennen, die den Mittelwert der Korrelationen entsprechend verzerren. Es wird daher die Anwendung der M-Schätzer nach *Huber* empfohlen.

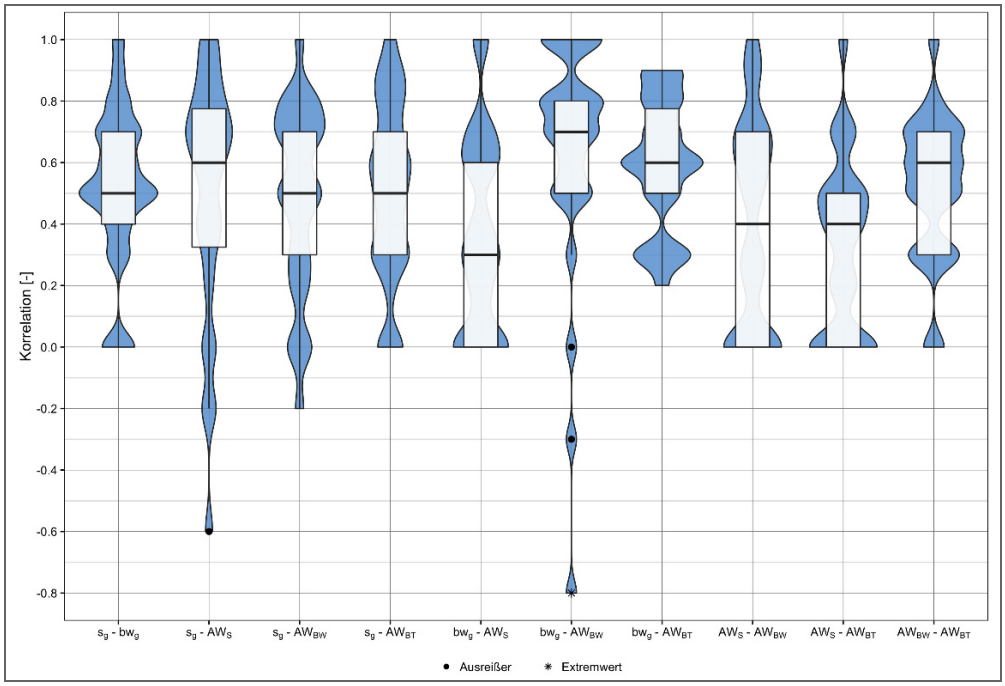


Abb. 7-18 Korrelationen zwischen den Parametern des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten

Die M-Schätzer der Korrelationen aus Tab. 7-10 und Tab. 7-11 führen zur Korrelationsmatrix für die Berechnungsparameter des Gesamt-Aufwandswerts für die Stahlbetonarbeiten in Tab. 7-12. Dieses zentrale Ergebnis der Expertenbefragung ermöglicht es, die realen Abhängigkeiten der Inputparameter für den Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten systematisch in den Simulationen zu berücksichtigen.

Korrelationen	AW_S	s_g	AW_{BW}	bw_g	AW_{BT}
AW_S	1,00				
s_g	0,54	1,00			
AW_{BW}	0,39	0,50	1,00		
bw_g	0,34	0,54	0,70	1,00	
AW_{BT}	0,31	0,52	0,53	0,60	1,00

Tab. 7-12 Korrelationsmatrix mit den M-Schätzern der Expertenbefragung

Zusätzlich wurden im Zuge der Analyse der Expertenangaben jene Korrelationsmatrizen, die von den Experten vollständig angegeben wurden, auf Konsistenz überprüft. Von den insgesamt 24 vollständigen Angaben (alle 10 Korrelationskoeffizienten angegeben) wiesen 14 eine konsistente Matrix auf, mit denen ohne Anpassung eine Simulation durchgeführt hätte werden können.

Experten sind demnach durchaus in der Lage Korrelationskoeffizienten abzuschätzen. In weiterer Folge können diese dann in eine konsistente Matrix übergeführt werden. Diese Erhebung von Korrelationskoeffizienten anhand von Expertenschätzungen sollte zwar nicht einer mathematischen Ermittlung basierend auf einer soliden Datenbasis vorgezogen werden, kann aber durchaus brauchbare Hinweise liefern, wenn keine Daten vorliegen oder nicht erhoben werden können. Im Hintergrund sollten die Anwender immer die Grundlagen zur Anwendung von Korrelationen bei der Durchführung von Monte-Carlo-Simulationen berücksichtigen und die Ergebnisse auf Plausibilität prüfen. Als Vergleichsrechnung kann immer eine Simulation mit unkorrelierten Parametern durchgeführt werden, um die Auswirkungen auf den Output zu prüfen.[40)]

Anhand der Ermittlung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten wird mit einem Beispiel gezeigt, wie eine derartige Gegenüberstellung erfolgen kann.

7.3.3 Auswirkungen von Korrelationen auf den Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten

Anhand der erhobenen M-Schätzer für die Korrelationen zwischen den Inputparametern zur Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten AW_{STB} [Std/m³] wird mit einem Beispiel gezeigt, welchen Einfluss diese Korrelationen gegenüber unkorrelierten Parametern auf den Output einer Monte-Carlo-Simulation (Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren – 50.000 Iterationen) aufweisen. Die Inputparameter werden vereinfacht mit Dreiecksverteilungen belegt. Die Eingabedaten (Minimum, erwarteter Wert und Maximum) für jeden der fünf Inputparameter sind in Tab. 7-13 dargestellt.

Ldf. Nr.	Berechnungsparameter		Einheit	MIN	ERW	MAX
0	A	B	C	D	E	F
1	Aufwandswert für die Schalarbeiten	AW_S	Std/m²	1,00	1,20	1,60
2	Schalungsgrad	s_g	m²/m³	2,70	3,00	3,30
3	Aufwandswert für die Bewehrungsarbeiten	AW_{BW}	Std/t	12,00	13,00	16,00
4	Bewehrungsgrad	bw_g	kg/m³	100,00	115,00	140,00
5	Aufwandswert für die Betonarbeiten	AW_{BT}	Std/m³	0,90	1,00	1,30

Tab. 7-13 Eingabedaten für die Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten

40) Vgl. Kummer (2015a), S. 250

Als deterministisches Berechnungsmodell für die Simulation wird die Gleichung für die Ermittlung des Gesamt-Aufwandswerts (siehe Glg. (7-13)) herangezogen. Die Berechnungen werden einmal mit unabhängigen Parametern (r = 0) und einmal unter Berücksichtigung der Korrelationskoeffizienten, die im Zuge der Expertenbefragung als M-Schätzer ermittelt wurden, durchgeführt. Die für das Beispiel angesetzte Korrelationsmatrix ist in Tab. 7-12 ersichtlich.

In Abb. 7-19 ist zu erkennen, dass sich die Streuung des Gesamt-Aufwandswerts unter Einbeziehung der Korrelationen erhöht. Dies wird damit begründet, dass einerseits nur positive Korrelationen zum Einsatz kommen, andererseits in der deterministischen Berechnungsvorschrift (siehe Glg. (7-13)) lediglich Additionen und Multiplikationen vorkommen. Diese beiden Rechenoperationen in Kombination mit positiven Korrelationen bewirken eine Vergrößerung der Bandbreite der Simulationsergebnisse bei gleichen Eingangsparametern (siehe auch Abschnitt 6.5.2 – Seite 228ff.).

Eine unkorrelierte Betrachtung würde gegenüber einer Simulation mit korrelierten Eingangsparametern hohe und niedrige Aufwandswerte zu gering gewichten und evtl. weiterführende Berechnungen verfälschen. Insgesamt zeigt sich hier bei korrelierten Inputs im Zuge der Simulation eine größere Bandbreite möglicher Ergebnisse.

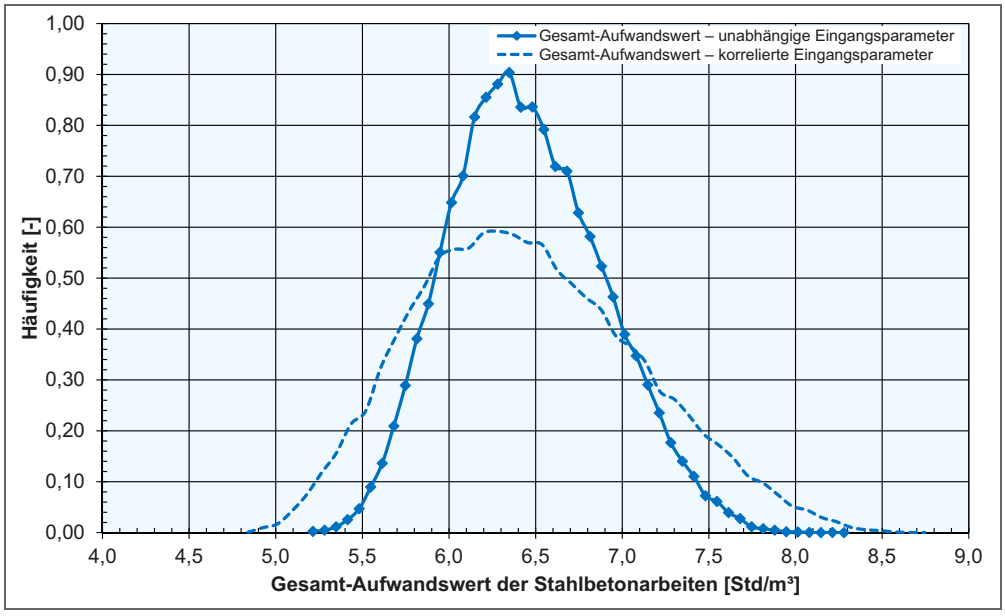


Abb. 7-19 Vergleich des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten auf Basis von unabhängigen und korrelierten Eingangsparametern

Durch die Vernachlässigung der Korrelationen und die Voraussetzung von unabhängigen Berechnungsparametern ergibt sich eine Verringerung der Spannweite der Ergebnisse und damit auch eine Unterschätzung der vorhandenen Unsicherheiten.

Können Korrelationen zwischen den Eingangsparametern nicht definiert oder abgeschätzt werden, helfen Sensitivitätsanalysen dabei die Auswirkungen dieser auf die Simulationsergebnisse (besonders auf die Bandbreiten der Ergebnisse) aufzuzeigen und in den weiteren Betrachtungen, Überlegungen und Entscheidungen zu berücksichtigen.

7.4 Interpretation von Simulationsergebnissen

Ergebnisse probabilistischer Berechnungen sind besonders für Techniker auf den ersten Blick ungewohnt, da nicht eine einzelne Zahl, sondern eine Verteilung möglicher Ergebnisse bzw. ein Histogramm ermittelt wird. Diese Darstellungsform erfordert eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Interpretation der Ergebnisse. Dabei spielt auch die Risikoneigung des Anwenders oder Entscheiders eine wesentliche Rolle.

Die richtige Interpretation von Simulationsergebnissen ist entscheidend, um einen Mehrwert aus probabilistischen Berechnungen zu generieren. Die Ergebnisse einer Simulation werden im Allgemeinen als Histogramme dargestellt, die entsprechend interpretiert werden müssen, um die gewünschten Informationen für weitere Überlegungen und Entscheidungen zu erhalten.

In diesem Abschnitt wird zunächst auf das Verständnis von Histogrammen eingegangen und anhand eines mechanischen zufallsbedingten Kugelspiels (Galtonbrett) gezeigt, wie Verteilungen zustande kommen und welche Aussagen über Eintrittswahrscheinlichkeiten getroffen werden können. Es erfolgt in weiterer Folge die Überführung dieses mechanischen Beispiels auf die Ergebnisse numerischer Simulationen.

Es wird besonders auf Quantilwerte und die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit eingegangen sowie praxisgerechte Überlegungen zur Entscheidungsfindung und zur Wahl eines Chancen-Risikoverhältnisses angestellt.

Weitere Darstellungsmöglichkeiten die zur Interpretation von Simulationsergebnissen herangezogen werden können, sind Sensitivitätsanalysen wie z.B. Tornado-, Punkt- und Spiderdiagramme.[41)]

7.4.1 Histogramme

Was Histogramme sind, wurde bereits in Abschnitt 2.4.3 erörtert. Hier wird näher auf das Verständnis und das Zustandekommen von Histogrammen eingegangen. Als Erklärungsmodell für die Generierung von Histogrammen dient eine mechanische Konstruktion, die als Galtonbrett bezeichnet wird.

Es handelt sich dabei um eine vertikal angeordnete Konstruktion, bei der regelmäßig angeordnete Hindernisse den Weg einer nach unten fallenden Kugel nach rechts oder links ablenken. Nachdem die Kugel die Hindernisse passiert hat, wird sie in Fächern am unteren Rand der Konstruktion aufgefangen (siehe Abb. 7-20). Würden keine Hindernisse den direkten Weg der Kugel versperren, würde diese entlang der vertikalen Falllinie direkt in das mittlere Fach der Auffangkonstruktion fallen. Es würde sich ein deterministischer Zustand einstellen, bei dem direkt und mit Sicherheit auf das Ergebnis des Versuchs geschlossen werden könnte.

Durch die eingebauten Hindernisse werden Störeinflüsse und zufällige Ereignisse symbolisiert, die einen Einfluss auf das Ergebnis des Versuchs (das Fach in das die Kugel schließlich fällt) haben. Diese Störungen und Zufälligkeiten können sich dabei über den zurückgelegten Weg der Kugel addieren und insgesamt zu einer sehr großen Abweichung des Ergebnisses gegenüber einem Versuch ohne Hindernisse führen, oder sich auch gegenseitig aufheben.

41) Vgl. Palisade Corporation (2013), S. 52ff.

Wird der Versuch mit mehreren Kugeln wiederholt, zeigen sich in den Fächern der Auffangkonstruktion unterschiedliche Füllhöhen. Diese Füllhöhen sind über unterschiedliche Wege der Kugeln, bedingt durch die Ablenkungen der Hindernisse, entstanden und liefern bei ausreichender Anzahl an Wiederholungen eine diskrete Verteilung, die in ihrer Form an eine stetige Normalverteilung erinnert (strichlierte Linie in Abb. 7-20). Für eine endliche Zahl an Störungen und Fächern spricht man hier von einer Binomialverteilung.

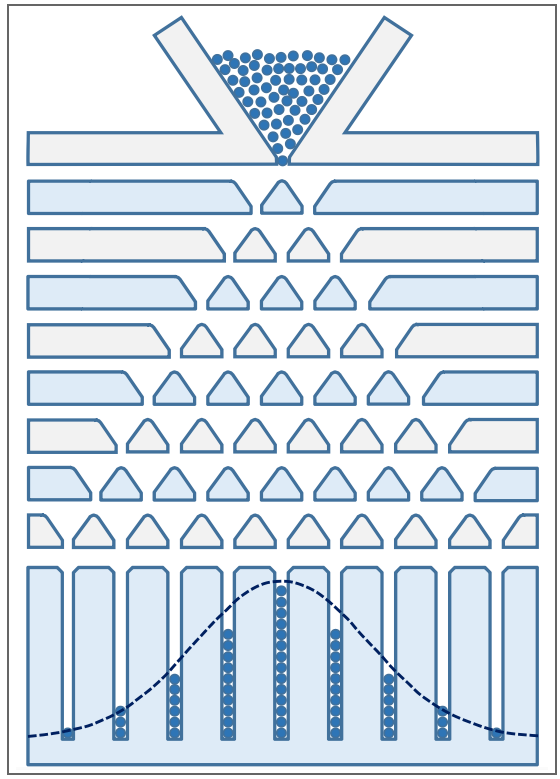


Abb. 7-20 Qualitative Darstellung eines Galtonbretts

Für die gezeigte Konstruktion und unter der Annahme, dass bei jedem Hindernis die Wahrscheinlichkeit, dass die Kugel nach links oder rechts abgelenkt wird, gleich groß ist, ergibt sich eine Gesetzmäßigkeit, mit der die Wahrscheinlichkeit für jedes Fach in das die Kugel fallen kann, berechnet werden kann (siehe Abb. 7-21).

Beim ersten Hindernis liegt die Wahrscheinlichkeit jeweils bei 50 % (= 1/2), ob die Kugel nach links oder rechts abgelenkt wird. In der zweiten Reihe der Hindernisse kann die Kugel wiederum abgelenkt werden. Da zwei Wege/Möglichkeiten zur Lücke zwischen den beiden Hindernissen in der zweiten Reihe führen, beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass die Kugel von der Mitte der zweiten Hindernisreihe ihren Weg fortsetzt, ebenfalls 50 % (= 2/4). Die berechnete Wahrscheinlichkeit, dass die Kugel die zweite Hindernisreihe ganz links oder ganz rechts passiert, liegt jeweils bei 25 % (= 1/4).

Diese Überlegungen können bis zur untersten Reihe der Hindernisse bzw. bis zu den Auffangfächern fortgeführt werden. Für das mittlere Fach ergibt sich damit eine Wahrscheinlichkeit von ca. 27,34 % (= 70/256) und für die äußersten Fächer eine Wahrscheinlichkeit von nur jeweils 0,39 %.

Es ist damit sehr unwahrscheinlich, dass für das dargestellte Galtonbrett die Kugel auf ihrem Weg nach unten so oft nur nach links oder nur nach rechts abgelenkt wird, dass sie in den äußersten Fächern der Auffangkonstruktion zu liegen kommt. Andererseits ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Kugel nach dem Passieren der Hindernisse in einem der drei mittleren Fächer befindet mit ca. 71,09 % (= 21,88 % + 27,34 % + 21,88 %) relativ hoch.

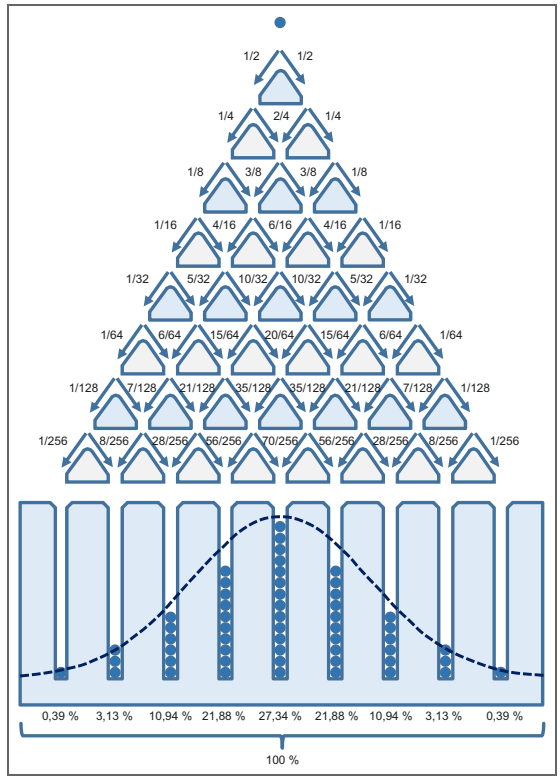


Abb. 7-21 Wahrscheinlichkeiten für den Weg der Kugel durch die Hindernisse[42)]

7.4.1.1 Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit

Abb. 7-22 zeigt eine Überführung der Ergebnisse von mehreren Versuchen mit dem Galtonbrett auf ein Histogramm, bei dem die Klassenbreiten jeweils identisch und außerdem keine Abstände zwischen den Klassen vorhanden sind. Weiters ist die Normalverteilungskurve schematisch als strichlierte Linie über das Histogramm gelegt.

Der Vergleich zwischen den Ergebnissen einer Monte-Carlo-Simulation und den Ergebnissen beim Spiel mit dem Galtonbrett eignet sich besonders gut. Bei den Simulationen sowie beim Galtonbrett führen zufällige Ereignisse und Unsicherheiten in den Eingangsparametern schließlich durch mehrere tausend Versuche (Iterationen) schematisch zu einem ähnlichen Bild – nämlich einem Histogramm über die Bandbreite der möglichen Berechnungs- bzw. Versuchsergebnisse.

[42)] Die prozentuellen Angaben der Wahrscheinlichkeiten für jedes Fach wurden auf zwei Nachkommastellen gerundet. Bei der Bildung der Summe zu 100 % sind alle Nachkommastellen einzubeziehen.

Wie bei der Interpretation der Füllhöhe der Fächer des Galtonbretts können auch die Balkenhöhen eines Histogramms bzw. die Flächen des Histogramms entsprechend interpretiert werden. Es kann auf einfache Weise die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit spezifischer Werte oder die Wahrscheinlichkeit, dass Werte innerhalb einer gewissen Bandbreite auftreten, angegeben werden (siehe Abb. 7-22).

Der große Unterschied zwischen dem Galtonbrett und einer Monte-Carlo-Simulation (z.B. für Baukosten) liegt darin, dass beim Ansatz von (stetigen) Verteilungen als Eingangsparameter nicht nur zwei (links/rechts), sondern eine Vielzahl möglicher Ausprägungen in jedem Berechnungsschritt möglich sind. Weiters muss das mögliche Auftreten jeder dieser Ausprägungen nicht die gleiche Wahrscheinlichkeit (links: 50 %; rechts: 50 %) aufweisen – was einer Rechteckverteilung entsprechen würde – sondern es können auch diskrete oder stetige, uni- oder multimodale Verteilungen mit unterschiedlicher Schiefe und unterschiedlicher Ausprägung der Grenzen angesetzt werden.

Die Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation enthalten demnach eine Vielzahl von ‚Hindernissen', die zu unterschiedlichen Einzelergebnissen je Iteration führen und nach mehrfacher Wiederholung und Sammlung dieser zu einem Histogramm führen, dass hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeiten interpretiert werden kann.

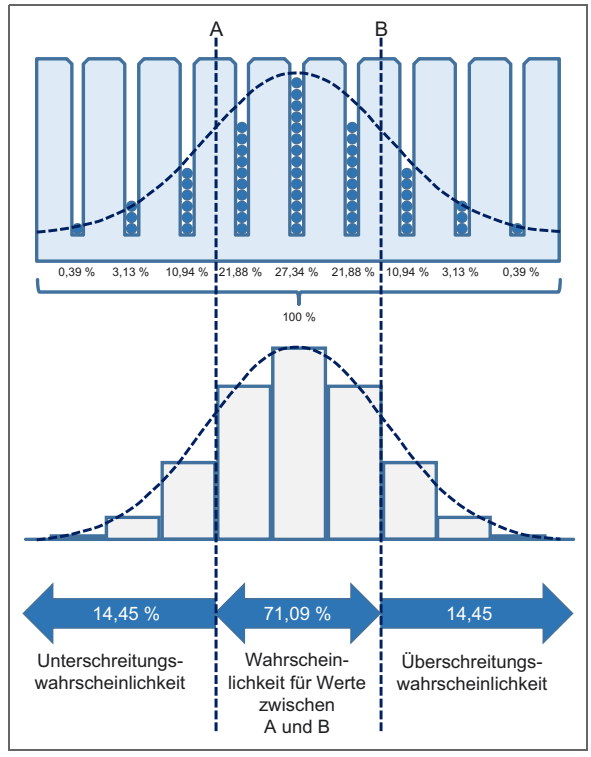


Abb. 7-22 Schematische Überführung der Ergebnisse aus mehreren Versuchen mit dem Galtonbrett auf ein Histogramm[43)]

[43)] Die prozentuellen Angaben der Wahrscheinlichkeiten für jedes Fach wurden auf zwei Nachkommastellen gerundet. Bei der Bildung der Summe zu 100 % sind alle Nachkommastellen einzubeziehen.

Im Softwareprogramm @Risk können sowohl Endergebnisse als auch Zwischenergebnisse als Output definiert und in Form von Histogrammen (siehe Abb. 7-23) bzw. Summenkurven dargestellt werden (siehe Abb. 7-24).[44)]

Auf der Abszisse sind mögliche Merkmalsausprägungen des entsprechenden Outputs und auf der Ordinate die zugehörigen Häufigkeiten aufgetragen. Hier ist zu beachten, dass die Fläche unter den Histogrammen auf 1 normiert ist. Werden mehrere Histogramme mit unterschiedlichen Bandbreiten in einem Diagramm dargestellt, kann es daher zu unterschiedlichen, verzerrt anmutenden Darstellungen der Histogramme in vertikaler Richtung kommen.

Am oberen Bildrand sind sogenannte Gleitbegrenzer ersichtlich, die durch Schieberegler individuell auf gewünschte Werte der Abszisse oder auf jeweilige Wahrscheinlichkeiten eingestellt werden können. Mit Hilfe dieser Gleitbegrenzer können Aussagen bezüglich der Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit spezifischer Werte bzw. der Wahrscheinlichkeit, dass Werte innerhalb definierter Grenzen auftreten, ermittelt werden.

Es kann aber auch eine umgekehrte Abfrage erfolgen. Es kann z.B. das 5 %- oder das 95 %-Quantil und damit die Unter- und Überschreitungswahrscheinlichkeit mit 5 % angegeben werden. Auf diesem Wege kann direkt auf die entsprechenden deterministischen Werte geschlossen werden, die die Grenzen zwischen den niedrigsten und höchsten 5 % und den zentralen 90 % der Fläche des Histogramms definieren (siehe beispielhaft die Gleitbegrenzer am oberen Bildrand der Abb. 7-23).

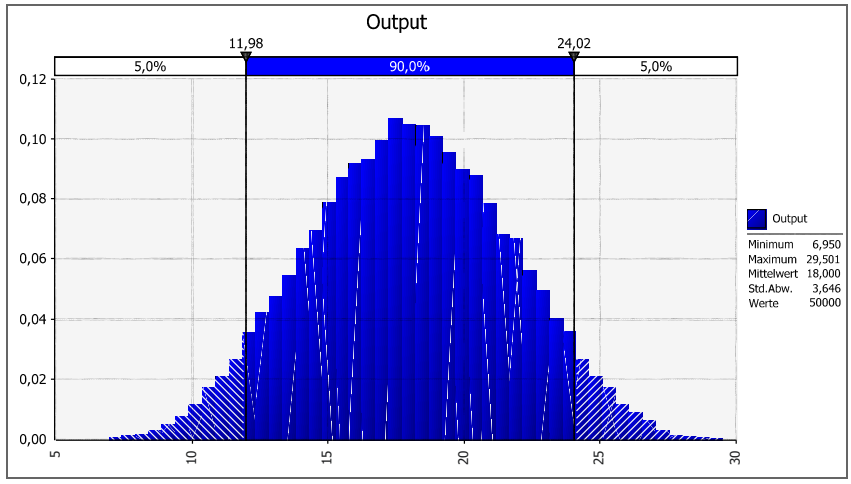


Abb. 7-23 Darstellung eines Outputs als Histogramm

In der Legende am rechten Bildrand der Abb. 7-23 werden die Bezeichnung des betreffenden Outputs, einige statistische Kennwerte (standardmäßig: Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung) sowie die Anzahl der dem Histogramm zugrunde liegenden Werte (entspricht der Anzahl an Iterationen, wenn für jede Iteration ein Wert ermittelt werden konnte bzw. wenn kein Filter aktiviert wurde) angegeben.

Histogramme können auch in Summenkurven (siehe Abb. 7-24 – auch als kumulierte Darstellung bezeichnet) übergeführt oder gemeinsam in einem Diagramm dargestellt

44) Das in Abb. 7-23 dargestellte Histogramm weist keinen inhaltlichen, sondern nur einen qualitativen Zusammenhang mit dem Histogramm in Abb. 7-22 auf.

werden. Die Summenkurve gibt mit ihrer Steigung die Häufigkeit in den entsprechenden Wertebereichen an. Je steiler der Verlauf der Summenkurve ist, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass Werte in diesen Bereich auftreten.

Die Summenkurven diskreter Verteilungen haben einen treppenartigen Verlauf, wobei horizontale Verläufe der Summenkurven bedeuten, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Werten in diesem Bereich 0 % beträgt (siehe z.B: Abb. 2-22 – Seite 53).

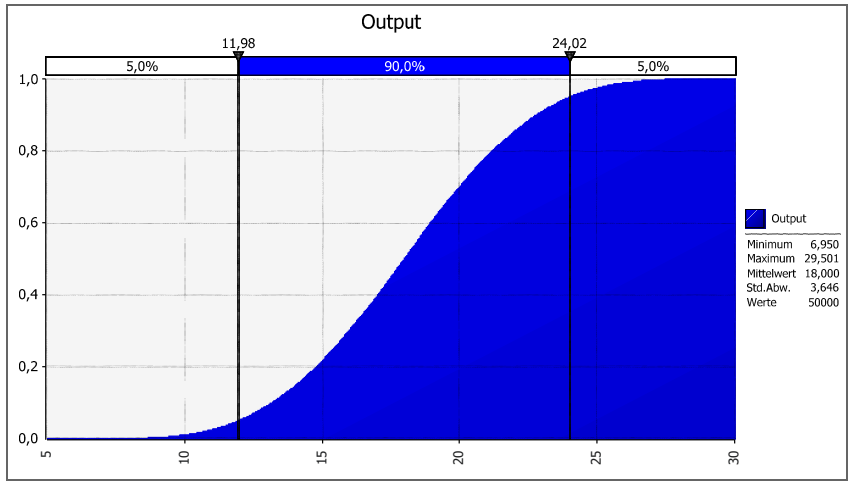


Abb. 7-24 Darstellung eines Outputs als Summenkurve

Ein einzelner Wert hat innerhalb der Bandbreite einer stetigen Verteilung bzw. eines stetigen Histogramms – genau genommen – immer die Wahrscheinlichkeit 0 %, da es z.B. neben dem Wert 24,02 noch den Wert 24,023 und auch den Wert 24,02300000000001 gibt. Eine Wahrscheinlichkeit kann nur über die Fläche eines Teils der Wahrscheinlichkeitsverteilung (also das Integral innerhalb eines definierten Bereichs) beschrieben werden. Was aber angegeben werden kann, ist die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit für einen einzelnen Wert, da dabei die Fläche der Verteilung/des Histogramms rechts bzw. links des definierten Werts ermittelt wird.

7.4.1.2 Wahl eines Chancen-Risikoverhältnisses

Für Entscheidungen müssen letztendlich einzelne Werte innerhalb der ermittelten Bandbreiten auf Basis eines Chancen-Risikoverhältnisses angegeben bzw. gewählt werden. Eine Möglichkeit für einen derartigen Wert wäre z.B. der Median, der eine 50 %ige Überschreitungs- und auch eine 50 %ige Unterschreitungswahrscheinlichkeit aufweist. Hier wären die eingegangenen Risiken und Chancen im Gleichgewicht.

Im Zuge des harten Konkurrenzdrucks über den Preiskampf und aufgrund der derzeit angespannten Wirtschaftslage in der Bauwirtschaft sind Bauunternehmen oft gezwungen, höhere Risiken einzugehen. Als praxisgerechter Ansatz wird die Berücksichtigung der Standardabweichung σ vom Mittelwert μ (je nach Fragestellung nach oben oder unten) angesehen.

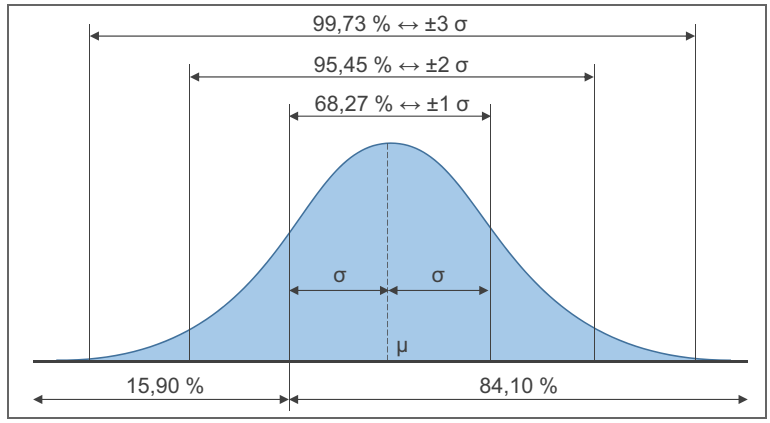


Abb. 7-25 Normalverteilung – Standardabweichung[45)]

Zur Abschätzung eines damit verbundenen Chancen-Risikoverhältnisses kann beispielhaft eine Normalverteilung herangezogen werden. Bei dieser liegen ca. 68,27 % der Werte innerhalb der einfachen und ca. 95,45 % der Werte innerhalb der doppelten Standardabweichung um den Mittelwert. Wird die einfache Standardabweichung vom Mittelwert abgezogen, ergibt sich eine Unterschreitungswahrscheinlichkeit von ca. 15,90 % und eine Überschreitungswahrscheinlichkeit dieses Werts von ca. 84,10 % (siehe Abb. 7-25). Dieses Verhältnis dreht sich um, wenn die einfache Standardabweichung zum Mittelwert addiert wird.[46)]

Weiters gilt für die Normalverteilung, dass sich die Wendepunkte der Dichtefunktion jeweils eine Standardabweichung vom Mittelwert entfernt befinden.

Die Abgrenzung bzw. Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses stellt eine praxisorientierte Vorgehensweise dar und ist nicht von einer probabilistischen Vorgabe abhängig. Schlussendlich hängt die Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses vom Marktpreisniveau bzw. der Marktsituation, der Risikobereitschaft und weiteren strategischen Überlegungen ab. Dabei sollte das Wechselspiel des Chancen-Risikoverhältnisses einerseits auf Basis des wirtschaftlichen Erfolgs im Falle eines Zuschlags und andererseits in Bezug auf den Angebotserfolg beachtet werden (siehe Abb. 7-26).

45) Hofstadler/Kummer (2015a), S. 87

46) Vgl. ebd., S. 86ff.

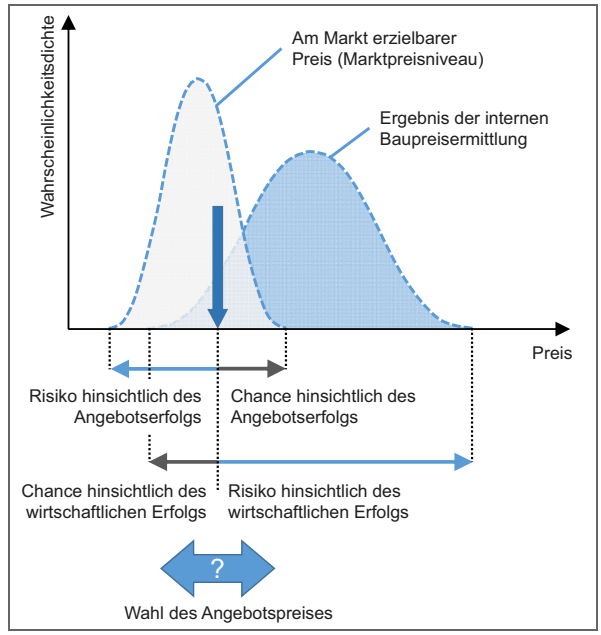


Abb. 7-26 Wahl des Angebotspreises im Hinblick auf den wirtschaftlichen und den Angebotserfolg[47)]

Auf Grund der Natur von wahrscheinlichkeitstheoretischen Berechnungen können Ergebnisse eines Bauprojekts (z.B. hinsichtlich Baukosten und Bauzeiten) nicht genau vorhergesagt werden, jedoch sind Aussagen über das zu erwartende Chancen-Risikoverhältnis möglich.

In der Angebotskalkulation schätzt z.B. jeder Bieter die Bandbreiten der Eingangsparameter (z.B. Kosten-, Aufwands- und Leistungswerte) unterschiedlich ein. Dadurch ergeben sich für das gleiche Projekt unterschiedliche Kosten- bzw. Preishistogramme mit variierenden Streuungen, Schiefen, Mittelwerten usw. D.h. für jeden Bieter ist das eingeschätzte Risiko bzw. die erzielbare Chance anders. Diese Unterschiede ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Einschätzungen, anderer Bauverfahren und -methoden, unterschiedlichen Wissensständen etc. Bei gleichen Preisen gehen die Bieter demnach unterschiedliche Risiken ein und haben unterschiedliche Chancen den angebotenen Preis in der Ausführung einzuhalten bzw. zu unterschreiten.

Ein Bieter erfährt im Zuge der Angebotseröffnung nur die Angebotspreise der anderen Bieter, nicht aber wie diese die Ermittlung der Werte gestaltet haben. Werden diese Angebotspreise jedoch auf Basis eines Histogramms und den damit vorliegenden wahrscheinlichkeitstheoretischen Informationen untersucht, lassen sich Einschätzungen über Spekulationen oder mögliche technologische Vorsprünge treffen. Ein Bieter mit probabilistischer Kalkulation kann z.B. eruieren, ob er den Auftrag zu den Preisen eines billigeren Konkurrenten überhaupt mit seinen Annahmen kostendeckend ausführen hätte können bzw. welches Risiko er damit eingegangen wäre.

47) Kummer (2015a), S. 75

7.4.1.3 Überlagerung mehrerer Histogramme

Bei der Entscheidung zwischen mehreren Alternativen genügt es nicht, die Mittelwerte miteinander zu vergleichen. Denn auch wenn der Mittelwert von Variante A kleiner ist als jener von Variante B, gibt es noch keine Aussage über die Signifikanz dieser Unterschiede, da auch keine Informationen über den zugehörigen Standardfehler berücksichtigt wurden. Um zwei Varianten miteinander zu vergleichen, ist die Differenz der Outputgrößen (in Form einer Verteilung bzw. eines Histogramms) zu bilden. Diese stellt dann eine Schätzung für den ‚wahren' Unterschied zwischen den beiden Alternativen dar.[48)]

Werden mehrere Histogramme mit unterschiedlichen Spannweiten und nominell stark abweichenden Werten in einem Diagramm dargestellt, gilt es zu beachten, dass die Fläche unter den Histogrammen jeweils auf 1 normiert wird. Daher kann es zu verzerrt anmutenden Darstellungen der Histogramme in vertikaler Richtung kommen.

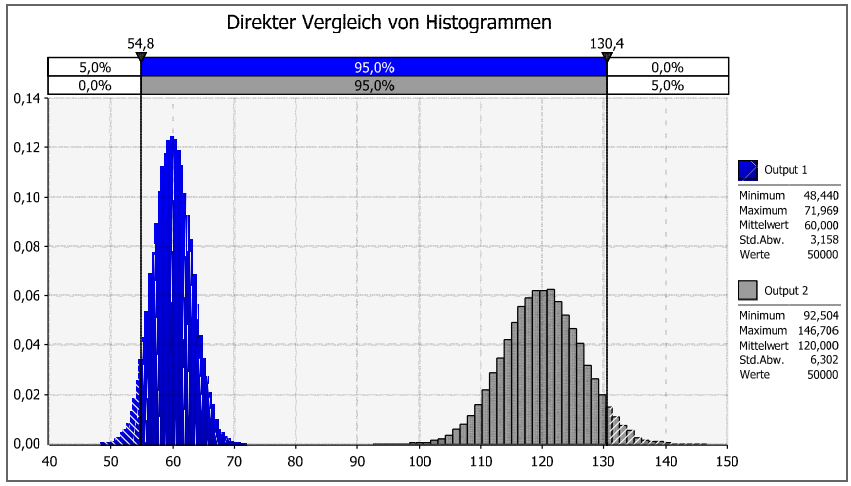


Abb. 7-27 Darstellung mehrerer Histogramme in einem Diagramm

In Abb. 7-27 sind zwei Histogramme mit unterschiedlichen Bandbreiten (sowohl bezogen auf die nominellen Werte als auch auf die Spannweite zwischen Minimum und Maximum) dargestellt. Auf den ersten Blick könnte vermutet werden, dass die Wahrscheinlichkeit für die Werte im linken Histogramm generell höher ist, als jene für das rechte Histogramm. Tatsächlich handelt es sich dabei aber nur um eine darstellungstechnische Täuschung, da die Flächen beider Histogramme auf 1 normiert sind.[49)]

Für die Beurteilung der Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit spezifischer deterministischer Werte sind die Gleitbegrenzer am oberen Bildrand der Abb. 7-27 heranzuziehen. Für jedes der dargestellten Histogramme kann ein eigener Gleitbegrenzer angezeigt werden.

48) Vgl. Suhl/Mellouli (2013), S. 285

49) Zur überschlägigen Überprüfung dieser Feststellung:
Die Fläche des linken Histogramms in Abb. 7-27 errechnet sich in etwa wie folgt: (70 - 50) * 0,12 * 0,40 ≈ 1,0.
Die Fläche des rechten Histogramms in Abb. 7-27 errechnet sich in etwa wie folgt: (140 - 100) * 0,06 * 0,40 ≈ 1,0.

7.4.1.4 Entscheidung bei mehreren Varianten

Verteilungen bzw. Histogramme (besonders jene, die in ihrer Form einer Normalverteilung ähneln) können durch den Erwartungswert μ und die Standardabweichung σ bzw. Varianz σ² sehr gut beschrieben werden. Muss nun eine Entscheidung für unterschiedliche Varianten getroffen werden, wobei für jede der Varianten das Ergebnis in Form einer Verteilung oder eines Histogramms vorliegt, kann der Entscheider im Zuge der Entscheidung risikoneutral, risikoavers oder risikoaffin handeln.

Ein risikoneutraler Entscheider berücksichtigt die Streuung der Ergebnisse gar nicht und trifft seine Entscheidung nur aufgrund der Erwartungswerte. Liegen zwei Ausführungsvarianten vor, die unterschiedliche Kosten verursachen, vergleicht ein risikoneutraler Entscheider nur aufgrund des Vergleichs der Erwartungswerte. In Abb. 7-28 sind zwei derartige Kostenverteilungen aus der Sicht des AG dargestellt. Variante 1 hat einen niedrigeren Erwartungswert als Variante 2. Eine risikoneutrale Entscheidung würde damit auf Variante 1 fallen.

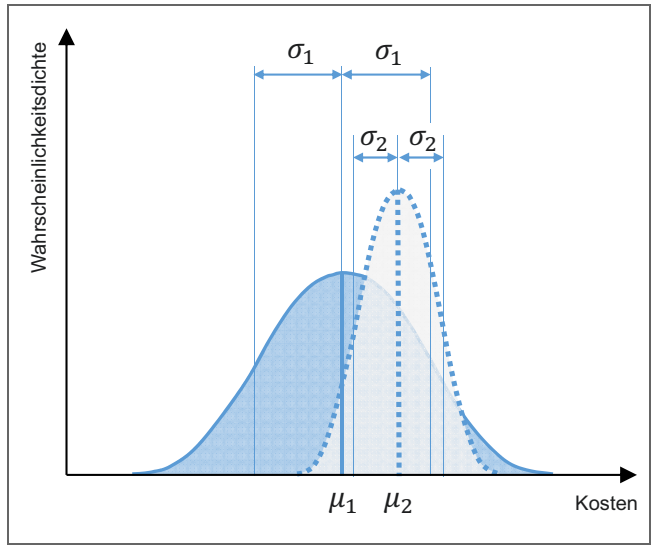


Abb. 7-28 Variantenentscheidung anhand der μ-σ-Regel

Liegt eine Risikoaversion vor, würde sich der Entscheider ab einer gewissen Annäherung der Erwartungswerte für Variante 2 entscheiden, da die geringere Streuung möglicher Ergebnisse positiv in die Beurteilung des Sachverhalts einfließt und damit einer Variante mit großer Streuung vorgezogen wird.

Ist der Entscheider risikoaffin (risikofreudig), fließt die größere Streuung der Variante 1 positiv in seine Entscheidungsfindung ein. Durch die große Streuung besteht nämlich auch die Chance, dass die Kosten deutlich unter dem Erwartungswert liegen können. Im Gegenzug dazu ist aber auch das Risiko, dass die erwarteten Kosten überschritten werden (unter Voraussetzung einer symmetrischen Verteilung) gleich groß wie die Chance einer Unterschreitung.

Die Abhängigkeit der Präferenzen von nur zwei Parametern lassen sich für einen (μ, σ)-Entscheider in Form eines Indifferenzkurvensystems darstellen. Eine Indifferenzkurve ist der geometrische Ort bzw. die grafische Repräsentation aller Kombinationen aus μ und σ, die der Entscheider als gleichwertig, also mit konstantem Nutzen, einschätzt. Die Pfeile in

den Diagrammen der Abb. 7-29 und Abb. 7-30 kennzeichnen die Richtung in denen Indifferenzkurven höherer Präferenz vorliegen.[50)]

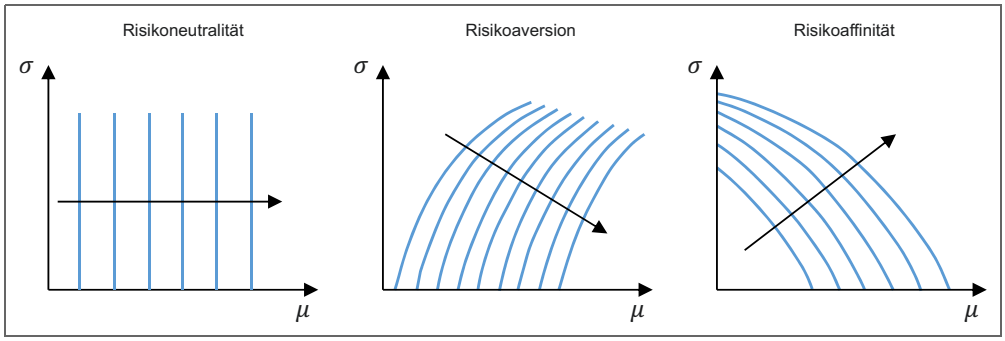


Abb. 7-29 Variantenentscheidung anhand der μ-σ-Regel – z.B. Leistungs- und Produktivitätswerte[51)]

Hierbei ist zu unterschieden, ob die ermittelten Kennwerte im Idealfall einen ‚großen' oder ‚kleinen' Zahlenwert aufweisen. Bei Leistungs- und Produktivitätswerten ist beispielsweise ein möglichst hoher Zahlenwert anzustreben (Richtung der höheren Präferenz als Pfeile in Abb. 7-29 dargestellt). Für Kosten, Aufwandswerte etc. sind aber niedrige Erwartungswerte als wünschenswert zu erachten (Richtung der höheren Präferenz als strichlierte Pfeile in Abb. 7-30 dargestellt). Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass sich nicht nur die Richtungen der Pfeile ändern, sondern auch die Krümmungen der Indifferenzkurven. Während in Abb. 7-29 risikoaverses Verhalten mit degressiv steigenden Indifferenzkurven beschrieben wird, ist in Abb. 7-30 Risikoaversion mit progressiv fallenden Kurven dargestellt. Umgekehrt verhält es sich für die Risikoaffinität.

Generell wird bei risikoaffinem Verhalten mit jenen Varianten, die eine größere Streuung (= höheres σ) aufweisen, ein höherer Nutzen verbunden. Die Pfeile der Präferenz zeigen daher für die Risikoaffinität (in Abb. 7-29 – rechts und Abb. 7-30 – mitte) nach oben. Bei risikoaversen Verhalten steigt der Nutzen, wenn die Streuung geringere Werte annimmt. Die Pfeile der Präferenz zeigen daher für die Risikoaversion (in Abb. 7-29 – Mitte und Abb. 7-30 – rechts) nach unten.

Das praktische Problem bei der Umsetzung der μ-σ-Regel ist die Tatsache, dass die Nutzenfunktionen, nach denen die Entscheidung unter mehreren Varianten letztlich getroffen wird, meist nicht bekannt sind.[52)]

50) Vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/830359611/erwartungswert-varianz-prinzip-v2.html. Datum des Zugriffs: 20.11.2016

51) Vgl. ebd.

52) An dieser Stelle wird auf die Dissertation von Werkl (2013) verwiesen, in der Nutzenfunktionen für Auftraggeber und Auftragnehmer empirisch erhoben wurden.

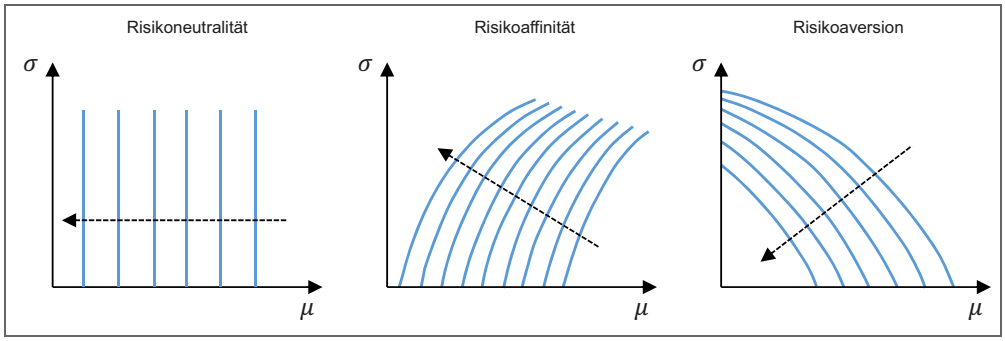


Abb. 7-30 Variantenentscheidung anhand der μ-σ-Regel – z.B. Kosten, Aufwandswerte[53)]

7.4.2 Tornadodiagramme

Fließen mehrere Eingangsgrößen in die Berechnung eines Outputs ein, kann es von Interesse sein herauszufinden, welche der Inputparameter die größten Auswirkungen auf das Ergebnis haben. Um einen deterministischen Nachweis durch die Variation der Inputgrößen zu erbringen, ist einiger Rechenaufwand notwendig. Bei einer probabilistischen Berechnung kann eine Empfindlichkeitsanalyse mittels Tornadodiagrammen schnell und übersichtlich im Zuge einer Monte-Carlo-Simulation erfolgen. Tornadodiagramme zeigen die Rangordnung der Eingabeverteilungen an, die sich auf eine Ausgabe auswirken. Das verwendete Softwareprogramm @Risk bietet die Möglichkeit, Tornadodiagramme für jeden definierten Output zu liefern.

Die Empfindlichkeitsanalyse (‚Tornado – Änderung in Ausgabe Mittelwert') in @Risk stellt die absolute Änderung der Ausgabe bezogen auf einen Inputwert in erhöhender und verringernder Richtung zum Mittelwert des Outputs dar.

Für die Ermittlung der entsprechenden Abweichungen vom Basiswert des Outputs werden die Zufallswerte der einzelnen Iterationen für einen betreffenden Input zunächst aufsteigend sortiert. Liegen z.B. 50.000 Iterationen vor, werden in einem nächsten Schritt diese 50.000 Werte der Größe nach sortiert und in 10 (Standardeinstellung in @Risk) gleich große Bins[54)] eingeteilt. D.h. dem ersten Bin werden 10 % der niedrigsten und dem letzten Bin die 10 % der höchsten Werte eines Inputparameters zugewiesen. Die übrigen (in diesem Fall 80 % der Iterationswerte) werden auf die mittleren (hier: 8) Bins gleichmäßig aufgeteilt. Für eine symmetrische Dreiecksverteilung bedeutet dies, dass die Bins im unteren und oberen Wertebereich jeweils eine größere Klassenbreite aufweisen als die Bins in der Mitte der Verteilung (siehe Abb. 7-31).

53) Vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/830359611/erwartungswert-varianz-prinzip-v2.html. Datum des Zugriffs: 20.11.2016

54) Werden Daten in Klassen zusammengefasst, bezeichnet man diese auch als Bins. Werden Bins nebeneinander in Form von Rechtecken aufgetragen, ergibt sich ein Histogramm. Allgemein kann die Breite der Bins konstant oder auch variabel sein. In diesem Buch werden durchwegs konstante Klassenbreiten für die Darstellung von Histogrammen verwendet. Davon verschieden ist die Berechnung der Änderung in der Ausgabe der Mittelwerte für die Empfindlichkeitsanalyse mittels Tornadodiagrammen. Hier werden die Inputs standardmäßig in 10 Bins mit gleichen Flächen (also unterschiedlichen Klassenbreiten) herangezogen.

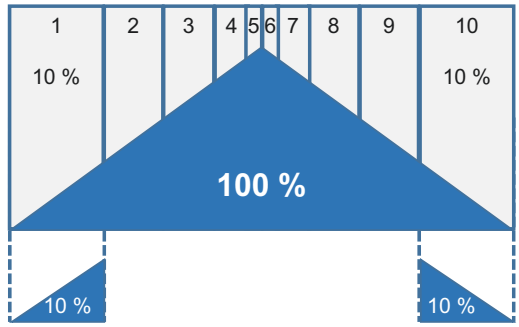


Abb. 7-31 Qualitative Gliederung der Inputparameter zur Berechnung von Tornadodiagrammen

Aus jedem dieser Bins wird nun ein Mittelwert aus den Zufallszahlen gebildet und mit diesen 10 Mittelwerten jeweils eine Berechnung des Outputs durchgeführt (diese Ergebnisse werden in weiterer Folge auch für die Darstellung von Spiderdiagrammen herangezogen – siehe Abschnitt 7.4.4). Die restlichen Inputwerte werden dabei als Mittelwerte ihrer definierten Verteilungen in die Berechnungsvorschrift (Formelapparat) eingesetzt und konstant gehalten. Das Ergebnis dieser Berechnungen sind in weiterer Folge 10 Outputs, von denen einer der minimalste und einer der maximalste ist. Diese beiden Outputs werden im Tornadodiagramm als linker und rechter Balken ausgehend vom Basiswert aufgetragen. Diese Darstellung liefert jedoch keine Aussage darüber, ob der Mittelwert des ersten, zweiten oder z.B. des letzten Bins zu den Minimal- oder Maximalwerten des Outputs geführt hat. Dazu sind vertiefte Analysen der Auswirkungen eines Inputs auf den Output durchzuführen (z.B. mit Hilfe von Punktdiagrammen).

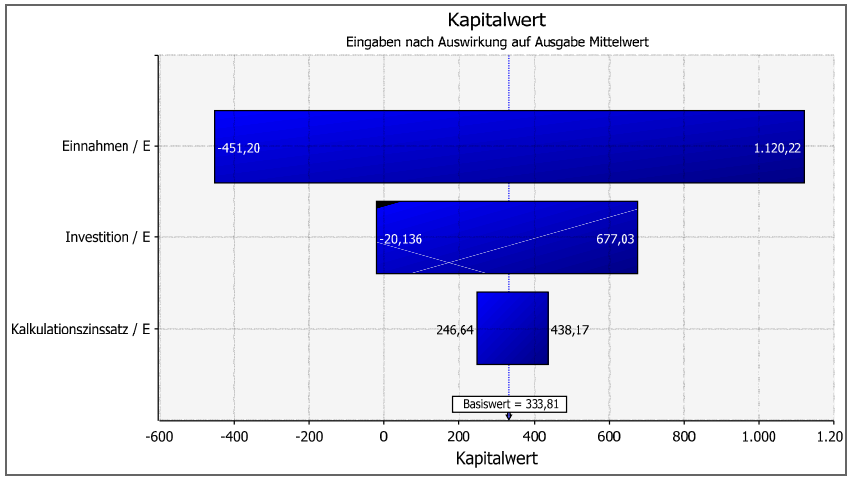


Abb. 7-32 Beispiel – Tornadodiagramm (‚Tornado – Änderung in Ausgabe Mittelwert') – Kapitalwert

Für die im Zuge eines Investitionsprojekts generierten Aus- und Einzahlungen ist in Abb. 7-32 beispielhaft ein Tornadodiagramm für den Kapitalwert dargestellt. Auf der Abszisse sind die minimalen und maximalen Ergebnisse des Kapitalwerts als Bandbreite in Form von Balken dargestellt. Diese Bandbreiten ergeben sich nach dem beschriebenen Schema jeweils durch Variation jenes unsicheren Inputparameters, der auf der Ordinate angeführt

ist. Für dieses einfache Beispiel wurden nur drei Inputparameter für die Ermittlung des Kapitalwerts mit Verteilungen belegt und damit als unsicher angenommen.

Es zeigt sich, dass die Einnahmen den größten Einfluss auf den Kapitalwert haben und auch eine große absolute Streuung der Ergebnisse verursachen können. Für das angegebene Beispiel reagiert der Kapitalwert dagegen nur wenig empfindlich auf die Unsicherheiten, die für den Kalkulationszinssatz angenommen wurden.

Aus dem Diagramm Abb. 7-32 ist damit auch nicht direkt ersichtlich, ob sich eine Erhöhung eines Inputparameters positiv oder negativ auf den Output auswirkt. Darüber geben andere Typen von Tornadodiagrammen Aufschluss. Es werden in @Risk drei weitere Typen von Tornadodiagrammen unterschieden:[55)]

Tornadodiagramm für Regressionsempfindlichkeit (‚Regressions-Koeffizienten')

In Tornadodiagrammen vom Typ Regressionskoeffizienten basiert die Länge der für jede Eingabeverteilung gezeigten Balken auf dem für die betreffende Eingabe berechneten Koeffizientenwert. Die im Tornadodiagramm auf der Abszisse aufgetragenen Werte sind die Koeffizientenwerte (siehe Abb. 7-33).[56)]

Dieser Diagrammtyp zeigt die Änderung der Standardabweichung der Ausgabe, wenn die Eingabe um eine Standardabweichung erhöht wird. Ein Regressionskoeffizient von 0 kennzeichnet z.B., dass keine signifikante Beziehung zwischen Eingabe und Ausgabe besteht. Ein Regressionswert von 1 oder -1 ergibt sich, wenn mit der Änderung des Inputs um eine Standardabweichung auch direkt eine Änderung des Outputs um eine Standardabweichung verbunden ist (bei +1 in die gleiche, bei -1 in entgegengesetzter Richtung).

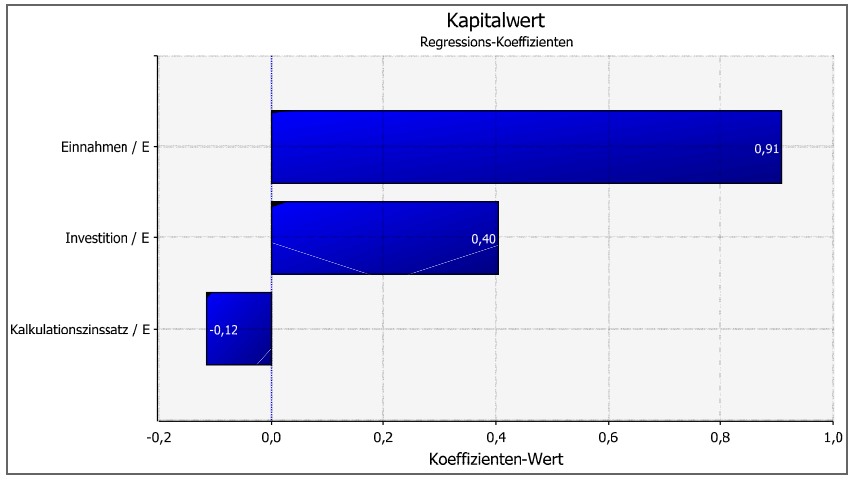


Abb. 7-33 Beispiel – Tornadodiagramm (‚Regressions-Koeffizient') – Kapitalwert

Um eine nicht normierte Interpretation der Ergebnisse dieses Diagramms durchführen zu können, muss die Standardabweichung des betreffenden Inputs und die Standardabweichung des Outputs bekannt sein. Für die Einnahmen bedeutet dies, dass zunächst der Regressionskoeffizient (= 0,91) mit der Standardabweichung des Kapitalwerts (= 504,44)

55) Die maximale Anzahl an darstellbaren Balken in einem Tornadodiagramm beträgt 16. Vgl. Palisade Corporation (2013), S. 278

56) Vgl. ebd., S. 277

multipliziert und dann durch die Standardabweichung der Einnahmen (= 163,3) dividiert werden muss.[57] Das Ergebnis dieser Berechnung ist ein nicht normierter Koeffizient der sich mit 2,81 (= 0,91 * 504,44 / 163,30) errechnet. Erhöhen sich also die Einnahmen um eine Einheit, erhöht sich damit der Output um 2,81 Einheiten.[58]

Es verwundert in dieser Darstellung, dass ein Anstieg der Investitionskosten sich erhöhend auf den Kapitalwert auswirkt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Investitionskosten als negative Werte (Ausgabe) in die Berechnung des Kapitalwerts einfließen und die Einnahmen als positive Werte. Eine formelle Erhöhung des Parameters ist also mit einer Reduktion der Investitionskosten gleichzusetzen. Inhaltlich ist die Darstellung des gezeigten (und der nachfolgenden) Tornadodiagramme damit plausibel und nachvollziehbar.

Tornado-Diagramm für Korrelationsempfindlichkeit (‚Korrelations-Koeffizienten')

In Tornadodiagrammen vom Typ Korrelationskoeffizient basiert die Länge der für jede Eingabeverteilung gezeigten Balken auf dem für die betreffende Eingabe berechneten Koeffizientenwert. Die im Tornadodiagramm auf der Abszisse aufgetragenen Werte geben die ermittelten Rangkorrelationen (vgl. Abschnitt 6.5) zwischen der Eingabe und der Ausgabe wieder (siehe Abb. 7-34).

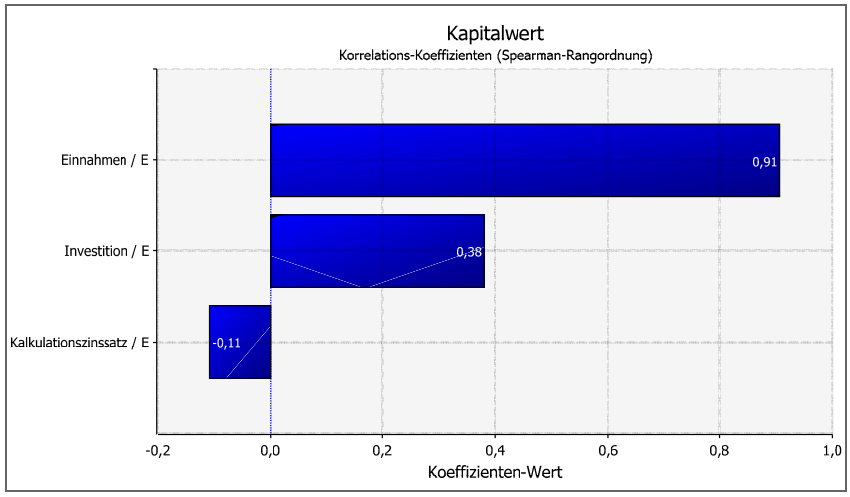


Abb. 7-34 Beispiel – Tornadodiagramm (‚Korrelations-Koeffizient') – Kapitalwert

Positive Korrelationen bedeuten, dass beispielsweise mit einer Erhöhung der Einnahmen tendenziell auch eine Erhöhung des Kapitalwerts einhergeht. Negative Korrelationen sind so zu interpretieren, dass beispielsweise bei einer Erhöhung des Kalkulationszinssatzes mit einer Verringerung des Kapitalwerts zu rechnen ist. Die Interpretation dieser Diagramme muss vor dem Hintergrund der Unsicherheiten der einzelnen Berechnungsparameter erfolgen.

[57] Die Standardabweichungen für Inputs und Outputs können in @Risk direkt aus der Legende der betreffenden Verteilungen abgelesen werden.

[58] Vgl. http://kb.palisade.com/index.php?pg=kb.page&id=138. Datum des Zugriffs: 19.11.2016

Tornadodiagramm für Regressionsempfindlichkeit, das am Ende der Balken Eingabewerte anstatt von Koeffizienten zeigt (‚Regression – zugeordnete Werte')

Bei diesem Diagrammtyp steht die Länge des Balkens für die einzelnen Eingabeverteilungen jeweils für das Ausmaß der Änderung des Outputs, welches durch eine Standardabweichungsänderung von +1 in der Eingabe entstanden ist. Mit anderen Worten, die im Tornadodiagramm auf den Balken gezeigten Werte stellen jeweils den Ausgabewert einer Standardabweichung von +1 in der Eingabe dar. Wenn sich die jeweilige Eingabe der Ordinate also um eine Standardabweichung erhöht, wird sich die Ausgabe um den Abszissen-Wert (in positiver oder negativer Richtung) ändern, der gleichzeitig auch der Länge des betreffenden Balkens entspricht (siehe Abb. 7-35).[59)]

Es zeigt sich, dass sich eine Erhöhung des Kalkulationszinssatzes negativ auf den Kapitalwert auswirkt und umgekehrt je eine Erhöhung der Einnahmen zu einer Steigerung des Kapitalwerts führt.

Die Interpretation des Balkens für die Investition (wurde als negativer Wert in die Berechnung integriert, da es sich um eine Ausgabe handelt) ist so zu verstehen, dass eine Erhöhung des Werts für die Investition inhaltlich einer Verringerung der Investitionskosten entspricht. D.h. je geringer die Investitionskosten (in Geldeinheiten) sind, desto besser (erhöhend) wirkt sich dies auf den Kapitalwert aus.

Grundsätzlich muss bei der Interpretation von Tornadodiagrammen darauf geachtet werden, mit welchem Vorzeichen die Berechnungsparameter in die Berechnungen integriert wurden.

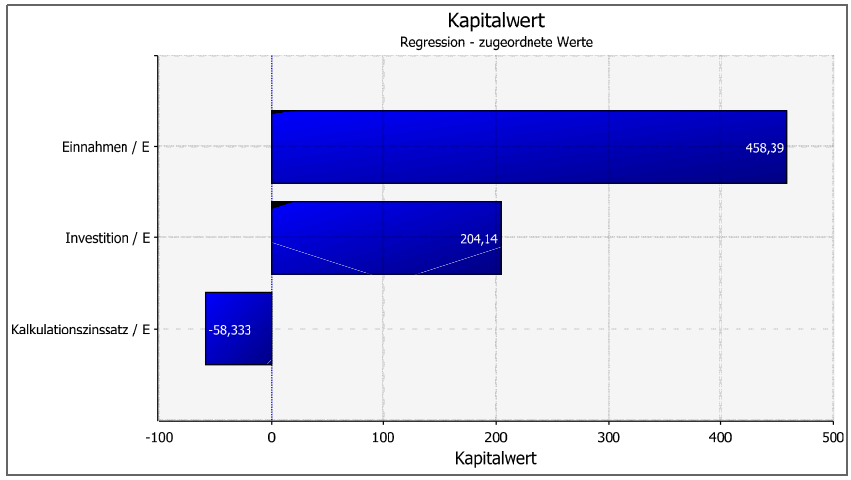


Abb. 7-35 Beispiel – Tornadodiagramm (‚Regression – zugeordnete Werte') – Kapitalwert

7.4.3 Punktdiagramme

Punktdiagramme können dazu eingesetzt werden, die Beziehung zwischen einer simulierten Ausgabe und den Werteproben aus einer Eingabeverteilung darzustellen. Es handelt sich dabei um ein X-Y-Diagramm, aus dem der erhobene Eingabewert im Vergleich zum berechneten Ausgabewert für jede Simulationsiteration aufgetragen wird.

59) Vgl. Palisade Corporation (2013), S. 278

Eine Aussageellipse identifiziert den Bereich, in den (bei einer bestimmten Aussagewahrscheinlichkeit) die X-Y-Werte fallen werden. Punktdiagramme können auch standardisiert werden, damit Werte aus mehreren Eingaben leichter in einem bestimmten Punktdiagramm verglichen werden können.[60)]

In Abb. 7-36 sind einander beispielhaft die Parameter ‚Einnahmen' (Input) und ‚Kapitalwert' (Output) gegenübergestellt. Jeder der dargestellten Punkte entspricht einer von insgesamt 50.000 durchgeführten Iterationen. Die Aussageellipse deckt dabei 99 % der Punkte ab. Es zeigt sich durch die Orientierung der Punktwolke ein positiver Zusammenhang zwischen den beiden Parametern, wie er auch schon aus der Interpretation der Tornadodiagramme erwartet wurde. In der Legende ist auch die Rangkorrelation (‚Korr. (Rang)') angegeben (vgl. Abb. 7-34).[61)]

Die eingezeichneten Begrenzer geben jeweils einen deterministischen Input- und Outputwert an. Die Prozentangaben in den Quadranten zeigen die Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit dieser Werte an. Die mit Pfeilen markierten Begrenzer können individuell verschoben werden (ähnlich wie die Gleitbegrenzer bei der Darstellung von Histogrammen in @Risk).

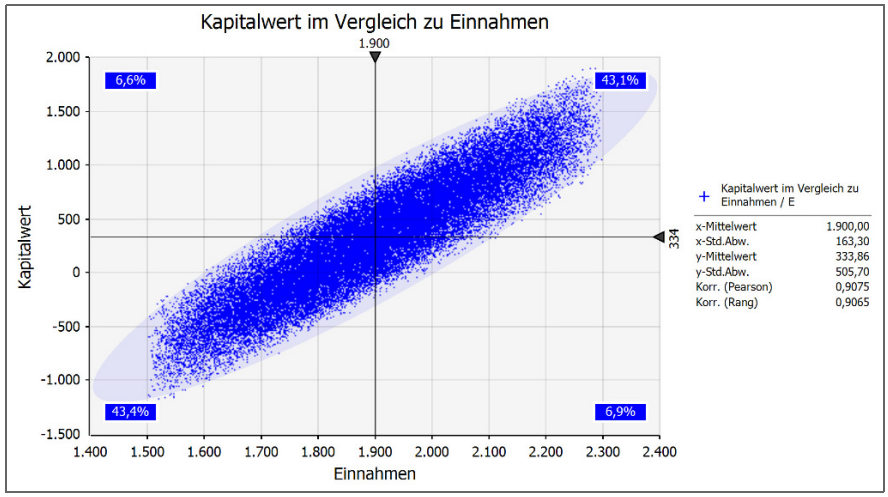


Abb. 7-36 Punktdiagramm – Zusammenhang zwischen Einnahmen (Input) und Kapitalwert (Output)

7.4.4 Spiderdiagramme

Empfindlichkeitsanalyseergebnisse können auch in sogenannten Spiderdiagrammen (oder Schaufelraddiagrammen) angezeigt werden. Wie in Abschnitt 7.4.2 in Abb. 7-31 qualitativ gezeigt wurde, werden die Verteilungen der unsicheren Inputparameter zunächst in Bins (Standardeinstellung: 10 Bins) mit jeweils gleicher Eintrittswahrscheinlichkeit unterteilt. Der Mittelwert jedes Bins wird dann in die Berechnungsgleichungen eingesetzt, wobei die Eingaben der anderen Berechnungsparameter konstant gehalten werden. Es ergeben sich damit entsprechend der Anzahl der Bins gleich viele Ergebnisse für den Output. Diese werden in einem Diagramm in Abhängigkeit des Perzentilwerts für den jeweiligen Input aufgetragen und linear miteinander verbunden.

60) Vgl. Palisade Corporation (2013), S. 84

61) Im Softwareprogramm @Risk werden bei der Darstellung von Punktdiagrammen automatisch die Rangkorrelation (nach *Spearman*) und die Produkt-Moment-Korrelation (nach *Pearson*) berechnet.

Aus dem Spiderdiagramm geht hervor, wie sich der Ausgabestatistikwert mit jeder Änderung des erhobenen Eingabewerts ändert. Je steiler die Linie, desto größer ist die Auswirkung der Eingabe auf die Ausgabe. Spiderdiagramme haben gegenüber Tornadodiagrammen einen Informationsmehrwert, da sie über die Änderungsrate im Ausgabewert im Zusammenhang mit der Eingabeänderungen Auskunft geben.[62)]

In Abb. 7-37 ist als Output der Kapitalwert auf der Ordinate aufgetragen. Die eingezeichneten Kurven geben mit der Ausprägung ihrer Steilheit an, welcher Input die größten Auswirkungen auf den Output hat und in welchem Wertebereich des Inputs dieser Einfluss besonders groß ist. Entsprechen die eingezeichneten Kurven einer Geraden, ist dies so zu interpretieren, dass die Variation des Inputs (von einem Bin-Mittelwert zum nächsten) einen linearen Einfluss auf den Output aufweist. Verzeichnen die Kurven einen S-förmigen Verlauf, ist dies entweder auf ein nichtlineares Verhalten des Berechnungsmodells mit der Änderung der Inputgrößen zurückzuführen oder es liegen stark variierende Abstände zwischen den Bin-Mittelwerten (z.B. aufgrund eines sehr flachen Verlaufs der Verteilung des Inputs) vor. In Abb. 7-37 zeigt sich beispielsweise für die Kurve im Zusammenhang mit den Einnahmen, dass für den ersten und letzten Bin eine deutlich größere Steigung der Ergebnisse für den Output zu erwarten ist. Dies ist mit dem flacheren Verlauf der Verteilung an den oberen und unteren Rändern zu begründen (siehe beispielhaft symmetrische Dreiecksverteilung in Abb. 7-31). Ein horizontaler Verlauf einer Kurve in Abb. 7-37 würde bedeuten, dass dieser Parameter im entsprechenden Wertebereich keinen Einfluss auf den Output hat.

Weiters zeigt sich, dass mit der Erhöhung des Kalkulationszinssatzes eine Reduktion des Kapitalwerts zu erwarten ist. Die Investitionskosten wurden als negative Werte in das Berechnungsmodell integriert. Daher ist auch bei einem Anstieg der Werte (= Reduktion der Kosten) mit einer Erhöhung des Kapitalwerts zu rechnen.

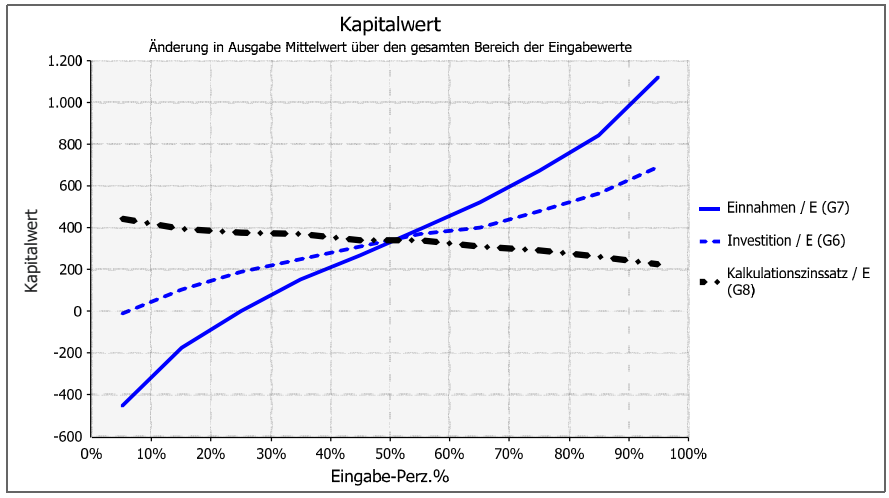


Abb. 7-37 Spiderdiagramm – Zusammenhang zwischen der Änderung der Inputs und des Outputs (Kapitalwert)

62) Vgl. Palisade Corporation (2013), S. 279

7.5 Zusammenfassung

Die praxisnahe Anwendung sowie der zielgerichtete und nutzbringende Einsatz von Monte-Carlo-Simulationen kann dann erfolgen, wenn ‚realitätsnahe' Verteilungsfunktionen für die unsicheren Inputparameter eingesetzt werden. Die unterschiedlichen Methoden der Wahl von Verteilungsfunktionen stellen einen wesentlichen Aspekt dieses Kapitels dar.

Sowohl die Einbeziehung von theoretischen Überlegungen, die auf bekannten bzw. angenommenen Charakteristika basieren, als auch die Analyse von Daten aus Baustellenuntersuchungen oder aus Expertenbefragungen, sind Gegenstand der Ausführungen. Steht eine kontextbezogene Datenbasis zur Verfügung, ist mittels Datenfitting eine direkte Überführung in eine Verteilungsfunktion möglich. Dient eine derart gefittete Verteilung wiederum als Input für eine Monte-Carlo-Simulation, ist eine Berücksichtigung theoretischer Überlegungen (z.B. Ausbildung der Grenzen der Verteilung) sowie eine Optimierung der Eingabe (keine Formparameter, sondern möglichst eine Kombination aus Minimum, erwartetem Wert und Maximum) möglich.

Im gegenständlichen Kapitel sind explizit Verteilungsfunktionen für Aufwandswerte (ermittelt für Schalarbeiten) sowie für Mengenabweichungen (Stahlbetonarbeiten) angeführt. Diese basieren auf den von den Autoren durchgeführten Expertenbefragungen. Anhand von Expertenbefragungen konnten ebenfalls Korrelationskoeffizienten für die Eingangsparameter zur Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten ermittelt werden.

Um einen möglichst hohen Mehrwert aus den probabilistischen Berechnungen zu generieren, ist die ‚realitätsnahe' Wahl von Verteilungsfunktionen sowie – falls angewendet – der Korrelationskoeffizienten entscheidend. Gegen Ende dieses Kapitels steht die Interpretation der Simulationsergebnisse im Zentrum der Betrachtungen. Hierzu wird ausführlich auf die Bedeutung der Quantilwerte sowie der Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeiten eingegangen. Wesentlich für die praxisgerechten Überlegungen zur Entscheidungsfindung ist die Wahl einer Zahl, die in weiterer Folge das damit eingegangene Chancen-Risikoverhältnis beziffert.

7.6 Literaturverzeichnis

AbouRizk Simaan M., Halpin Daniel W. (1992). Statistical Properties of Construction Duration Data. In: Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 118, No. 3, September 1992. S. 525-544. American Society of Civil Engineers (ASCE). (ISSN 0733-9364)

Diekmann, Andreas (2007). Empirische Sozialforschung – Grundlagen, Methoden, Anwendungen. Hrsg.: König, Burghard. Reinbek bei Hamburg. Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH. (ISBN 978-3-499-55678-4)

Dinort, Günter (1977). Berücksichtigung stochastischer Einflüsse in der Kostenrechnung einer Bauunternehmung. Dissertation. München. Lehrstuhl für Tunnelbau und Baubetriebslehre der Technischen Universität München.

Gläser, Jochen; Laudel, Grit (2010). Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen – Lehrbuch – 4. Auflage. Wiesbaden. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien GmbH. (ISBN 978-3-531-17238-5)

Gorden, Raymond L. (1969). Interviewing – Strategy, Techniques, and Tactics. Homewood, Illinois. The Dorsey Press.

Hintze, Jerry L.; Nelson, Ray D. (1998). Violin Plots: A Box Plot-Density Trace Synergism. In: The American Statistican, Vol. 52, No. 2. Seite 181-184. An Official Journal of the American Statistical Association. Taylor & Francis. (ISSN 0003-1305; Online 1537-2731)

Hofstadler, Christian (2008). Schalarbeiten – Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-540-85178-3)

Hofstadler, Christian (2014b). Monte-Carlo-Simulation im Baubetrieb – Verteilungsfunktion für Aufwandswerte bei Schalarbeiten – Herleitung der Verteilungsfunktion aus den Ergebnissen einer Expertenbefragung. In: Bauingenieur, Band 89, Mai 2014. Seite 189-201. Düsseldorf. Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG. (ISSN 0005-6650)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2015a). Risiken und Chancen der Mischpreiskalkulation. In: Tagungsband – 13. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium – Preisermittlung und Vergabe in der Bauwirtschaft – Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte. Hrsg.: Heck, Detlef; Mauerhofer, Gottfried; Hofstadler, Christian. Seite 49-92. Graz, Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-385-9)

Hofstadler, Christian et al. (2016). Einfluss von Lohn- und Sozialdumping auf den Wettbewerb in der Bauwirtschaft – Forschungsprojekt. Graz, Technische Universität Graz – Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft.

Hutzelmeyer, Hannes (1984). Die Kostensteuerung des Bauauftraggebers. In: Praxis-Kompendium Baubetrieb – Leitfaden, Arbeitsunterlagen und Nachschlagewerk für Praktiker und Studenten – Band 2. Hrsg.: Schub, A.; Meyran, G. Seite 37-79. Wiesbaden, Berlin. Bauverlag GmbH. (ISBN 3-7625-2163-8)

Kummer, Markus (2015a). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten – Deterministische und probabilistische Betrachtungen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Palisade Corporation (2013). Benutzerhandbuch – @Risk – Risikoanalysen- und Simulations-Add-In für Microsoft Excel – Version 6. März 2013.

Palisade Corporation: 7.7. Interpreting Regression Coefficients in Tornado Graphs. Palisade Knowledge Base.
http://kb.palisade.com/index.php?pg=kb.page&id=138. Datum des Zugriffs: 19.11.2016.

Raaber, Norbert (2003). Beitrag zu Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen. Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz – Heft 15. Hrsg.: Stadler, Gert. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 3-901351-76-0)

Song, Lingguang; AbouRizk Simaan M. (2008). Measuring and Modeling Labor Productivity Using Historical Data. In: Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 134, No. 10, October 2008. Seite 786-794. American Society of Civil Engineers (ASCE). (ISSN 0733-9364)

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Expertenwissen. Online unter:
http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55229/expertenwissen-v9.html. Datum des Zugriffs: 20.10.2016.

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Erwartungswert-Varianz-Prinzip. Online unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/830359611/erwartungswert-varianz-prinzip-v2.html. Datum des Zugriffs: 20.11.2016.

Suhl, Leena; Mellouli, Taïeb (2013). Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen – 3. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-38936-8)

Werkl, Michael (2013). Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft – Eine entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Xie, Hua; AbouRizk; Simaan; Fernando, Siri (2011). Integrating Realtime Project Progress Input into a Construction Simulation Model. In: Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference – 11-14 December 2011. Hrsg.: Jain, S. et al. Seite 3448-3459. Phoenix, AZ. IEEE. (ISBN 978-1-4577-2107-6)

Yang, I.-T. (2005). Simulation-based estimation for correlated cost elements. In International Journal of Project Management, Volume 23, Issue 4, May 2005. Seite 275-282. Elsevier Ltd. and IPMA. (ISSN 0263-7863)

8 Einfluss der Projektvorlaufzeit und der Bauzeit auf die Projektziele

Der Bauherr ist der Hauptbeteiligte und -entscheidungsträger bei der Planung und Realisierung der Projekt- und Bauwerksziele. Er beeinflusst durch die Vorgabe von Meilensteinen und deren zeitliche Fixierung maßgeblich die Qualität der Bearbeitungen in den verschiedenen Projektphasen und letztendlich die Bauwerksqualität. Die Qualität der Projektunterlagen, die von einer ausreichenden (normalen) Projektvorlaufzeit abhängig ist, bestimmt wesentlich die Häufigkeit und das Ausmaß von Störungen und Mehrkosten. Dadurch ergibt sich für den Bauherrn ein zentraler Scheitelpunkt, der die Beeinflussbarkeit des Projekts betrifft. Dieser Punkt wird durch die Auftragsvergabe determiniert. Die bis dahin erzielte Planungs-, Ausschreibungs- und Vertragsqualität bestimmt in hohem Ausmaß den weiteren Projekterfolg in der Realisierungs-, Nutzungs- und Betriebsphase. Dahingehende Versäumnisse bezahlt der AG später durch höhere Kosten und/oder schlechtere Qualität. Im Rahmen der Vergabe der Bauleistungen werden der Beginn der Arbeiten und die Bauzeit vertraglich fixiert.

Für alle am Bauprojekt beteiligten Akteure gilt, dass die vorgegebene Bauzeit als zentraler Einflussfaktor für die Erreichung der gesteckten bzw. vereinbarten Projektziele zu betrachten ist. Besonders hohe Qualitätsanforderungen (z.B. hohe Sichtbetonanforderungen) brauchen für ihre Erfüllung entsprechende Zeit.

Die Bauzeit hat nicht nur entscheidenden Einfluss auf die wirtschaftliche Ausführung der Bauarbeiten, sondern insgesamt auf den Projekterfolg des AG. Der Bauherr tut sich selbst nichts Gutes, wenn er für das Bauprojekt eine kurze oder gar extrem kurze Bauzeit vorgibt. Das Gleiche gilt für die Projektvorbereitungszeit und besonders für die Phasen der Planung und Ausschreibung. Wird ein Projekt unzureichend und unter großem Zeitdruck geplant und ausgeschrieben sowie ausgeführt, leidet darunter nicht nur die Bauausführung, sondern auch die Nutzung und Nachnutzung. Aufgrund des daraus resultierenden gestörten Baubetriebs sind Kosten-, Zeit- und Qualitätsziele gefährdet.

Nicht nur eine zu kurze, sondern auch eine zu lange Bauzeit wirkt sich mindernd auf die Produktivität aus. Ist die Bauzeit kurz oder sogar sehr kurz, hat das große Auswirkungen auf den effizienten und effektiven Einsatz der Produktionsfaktoren. Davon sind neben den elementaren Produktionsfaktoren (Arbeitskräfte, Stoffe, Maschinen und Geräte) auch die dispositiven (Projektleiter, Bauleiter, Techniker etc.) betroffen. Dieser Einfluss wird vom Bauherrn oft nicht realisiert oder außer Acht gelassen.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_8

In diesem Kapitel wird der grundlegende Zusammenhang zwischen Bauzeit, Aufwandswerten und Produktivität sowie Baukosten dargestellt. Um Produktivitätsverluste quantitativ bewerten zu können, werden eigene Ansätze und jene aus der Literatur präsentiert und kritisch gegenübergestellt. Zudem wird ermittelt, welchen Einfluss die Bauzeit auf die Kalkulation und in weiterer Folge auf die Bauausführung hat. Die Verantwortlichen für die Bauausführung werden dahingehend sensibilisiert, auf jene Einflüsse im Baugeschehen zu achten, die sich auf die Bauzeit auswirken.

Auch auf schleichende (fiktive[1)]) Bauzeitverkürzungen soll in Zukunft vermehrt aufmerksam gemacht werden. Es tritt sehr häufig der Fall ein, dass bei gleichbleibender Bauzeit mehr zu leisten ist und sich die Umstände der Leistungserbringung für den AN nachteilig verändern. Die AN müssen meist ‚schleichend' forcieren, um die Bauzeit trotz eingetretener Störungen dennoch einhalten zu können. Daraus entstehen teilweise beachtliche Mehrkosten, die – ohne Anmeldung der Abweichung beim Bauherrn, dem Grunde nach – der AN zu tragen hat.

Insgesamt soll das Verständnis für produktivitätsfördernde und produktivitätshemmende Faktoren gesteigert und die Sensibilität für Bauablaufstörungen geschaffen werden. Einerseits wird dadurch der effiziente und effektive Einsatz der Produktionsfaktoren weiter verbessert, andererseits werden Überschreitungen der Grenzen zu Produktivitätsverlusten leichter erkannt und sind in weiterer Folge effektiver zu beurteilen.

Die Position gegenüber den Bauherren wird gestärkt und berechtigte Mehrkostenforderungen können schneller identifiziert und leichter durchgesetzt werden.

Bauherren können bereits vor der Ausschreibung die Auswirkungen der vorgegebenen Bauzeit bewerten und gegebenenfalls die erwarteten Mehrkosten der Bauausführung dem Nutzen eines früheren Fertigstellungstermins gegenüberstellen. Zusätzliche Mehrkosten, die in weiterer Folge in der Nutzung und Nachnutzung aufgrund zu kurzer vorgegebener Bauzeit entstehen, müssen für einen derartigen Vergleich gesondert berücksichtigt werden.

8.1 Zielsystem für Bauprojekte

Qualität, Zeit, Kosten, Quantität, Störungsanfälligkeit und Prozessqualität stellen die maßgebenden Entscheidungs- bzw. Gestaltungsvariablen dar, welche genauer analysiert werden müssen, um ein Bauobjekt ausreichend bewerten zu können. Die Bauobjektqualität ist dabei der bestimmende Erfolgsfaktor, da er über den Marktpreis entscheidet, den das Objekt erzielen kann. Weiters stellt die Qualität eines Objekts die Stellschraube für Folgekosten dar, da bessere Qualität meist längere Wartungsintervalle (z.B. Robustheit und Wartungsfreundlichkeit der Oberflächen) impliziert (z.B. Blech- oder Kupferdach, Dispersion- oder Mineralfarbanstriche) und dadurch die Gebäudenutzung optimiert wird. Im Rahmen der zeitbezogenen Betrachtung ist zentral, dass immer kürzer werdende Produktlebenszyklen mehr Kosten verursachen. In diesem Kontext gilt es zu beachten, dass die möglichen Kosten durch den vorgegebenen Kreditrahmen der Geldinstitute limitiert sind. Die zunehmende Forderung nach einer gesamtheitlichen Betrachtung in der

[1)] Fiktive Bauzeitverkürzung: Die Bauzeit wird nicht tatsächlich im Bauzeitplan verkürzt. Bedingt durch den höheren Arbeitsaufwand und/oder Mehrleistungen ist aber ein höherer Ressourceneinsatz notwendig, um die vereinbarte Bauzeit einhalten zu können. Wenn der Ressourceneinsatz unverändert bleiben würde, müsste die Bauzeit verlängert werden. Um dies zu verhindern, wird die nur fiktiv verlängerte Bauzeit auf das ursprüngliche Niveau verkürzt. Dadurch ergibt sich die fiktive Bauzeitverkürzung, was einer Forcierung gleichkommt.

Baubranche erfordert die Erweiterung des klassischen magischen Dreiecks – Kosten, Termine und Qualität – über das Projektziel hinaus und führt zur neuen Zielausrichtung – dem Betriebsziel. Als Betriebsziel rücken Lebenszykluskosten, nachhaltige Qualitätsstandards und langfristige Zeitziele wie Gewährleistung, Servicevereinbarungen und Verträge in den Fokus. Somit wird deutlich, dass momentane Projektziele als Punktlandung in Bezug auf Qualität und Termine betrachtet werden können, da Kosten meist als durch den Bauherrn vorgegeben angesehen werden können. Ferner ist es notwendig, einen lebenszyklusorientierten Ansatz zu wählen, um diese starr fokussierte Zielausrichtung zu verhindern und hin zu einer strategischen Beschaffungsstrategie mit Langzeitzielen, wie in Abb. 8-1 (Zielsystem für den Lebenszyklus von Bauobjekten) dargestellt, zu verändern. Weiters sollen die Prozessqualität und die Störungsanfälligkeit in der Bauprojektphase als auch in der Betriebsphase bewertet werden.

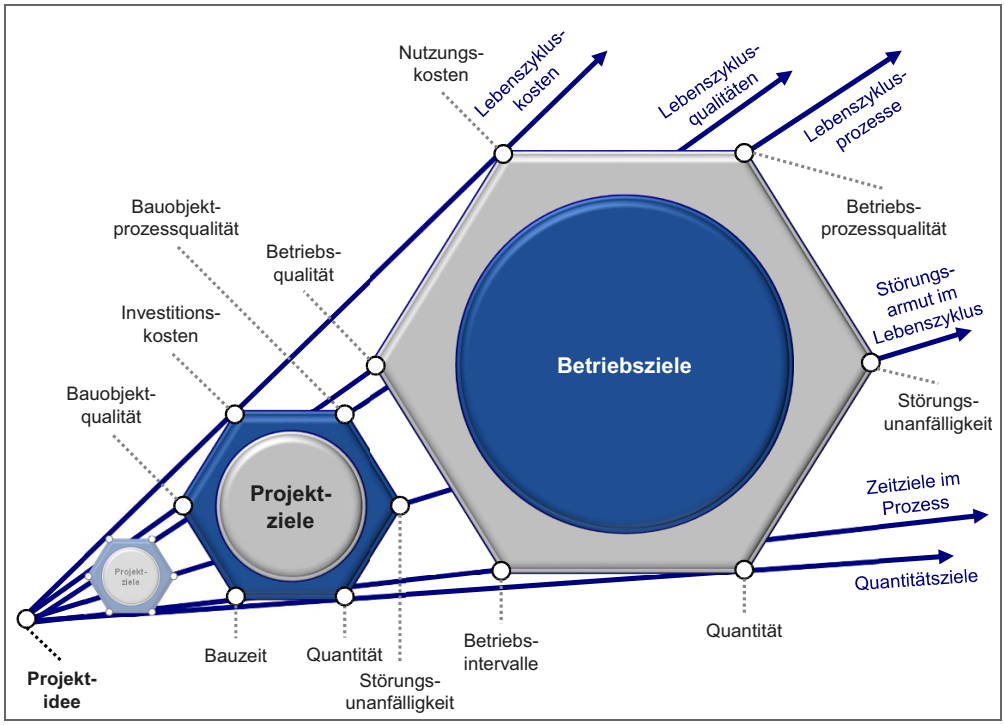


Abb. 8-1 Zielsystem für den Lebenszyklus von Bauobjekten[2)]

Auf das Erreichen der Ziele hat das dabei eingegangene (gewählte) Chancen- und Risikoverhältnis eine große Bedeutung. Wird beispielsweise die Projektvorlaufzeit sehr kurz gewählt, sind die Chancen sehr groß, dass die Projektvorbereitungskosten sehr niedrig ausfallen werden. Allerdings ist das Risiko sehr hoch, dass die gesteckten Projektziele gar nicht oder nur eingeschränkt erreicht werden.

2) Hofstadler (2014c), S. 145

8.2 Projektvorlaufzeit und Projektziele

Der Zusammenhang zwischen veranschlagter Projektvorlaufzeit und der damit erzielbaren Projekt-, Bauwerks-, Betriebs- und Nutzungsqualität ist in Abb. 8-2 qualitativ dargestellt. Auf der Abszisse ist die Zeit aufgetragen und auf der Ordinate das Ausmaß der Zielerreichung. Anzustreben ist in Abhängigkeit von der Art des Projekts eine normale Projektvorlaufzeit. Der Bereich der ‚normalen' Projektvorbereitungszeit beschreibt die Bandbreite der Vorlaufzeit, die dazu geeignet ist, die Planungs- und Entscheidungsgrundlagen in einer ausreichenden Qualität zu erstellen bzw. aufzubereiten. Die 100 % auf der Ordinate bedeuten, dass die gesetzten Ziele bei minimalen Kosten, Störungen, Streitfällen etc. erreicht werden können.

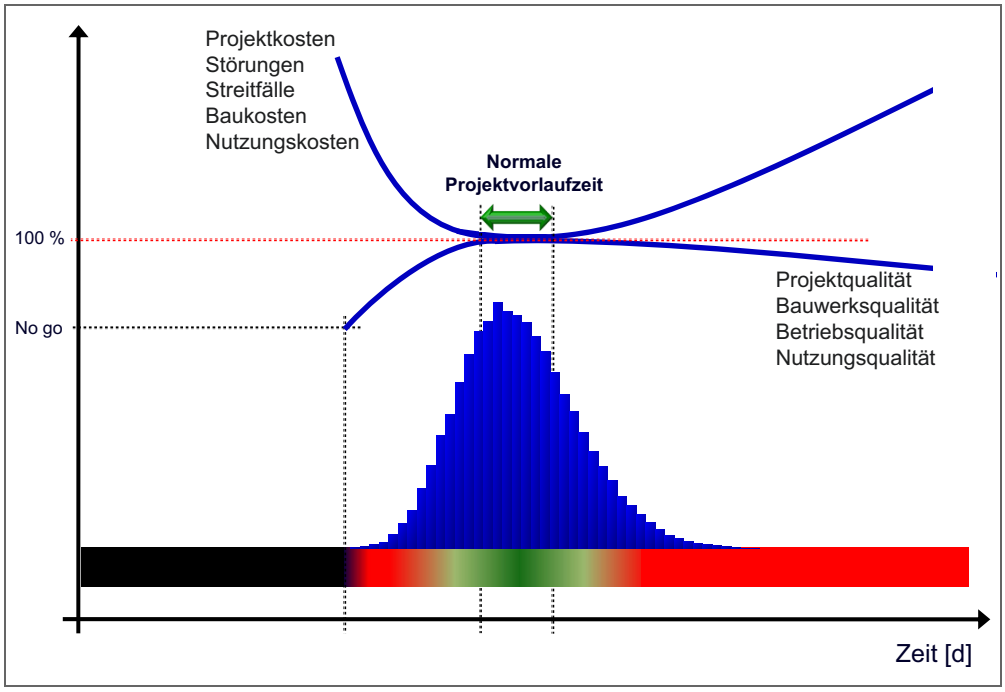


Abb. 8-2 Zusammenhang zwischen Projektvorlaufzeit und Projektzielen

Ist die Projektvorlaufzeit zu kurz oder zu lang, steigen die Kosten. Besonders wenn die Vorlaufzeit zu kurz ist bzw. immer kürzer wird, folgt ein Anstieg an Störungen und eine Zunahme an Streitfällen. Daraus ergeben sich höhere Baukosten und Projektkosten sowie in weiterer Folge steigende Nutzungskosten. Der Bauherr hat u.U. einen sehr gut geschnürten Bauvertrag, der aber in weiterer Folge nicht alle Probleme lösen kann, da die Projektorganisation, die Planung und Ausschreibung sowie die Ablauforganisation mangelhaft ist. Das Entscheidende dabei ist, dass immer noch von Menschen geplant, organisiert und koordiniert wird, die ein adäquates Zeitbudget dafür brauchen, um die Normal-Produktivität zu erreichen. Denn durch den vorhandenen ‚Projektdruck' – und weil die Zeit und das Stundenbudget zu knapp sind – werden wichtige Abstimmungen und Schnittstellenregelungen außen vor gelassen.

Die aufgrund einer zu kurzen Projektvorlaufzeit entstehenden Folgekosten können ex ante nur schwer in Zahlen gefasst werden. Darin liegt auch das große Problem diese Kosten im Sinne der Barwertmethode auf den Vergleichszeitpunkt ‚abzuzinsen'. Dadurch fehlt auch die Vergleichbarkeit zwischen den Gesamtkosten von normalen und zu kurzen Projektvorlaufzeiten.

Auch wenn die Projektvorlaufzeit zu lang ist, steigen die Kosten aufgrund von unnötigen Planungs- und Organisationsmaßnahmen (z.B. neue Richtlinien und Vorschriften sind zu berücksichtigen, Änderungen in der Auftraggeberstruktur, Änderungen in den Finanzierungsvereinbarungen), die nicht zu einer weiteren Ergebnisverbesserung führen. Ganz im Gegenteil kann eine zu lange Vorlaufzeit niedrigere Qualitäten verursachen (z.B. durch Überreizung der Planung).

In der Realisierungsphase steht das Produktionssystem im Zentrum der Betrachtungen. Die erzielbare Produktivität wird wesentlich von der Effizienz und Effektivität des Produktionssystems bestimmt.

8.3 Produktivität und Produktionssystem

Die Produktivität stellt eine wesentliche Kennzahl im Baubetrieb und der Bauwirtschaft dar und ist ein zentraler Begriff bei der Planung, Kalkulation und Durchführung von Bauleistungen. Sie dient zur Beurteilung der Ergiebigkeit einzelner Arbeiten oder des gesamten Produktions- bzw. Wirtschaftsprozesses und wird durch das Verhältnis von Output zu Input ausgedrückt.

8.3.1 Produktionssystem

Neben den elementaren Produktionsfaktoren (Arbeit, Betriebsmittel und Stoffe), wird die Gesamtproduktivität indirekt durch die dispositiven Produktionsfaktoren (Planung, Steuerung, Kontrolle, Auswahl, Organisation, Kommunikation, Dokumentation, Wissensarbeit etc.) bestimmt (Darstellung des Produktionssystems siehe Kapitel 1, Abb. 1-2).[3)]

Wesentlich dabei sind die richtige Auswahl und Kombination der Produktionsfaktoren. Diese haben direkten Einfluss auf die Aufwands- sowie Leistungswerte und damit auf die Produktivität. Von ihnen hängt es auch ab, ob die ‚Normal-Produktivität'[4)] erzielt werden kann. Werden die spezifischen Grenzen der Produktionsfaktoren nicht eingehalten, muss ein größerer Ressourceneinsatz die dabei entstehenden Produktivitätsverluste kompensieren. Die Produktionsfaktoren sind gesamtheitlich zu betrachten und nicht einseitig zu optimieren.[5)]

Wie wirtschaftlich die Kombination der Produktionsfaktoren gelingt, hängt maßgebend von der Art, Form und Komplexität des Bauwerks sowie von den Umständen der Leistungserbringung ab. Weiters wird die erzielbare Gesamtproduktivität von den gefor-

3) Vgl. Hofstadler (2014a), S. 13ff.

4) Als durchschnittliche ‚Normal-Produktivität' wird jene menschliche Produktivität bezeichnet, die von jeder hinreichend geeigneten Arbeitskraft nach genügender Einübung und Einarbeitung ohne Gesundheitsschädigung auf die Dauer im Durchschnitt mindestens erreicht und erwartet werden kann, wenn sie die in der Vorgabe berücksichtigten Zeiten für persönliche Bedürfnisse und ggf. auch für die Erholung einhält. Anmerkung: in Anlehnung an die REFA Definition für Normalleistung. Vgl. ebd., S. 67

5) Vgl. ebd. S. 13ff.

derten Qualitäten und Quantitäten, der Bauzeit, dem Umfeld und nicht zuletzt durch die Witterung bestimmt.[6)]

Für jedes Bauwerk sind in Abhängigkeit von der Projektphase die Einflüsse auf das Produktionssystem mehr oder weniger detailliert zu bewerten. Wesentliche Aspekte die Einfluss auf die Produktivität haben sind beispielhaft in Abb. 8-3 dargestellt. Für die Angebotskalkulation sind bezogen auf die Elemente des äußeren Produktionssystems folgende Fragen von Bedeutung (Auswahl):

- Bauzeit: Liegt eine normale Bauzeit vor oder nicht? Wenn nein, wie hoch ist der Grad der Unter- bzw. Überschreitung?
- Umfeld: Wie ist das Umfeld innerhalb der Baustelleneinrichtungsfläche und der daran anknüpfende Bereich hinsichtlich der Lager- und Umschlagsflächen sowie der Logistik zu bewerten?
- Witterung: Sind kritische Arbeiten (z.B. Herstellung von Sichtbeton) in ungünstigen Jahreszeiten auszuführen?
- Qualität: Welche Anforderungen werden beispielsweise an die Betonoberflächen gestellt (z.B. Sichtbeton der Klasse SB 3)?
- Quantität: Welche Mengen sind einzubauen (z.B. Gesamtbewehrungsmenge von 5.000 t sind zu verlegen)?
- Art, Form und Komplexität des Bauwerks: Wie sieht die Grund- und Aufrissgestaltung des Bauwerks aus? Wie regel- bzw. unregelmäßig sind die Bauteile? Wie hoch ist der Bewehrungsgrad und welche Biegeformverteilung ist zu erwarten?

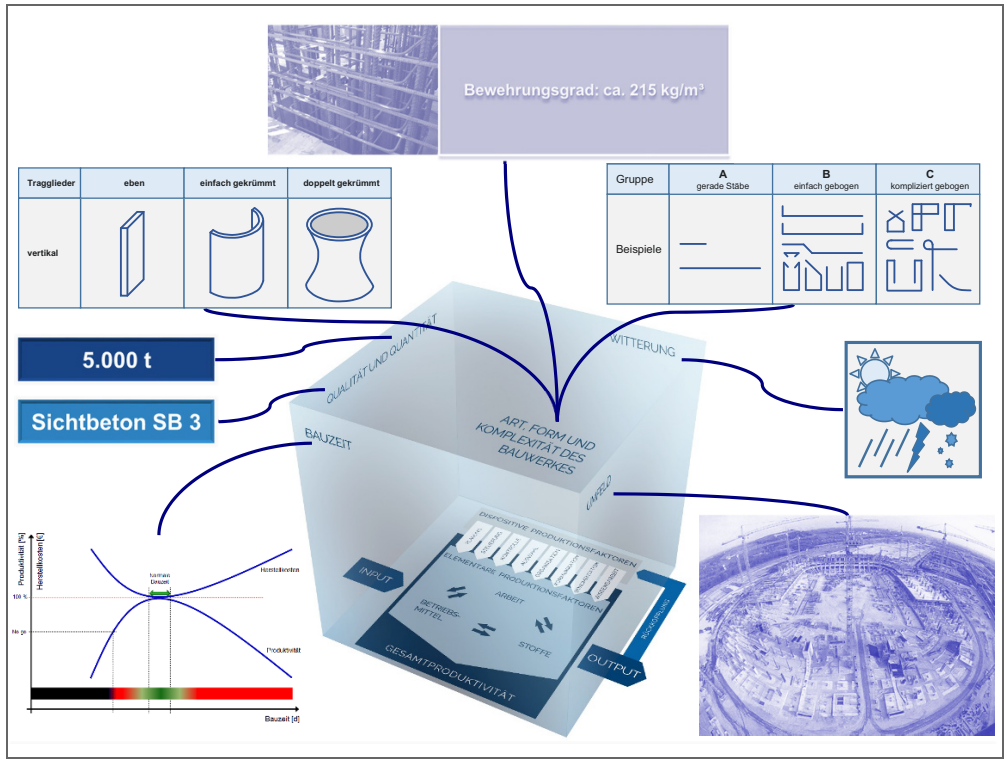


Abb. 8-3 Bewertung des Produktionssystems hinsichtlich der äußeren Einflüsse

6) Vgl. Hofstadler/Kummer (2015a), S. 52f.

Zur Beurteilung, Bewertung und Analyse der erzielten bzw. der erzielbaren Gesamtproduktivität müssen sowohl die elementaren als auch die dispositiven Produktionsfaktoren (Art, Anzahl und deren Kombination) dokumentiert werden. Dabei ist zu beachten, dass stets ein zeitlicher, räumlicher und intensitätsmäßiger Bezug hergestellt wird.

8.3.1.1 Inneres Produktionssystem

Die inneren Produktionsbedingungen beziehen sich auf die isolierte Betrachtung der Art, der Anzahl und der Kombination der elementaren Produktionsfaktoren. Es geht um Arbeitskräfte, Betriebsmittel und Stoffe, die zur Ausführung der Leistungen erforderlich sind. Deren zeitliche, räumliche und intensitätsmäßige Abstimmung ist maßgeblich dafür, dass die Grenzen zu Produktivitätsverlusten nicht überschritten werden. Für die Auswahl und das Funktionieren dieser Faktoren sind die dispositiven Produktionsfaktoren verantwortlich.

Das innere Produktionssystem steht in Wechselbeziehung mit dem äußeren Produktionssystem.

8.3.1.2 Äußeres Produktionssystem

Die äußeren Produktionsbedingungen wirken auf das innere Produktionssystem und bestimmen maßgeblich die erzielbare Produktivität. Sie sind vom AN nicht wählbar und damit auch nur bedingt beeinflussbar (z.B. durch Vorfertigung in einer Fertigungshalle). Das innere Produktionssystem ist im Kontext dieser vorgegebenen Rahmenbedingungen zu adaptieren. Wer die Kosten für diese Anpassungen in der Bauausführungsphase zu tragen hat, folgt aus den Vereinbarungen im Bauvertrag bzw. ist Gegenstand von Rechtsstreitigkeiten zwischen den Parteien.

Zu den Teilen des äußeren Produktionssystems ist neben der Art, Form und Komplexität des Bauwerks, der Witterung, den geforderten Qualitäten und Quantitäten sowie dem Umfeld auch die vorgegebene Bauzeit zu zählen. Die Bauzeit ist dabei als sehr wesentlicher Faktor für die Wahl der Art, Anzahl und Kombination der Produktionsfaktoren zu sehen.

8.3.1.2.1 Bauzeit

Die erzielbare Produktivität wird wesentlich von der Bauzeit beeinflusst. Im Falle einer Abweichung von der normalen Bauzeit ist besonders bei zu kurzer Bauzeit das Gleichgewicht der Produktionsfaktoren gestört. Bei einer zu langen Bauzeit tritt – zwar mit geringerer Ausprägung als bei einer zu kurzen Bauzeit – ebenfalls eine Störung des Gleichgewichts ein. Der Einfluss der Bauzeit wird in weiterer Folge noch näher betrachtet und dargestellt.

8.3.1.2.2 Umfeld

Das Projektumfeld bildet den Kontext, in dem ein Projekt geplant und umgesetzt wird. Das Projekt wird davon stark beeinflusst und zudem treten Wechselwirkungen zum Vorschein.

Die ICB - IPMA[7)] (Competence Baseline) beschreibt zusätzlich, dass das Umfeld das Projekt formuliert und bewertet, d.h. gleichzeitig Ursprung und Assessor des Projekts ist. Die ICB führt eine Reihe von Faktoren für die Wechselwirkungen zwischen Projekt und Projektumfeld. Insbesondere sind dabei physische, ökologische, gesellschaftliche, psychologische, kulturelle, politische, wirtschaftliche, finanzielle, juristische, vertragliche, organisatorische, technologische und ästhetische Faktoren zu nennen.

Die Definition des konkreten Projektumfelds erfolgt durch die Projektumfeldanalyse und ist Teil eines Pflichtenhefts.

8.3.1.2.3 Witterung

Als Witterung wird der allgemeine, durchschnittliche oder auch vorherrschende Charakter des Wetters an einem Ort über einen Zeitraum mehrerer Tage oder Wochen bezeichnet. Besonders in Betracht gezogen werden dabei die fühlbaren Wetterelemente wie Niederschlag, Temperatur, Wind und Luftfeuchtigkeit.

Das Wetter charakterisiert den Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt. Kennzeichnend sind die meteorologischen Elemente Strahlung, Luftdruck, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind, sowie die daraus ableitbaren Elemente Bewölkung, Niederschlag, Sichtweite etc. Das Wetter ist das augenblickliche Bild eines Vorgangs (Wettergeschehen), das sich hauptsächlich in der Troposphäre abspielt. Es kann sich – im Gegensatz zur Wetterlage und Witterung – mehrmals täglich ändern.

In den Detailbetrachtungen von Witterungseinflüssen sind jedenfalls die Wetterdaten für einen bestimmten Zeitraum heranzuziehen.

8.3.1.2.4 Qualität und Quantität

Die Qualität als Determinante eines baubezogenen Produktionssystems bezieht sich darauf, wie sich die Bauausführung in technischer und ästhetischer Hinsicht gestaltet. Es ist erwiesen, dass mit steigender Ausführungsgeschwindigkeit – verursacht durch eine kurze oder sehr kurze Bauzeit – auch die Fehlerhäufigkeit steigt. Dies ist einerseits durch das höhere Ausführungstempo bedingt, andererseits durch den erhöhten Bedarf an Arbeitskräften, die in weiterer Folge quantitativ und besonders auch qualitativ nicht mehr optimal aufeinander abgestimmt sind.

Die Quantität beeinflusst die Erzielung von Einarbeitungseffekten und die erforderliche durchschnittliche Arbeitsleistung, die notwendig ist, um den Vertragszeitplan bzw. vertragliche Zwischentermine einzuhalten. Auch die Beschaffungskonditionen werden wesentlich von der benötigten Menge bestimmt.

8.3.1.2.5 Art, Form und Komplexität des Bauwerks

Bei der Art des Bauwerks ist zu unterscheiden, ob es sich beispielsweise um einen Hochbau, Ingenieurbau oder Industriebau handelt. Aus der Art der Bauteile, den Bauteilabmessungen und der Tragkonstruktion ergeben sich besondere Einflüsse. Bei Bauwerken aus Stahlbeton haben Schalungs- und Bewehrungsgrad großen Einfluss auf die Produktivität.

7) International Project Management Association

Bei Hochbauten nehmen der Grad der Wiederholungen einzelner Bauabschnitte, die Spannweiten der Tragkonstruktion sowie der Achsraster des Bauwerks eine hohe Bedeutung ein. Zudem ist den Bauteil- bzw. Bauwerkshöhen in diesem Kontext besondere Beachtung zu schenken. Es gilt die Grundregel, dass je feingliedriger (z.B. je höher der Schalungsgrad; beispielsweise im Hochbau über 5 m^2/m^3) und beengter sich die Situationsanforderungen darstellen, desto höher ist der Arbeitsaufwand für die Arbeiten einzuschätzen.

Besonders, wenn hohe Sichtbetonanforderungen an die Bauteile bzw. das Bauwerk gestellt werden, benötigen alle Projektbeteiligten vertiefte und vernetzte Kenntnisse in der Tragwerksplanung, Schalungstechnik und Betontechnologie sowie im Baubetrieb. Eine besondere Bedeutung kommt auch der gegebenen Flexibilität in der Anordnung von Arbeitsfugen zu. Je flexibler die AN die Größe und Anzahl der Fertigungsabschnitte wählen können, desto wirtschaftlicher kann der Herstellungsprozess erfolgen. Monolithisches Bauen ist aufwendiger als zergliedertes Bauen, da die Verbergung von Fugen in den Schalungssystemen sehr technik- und arbeitsintensiv und somit teuer ist.

Abschnittsweises Bauen ist für den AN wirtschaftlicher als monolithisches und wird, da es weniger Zeit und Geld beansprucht, bevorzugt angewendet. Weniger Zeit deswegen, da die Abschnitte kleiner sind und der Baubetrieb effizienter gestaltet werden kann. Auch die Einarbeitungseffekte wirken sich bei einer höheren Anzahl an Produktionsabschnitten positiv auf Zeit, Qualität und Kosten aus. Beim monolithischen Bauen gibt es konstruktive, statische, baubetriebliche und bauwirtschaftliche Grenzen. Diese Grenzen sollten dem Planer bereits bei seinen Entwürfen bekannt sein, damit keine falschen Vorstellungen vom Möglichen und wirtschaftlich Leistbaren entstehen.

Auch die Qualität wird von der Dimension des monolithischen Bauens bestimmt. Je größer die Betonierabschnitte in der Herstellung sind, desto weniger genau kann die Kombination der Produktionsfaktoren in der Schalung beobachtet werden. Die Kontrolle des Einbringens von Beton in die Schalung und dessen Verteilung und Verdichtung ist sehr wichtig für die Qualität des Endprodukts. Besonders bei hohen Abschnitten (größer als 3 m) und geneigten Bauteilen gestaltet sich der Kontrollprozess schwierig und kann nicht im notwendigen Umfang durchgeführt werden. Verluste in der Gleichmäßigkeit und Gründlichkeit der Betonverteilung sowie der Verdichtung, die sich unmittelbar negativ auf das Endergebnis auswirken, sind die Folge.

Zur Beurteilung des Schwierigkeitsgrads des Produktionssystems gilt es, möglichst viele maßgebliche Bauwerkscharakteristika zu ergründen, um bereits in der Grobkalkulation die Einflüsse daraus so realistisch wie möglich einschätzen zu können. Die bereits in dieser Projektphase gesammelten Projektinformationen sind im Falle einer späteren Vergabe verbindlich und vertragsrelevant. Bei einer später erforderlichen Beurteilung des vom AN eingegangenen Kalkulationsrisikos wird daher stets zu prüfen sein, womit der AN auf Grund der Ausschreibungsbedingungen, der Angaben des Bestellers, den Plänen etc. rechnen durfte. Sollen die Auswirkungen der Art, Form und Komplexität des Bauwerks bzw. dessen Bauteilen bewertet werden, ist den Plänen besondere Beachtung zu schenken.

Nur aus den Plänen ist ersichtlich ob die Bauteile regelmäßig oder unregelmäßig angeordnet sind. Weiters ist ersichtlich, ob die Flächen der Bauteile eben, gekrümmt oder gar doppelt gekrümmt sind. Auch etwaige Neigungen der Aufstandsflächen und die Unterstellungshöhen sind anhand der Pläne ersichtlich. Unabhängig von einer Reihenfolge der Vertragsbestandteile einer Ausschreibung sind im Zuge der Angebotskalkulation die Leistungsbeschreibung und die Pläne auf Konformität zu prüfen, um letztendlich das Kalkulationsrisiko zu minimieren. Auch im Sinne der vorvertraglichen Prüf- und Warnpflicht sind die Pläne auf mögliche Unstimmigkeiten zwischen der Leistungsbeschreibung und den Planunterlagen eingehend zu studieren.

8.3.2 Aufwandswerte

Der Aufwandswert ist die zentrale Kennzahl für baubetriebliche und bauwirtschaftliche Prognosen sowie Untersuchungen von arbeitsintensiven Tätigkeiten. Mit dieser Kennzahl erfolgt die Herstellung eines direkten Bezugs zu den Anforderungen, die sich aus dem Produktionssystem ableiten lassen.

Aufwandswerte dienen für Kostenschätzungen und -berechnungen sowie für die Ermittlung von Bauzeiten als wesentliche Berechnungsgrundlage. Mit zunehmenden Kenntnissen über die Bauwerksdaten und Informationen über die Einflüsse auf das mögliche Verhalten des Produktionssystems können die Unsicherheiten und die Bandbreiten der Eingangsgrößen reduziert werden.

Ist eine vertiefte Angebotsprüfung durchzuführen, kommt den Aufwandswerten besonders bei lohnintensiven Tätigkeiten eine große Bedeutung zu. Bei allen Verträgen mit Einheitspreisen wird der Anteil Lohn aus dem Produkt von Mittellohnpreis und Aufwandswert gebildet. Insbesondere kann bei offengelegtem K3-Blatt (Kalkulationsformblatt zur Berechnung des Mittellohnpreises) mittels Division des Lohnanteils durch den Mittellohnpreis der Aufwandswert, welcher der Position zugrunde gelegt wurde, ermittelt werden. Ergeben sich aus diesen rechnerisch ermittelten Aufwandswerten sehr niedrige Lohnstundenansätze pro Einheit [Std/MEH], kann dies ein Indiz für Lohn- und/oder Sozialdumping sein. Andererseits könnte auch eine unsachgemäße Einrechnung von Preisanteilen in eine andere Position vorliegen. Für die Ausführung von arbeitsintensiven Tätigkeiten gibt es für Aufwandswerte ablaufbedingte und technologische Untergrenzen (= Maßstab zur Beurteilung von ‚Unter-Aufwandswerten'), die nicht unterschritten werden können. Durch Einflüsse von Witterung, Umwelt, Qualität und Quantität, Umfeld, Art, Form sowie Komplexität des Bauvorhabens fallen diese Aufwandswerte in projektspezifischer Betrachtung zumeist viel höher als diese Untergrenzen aus.

8.3.2.1 Berechnung

Bezogen auf die Arbeitsproduktivität stellen Aufwandswerte $AW_{a,v,i}$ [Std/MEH] eine zentrale Kennzahl für die Kalkulation und die Bauablaufplanung von arbeitsintensiven Tätigkeiten dar. Für baubetriebliche und bauwirtschaftliche Betrachtungen werden Aufwandswerte zur Ermittlung der Lohnkosten bzw. Berechnung von Leistungswerten und Bauzeiten herangezogen. Aufwandswerte werden durch den Quotienten aus der Lohnstundensumme $LStd_{a,v,i}$ [Std] und der Produktionsmenge $M_{a,v,i}$ [MEH] gebildet (siehe Glg. (8-1)).[8)]

$$AW_{a,v,i} = \frac{LStd_{a,v,i}}{M_{a,v,i}} \tag{8-1}$$

„Die Größenordnung der Aufwandswerte beeinflusst die Arbeitsproduktivität und damit maßgeblich die Leistung für die einzelnen Ablaufabschnitte. Beeinflusst wird die Arbeitsproduktivität von der erzielbaren Normalleistung der Arbeitskräfte für die betrachteten Arbeiten. Bezieht man den Begriff Normalleistung auf Aufwandswerte, kann in diesem Zusammenhang von einem ‚Normalaufwandswert' gesprochen werden.

8) Vgl. Hofstadler (2014a), S. 46f.
Vgl. Hofstadler/Franzl (2011), S. 129
(a...Ablaufstufe, v...Vorgang, i...Bauteil)

[...] Aufwandswerte stellen in der Angebotsphase eine wesentliche Grundlage zur Kosten- und Zeitberechnung dar. In der Phase der Arbeitsvorbereitung sind sie wichtiger Bestandteil für die Berechnung der Dauer der einzelnen Vorgänge und damit in weiterer Folge des gesamten Fertigungsablaufs und des Ressourceneinsatzes. Im Zuge z.B. der Nachkalkulation oder des Baustellen-Controllings werden Daten aus der Bauausführung systematisch aufgezeichnet. Wenn die Gesamtstunden und spezifischen Produktionsmengen für eine Leistung erfasst sind, berechnet sich der Aufwandswert für eine Tätigkeit (oder für einen Vorgang etc.) nach Glg. (8-1)."[9)]

Der Zeitbedarf für eine Arbeitsaufgabe ist von einer Vielzahl an Einflüssen (z.B. unterschiedliches Leistungsangebot der Arbeitskräfte, Art und Zustand der eingesetzten Betriebsmittel, verwendete Baustoffe, Arbeitsplatzbedingungen, Güte der Organisation) geprägt. Die Intensität dieser Einflüsse kann sich verändern und es können auch gegenseitige Beeinflussungen auftreten. Die Folge ist, dass der Zeitbedarf einer Arbeit – auch bei gleichbleibenden Arbeitsbedingungen – von Ausführung zu Ausführung verschieden ist.[10)]

In der Angebotsphase sind aus der Sicht der AN bei der Ermittlung der Höhe von Aufwandswerten stets die Einflüsse aus dem inneren und äußeren Produktionssystem zu berücksichtigen. Die finale Festlegung auf einen Wert sollte immer unter Beurteilung des Chancen- und Risikoverhältnisses erfolgen. Wird ein sehr niedriger Wert gewählt, ist die Basis und damit auch das Chancenpotenzial, dass der gewählte Wert in der späteren Ausführung erreicht oder gar unterschritten werden kann sehr niedrig.

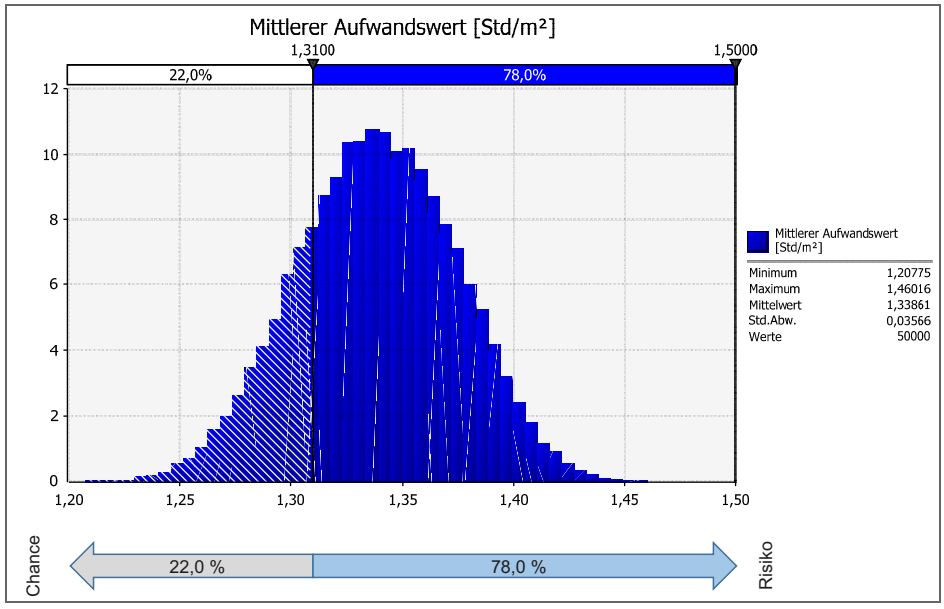


Abb. 8-4 Histogramm für den mittleren Gesamt-Aufwandswert der Schalarbeiten – Gewählter Aufwandswert mit entsprechendem Chancen-Risikoverhältnis

Zur Veranschaulichung dieses Zusammenhangs wird das von einem Bieter im Zuge der Angebotskalkulation (Nullkalkulation) berechnete Histogramm für den Aufwandswert der Schalarbeiten eines Bauwerks herangezogen (siehe Abb. 8-4). Wird beispielsweise der

9) Hofstadler/Franzl (2011), S. 129

10) Vgl. Spranz (1975), S. 5

Aufwandswert mit 1,31 Std/m² gewählt, besteht für den Bieter lediglich eine Chance von ca. 22 %, dass dieser Wert in der Ausführung erreicht bzw. unterschritten werden kann. In etwa 78 % der Fälle ergibt sich unter den getroffenen Annahmen (hier nicht dargestellt) ein höherer mittlerer Aufwandswert für die Schalarbeiten. Der Bieter bzw. spätere AN würde mit diesem Ansatz ein erhöhtes Risiko eingehen, könnte aber immer noch die baubetriebliche Plausibilität seines Angebots beweisen.

Damit überhaupt eine Chance besteht einen Auftrag zur erhalten, wird zwangsläufig knapp kalkuliert und Aufwandswerte mit einem niedrigen Chancen-Risikoverhältnis gewählt. Besonders sehr knappe Kalkulationen erfordern in der Bauausführung höchstmögliche Effizienz in der Kombination der Produktionsfaktoren.

8.3.2.2 Differenzierung von Aufwandswerten

Im Zuge der Ermittlung und Verwendung von Aufwandswerten ist eine Differenzierung je nach Betrachtungsgegenstand (Lohnkosten bzw. Ausführungsdauer) vorzunehmen und eine Abgrenzung des Leistungsumfangs erforderlich.[11)]

Hoffmann/Motzko/Corsten weisen darauf hin, dass der Aufwand in Bezug auf die Arbeitszeit ((Akkord-)Aufwandsrichtwert) vom Kalkulationsrichtwert im Sinne der Kostenbestimmung abzugrenzen ist.[12)]

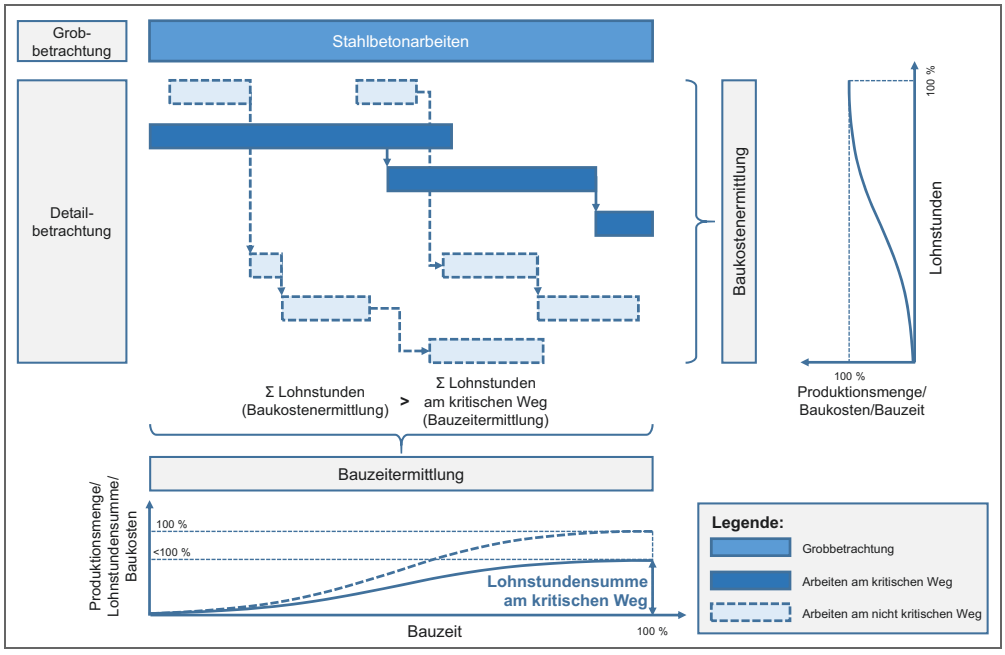


Abb. 8-5 Aufwandswerte – Differenzierung der Betrachtungstiefe[13)]

11) Vgl. Motzko/Boska (2013), S. 18

12) Vgl. Hoffmann/Motzko/Corsten (2012), S. 23

13) Vgl. Kummer (2015a), S. 60

Es ist demnach grundsätzlich zwischen Aufwandswerten, die für die Baukostenermittlung und jenen, die für die Bauzeitermittlung herangezogen werden, zu unterscheiden (siehe Abb. 8-5). Bei der Kostenermittlung sind die gesamten aufgewendeten Lohnstunden zu erfassen, die sich aus der Bewertung aller Tätigkeiten einer Leistung ergeben – unabhängig von deren Beziehung bzw. zeitlichen Versätzen. Bei der Bauzeitermittlung bzw. der Terminplanung steht die Zeit, die für die einzelnen Tätigkeiten am kritischen Weg aufgewendet wird, im Zentrum der Betrachtungen. Hierbei müssen Versätze zwischen den Tätigkeiten berücksichtigt werden. Für die Terminplanung ist vor allem der kritische Weg, der bei Verzögerungen Auswirkungen auf den Endtermin hat, essenziell. Randstunden[14)], die abseits des kritischen Wegs anfallen, spielen für die Terminplanung nur eine untergeordnete Rolle, weshalb sich für die Terminplanung ein geringerer Aufwandswert (reduziert um Zeiten am nicht kritischen Weg) als für die Tätigkeiten am kritischen Weg ergibt.[15)]

8.4 Auswirkung der Bauzeit auf die Planungsprozesse

Eine zu kurze Bauzeit wirkt sich auch auf den Ablauf und die Störungsanfälligkeit der (baubegleitenden) Planungsprozesse aus. Wenn weniger Zeit für die Planung und Abstimmung zur Verfügung steht, leidet die Planungs- und Abstimmungsqualität. Die Abstimmung innerhalb einer Leistungsgruppe und besonders jene mit anderen involvierten Gewerken ist von der knappen Zeit massiv betroffen. Bauprojekte mit sehr kurzen Bauzeitvorgaben müssen optimal vorbereitet werden, um die Planungs- und Ausführungsschnittstellen sehr gut zu organisieren und in weiterer Folge zu steuern. Wenn auch nur ein Planer seinen Zeitplan nicht einhalten kann, beginnen sich die Störungen im Bauablauf zu häufen und gegebenenfalls zu aggregieren (‚aufzuschaukeln'). Der schlimmste Fall tritt dann ein, wenn ein oder gar mehrere Planer nach Baubeginn ausfallen. Alle Planer im Schnittstellenbereich und auch die darauf aufbauenden Gewerke werden behindert oder stehen still. Die Vorgabe einer kurzen oder sehr kurzen Bauzeit muss sehr gut vom Bauherrn überlegt und vorbereitet werden. Erfahrungsgemäß ist es nahezu sicher, dass sich immer Planer und Bauunternehmen finden werden, die mit der Vertragsunterzeichnung die Einhaltung aller Vertragsziele garantieren, später aber an den kurzen Bauzeitvorgaben und den vereinbarten Preisen scheitern.

Aus abgeschlossenen und laufenden Projekten lassen sich folgende Ursache-Wirkungsbeziehungen ableiten:

- je kürzer die Bauzeit und je schlechter die Projektvorbereitung, desto größer der Projektmisserfolg
- je kürzer die Bauzeit und je schlechter die Planungs- und/oder Ausschreibungsqualität, desto größer der Projektmisserfolg für den AG als auch AN (z.B. Produktivitätsverluste, die nicht über Mehrkostenforderungen abgegolten werden)
- je kürzer die Bauzeit, desto früher müssen die Planer ihre Leistungen abstimmen und desto besser müssen die Schnittstellen organisiert und gesteuert werden
- je kürzer die Bauzeit, desto mehr Besprechungen müssen je Zeiteinheit abgewickelt werden

14) „Randstunden: Stunden, die für Vorbereitungs- und Abschlussarbeiten oder für mehrfach wiederholte Teilleistungen (z.B. Reinigen der Schalung vor dem Umsetzen) anfallen. Sie sind ein Teil der Leistungsstunden. Bei der Ermittlung von Aufwandswerten (z.B. Std/m²) oder bei deren Verwendung ist darauf zu achten, ob die Randstunden anteilig im Aufwandswert enthalten sind oder nicht." Oberndorfer/Jodl et al. (2001), S. 128

15) Vgl. Kummer (2015a), S. 59

- je kürzer die Bauzeit, desto kürzer werden die Besprechungsintervalle und damit die Entscheidungshorizonte
- je kürzer die Bauzeit, desto weniger Zeit bleibt für Entscheidungsfindungen und es müssen mehr Entscheidungen in kürzerer Zeit getroffen werden
- je kürzer die Bauzeit, desto höher muss der Vollständigkeitsgrad der Planung des Bauprojekts zu Beginn der Angebotsphase sein
- je kürzer die Bauzeit, desto höher muss der Reifegrad des Projektmanagements bereits vor Baubeginn sein
- je kürzer die Bauzeit, desto besser muss der Baugrund und das Bauwerk (beim Bauen im Bestand) erkundet sein
- je kürzer die Bauzeit, desto anfälliger wird das Projekt für Störungen und Mehrkosten sowie Qualitätseinbußen
- je kürzer die Bauzeit, desto kürzer werden die Reaktions- und Bearbeitungszeiten bei Planungsfehlern
- je kürzer die Bauzeit, desto mehr Vorgänge müssen parallel ablaufen
- je kürzer die Bauzeit, desto weniger Zeit bleibt für Gegensteuerungsmaßnahmen und desto weniger Wirkung zeigen diese
- je kürzer die Bauzeit, desto höher sind die abgerechneten Gesamtprojektkosten

8.5 Die Bedeutung der Bauzeit

Der Einflussbereich der Bauzeit für das Bauprojekt ist vielfältig. Neben der baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Bedeutung ist die rechtliche Relevanz hervorzuheben. Durch die Bauzeit werden die Teilqualitäten und die Gesamtqualität sowie auch die Anzahl der Bauablaufstörungen und damit die gestellten Mehrkostenforderungen beeinflusst (siehe Abb. 8-6).

Prinzipiell sind die Fristen für die Angebots- und Bauvorbereitung sowie für die Bauausführung ausreichend zu bemessen. Auch die jahreszeitlichen Einwirkungen oder besondere Baustellenbedingungen sowie sonstige Einflüsse und Schwierigkeiten sollten in die Ermittlung der normalen Bauzeit einfließen.

Besonders problematisch ist die Kombination aus sehr kurzer Bauzeit, hoher Bauwerksqualität und Bauen in ungünstigen Jahreszeiten. Diese Kombination ist die ideale Ausgangsbasis für ein Projektdesaster.

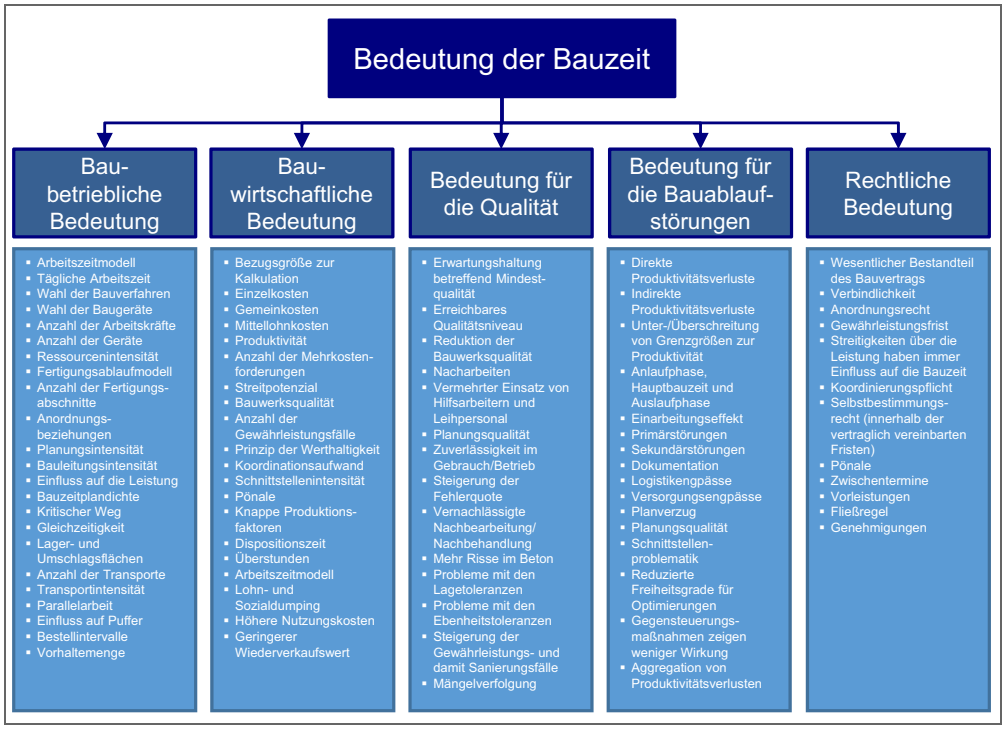


Abb. 8-6 Bedeutung der Bauzeit für die Planungs- und Bauprozesse (demonstrative Aufzählung)

8.5.1 Baubetriebliche Bedeutung

Nachfolgend wird der Einfluss der Bauzeit auf Produktivität, Bauablauf, Logistik und Baustelleneinrichtung dargestellt.

8.5.1.1 Produktivität

Die Bauzeit beeinflusst die Produktivität dahingehend, dass bei immer kürzer werdender Bauzeit Produktivitätsverluste auftreten, wenn Grenzgrößen zur Produktivität über- bzw. unterschritten werden. Auch bei längeren Bauzeiten treten Verluste auf, da für Arbeiten mehr Zeit investiert werden kann bzw. der Anteil an Verlust- und Verteilzeiten steigt.

8.5.1.2 Bauablauf

Bei einer normalen Bauzeit kann die Anzahl der parallel ablaufenden Vorgänge auf das notwendige Mindestmaß beschränkt werden. Gleichzeitig ablaufende Tätigkeiten werden dort geplant, wo es fertigungstechnisch und technologisch sinnvoll ist. Je kürzer die Bauzeit festgelegt wird, desto sensibler reagieren die Arbeiten am kritischen Weg auf Störungen.

Der räumliche Fertigungsablauf sowie die Anzahl und die Größe der Fertigungsabschnitte haben ebenfalls einen bedeutenden Einfluss auf die Arbeitsproduktivität. Werden die Produktionsfaktoren bzw. Teile davon mehrmals auf dem gleichen Arbeitsniveau (im Sinne von gleicher Geschossebene) umgesetzt, ergeben sich daraus Produktivitätsvorteile.

Die Produktivität kann nur dann ein normales Niveau erreichen, wenn dadurch der Arbeitsablauf so gestaltet werden kann, dass ein Minimum an Ausfallszeiten auftritt. Dazu gehören neben der Planung des Bauablaufs und der Logistik eine ausreichende Planung der Fertigungsabschnitte (z.B. Größe und Reihenfolge) und der Kombination der Produktionsfaktoren.

Wird die Bauzeit für ein Bauwerk stetig reduziert, steigt zwangsläufig der Ressourcenbedarf und damit die Anzahl der Arbeitskräfte, die je Zeiteinheit dafür einzusetzen sind. Damit steigt auch der Bedarf an Fertigungsabschnitten und Arbeitsraum. Ist zu wenig Arbeitsraum vorhanden, können die Arbeiten nicht im gewohnten Arbeitsfluss ausgeführt werden – es treten gegenseitige Behinderungen auf. Bei flächigen horizontalen Bauteilen ist eine durchschnittliche Mindestarbeitsfläche je Arbeitskraft und bei flächigen vertikalen Bauteilen eine Mindestarbeitslänge je Arbeitskraft notwendig, um die ‚Normal-Produktivität' erzielen zu können.

Mit steigender Anzahl an Arbeitskräften, erhöht sich die Anzahl der Fertigungsabschnitte und damit auch die Anzahl der Arbeitsfugen, was wiederum den Arbeitsaufwand vergrößert.

8.5.1.3 Logistik

Bei kürzer werdender Bauzeit steigt die Transportintensität. Mehr Transporte je Arbeitstag sind notwendig, da sich die Anzahl der Transporte auf weniger Transporttage verteilt. Weiters wirken sich Materialengpässe bei kurzen Bauzeiten (z.B. mehr Arbeitskräfte sind von den Wartezeiten betroffen) deutlich negativer auf den gesamten Bauablauf aus, als bei normaler Bauzeit.

Folgende Fälle können bei kürzer werdender Bauzeit eintreten:
- Die Gesamtanzahl der Transporte bleibt weitgehend konstant, aber die Transportintensität erhöht sich.
- Die Gesamtanzahl der Transporte wird größer (z.B. weil durch die kürzere Bauzeit die Fertigungsabschnitte kleiner werden und dadurch die Anzahl der Fertigungsabschnitte steigt) und die Transportintensität erhöht sich dadurch.

8.5.1.4 Baustelleneinrichtung

Aufgrund der kürzeren Bauzeit steigt der Bedarf an Lager- und Umschlagsflächen. Wird außerdem eine größere Mannschaftsstärke eingesetzt, sind auch mehr Baucontainer, Sanitäreinrichtungen, Parkplätze etc. auf der Baustelle vorzusehen. Besonders bei engen Platzverhältnissen, wie sie etwa bei innerstädtischen Bauvorhaben häufig der Fall sind, kann es zu logistischen und baubetrieblichen Engpässen kommen, die sich negativ auf die Gesamtproduktivität auswirken. Durch kurze Bauzeiten kann es außerdem erforderlich werden, mehr Geräte auf der Baustelleneinrichtungsfläche zu installieren. Beispielsweise ist bei erhöhter Anzahl an Arbeitskräften auch die Anzahl der Krane zu erhöhen, wenn die verfügbare Krankapazität nicht abnehmen soll. Alternativ sind andere Bauverfahren oder andere Hebegeräte einzusetzen, die eine evtl. fehlende Krankapazität bei zu kurzer Bauzeit ausgleichen können.

8.5.2 Bauwirtschaftliche Bedeutung

Die Art der Leistung, die Umstände der Leistungserbringung, die Menge und Qualität sowie die Bauzeit sind bestimmende Faktoren für die Höhe der Kosten und in weiterer Folge der Preise. Der Bauherr kann durch die Vorgabe der Bauzeit die Kosten und damit auch die Preisbildung beeinflussen. Zu kurze Bauzeiten (Maximalwerte für den produktiven Einsatz von Geräten und/oder Arbeitskräften sind überschritten) führen zu Produktivitätsverlusten und auch zu höheren Kosten. Teilweise sind die Grenzen für Produktivitätsverluste noch nicht durchgängig bekannt bzw. umstritten.

Wenn normale Bauzeiten vorgegeben sind, werden die AN versuchen, ihre Produktionsfaktoren optimal zu kombinieren, damit sie bei vorgegebenem Budget die geschuldete Leistung zu den geringsten Kosten erbringen können.

Bei einer starken Parallelisierung von Arbeiten, die bei kurzen Bauzeiten erforderlich ist, steigt der Koordinationsaufwand, da mehrere Einsatzmittel gleichzeitig bereitgestellt werden; dies kann in weiterer Folge zu einer Produktivitätsminderung führen. Die Auswirkung auf die Projektkosten für den Bauherrn ergibt sich durch höhere Angebotspreise und unter Umständen eine größere Anzahl an Mehrkostenforderungen durch den AN. Die Reduktion der Flexibilität am Markt und – in weiterer Folge – der Produktivität wird einerseits durch die Anbindung einer großen Anzahl von Stammpersonal bzw. dem Rückgriff auf Leih- bzw. Hilfspersonal bedingt.

Eine kurze Bauzeit begünstigt auch das Abdriften der AN in Lohn- und Sozialdumping, da Arbeiten – ganz oder teilweise – nicht mehr wirtschaftlich mit eigenem Personal erbracht werden können. Damit versuchen AN – bedingt durch viel zu niedrige Angebotspreise – drohende Verluste auf der Baustelle zu vermeiden. Lohn- und Sozialdumping wird auch betrieben, um das Gewinnpotenzial zu erhöhen.

8.5.3 Bedeutung für die Qualität

Kurze Bauzeiten wirken sich i.d.R. negativ auf die Qualität aus, da die Produktionsfaktoren sehr schnell bzw. zu schnell miteinander kombiniert werden müssen. Dadurch kann es zu Problemen durch Unterschreiten von technologischen Abhängigkeiten kommen und zu Qualitätsverlusten führen. Bestimmte Stoffe benötigen Zeit, um deren geforderte Eigenschaften wie Festigkeit, Verbund, Belastbarkeit etc. zu entwickeln (z.B. Erhärtungs- oder Trocknungszeiten). Weiters muss bei zusätzlichem Personalbedarf auf teilweise ungelerntes Leih- bzw. Hilfspersonal, welches nicht das gleiche Ausbildungsniveau wie das Stammpersonal hat, zurückgegriffen werden.

8.5.4 Bedeutung für die Bauablaufstörungen

Bei Bauablaufstörungen ist hinsichtlich der Folgewirkungen (Mehrkosten und/oder längere Bauzeit) von der vertraglichen Chancen- und Risikoverteilung auszugehen. Für jeden Vertragspartner ist ein Umgang mit den Ursachen aus seiner Perspektive notwendig. Der AN stellt i.d.R. Mehrkostenforderungen an den AG. Auch bei berechtigten Forderungen gibt es meist Uneinigkeit über deren monetäre Tragweite.

Weist der AN seine Produktivitätsverluste anhand seiner Aufzeichnungen (z.B. Bautagesberichte) nach, wird der AG nicht selten vermuten, dass sich darin auch die Auswirkungen von Kalkulations-irrtümern, unzureichender Arbeitsvorbereitung, falscher Bauverfahrens-

auswahl etc., die der AN zu vertreten hat, verstecken. Die AN selbst und/oder deren Sachverständige versuchen die preisliche Angemessenheit ihrer Forderungen durch Modellrechnungen sowie mit Ansätzen aus der Literatur zu belegen.

8.5.5 Rechtliche Bedeutung

In Abhängigkeit der spezifischen Regelungen im Vertrag ist das Anordnungsrecht des AG auf die zu erbringende Leistung beschränkt. Besteht nun die Notwendigkeit, die Leistung zu ändern, um den angestrebten Erfolg zu erreichen, kann die so geänderte Leistung entweder teurer oder billiger werden. Weiters können die Leistungen zeitaufwendiger oder schneller ausgeführt werden. Je nachdem haben die einzelnen Vertragspartner Anspruch auf Anpassung von Entgelt oder Bauzeit. Dabei ist auch denkbar, dass die Leistung zwar kostenintensiver, aber schneller ausgeführt werden kann. In diesem Fall hätte der AN beispielsweise den Anspruch auf preisliche und der AG auf zeitliche Anpassung des Vertrags.

Auch die Rechtsprechung stellt einen Zusammenhang zwischen Bauzeit und Produktivität fest. Dies lässt sich aus folgendem Urteil ableiten: Die Vermutung der Ausgewogenheit von Leistung und Gegenleistung gilt bei einem Bauvertrag nicht unabhängig von der vereinbarten Leistungszeit, weil diese regelmäßig Einfluss auf die Vereinbarung der Höhe der Vergütung des AN hat (vgl. BGH, Urteil vom 15. April 2008 X ZR 129/06, NZBau 2008, 505 = ZfBR 2008, 614).[16)]

8.6 Vorgabe der Bauzeit

Die Vorgabe der Bauzeit erfolgt i.d.R. durch die AG. Von den AN wird von der Bauzeit auf den erforderlichen Einsatz der Produktionsfaktoren geschlossen, um die Vertragsziele zu erfüllen. Als Basiskennzahlen dienen dazu bei allen arbeitsintensiven Tätigkeiten die Aufwandswerte, die in weiterer Folge als substanzielle Eingangsgrößen zur Berechnung von Leistungswerten fungieren. Für die Bieter bilden die Aufwandswerte eine wichtige Grundlage für ihre Kalkulation und die finale Preisbildung.

Wie sich die Art, Anzahl und der Einsatz der Produktionsfaktoren über die Bauzeit entwickelt, ist für die Produktivität von entscheidender Bedeutung. Diese wesentliche Frage stellen sich einerseits der Bauherr im Zuge der Projektvorbereitung und andererseits die Bieter bzw. die späteren AN für deren Kalkulation bzw. die Bauausführung sowie die Abrechnung der Bauleistungen. Der Bauherr tut gut daran, sich eingehend mit der Frage zu beschäftigen, mit welcher Intensität die Produktionsfaktoren baubetrieblich sinnvoll eingesetzt werden können, damit seine Projektziele (Qualität, Fertigstellungstermin, Kosten etc.) nicht gefährdet werden. Er kann diese Frage natürlich auch vernachlässigen und sich auf einen umfassend ausformulierten Bauvertrag stützen. Es ist möglich, dass sich diese Sichtweise allerdings sehr nachteilig auf den Projekterfolg (z.B. Kostenüberschreitungen, Qualitätsmängel, Bauzeitverzögerungen) auswirkt, da ein Bauwerk bekanntlich nicht durch einen Bauvertrag, sondern immer noch durch die Kombination der Produktionsfaktoren errichtet wird. Ein Bauvertrag ist dafür da, um geordnete Rahmenbedingungen für die Leistungserbringung und deren Abrechnung zu schaffen sowie Regeln für Konflikte zu erstellen. Es wäre daher auch für den Bauherrn zielführend,

16) Vgl. Gölles/Link (2011), S. 220

sich mit dem zeitlichen Verlauf der Produktivität und der Produktionsfaktoren zu beschäftigen. Die Bieter und AN müssen dies in jedem Fall tun, sonst können sie keine verursachungsgerechte Kalkulation erstellen und nicht das ‚optimale Drehbuch' (z.B. räumlicher, zeitlicher und intensitätsmäßiger Ablauf der Vorgänge zur Leistungserbringung) für die Ausführung der Bauleistungen schreiben. In diesem Zusammenhang ist folgende Frage zu behandeln: Mit welchem Verlauf der Produktivität sowie der Produktionsfaktoren über die Bauzeit ist zu rechnen?

Es ergeben sich immer wieder Schwankungen in der Produktivität, da diese nicht konstant über die gesamte Dauer des Bauprojekts verläuft.

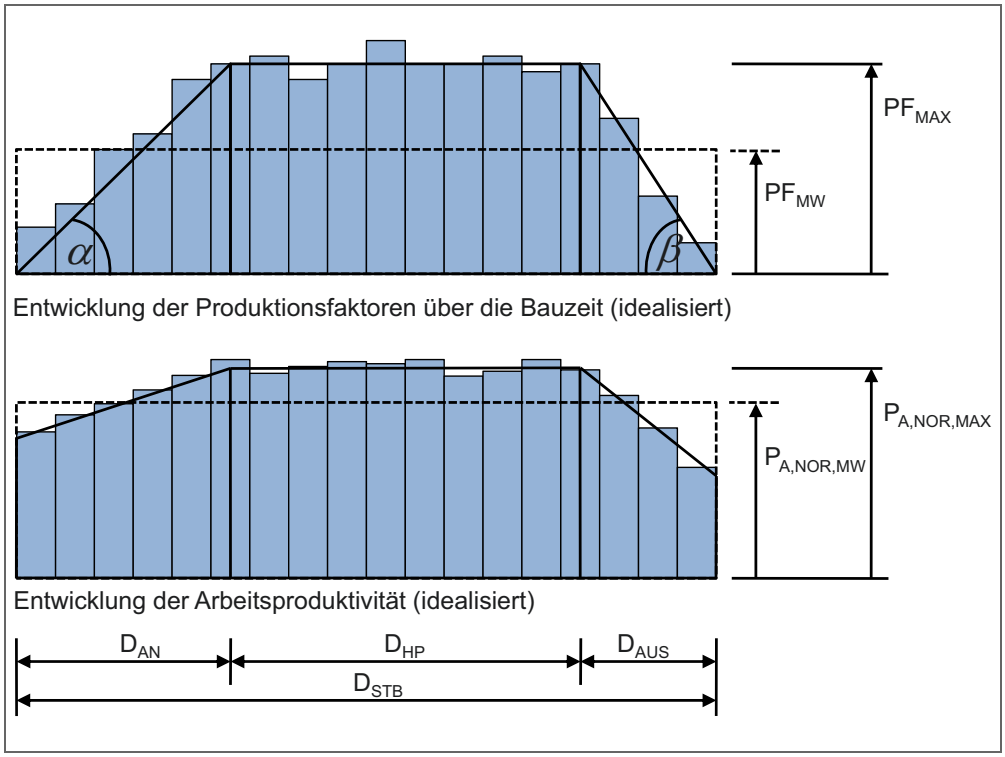


Abb. 8-7 Entwicklung der Produktionsfaktoren und der Produktivität über die Bauzeit[17)]

Bei der Betrachtung der Produktivität sind die verschiedenen Bauphasen in der Ausführung der Arbeiten zu berücksichtigen (siehe Abb. 8-7). Im Wesentlichen ist zu differenzieren:

- Produktivität in der Anlaufphase (D_{AN} = Dauer der Anlaufphase)
- Produktivität in der Hauptbauphase (D_{HP} = Dauer der Hauptbauzeit)
- Produktivität in der Auslaufphase (D_{AUS} = Dauer der Auslaufphase)

Besonders nachteilig wirken sich Bauablaufstörungen in der An- und Auslaufphase aus, da hier der Baubetrieb noch nicht bzw. nicht mehr mit der optimalen Abstimmung der Ressourcen ausgestattet ist.

17) Vgl. Hofstadler (2014a), S. 14

8.6.1 Bedeutung der Bauzeit für den Bauvertrag

Der Bauherr übt durch die Vorgabe der Bauzeit einen direkten Einfluss auf die Kosten und damit auch auf die Baupreise aus. Zu kurze Bauzeiten führen zu Produktivitätsverlusten und zu höheren Kosten. Kurzfristig werden höhere Kosten wirksam, wenn z.B. der Planvorlauf nicht wie gewünscht funktioniert und sich auch andere Umstände der Leistungserbringung (aus der Sphäre des AG) geändert haben.

Es treten in weiterer Folge Probleme durch die schlechtere Bauwerksqualität auf und es ergeben sich mittel- und langfristig auch Beeinträchtigungen in der Nutzung durch geänderte Instandhaltungs- und Instandsetzungsszenarien.

Die Grenzen für Produktivitätsverluste sind teilweise nicht durchgängig bekannt oder in der Fachliteratur umstritten.

Gibt der AG normale Bauzeiten vor, sind für die AN die Voraussetzungen gegeben, ihre Produktionsfaktoren optimal zu kombinieren, um so bei vorgegebenem Budget die geschuldete Leistung zu den geringsten Herstellkosten erbringen zu können (siehe Abb. 8-9). Das Risiko, dass sowohl Bauzeit und Baukosten nicht eingehalten werden als auch die vereinbarte Qualität nicht erreicht wird, sinkt.

In der Regel werden beschränkende baubetriebliche Randbedingungen bei der Bauzeitermittlung vom Bauherrn nicht bzw. nur unzureichend berücksichtigt. Diese Randbedingungen folgen z.B. aus den Bauwerks- und Betriebsbedingungen und haben wesentlichen Einfluss auf die leistungsbestimmenden Größen, wie etwa die maximale Anzahl an einsetzbaren Arbeitskräften bzw. die maximale Anzahl an einsetzbaren Geräten.

Ein großes Problem bei der Bauzeitberechnung stellt die Linearität in den Ansätzen dar. Meist wird mit linearen baubetrieblichen Zusammenhängen gerechnet, obwohl dies in der Realität nicht der Fall ist. Bei Über- bzw. Unterschreitung von Grenzgrößen treten bei Verringerung oder bei Vergrößerung der Kapazitäten Produktivitätsverluste auf, welche die Berechnungsergebnisse erheblich beeinflussen. Für eine zutreffende Bauzeitermittlung sind jedenfalls die Einflüsse der Produktivität (z.B. beengte Platzverhältnisse für die Baugeräte) auf die Produktionsfaktoren zu berücksichtigen.

Hruschka betont, dass bei der Bauzeitberechnung bzw. -optimierung die gegenseitige Behinderung des Potenzials[18)] zu berücksichtigen ist, da sonst unrealistisch kurze Bauzeiten die Folge sind. Die Bauzeit eines Bauprojekts kann nicht kürzer sein, als es das Arbeitsvermögen des maximal installierbaren Transportapparats zulässt.[19)]

Blecken merkt in seinen Ausführungen an, dass die Annahme eines deterministischen Produktionsgeschehens das Produktionsmodell zu sehr vereinfacht. Es werden lineare Ansätze gewählt, obwohl die meisten Zusammenhänge in der Kombination der Produktionsfaktoren nicht linearen Gesetzmäßigkeiten folgen. Durch Berücksichtigung der Stochastik sieht er eine wesentliche Ergebnisverbesserung.[20)]

8.6.2 Festlegungen zur Bauzeit

Als Bauzeit wird hier die errechnete Bauzeit vor Berücksichtigung eines (vom AN angenommenen) Puffers bezeichnet. Nach Ermittlung der Bauzeit und Beachtung von

18) Mit Potenzial sind die Produktionsfaktoren gemeint.

19) Hruschka (1968), S. 165

20) Vgl. Blecken (1976), S. 208

baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Randbedingungen sollte der Bauherr zusätzlich einen Puffer berücksichtigen, um damit von ihm verschuldete Verzögerungen abfedern zu können.

8.6.2.1 Differenzierung in Bauzeiten

Die Differenzierung von Bauzeiten erfolgt unter Einbeziehung von Engpassgeräten. Im Hochbau stellen die Krane eine derartige Baugerätekategorie dar. Die Differenzierung in Bauzeitkategorien erfolgt anhand der maximalen Anzahl an Arbeitskräften, die ohne Produktivitätsverluste von einem Kran bedient werden können.

Grundsätzlich erfolgt eine Differenzierung der Bauzeiten nach *Hofstadler* wie folgt:[21)]

Extrem kurze Bauzeit

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Arbeitskräfte und die Anzahl der Geräte, welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte (= Grenzen zu Produktivitätsverlusten) um 20 % überschreiten.

Sehr kurze Bauzeit

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Arbeitskräfte und die Anzahl der Geräte, welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte um 10 % überschreiten.

Kurze Bauzeit

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Arbeitskräfte und die Anzahl der Geräte, welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte darstellen. Eine Bauablaufstörung kann bei Festhaltung am Bauzeitziel unmittelbar zu Produktivitätsverlusten führen.

Normale Bauzeit

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Arbeitskräfte und die Anzahl der Geräte, welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte um 10 % unterschreiten.

Lange Bauzeit

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Arbeitskräfte und die Anzahl der Geräte, welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte um 25 % unterschreiten.

8.6.2.2 Ermittlung der normalen Bauzeit – Beispiel

In der Bauausführung wird bei sozio-technischen Systemen die erzielbare Produktivität von der optimalen Abstimmung der Arbeitskräfte mit den Geräten bestimmt. Zur Veranschaulichung des Begriffs der normalen Bauzeit wird die Kombination der Arbeitskräfteanzahl mit der Anzahl an Kranen betrachtet. Zur Verdeutlichung der Wechselwirkung zwischen der Anzahl der Geräte und der Anzahl der Arbeitskräfte wird der Kranproportionalitätsfaktor, der angibt wie viele Arbeitskräfte (für das Schalen, Bewehren,

21) Hofstadler (2014a), S. 57

Betonieren[22]) durch einen Kran maximal bedient werden können, ohne dass Produktivitätsverluste aufgrund zu geringer Krankapazität entstehen, herangezogen (siehe Tab. 8-1).

Betonierverfahren [-]	alle Bauteile mit Kran und Kranübel	nur Wände und Stützen mit Kran	nur Stützen mit Kran	ohne Kran
Anzahl der Arbeitskräfte je Kran	13	16	18	20

Tab. 8-1 Kranproportionalitätsfaktoren – Maximale Anzahl an Arbeitskräften, die je Kran ohne Produktivitätsverluste eingesetzt werden können – Einsatz eines Obendreher-Krans[23])

In Abb. 8-8 wird die einsetzbare Anzahl an Arbeitskräften je Kran den definierten Bauzeitkategorien gegenübergestellt. Für den Maximalwert wurde hier angenommen, dass ohne Kran betoniert wird (= 20 AK/Kran). Daher stellt der um 10 % verminderte Maximalwert (18 AK/Kran = 20 AK/Kran * 0,9) jenen Fall dar, bei dem eine normale Bauzeit möglich ist.

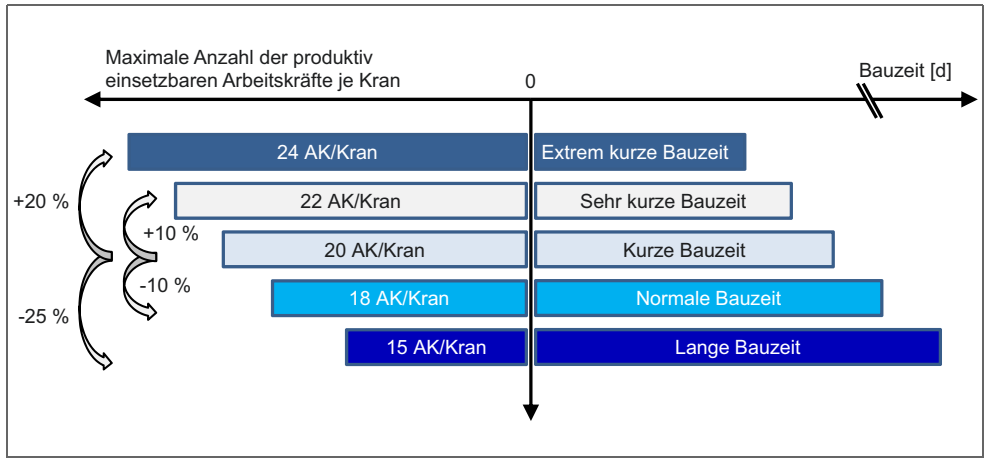


Abb. 8-8 Zusammenhang zwischen dem Kranproportionalitätsfaktor und der Bauzeit[24])

Zur Berechnung der aus der Sicht des Bieters/AN normalen Bauzeit ist zu ermitteln, wie viel Krane für die Baustellenlogistik im Bereich des Bauwerks installiert werden können. Die maximal installierbare Anzahl an Kranen ist für die erzielbare Produktivität deshalb sehr wichtig, da diese Geräte Engpassgeräte darstellen und es bei einer zu geringen Krankapazität zu Produktivitätsverlusten kommt.

Mit dieser ermittelten Anzahl an Kranen kann in weiterer Folge auf die maximale Anzahl an Arbeitskräften, die während der Hauptbauzeit (siehe Abb. 8-7) eingesetzt werden kann, geschlossen werden. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass zur weiteren Berechnung der durchschnittlichen Leistung nicht dieser Maximalwert herangezogen wird, sondern der Mittelwert, der deutlich niedriger liegen kann. Das Verhältnis zwischen Mittelwert und Maximalwert der Anzahl der Arbeitskräfte liegt üblicherweise zwischen 0,75 und 0,90 und hängt wesentlich von der Länge der An- und Auslaufphasen ab.[25]) Je kürzer die An-

[22]) Im Fall, dass mit Kranunterstützung betoniert wird.

[23]) Hofstadler (2014a), S. 231

[24]) Vgl. Hofstadler/Kummer (2014), S. 62

und Auslaufphasen sind, desto länger wird (bei gleicher Gesamtbauzeit) die Hauptbauzeit und umso größer ist der Arbeitskräfteverhältnisfaktor f_{AK} [-] (siehe Glg. (8-2)).

$$AK_{STB,MW} = AK_{STB,MAX} \cdot f_{AK} \tag{8-2}$$

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Daten und Informationen über das zu untersuchende Projekt wird eine erwartete Verhältniszahl gewählt und mit dem Maximalwert $AK_{STB,MAX}$ [Std/h] multipliziert. Dieser damit kalkulierte Mittelwert $AK_{STB,MW}$ [Std/h] bildet neben dem Aufwandswert eine wesentliche Berechnungsgrundlage für die durchschnittliche Leistung, die auf die Leitmenge bezogen wird. Die Leitmenge stellt den einzubauenden Hauptbaustoff dar. Bei den Rohbauarbeiten wird dafür beispielsweise der m³ Stahlbeton eingesetzt. Der Arbeitsaufwand, der sich für den m³ Stahlbeton ergibt, setzt sich aus den Anteilen für Schal-, Bewehrungs- und Betonarbeiten zusammen. Berechnet wird der Arbeitsaufwand mit der Kennzahl Gesamt-Aufwandswert AW_{STB} [Std/m³], in die noch der Schalungsgrad s_g [m²/m³] und der Bewehrungsgrad bw_g [kg/m³] einzubeziehen sind (siehe Glg. (8-3)).

$$AW_{STB} = AW_S \cdot s_g + AW_{BW} \cdot bw_g + AW_{BT} \tag{8-3}$$

Als letzte Eingangsgröße zur Berechnung der Leistung wird die tägliche Arbeitszeit AZ [h/d] benötigt. Mit der Anzahl an Arbeitskräften, dem Gesamt-Aufwandswert und der täglichen Arbeitszeit kann die mittlere tägliche Leistung bezogen auf die Stahlbetonarbeiten $L_{STB,MW}$ [m³/d] berechnet werden (siehe Glg. (8-4)).

$$L_{STB,MW} = \frac{AZ \cdot AK_{STB,MW}}{AW_{STB}} \tag{8-4}$$

Aus der Division der gesamten Stahlbetonmenge BT_M [m³] mit der täglichen Leistung folgt die normale Bauzeit für die Stahlbetonarbeiten D_{STB} [d] (ohne Puffer):

$$D_{STB} = \frac{BT_M}{L_{STB,MW}} \tag{8-5}$$

Je nach Ausprägung der vermuteten Projektunsicherheiten kann diese Dauer als normale Bauzeit angesehen werden oder es wird ein Puffer in der Höhe von beispielsweise 5 bis 10 % hinzugerechnet.

Mit dieser vom Bieter/Auftragnehmer ermittelten Bauzeit kann in weiterer Folge die vom AG vorgegebene Bauzeit verglichen werden. Sind beide Zeitberechnungen fast oder gar deckungsgleich, dann ist davon auszugehen, dass die Produktionsfaktoren bezogen auf den aktuellen Kenntnisstand mit einer normalen Produktivität eingesetzt werden können.

Ist die vorgegebene Bauzeit im Vergleich zur normalen Bauzeit kürzer oder gar extrem kurz, steigt damit das Risiko für den Bieter/AN, dass er die Bauzeit in der Ausführung nicht einhalten kann bzw. dass mit hohen Produktivitätsverlusten zu rechnen ist, da die Produktionsfaktoren nicht mehr wirtschaftlich eingesetzt werden können. Sofern der Bieter/AN seine Kalkulation nicht auf die zu kurze Bauzeit ausgelegt hat, wird es in weiterer Folge auch zu Kostensteigerungen kommen. Hierbei sind aus Sicht der Bieter/AN unterschiedliche Szenarien hinsichtlich der Preisbildung zu beachten.

25) Vgl. Hofstadler (2010), S. 219

8.6.2.3 Szenarien bei zu kurzer Bauzeit

Bei Vorgabe einer zu kurzen Bauzeit (Unterschreitung der ‚normalen Bauzeit') können sich für die Angebots- bzw. Auftragskalkulation die folgenden Szenarien ergeben:[26)]

Szenario 1

Bieter erkennen, dass sie durch die Kürze der vorgegebenen Bauzeit ihre Produktionsfaktoren nicht mehr optimal einsetzen können und erhöhen die Einheitspreise für die direkt und indirekt betroffenen Positionen.

Szenario 2

Bieter erkennen, dass sie durch die Kürze der vorgegebenen Bauzeit ihre Produktionsfaktoren nicht mehr optimal einsetzen können und erhöhen die Einheitspreise für die direkt und indirekt betroffenen Positionen nicht im vollen Umfang. Der restliche Teil der erwarteten Produktivitätsverluste wird im Wagniszuschlag berücksichtigt.

Szenario 3

Bieter erkennen, dass sie durch die Kürze der vorgegebenen Bauzeit ihre Produktionsfaktoren nicht mehr optimal einsetzen können und erhöhen die Einheitspreise für die direkt und indirekt betroffenen Positionen nicht im vollen Umfang. Ein Teil der erwarteten Produktivitätsverluste wird kalkulatorisch nicht berücksichtigt und der restliche Teil wird im Wagniszuschlag aufgenommen.

Szenario 4

Bieter erkennen, dass sie durch die Kürze der vorgegebenen Bauzeit ihre Produktionsfaktoren nicht mehr optimal einsetzen können, erhöhen ihre Einheitspreise aber nicht (beispielsweise aufgrund der aktuellen Wettbewerbs- und Marktsituation).

Szenario 5

Bieter erkennen, dass sie durch die Kürze der vorgegebenen Bauzeit ihre Produktionsfaktoren nicht mehr optimal einsetzen können, erhöhen ihre Einheitspreise aber nicht (Einheitspreise vor Berücksichtigung von etwaigen Produktivitätsverlusten). Die Bieter erkennen, dass die Ausschreibung lückenhaft ist und beabsichtigen, sich die Defizite durch Nachtragsforderungen abgelten zu lassen.

Szenario 6

Bieter erkennen nicht, dass sie durch die Kürze der vorgegebenen Bauzeit ihre Produktionsfaktoren nicht mehr optimal einsetzen können und erhöhen ihre Einheitspreise nicht (Einheitspreise vor Berücksichtigung von etwaigen Produktivitätsverlusten).

8.6.3 Folgen für den Bauherren

Gibt der Bauherr eine kürzere Bauzeit – im Vergleich zu jener, die der Bieter/AN als normale Bauzeit ermittelt hat – vor, hat er mit Konsequenzen für die angebotenen und in weiterer Folge abgerechneten Preise zu rechnen. Weiters sind negative Auswirkungen auf die Qualität und damit für die Nutzung bzw. Nachnutzung zu erwarten.

[26)] Vgl. Hofstadler (2014a), S. 57f.

In Abb. 8-9 ist die vom AG vorgegebene Bauzeit im Vergleich zur normalen Bauzeit des Bieters/AN dargestellt. Die Bauzeit ist kürzer als die normale Bauzeit und weist dadurch ein höheres Kostenminimum auf. Der Bieter/AN versucht seine Produktionsfaktoren für die vorgegebene Bauzeit derart optimal abzustimmen, um für diese Bauzeitvorgabe durch die Kombination der Produktionsfaktoren das lokale Kostenminimum zu erzielen.

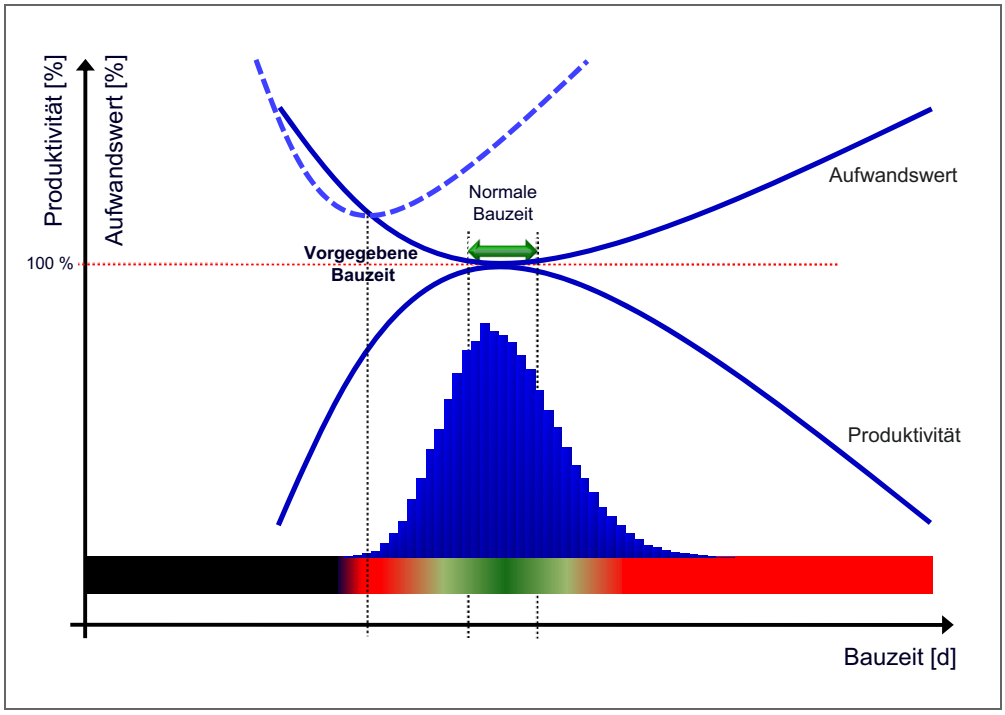


Abb. 8-9 Vorgegebene Bauzeit des Bauherren im Vergleich zur normalen Bauzeit des Bieters/AN[27)]

8.6.3.1 In der Auftragsvergabe

Der Bieter kann bei einer normalen Bauzeit die Kombination der Produktionsfaktoren mit einer normalen Produktivität annehmen. Dadurch kann in dieser Kalkulationsphase davon ausgegangen werden, dass mit keinen Produktivitätsverlusten aufgrund einer zu kurzen Bauzeit zu rechnen ist. Darüber hinaus werden für die normale Bauzeit auch die geringsten Herstellkosten erwartet. Diesen Umstand kann der Bieter in seine Preisbildung einfließen lassen.

Liegt allerdings die vom AG vorgegebene Bauzeit, was die Regel darstellt, unter der normalen Bauzeit des Bieters/AN, kann dieser in seiner Kalkulation nicht mehr von einer normalen Kombination der Produktionsfaktoren ausgehen. Deswegen sind für die Kostenermittlung (Nullkalkulation) Produktivitätsverluste zu berücksichtigen, was zu einem lokalen, höher liegenden Kostenminimum führen müsste. Kann der Bieter diese Umstände in der Preisbildung berücksichtigen, hätte der AG mit höheren Angebotspreisen zu rechnen.

27) Weiterentwickelt nach Hofstadler (2014a), S. 39

Dem Verhältnis der Ausgewogenheit von Leistung und Gegenleistung folgend, müssten sich auch höhere Angebotspreise der Bieter einstellen, falls alle Bieter die Situation richtig erkennen und die dementsprechenden baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen in der Kalkulation als auch Preisbildung berücksichtigen.

8.6.3.2 In der Bauausführung

Wenn die vorgegebene Bauzeit unter der normalen Bauzeit liegt, sind beim Abweichen vom lokalen Minimum stärkere Produktivitätsverluste zu erwarten als beim Abweichen vom Minimum bei der normalen Bauzeit. Die Krümmung ist bei der Kurve für die vorgegebene Bauzeit stärker, da der Baubetrieb sensibler auf Veränderungen und Störungen reagiert (siehe Abb. 8-9). Dies ist dadurch bedingt, dass der Baubetrieb bereits für die Kombination der Produktionsfaktoren bei einer ungünstigen Bauzeit ausgelegt ist.

Wenn der AG für Leistungsabweichungen verantwortlich ist, hat er bei der Forcierung als auch bei der Verlängerung der Bauzeit mit höheren Mehrkosten zu rechnen.

8.6.3.2.1 Forcierung

Die Forcierung bei gleichbleibender Bauzeit wird dann erforderlich, wenn aufgrund von Leistungsabweichungen das Produktionspotenzial gesteigert werden muss. Dadurch entstehen höhere Kosten in der Kombination der Produktionsfaktoren. Diese Kostenveränderungen sind aufgrund der stärkeren Krümmung der Kurve entsprechend höher ausgeprägt.

8.6.3.2.2 Verlängerung der Bauzeit

Wenn es zu Bauzeitverlängerungen auf Basis der ursprünglich zu kurz vorgegebenen Bauzeit kommt, ist der Baubetrieb teurer, da bereits von einem ursächlich gestörten Baubetrieb ausgegangen werden muss und es dadurch, auch bei längerer Bauzeit, bedingt durch die stärkere Krümmung, zu höheren Kostenauswirkungen kommt. Da initial von einer zu kurzen Bauzeit ausgegangen wurde, kann das Kostenniveau – das bei einer normalen Bauzeit realisiert werden hätte können – nicht mehr durch eine nachträgliche Bauzeitverlängerung erreicht werden.

8.7 Einfluss der Bauzeit auf die Produktivität

Der qualitative Zusammenhang zwischen Bauzeit und Produktivität wurde bereits dargestellt und findet sich auch in der aktuellen baubetrieblichen Literatur (siehe Abschnitt 8.7.2). Weiterführend ist es von großem Interesse, wie sich der quantitative Zusammenhang zwischen Produktivität und Bauzeit darstellt. Für alle Projektbeteiligten ist es wichtig herauszufinden, wie sich die Produktivität verändert, falls von der ‚Normal-Bauzeit' abgewichen wird. In der Phase der Angebotserstellung ist es zentral für den Bieter zu wissen, welches Chancen- und Risikoverhältnis mit dem letztendlich angebotenen Preis eingegangen wird. Wenn in der Bauausführung von der vereinbarten Bauzeit abgewichen wird, sollten die Größenordnungen der Produktivitätsverluste eruiert werden.

8.7.1 Bauzeit und Produktivitätsverluste

Wie können verlässliche Daten ermittelt werden, die den Zusammenhang zwischen Bauzeit und Produktivität allgemein gültig (projektübergreifend) quantitativ beschreiben? Eine ex post Betrachtung abgeschlossener Projekte ist schwierig, da sich gegenüber dem Auftragszustand die Art und die Umstände der Leistungserbringung teilweise massiv verändert haben und zusätzliche Leistungen beauftragt wurden. Das originär vereinbarte Bauobjekt entspricht nicht dem tatsächlich hergestellten Werk. Eine Differenzierung, ob auftretende Produktivitätsverluste durch Änderungen in der Bauzeit und/oder von der geänderten Art der Leistung, den Umständen der Leistungserbringung oder zusätzlichen Leistungen verursacht wurden, ist nahezu unmöglich.

Für die weiteren Untersuchungen wurde daher die ex ante Betrachtung als praktikabel erachtet.

Zwecks der Erhebung valider Daten wurde an der TU Graz eine Expertenbefragung von *Hofstadler* durchgeführt, um den quantitativen Zusammenhang zwischen Bauzeit und Aufwandswert und in weiterer Folge mit der Produktivität zu eruieren. Insgesamt wurden 35 in Bauunternehmen tätige Experten befragt (Baugewerbe wie auch Bauindustrie; Befragungszeitraum: August 2012 bis April 2013). Die durchschnittliche Berufserfahrung der befragten Experten beträgt 17 Jahre (minimale Erfahrung: 5 Jahre; maximale Erfahrung: 43 Jahre).

Die Experten wurden befragt, welche Aufwandswerterhöhungen bzw. Produktivitätsverluste zu erwarten sind, wenn aus baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Sicht von einer optimalen Bauzeit abgewichen wird (1. Stufe: Ausfüllen des Fragebogens; 2. Stufe: kommunikative Validierung mit dem Experten). Als Referenzwert dient die ‚normale' Bauzeit, bei der die Produktionsfaktoren ohne Produktivitätsverluste eingesetzt werden können.

Im ersten Schritt wurde eine explorative Datenanalyse durchgeführt, um einen Überblick über das gesammelte Datenmaterial zu erhalten. Dies ist aus Gründen der Plausibilitätsprüfung, der Verteilungsprüfung und der Ausreißeridentifikation notwendig. Zur grafischen Übersicht der Verteilungen wurden im Rahmen der Untersuchungen Boxplotdiagramme der Variablen dargestellt. Ein Boxplot beschreibt die Lage und Streubreite einer Verteilung und gibt Hinweise auf evtl. vorhandene Ausreißer. Ausreißer und Extremwerte (definiert durch die Entfernung zur ‚Antenne' des Boxplots) können den arithmetischen Mittelwert stark verzerren. Mit der Anwendung der ‚M-Schätzer-Methode' nach *Huber* kann dem entgegengewirkt werden. Durch eine individuell wählbare, geringere Gewichtung der vorhandenen Ausreißer/Extremwerte gelingt es, diese an die ‚Hauptmasse' der Daten heranzuziehen. Als Basis für die Erstellung von Diagrammen und zur Darstellung der Verläufe von Aufwandswerterhöhungen sowie Produktivitätsverlusten werden in den folgenden Abbildungen die robusten M-Schätzer herangezogen (siehe Abb. 8-10, Abb. 8-11, Abb. 8-13 und Abb. 8-14).

Damit der Einfluss der Bauzeit in der Kalkulationsphase bzw. in der Phase der Arbeitsvorbereitung berücksichtigt werden kann, sind die Unterschiede in den jeweiligen Aufwandswerterhöhungen bei Bauzeitverlängerung und Bauzeitverkürzung als Kurven im Diagramm von Abb. 8-10 abgebildet. Auf der Abszisse ist die Verlängerung/Verkürzung der Bauzeit bezogen auf die normale Bauzeit [%] und auf der Ordinate die Aufwandswerterhöhung für Stahlbetonarbeiten [%] dargestellt.

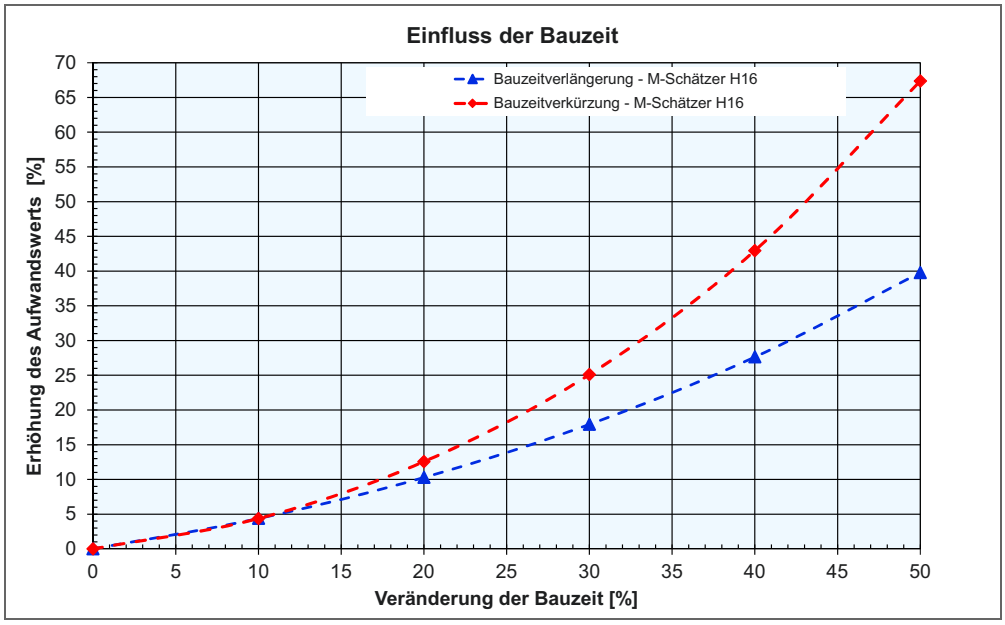


Abb. 8-10 Verlauf der Aufwandswerterhöhungen – Vergleich zwischen Verlängerung und Verkürzung der Bauzeit – Stahlbetonarbeiten[28)]

Die beiden Kurven für die Aufwandswerterhöhung verlaufen bis zu einer 10%igen Bauzeitveränderung nahezu deckungsgleich. Erst ab 15 % gehen die beiden Kurven auseinander. Beispielsweise liegt bei einer 50%igen Bauzeitveränderung der Unterschied bei ca. 27,6 Prozentpunkten. Die Aufwandswerterhöhung fällt bei einer Verkürzung um 50 % mit ca. 67,4 % um etwa 69,3 % (= 67,4 % * 100 % / 39,8 % - 100 %) höher aus als jene bei der Verlängerung der Bauzeit.

Der Vergleich zeigt eindeutig, dass eine Verkürzung der Bauzeit zu größeren Aufwandswerterhöhungen führt als eine Verlängerung. Bei einer Bauzeitverkürzung kommt es bekanntlich zu einer Überlagerung von Störungen der Produktivität. Besonders ist hier die Unterschreitung des Mindestarbeitsraums sowie der Krankapazität hervorzuheben.

Das Diagramm in Abb. 8-11 wird um die Darstellung des Produktivitätsverlusts erweitert, der im direkten Zusammenhang mit der Aufwandswerterhöhung steht.

Die Auswirkungen auf die Produktivität (Produktivitätsverlust ΔPV_D [%]) können durch Einsetzen der Aufwandswerterhöhung ΔAW_D [%] in Glg. (8-6) ermittelt werden.

$$\Delta PV_D = \left(\frac{\Delta AW_D}{100\,\% + \Delta AW_D}\right) \cdot 100\,\% \tag{8-6}$$

Auf der Abszisse ist die Verlängerung/Verkürzung der Bauzeit bezogen auf die normale Bauzeit [%] und auf der Ordinate die Aufwandswerterhöhung bzw. der Produktivitätsverlust für Stahlbetonarbeiten [%] dargestellt. In der Mitte des Diagramms ist bei 0 % die normale Bauzeit angeordnet, bei der es keinen Produktivitätsverlust bzw. keine Aufwandswerterhöhung gibt.

28) Vgl. Hofstadler (2014a), S. 455

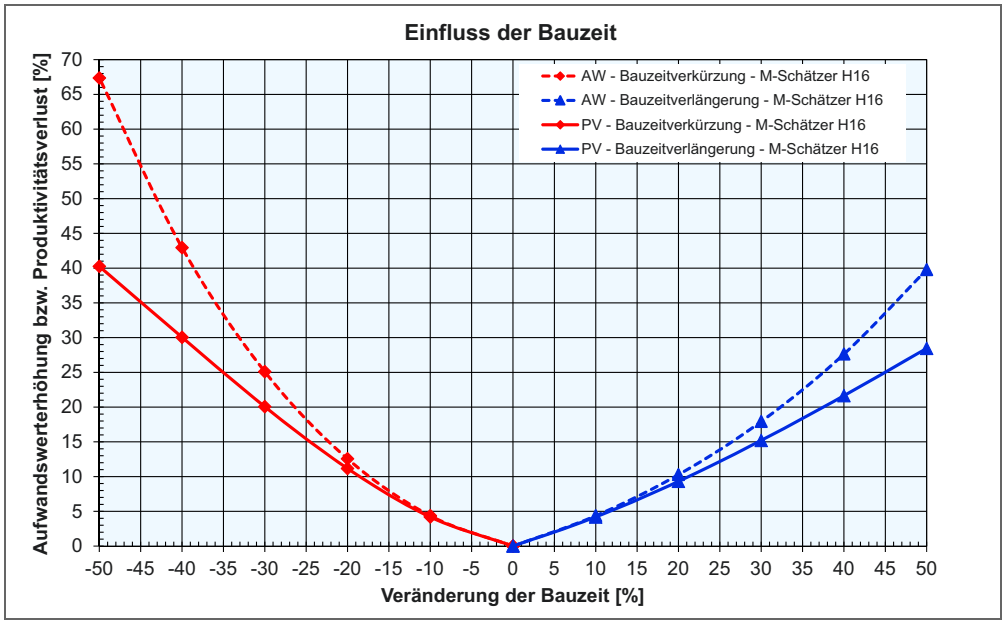


Abb. 8-11 Verlauf der Aufwandswerterhöhungen und Produktivitätsverluste – Vergleich zwischen Verlängerung und Verkürzung der Bauzeit – Stahlbetonarbeiten[29)]

Anhand dieser globalen Betrachtung des Zusammenhangs zwischen der Bauzeit und der Produktivität stellt sich die Frage, welche und wie viele Einflüsse zu diesen Verlusten führen können. Die Art der Einflüsse hängt vom jeweiligen Bauvorhaben ab. Wie viele es sind, wurde im Rahmen einer Expertenbefragung erhoben. Tendenziell treten bei einer Bauzeitverkürzung gleichzeitig mehr unterschiedliche Produktivitätsverluste auf, als bei einer Bauzeitverlängerung.

Im Zuge der Expertenbefragung von *Kummer/Hofstadler* (2015) gaben die Experten (Datenbasis: 29 Befragte) bei einer zu kurzen Bauzeit an, dass i.d.R. drei Produktivitätsverluste gleichzeitig auftreten. Dieses Ergebnis basiert auf dem Modus (häufigste Nennung), der im Zuge der statistischen Auswertung erhoben wurde. Der Median konnte hierfür ebenfalls mit drei Verlusten ermittelt werden (siehe Tab. 8-2).

Lfd. Nr.	Parameter	zu kurze Bauzeit	zu lange Bauzeit
0	A	B	C
1	n	27	26
2	Median	3,00	2,00
3	Modus	3,00	2,00
4	Minimum	2,00	1,00
5	Maximum	> 5,00	3,50

Tab. 8-2 Deskriptive Darstellung der Daten zur Anzahl an Produktivitätsverlusten bei zu kurzer und zu langer Bauzeit im Hochbau

[29)] Vgl. Hofstadler (2014a), S. 454f.

Bei der zu langen Bauzeit wurde sowohl als Median als auch als Modus eine Anzahl von zwei Produktivitätsverlusten ermittelt. Zehn Experten gaben jedoch zwei und acht Experten einen Produktivitätsverlust bei einer zu langen Bauzeit an (siehe Abb. 8-12). Somit zeigt sich hier ein Ergebnis, dass nicht so eindeutig ist wie bei der zu kurzen Bauzeit (eingipflige Verteilung mit elf Nennungen bei drei Produktivitätsverlusten). Die Expertenbefragung zeigt deutlich, dass bei einer zu kurzen Bauzeit tendenziell mit mehr Produktivitätsverlusten gerechnet wird, als bei einer zu langen Bauzeit.

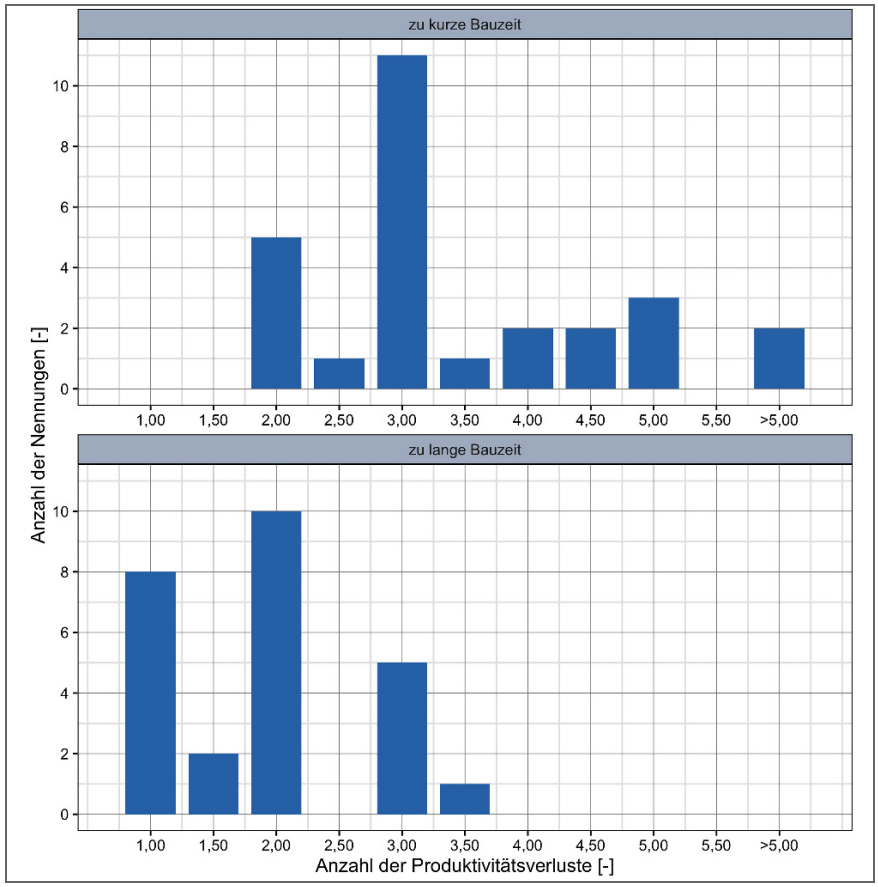


Abb. 8-12 Durchschnittliche Anzahl der gemeinsam auftretenden Produktivitätsverluste im Hochbau – Bei zu kurzer und zu langer Bauzeit

8.7.2 Vergleich mit der Literatur

In weiterer Folge werden die qualitativen und quantitativen Studienergebnisse mit aktuellen Ansätzen aus der Fachliteratur verglichen.

8.7.2.1 Qualitativer Vergleich

Von *Hürlimann/Bucher* wird qualitativ ein Bereich für die Bauzeit angegeben, in dem die Kosten minimal sind. Eine Bauzeit, die sich nur geringfügig von dieser optimalen Dauer unterscheidet, wird nur zu einer moderaten Kostensteigerung führen. Bei einer zu großen Bauzeitverkürzung sind auch sprunghafte Kostenanstiege möglich. Begründet wird dieser sprunghafte Anstieg z.B. durch die Notwendigkeit eines Mehrschichtbetriebs bei stark verkürzter Bauzeit.[30)]

Schach/Otto beziehen den Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baukosten besonders auf die Baustelleneinrichtung. Die Dauer einer Baumaßnahme hat einen beträchtlichen Einfluss auf die Kosten der Baustelleneinrichtung. Eine kurze Bauzeit führt zu einem erhöhten Aufwand bei der Baustelleneinrichtung. Mehr Geräte werden über eine relativ kurze Bauzeit benötigt und es ergeben sich wegen der damit verbundenen Transport- und Aufbaukosten tendenziell höhere Kosten. Auch eine längere Bauzeit führt zu höheren Kosten, da die Baustelleneinrichtung länger vorzuhalten ist und Leerkosten aufgrund einer nicht optimalen Nutzung der Einrichtungen und Geräte entstehen.[31)]

Karasek/Duve führen dazu aus, dass die Bauzeit unter Beachtung der konkreten Rahmenbedingungen des in Frage stehenden Objekts zu ermitteln ist. Dabei finden alle Umstände Berücksichtigung, die sich ergeben, wenn sie für vergleichbare Objekte und AN ebenfalls eingetreten wären, wie etwa eine lange Lieferzeit für Baustoffe.[32)]

Karasek verdeutlicht, dass bei der Ermittlung der Bauzeit der baubetriebswirtschaftliche Sachverstand entscheidend ist.[33)]

Kropik hebt hervor, dass die Bauzeit und Bauleistung in einem Abhängigkeitsverhältnis stehen. Es gilt demnach die allgemeine Regel: Je mehr auszuführen ist, umso länger die Bauzeit. Auch die Gesamtkosten werden von der Bauzeit beeinflusst, weil die anfallenden zeitgebundenen Kosten im Produktionsprozess auf der Baustelle nicht unwesentlich sind. Eine unrealistisch kurze Bauzeit führt zu höheren Herstellkosten, weil gegenüber einer optimalen Bauzeit mit Produktivitätsverlusten zu rechnen ist. Als Ursachen dafür sind Überstundenleistungen, eine große Anzahl von zu koordinierenden Arbeitnehmern, Unterschreitung von Mindestarbeitsflächen udgl. angeführt. Eine längere Bauzeit bedeutet eine Verlängerung des Anfalls der zeitgebundenen Kosten. In der Kalkulation hat der Bieter auch die in der Leistungsbeschreibung vorgesehene Ausführungszeit zu berücksichtigen.[34)]

Nach *Roquette/Viering/Leupertz* ist eine genaue Planung Voraussetzung dafür, dass die kalkulierte Bauzeit eingehalten werden kann. Vor Beginn der Vergabe muss die technische Planung einen dafür geeigneten Status aufweisen. Auch die detaillierte Terminplanung muss wohl überlegt sein.[35)] Weiters wird von *Roquette/Viering/Leupertz* hervorgehoben, dass für den AN die vereinbarte Bauzeit besonders wichtig für die Ermittlung der entsprechenden Kosten ist. Nicht nur die Dauer der Bauzeit ist in diesem Zusammenhang bedeutend, sondern auch welche Bauabschnitte in welcher Jahreszeit zu erstellen sind. Es geht dabei nicht nur um die zeitgebundenen Kosten, sondern auch um die Art und Weise wie die Produktionsfaktoren miteinander kombiniert werden können. Auch der Zusammenhang zwischen Bauzeit und erzielter Bauwerksqualität wird hergestellt. Bei zu kurzer Planungszeit und/oder zu schneller Bauausführung treten Mängel auf.[36)]

30) Vgl. Hürlimann/Bucher (2010), S. 10f.
31) Vgl. Schach/Otto (2011), S. 355
32) Vgl. Karasek/Duve (2009), S. 15
33) Vgl. Karasek (2016), S. 261
34) Vgl. Kropik (2014), S. 659f.
35) Vgl. Roquette/Viering/Leupertz (2013), S. VII
36) Vgl. ebd., S. 2

Hoffmann/Motzko/Corsten betonen, dass für die Angebotsvorbereitung, für die Bauvorbereitung und für die Bauausführung vom AG ausreichend Zeit zur Verfügung zu stellen ist. Witterungsbedingungen oder besondere Baustellenbedingungen sowie sonstige Einflüsse und Schwierigkeiten sollen Eingang in die Ermittlung der Bauzeit finden. Zu kurze Bauzeiten und das Bauen in ungünstigen Jahreszeiten sind problematisch und können negativen Einfluss auf das Bauprojekt ausüben.[37)]

Wolkerstorfer/Lang führen aus, dass Angebotspreise nur dann kostendeckend zu ermitteln sind, wenn die Mengen- und Zeitvorgaben für die Leistungserbringung in der Ausschreibung des AG eine sehr hohe Genauigkeit besitzen. Die Angaben des AG müssen eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen.[38)]

Zusammenfassend lässt sich aus den Aussagen der hier angeführten Autoren einerseits ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baukosten und andererseits zwischen Bauzeit und Bauwerksqualität feststellen. Nicht nur deshalb sollte der AG sich intensiv mit den Einflüssen auf die Bauzeit beschäftigen, damit er für sein Projekt eine normale Bauzeit vorgeben kann. Damit legt er den Grundstein für eine faire und nutzbringende Projektabwicklung und einen höchstmöglichen Projekterfolg.

8.7.2.2 Quantitativer Vergleich mit der Untersuchung von *Hofstadler*

Das Diagramm in Abb. 8-13 dient zur Darstellung der quantitativen Ergebnisse aus der Literatur im Vergleich zu den Ergebnissen aus der Expertenbefragung (*Hofstadler* 2012/13). In diesem Diagramm sind die Auswirkungen der Bauzeitverkürzung und der Bauzeitverlängerung sowie die daraus resultierenden Produktivitätsverluste abgebildet. Von *Oberndorfer*[39)], *Petzschmann*[40)] und *Reister*[41)] werden in weiterer Folge pauschale Grenzwerte bzw. Bandbreiten für plausible Produktivitätsverluste angeführt. Bevor diese Grenzwerte verwendet werden dürfen, ist zu ergründen, wie von den angeführten Autoren der Begriff der Produktivitätsverluste verstanden wird und wie deren Berechnung erfolgt.

Der Vergleich mit dem Grenzwert nach *Oberndorfer* zeigt, dass diese Grenze den Produktivitätsverlusten einer ca. 22%igen Bauzeitverkürzung und einer etwa 27%igen Bauzeitverlängerung zufolge der Studie von *Hofstadler* entspricht.

Wenn gleichzeitig Störeinflüsse auf den Bauablauf einwirken, wird von *Petzschmann* eine mögliche Produktivitätsminderung in einer Bandbreite von 15 % bis 30 % angegeben. Die 15%ige Produktivitätsreduktion nach *Petzschmann* entspricht in etwa einer 24%igen Bauzeitverkürzung oder einer 30%igen Bauzeitverlängerung. Wird der obere Grenzwert von 30 % betrachtet, liegt die Bauzeitverkürzung bei 40 % und die Bauzeitverlängerung bei über 50 % (hier ergibt sich kein Schnittpunkt zwischen den beiden Kurven).

Reister deckt anhand seiner Bandbreitenbetrachtungen den gesamten Bereich der Produktivitätsverluste aus den Bauzeitverlängerungen und Bauzeitverkürzungen ab. Bei Betrachtung einer 45%igen Bauzeitverlängerung fällt auf, dass die auftretenden Produktivitätsverluste von 25 % nach der Kategorisierung von *Reister* genau mit dem Ende der durchschnittlichen und dem Beginn der hohen Produktivitätsverluste zusammenfallen. Bei der 50 %igen Bauzeitverkürzung fallen die dabei auftretenden Produktivitätsverluste von

37) Vgl. Hoffmann/Motzko/Corsten (2012), S. 29

38) Vgl. Wolkerstorfer/Lang (2014), S. 221

39) Vgl. Oberndorfer (2010), S. 127

40) Vgl. Petzschmann (2000), S. 138

41) Vgl. Reister (2007), S. 504

40 % genau mit dem Ende der hohen und dem Beginn der außergewöhnlich hohen Produktivitätsverluste nach *Reister* zusammen.

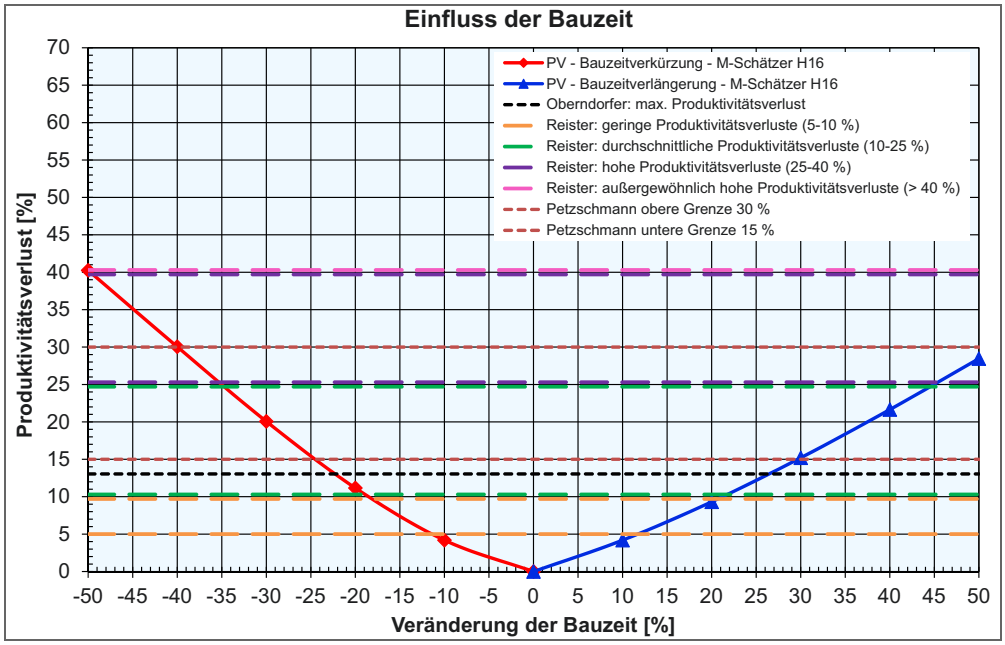


Abb. 8-13 Produktivitätsverluste – Vergleich der Ansätze von *Oberndorfer*, *Petzschmann* und *Reister* mit den Erkenntnissen aus der Expertenbefragung von *Hofstadler*[42)]

Der Vergleich der Ergebnisse aus der Expertenbefragung mit dem Grenzwert von *Oberndorfer* zeigt, dass die Grenze nicht zwingend gelten muss und auch höhere Produktivitätsverluste auftreten können. Die Eingrenzung von *Petzschmann* liegt in einem nachvollziehbaren Bereich. Die Bandbreiten von *Reister* scheinen, abhängig vom Ausmaß der Bauzeitveränderungen, baubetrieblich durchaus plausibel zu sein.

8.7.2.3 Vergleich mit der Untersuchung von *Kummer/Hofstadler*

Zwischen Dezember 2014 und Oktober 2015 wurde zum Thema der Unsicherheiten und Produktivitätsverluste bei Stahlbeton- (Ortbeton) und Mauerarbeiten von *Kummer/Hofstadler* eine weitere Expertenbefragung durchgeführt. Eine Frage beschäftigte sich damit, wie sich Baukosten verändern, wenn von einer normalen Bauzeit abgewichen wird. Die Experten haben für eine Bauzeitverkürzung und -verlängerung jeweils die Veränderungen in den Baukosten als Kurvenverläufe grafisch dargestellt. Insgesamt wurden 29 Experten im Zuge einer Primärerhebung befragt. Es wurde ein standardisierter schriftlicher Fragebogen eingesetzt und die Antworten mit den Befragten in einer zweiten Stufe mündlich erörtert. Je nach Ausmaß der Bauzeitveränderung haben zwischen 19 und 29 Experten die Kostenveränderungen in Prozent bewertet (siehe Tab. 8-3 und Tab. 8-4 – Zeile 1).

42) In Anlehnung an Hofstadler (2014a), S. 479

Die damit erhobenen Kurvenverläufe wurden in ein Zeichenprogramm (AutoCAD) überführt und entsprechend skaliert, um quantitative Werte für den Kostenverlauf in Abhängigkeit der vorgegebenen Bauzeit zu generieren. Dazu wurden die daraus gewonnenen Werte für eine zu kurze und zu lange Bauzeit auf ganzzahlige Werte gerundet (siehe Abb. 8-14).

Lfd. Nr.	Parameter	Zu kurze Bauzeit (Abminderung auf die normale Bauzeit)					
		50 %	60 %	70 %	75 %	80 %	90 %
0	A	B	C	D	E	F	G
1	n	19,00	24,00	28,00	28,00	29,00	29,00
2	Mittelwert	182,00	163,88	143,29	131,86	124,83	110,03
3	Standardfehler des MW	5,51	5,52	4,87	4,45	4,43	2,76
4	Standardabweichung	24,04	27,03	25,77	23,56	23,84	14,87
5	Variationskoeffizient	13,21 %	16,50 %	17,98 %	17,87 %	19,10 %	13,51 %
6	Median	190,00	163,00	138,00	123,50	116,00	105,00
7	MAD	11,00	19,50	11,50	7,50	5,00	2,00
8	robuster Variationskoeffizient (basierend auf Median)	5,79 %	11,96 %	8,33 %	6,07 %	4,31 %	1,90 %
9	Modus	200,00	163,00	140,00	118,00	112,00	102,00
10	Minimum	124,00	116,00	110,00	107,00	105,00	102,00
11	Maximum	213,00	222,00	218,00	200,00	199,00	171,00
12	Spannweite	89,00	106,00	108,00	93,00	94,00	69,00
13	Schiefe	-1,24	0,11	1,32	1,92	2,01	3,05
14	M-Schätzer (H12 (80 %))	185,31	163,51	139,33	127,1	118,48	105,43
15	Standardabweichung (H12 (80 %))	20,37	29,80	20,37	14,85	11,70	3,83
16	robuster Variationskoeffizient (basierend auf M-Schätzer)	10,99 %	18,23 %	14,62 %	11,68 %	9,87 %	3,63 %
17	Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein

Tab. 8-3 Deskriptive Darstellung der Daten für den Zusammenhang zwischen Baukosten und Bauzeit – Zu kurze Bauzeit

Mit den ermittelten Werten wurde in weiterer Folge eine deskriptive Datenanalyse durchgeführt. Aus den unterschiedlichen Daten wurden zuerst Mittelwerte und in weiterer Folge M-Schätzer gebildet und für Trendanalysen herangezogen (siehe Tab. 8-3 und Tab. 8-4).

Lfd. Nr.	Parameter	Zu lange Bauzeit (Erhöhung auf die normale Bauzeit)					
		110 %	120 %	125 %	130 %	140 %	150 %
0	A	B	C	D	E	F	G
1	n	29,00	29,00	29,00	29,00	28,00	26,00
2	Mittelwert	103,83	109,83	113,66	118,52	129,57	139,19
3	Standardfehler des MW	0,86	1,51	1,82	2,20	3,33	3,06
4	Standardabweichung	4,64	8,13	9,82	11,82	17,63	15,62
5	Variationskoeffizient	4,47 %	7,40 %	8,64 %	9,98 %	13,60 %	11,22 %
6	Median	103,00	110,00	114,00	117,00	127,00	139,00
7	MAD	2,00	4,00	5,00	6,00	7,50	10,00
8	robuster Variationskoeffizient (basierend auf Median)	1,94 %	3,64 %	4,39 %	5,13 %	5,91 %	7,19 %
9	Modus	101,00	107,00	114,00	117,00	127,00	139,00
10	Minimum	96,00	94,00	95,00	96,00	102,00	112,00
11	Maximum	122,00	140,00	150,00	158,00	183,00	177,00
12	Spannweite	26,00	46,00	55,00	62,00	81,00	65,00
13	Schiefe	2,47	1,81	1,78	1,31	1,43	0,44
14	M-Schätzer (H12 (80 %))	103,13	108,96	112,68	117,23	126,84	138,49
15	Standardabweichung (H12 (80 %))	2,48	5,51	6,90	9,13	12,63	15,89
16	robuster Variationskoeffizient (basierend auf M-Schätzer)	2,40 %	5,06 %	6,12 %	7,79 %	9,96 %	11,47 %
17	Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja

Tab. 8-4 Deskriptive Darstellung der Daten für den Zusammenhang zwischen Baukosten und Bauzeit – Zu lange Bauzeit

In der Abb. 8-14 ist auf der Abszisse die Veränderung der Bauzeit in Prozent dargestellt. Auf der linken Ordinate sind die Veränderungen in den Baukosten und auf der rechten Ordinate die Auswirkungen auf die Aufwandswerterhöhung in Prozent ablesbar.

Zur Beurteilung der Veränderungen im Lohnanteil werden, bezogen auf den Verlauf, für die Baukosten vier verschiedene Verteilungen zwischen Lohn und Sonstiges angesetzt. Im Anteil Sonstiges sind die Kosten für Geräte und Stoffe vereint.

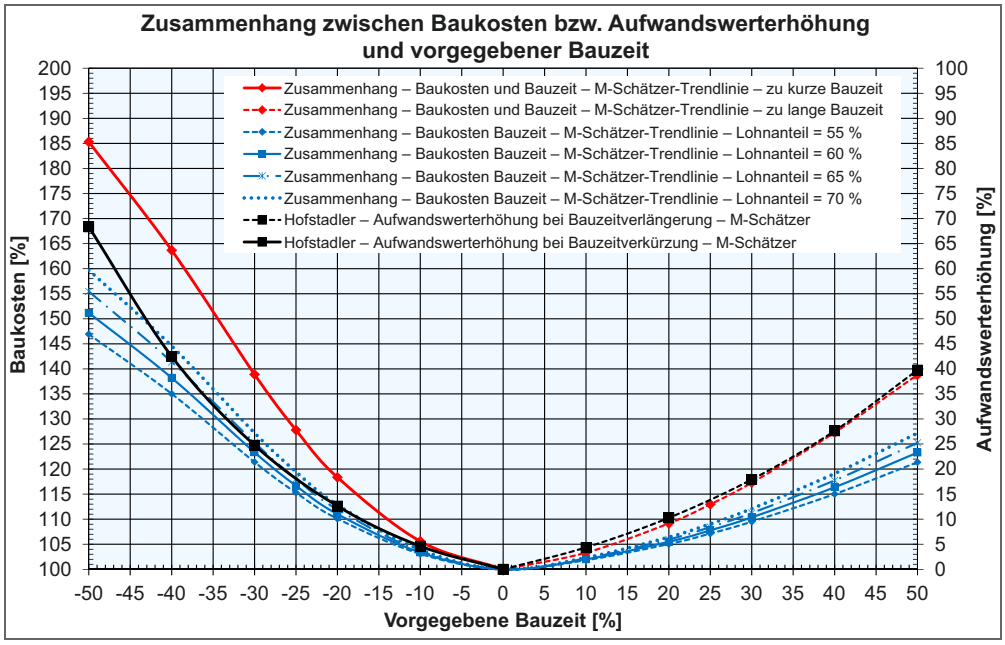


Abb. 8-14 Baukosten- und Aufwandswerterhöhung – Vergleich der Erkenntnisse aus der Expertenbefragung von *Hofstadler* (2012/13)[43] mit der Expertenbefragung von *Kummer/Hofstadler* (2015)

Damit für unterschiedlich lohnintensive Bauvorhaben Auswahlmöglichkeiten bestehen, wurden dem Diagramm folgende Lohnanteile zugrunde gelegt:

- Lohnanteil = 55 %
- Lohnanteil = 60 %
- Lohnanteil = 65 %
- Lohnanteil = 70 %

Für den gewählten Lohnanteil von beispielsweise 55 % werden für den Bereich der kurzen Bauzeit die Werte der Kurve „Zusammenhang – Baukosten und Bauzeit – M-Schätzer-Trendlinie – zu kurze Bauzeit“ mit 0,55 multipliziert und daraus die Kurve „Zusammenhang – Baukosten Bauzeit – M-Schätzer-Trendlinie – Lohnanteil = 55 %“ erzeugt. Für die längeren Bauzeiten werden die Werte der Kurve „Zusammenhang – Baukosten und Bauzeit – M-Schätzer-Trendlinie – zu lange Bauzeit“ ebenfalls mit 0,55 multipliziert und es folgt daraus die Kurve „Zusammenhang – Baukosten Bauzeit – M-Schätzer-Trendlinie – Lohnanteil = 55 %“ für den Bereich von 0 bis 50 % auf der Abszisse.

Die unterste Kurve im Diagramm stellt jene mit einem Lohnanteil von 55 % dar. Die mit den unterschiedlichen Ansätzen für die Lohnanteile ermittelten Kurven für die zu kurzen und zu langen Bauzeiten können direkt mit jenen aus der Befragung *Hofstadler* (2012/13) für die Aufwandswerterhöhungen verglichen werden. Bei den kürzeren Bauzeiten gibt es dabei bis -40 % Verkürzung eine sehr gute Übereinstimmung.

Bei der Bauzeitverlängerung liegt die Kurve für die Aufwandswerterhöhung durchwegs höher als jene für die unterschiedlichen Lohnanteile.

[43] In Anlehnung an Hofstadler (2014a), S. 455ff.

8.8 Zusammenfassung

Der Zusammenhang zwischen Bauzeit und Aufwandswert sowie Produktivität wird qualitativ anhand von Literaturangaben und quantitativ mittels Untersuchungen, die an der TU Graz durchgeführt wurden, dargestellt. Gezeigt wird, welche Auswirkungen auf die Produktivität und die Aufwandswerte zu erwarten sind, wenn die Bauzeit, im Vergleich zu einer ‚normalen' Bauzeit, verlängert oder verkürzt wird. Weiters werden die Auswirkungen auf die Baukosten betrachtet, wenn von der ‚normalen' Bauzeit abgewichen wird.

Eine ‚normale' Bauzeit liegt vor, wenn die Art, Anzahl und Kombination der Produktionsfaktoren dazu geeignet ist, den Baubetrieb auf der Baustelle ohne Überschreitung von Grenzen zu Produktivitätsverlusten wie geplant umzusetzen. Eine Verkürzung der Bauzeit tritt in der Angebotsphase fiktiv (Erklärung für fiktive Bauzeitverkürzung siehe Einleitung) nur dann ein, wenn der AG von der vom Bieter ermittelten ‚normalen' Bauzeit abweicht. Der Bieter berechnet unabhängig von der vorgegebenen Bauzeit seine als baubetrieblich normal erachtete Bauzeit als internen Maßstab zur Beurteilung des vorliegenden Produktivitätsniveaus.

Die Ausgangsdaten zur Darstellung der Wechselwirkungen wurden im Zuge von Expertenbefragungen direkt aus der Baupraxis erhoben. Neben den arithmetischen Mittelwerten wurden robuste Mittelwerte nach der M-Schätzer-Methode nach *Huber* berechnet. Dadurch fließen eventuell vorhandene Ausreißer und Extremwerte systematisch mit einem geringeren Gewicht in die statistischen Auswertungen ein.

Die in den Diagrammen dargestellten Zusammenhänge sind daher sehr robust und belastbar. Weiters können statistische Kennwerte wie beispielsweise die Standardabweichung herangezogen werden, damit Anpassungen an die speziellen Randbedingungen eines zu untersuchenden Projekts vorgenommen werden können. Für die Anwender der Diagramme bzw. der Werte wird es damit möglich, für das zu untersuchende Bauvorhaben vermutete geringere oder auch größere Störungen durch die Ausnutzung der Bandbreite der Standardabweichung nach unten bzw. nach oben zu berücksichtigen. Dadurch ist eine statistische Flexibilität in der Anwendung der vorgestellten Werte und Diagramme gegeben und die Anpassung an die jeweiligen Projektrandbedingungen möglich.

Für alle Vertragspartner ist eine baubetrieblich auskömmliche (= normale) Bauzeit von Vorteil. Einerseits ist mit einer störungsarmen Bauausführung zu rechnen, wenn der Bauherr eine ‚normale' Bauzeit vorgibt. Andererseits können die Bieter bzw. späteren AN bei der Vorgabe einer ‚normalen' Bauzeit mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit darauf vertrauen, dass sie ihre Produktionsfaktoren mit der geplanten ‚Normal-Produktivität' einsetzen können. Im Vergleich zu einem bereits zu Baubeginn gestörten Baubetrieb sind – bedingt durch eine zu kurze Bauzeit – auftretende Störungen leichter behebbar.

Eine ‚normale' Bauzeit schafft die Basis, dass der Bauherr und auch die AN sowie die weiteren Beteiligten ihre Projektziele gemeinsam erreichen können.

8.9 Literaturverzeichnis

Blecken, Udo (1976). Die Produktions- und Kostentheorie im instationären Baubetrieb. In: Der Baubetriebsberater, Heft 4, 1/1976. Seite 199-210. Wiesbaden, Berlin. Bau-Verlag.

Gölles, Hans; Link, Doris (2011). ÖNORM-Bauvertrag – Praxiskommentar – ÖNORM B 2110, ÖNORM B 2118 und die BVergG-Vertragsbestimmungen. Wien. Austrian Standards plus Publishing. (ISBN 978-3854022428).

Hoffmann, Friedrich; Motzko, Christoph; Corsten, Bernhard (2012). Aufwand und Kosten zeitgemäßer Schalverfahren – 3. Auflage. Neu-Isenburg. Zeittechnik-Verlag GmbH. (ISBN 978 3- 939216-11-7)

Hofstadler (2010). Calculation of Construction Time for Building Projects – Application of the Monte Carlo Method to Determine the Period Required for Shell Construction Works. In: Full Paper Proceedings – CIB 2010 World Congress | 10 - 13 May 2010, Salford Quays - United Kingdom. Hrsg.: Barrett, Peter et al. International Council for Building (CIB). (ISBN 978-1-905732-91-3)

Hofstadler, Christian (2014a). Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-41632-3)

Hofstadler, Christian (2014c). Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. In: Nachhaltig Bauen mit Beton: Werkstoff und Konstruktion, Beton Graz‘14 – 2. Grazer Betonkolloquium; 25. / 26. September 2014. Hrsg.: Nguyen, Viet Tue; Maydl, Peter; Freytag, Bernhard; Santner, Gerhard. Seite 139-152. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-360-3)

Hofstadler, Christian; Franzl, Gerald (2011). Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb. Hrsg.: Verband Österreichischer Biege- und Verlegetechnik (VÖBV).
(ISBN 978-3-200-02149-5)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2014). Systematischer Umgang mit Produktivitätsrisiken in der Auftragskalkulation. In: Tagungsband – 12. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium – Risiken im Bauvertrag – Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte. Hrsg.: Heck, Detlef; Mauerhofer, Gottfried; Hofstadler, Christian. Seite 53-90. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-312-2)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2015a). Risiken und Chancen der Mischpreiskalkulation. In: Tagungsband – 13. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium – Preisermittlung und Vergabe in der Bauwirtschaft – Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte. Hrsg.: Heck, Detlef; Mauerhofer, Gottfried; Hofstadler, Christian. Seite 49-92. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz.
(ISBN 978-3-85125-385-9)

Hruschka, Johann (1968). Die Anwendung des Normprodukts in der Baubetriebsplanung, Erläutert am Beispiel der Rohbauarbeiten im Hochbau. Dissertation. München. Fakultät für Bauwesen der Technischen Hochschule München.

Hürlimann, Roland; Bucher, Jörg (2010). Bauzeit und Bauablauf im schweizerischen Baurecht. In: bau aktuell, 1. Jahrgang, Heft Nr. 1, Jänner 2010. Seite 10-15. Wien. Linde-Verlag Ges.m.b.H. (ISSN 2077-4737)

Karasek, Georg (2016). Kommentar zur ÖNORM B 2110 – 3. Auflage. Wien. Manz‘sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung GmbH. (ISBN 978-3-214-13575-1)

Karasek, Georg; Duve, Helmuth (2009). Die Bauzeit im Bauvertrag – die baurechtliche und bauwirtschaftliche Betrachtung. In: Tagungsband – 2. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar – Spezielle Probleme des Bauvertrages und die neue ÖNORM B 2110. Hrsg.: Lechner, Hans; Heck, Detlef. Seite 13-61. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-030-5)

Kropik, Andreas (2014). Bauvertrags- und Nachtragsmanagement. Perchtoldsdorf. Eigenverlag. (ISBN 978-3-200-03502-7)

Kummer, Markus (2015a). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten – Deterministische und probabilistische Betrachtungen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Motzko, Christoph; Boska Erik (2013). Ermittlung von Aufwandswerten bei Schalungsarbeiten im Sichtbetonbereich. In: BauPortal – Fachzeitschrift der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, 3/2013. Seite 18-24. Berlin. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG. (ISSN 1866-0207)

Oberndorfer, Wolfgang (2010). Claim Management und alternative Streitbeilegung im Bau- und Anlagenvertrag – Teil 1: Grundlagen und Methoden– 2. Auflage. Wien. MANZ Verlag. (ISBN 978-3-2140-0546-7)

Oberndorfer, Wolfgang; Jodl, Hans Georg et al. (2001). Handwörterbuch der Bauwirtschaft – ON V 208 – 2. Auflage. Wien. ON Österreichisches Normungsinstitut. (ISBN 3-85402-072-4)

Petzschmann, Eberhard (2000). Handbuch für Bauingenieure – Bauverfahrenstechnik und Baumaschineneinsatz. 5. Jahrgang, Heft 6. Hrsg.: Petzschmann, Eberhard. Brandenburgische Technische Universität Cottbus. Eigenverlag. (ISSN 1431-3243)

Reister, Dirk (2007). Nachträge beim Bauvertrag: Erkennen – Dokumentieren – Aufbau. Neuwied. Werner-Verlag. (ISBN: 978-3-8041-4647-1)

Roquette, Andreas; Viering, Markus; Leupertz, Stefan (2013). Handbuch Bauzeit – 2. Auflage. Köln. Werner Verlag. (ISBN 978-3-8041-4656-3)

Schach, Rainer; Otto, Jens (2011). Baustelleneinrichtung – Grundlagen – Planung – Praxishinweise – Vorschriften und Regeln – 2. Auflage. Wiesbaden. Vieweg+Teubner Verlag. (ISBN 978-3-8348-1399-2)

Spranz, Dieter (1975). Arbeitszeiten im Baubetrieb – Ermittlung und Anwendung bei Kalkulation, Arbeitsvorbereitung und Leistungsentlohnung – Eine Genauigkeits- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Schriftenreihe des Instituts für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart (TH) – Nr. 13. Hrsg.: Drees, Gerhard. Wiesbaden, Berlin. Bauverlag GmbH. (ISBN 3-7625-0570-5)

Wolkerstorfer, Herbert; Lang, Christian (2014). Praktische Baukalkulation – Erstellen der Kalkulationsformblätter gemäß ÖNORM B 2061 – 4. Auflage. Wien. Linde Verlag. (ISBN 978-3-7073-1971-2)

9 Anwendungsbeispiele – Auftraggeber

In diesem Kapitel werden praxisbezogene Anwendungsbeispiele für die Sphäre des Auftraggebers gezeigt. Die Methoden und Anwendungsschemata können jedoch auch von Auftragnehmern bzw. in ihrer grundsätzlichen Struktur auch von anderen am Bau Beteiligten herangezogen werden.

Die Beispiele sind nach Projektphasen gegliedert und werden je nach Themengebiet in Grundlagen (sofern erforderlich), die Aufgabenstellung bzw. Ausgangssituation, die Modellierung und schließlich in die Berechnung und Ergebnisinterpretation gegliedert.

Generell erfolgten alle Berechnungen bzw. Simulationen mit MS Excel in Kombination mit dem Add-In @Risk. Beim händischen Nachrechnen der angegebenen Zahlenwerte können Rundungen zu geringfügig abweichenden Ergebnissen führen.

Wenn nicht anders angegeben, liegen den Simulationsergebnissen jeweils 50.000 Iterationen unter Anwendung des Latin Hypercube Probenerhebungsverfahrens zugrunde.

9.1 Projektphase PPH 1

In der PPH 1 werden vom Auftraggeber Developer- bzw. Projektentwicklungsrechnungen und erste Überlegungen zu den Lebenszykluskosten des Bauwerks angestellt. Nachfolgend wird für ausgewählte Einsatzmöglichkeiten der Monte-Carlo-Simulation gezeigt, welcher Mehrwert dadurch für den AG in der Entscheidungsfindung und bei der Konkretisierung seines Projekts entsteht.

9.1.1 Developer-Rechnung

Unter einer Developer- oder Projektentwicklungsrechnung versteht man die zunächst überschlägige, dann immer weiter durch die konkreter werdenden Planungsgrundlagen verfeinerte Kostenberechnung für die Erstellung eines bestimmten Gebäudes bzw. für dessen Erweiterung. Im zweiten Schritt können darauf aufbauend erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen des Projekts angestellt werden.[1)] Besonders in frühen Phasen sind die

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_9

Eingangsparameter aufgrund des frühen Planungsstadiums mit Unsicherheiten behaftet. Es handelt sich daher bei den durchgeführten Berechnungen um Prognosen, die basierend auf Erfahrungs- und/oder Literaturwerten durchgeführt werden müssen.

Anhand eines Beispiels[2)] wird der Einsatz der Monte-Carlo-Simulation für eine einfache Developer-Rechnung (Berechnung der Gesamtinvestitionskosten) gezeigt. Das Beispiel ist dabei der PPH 1 zuzuordnen (siehe Abb. 9-1) und lehnt sich zwar an die Systematik der DIN 276 bzw. jener der ÖNORM B 1801-1 an, verfügt aber über eine eigenständige Kostenstruktur. Für konkrete Anwendungen ist die Systematik auf die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen. Dies betrifft insbesondere die Frage welche Kosten im Detail in den jeweiligen Kostenbereichen enthalten sind.

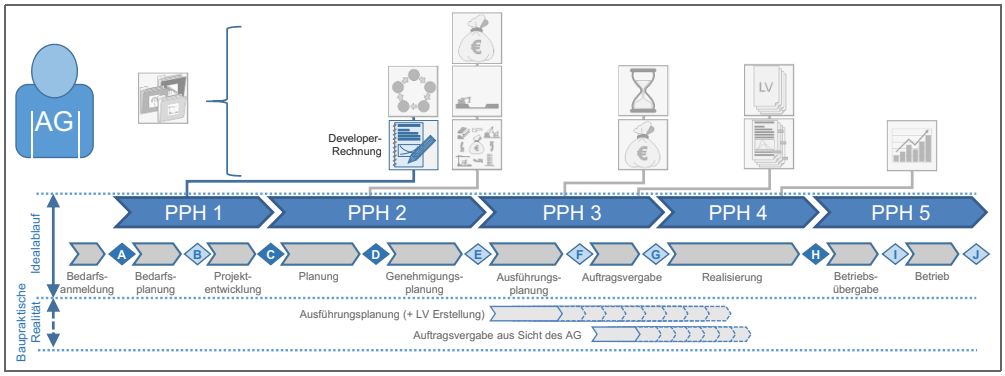


Abb. 9-1 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

9.1.1.1 Grundlagen

Die einfache Developer-Rechnung hat zur Aufgabe, die Gesamtkosten einer Investition für ein Bauprojekt übersichtlich zu gliedern und aufzuschlüsseln. Für das Beispiel werden dabei nur Kosten inklusive der zugehörigen Nebenkosten, die im Zusammenhang mit dem Grundstückserwerb, der Errichtung und der Finanzierung stehen, betrachtet. Die Kosten für den Betrieb, die Instandhaltung und den Rückbau/Abbruch sind nicht Teil der Berechnung.

Insgesamt werden sechs Bereiche für die Developer-Rechnung untersucht und zu den Gesamtkosten aufaddiert:

- Grunderwerbskosten
- Grundstücksaufbereitung
- Baukosten[3)]
- Baunebenkosten
- Projektmanagement-Honorar
- Finanzierungskosten

[1)] Vgl. Glatte (2014), S. 203ff.
Vgl. Diederichs (2006), S. 74ff.

[2)] Angelehnt an ein Beispiel von Lechner (2009), S. 134ff.

[3)] Unter Baukosten werden in diesem Zusammenhang die Bauwerkskosten lt. ÖNORM B 1801-1:2015, S. 28 verstanden und setzen sich aus den Kostenarten Bauwerk-Rohbau, Bauwerk-Technik und Bauwerk-Ausbau zusammen.

9.1.1.2 Aufgabenstellung

Für ein Hochbauprojekt werden die Gesamtinvestitionskosten in einer sehr frühen Projektphase (PPH 1) ermittelt. Die angesetzten Parameter sind mit Unsicherheiten behaftet und werden daher als Verteilungsfunktionen in die Berechnung integriert. Die Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen ermöglicht Aussagen über mögliche Bandbreiten der Investitionskosten sowie des eingegangenen Chancen-Risikoverhältnisses auf Basis eines vorgegebenen Budgets.

Ziel der Berechnung ist es, beurteilen zu können, in welcher Bandbreite die geplante Investition zu erwarten ist und ob sie in einem angemessenen Chancen-Risikoverhältnis steht. Auf Basis dieser Erkenntnisse können Projektbudgets definiert werden, welche auch einen angemessenen Anteil an Reserven beinhalten. Bei den angeführten Kosten handelt es sich jeweils um Nettobeträge.

9.1.1.3 Modellierung

Die Berechnung der Kostenkomponenten erfolgt getrennt voneinander. Zur leichteren Orientierung und zur Erhöhung der Verständlichkeit der Berechnungen werden die schematischen Berechnungsabläufe ebenfalls getrennt dargestellt. Unsichere Inputparameter sind dabei durch Verteilungsfunktionen und deterministische Inputparameter durch Pfeile symbolisiert. Zwischen- und Endergebnisse sind als Histogramme in den Abbildungen ersichtlich.

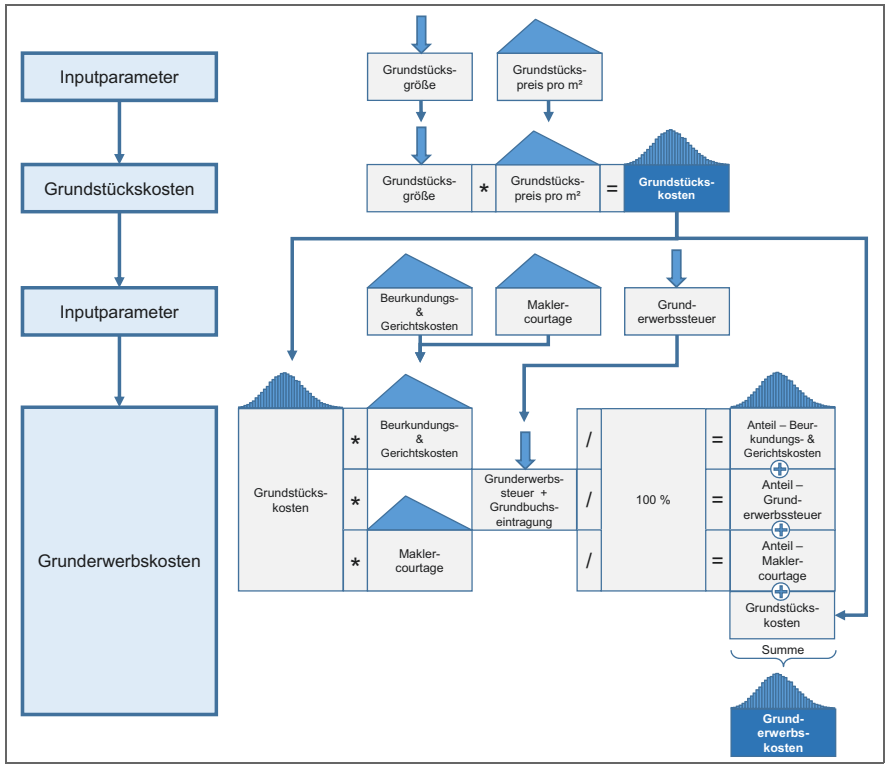


Abb. 9-2 Schematischer Berechnungsablauf – Grunderwerbskosten

Grunderwerbskosten

Die Grunderwerbskosten setzen sich aus den Grundstückskosten, den Kosten für die Beurkundung, den Gerichtskosten, der Grunderwerbssteuer und der Eintragungsgebühr für das Grundbuch sowie der Maklercourtage zusammen. Für die Simulation des gegenständliche Beispiels werden alle jene Inputparameter, deren Kosten sich innerhalb einer Bandbreite befinden, als Dreiecksverteilungen angesetzt, lediglich die Grundstücksgröße sowie fixe Zuschläge auf diese weisen einen deterministischen Wert auf (siehe Abb. 9-2).

Grundstücksaufbereitung

Ist das zu erwerbende Grundstück bebaut oder kontaminiert, fallen zusätzliche Kosten für die Grundstücksaufbereitung an. Ebenso können Kosten für die äußere Erschließung (z.B. Zufahrten, Ver- und Entsorgung), die Ablösung von Rechten oder sonstige Kosten entstehen, die es in der Developer-Rechnung für die Grundstücksaufbereitung zu berücksichtigen gilt.

Für das Beispiel sind lediglich Kosten für den Abbruch eines Bestandsgebäudes und die Ablösung eines Servituts kostenmäßig zu berücksichtigen. Die Modellierung dieser beiden Kostenkomponenten erfolgt mit Dreiecksverteilungen (siehe Abb. 9-3).

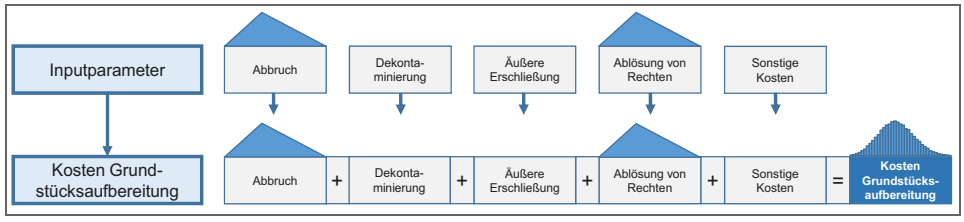


Abb. 9-3 Schematischer Ablauf – Grundstücksaufbereitung

Baukosten

Die direkten Baukosten setzen sich aus folgenden Kostenbereichen zusammen:

- Kosten für die Nutzflächen (Summe C1)
- Kosten für Parkplätze (Summe C2)
- Kosten für Außenanlagen, innere Erschließung, Marketing und Vermietungskosten (Summe C3)[4)]

Die Summe aus C1, C2 und C3 ergibt die direkten Baukosten (Summe C4). Die prozentuelle Beaufschlagung von C4 für sonstige Kosten und Unvorhergesehenes ergibt die Summe C5. Die ‚Summe der direkten Baukosten' errechnet sich in weiterer Folge aus den Anteilen C4 und C5.

Der schematische Ablauf der Berechnung ist in Abb. 9-4 dargestellt. Unsichere Inputparameter sind dabei als Dreiecksverteilungen und deterministische Inputparameter durch Pfeile symbolisiert.[5)] Werden keine Kosten für einzelne Parameter im Beispiel angesetzt, ist im schematischen Ablauf auch keine Verteilung dargestellt (z.B. ‚Sonstige Flächen').

[4)] Kosten für innere Erschließung und Marketing werden im Beispiel nicht berücksichtigt.

[5)] Die Anzahl der Monatsmieten für die Vermittlungskosten konnte bereits im Vorfeld auf 2,5 Monatsmieten fixiert werden.

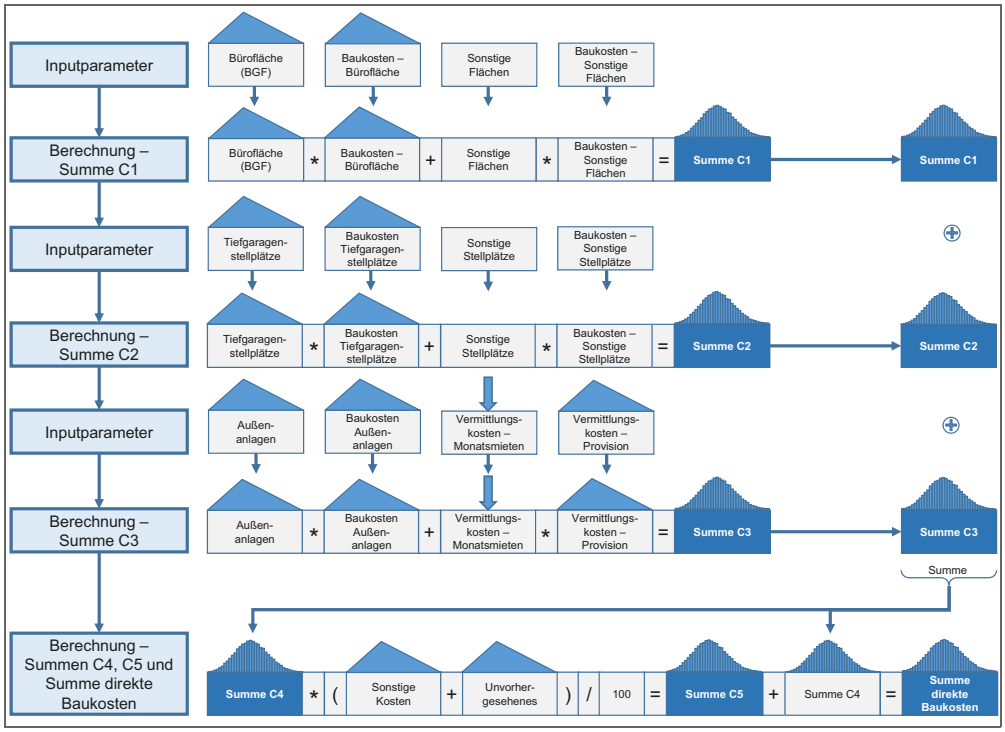


Abb. 9-4 Schematischer Ablauf – Direkte Baukosten

Baunebenkosten

Neben den direkten Baukosten sind für die Developer-Rechnung auch noch die Baunebenkosten zu berücksichtigen. Diese enthalten z.B. die Kosten für Versicherungen, Gutachten, Vermessungen etc.

Für das Beispiel werden die Baunebenkosten als Prozentsatz (Dreiecksverteilung) der direkten Baukosten ermittelt und ergeben zusammen mit diesen die Summe der Baukosten (siehe Abb. 9-5).

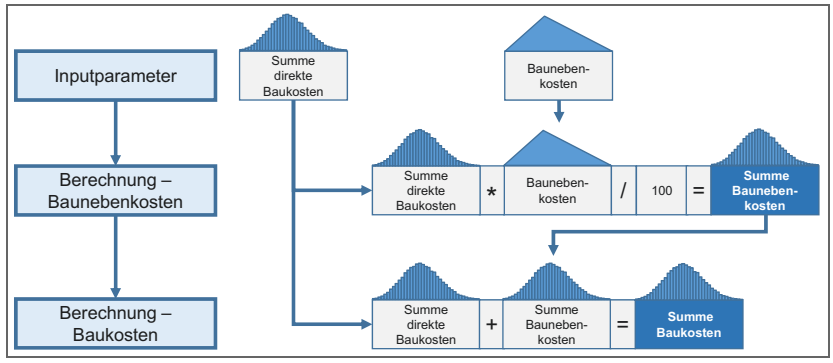


Abb. 9-5 Schematischer Ablauf – Baunebenkosten und Summe der Baukosten

Projektmanagement-Honorar

Zu den Grunderwerbs- und Grundstückskosten sowie den Baukosten sind auch noch die Honorare für das Projektmanagement hinzuzurechnen. Diese werden für das gegenständliche Projekt als Prozentsatz (Dreiecksverteilung) der Summe der Baukosten ermittelt (siehe Abb. 9-6).

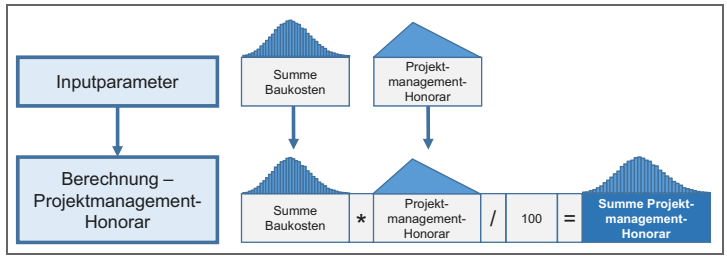


Abb. 9-6 Schematischer Ablauf – Projektmanagement-Honorar

Finanzierungskosten

Kann der Auftraggeber nicht das gesamte Budget für die Errichtung des Bauprojekts aus eigenen Mitteln (Eigenfinanzierung) aufbringen, fallen für die Fremdfinanzierung zusätzliche Kosten an.

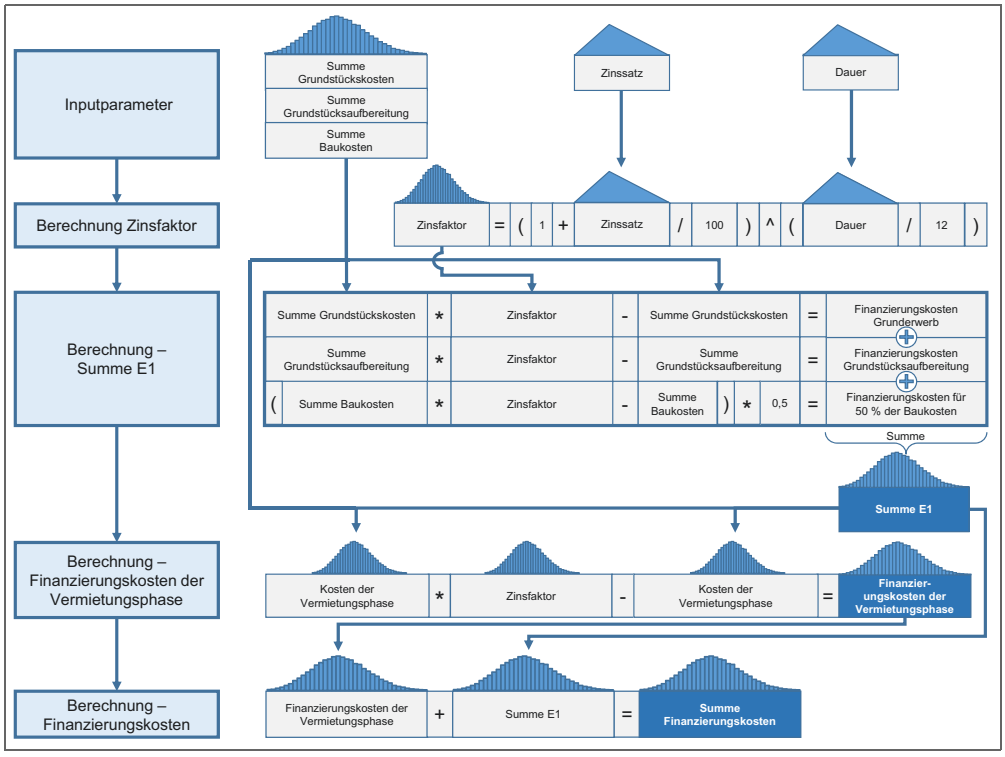


Abb. 9-7 Schematischer Ablauf – Finanzierungskosten

Für das Beispiel wird angenommen, dass die Kosten für den Grunderwerb sowie für die Grundstücksaufbereitung und die Kosten für die Vermietungsphase zur Gänze, jedoch die Baukosten nur zur Hälfte fremdfinanziert werden müssen.[6)]

Die als Dreiecksverteilungen angesetzten Zinssätze werden für alle vier Teile der Finanzierungskosten identisch angenommen, die Dauern (in Monaten) für die Finanzierungen unterscheiden sich jedoch. Der schematische Ablauf der Berechnung ist in Abb. 9-7 abgebildet.

Gesamtinvestitionskosten

Die Gesamtinvestitionskosten setzen sich aus folgenden Kostenbereichen zusammen:
- Grunderwerbskosten
- Grundstücksaufbereitung – Aufschließung
- Baukosten
- Baunebenkosten
- Projektmanagement-Honorar
- Finanzierungskosten

Da der Anteil an unvorhersehbaren Kosten bereits in den Baukosten berücksichtigt wurde und auf diesen Kostenbereich prozentuell Honorare und Nebenkosten aufgeschlagen werden, wird der Bereich Unvorhergesehenes (Reserven) an dieser Stelle nicht mehr explizit angeführt.

Der schematische Berechnungsablauf ist in Abb. 9-8 dargestellt. Als Inputparameter fungieren dabei die bereits berechneten Histogramme der einzelnen Kostenbereiche.

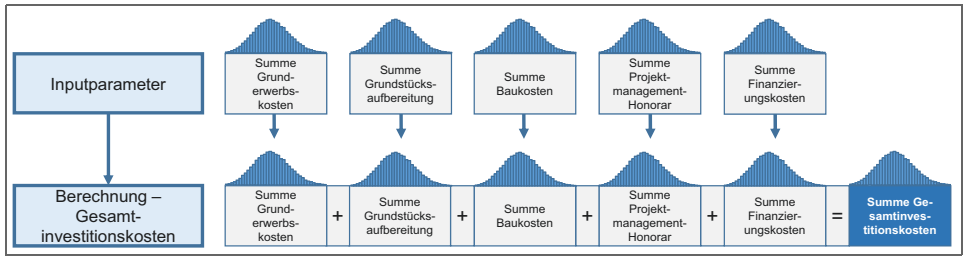


Abb. 9-8 Schematischer Ablauf – Gesamtinvestitionskosten

9.1.1.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die Berechnung der Kosten der Gesamtinvestition erfolgt getrennt für die betrachteten Bereiche. In diesem Abschnitt werden die Berechnungstabellen (inkl. der jeweiligen Inputparameter) sowie die Ergebnisse in Form von Histogrammen dargestellt und interpretiert. Um den Einfluss der Inputparameter auf den Output untersuchen zu können, ist am Ende des Abschnitts ein Tornadodiagramm für die Gesamtinvestitionskosten abgebildet.

Grunderwerbskosten

In Tab. 9-1 werden die Grunderwerbskosten für das geplante Bauvorhaben ermittelt. Die Grundstücksgröße wird dabei als deterministischer Wert angesetzt, da bereits ein

6) Diese Annahme wird pauschal getroffen, obwohl die Baukosten mit Unsicherheiten behaftet sind und sich damit der zu finanzierende Betrag in jeder Iteration ändert. Alternativ könnte auch das zur Verfügung stehende Eigenkapital als fixer Wert in die Berechnung integriert werden.

konkretes Grundstück in innerstädtischer Lage für die Realisierung des Projekts gefunden werden konnte. Der Preis je m² ist jedoch noch mit Unsicherheiten behaftet und wird zwischen 1.150 und 1.400 €/m² geschätzt. Erwartet wird ein Preis von 1.200 €/m². Der Grundstückspreis (Zeile 2) wird als Dreiecksverteilung in der Zelle E2 definiert.

Grunderwerbskosten					
Lfd. Nr.	Parameter	Menge/Wert			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Grundstücksgröße		1.400,00		1.400,00 m²
2	Grundstückspreis	1.150,00 €/m²	1.200,00 €/m²	1.400,00 €/m²	1.250,00 €/m²
3	Grundstückskosten				1.750.000,00 €
4	**Summe A1**				**1.750.000,00 €**
5	Prozentsatz – Beurkundungs- & Gerichtskosten	1,20 %	1,50 %	1,80 %	1,50 %
6	Beurkundungs- & Gerichtskosten				26.250,00 €
7	Prozentsatz – Grunderwerbssteuer (3,50 %) + Eintragungsgebühr Grundbuch (1,10 %)		4,60 %		4,60 %
8	Grunderwerbssteuer				80.500,00 €
9	Prozentsatz – Maklercourtage	2,40 %	3,00 %	3,60 %	3,00 %
10	Maklercourtage				52.500,00 €
11	**Summe A2**				**159.250,00 €**
12	**Summe Grunderwerbskosten**				**1.909.250,00 €**

Tab. 9-1 Berechnungstabelle – Grunderwerbskosten

Die Grundstückskosten ergeben sich in weiterer Folge aus der Multiplikation der Grundstücksgröße mit dem Grundstückspreis (modelliert als Dreiecksverteilung) in Zelle E3. Werden für ein Projekt mehrere Grundstücke erworben, ergibt sich die Summe der Grundstückskosten in Zelle E4. Für das konkrete Beispiel entspricht die Eintragung in Zelle E4 dem Ergebnis in Zelle E3.

Zusätzlich zu den reinen Grundstückskosten sind auch noch weitere Kosten für den Grunderwerb (Beurkundungs- und Gerichtskosten, Grunderwerbssteuer sowie Maklercourtage) jeweils als Prozentsatz der Grundstückskosten zu berücksichtigen. Die jeweiligen Prozentwerte für die Beurkundungs- und Gerichtskosten sowie die Maklercourtage (Maklerprovision) sind in den Zeilen 5 und 9 jeweils als Dreiecksverteilungen eingetragen. Die Grunderwerbssteuer ist gesetzlich vorgeschrieben und wird daher als deterministischer Wert mit 3,50 % und die Eintragungsgebühr für das Grundbuch mit 1,10 % angesetzt (Zeile 7). Die Kostenanteile im Zusammenhang mit dem Grunderwerb werden jeweils auf Basis der Grundstückskosten (Zelle E4) berechnet. In Summe ergeben sich die Kosten die zusätzlich zu den reinen Grundstückskosten anfallen in Zelle E11. Die gesamten Grunderwerbskosten berechnen sich aus der Summe der Zellen E4 und E11 in Zelle E12 als Histogramm (siehe Abb. 9-9).

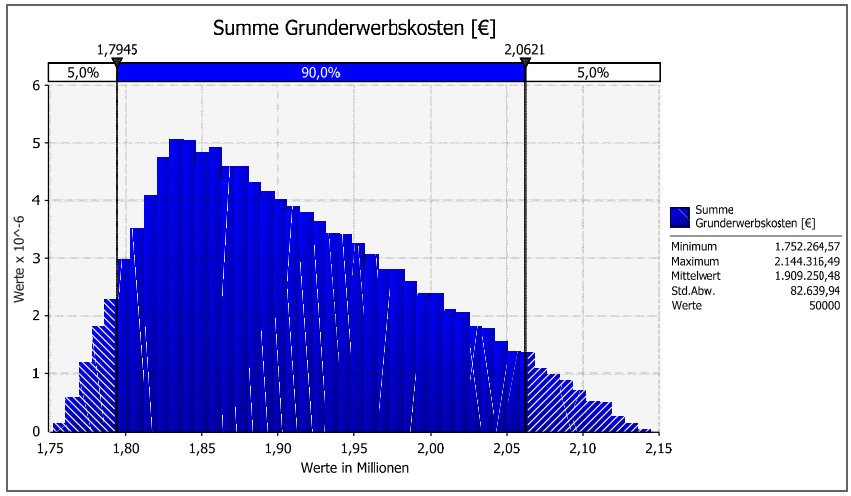


Abb. 9-9 Histogramm – Grunderwerbskosten

Die Form des Histogramms für die Grunderwerbskosten wird dabei maßgebend von der Dreiecksverteilung des Grundstückspreises pro m² bzw. in weiterer Folge von den Grundstückskosten bestimmt. Der Anteil der mit dem Grundstückserwerb zusammenhängenden Kosten ist im Verhältnis zu den Grundstückskosten relativ gering und hat daher kaum Einfluss auf die Verteilungsform. Die Grunderwerbskosten liegen zwischen ca. 1,75 und 2,14 Mio. €. Der Mittelwert beträgt ca. 1,91 Mio. €.

Grundstücksaufbereitung – Aufschließung

Der zweite Bereich der Gesamtinvestitionskosten umfasst die Kosten für die Grundstücksaufbereitung. Diese setzen sich aus folgenden Kosten zusammen (siehe auch Tab. 9-2):

- Abbrucharbeiten von Bestandsgebäuden
- Dekontaminierung (z.B. aufgrund von Bodenverunreinigungen)
- Äußere Erschließung des Grundstücks
- Ablöse von Rechten (z.B. Servitute)
- Sonstige Kosten

Für das Beispiel werden nur Kosten für den Abbruch eines Bestandsgebäudes (Zeile 1) und Kosten für die Ablöse eines Servituts (Zeile 4) berücksichtigt. Beide Kostenbereiche können in einem frühen Projektstadium noch nicht präzise (als deterministischer Wert) angegeben werden, sind mit Unsicherheiten behaftet und werden daher als Dreiecksverteilungen angesetzt.

Grundstücksaufbereitung					
Lfd. Nr.	Parameter	Menge/Wert			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Abbruch	40.000,00 €	50.000,00 €	80.000,00 €	56.666,67 €
2	Dekontaminierung				0,00 €
3	Äußere Erschließung				0,00 €
4	Ablösung von Rechten	15.000,00 €	20.000,00 €	26.000,00 €	20.333,33 €
5	Sonstige Kosten				0,00 €
6	**Summe Grundstücksaufbereitung**				**77.000,00 €**

Tab. 9-2 Berechnungstabelle – Grundstücksaufbereitung

Die Summe der Kosten für die Grundstücksaufbereitung ergibt sich in Zelle E6 der Tab. 9-2 als Histogramm – dieses ist in Abb. 9-10 dargestellt. Der Mittelwert beträgt ca. 77.000 € und 90 % der Fälle liegen etwa zwischen 64.215 € und 92.886 €.

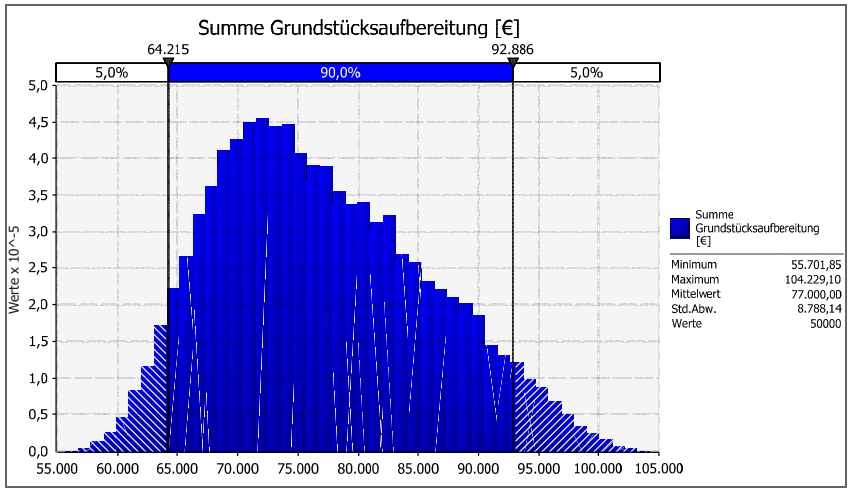


Abb. 9-10 Histogramm – Grundstücksaufbereitung

Direkte Baukosten

Die Berechnung der Kostenkomponenten für die direkten Baukosten erfolgt in Tab. 9-3 mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen. In den Spalten B, C und D sind jeweils (soweit angegeben) die minimalen, erwarteten und maximalen Werte je Berechnungsparameter angeführt. In der Spalte E sind die definierten Dreiecksverteilungen der Inputparameter bzw. die Zwischen- und Endergebnisse hinterlegt.

Die Bürofläche (Nutzungsfläche) bezieht sich auf die Brutto-Geschossfläche und ist in Zeile 1 der Tab. 9-3 angegeben. Die entsprechenden Baukosten für die Bürofläche können entweder aufgrund von eigenen Erfahrungswerten abgeschlossener Projekte erhoben werden, oder es wird auf Literaturangaben (beispielsweise BKI) zurückgegriffen.[7)]

[7)] z.B. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI). Ein eigenes Beispiel dazu ist in Abschnitt 9.2.3 angeführt

Die Zeilen 3 und 4 bieten die Möglichkeit weitere Flächen (z.B. Wohnflächen, Lagerflächen etc.) in die Kostenermittlung aufzunehmen. Es ist zu diesem Zweck auch möglich, weitere Zeilen in die Tabelle einzufügen.

Baukosten					
Lfd. Nr.	Parameter	Menge/Wert			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Bürofläche (BGF)	6.450,00 m²	7.000,00 m²	7.350,00 m²	6.933,33 m²
2	Baukosten – Bürofläche	950,00 €/m²	1.100,00 €/m²	1.400,00 €/m²	1.150,00 €/m²
3	Sonstige Flächen				0,00 €
4	Baukosten – Sonstige Flächen				0,00 €
5	**Summe C1**				**7.973.333,33 €**
6	Tiefgaragenstellplätze	50,00 Stk	55,00 Stk	60,00 Stk	55,00 Stk
7	Baukosten – Tiefgaragenstellplätze	11.000,00 €/Stk	15.000,00 €/Stk	21.000,00 €/Stk	15.666,67 €/Stk
8	Sonstige Stellplätze				0,00 €
9	Baukosten – Sonstige Stellplätze				0,00 €
10	**Summe C2**				**861.666,67 €**
11	Außenanlagen	300,00 m²	360,00 m²	450,00 m²	370,00 m²
12	Baukosten – Außenanlagen	90,00 €/m²	100,00 €/m²	120,00 €/m²	103,33 €/m²
13	Vermittlungskosten – Monatsmieten		2,50 Mo		2,50 Mo
14	Vermittlungskosten – Provision	16.800,00 €/Mo	17.500,00 €/Mo	18.000,00 €/Mo	17.433,33 €/Mo
15	**Summe C3**				**81.816,67 €**
16	**Summe C4 (C1 + C2 + C3)**				**8.916.816,67 €**
17	Sonstige Kosten	1,80 %	2,00 %	2,40 %	2,07 %
18	Unvorhergesehenes	2,50 %	3,00 %	5,00 %	3,50 %
19	**Summe C5**				**496.369,46 €**
20	**Summe direkte Baukosten**				**9.413.186,13 €**

Tab. 9-3 Berechnungstabelle – Direkte Baukosten

In der Zelle E5 erfolgt die Berechnung der Kosten für die Nutzflächen (Summe C1). Es werden dazu die jeweiligen Flächen mit den Baukostenkennwerten multipliziert und aufsummiert.

Für das betrachtete Hochbauprojekt werden lediglich Tiefgaragenstellplätze vorgesehen (keine sonstigen Stellplätze). Die genaue Anzahl kann in dieser frühen Phase aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Planung nicht genau angegeben werden und ist daher mit Unsicherheiten behaftet (Zeile 6). Folglich sind die Baukosten für die Tiefgaragenstellplätze ebenfalls Unsicherheiten unterworfen und werden als Dreiecksverteilung in die Berechnung integriert (Zeile 7).

Sind auch noch weitere Stellplätze (Garagen, Stellplätze im Freien etc.) oder Ablösen für bestehende Stellplätze einzurechnen können hier auch noch zusätzliche Zeilen in die Tabelle eingefügt werden.

In der Zelle E10 ergibt sich die Summe der Kosten für Parkplätze (Summe C2) aus der Multiplikation der Anzahl an Stellplätzen mit den jeweiligen Baukosten.

Die Summe C3 (Zelle E15) setzt sich aus den Kosten für Außenanlagen und den Vermittlungskosten (Maklerprovisionen) zusammen. Zusätzlich wären auch noch Kosten für die innere Erschließung, Marketing etc. denkbar. Die Herstellung der Außenanlagen umfasst eine Fläche von 300 bis 450 m² (erwarteter Wert bei 360 m²) und verursacht geschätzte Kosten zwischen 90 und 120 €/m² (erwarteter Wert bei 100 €/m²). Die Maklerprovision ist mit 2,50 Monatsmieten (deterministischer Wert – Zeile 13) veranschlagt, wobei auch die Mieterlöse aufgrund des Zusammenspiels von Angebot und Nachfrage und folglich den erzielbaren Mietpreisen unter Berücksichtigung eines gewählten Ausfallswagnisses mit Unsicherheiten behaftet sind (Zeile 14).

Die direkten Baukosten (Summe C4) setzen sich aus den bisher berechneten Kostenkomponenten zusammen (Summe C1, Summe C2 und Summe C3). Zusätzlich werden für die Baukostenermittlung noch prozentuelle Aufschläge für sonstige Kosten (z.B. Grundsteuer während der Nutzungsdauer des Gebäudes, die der Projektentwickler für das Grundstück ansetzt, Gebühren für Müllabfuhr, Kanal, Gemeindeabgaben etc.) und Unvorhergesehenes hinzugerechnet. Die Prozentsätze für die sonstigen Kosten (1,80 | 2,00 | 2,40 %) und für Unvorhergesehenes (2,50 | 3,00 | 5,00 %) werden als Dreiecksverteilungen in den Zeilen 17 und 18 angesetzt. Die Summe aus diesen Aufschlägen (bezogen auf die Summe C4) ergibt sich in Zelle E19 (Summe C5).

Schließlich ergibt sich in Zelle E20 das Histogramm für die Summe der direkten Baukosten (Summe C4 + Summe C5). Das Histogramm ist in Abb. 9-11 dargestellt und weist eine Spannweite (bei 50.000 Iterationen) zwischen 7,43 und 11,81 Mio. € auf. Der Mittelwert liegt bei ca. 9,41 Mio. € und die Standardabweichung bei ca. 732.000 €.

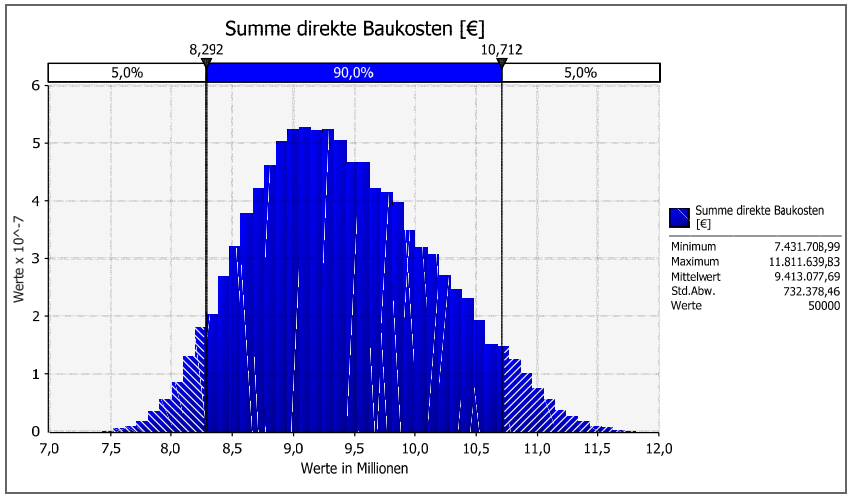


Abb. 9-11 Histogramm – Summe der direkten Baukosten

Baunebenkosten

Die Baunebenkosten beziehen sich für dieses Beispiel prozentuell (10 | 15 | 20 %) auf die Summe der direkten Baukosten (Zelle E1 der Tab. 9-4 – es handelt sich dabei um das Histogramm, welches in Abb. 9-11 dargestellt ist) und gehen entsprechend ihrer Prozentwerte in die Modellrechnung ein.

Baunebenkosten					
Lfd. Nr.	Parameter	Menge/Wert			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Summe direkte Baukosten				9.413.186,13 €
2	Baunebenkosten	10,00 %	15,00 %	20,00 %	15,00 %
3	**Summe Baunebenkosten**				**1.411.977,92 €**
4	**Summe Baukosten**				**10.825.164,05 €**

Tab. 9-4 Berechnungstabelle – Summe Baunebenkosten und Summe Baukosten

Die Baunebenkosten errechnen sich in Zelle E3 als Histogramm (siehe Abb. 9-12). Der Mittelwert liegt bei ca. 1,41 Mio. € und die Standardabweichung beträgt ca. 221.400 €. In

jeweils 5 % der simulierten Fälle wird ein Betrag von 1,06 Mio. € unterschritten und ein Wert von 1,79 Mio. € überschritten.

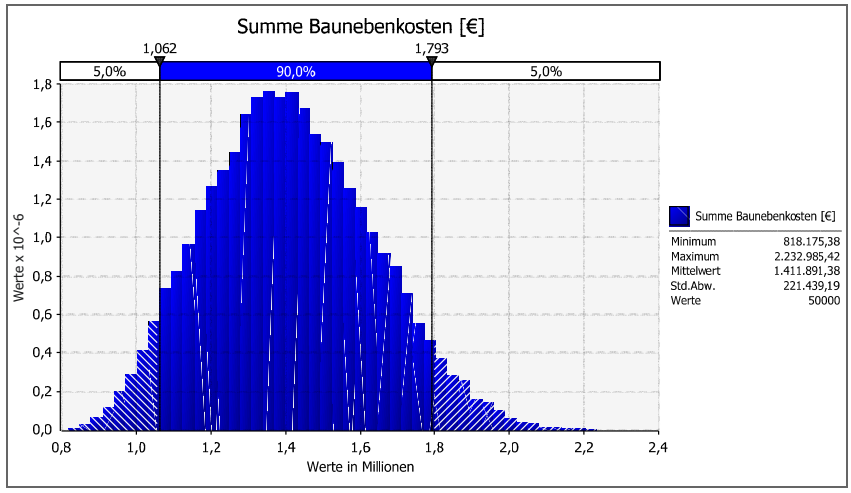


Abb. 9-12 Histogramm – Summe Baunebenkosten

Durch die Bildung der Summe aus Baunebenkosten (Zelle E3) und den direkten Baukosten (Zelle E1) ergibt sich die Summe der Baukosten in Zelle E4. Diese sind als Histogramm in Abb. 9-13 dargestellt und bilden die Basis für die Ermittlung des Projektmanagement-Honorars. Wie aus Abb. 9-13 ersichtlich ist, können mit einem veranschlagten Budget von 11,0 Mio. € ca. 60 % der simulierten Fälle für die Baukosten abgedeckt werden. Sollen die Risiken minimiert werden, müsste das Budget für die Baukosten entsprechend erhöht werden, bis das gewünschte Chancen-Risikoverhältnis erzielt wird.

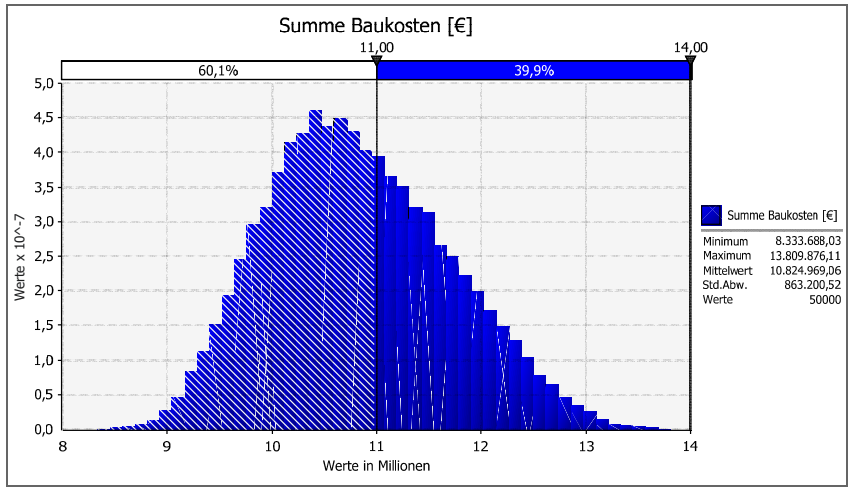


Abb. 9-13 Histogramm – Summe Baukosten

Projektmanagement-Honorar

Das Honorar für das Projektmanagement wird für das Beispiel ebenfalls als Prozentsatz (8 | 10 | 12 %) modelliert (siehe Zeile 2 der Tab. 9-5) und bezieht sich auf die Summe der Baukosten, welche in Abb. 9-13 als Histogramm dargestellt sind.

Projektmanagement-Honorar					
Lfd. Nr.	Parameter	Menge/Wert			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Summe Baukosten				10.825.164,05 €
2	Projektmanagement-Honorar	8,00 %	10,00 %	12,00 %	10,00 %
3	**Summe Projektmanagement-Honorar**				**1.082.516,40 €**

Tab. 9-5 Berechnungstabelle – Projektmanagement-Honorar

Das mittels Einsatz der Monte-Carlo-Simulation ermittelte Honorar für das Projektmanagement ergibt sich in Zelle E3 der Tab. 9-5 und ist in Abb. 9-14 als Histogramm ersichtlich. Das Minimum der Honorare beträgt nach 50.000 Iterationen ca. 711.000 € und das Maximum etwa 1.557.000 €. Der Mittelwert liegt bei ca. 1.082.000 €.

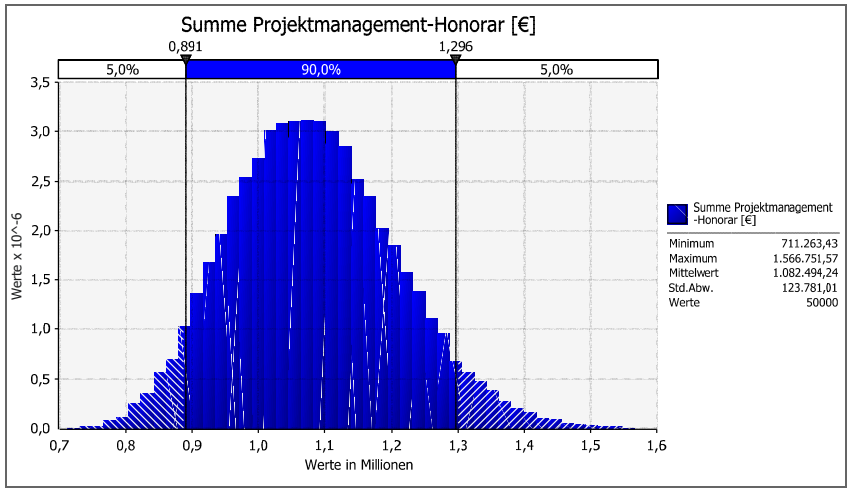


Abb. 9-14 Histogramm – Summe Projektmanagement-Honorar

Finanzierungskosten

Kann der AG das erforderliche Budget für die Errichtungskosten nicht aus eigenen Mitteln aufbringen, fallen zusätzliche Finanzierungskosten aufgrund der Fremdfinanzierung an.

Die Kosten für den Grunderwerb (Grundstückskosten), die Grundstücksaufbereitung sowie die Baukosten wurden bereits probabilistisch berechnet und liegen als Histogramme vor. Diese Kosten werden mit dem angesetzten Zinssatz (2,00 | 3,00 | 4,50 %) für unterschiedliche Dauern verzinst (Zinseszinsrechnung[8)]). Die minimalen, erwarteten und

8) Die Berechnung der Finanzierungskosten anhand eines deterministischen Beispiels für die Werte aus den Zeilen 1 bis 4 der Tab. 9-6:
Finanzierungskosten für den Grunderwerb:
98.345,78 € = 1.909.250,00 € * (1 + 3,17 % / 100 %)^(19,33 Mo / 12 Mo) - 1.909.250,00 €
Geringfügige Abweichungen beim händischen Nachrechnen ergeben sich dadurch, dass der Zinssatz und die Dauer mehr als zwei Nachkommastellen aufweisen.

maximalen Werte für die Dauern (in Monaten) und den Zinssatz sind den Spalten B, C und D der Tab. 9-6 zu entnehmen.

Zu beachten ist weiters, dass die Finanzierung der Baukosten nur zur Hälfte über Fremdkapital erfolgt. Die errechneten Finanzierungskosten der Baukosten werden daher um 50 % abgemindert.

Die Finanzierungskosten für den Grunderwerb, die Grundstücksaufbereitung und die halben Baukosten ergeben sich in den Zellen E4, E8 und E12 der Tab. 9-6 und werden in Zelle E13 zur ‚Summe E1' aufaddiert.

Finanzierungskosten					
Lfd. Nr.	Parameter	Menge/Wert			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Summe Grundstückskosten				1.909.250,00 €
2	Dauer	16,00 Mo	18,00 Mo	24,00 Mo	19,33 Mo
3	Zinssatz	2,00 %	3,00 %	4,50 %	3,17 %
4	**Finanzierungskosten Grunderwerb**				**98.345,78 €**
5	Summe Grundstücksaufbereitung				77.000,00 €
6	Dauer	16,00 Mo	18,00 Mo	24,00 Mo	19,33 Mo
7	Zinssatz				3,17 %
8	**Finanzierungskosten Grundstücksaufbereitung**				**3.966,28 €**
9	Summe Baukosten				10.825.164,05 €
10	Dauer	12,00 Mo	14,00 Mo	18,00 Mo	14,67 Mo
11	Zinssatz				3,17 %
12	**Finanzierungkosten für 50 % der Baukosten**				**210.218,09 €**
13	**Summe E1**				**312.530,15 €**
14	Kosten der Vermietungsphase				13.123.944,20 €
15	Dauer	5,00 Mo	6,00 Mo	10,00 Mo	7,00 Mo
16	Zinssatz				3,17 %
17	**Finanzierungskosten der Vermietungsphase**				**240.852,53 €**
18	**Summe Finanzierungskosten**				**553.382,68 €**

Tab. 9-6 Berechnungstabelle – Finanzierungskosten

Die Kosten für die Vermietungsphase (Zelle E14) setzen sich aus den Grunderwerbskosten (Zelle E1), den Kosten für die Grundstücksaufbereitung (Zelle E5), den Baukosten (Zelle E9) und der Summe E1 (Zelle E13) zusammen. Die Dauer für die Finanzierung der Vermietungsphase wird als Dreiecksverteilung zwischen 5 und 10 Monaten (erwarteter Wert: 6 Monate) angesetzt. Der Zinssatz bleibt gegenüber den Berechnungen der anderen Finanzierungskosten unverändert.[9)]

Durch die Addition der Finanzierungskosten der Vermietungsphase (Zelle E17) und der Summe E1 (Zelle E13) ergibt sich die Summe der Finanzierungskosten in Zelle E18 als Histogramm (siehe Abb. 9-15).

Der Mittelwert beträgt ca. 554.000 € und die Standardabweichung etwa 106.000 €. In 90 % der simulierten Fälle liegen die Finanzierungskosten ca. zwischen 0,39 und 0,74 Mio. €.

9) Die Berechnung der Finanzierungskosten für die Vermietungsphase anhand eines deterministischen Beispiels für die Werte aus den Zeilen 14 bis 17 der Tab. 9-6:
Finanzierungskosten der Vermietungsphase:
240.852,53 € = 13.123.944,20 € * (1 + 3,17 % / 100 %)^(7 Mo / 12 Mo) - 13.123.944,20 €
Geringfügige Abweichungen beim händischen Nachrechnen ergeben sich dadurch, dass der Zinssatz und die Dauer mehr als zwei Nachkommastellen aufweisen.

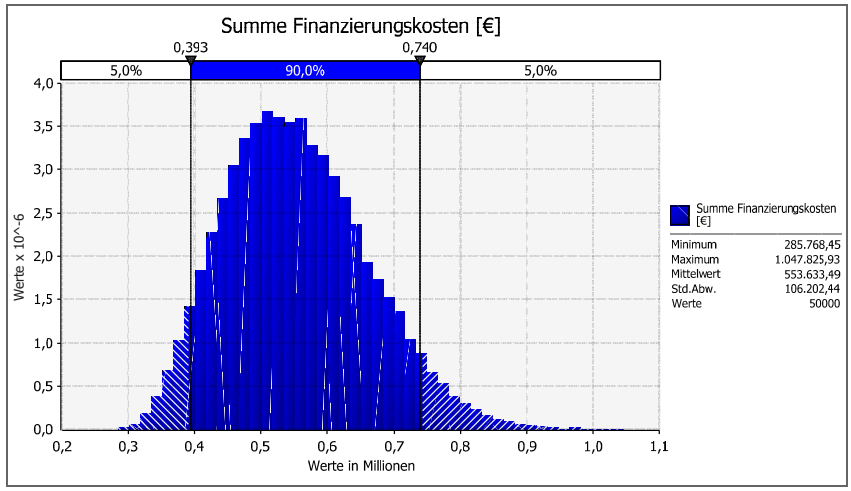


Abb. 9-15 Histogramm – Summe Finanzierungskosten

Gesamtinvestitionskosten

Die Berechnung der Gesamtinvestitionskosten erfolgt in Tab. 9-7 auf Basis der bereits ermittelten Histogramme für die einzelnen Kostenbereiche. Es fließen dabei keine neuen Inputs in die Berechnung ein, daher sind die Spalten B, C und D auch leer. Die Gesamtsumme der Investitionskosten errechnet sich in Zelle E6 (siehe Histogramm in Abb. 9-16).

Berechnung der Gesamtkosten						
Lfd. Nr.	Parameter	Menge/Wert				
		MIN	ERW	MAX	Verteilung	
0	A	B	C	D	E	
1	Summe Grunderwerbskosten				1.909.250,00 €	
2	Summe Grundstücksaufbereitung				77.000,00 €	
3	Summe Baukosten				10.825.164,05 €	
4	Summe Projektmanagement-Honorar				1.082.516,40 €	
5	Summe Finanzierungskosten				553.382,68 €	
6	**Summe Gesamtinvestitionskosten**				**14.447.313,13 €**	

Tab. 9-7 Berechnungstabelle – Summe Gesamtinvestitionskosten

Das Histogramm weist eine Spannweite zwischen ca. 11,64 Mio. € und 17,86 Mio. € auf. Diese relativ große Spannweite begründet sich durch die Unsicherheiten, die in einer frühen Projektphase (PPH 1) aufgrund mangelnder Konkretisierung des Projekts unweigerlich in den Inputparametern enthalten sind.

Der Mittelwert des Histogramms liegt bei ca. 14,45 Mio. € und die Standardabweichung beträgt etwa 1,00 Mio. €. In 90 % der simulierten Fälle nehmen die Gesamtinvestitionskosten Werte zwischen 12,93 und 16,20 Mio. € an.

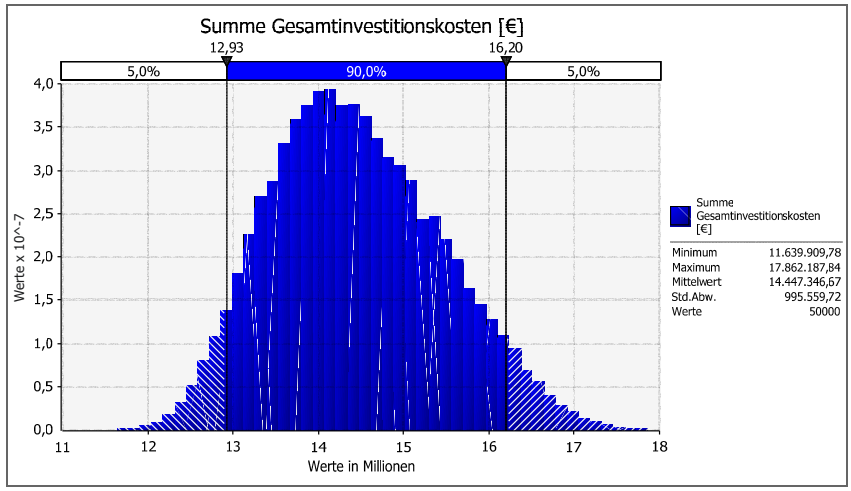


Abb. 9-16 Histogramm – Summe Gesamtinvestitionskosten

Neben der Darstellung der Streuung und der Wahrscheinlichkeiten der Gesamtinvestitionskosten ist es auch von besonderem Interesse, welche Inputparameter den größten Einfluss auf den Output (Gesamtinvestitionskosten) aufweisen.

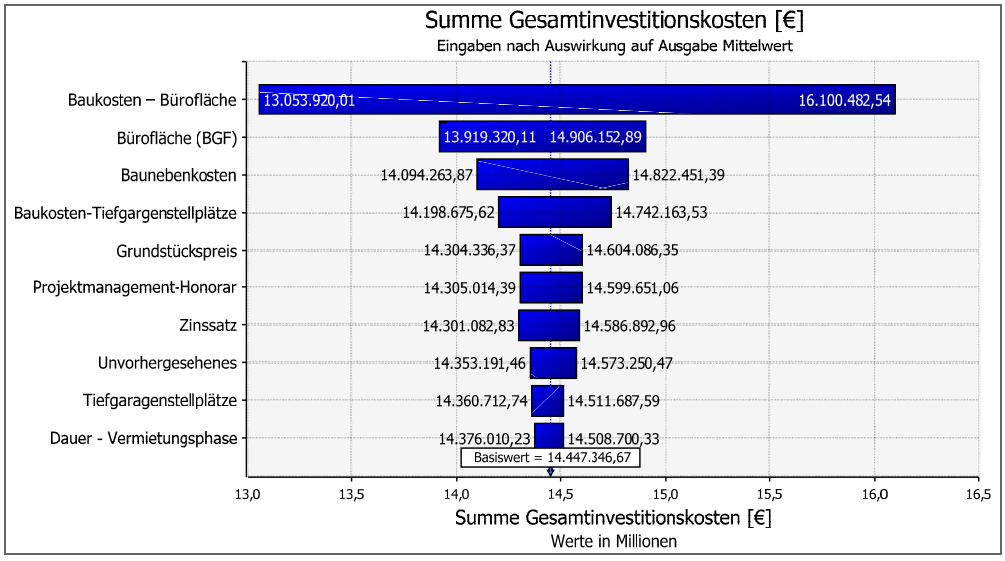


Abb. 9-17 Tornadodiagramm – Summe Gesamtinvestitionskosten

In Abb. 9-17 ist ein Tornadodiagramm für die Gesamtinvestitionskosten dargestellt (zur Interpretation von Tornadodiagrammen – siehe Abschnitt 7.4.2). Es zeigt sich, dass die beiden Inputs für die Baukosten der Bürofläche (Zeile 2 in Tab. 9-3) und die Bürofläche (Zeile 1 in Tab. 9-3) den größten Einfluss auf die Streuung der Gesamtinvestitionskosten ausüben. Sollen Kosten eingespart werden bzw. die Bandbreite der Gesamtinvestitionskosten eingegrenzt werden, empfiehlt es sich die Bandbreite der Baukosten zu verringern.

Dies erfolgt durch die Festlegung von Qualitäten und Quantitäten, ist aber meist erst mit einem größeren Konkretisierungsgrad des Bauvorhabens möglich. In frühen Projektphasen können aber z.B. die Grundstückspreise oder der Finanzierungszinssatz fixiert werden. Weiters kann auch die Bürofläche als deterministischer Wert festgelegt werden, um hier einen bedeutenden, mit Unsicherheiten behafteten Inputwert zu konkretisieren.

Zum Vergleich wurde die gesamte Berechnung in gleicher Weise ein zweites Mal durchgeführt. Der einzige Unterschied ist lediglich, dass für die Bürofläche (BGF) keine Verteilung, sondern ein deterministischer Wert (= 6.700 m²) angenommen wurde. Aus dem Tornadodiagramm ist gerade dieser Inputparameter neben den Baukosten für die Bürofläche als wesentlich hervorgegangen.

Abb. 9-18 zeigt wie sehr sich das Histogramm für die Gesamtinvestitionskosten durch die Fixierung der Bürofläche verändert hat. Nicht nur, dass der Mittelwert und die Standardabweichung geringer geworden sind, auch das Chancen-Risikoverhältnis hat sich wesentlich geändert. Bei einem Investitionsbudget von 14 Mio. € hat sich das Chancen-Risikoverhältnis von etwa 36 zu 64 % auf ca. 50 zu 50 % geändert. Das bedeutet, dass bei gleichem Investitionsbudget und lediglich durch die Festlegung der Bürofläche eine Trendumkehr des Chancen-Risikoverhältnisses erzielt wurde. Die Wahrscheinlichkeit der Unterschreitung des Budgets von 14 Mio. € ist mit ca. 50 % durch die Fixierung der Bürofläche etwa gleich groß wie das Risiko der Überschreitung geworden.

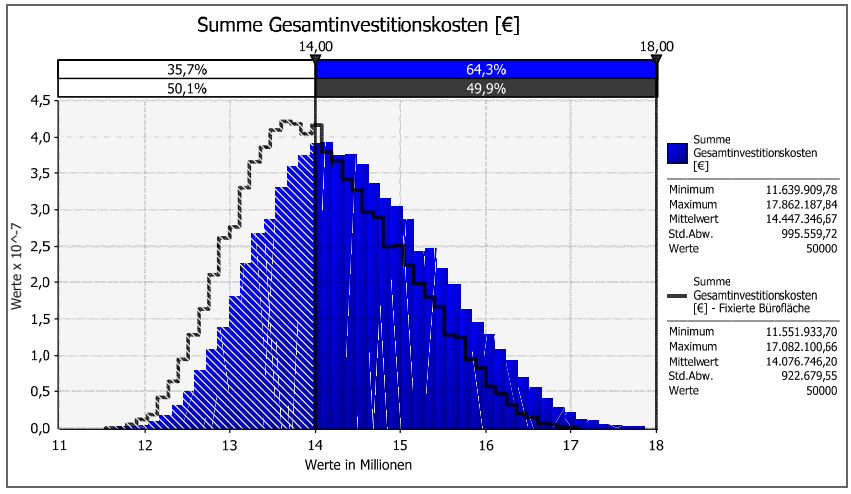


Abb. 9-18 Histogramme – Summe Gesamtinvestitionskosten – Vergleich

9.1.1.5 Nutzen für den AG

Auftraggeber haben besonders in frühen Projektphasen noch sehr großen Einfluss und Gestaltungsspielraum bei ihren Projekten. Dies bedeutet aber auch, dass die Unsicherheiten für Kosten- oder Terminaussagen ebenfalls besonders groß sind. Um diese Unsicherheiten in den Berechnungen berücksichtigen zu können und in weiterer Folge Handlungsempfehlungen abzuleiten, werden die unsicheren Parameter mit Verteilungsfunktionen modelliert. Das Rechenschema entspricht dabei einer deterministischen Berechnung, allerdings wird für die probabilistische Ermittlung der Investitionskosten die Monte-Carlo-Simulation eingesetzt, die Ergebnisse in Form von Histogrammen liefert.

Der Vorteil dieser Darstellungsform ist einerseits die Schaffung eines Bewusstseins für unvermeidbare Streuungen und Bandbreiten und andererseits die Darstellung von Chancen-Risikoverhältnissen für bestimmte deterministische Werte.

Weiters können durch eine vertiefte Analyse der Gesamtinvestitionskosten (z.B. mittels Tornadodiagrammen) jene Inputparameter identifiziert werden, die einen besonders großen Einfluss auf den Output haben.

Für das gegenständliche Beispiel konnte damit eine Handlungsempfehlung – nämlich die möglich frühzeitige Fixierung der Bürofläche – identifiziert werden. Diese einfache Maßnahme wirkt sich direkt auf die Streuung der zukünftigen Investitionskosten sowie auf das Chancen-Risikoverhältnis einzelner deterministischer Werte aus.

Es ist zu empfehlen, die Developer-Rechnung im weiteren Projektverlauf beim Zugewinn neuer Erkenntnisse zu aktualisieren und weiter zu verfeinern. Weiters ist neben der reinen Betrachtung der Kosten auch eine Abschätzung der Einnahmen (z.B. aus Mieterträgen) im Zuge der Developer-Rechnung möglich. Damit lässt sich die Anfangsrendite bzw. der Refinanzierungsfaktor für das Projekt ermitteln. Zu beachten sind bei einer derartigen Berechnung allerdings die möglichen Leerstände bzw. Instandhaltungs- und Sanierungskosten. Eine solche Betrachtung führt in einem nächsten Schritt zu Lebenszykluskostenbetrachtungen.

9.1.2 Lebenszykluskostenbetrachtungen

Die ersten Überlegungen zu Lebenszyklusbetrachtungen erfolgen bereits in der PPH 1 (siehe Abb. 9-19) und erstrecken sich dann über alle Projektphasen. Die Lebenszykluskosten werden dabei nicht nur durch die Investitionskosten (entspricht den Baukosten bei Bauprojekten), sondern auch maßgeblich durch die Kosten in der Nutzung und Instandhaltung beeinflusst.

Aufgrund der Verzinsung ist es entscheidend, wann und in welcher Höhe bestimmte Ausgaben und gegebenenfalls Einnahmen über den Lebenszyklus eines Bauprojekts getätigt werden.

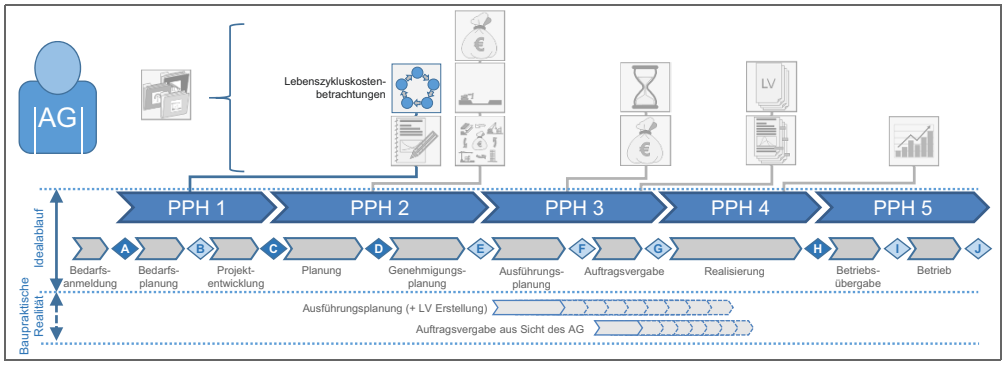


Abb. 9-19 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

9.1.2.1 Grundlagen

Im Bauwesen bestimmen die Art des Bauwerks, die Eigenschaften der dispositiven und elementaren Produktionsfaktoren, die Qualität der Kombination und Verarbeitung der Faktoren, die Art der Nutzung, die Wartung sowie die Pflege und nicht zuletzt die Berechnungsmethoden und deren Eingangsparameter die Lebenszykluskosten maßgeblich.[10)]

Die Berechnung von Lebenszykluskosten zählt zu den Investitionsrechnungen und zielt darauf ab, Investitionsentscheidungen in Hinblick auf ihre Vorteilhaftigkeit zu untersuchen.

Da Investitionsentscheidungen in der Wirtschaft zu den wichtigsten Entscheidungen zählen und nicht intuitiv erfolgen sollen, wurden dafür spezielle Methoden der Investitionsrechnung entwickelt. Generell werden die vielfältigen wirtschaftlichen Kriterien der Investitionsalternativen zu einer einzigen Kennzahl reduziert, die möglichst aussagekräftig sein soll. In Abb. 9-20 sind Methoden für die Investitionsrechnung nach einzelwirtschaftlichen und gesamtwirtschaftlichen Betrachtungsschwerpunkten dargestellt. Neben dieser Unterteilung folgt weiters eine Differenzierung hinsichtlich der Erwartungshaltung (hier nicht explizit dargestellt). Die Methoden sicherer Erwartung kommen zur Anwendung, wenn fundierte Eingangsparameter zur Verfügung stehen. Ist das Datenmaterial mit Unsicherheiten behaftet (was für Betrachtungen, die die Zukunft betreffen nahezu immer der Fall ist), kann es mit Hilfe der Methoden unsicherer Erwartung variiert werden.[11)]

Bei der statischen Investitionsrechnung (auch als ‚klassisches Verfahren' bezeichnet) werden die wirtschaftlichen Kriterien, die für die gesamte Nutzungsdauer gelten, auf eine durchschnittliche Periode bezogen – üblicherweise auf ein durchschnittliches Nutzungsjahr in Form von Jahresdurchschnittswerten. Aufgrund dieser Vorgehensweise bleibt der zeitliche Aspekt der Zahlungen unberücksichtigt – sprich der exakte Zahlungszeitpunkt.[12)]

Rechnerisch macht es demnach keinen Unterschied, ob geplante größere Instandsetzungsarbeiten beispielsweise im 4. oder 5. Nutzungsjahr anfallen, solange die Gesamtsumme der Instandsetzungskosten über die gesamte Nutzungsdauer in beiden Fällen gleich ist (und dadurch der Durchschnittswert der Instandsetzung pro Nutzungsjahr). In dieser Nichtberücksichtigung des Zahlungszeitpunkts liegt auch ein großer Kritikpunkt an diesen Methoden.[13)]

Die dynamischen Methoden vermeiden die Bildung von Durchschnittswerten, stattdessen wird der exakte Zahlungszeitpunkt über die gesamte Nutzungs- bzw. Betrachtungsdauer betrachtet. Folglich müssen die gesamten Zahlungsströme (der ‚Cash-Flow') über die Nutzungsdauer bekannt sein, d.h. die in den einzelnen Perioden tatsächlich geleisteten Einnahmen (bare Erträge) und Ausgaben (bare Aufwendungen). Diese Zahlungsströme werden dann mit Hilfe der finanzmathematischen Zinseszinsmethode und dem Kalkulationszinssatz i_k auf- bzw. abgezinst.[14)]

10) Vgl. Hofstadler (2014c), S. 139
11) Vgl. Veit (2012), S. 106ff.
12) Vgl. Bauer (2009), S. 7-19ff.
13) Vgl. Hofstadler (2014c), S. 141
14) Vgl. Bauer (2009), S. 7-32ff.

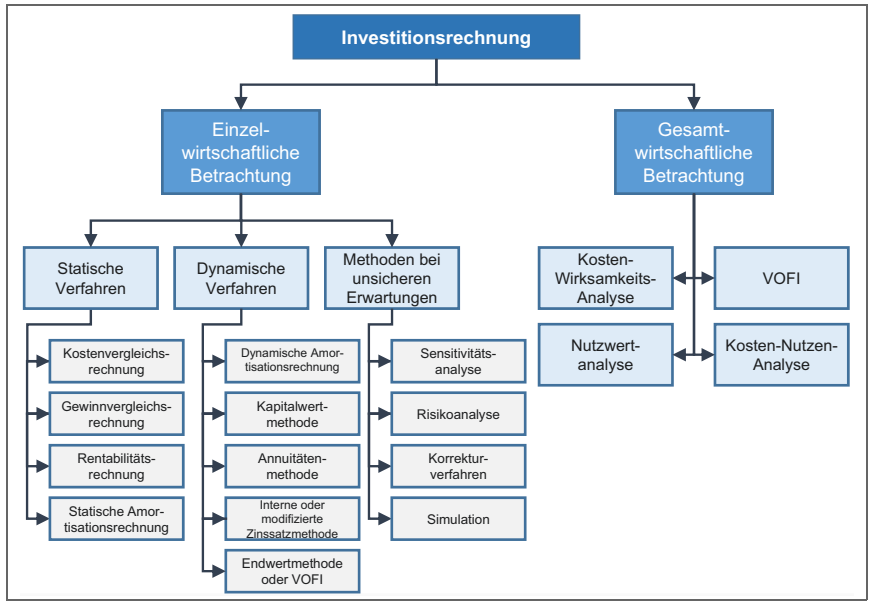


Abb. 9-20 Methoden der Investitionsrechnung[15)]

Grundsätzlich handelt es sich bei der Lebenszyklusbetrachtung um eine Kostenerfassungsmethode, die dazu dient, Zahlungsströme (Einnahmen und Ausgaben) nach ihrer Höhe und dem Zeitpunkt ihres Anfallens zu bewerten. Dynamische Verfahren werden besonders für längere Betrachtungszeiträume angewendet. Die Zahlungsströme können durch Diskontierung mit dem Zinssatz vergleichbar gemacht werden. Dies ermöglicht eine phasenspezifische Identifizierung und Analyse der Lebenszykluskosten.[16)]

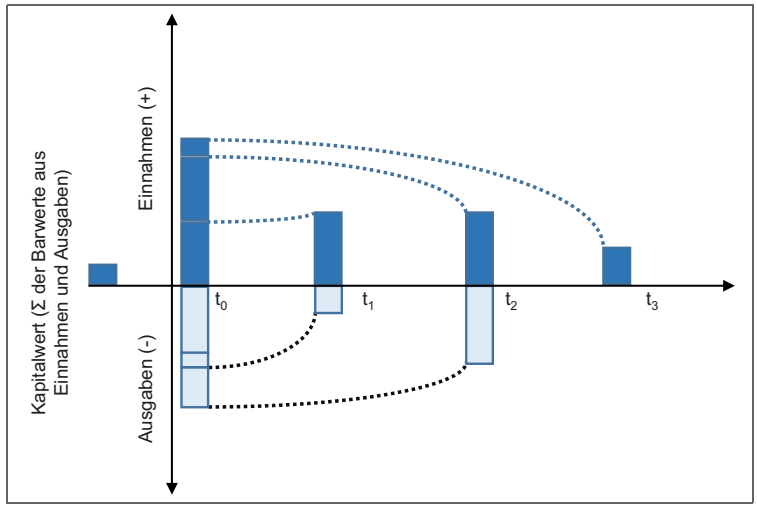


Abb. 9-21 Systematik zur Ermittlung des Kapitalwerts

15) Vgl. Bichler (2014), S. 36
16) Vgl. Hofstadler (2014c), S. 142

Für das Beispiel gelangt dazu die Kapitalwertmethode zum Einsatz (Systematik siehe Abb. 9-21). Diese geht von der Überlegung aus, dass der Barwert aller zukünftigen Ausgaben (Kosten) und Einnahmen (Erlöse) addiert mit den Anschaffungskosten eine Aussage darüber zulässt, ob eine Investition vorteilhaft ist oder nicht. Der Nettokapitalwert ist die Summe des mit dem Kalkulationszinssatz i diskontierten Cash-Flows, korrigiert um die Investitionssumme zu einem bestimmten Betrachtungszeitpunkt (t_0). Er repräsentiert den Betrag, welchen der Investor über das eingesetzte Kapital hinaus erzielt.

Daraus ergeben sich folgende Entscheidungskriterien:[17)]
- KW > 0 Investition ist vorteilhaft
- KW = 0 Investor erhält das eingesetzte Kapital zurück
- KW < 0 Investition ist unvorteilhaft

Die Berechnung des Kapitalwerts erfolgt über nachstehende Gleichung.

$$KW = -I_0 + \sum_{t=1}^{T} (E_t - A_t) \cdot (1 + i_k)^{-t} + L_T \cdot (1 + i_k)^{-T} \qquad (9\text{-}1)$$

KW	.....	Kapitalwert einer Investition
I_0	.....	Investitionssumme oder Anschaffungskosten
E_t	.....	Einzahlungen (Einnahmen)
A_t	.....	Auszahlungen (Ausgaben)
T	.....	Betrachtungszeitraum, letzte Periode
t	.....	Laufindex in Periode (z.B. Jahre)
i_k	.....	Kalkulationszinssatz
L_T	.....	Liquidationserlös oder Rückbaukosten

9.1.2.2 Aufgabenstellung

Um den Ablauf der Lebenszykluskostenberechnung anhand der Kapitalwertmethode zu veranschaulichen, wird ein einfaches Beispiel gezeigt, bei dem eine Investition I_0 zum Zeitpunkt t_0 getätigt wird und mit nominell gleich hohen Einnahmen zu den Zeitpunkten t_1, t_2 und t_3 gerechnet wird (siehe Abb. 9-22).

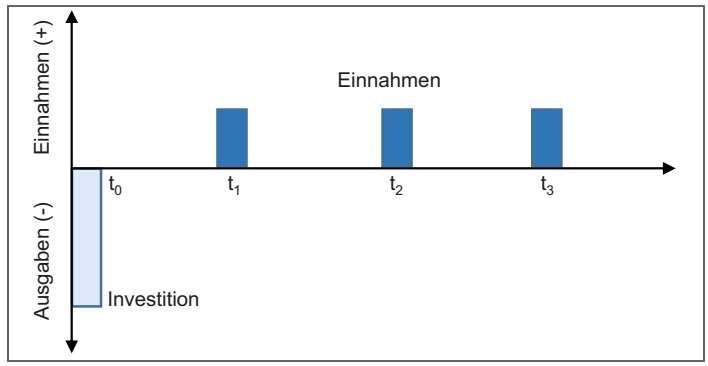


Abb. 9-22 Aufgabenstellung

[17)] Dies gilt insbesondere für Investitionen, bei denen mit Einnahmen zu rechnen ist. Bei Bauprojekten gibt es (außer bei Vermietungen oder Mauteinnahmen im Infrastrukturbau) oft keine Einnahmen. In diesem Fall können die Barwerte unterschiedlicher Varianten dennoch miteinander verglichen werden. Dazu werden auch oft die Ausgaben als positive Werte angesetzt, um nicht durchwegs mit negativen Parametern rechnen zu müssen.

Für die Verknüpfung der Kapitalwertmethode mit der Monte-Carlo-Simulation werden die Inputparameter als Dreiecksverteilungen angesetzt. Dies betrifft sowohl die Investition als auch die Einnahmen und auch den Kapitalzinssatz.

9.1.2.3 Modellierung

Der schematische Ablauf der Berechnung ist in Abb. 9-23 dargestellt und bezieht sich auf die Berechnungsgleichung für den Kapitalwert (siehe Glg. (9-1)). Für das Beispiel werden jedoch keine zusätzlichen Ausgaben (außer der Investition zum Zeitpunkt t_0) und auch kein Liquidationserlös oder allfällige Rückbaukosten berücksichtigt.

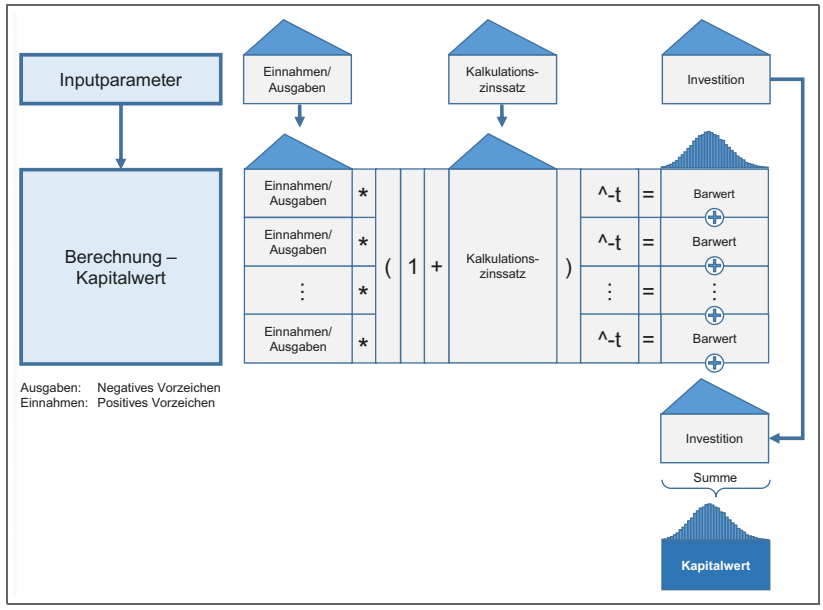


Abb. 9-23 Schematisch Ablauf – Kapitalwert

9.1.2.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

In Tab. 9-8 sind die Inputparameter für die Kapitalwertberechnung ersichtlich. Da es sich um ein noch nicht realisiertes Projekt handelt, sind sowohl die Höhe der Investition als auch die Einnahmen pro Jahr mit Unsicherheiten behaftet (siehe Zeilen 1 und 2).

Lfd. Nr.	Gegenstand	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Investition	-4.500,00	-5.000,00	-5.500,00	-5.000,00 €
2	Einnahmen	1.500,00	1.900,00	2.300,00	1.900,00 €/a
3	Kalkulations- zinssatz	2,00	3,40	4,80	3,40 %
4	Betrachtungszeitraum				3,00 Jahre

Tab. 9-8 Berechnungstabelle – Summe Gesamtinvestitionskosten

Wesentlich für die Berechnung des Kapitalwerts ist der Kalkulationszinssatz, der ebenfalls als Dreiecksverteilung (Zeile 3) angesetzt wird. Der Betrachtungszeitraum für das Beispiel erstreckt sich über drei Jahre (Zeile 4).

Die Berechnung des Kapitalwerts erfolgt in Tab. 9-9 für jedes Jahr getrennt. In der Spalte A sind die Jahre – beginnend bei Jahr ‚null' – eingetragen. Spalte B enthält die einzige Investition im Jahr null und in Spalte C sind die jährlichen Einnahmen in den Jahren 1, 2 und 3 eingetragen. Es handelt sich dabei jeweils um die in Tab. 9-8 definierte Dreiecksverteilung. Das bedeutet, dass in jeder Iteration die Investition und die Einnahmen variieren.[18)]

Der Zinsfaktor [$= (1 + i_k)^t$] (siehe Spalte D) ändert sich in jedem Jahr und durch die Modellierung des Kalkulationszinssatzes als Dreiecksverteilung auch in jeder Iteration. Im Jahr null beträgt der Zinsfaktor 1 [$= (1 + i_k)^0$], womit keine Verzinsung der Investition in Zelle E1 erfolgt.

Die Einnahmen werden jeweils in Abhängigkeit des Zeitpunktes ihres Anfallens abgezinst (Spalte F).[19)] Der Kapitalwert (in Spalte G) ergibt sich jeweils aus der Summe der Barwerte in den Spalten E und F bis zum entsprechenden Jahr.

Für den Betrachtungszeitraum von drei Jahren ergibt sich der Kapitalwert schließlich als Histogramm in Zelle G4.

Lfd. Nr.	Jahr	Investition	Einnahmen	Zinsfaktor	Barwert		Kapitalwert
					Ausgaben	Einnahmen	
0	A	B	C	D	E	F	G
1	0	-5.000,00		1,00	-5.000,00		-5.000,00
2	1		1.900,00	1,03		1.837,52	-3.162,48
3	2		1.900,00	1,07		1.777,10	-1.385,37
4	3		1.900,00	1,11		1.718,67	**333,29**

Tab. 9-9 Berechnungstabelle – Kapitalwert

In Abb. 9-24 ist das Histogramm für den Kapitalwert über einen Betrachtungszeitraum von drei Jahren dargestellt. Der Mittelwert liegt bei 333,84 € und ist damit positiv. Dies würde nach dem Grundverständnis der Kapitalwertmethode zu einer Investitionsempfehlung führen. Dieser eine deterministische Wert liefert jedoch keine Aussage über das Chancen-Risikoverhältnis, welches man mit dieser Investition eingehen würde. Die Bandbreite des Histogramms erstreckt sich nach 50.000 Iterationen von -1.188,62 € bis 1.862,45 €. Die Standardabweichung beträgt ca. 506,02 €.

[18)] Da alle Einnahmen auf die gleiche Zelle in Excel verweisen, sind die Einnahmen je Iteration in jedem Jahr gleich groß. Würde man drei Inputverteilungen (in drei separaten Zellen) definieren, würden sich je Iteration unterschiedliche Werte für die Einnahmen in den drei Jahren ergeben.

[19)] Für die deterministische Berechnung der abgezinsten Einnahmen im zweiten Jahr gilt: 1.900,00 € / 1,07 = 1.777,10 € (Berechnung mit Nachkommastellen in MS Excel).

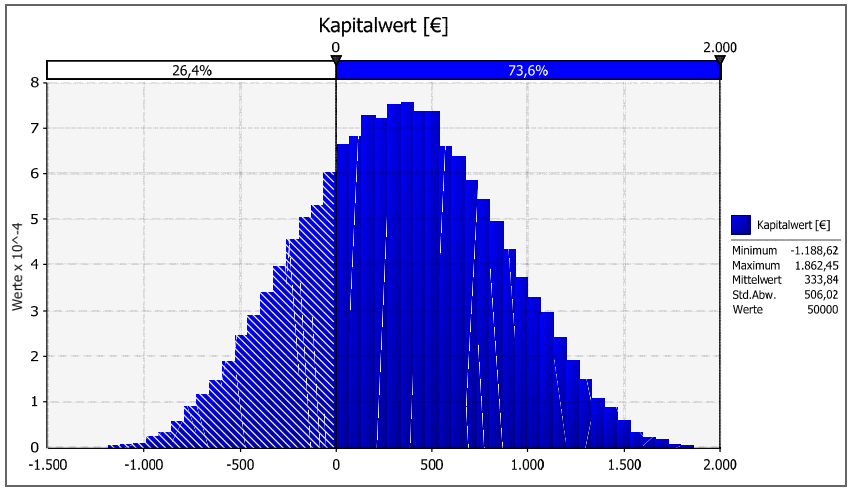


Abb. 9-24 Histogramm – Kapitalwert

Der Grenzwert für eine vorteilhafte Investition (Kapitalwert = 0 €) ist in Abb. 9-24 mittels Gleitbegrenzer am oberen Bildrand eingestellt. Erst durch diese Trennung des Histogramms bei einem Kapitalwert von 0 € zeigt sich das Chancen-Risikoverhältnis einer Investition. Die Chance einen positiven Kapitalwert und damit ein vorteilhaftes Investment zu tätigen liegen bei ca. 73,6 %. Das Risiko, dass man mit diesem Investment eingeht beträgt ca. 26,4 %.

9.1.2.5 Nutzen für den AG

Durch die Einbeziehung von Unsicherheiten der Inputparameter kann die Bandbreite des Kapitalwerts aufgezeigt werden. Stehen mehrere Investitionsmöglichkeiten zur Auswahl, besteht die Möglichkeit, nicht nur die Mittelwerte und Bandbreiten, sondern auch die Chancen-Risikoverhältnisse miteinander zu vergleichen.

Sensitivitätsanalysen mit unterschiedlichen Einnahmen und Ausgaben bzw. mit unterschiedlichen Kapitalzinssätzen erfolgen automatisch durch die Wahl der Verteilungsfunktionen für die Inputs und die Durchführung einer Monte-Carlo-Simulation.

Das Bewusstsein des AG über die Einflüsse von Einnahmen und Ausgaben sowie der Zeitpunkte, zu denen diese über den Lebenszyklus eines Bauwerks stattfinden, können direkt in die Planung von Bauprojekten einfließen. Je später und je seltener Ausgaben (z.B. in Form von Erneuerungen, Instandhaltung, Sanierungen) im Lebenszyklus erforderlich sind, desto positiver wirkt sich dies auf den Kapitalwert und damit auf die Lebenszykluskosten aus. Besonders die gewählten Materialien (Qualitäten und Nachhaltigkeitsaspekte) aber auch die Art der Nutzung sowie die Wartung und Pflege wirken sich dabei maßgeblich auf die Lebenszykluskosten aus.

9.2 Projektphase PPH 2

In der PPH 2 erfolgt die Planung des Bauvorhabens und damit eine Konkretisierung der funktionalen Anforderungen, der Qualitäten und Quantitäten. Vom Auftraggeber werden in dieser Phase unter anderem Lebenszyklusberechnungen und Kostenschätzungen bzw. Kostenberechnungen durchgeführt. Außerdem steht in dieser Phase das zu bebauende Grundstück bereits fest. Da der Baugrund einen wesentlichen Risikofaktor sowohl für den AG als auch für den AN darstellt, erfolgt in dieser Phase auch eine Baugrundanalyse bzw. -bewertung.

Nachfolgend wird für diese ausgewählten Anwendungsgebiete der Einsatz der Monte-Carlo-Simulation gezeigt und der damit verbundene Nutzen für den AG beschrieben.

9.2.1 Lebenszykluskostenberechnungen

Mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen lassen sich Unsicherheiten in den Eingangsparametern systematisch berücksichtigen. Es können variierende Lebenserwartungen von Bauteilen angesetzt und Kosten, Erneuerungsintervalle und nicht zuletzt auch der Kalkulationszinssatz mit Verteilungsfunktionen belegt werden. Für PPP-Modelle im Infrastrukturbau ist auch die Simulation von Mauteinnahmen bzw. die Berücksichtigung von Mieteinnahmen im Hochbau denkbar. Das Ergebnis derartiger Simulationen sind Histogramme, die auf Basis der Eingangsparameter eine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit gewisser Kapitalwerte liefern. Damit können deterministisch ermittelte Werte, besser eingeordnet und hinsichtlich des Chancen-Risikoverhältnisses beurteilt werden. Der Informationsgehalt und die Entscheidungssicherheit steigen.

Im Beispiel wird eine mögliche Vorgehensweise für eine chancen- und risikobasierte Lebenszykluskostenberechnung von Brücken gezeigt. Lebenszykluskostenberechnungen sind der Phase der Planung (PPH 2) zuzuordnen (siehe Abb. 9-25), werden aber über die folgenden Projektphasen fortgeführt, da mit der Konkretisierung der Planung bzw. der verwendeten Materialien und schließlich der Nutzungsanforderungen eine immer detailliertere Basis für die Berechnung der Lebenszykluskosten verfügbar wird.

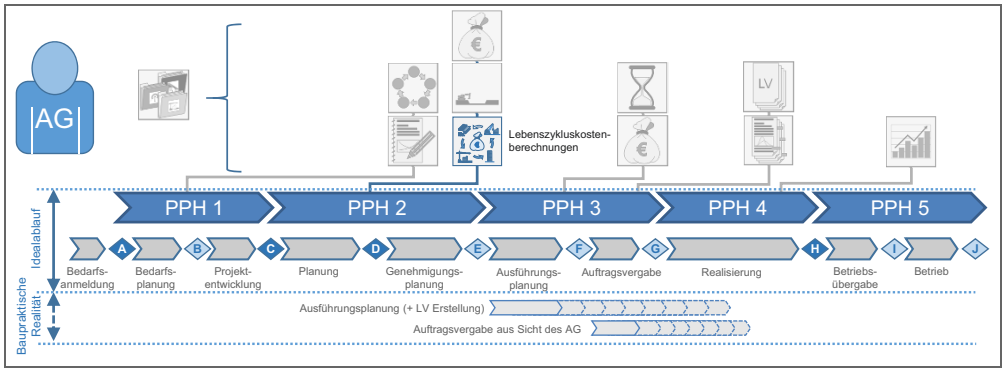


Abb. 9-25 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

9.2.1.1 Grundlagen

Lebenszykluskostenberechnungen beinhalten Elemente der Kosten- und Investitionsrechnung. Wesentlich für vergleichende Aussagen zwischen unterschiedlichen Varianten sind die unterschiedliche Anzahl und Art der einbezogenen Kostengruppen im Bereich der Nutzungskosten sowie die Qualität und Vollständigkeit der für die Berechnungen herangezogenen Datengrundlagen.

Die Berechnungsergebnisse aus Lebenszykluskostenmodellen liefern Aussagen über die Wirtschaftlichkeit eines Projekts und erlauben durch Sensitivitätsanalysen jene Berechnungsparameter zu identifizieren, die den größten Einfluss auf die Endergebnisse haben. Auf Basis der Nutzeranforderungen, Planungen bzw. Sanierungsszenarien werden Lebenszyklusmodelle entwickelt und ausgewertet. Sie dienen z.B. als Entscheidungs- bzw. Zertifizierungsgrundlage.

Die rudimentäre Grundformel – siehe Glg. (3-1) – stellt die Basis für die Berechnung der Lebenszykluskosten stellt dar. Die Lebenszykluskosten beinhalten die Kosten eines Objekts (z.B. Anlage oder Gebäude) und seiner Bestandteile, die im Laufe des gesamten Lebenszykluses, – während diese ihre Nutzungsanforderungen erfüllen – anfallen. Die Lebenszykluskosten (LZK) setzen sich aus den Errichtungskosten (E), den Betriebskosten (B), den Instandhaltungskosten (I) und den Rückbaukosten (R) zusammen.

Für die Berechnung der Lebenszykluskosten kommen Methoden der Investitionsrechnung (siehe Abb. 9-20) zum Einsatz. Eine dieser häufig verwendeten Methoden ist die Kapital- bzw. Endwertmethode. Die Grundlagen zur Kapitalwertberechnung wurden bereits in Abschnitt 9.1.2.1 angeführt.[20)]

Durch das Anwenden der Kapitalwertberechnung wird mit einer deterministischen Berechnung lediglich ein Kapitalwert berechnet, der mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet ist und keinerlei Aussagen über die eingegangenen Chancen oder Risiken liefert. Dieser eine Wert stellt tatsächlich nur eine mögliche Kombination der in Bandbreiten schwankenden Inputparameter dar. Diesem unbefriedigenden Umstand für Entscheidungsträger kann durch den Einsatz probabilistischer Berechnungsverfahren entgegengewirkt werden.

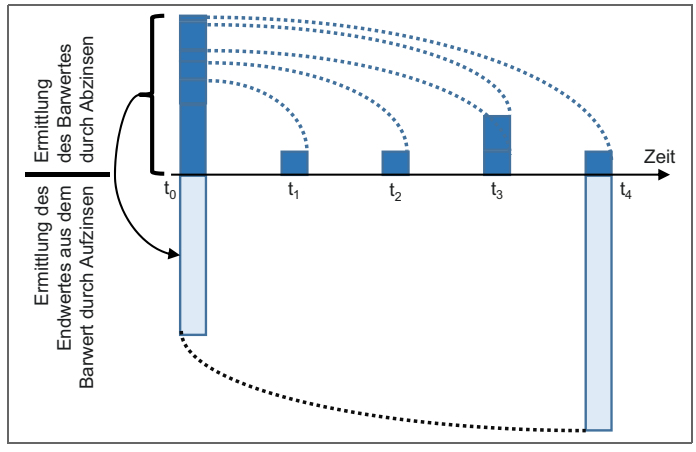


Abb. 9-26 Zusammenhang zwischen Barwert und Endwert

[20)] Zusätzlich können im Zuge der Kapitalwertberechnung neben dem Kalkulationszinssatz auch kostengruppenabhängige Teuerungsindizes berücksichtigt werden. Dies wird im Beispiel nicht gezeigt.

Der Kapitalwert (Barwert) kann durch Aufzinsung direkt in den Endwert übergeführt werden. Dieser gibt den Wert von Ein- und Auszahlungen an, den diese am Ende einer Betrachtungsperiode haben. Abb. 9-26 zeigt qualitativ den Zusammenhang zwischen Barwert und Endwert bei deterministischer Berechnung. Im oberen Bereich sind einzelne Ausgaben symbolisch als Balken dargestellt. Zum Zeitpunkt t_0 erfolgt eine Investition (z.B. Errichtungskosten), der danach (zu den Zeitpunkten t_1, t_2, t_3 und t_4) jährliche Ausgaben in nominell gleicher Höhe folgen. Zum Zeitpunkt t_3 kommt es zusätzlich noch zu einer weiteren Ausgabe, aufgrund einer Instandsetzung einzelner Bauwerksteile. Alle Ausgaben, die nach dem Zeitpunkt t_0 getätigt werden, sind durch Einsetzen in Glg. (9-1) abzuzinsen und ergeben zusammen mit den Investitionskosten den Barwert bezogen auf den Zeitpunkt t_0 (= t_b Bezugszeitpunkt).

Wird dieser Barwert wiederum aufgezinst (siehe Glg. (9-2)) bis zum Zeitpunkt t_4 (Ende des Betrachtungszeitraums) ergibt sich der Endwert der Ausgaben. Die Barwerte und Endwerte können für jeden beliebigen Zeitpunkt durch auf- und abzinsen berechnet werden und ergeben grafisch dargestellt eine Kurve über die Zeit.

$$\text{Endwert} = \text{Barwert}_{t_b} \cdot (1 + i_k)^{(T - t_b)} \tag{9-2}$$

T ..... Betrachtungszeitraum

t_b ..... Bezugszeitpunkt

9.2.1.2 Aufgabenstellung

Brücken zählen zu den langlebigsten Bauwerken unserer Zeit, erfahren jedoch in regelmäßigen und unregelmäßigen Abständen Sanierungen und Erneuerungen, um den Anforderungen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit über sehr lange Nutzungsdauern zu genügen. Bei Nutzungsdauern von bis zu 100 Jahren und mehr ist es besonders schwierig die Lebenszykluskosten zu berechnen oder überhaupt eine Aussage über die wirtschaftlichen Vor- und Nachteile bestimmter Bauweisen und Bauverfahren zu treffen.

Der Vergleich von unterschiedlichen Bauweisen und Bauverfahren beruht nicht mehr nur auf einer – unter Umständen äußerst unsicheren – Zahl, sondern kann anhand von Histogrammen verglichen werden. Bei sich überschneidenden Kapitalwerten bzw. Endwerten zweier Varianten kann eine ‚Sicherheitsmarge' – analog zum konstruktiven Ingenieurbau – der einen Variante gegenüber der anderen berechnet werden.

Mit einem Berechnungsbeispiel[21)] wird die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation zur Berechnung der Lebenszykluskosten einer Brücke veranschaulicht. Die Basisdaten stammen aus einem Beispiel von *Jodl*[22)] und beziehen sich auf die ‚Wientalbrücke'. Der Unterbau der Brücke besteht aus Beton, das Rohtragwerk (Überbau) aus Stahlbeton. Die erwarteten Werte der Baukosten, der Instandhaltungskosten und der Nutzungsdauern sind in Tab. 9-10 angeführt.

21) Vgl. Hofstadler/Kummer (2015b), S. 751ff.

22) Jodl (2010a) und Jodl (2010b)

Lfd. Nr.	Bauteil	Nutzungsdauer	Baukosten	Instandhaltungskosten	Abbruch und Verwaltung
		[Jahre]	[€]	[% der Baukosten]	[% der Baukosten]
0	A	B	C	D	E
1	Unterbau	129	3.100.000,00	0,41	22,00
2	Rohtragwerk	77	4.900.000,00	0,72	22,00
3	Ausrüstung 1	20	600.000,00	1,50	22,00
4	Ausrüstung 2	30	1.400.000,00	1,20	22,00

Tab. 9-10 Erwartete Eingangswerte zur Lebenszykluskostenberechnung

Der Zinssatz für die Auf- und Abzinsung der Ausgaben über die Jahre wurde von *Jodl* mit 4,00 % angesetzt. Für die Ermittlung der Errichtungskosten werden die Baukosten um einen konstanten Faktor von 1,10 für Verwaltungskosten erhöht. Die Lebenszykluskosten (Endwert) werden über eine Nutzungsdauer von 70 Jahren ermittelt. Dabei kommt es immer wieder zum Abbruch und zu Erneuerungen von Ausrüstungsteilen (siehe Nutzungsdauern der Bauteile in Spalte B der Tab. 9-10). Die Kosten für den Abbruch inkl. Verwaltungskosten werden mit 22 % (deterministischer Wert) der jeweiligen Baukosten angesetzt. Weiters fallen in jedem Jahr je Bauteil unterschiedliche Instandhaltungskosten an, die in Spalte D als Prozentwerte der jeweiligen Baukosten angegeben sind.

9.2.1.3 Modellierung

Die deterministischen Angaben aus Tab. 9-10 sind mit großen Unsicherheiten behaftet und geben in weiterer Folge keine Auskunft darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit die ermittelten Lebenszykluskosten behaftet sind. Um diese Unsicherheiten in die Berechnung integrieren zu können, werden für die Eingangsparameter an Stelle der deterministischen Werte (symmetrische) Dreiecksverteilungen angesetzt. Liegen historische Daten vor oder sind spezielle Verteilungen (z.B. aus Auswertungen von Expertenbefragungen) für einzelne Inputparameter bekannt, können diese für die Simulationen herangezogen werden.

Lfd. Nr.	Bauteil	Lebenserwartung				Faktor-Verwaltung	Baukosten			
		[Jahre]					[€]			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Unterbau	110	129	148	129	1,1	3.190.000,00	3.410.000,00	3.630.000,00	3.410.000,00
2	Rohtragwerk	70	77	84	77	1,1	4.950.000,00	5.390.000,00	5.830.000,00	5.390.000,00
3	Ausrüstung 1	18	20	22	20	1,1	605.000,00	660.000,00	715.000,00	660.000,00
4	Ausrüstung 2	28	30	32	30	1,1	1.320.000,00	1.540.000,00	1.760.000,00	1.540.000,00

Tab. 9-11 Eingabewerte – Baukosten und Lebenserwartung

In Tab. 9-11 und Tab. 9-12 sind die minimalen, erwarteten und maximalen Werte, die die Dreiecksverteilungen der Berechnungsparameter definieren, für die Baukosten, die Lebenserwartung und den Anteil der Instandhaltungskosten angeführt. Die Kosten für den Abbruch und die Verwaltung der einzelnen Bauteile werden mit 22 % (deterministischer Wert) der Baukosten angesetzt. Der Kalkulationszinssatz wird ebenfalls als Dreiecksverteilung (3,00 % | 4,00 % | 5,00 %) in die Berechnung integriert.

Lfd. Nr.	Bauteil	Instandhaltungskosten [% der Baukosten]			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Unterbau	0,35	0,41	0,47	0,41
2	Rohtragwerk	0,68	0,72	0,76	0,72
3	Ausrüstung 1	1,00	1,50	2,00	1,50
4	Ausrüstung 2	0,80	1,20	1,60	1,20

Tab. 9-12 Eingabewerte – Instandhaltungskosten

9.2.1.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Für die Ermittlung der Lebenszykluskosten fallen jährliche Instandhaltungskosten an, die sich als Prozentsatz der Baukosten errechnen. Durch den Ansatz von Verteilungsfunktionen als Inputs ergeben sich in jeder Iteration zufällige Kosten für die Instandhaltung innerhalb der definierten Bandbreiten. Für die Instandsetzung (Abbruch und neuerliche Errichtung) der Ausrüstung wird je Iteration zufällig eine Lebensdauer innerhalb der definierten Bandbreiten gewählt. In diesem zufällig ermittelten Jahr fallen dann die angegebenen Kosten für Abbruch, Verwaltung und Neuerrichtung an. Mit Hilfe der Glg. (9-1) kann für jeden Betrachtungshorizont ein Barwert für den Bezugszeitpunkt t_0 ermittelt werden. Die aufsummierten Barwerte können durch Aufzinsung in Endwerte (für jedes Jahr des Betrachtungszeitraums t) übergeführt werden. Die Einbeziehung von Einnahmen wird in diesem Beispiel nicht gezeigt, kann aber sehr einfach z.B. durch die Angabe jährlicher Einnahmen in die Berechnung integriert werden (zu beachten sind die vertauschten Vorzeichen – im vorliegenden Beispiel: Ausgaben positiv; Einnahmen negativ). Außerdem sind Teuerungseffekte (Inflation und Preissteigerungen z.B. für Energie oder Dienstleistungen) hier der Einfachheit halber nicht berücksichtigt.

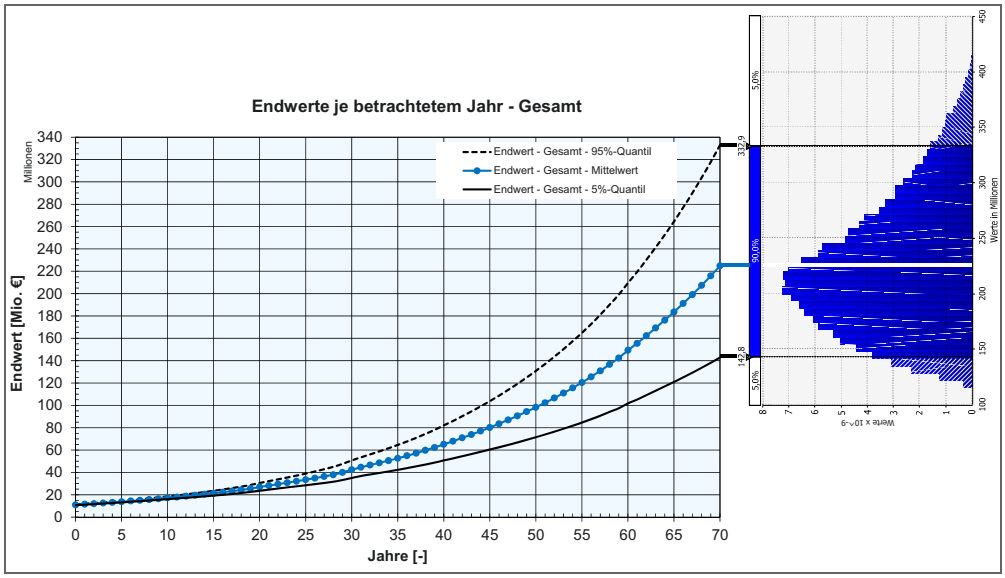


Abb. 9-27 Endwerte für das gesamte Projekt – Betrachtungszeitraum 70 Jahre inkl. Histogramm des Endwerts am Ende der Betrachtungsperiode.

Abb. 9-27 zeigt den Verlauf des Endwerts über den Betrachtungszeitraum von 70 Jahren. Die mittlere Kurve gibt dabei die Mittelwerte der Endwerte wieder. Die beiden anderen Kurven definieren die 5 %- und 95 %-Quantile der probabilistisch ermittelten Endwerte mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation.

Obwohl bei den Inputwerten durchwegs symmetrische Verteilungen angesetzt wurden, zeigen sich mit steigender Betrachtungsdauer, immer schiefere Verteilungen für die Endwerte, bis hin zu jener Verteilung, die in Abb. 9-27 am rechten Bildrand um 90° gedreht dargestellt ist. Dies wird damit begründet, dass auch die Verteilung für den Zinsfaktor aufgrund der mathematischen Verknüpfung $[= (1 + i_k)^{(T - tb)}]$ mit fortschreitendem Betrachtungshorizont eine immer schiefere Ausprägung annimmt. Beim Vergleich mit anderen Projektvarianten können die Spannweiten der Simulationsergebnisse sowie die Mittelwerte und andere statistische Kennzahlen miteinander verglichen werden, um eine Aussage über die Chancen und Risiken der einzelnen Varianten treffen zu können.

9.2.1.5 Nutzen für den AG

Wesentlich bei Lebenszyklusbetrachtungen sind die Systemgrenzen hinsichtlich der zugrunde gelegten Kosten und der damit in Verbindung stehenden Kostengruppen. Für den Vergleich verschiedener Investitionsentscheidungen sind die gezogenen Systemgrenzen und gewählten Ansätze genau zu betrachten, damit eine solche Vergleichbarkeit überhaupt möglich wird.

Die probabilistische Berechnung von Lebenszykluskosten mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen durch Anwendung der Barwert- bzw. Endwertmethode hat den Vorteil, dass nicht nur ein deterministischer Wert berechnet wird, sondern Histogramme ausgegeben werden können, die Abschätzungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter deterministischer Werte zulassen.

Durch die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation können Unsicherheiten der Berechnungsparameter (besonders von Lebensdauern, Kosten und Zinssätzen aber auch von Einnahmen z.B. aus Mautgebühren oder Mieten) systematisch in Form von Verteilungsfunktionen berücksichtigt werden. Erst aus der probabilistischen Berechnung wird ersichtlich, wie unsicher Aussagen über Lebenszykluskosten in Form einer einzigen Zahl für sehr lange Betrachtungszeiträume sind. Die Streuung der probabilistisch ermittelten Endwerte steigt kontinuierlich mit der Vergrößerung des Betrachtungszeitraums an. Der Einsatz probabilistischer Verfahren führt zu einer Ergebnisverbesserung und Erhöhung der Entscheidungssicherheit bei Vorliegen unterschiedlicher Varianten mit abweichenden Instandhaltungskosten und Nutzungsdauern. Instandsetzungen werden entsprechend der Lebenserwartung der Bauteile zufällig innerhalb definierter Bandbreiten in wiederkehrenden Intervallen verteilt.

Durch die Berücksichtigung von Korrelationen könnten z.B. auch Abhängigkeiten bei der Instandsetzung berücksichtigt werden (müssen z.B. Elemente der Ausrüstung 1 ausgetauscht werden, sind auch mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit Elemente der Ausrüstung 2 zu erneuern).

Der Einfluss einer höherwertigen Ausführungsqualität wirkt sich auf die Lebenserwartung der Bauteile aus und kann innerhalb von Bandbreiten in die Simulation integriert werden. Im Berechnungsmodell sind sowohl periodische als auch nicht periodische Kosten (Instandsetzung, Schadensfälle etc.) abbildbar.

Kostentreiber und Haupteinflussfaktoren auf den Kapitalwert- bzw. Endwert können durch Analysemethoden (Spider-Diagramm, Tornadodiagramm etc.) identifiziert werden.

9.2.2 Baugrundanalyse

Der Baugrund stellt einen wesentlichen Risikofaktor bei Bauprojekten sowohl für den AG als auch für den AN dar. Im Zuge der Projektvorbereitung, der Grundlagenermittlung, Planung und Ausschreibung erfolgt die Baugrunderkundung, die die Basis für die Planung, Ausschreibung und damit auch für die Preisbildung der Bieter darstellt. Gleichzeitig liegt in dieser Phase auch das zukünftige Chancen-Risikopotenzial für AG und AN begründet.

Die Analyse des Baugrunds wird der PPH 2 zugeordnet (siehe Abb. 9-28), da in dieser Phase das zu bebauende Grundstück bereits feststeht und erste Bodenerkundungen durchgeführt werden bzw. im Zuge des Grundstückserwerbs bereits durchgeführt wurden.

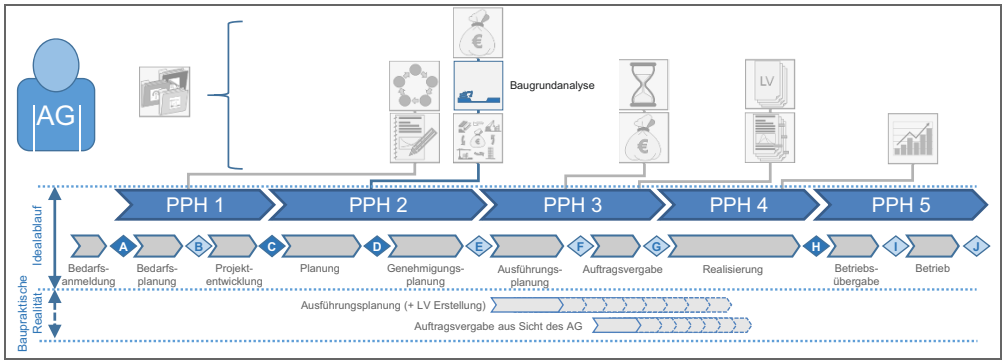


Abb. 9-28 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

9.2.2.1 Grundlagen

Je genauer die Ausschreibung bzw. die Mengenangaben in der Ausschreibung sind, desto genauer können die Bieter ihre Preise kalkulieren und desto weniger Potenzial für Nachträge ist gegeben. Der Mehraufwand an Erkundungsmaßnahmen bedeutet zwar einen höheren Vergabewert (Auftragssumme), es ist aber gleichzeitig mit einer Reduzierung der Mehrkosten infolge eines eingetretenen Baugrundrisikos zu rechnen.

In Abb. 9-29 sind dazu zwei Fälle dargestellt. In Fall A ist durch eine begrenzte Erkundung und eine fehlende Risikoanalyse zwar ein Vergabevorteil erzielbar, im Laufe des Projekts können jedoch zusätzliche Aufwände (Kosten) infolge eines schlagend gewordenen Baugrundrisikos erforderlich werden, die das Risiko insgesamt erhöhen.

Bei Fall B ergibt sich durch eine angemessene Erkundung und eine adäquate Risikoanalyse zwar ein höherer Vergabewert, die Mehrkosten werden aber deutlich geringer ausfallen, als in Fall A. Die Differenz zwischen Fall A und Fall B kann als vermeidbares Risiko bezeichnet werden.

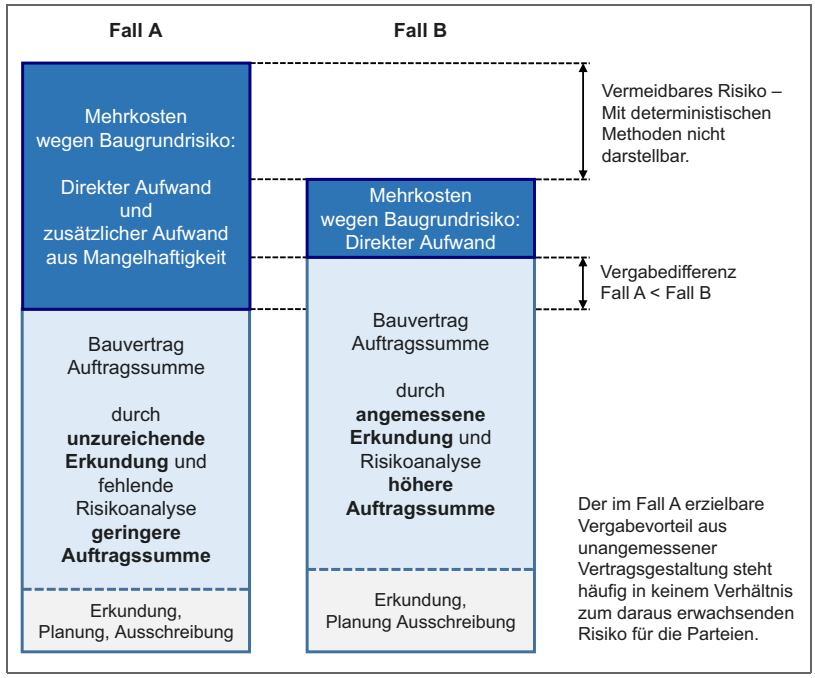


Abb. 9-29 Risikominderung für die beteiligten Parteien – Fall A: begrenzte Erkundung – Fall B: angemessene Erkundung

Sind die einzelnen Mengenanteile einer Mischpreisposition mit Unsicherheiten behaftet, ist der Bereich, in dem mit stabilen Einheitspreisen zu rechnen ist, relativ eng. Kommt es zu Mengenüber- oder -unterschreitungen werden die Auffassungen über den Verlauf der Einheitspreise zwischen AG und AN naturgemäß unterschiedlich ausfallen (siehe Abb. 9-30).

Auf welchen Einheitspreis sich die Parteien in weiterer Folge (durch Mehr- oder Minderkostenforderungen) einigen ist mit einigen Ungewissheiten (Auswirkungen sind bekannt, Eintrittswahrscheinlichkeit nicht) sowohl für den AG als auch für den AN verbunden.

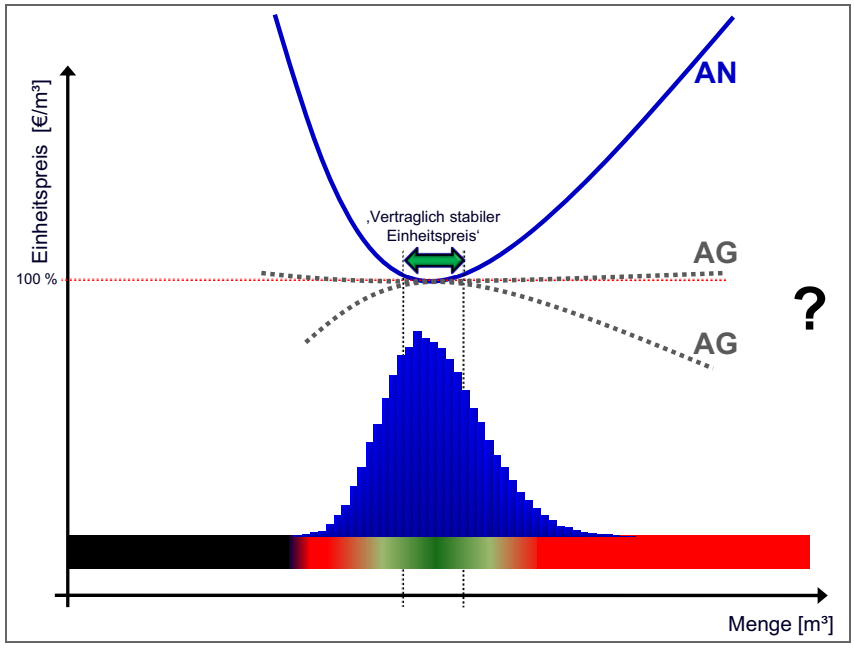


Abb. 9-30 Konnex zwischen Mengenunsicherheiten und Stabilität der Einheitspreise – Qualitative Darstellung

9.2.2.2 Aufgabenstellung

Anhand eines Berechnungsbeispiels wird gezeigt, welche Auswirkungen ein Mehraufwand bei der Baugrunderkundung auf die Unsicherheiten bei der Ausschreibung von Boden- und Kontaminierungsklassen hat und wie sich diese Unsicherheiten in weiterer Folge auf den Positionspreis auswirken.

Die gesamte Aushubmenge beträgt 10.000 m³ (entspricht der festen Bodenmenge, Auflockerungsfaktor nicht berücksichtigt), wobei sich die erwarteten Werte der Boden- und Kontaminierungsklassen wie folgt aufteilen:

- Bodenklasse 3-5: 5.000 m³
- Bodenklasse 6: 2.500 m³
- Bodenklasse 7: 2.500 m³

- Kontaminierungsklasse I: 5.000 m³
- Kontaminierungsklasse II: 2.500 m³
- Kontaminierungsklasse III: 1.500 m³
- Kontaminierungsklasse IV: 1.000 m³

Der AG ist daran interessiert, welche Chancen und Risiken er mit der Leistung des Aushubs bei unterschiedlichen Erkundungsmaßnahmen eingeht. Insgesamt stehen drei verschiedene Erkundungsmaßnahmen zur Verfügung, die sich im Preis unterscheiden. Je teurer das Erkundungsverfahren, desto genauer (im Sinne einer engeren Bandbreite) können die Mengenanteile der einzelnen Boden- und Kontaminierungsklassen angegeben werden. Je ungenauer die Erkundung und je unsicherer die Mengenanteile der jeweiligen

Klassen sind, desto höhere Einheitspreise werden für den Aushub, die Verfuhr und die Deponierung des Aushubmaterials erwartet.

Der AG hat vor, ein Budget von 550.000 € für die Aushubarbeiten einzuplanen und möchte nun wissen, welche Chancen und Risiken er mit den unterschiedlichen Erkundungsmaßnahmen eingehen würde.

Anhand von probabilistischen Berechnungen und des Vergleichs von drei Fällen unterschiedlicher Erkundungsmaßnahmen wird gezeigt, wie Unsicherheiten im Hinblick auf das Baugrundrisiko durch den AG berücksichtigt werden können, um im Hinblick auf ein vorgegebenes Budget eine Entscheidung über die zu treffenden Erkundungsmaßnahme vorzubereiten und die damit verbundenen Konsequenzen durch die Darstellung der zu erwartenden Chancen und Risiken aufzuzeigen. Die Berechnungsergebnisse der probabilistischen Berechnungen (drei Fälle) werden einander vergleichend gegenübergestellt.

Weiters kann auch dargestellt werden, welche Auswirkungen ein zusätzlicher finanzieller Puffer auf das Chancen-Risikoverhältnis für jeden der betrachteten Fälle hat.

9.2.2.3 Modellierung

Bei der probabilistischen Berechnung werden mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation sowohl die Mengenangaben als auch die Einheitspreise innerhalb der erwarteten Bandbreiten variiert. Das schematische Berechnungsschema ist in Abb. 9-31 dargestellt.

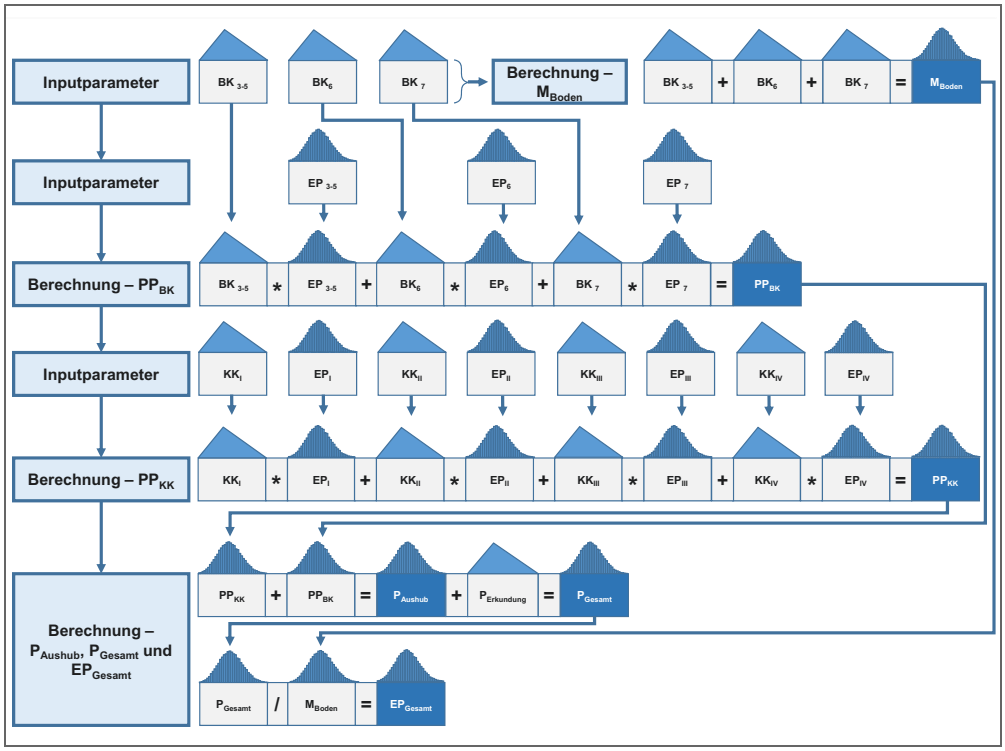


Abb. 9-31 Schematisches Berechnungsmodell für die Ermittlung des Einheitspreises des Bodenaushubs

Die Mengenanteile der Bodenklassen BK und der Kontaminierungsklassen KK sowie der Erkundungspreis werden direkt als Dreiecksverteilungen angesetzt. Die Einheitspreise EP ergeben sich aus den Dreiecksverteilungen der Grundeinheitspreise (nicht in Abb. 9-31 abgebildet), erhöht um die Erhöhungsprozentsätze (auch nicht in Abb. 9-31 abgebildet), die ebenfalls als Dreiecksverteilungen modelliert sind. Daher sind für die Einheitspreise EP in Abb. 9-31 symbolisch Histogramme anstelle von Dreiecksverteilungen eingezeichnet.

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation werden als Histogramme dargestellt und liefern damit auch Aussagen über Bandbreiten und Wahrscheinlichkeiten spezifischer deterministischer Werte.

9.2.2.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Für die Berechnungen werden insgesamt drei Fälle mit unterschiedlichen Bandbreiten der Mengenabweichungen und der Erhöhungsprozentsätze auf die Einheitspreise sowie unterschiedlichen Erkundungspreisen untersucht.

Die Erkundungspreise werden als Dreiecksverteilungen entsprechend Tab. 9-13 angesetzt. In der Spalte C sind jeweils die erwarteten Werte und in den Spalten B und D die minimalen und maximalen Werte der Erkundungspreise angeführt. Die Bandbreite beträgt jeweils +/- 10 % um den erwarteten Wert.

Lfd. Nr.	Fall	Erkundungspreise [€]		
		MIN	ERW	MAX
0	A	B	C	D
1	Fall 1	9.000,00	10.000,00	11.000,00
2	Fall 2	18.000,00	20.000,00	22.000,00
3	Fall 3	36.000,00	40.000,00	44.000,00

Tab. 9-13 Preise der Bodenerkundung

Mit den unterschiedlichen Erkundungsmaßnahmen sind auch unterschiedliche Abweichungen bei den erwarteten Mengen zu erwarten. Die Mengenabweichungen werden ebenfalls als Dreiecksverteilungen (siehe Tab. 9-14) angesetzt. Die Verteilungen sind durchwegs als symmetrische Dreiecksverteilungen angesetzt. Je höher der Preis der entsprechenden Erkundungsmaßnahme je Fall ist, desto enger ist auch die Bandbreite für die Vorhersage der Mengen je Klasse. Die Mengenabweichungen je Fall beziehen sich dabei sowohl auf die Boden- als auch auf die Kontaminierungsklassen.

Lfd. Nr.	Fall	Mengenabweichungen [%]		
		MIN	ERW	MAX
0	A	B	C	D
1	Fall 1	30,00	40,00	50,00
2	Fall 2	25,00	30,00	35,00
3	Fall 3	15,00	20,00	25,00

Tab. 9-14 Mengenabweichungen

Die Grunddaten für die Einheitspreise für den Aushub und die Deponierung der Boden- und Kontaminierungsklassen sind Tab. 9-15 zu entnehmen.

In der Tabelle sind neben den Grunddaten der Einheitspreise – die als Dreiecksverteilungen modelliert werden – auch die Erhöhungsprozentsätze (ebenfalls als Dreiecksverteilungen modelliert) für die drei betrachteten Fälle dargestellt. Die Grundeinheitspreise weisen dabei eine Bandbreite bei vollständiger Kenntnis über die Mengen der jeweiligen Boden- und Kontaminierungsklassen auf. Die prozentuellen Erhöhungen dieser Einheitspreise begründen sich durch die Unsicherheiten, die bei der Zusammensetzung des Mengengefüges bei unterschiedlichen Erkundungsmaßnahmen vorherrscht.

Lfd. Nr.	Boden- bzw. Kontaminierungs-klasse	Einheitspreise (Grunddaten) [€/m³]		
		MIN	ERW	MAX
0	A	B	C	D
1	3 - 5	2,00	3,00	5,00
2	6	15,00	17,00	21,00
3	7	25,00	27,00	32,00
4	I	10,00	11,00	13,00
5	II	40,00	43,00	52,00
6	III	60,00	63,00	71,00
7	IV	90,00	95,00	110,00
Lfd. Nr.	**Fall**	**Erhöhungsprozentsätze auf die Grundeinheitspreise [%]**		
		MIN	ERW	MAX
8	Fall 1	10,00	30,00	45,00
9	Fall 2	2,00	10,00	20,00
10	Fall 3	0,00	2,00	4,00

Tab. 9-15 Grunddaten und Erhöhungsprozentsätze der Einheitspreise je Boden- und Kontaminierungsklasse bzw. betrachteten Fall

In Abb. 9-32 sind die definierten Bandbreiten der Erkundungspreise, der Mengenabweichungen und der Aufschläge auf die Grundeinheitspreise für die Fälle 1 bis 3 als Dreiecksverteilungen dargestellt.

Für den Fall 1 sind die Erkundungspreise zwar in einer engen Bandbreite zu erwarten, die Mengenabweichungen und der Preisaufschlag weisen hingegen sehr große Bandbreiten im hohen Wertebereich auf.

Der Fall 2 ist als ‚Zwischenlösung' zu bezeichnen, da der Erkundungspreis zwar höher als bei Fall 1 liegt, die Bandbreiten der Mengenabweichungen und des Preisaufschlags sind jedoch geringer und im mittleren Wertebereich.

Fall 3 weist zwar den höchsten Erkundungspreis, gleichzeitig aber auch die geringsten erwarteten Mengenabweichungen auf. Außerdem wird nur mit sehr geringen Aufschlägen auf die Grundeinheitspreise gerechnet.

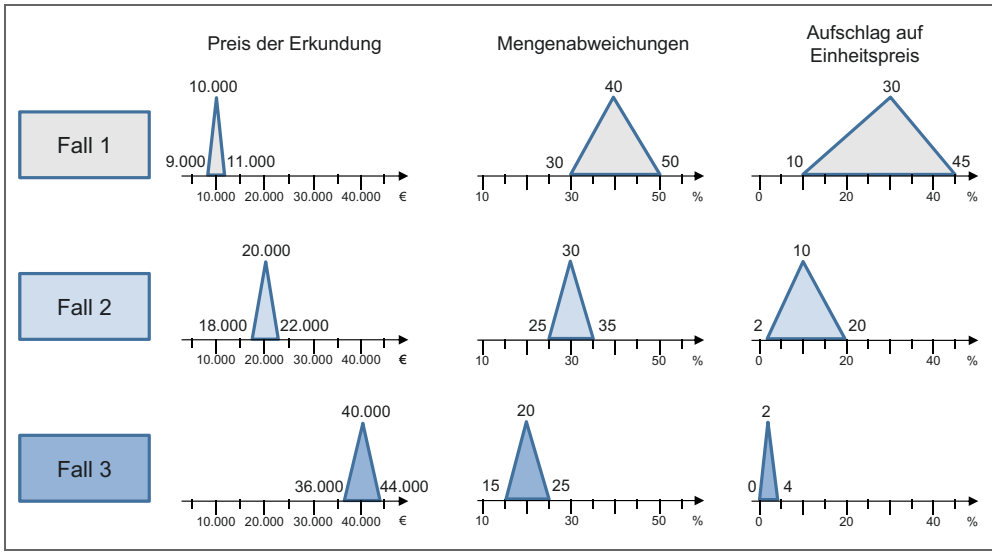


Abb. 9-32 Dreiecksverteilungen der Erkundungspreise, der Mengenabweichungen und der Aufschläge auf die Grundeinheitspreise – Fälle 1 bis 3

In den Tab. 9-16, Tab. 9-17 und Tab. 9-18 sind die Berechnungstabellen für die Fälle 1 bis 3 getrennt voneinander dargestellt. Das Berechnungsschema (siehe Abb. 9-31) ist dabei für jeden Fall identisch. Es ändern sich nur die jeweiligen Inputparameter und Streuungen.

In den Spalten B bis C sind die minimalen, erwarteten und maximalen Mengen je Boden- bzw. Kontaminierungsklasse angegeben. Die Summe der erwarteten Werte ergibt dabei jeweils die gesamte (feste) Aushubmenge von 10.000 m³. Die Abweichungen nach oben und unten werden jeweils über die Dreiecksverteilung der erwarteten Mengenabweichungen (siehe Tab. 9-14) berechnet und ändern sich mit jedem Iterationsschritt in den Spalten B und D. Die Verteilungen der Mengen je Klasse sind in den Spalten E eingetragen und ergeben in Summe je Iteration von der Zielgröße (= 10.000 m³) abweichende Ergebnisse.

Damit würden die Simulationsergebnisse verfälscht werden, da in jedem Iterationsschritt eine andere Gesamtbodenmenge dem Gesamtpreis zugrunde gelegt werden würde. Um dies zu umgehen, werden in einem weiteren Schritt Normierungen dieser Mengenanteile auf eine Summe von 10.000 m³ durchgeführt (Spalte F).

Lfd. Nr.	Bodenklassen	Mengen [m³]			Menge [m³]	Normierte Mengen [m³]	Verteilungen erhöhter Einheitspreise [€/m³]	Preis je Klasse [€]
		MIN	ERW	MAX				
0	A	B	C	D	E	F	G	H
1	3 - 5	3.000,00	5.000,00	7.000,00	5.000,00	5.000,00	4,28	21.388,89
2	6	1.500,00	2.500,00	3.500,00	2.500,00	2.500,00	22,67	56.680,56
3	7	1.500,00	2.500,00	3.500,00	2.500,00	2.500,00	35,93	89.833,33
4	**Summe**		**10.000,00**		**10.000,00**	**10.000,00**		**167.902,78**
Lfd. Nr.	**Kontaminations-klassen**	**Mengen [m³]**			**Menge [m³]**	**Normierte Mengen [m³]**	**Verteilungen erhöhter Einheitspreise [€/m³]**	**Preis je Klasse [€]**
		MIN	ERW	MAX				
5	I	3.000,00	5.000,00	7.000,00	5.000,00	5.000,00	14,54	72.722,22
6	II	1.500,00	2.500,00	3.500,00	2.500,00	2.500,00	57,75	144.375,00
7	III	900,00	1.500,00	2.100,00	1.500,00	1.500,00	82,99	124.483,33
8	IV	600,00	1.000,00	1.400,00	1.000,00	1.000,00	126,19	126.194,44
9	**Summe**		**10.000,00**		**10.000,00**	**10.000,00**		**467.775,00**
10	**Preis - Fall 1**							**635.677,78**
11	Preis der Erkundung							10.000,00
12	**Gesamtpreis - Fall 1**							**645.677,78**
13	**Einheitspreis - Gesamt - Fall 1**							**64,57**

Tab. 9-16 Berechnungstabelle – Fall 1

Die Grundeinheitspreise der Boden- und Kontaminierungsklassen (siehe Tab. 9-15 – Zeilen 1 bis 7) werden je nach Fall prozentuell erhöht (siehe Tab. 9-15 – Zeilen 8 bis 10).[23)] Die erhöhten Einheitspreise sind in den Spalten G der Tab. 9-16 bis Tab. 9-18 angeführt. Durch die Preiserhöhungen werden die Unsicherheiten der Mengenangaben auch monetär berücksichtigt.

Lfd. Nr.	Bodenklassen	Mengen [m³]			Menge [m³]	Normierte Mengen [m³]	Verteilungen erhöhter Einheitspreise [€/m³]	Preis je Klasse [€]
		MIN	ERW	MAX				
0	A	B	C	D	E	F	G	H
1	3 - 5	3.500,00	5.000,00	6.500,00	5.000,00	5.000,00	3,69	18.444,44
2	6	1.750,00	2.500,00	3.250,00	2.500,00	2.500,00	19,55	48.877,78
3	7	1.750,00	2.500,00	3.250,00	2.500,00	2.500,00	30,99	77.466,67
4	**Summe**		**10.000,00**		**10.000,00**	**10.000,00**		**144.788,89**
Lfd. Nr.	**Kontaminations-klassen**	**Mengen [m³]**			**Menge [m³]**	**Normierte Mengen [m³]**	**Verteilungen erhöhter Einheitspreise [€/m³]**	**Preis je Klasse [€]**
		MIN	ERW	MAX				
5	I	3.500,00	5.000,00	6.500,00	5.000,00	5.000,00	12,54	62.711,11
6	II	1.750,00	2.500,00	3.250,00	2.500,00	2.500,00	49,80	124.500,00
7	III	1.050,00	1.500,00	1.950,00	1.500,00	1.500,00	71,56	107.346,67
8	IV	700,00	1.000,00	1.300,00	1.000,00	1.000,00	108,82	108.822,22
9	**Summe**		**10.000,00**		**10.000,00**	**10.000,00**		**403.380,00**
10	**Preis - Fall 2**							**548.168,89**
11	Preis der Erkundung							20.000,00
12	**Gesamtpreis - Fall 2**							**568.168,89**
13	**Einheitspreis - Gesamt - Fall 2**							**56,82**

Tab. 9-17 Berechnungstabelle – Fall 2

In der Spalte H der Tab. 9-16 bis Tab. 9-18 werden die normierten Mengen mit den erhöhten Einheitspreisen multipliziert und ergeben damit die Preise je Klasse. In den

23) Die Berechnung wird anhand eines deterministischen Beispiels bezogen auf die erwarteten Werte verdeutlicht: Bezogen auf den erwarteten Grundeinheitspreis der Bodenklasse 6 bedeutet dies für den Fall 1 (ebenfalls bezogen auf den erwarteten Wert) eine Erhöhung von 17,00 €/m³ (Zelle C2 der Tab. 9-15) auf 22,10 €/m³ [= 17,00 €/m³ * (100 % + 30 %) / 100 %)]. In der Spalte G der Tab. 9-16 bis Tab. 9-18 sind die jeweils die Mittelwerte der jeweiligen Verteilungen eingetragen.

Zellen H4 bzw. H9 werden jeweils die Summen der Preise für den Aushub der Bodenklassen bzw. die Deponierung der Kontaminierungsklassen gebildet.

Die Summe der Preise (exkl. Erkundungspreis) für die drei Fälle ergibt sich in den Zellen H10. Durch Hinzurechnen des jeweiligen Erkundungspreises ergibt sich der Gesamtpreis je Fall als Histogramm in den Zellen H12.

Lfd. Nr.	Bodenklassen	Mengen [m³]			Menge [m³]	Normierte Mengen [m³]	Verteilungen erhöhter Einheitspreise [€/m³]	Preis je Klasse [€]
		MIN	ERW	MAX				
0	A	B	C	D	E	F	G	H
1	3 - 5	4.000,00	5.000,00	6.000,00	5.000,00	5.000,00	3,40	17.000,00
2	6	2.000,00	2.500,00	3.000,00	2.500,00	2.500,00	18,02	45.050,00
3	7	2.000,00	2.500,00	3.000,00	2.500,00	2.500,00	28,56	71.400,00
4	**Summe**		**10.000,00**		**10.000,00**	**10.000,00**		**133.450,00**
Lfd. Nr.	**Kontaminations-klassen**	**Mengen [m³]**			**Menge [m³]**	**Normierte Mengen [m³]**	**Verteilungen erhöhter Einheitspreise [€/m³]**	**Preis je Klasse [€]**
		MIN	ERW	MAX				
5	I	4.000,00	5.000,00	6.000,00	5.000,00	5.000,00	11,56	57.800,00
6	II	2.000,00	2.500,00	3.000,00	2.500,00	2.500,00	45,90	114.750,00
7	III	1.200,00	1.500,00	1.800,00	1.500,00	1.500,00	65,96	98.940,00
8	IV	800,00	1.000,00	1.200,00	1.000,00	1.000,00	100,30	100.300,00
9	**Summe**		**10.000,00**		**10.000,00**	**10.000,00**		**371.790,00**
10	**Preis - Fall 3**							**505.240,00**
11	Preis der Erkundung							40.000,00
12	**Gesamtpreis - Fall 3**							**545.240,00**
13	**Einheitspreis - Gesamt - Fall 3**							**54,52**

Tab. 9-18 Berechnungstabelle – Fall 3

In Abb. 9-33 sind die drei Histogramme für die Gesamtpreise (inkl. Erkundung) der drei Fälle dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass bei einer begrenzten Erkundung (Fall 1) eine deutlich größere Bandbreite für den Gesamtpreis zu erwarten ist. Die Streuung der Ergebnisse nimmt immer weiter ab, je mehr in die Erkundungsmaßnahmen investiert wird (Fall 3). Das vom AG vorgesehene Budget von 550.000 € ist in allen drei Histogrammen als Gleitbegrenzer am oberen Bildrand eingetragen.

Es zeigt sich, dass je nach Erkundungsmethode höhere oder niedrigere Chancen und Risiken mit dem eingeplanten Budget eingegangen werden, da bei unsicheren Mengen auch von einem höheren Preisniveau der Einheitspreise ausgegangen wird.

Das Verhältnis von Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit fällt damit in jedem Fall unterschiedlich aus. Wird vom AG ein zusätzlicher monetärer Risikopuffer eingeplant, kann das Risiko entsprechend verringert werden. Je nach Erkundungsmethode wirkt sich dabei ein finanziell gleicher Risikopuffer unterschiedlich auf das Chancen-Risikoverhältnis aus.

Für das vorliegende Beispiel, wäre Fall 3 für den AG vorzuziehen, da die Bandbreite der ermittelten Gesamtpreise am geringsten und mit dem veranschlagten Budget von 550.000 € das günstigste Chancen-Risikoverhältnis erzielt wird.

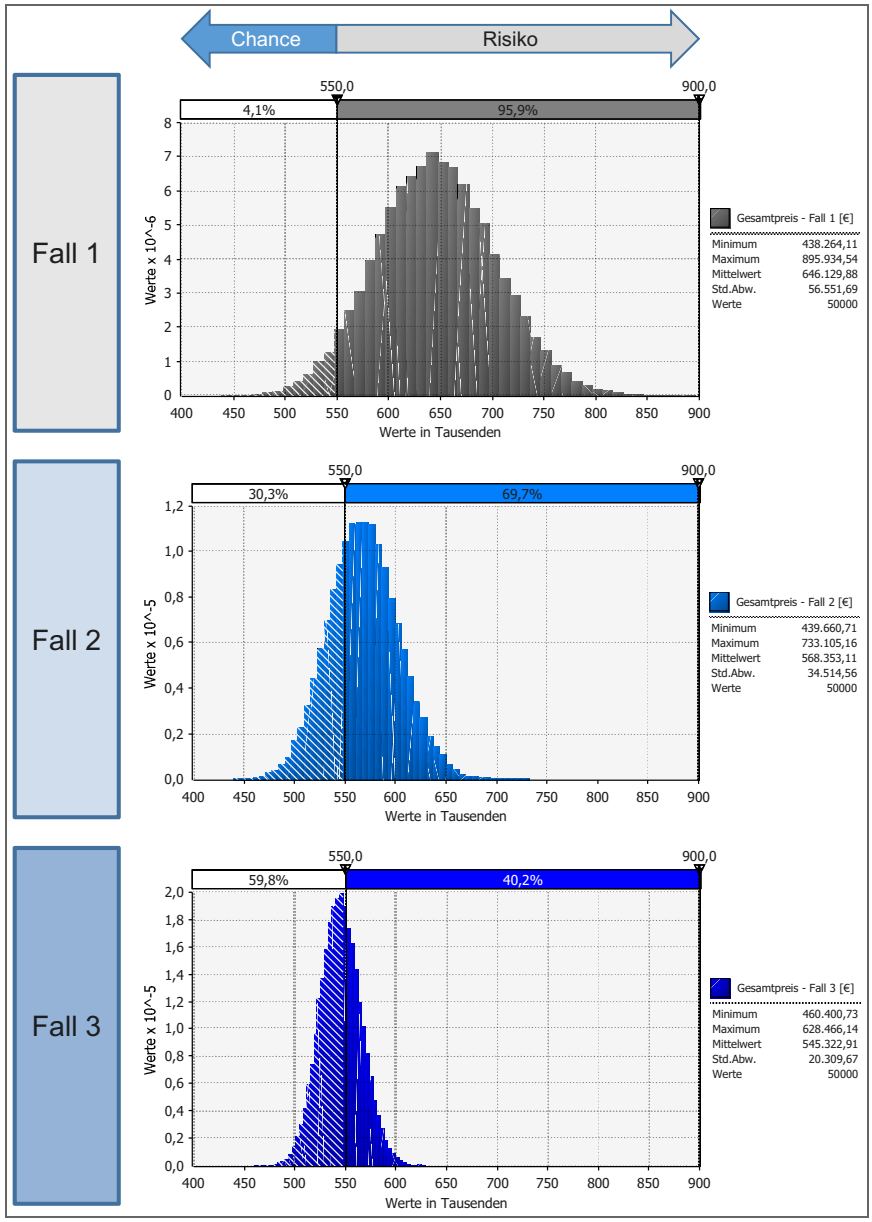


Abb. 9-33 Histogramme für die Gesamtpreise der drei Fälle[24)]

Für eine vertiefte Betrachtung könnten die Preise für die Erkundung, die Prozentsätze der Mengenabweichungen sowie die Erhöhungsprozentsätze der Einheitspreise miteinander (je betrachteten Fall) korreliert werden. Es ist davon auszugehen, dass bei einem höheren Preis für die Erkundung eine geringere Bandbreite für die Mengenabweichungen und die

24) Aus theoretischen Überlegungen zu den gewählten Bandbreiten der Inputparameter ergeben sich minimale und maximale Gesamtpreise, die über bzw. unter den Extremwerten der Simulation liegen. Diese Differenz ist in der Normierung der Mengen begründet und wurde bereits in Abschnitt 6.2.5.2 näher beschrieben.

Einheitspreiserhöhung zu erwarten sind (negative Korrelationen). Die entsprechende Korrelationsmatrix für die drei Parameter kann als 3x3 Matrix dargestellt werden, wobei insgesamt drei Korrelationskoeffizienten definiert werden müssten. Der Zusammenhang zwischen dem Prozentsatz der Mengenabweichung und dem Erhöhungsprozentsatz der Einheitspreise müssten eine positive Korrelation aufweisen, da sie von der Erkundungsmethode abhängig sind und sich daher ähnlich verhalten (gemeinsam höhere oder niedrigere Werte annehmen).

Für das gegenständliche Beispiel wurden die jeweiligen Inputparameter vereinfachend als unabhängige Größen (ohne Korrelationen) modelliert.

9.2.2.5 Nutzen für den AG

Aufbauend auf die probabilistischen Berechnungen kann der AG beurteilen, welches Chancen-Risikoverhältnis mit dem veranschlagten Budget eingegangen wird. Diese Informationen sind sehr wichtig für die Gesamtbudgetplanung und Kostensicherheit des Projekts. Anhand der untersuchten drei Fälle wird deutlich, dass sich für diese Untersuchungsanordnungen für den Fall 3 die günstigsten Verhältnisse ergeben. Der Auftraggeber nimmt zwar höhere Preise für die Erkundung in Kauf, hat aber damit eine höhere Wahrscheinlichkeit erreicht, dass sein veranschlagtes Budget in der Höhe von 550.000 € eingehalten wird.

Bei der Betrachtung des Gesamtpreises für Fall 1 wir deutlich, dass bei geringfügiger Erkundung eine sehr große Bandbreite zu erwarten ist und mit dem veranschlagten Budget von 550.000 € nur eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit (ca. 4 %) für die Einhaltung (bzw. Unterschreitung) dieser Grenze gegeben ist.

Je genauere Ergebnisse die Erkundung über das Mengengefüge liefert, desto enger wird auch die Bandbreite des Gesamtpreises und desto wahrscheinlicher wird auch die Einhaltung des Budgets. Weiters ist zu erkennen, dass sich der Schwerpunkt der Histogramme je genauer die Erkundung wird, auch immer weiter nach links (in Richtung niedrigerer Preise) bewegt. Dies ist damit zu begründen, dass mit aufwändigeren Erkundungsmaßnahmen auch die Aufschläge auf die Grundeinheitspreise niedrigerer angesetzt wurden.

Generell ist festzuhalten, dass die Ausschreibung von Boden- und Kontaminierungsklassen in einzelnen Positionen der Ausschreibung von Mischpreisposition vorzuziehen ist. Bei Verschiebung der Mengenanteile kann bei einzelnen Positionen der Einheitspreis jeder Position werthaltig fortgeschrieben werden. Alternativ wäre auch eine gegenseitige Offenlegung der Kalkulationsgrundlagen zwischen AG und AN möglich (siehe dazu auch Abschnitt 10.3.1.1).

9.2.3 Kostenschätzung/-berechnung

Entscheidungen in Projekten werden maßgeblich durch die zu erwartenden Kosten bestimmt. Die Kosten stehen in direktem Zusammenhang mit gewählten Qualitäten und Quantitäten sowie mit der zur Verfügung stehenden Zeit für die Ausführung.

Für die PPH 2 (siehe Abb. 9-34) werden Kostenschätzungen bzw. Kostenberechnungen aufgrund relativ grober Angaben über die Abmessungen des Gebäudes (bauwerksbezogene Verfahren bei der Kostenschätzung) bzw. aufgrund einer planungsorientierten Baugliederung (bei der Kostenberechnung) durchgeführt.

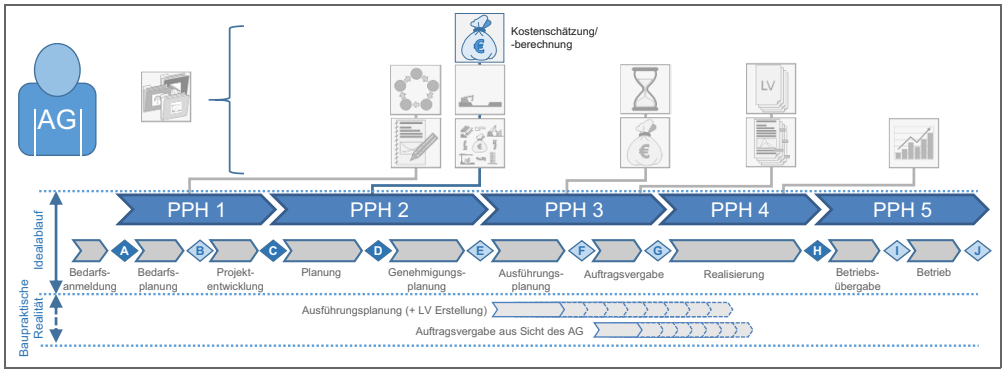


Abb. 9-34 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

9.2.3.1 Grundlagen – Budgetierung mittels Kostenkennwerten

Für Bauprojekte sind je nach Planungstiefe und Fortschritt des Projekts Kostenaussagen (und -planungen) mit unterschiedlicher Detaillierung notwendig. Dafür stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Nutzungsbezogene Verfahren

Derartige Verfahren finden vor allem in frühen Projektphasen Anwendung und dienen für einen ersten kostenmäßigen Anhaltspunkt. Die Kostenermittlung orientiert sich dabei an projektspezifischen Einheiten wie z.B. €/Tiefgaragenstellplatz, €/Krankenhausbett, €/Arbeitsplatz oder allgemeiner €/Nutzungseinheit.[25)]

Bauwerksbezogene Verfahren

Die bauwerksbezogenen Verfahren bedienen sich der vorliegenden Informationen aus der Objektplanung. Es werden geometrische Größen des zu errichtenden Objekts herangezogen und mit Kostenkennwerten multipliziert. Als Beispiele für solche geometrischen Größen seien hier der Brutto-Rauminhalt (BRI) und die Brutto-Grundfläche (BGF) genannt (die Ermittlung erfolgt nach ÖNORM B 1800:2013 bzw. DIN 277:2016).[26)]

Als ‚Lieferant' für Kostenkennwerte kann das BKI (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH) genannt werden. Aus einer Datenbank können Baukosten ‚ähnlicher' Projekte entnommen werden und auf das zu bearbeitende Objekt umgelegt werden. Problematisch ist dabei die Vergleichbarkeit von Projekten, da es sich bei jedem Bauwerk um ein Unikat handelt.[27)]

Ausführungsorientierte Verfahren

Bei den ausführungsorientierten Verfahren wird das Bauwerk z.B. in Leistungsgruppen (LG) oder in Unterleistungsgruppen (ULG) eingeteilt. Die Kostenermittlung folgt somit getrennt für z.B. Beton- und Stahlbetonarbeiten, Mauerarbeiten, Natursteinarbeiten usw.[28)]

25) Vgl. Lechner/Liebenau (2010), S. 23
26) Vgl. Blecken et al. (2007), S. 106f.
27) Vgl. Lechner/Liebenau (2010), S. 23
28) Vgl. ebd., S. 24

Bauelementeverfahren

Ziel der Bauelementeverfahren ist die Aufgliederung des Objekts in Grobelemente (z.B. Innenwände) und in einer weiteren Ebene in Bauelemente (z.B. tragende Innenwände, nichttragende Innenwände, Innenstützen).[29)]

Mischverfahren

Weitere Methoden mit unterschiedlichsten Gliederungs- und Detaillierungsgraden sind in der Praxis je nach Fachgebiet (z.B. Tunnelbau, Infrastrukturbau) verbreitet.

Vom Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI) werden Richtwerte für die Kostenermittlung auf Basis unterschiedlicher Grundlagen angegeben (siehe Abb. 9-35). Es handelt sich dabei um statistisch ausgewertete Daten mehrerer Vergleichsobjekte, die alle nach einem vorgegebenen Schema nach Projektabschluss analysiert wurden.

Die Kostenkennwerte können je nach Informationsstand auch bereits ohne vorliegenden Vorentwurf für erste Kostenaussagen herangezogen werden. Es wird aber auch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass eine reine Verwendung der Mittelwerte für eine qualifizierte Kostenermittlung nicht ausreicht.[30)]

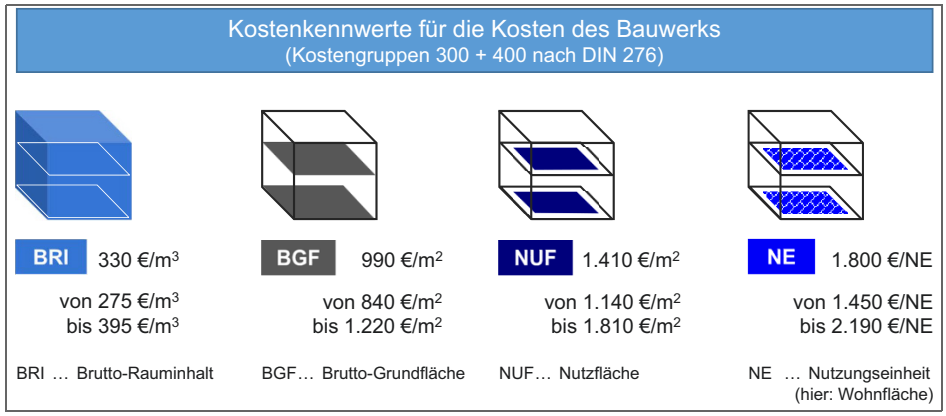


Abb. 9-35 Kostenkennwerte für die Kosten eines Bauwerks (Kostengruppen 300+400 nach DIN 276) – Mehrfamilienhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten, mittlerer Standard[31)]

Die Projekte, die dieser Kostenkennwertermittlung zugrunde liegen, werden auch mit ihrer gesamten Streubreite (minimaler bis maximaler Kostenkennwert) sowie mit einem statistisch ermittelten Streubereich angegeben. In Abb. 9-36 sind diese Werte schematisch mit unterschiedlich stark eingefärbten Balken bzw. mit Pfeilen dargestellt. Die Punkte stellen jeweils einen Kostenkennwert eines der 16 betrachteten Vergleichsobjekte (Mehrfamilienhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten, mittlerer Standard) dar.[32)]

29) Vgl. Blecken et al. (2007), S. 75 und 108f.

30) Vgl. Kalusche et al. (2016), S. 39f.

31) Vgl. ebd., S. 512 – Kosten: Stand 1. Quartal 2016, Bundesschnitt inkl. 19,00 % MwSt.

32) Die Überlagerung von Punkten gleicher Kostenkennwerte ist möglich.

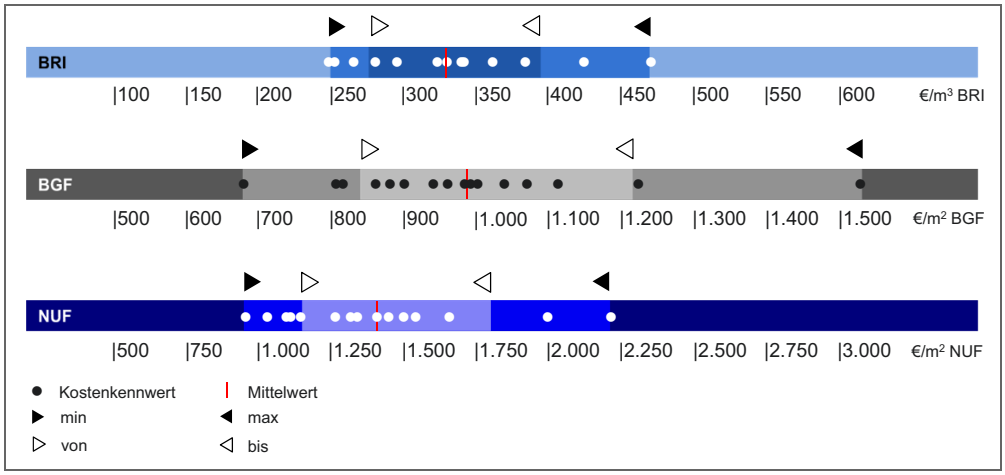


Abb. 9-36 Kostenkennwerte für die Kosten eines Bauwerks (Kostengruppen 300 + 400 nach DIN 276) – Mehrfamilienhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten, mittlerer Standard – 16 Vergleichsobjekte[33)]

Neben den Kostenkennwerten für bauwerksbezogene Verfahren (BRI, BGF, NUF etc.) werden vom BKI auch Kostenkennwerte nach Leistungsbereichen des Standardleistungsbuchs (StLB) in Bandbreiten angegeben (siehe Tab. 9-19).

Die ‚von-/bis-Werte', die sowohl für Grobbetrachtungen (z.B. BRI) als auch für Detailbetrachtungen (Leistungsbereiche) angegeben sind, definieren einen Streubereich der Kostenkennwerte. Bei der Ermittlung dieses Streubereichs auf Basis von historischen Daten wird dem Umstand Rechnung getragen, dass im Bauwesen Abweichungen nach oben wahrscheinlicher sind, als Abweichungen nach unten.[34)] Daher werden die Werte oberhalb des Mittelwerts getrennt von den Werten unterhalb des Mittelwerts betrachtet. Besonders teure Gebäude haben somit keinen Einfluss auf die statistischen Werte unterhalb des Mittelwerts. Der Mittelwert liegt daher nicht zwingend in der Mitte des angegebenen Streubereichs (z.B. 28 | 44 | 56). In den Tabellen wird kenntlich gemacht, ob nur ein Einzelwert vorliegt (z.B. - | 5 | -), oder ob mehrere Werte vorliegen, die aber noch keine Berechnung des Streubereichs zulassen (z.B. 27 | 27 | 27). Diese Vorgehensweise soll die Realität im Bauwesen besser abbilden.[35)]

In Tab. 9-19 sind zusätzlich auch die Prozentanteile der einzelnen Kostengruppen angegeben, um zusätzliche Plausibilitätsprüfungen anhand der Kostenanteile durchführen zu können.

Kostenermittlungen mit Hilfe der Kostenkennwerte im Sinne einer Budgetierung können zwar die positionsorientierte Aufstellung der Leistungsbereichskosten nicht ersetzen, für Plausibilitätsprüfungen bzw. für grobe Kostenaussagen z.B. für Finanzierungsanfragen sind sie jedoch gut geeignet.[36)]

33) Vgl. Kalusche et al. (2016), S. 512 – Kosten: Stand 1. Quartal 2016, Bundesschnitt inkl. 19,00 % MwSt.

34) Vgl. ebd., S. 9

35) Vgl. ebd., S. 9f.
Das Rechenverfahren lässt sich nach Angaben des BKI nicht durch Excel-Standardverfahren nachbilden, da für beide Teilbereiche (oberhalb und unterhalb des Mittelwerts) wieder neue Mittelwerte gebildet werden würden.

36) Vgl. ebd., S. 41

Lfd. Nr.	LB	Leistungsbereiche	€/m² BGF			% an 300+400		
			von	Mittelwert	bis	von	Mittelwert	bis
0	A	B	C	D	E	F	G	H
1	000	Sicherheits-, Baustelleinrichtungen inkl. 001	28	**44**	56	2,9	**4,4**	5,7
2	002	Erdarbeiten	12	**24**	36	1,2	**2,4**	3,7
3	006	Spezialtiefbauarbeiten inkl. 005	4	**12**	21	0,4	**1,2**	2,1
4	009	Entwässerungskanalarbeiten inkl. 011	2	**5**	5	0,2	**0,5**	0,5
5	010	Drän- und Versickerungsarbeiten	-	**-**	-	-	**-**	-
6	012	Mauerarbeiten	5	**56**	108	0,5	**5,7**	10,9
7	013	Betonarbeiten	173	**210**	210	17,5	**21,2**	21,2
8	014	Natur-, Betonwerksteinarbeiten	13	**13**	18	1,3	**1,3**	1,8
9	016	Zimmer- und Holzbauarbeiten	2	**12**	22	0,2	**1,2**	2,2
10	017	Stahlbauarbeiten	0	**40**	80	0,0	**4,0**	8,1
11	018	Abdichtungsarbeiten	0	**3**	6	0,0	**0,3**	0,6
12	020	Dachdeckungsarbeiten	2	**10**	18	0,2	**1,0**	1,8
13	021	Dachabdichtungsarbeiten	6	**15**	15	0,6	**1,5**	1,5
14	022	Klempnerarbeiten	6	**11**	16	0,6	**1,1**	1,6
15		**Rohbau**	454	**454**	478	45,9	**45,9**	48,4
16	023	Putz- und Stuckarbeiten, Wärmedämmsysteme	39	**56**	77	3,9	**5,7**	7,8
17	024	Fließen- und Plattenarbeiten	16	**24**	32	1,6	**2,4**	3,2
18	025	Estricharbeiten	17	**21**	25	1,7	**2,1**	2,5
19	026	Fenster, Außentüren inkl. 029, 032	48	**48**	70	4,9	**4,9**	7,1
20	027	Tischlerarbeiten	35	**50**	50	3,6	**5,1**	5,1
21	028	Parkettarbeiten, Holzpflasterarbeiten	-	**5**	-	-	**0,5**	-
22	030	Rollladenarbeiten	6	**12**	19	0,6	**1,2**	1,9
23	031	Metallbauarbeiten inkl. 035	22	**41**	57	2,2	**4,2**	5,8
24	034	Maler- und Lackiererarbeiten inkl. 037	19	**32**	45	1,9	**3,2**	4,5
25	036	Bodenbelagarbeiten	10	**14**	18	1,0	**1,5**	1,9
26	038	Vorgehängte hinterlüftete Fassaden	-	**-**	-	-	**-**	-
27	039	Trockenbauarbeiten	30	**34**	37	3,1	**3,4**	3,8
28		**Ausbau**	340	**340**	358	34,4	**34,4**	36,2
29	040	Wärmeversorgungsanl.- Betriebseinr. inkl. 041	29	**42**	56	2,9	**4,2**	5,6
30	042	Gas- und Wasserinstallation, Leistungen inkl. 043	23	**36**	36	2,4	**3,6**	3,6
31	044	Abwasserinstallationsarbeiten - Leitungen	22	**22**	29	2,2	**2,2**	2,9
32	045	GWA-Einrichtungsgegenstände inkl. 046	0	**8**	17	0,0	**0,8**	1,7
33	047	Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen	0	**5**	10	0,0	**0,5**	1,0
34	049	Feuerlöschanlagen, Feuerlöschgeräte	-	**1**	-	-	**0,1**	-
35	050	Blitzschutz- und Erdungsanlagen	-	**1**	2	-	**0,1**	0,2
36	052	Mittelspannungsanlagen	-	**-**	-	-	**-**	-
37	053	Niederspannungsanlagen inkl. 054	34	**40**	45	3,4	**4,0**	4,5
38	055	Ersatzstromversorgungsanlagen	-	**-**	-	-	**-**	-
39	057	Gebäudesystemtechnik	-	**-**	-	-	**-**	-
40	058	Leuchten und Lampen inkl. 059	0	**3**	6	0,0	**0,3**	0,6
41	060	Elektroakustische Anlagen, Sprechanlagen	0	**1**	1	0,0	**0,1**	0,1
42	061	Kommunikationsnetze, inkl. 062	0	**1**	3	0,0	**0,1**	0,3
43	063	Gefahrenmeldeanlagen	0	**0**	1	0,0	**0,0**	0,1
44	069	Aufzüge	0	**28**	56	0,0	**2,8**	5,7
45	070	Gebäudeautomation	-	**-**	-	-	**-**	-
46	075	Raumlufttechnische Anlagen	0	**4**	10	0,0	**0,5**	1,0
47		**Technische Anlagen**	160	**191**	226	16,1	**19,3**	22,8

Tab. 9-19 Kostenkennwerte für Leistungsbereiche nach StLB (Kosten des Bauwerks nach DIN 276) – Mehrfamilienhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten, mittlerer Standard[37)]

Bei der Kostenermittlung von neuen Bauprojekten muss – z.B. auf der Ebene der Leistungsbereiche – für jede der angegebenen Kostengruppen ein Kostenkennwert angenommen werden. Diese Auswahl erfolgt über die Wahl entsprechender Referenzprojekte und der damit in Zusammenhang stehenden Ausführungsqualitäten. Eine durchgehende Orientierung an den Mittelwerten kann zu einer starken Unterschätzung der Kosten führen, außerdem können auch keine Aussagen über mögliche Bandbreiten bzw. das Chancen- und Risikoverhältnis getroffen werden.

37) Kalusche et al. (2016), S. 514 – Kosten: Stand 1. Quartal 2016, Bundesschnitt inkl. 19,00 % MwSt.

Die BKI-Werte beziehen sich auf Deutschland und enthalten daher 19,00 % MwSt. Für die Anwendung in anderen Ländern, muss diese Steuer entweder für eine Nettobetrachtung in Abzug gebracht werden bzw. auf den Steuersatz des jeweiligen Landes angepasst werden.

Um regionale Unterschiede innerhalb Deutschlands bzw. auch innerhalb von Europa in den Ansätzen auszugleichen, sind ‚Regionalfaktoren' in den Berechnungen zu berücksichtigen. In Abb. 9-37 sind die Regionalfaktoren 2016 für Europa dargestellt.

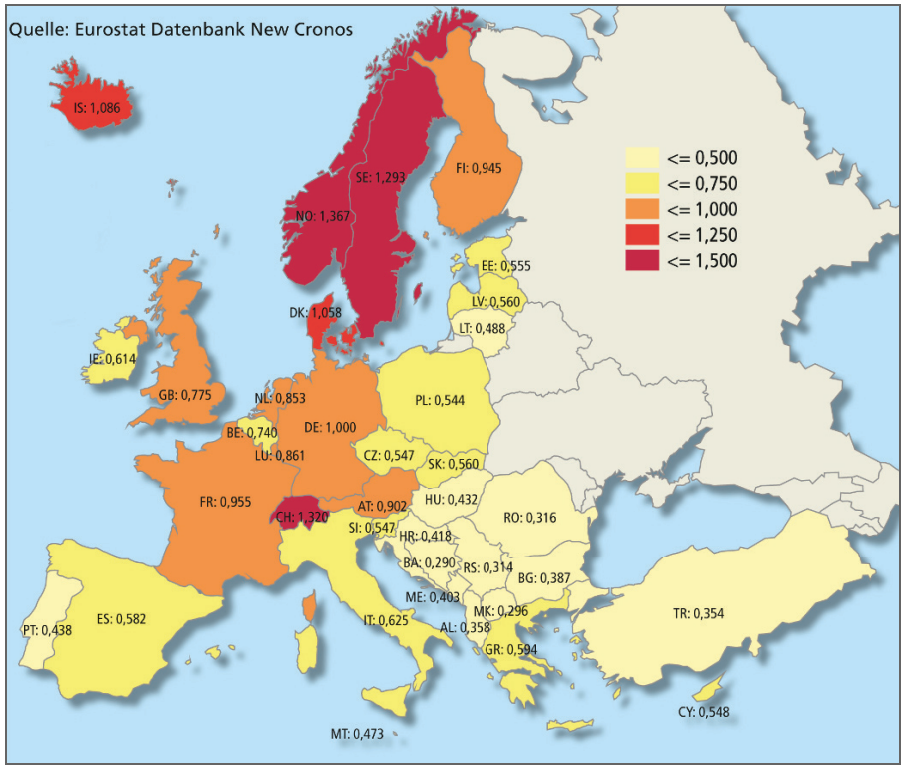


Abb. 9-37 Regionalfaktoren 2016 für Europa[38)]

9.2.3.2 Aufgabenstellung

Für die Errichtung eines sechsgeschossigen Wohnbaus mit 36 Wohneinheiten und einer Tiefgarage mit 45 Stellplätzen, Kellerabteilen, Fahrradabstellplätzen und Technikräumen ist eine Kostenschätzung bzw. eine Kostenberechnung durchzuführen. Die Größe des Bauplatzes beträgt ca. 5.800 m² und die Brutto-Grundfläche des Erdgeschosses ca. 430 m². Die Brutto-Grundfläche für das Kellergeschoss umfasst ca. 1.590 m² und ist damit ca. 3,6-mal so groß, wie das Erdgeschoss. Insgesamt ergibt sich die Brutto-Grundfläche für das Wohngebäude mit ca. 4.050 m². Die Erschließung der Wohnungen erfolgt über einen Laubengang. Der Lageplan des Neubaus ist in Abb. 9-38 schematisch dargestellt.

38) Mit freundlicher Genehmigung von © BKI 2016. All Rights Reserved.
BKI BAUKOSTEN-Poster 2016; Quelle: Eurostat Datenbank New Cronos

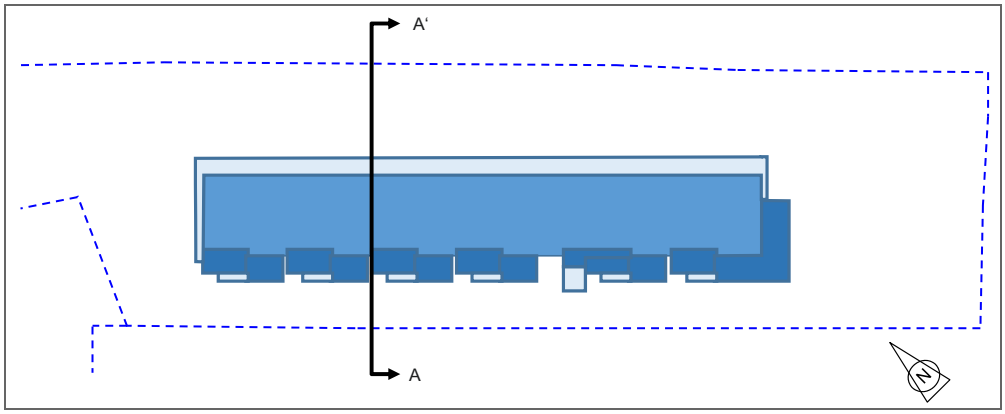


Abb. 9-38 Lageplan – Wohngebäude

Die Gebäudehöhe beträgt, bezogen auf die Geländeoberkante, ca. 19,20 m. Insgesamt besteht das Gebäude aus einem Erdgeschoss und fünf Obergeschossen sowie einem Kellergeschoss (siehe Abb. 9-39). Die Geschosshöhe liegt bei ca. 3,10 m.

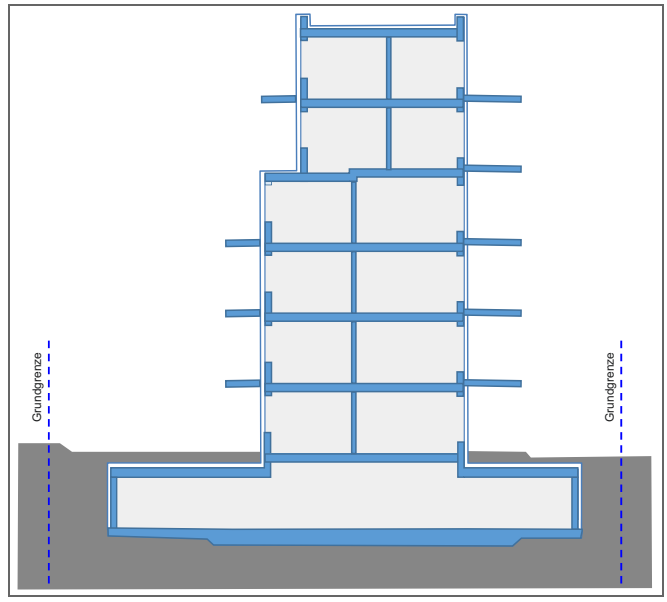


Abb. 9-39 Schnitt A-A‘ – Wohngebäude

9.2.3.3 Modellierung

Da in den BKI-Büchern als Kostenkennwerte je Leistungsbereich jeweils nur der Mittelwert und die ‚von-bis-Werte‘ (Streubereich) angegeben sind, ist für eine probabilistische Untersuchung die Überführung dieser Werte in eine Verteilungsfunktion erforderlich. Über die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten oberhalb und unterhalb der Mittelwerte kann jedoch aus den angegebenen Bandbreiten keine direkte Aussage getroffen werden.

Aus Literaturangaben und vorangegangenen Untersuchungen konnte für Aufwandswerte, Mengenvordersätze und Kostenwerte jeweils rechtsschiefe Verteilungen für Bauprojekte identifiziert werden (siehe Abschnitte 6.4, 7.2.1 und 7.2.2).

Auch in den Benutzerhinweisen des BKI wird angeführt, dass „ […] im Bauwesen Abweichungen nach oben wahrscheinlicher sind als Abweichungen nach unten […]“[39].

Aus den Überlegungen erscheint es plausibel, die Kostenkennwerte als rechtsschiefe Verteilungen anzusetzen.

Da die gesamte Datenbasis der Vergleichsprojekte nicht zur Verfügung steht bzw. extra angefordert werden muss, wird eine Möglichkeit gezeigt, wie mit den drei angegebenen Werten und den theoretischen Überlegungen eine Verteilungsfunktion der Kostenkennwerte entwickelt und schließlich für probabilistische Berechnungen herangezogen werden kann.

Um die Eingabe so einfach wie möglich zu halten, wurde untersucht, ob die Kostenkennwerte des BKI in PERT-Verteilungen übergeführt werden können. Es handelt sich dabei um eine Verteilung, die durch ein Minimum (MIN), einen erwarteten Wert (ERW) und ein Maximum (MAX) definiert ist.

Der Mittelwert der Verteilung errechnet sich durch Einsetzen in Glg. (9-3).

$$MW = \frac{MIN + 4 \cdot ERW + MAX}{6} \tag{9-3}$$

Da die BKI-Werte jedoch einen Mittelwert (MW) an Stelle eines erwarteten Werts anführen, ist eine Umrechnung auf den erwarteten Wert erforderlich (siehe Glg. (9-4)).

$$ERW = \frac{6 \cdot MW - MIN - MAX}{4} \tag{9-4}$$

Diese Umrechnung ist allerdings dann nicht möglich, wenn der Betrag für 6 * MW kleiner ist, als die Summe aus Minimum und Maximum. Dies ist dann der Fall, wenn der Abstand zwischen Mittelwert und Maximum zu groß ist. In einem solchen Fall, ergibt sich für den erwarteten Wert eine negative Zahl, mit der keine PERT-Verteilung (bei positivem Minimum und positiven Maximum) definiert ist.

Um dennoch eine Verteilungsfunktion generieren zu können, wird auf die allgemeinere BetaGeneral-Verteilung zurückgegriffen. Es handelt sich bei der PERT-Verteilung um eine Sonderform der Beta-Verteilung.

Diese ist durch vier Parameter definiert:
- Minimum
- Maximum
- α_1
- α_2

Bei den Größen α_1 und α_2 handelt es sich um Formparameter. Diese können durch Einsetzen des Minimums, des Mittelwerts und des Maximums in Glg. (9-5) und Glg. (9-6) berechnet werden.[40]

[39] Vgl. Kalusche et al. (2016), S. 9

[40] Zur Definition einer BetaGeneral-Verteilung, müssen die beiden Formparameter Werte größer als null annehmen. Ist dies nicht der Fall, ist die BetaGeneral-Verteilung nicht definiert. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn das Minimum und der Mittelwert identische Werte aufweisen. Für solche Kostenkennwerte wird auf die PERT-Verteilung zurückgegriffen.

$$\alpha_1 = 6 \cdot \left(\frac{MW - MIN}{MAX - MIN} \right) \tag{9-5}$$

$$\alpha_2 = 6 \cdot \left(\frac{MAX - MW}{MAX - MIN} \right) \tag{9-6}$$

Der Vorteil der BetaGeneral-Verteilung liegt darin, dass keine Umrechnung des Mittelwerts erforderlich ist und damit die Entfernung zwischen Mittelwert und Maximalwert uneingeschränkt abgebildet werden kann.

Bei jenen Inputwerten, bei denen die PERT-Verteilung definiert ist, sind die BetaGeneral- und die PERT-Verteilung identisch. Als allgemeiner Ansatz wird daher die Verwendung der BetaGeneral-Verteilung vorgeschlagen.

Da es sich bei den angegebenen Werten des BKI um einen Streubereich und nicht um das absolute Minimum und absolute Maximum der beobachteten Werte handelt, wird für eine realistischere Abbildung die Möglichkeit geboten, die untere und/oder die obere Grenze der Kostenkennwerte jeweils individuell anzupassen.

Durch eine prozentuelle Anpassung der Bandbreitenwerte lt. BKI kann die berücksichtigte Spannweite für die einzelnen Kostenkennwerte projektspezifisch erhöht oder auch verringert werden.

Die jeweiligen Verteilungen für die Kostenkennwerte werden in weiterer Folge mit der Brutto-Grundfläche multipliziert.

Im gezeigten Beispiel werden eine Grob- und eine Detailbetrachtung durchgeführt. Die Grobbetrachtung bezieht sich dabei auf die Leistungsbereiche Rohbau, Ausbau und technische Anlagen. Bei der Detailbetrachtung werden die Leistungsbereiche, wie sie in Tab. 9-19 von 000 bis 075 angegeben sind, für die Berechnung der Kosten herangezogen.[41)]

Der schematische Ablauf der Berechnung ist in Abb. 9-40 dargestellt. Die Kostenkennwerte sind dabei als BetaGeneral-Verteilungen und die Brutto-Grundfläche als Dreiecksverteilung symbolisiert.

41) Diese Berechnung erfolgt für das Beispiel zu Vergleichszwecken, ist in der Praxis jedoch unüblich. Bevorzugt wird hier eine Elementgliederung (in Österreich z.B. nach der Leistungsbeschreibung Hochbau) durchgeführt.

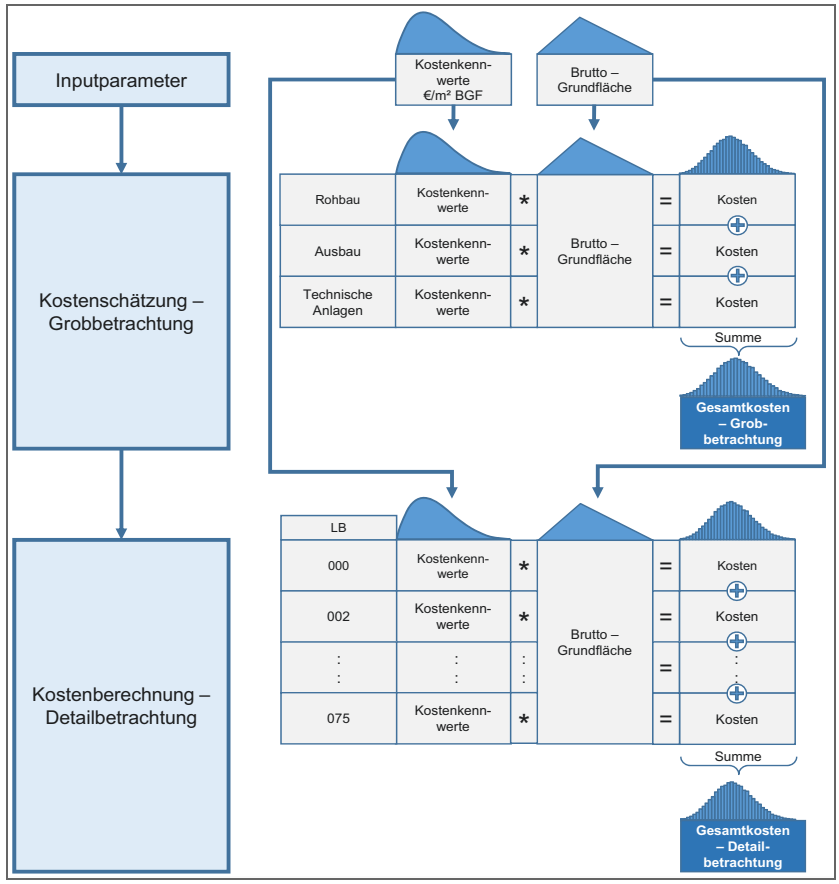


Abb. 9-40 Schematischer Ablauf – Kostenschätzung und -berechnung – Grob- und Detailbetrachtung

9.2.3.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die Kostenschätzung (Grobbetrachtung) und die Kostenberechnung (Detailbetrachtung) werden für das gezeigte Wohnbauprojekt für die Leistungsbereiche Rohbau, Ausbau und technische Anlagen durchgeführt. Es wird dazu auf die Kostenkennwerte des BKI zurückgegriffen. Projektspezifische Anpassungen der Bandbreiten erfolgen durch Prozentangaben, durch die die ‚von-Werte' (lt. BKI) nach unten bzw. die ‚bis-Werte' (lt. BKI) nach oben angepasst werden können.

Kostenschätzung (Grobbetrachtung)

Der Streubereich und der Mittelwert der BKI-Werte für die Leistungsbereiche Rohbau, Ausbau und technische Anlagen für Mehrfamilienhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten (mittlerer Standard) sind in Tab. 9-20 in den Spalten B bis D (Zeilen 1 bis 3) angegeben. Die Bandbreite dieser Werte kann in den Spalten E und F individuell und projektspezifisch angepasst werden. Für das gegenständliche Bauvorhaben wurde ein Abzug von jeweils 5 % und eine Erhöhung von jeweils 10 % der ‚von-bis-Werte' lt. BKI vorgenommen. Die angepassten Kostenkennwerte sind in weiterer Folge in den Spalten G, H und I der Tab. 9-20 angeführt. Der minimale Kostenkennwert für den Rohbau errechnet sich demnach

beispielsweise in Zelle G1 mit 431,30 €/m² BGF (= 454,00 €/m² BGF * 0,95). Die Brutto-Grundfläche wird als Dreiecksverteilung (4.030 | 4.050 | 4.070 m² BGF) angesetzt (siehe Zeile 5). Aus der Multiplikation der Kosten je Leistungsbereich mit der Brutto-Grundfläche ergeben sich in Zelle L6 die Gesamtkosten der Grobbetrachtung.

Lfd. Nr.	Leistungsbereiche	€/m² BGF			Prozentuelle Anpassung der Bandbreite [%]		€/m³ BGF - Angepasste Werte			BetaGeneral-Verteilung		
		von	Mittelwert	bis	Abzug	Erhöhung	Minimum	Mittelwert	Maximum	α_1	α_2	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Rohbau	454	454	478	5	10	431,30	454,00	525,80	1,44	4,56	454,00
2	Ausbau	340	340	358	5	10	323,00	340,00	393,80	1,44	4,56	340,00
3	Technische Anlagen	160	191	226	5	10	152,00	191,00	248,60	2,42	3,58	191,00
4	**Parameter**	**m² BGF**										**Verteilung**
		MIN	ERW	MAX								
5	Brutto-Grundfläche	4.030	4.050	4.070								4.050,00
6	**Gesamtkosten – Grobbetrachtung**											**3.989.250,00**

Tab. 9-20 Berechnungstabelle – Kostenschätzung – Grobbetrachtung

Das Histogramm der Gesamtkosten ist in Abb. 9-41 abgebildet. Der Mittelwert liegt bei 3,99 Mio. € und die Standardabweichung beträgt ca. 106.600 €. In jeweils 5 % der simulierten Fälle wird ein Wert von 3,82 Mio. € unterschritten und ein Wert von 4,18 Mio. € überschritten. Demnach könnte aus der Kostenschätzung mit einem Budget von 4,18 Mio. € für die betrachteten Leistungsbereiche 95 % der Fälle abgedeckt werden.

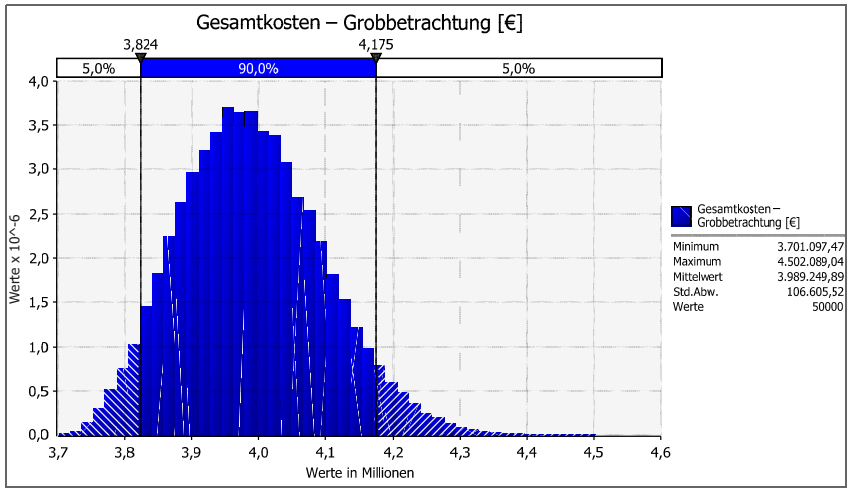


Abb. 9-41 Histogramm – Gesamtkosten – Grobbetrachtung[42)]

Kostenberechnung (Detailbetrachtung)

Für die Detailbetrachtung werden die Kosten der aufgeschlüsselten Leistungsbereiche (siehe Tab. 9-19) für die Kostenberechnung herangezogen. Die Kostenberechnung erfordert einen höheren Konkretisierungsgrad des Bauvorhabens (besonders hinsichtlich der Qualitäten), um Einschätzungen über die Bandbreiten der Kostenkennwerte für die einzelnen Leistungsbereiche treffen zu können. Für das Beispiel wird angenommen, dass

42) Die Berechnungen wurden inkl. 19,00 % MwSt. und ohne die Berücksichtigung von Regionalfaktoren durchgeführt.

Leistungen für alle Leistungsbereiche geplant sind. Hier können projektspezifisch auch einzelne Leistungsbereiche ausgeklammert bzw. zusätzliche aufgenommen werden.

Es werden wie bei der Kostenschätzung die ‚von-bis-Werte' sowie die Mittelwerte lt. BKI herangezogen (siehe Spalte C bis E der Tab. 9-21). Auch für die Kostenberechnung ist eine projektspezifische Anpassung der Grenzen mittels Prozentangaben möglich (siehe Spalten F und G). Für die prozentuelle Anpassung der Bandbreiten wurden gegenüber der Grobbetrachtung geringere Werte angesetzt. Dies ist auf die größere Tiefe in der Ermittlung der Kosten und auf die höhere Konkretisierung der Qualitäten zurückzuführen. Der Ansatz gleicher Prozentsätze für alle in Tab. 9-21 angeführten Leistungsbereiche stellt eine Vereinfachung für dieses Beispiel dar. Hier können individuelle Prozentwerte angesetzt werden.

Lfd. Nr.	LB	Leistungsbereiche	€/m² BGF			Prozentuelle Anpassung der Bandbreite [%]		€/m² BGF - Angepasste Werte			BetaGeneral-Verteilung		
			von	Mittelwert	bis	Abzug	Erhöhung	Minimum	Mittelwert	Maximum	α_1	α_2	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	000	Sicherheits-, Baustelleinrichtungen inkl. 001	28	**44**	56	2	5	27,44	44,00	58,80	3,17	2,83	44,00
2	002	Erdarbeiten	12	**24**	36	2	5	11,76	24,00	37,80	2,82	3,18	24,00
3	006	Spezialtiefbauarbeiten inkl. 005	4	**12**	21	2	5	3,92	12,00	22,05	2,67	3,33	12,00
4	009	Entwässerungskanalarbeiten inkl. 011	2	**5**	5	2	5	1,96	5,00	5,25	5,54	0,46	5,00
5	010	Drän- und Versickerungsarbeiten	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	012	Mauerarbeiten	5	**56**	108	2	5	4,90	56,00	113,40	2,83	3,17	56,00
7	013	Betonarbeiten	173	**210**	210	2	5	169,54	210,00	220,50	4,76	1,24	210,00
8	014	Natur-, Betonwerksteinarbeiten	13	**13**	18	2	5	12,74	13,00	18,90	0,25	5,75	13,00
9	016	Zimmer- und Holzbauarbeiten	2	**12**	22	2	5	1,96	12,00	23,10	2,85	3,15	12,00
10	017	Stahlbauarbeiten	0	**40**	80	2	5	0,00	40,00	84,00	2,86	3,14	40,00
11	018	Abdichtungsarbeiten	0	**3**	6	2	5	0,00	3,00	6,30	2,86	3,14	3,00
12	020	Dachdeckungsarbeiten	2	**10**	18	2	5	1,96	10,00	18,90	2,85	3,15	10,00
13	021	Dachabdichtungsarbeiten	6	**15**	15	2	5	5,88	15,00	15,75	5,54	0,46	15,00
14	022	Klempnerarbeiten	6	**11**	16	2	5	5,88	11,00	16,80	2,81	3,19	11,00
15													
16	023	Putz- und Stuckarbeiten, Wärmedämmsysteme	39	**56**	77	2	5	38,22	56,00	80,85	2,50	3,50	56,00
17	024	Fließen- und Plattenarbeiten	16	**24**	32	2	5	15,68	24,00	33,60	2,79	3,21	24,00
18	025	Estricharbeiten	17	**21**	25	2	5	16,66	21,00	26,25	2,72	3,28	21,00
19	026	Fenster, Außentüren inkl. 029, 032	48	**48**	70	2	5	47,04	48,00	73,50	0,22	5,78	48,00
20	027	Tischlerarbeiten	35	**50**	50	2	5	34,30	50,00	52,50	5,18	0,82	50,00
21	028	Parkettarbeiten, Holzpflasterarbeiten	-	**5**	-	2	5	4,90	5,00	5,25	1,71	4,29	5,00
22	030	Rollladenarbeiten	6	**12**	19	2	5	5,88	12,00	19,95	2,61	3,39	12,00
23	031	Metallbauarbeiten inkl. 035	22	**41**	57	2	5	21,56	41,00	59,85	3,05	2,95	41,00
24	034	Maler- und Lackiererarbeiten inkl. 037	19	**32**	45	2	5	18,62	32,00	47,25	2,80	3,20	32,00
25	036	Bodenbelagarbeiten	10	**14**	18	2	5	9,80	14,00	18,90	2,77	3,23	14,00
26	038	Vorgehängte hinterlüftete Fassaden	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	039	Trockenbauarbeiten	30	**34**	37	2	5	29,40	34,00	38,85	2,92	3,08	34,00
28													
29	040	Wärmeversorgungsanl.- Betriebseinr. inkl. 041	29	**42**	56	2	5	28,42	42,00	58,80	2,68	3,32	42,00
30	042	Gas- und Wasserinstallation, Leistungen inkl. 043	23	**36**	36	2	5	22,54	36,00	37,80	5,29	0,71	36,00
31	044	Abwasserinstallationsarbeiten - Leitungen	22	**22**	29	2	5	21,56	22,00	30,45	0,30	5,70	22,00
32	045	GWA-Einrichtungsgegenstände inkl. 046	0	**8**	17	2	5	0,00	8,00	17,85	2,69	3,31	8,00
33	047	Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen	0	**5**	10	2	5	0,00	5,00	10,50	2,86	3,14	5,00
34	049	Feuerlöschanlagen, Feuerlöschgeräte	-	**1**	-	2	5	0,98	1,00	1,05	1,71	4,29	1,00
35	050	Blitzschutz- und Erdungsanlagen	-	**1**	2	2	5	0,98	1,00	2,10	0,11	5,89	1,00
36	052	Mittelspannungsanlagen	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	053	Niederspannungsanlagen inkl. 054	34	**40**	45	2	5	33,32	40,00	47,25	2,88	3,12	40,00
38	055	Ersatzstromversorgungsanlagen	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	057	Gebäudesystemtechnik	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	058	Leuchten und Lampen inkl. 059	0	**3**	6	2	5	0,00	3,00	6,30	2,86	3,14	3,00
41	060	Elektroakustische Anlagen, Sprechanlagen	0	**1**	1	2	5	0,00	1,00	1,05	5,71	0,29	1,00
42	061	Kommunikationsnetze, inkl. 062	0	**1**	3	2	5	0,00	1,00	3,15	1,90	4,10	1,00
43	063	Gefahrenmeldeanlagen	0	**0**	1	2	5	0,00	0,00	1,05	-	-	0,18
44	069	Aufzüge	0	**28**	56	2	5	0,00	28,00	58,80	2,86	3,14	28,00
45	070	Gebäudeautomation	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	075	Raumlufttechnische Anlagen	0	**4**	10	2	5	0,00	4,00	10,50	2,29	3,71	4,00

47		Parameter	m² BGF										Verteilung
			MIN	ERW	MAX								
48		Brutto-Grundfläche	4.030	4.050	4.070								4.050,00
49		**Gesamtkosten – Detailbetrachtung**											**3.985.908,75**

Tab. 9-21 Berechnungstabelle – Kostenberechnung – Detailbetrachtung

Für jene Leistungsbereiche, für die keine Kostenkennwerte vorliegen (z.B. LB 010 Drän- und Versickerungsarbeiten – Zeile 5), wurden auch keine eigenen Ansätze gewählt, da für das vorliegende Projekt keine Leistungen für diese Leistungsbereiche geplant sind. Werden auch Leistungen innerhalb dieser Leistungsbereiche erwartet, müssen eigene Ansätze getroffen werden. Es ist auch eine Anlehnung an andere Bauwerkskategorien lt. BKI möglich.

Bei jenen Kostenkennwerten bei denen nur ein Mittelwert in der BKI-Tabelle angegeben ist (LB 028 Parkettarbeiten, Holzpflasterarbeiten und LB 049 Feuerlöschanlagen, Feuerlöschgeräte – Zeilen 21 und 34), wurde mit den prozentuellen Anpassungswerten jeweils ein Minimum und Maximum (auf Basis des angegebenen Mittelwerts) errechnet und damit eine BetaGeneral-Verteilung generiert.

Bei Leistungsbereichen für die kein ‚von-Wert' aber ein Mittelwert und ein ‚bis-Wert' angegeben ist (LB 050 Blitzschutz- und Erdungsanlagen – Zeile 35), wird ebenfalls der Mittelwert um den angegebenen Prozentsatz abgemindert und der ‚bis-Wert' entsprechend erhöht. Damit ergeben sich wieder die drei erforderlichen Werte, mit denen die BetaGeneral-Verteilung definiert werden kann.

Beim Leistungsbereich 063 Gefahrenmeldeanlagen (Zeile 43) ist eine solche Vorgehensweise nicht möglich, da sowohl der Mittelwert als auch der ‚von-Wert' bei null liegen. Für diesen Kostenkennwert wird daher eine PERT-Verteilung (0 | 0 | 1 €/m² BGF) angesetzt.

Die Brutto-Grundfläche fließt wie bei der Grobbetrachtung als Dreiecksverteilung in die Berechnung der Gesamtkosten ein (siehe Zeile 48).[43] Die Gesamtkosten der Detailbetrachtung ergeben sich als Histogramm (siehe Abb. 9-42) in Zelle M49.

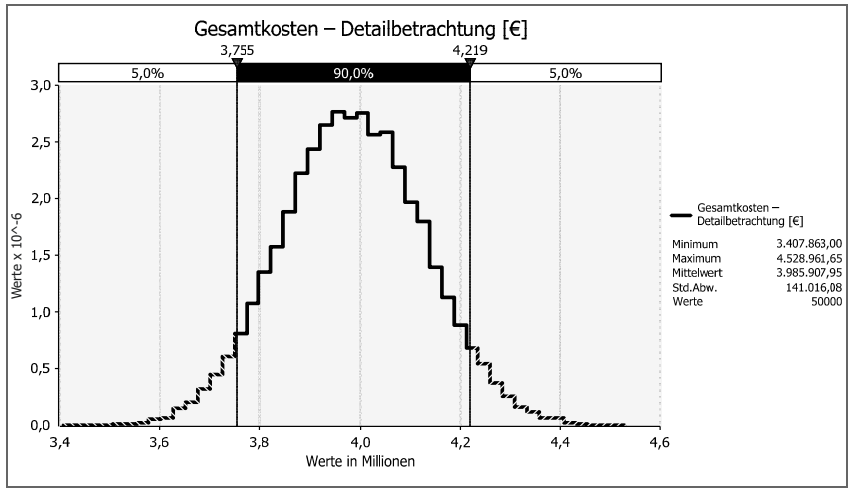


Abb. 9-42 Histogramm – Gesamtkosten – Detailbetrachtung[44]

Die Bandbreite der aus 50.000 Iterationen generierten Gesamtkostenverteilung erstreckt sich zwischen ca. 3,41 Mio. € und 4,53 Mio. €, wobei 90 % der Einzelergebnisse zwischen 3,76 Mio. € und 4,22 Mio. € liegen. Der Mittelwert des Histogramms beträgt ca. 3,99 Mio. €.

43) Es wird angenommen, dass die Brutto-Grundfläche auch für die Detailbetrachtung noch mit Unsicherheiten behaftet ist.

44) Die Berechnungen wurden inkl. 19,00 % MwSt. und ohne die Berücksichtigung von Regionalfaktoren durchgeführt.

Der Vergleich der Detail- und der Grobbetrachtung ist in Abb. 9-43 ersichtlich. Es zeigt sich, dass obwohl für die prozentuellen Anpassungen der Grenzen der Kostenkennwerte in der Detailbetrachtung durchwegs kleinere Werte als in der Grobbetrachtung angenommen wurden, die Bandbreite der Gesamtkosten für die Detailbetrachtung größer ist (siehe auch die Standardabweichungen als Maß der Streuung).

Dieser Umstand ergibt sich dadurch, dass für die angegebene Bauwerkskategorie (Mehrfamilienhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten, mittlerer Standard) die Summe der Mittelwerte aus den Leistungsbereichen der Detailbetrachtung zwar annähernd die Mittelwerte aus der Grobbetrachtung ergeben, die Summe der ‚von-bis-Werte' in der Detailbetrachtung aber eine größere Spannweite an möglichen Werten abbilden.

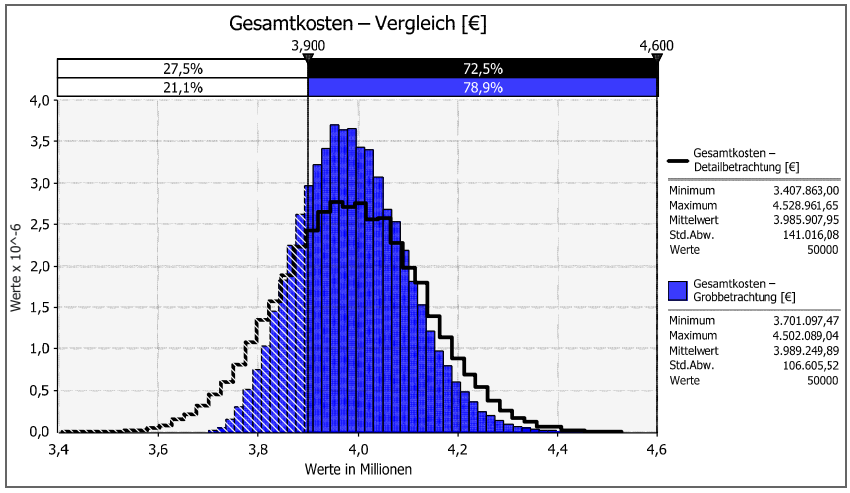


Abb. 9-43 Histogramme – Gesamtkosten – Grob- und Detailbetrachtung

Die Grobbetrachtung ist damit für eine erste Einschätzung sehr gut geeignet. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass eine Einschränkung der Bandbreite für die Gesamtkosten lediglich durch die Anwendung der BKI-Werte und einer detaillierteren Betrachtung noch nicht zwingend gegeben sein muss. Erst wenn die Qualitäten entsprechend eingeschätzt und damit die Kosten entsprechend eingegrenzt werden können ist auch mit einer Verringerung der Bandbreiten zu rechnen.

Für die angesetzten Inputparameter bzw. die gewählten Bandbreiten der Kostenkennwerte ergibt sich für die Detailbetrachtung bei einem angenommenen Budget von 3,90 Mio. € für die Leistungsbereiche Rohbau, Ausbau und technische Anlagen ein geringeres Risikopotenzial (72,5 %) als für die Grobbetrachtung (78,9 %). Um die Chance zu erhöhen, das Budget von 3,90 Mio. € einzuhalten, ist eine Verringerung der Qualitäten und/oder Quantitäten anzudenken. Sollte eine weitere Eingrenzung der Bandbreite erfolgen, ist eine weitere Festlegung von Qualitäten erforderlich. Zusätzlich können auch noch detailliertere Betrachtungen z.B. auf Ebene der Kostengruppen bzw. Bauelementen oder Positionen durchgeführt werden.

9.2.3.5 Nutzen für den AG

Die Ermittlung von Kosten ist für den AG im Zuge seiner Planung besonders wichtig, da die Kosten und die geforderten Qualitäten (und Quantitäten) in direktem Zusammenhang stehen. Durch einen iterativen Prozess sind die Anforderungen an das Bauwerk im Hinblick auf die zu erwartenden Kosten immer weiter zu detaillieren und zu konkretisieren.

Die gezeigte Systematik zur Berücksichtigung der Unsicherheiten mittels BetaGeneral- bzw. PERT-Verteilungen gibt dem AG die Möglichkeit, nicht für jeden Kostenkennwert einen deterministischen Wert wählen zu müssen, sondern jeweils Bandbreiten angeben zu können. Die Wahl eines deterministischen Werts erfolgt erst beim Gesamtergebnis (Gesamtkosten), wenn das spezifische Chancen-Risikoverhältnis für ein konkretes Budget ermittelt werden soll.

Der AG kann die Unsicherheiten, die zwangsläufig vorhanden sind, in seinen Ergebnissen abbilden und den weiteren Betrachtungen, Analysen und Planungsmaßnahmen zugrunde legen. Durch die Kostenkennwerte des BKI ist eine Datenbasis bzw. sind Richtwerte verfügbar, die je nach Erfordernis projektspezifisch angepasst oder auch durch eigene Kostenkennwerte ersetzt werden können.

Die Kostenberechnungen sind je nach Detaillierungsgrad der Planung weiter fortzuschreiben und entsprechend hinsichtlich der erwarteten Bandbreiten zu aktualisieren, um aktuelle Aussagen über die erwarteten Kosten und die damit verbundenen Unsicherheiten (in Form von Bandbreiten) treffen zu können.

9.3 Projektphase PPH 3

In der PPH 3 erfolgen die Ausführungsplanung und die Auftragsvergabe. Damit in Zusammenhang steht die Ermittlung des Kostenanschlags, der auf der Ebene der Leistungspositionen durchgeführt wird. Weiters erfolgt eine Analyse der Leistungsbeschreibung und die Berechnung der Bauzeit, die in weiterer Folge wesentlich das Produktionssystem der AN sowie die Zielerreichung für das Projekt beeinflusst.

9.3.1 Kostenanschlag

Die Ermittlung des Kostenanschlags ist der PPH 3 zuzuordnen und basiert idealerweise auf einer sehr weit fortgeschrittenen Ausführungsplanung (siehe Abb. 9-44).

Der Kostenanschlag dient dazu noch genauere Kenntnis über die zu erwartenden Kosten bzw. die zu erwartenden Angebotspreise zu erlangen und wird auf der Ebene der Leistungspositionen ermittelt.

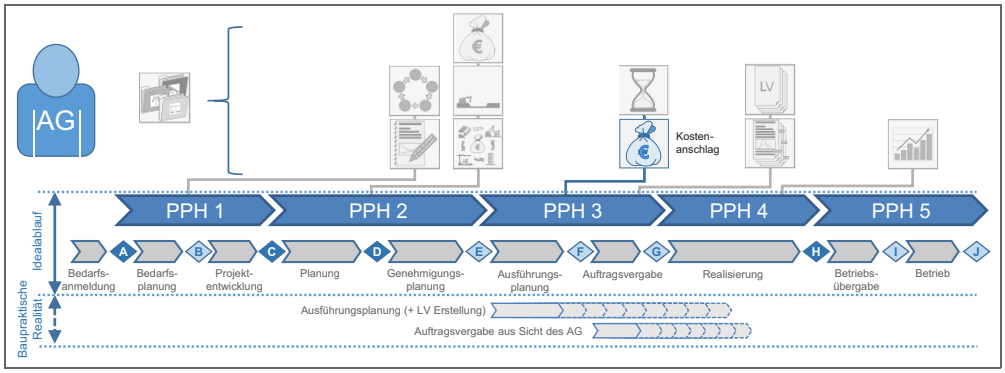


Abb. 9-44 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

9.3.1.1 Grundlagen

Beim Kostenanschlag handelt es sich um die Kostenermittlung vor der Ausgabe der Leistungsverzeichnisse. Er wird auf Basis der Ausführungsplanung, der Leistungsbeschreibung und des Ausführungsterminplans erarbeitet.

Der Kostenanschlag wird (ausführungsorientiert) auf der Gliederungsstufe der Leistungsposition erstellt und bildet die Ausführungsplanung und die Vorbereitung der Vergabe. Üblicherweise wird der Kostenanschlag vom beauftragten Planer respektive Ersteller der LVs für die Ausschreibung durch Eintrag von marktüblichen Preisen in die Leistungspositionen (Eigenauspreisung) durchgeführt, um noch vor Versand der LVs einen Vergleich mit früheren Kostenermittlungen (Budget des Vergabepakets) durchführen zu können und dem AG/Projektmanagement korrigierende Steuerungsmaßnahmen zu ermöglichen.[45)]

Der Kostenanschlag dient letztendlich auch dazu, die Art des Ausschreibungsverfahrens (Schwellenwerte bei öffentlichen Auftraggebern) festzulegen und nach der Angebotsöffnung, Preise der Bieter in einem ersten Schritt auf Plausibilität zu prüfen.

9.3.1.2 Aufgabenstellung

Nach der Erstellung des LVs werden die entsprechenden Positionen mit Preisen befüllt. Der AG ist in dieser Phase auf der Suche nach belastbaren Kosten- bzw. Preisinformationen zu den einzelnen Positionen. Die Bandbreiten der Preise hängen dabei von der Art und den Umständen der Leistungserbringung und nicht zuletzt von der Marktlage ab. Der AG kann auf Literaturangaben (z.B. statistische Kostenkennwerte für Positionen[46)]), eigene Erfahrungen und Analysen sowie Anfragen bei Bauunternehmen zurückgreifen, wird jedoch immer mit Unsicherheiten in seinen Annahmen konfrontiert sein.

Neben den Unsicherheiten bei den Einheitspreisen (bzw. bei den Anteilen Lohn und Sonstiges) wird die Aussagekraft des Kostenanschlags auch wesentlich von den Mengenunsicherheiten der Positionen bestimmt.

45) Vgl. Lechner/Heck (2011), S. 71f.

46) Vgl. Fetzer et al. (2016)

Durch den Ansatz von Verteilungsfunktionen für die Mengen und Preise ist die Abbildung der Unsicherheiten in Form von Bandbreiten und Wahrscheinlichkeitsaussagen für einzelne Positionen, Leistungsgruppen, Oberleistungsgruppen oder für das gesamte Bauvorhaben möglich.

Um den Aufwand vertretbar zu halten, sollte der Fokus um Unsicherheiten besonders auf jene Positionen gerichtet werden, die den größten Einfluss auf die Gesamtkosten ausüben (A-Positionen[47)] und wesentliche Positionen).

Zur Reduktion der Unsicherheiten sollte von Mischpreispositionen Abstand genommen werden, oder zumindest das erwartete Mengengefüge den Bietern offengelegt werden. Dadurch wird vermieden, dass Bieter eigene Annahmen (zu Angaben, die grundsätzlich vom AG zu machen sind) treffen müssen und bei Abweichungen von diesen Annahmen Mehrkostenforderungen stellen.

9.3.1.3 Modellierung

Für die Modellierung der Mengenunsicherheiten kann zumindest für die Stahlbeton- und Mauerwerksarbeiten auf die Ergebnisse der durchgeführten Expertenbefragung (siehe Abschnitt 7.2.2) zurückgegriffen werden.

Die Abbildung der Unsicherheiten für die Positionspreise kann nach der gleichen Systematik, wie sie für die Kostenschätzung bzw. -berechnung in Abschnitt 9.2.3.3 angewandt wurde, herangezogen werden.

Der schematische Ablauf der Berechnung ist in Abb. 9-45 dargestellt. Die Positionspreise können dabei wahlweise auch noch in die Anteile Lohn und Sonstiges aufgeteilt und damit detaillierter modelliert werden.

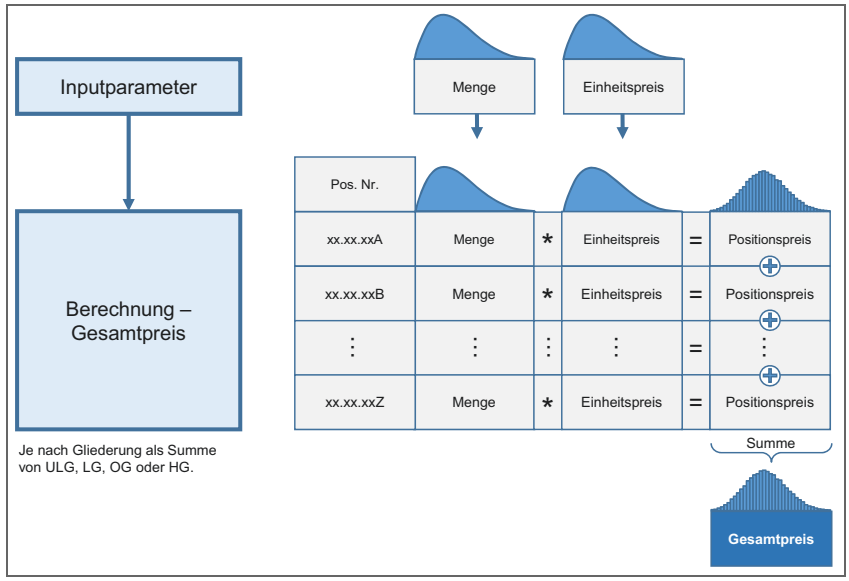


Abb. 9-45 Schematischer Ablauf – Kostenanschlag

47) Bezogen auf das Pareto-Prinzip handelt es sich dabei um jene 20 % der Positionen, die ca. 80 % des Gesamtpreises ausmachen.

9.3.1.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Da die Berechnung in ihren Grundzügen der Berechnung für die Kostenschätzung bzw. Kostenberechnung (siehe Abschnitt 9.2.3) entspricht, wird an dieser Stelle kein gesondertes Beispiel angeführt.

9.3.1.5 Nutzen für den AG

Durch die konsequente Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Berechnung des Kostenanschlags und den Einsatz von Monte-Carlo-Simulationen hat der AG bereits vor der Veröffentlichung der Ausschreibungsunterlagen einen Überblick der möglichen Bandbreiten der Angebotspreise. Die intensive Beschäftigung mit den möglichen Bandbreiten der Positionspreise bietet die Chance noch Korrekturen im Leistungsverzeichnis vorzunehmen (z.B. Aufgliederung von Mischpreispositionen in separate Positionen).

Zusätzlich können die Histogramme der Preise (sowohl auf der Ebene von einzelnen Positionen als auch auf den Ebenen von Leistungsgruppen, Oberleistungsgruppen etc.) in weiterer Folge für die Angebotsprüfung herangezogen werden, um zu beurteilen ob die Angebote der Bieter plausibel sind bzw. welche Chancen-Risikoverhältnisse sie mit ihren Preisen eingegangen sind.

9.3.2 Bauzeitermittlung

Die Bedeutung der Bauzeit und der Zusammenhang der vorgegebenen Bauzeit und den Herstellkosten wurde bereits in Kapitel 8 hervorgehoben. Es handelt sich dabei um eine wesentliche Vorgabe des AG, die den Einsatz der Produktionsfaktoren des AN beeinflusst. Die Ermittlung der Bauzeit kann durch unterschiedliche Verfahren und Kennzahlen erfolgen. Auch das BKI liefert in diesem Zusammenhang Richtwerte für die Bauzeitermittlung.

Die Berechnung der Bauzeit kann weiters über die Anzahl der Arbeitskräfte bzw. die Anzahl der Leitgeräte (im Hochbau z.B. Anzahl der Krane) erfolgen. Wesentlich ist dabei die Berücksichtigung der Anlaufphase, der Hauptbauzeit und der Auslaufphase für den Ressourceneinsatz. Ein Beispiel zur Ermittlung der Bauzeit über die Anzahl der einsetzbaren Krane bzw. der Anzahl an Arbeitskräften ist in 10.3.5 angeführt.

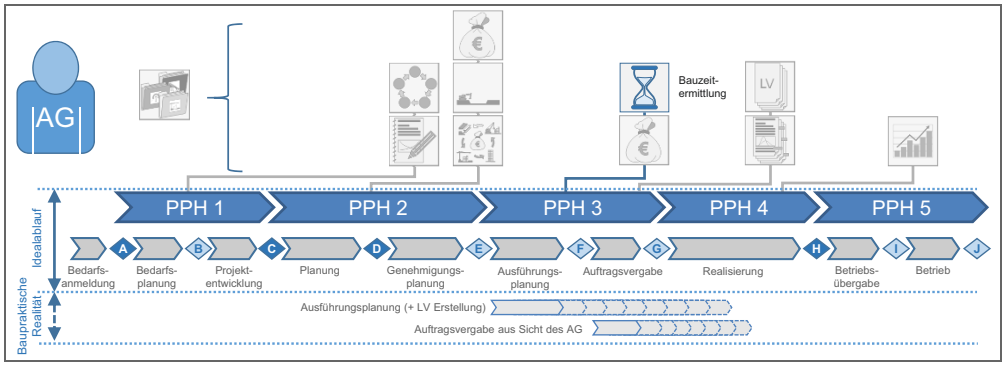


Abb. 9-46 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

Die Ermittlung der Bauzeit aus der Sicht des AG ist der PPH 3 zuzuordnen (siehe Abb. 9-46) und ist eine wesentliche Randbedingung für die Ausschreibungs- und Vertragsunterlagen.

9.3.2.1 Aufgabenstellung

Für ein Hochbauprojekt (Musiktheater Linz) wird die erforderliche Bauzeit für die Rohbauarbeiten anhand des erwarteten Brutto-Rauminhalts M_{BRI} [m³], der mittleren Anzahl an Arbeitskräften $ANZ_{AK,MW}$ [Std/h], der täglichen Arbeitszeit AZ [h/d] und des mittleren Aufwandswerts für die Rohbauarbeiten $AW_{RB,MW}$ [Std/m³] ermittelt.

Richtwerte für die Höhe des Aufwandswerts können dabei aus der Literatur, aus der Analyse bereits abgeschlossener Projekte oder auf Basis von Expertenangaben ermittelt werden.

Die Anzahl der Arbeitskräfte kann für den Hochbau z.B. über die Anzahl der zu installierenden Krane berechnet bzw. abgeschätzt werden (siehe dazu auch Abschnitt 10.3.5).

9.3.2.2 Modellierung

Das Berechnungsschema zur Ermittlung der Dauer der Rohbauarbeiten D_{RB} [d] ist in Abb. 9-47 dargestellt. Alle Inputparameter werden für das angeführte Beispiel als Dreiecksverteilungen angesetzt. Aus der mittleren Anzahl der Arbeitskräfte[48] $ANZ_{AK,MW}$ [Std/h], der täglichen Arbeitszeit AZ [h/d] und dem mittleren Aufwandswert für die Rohbauarbeiten $AW_{RB,MW}$ [Std/m³] ergibt sich im ersten Schritt die mittlere Leistung $L_{RB,MW}$ [m³/d]. Zur Berechnung der Dauer für die Rohbauarbeiten D_{RB} [d] wird der Brutto-Rauminhalt M_{BRI} [m³] durch diese berechnete Leistung dividiert.

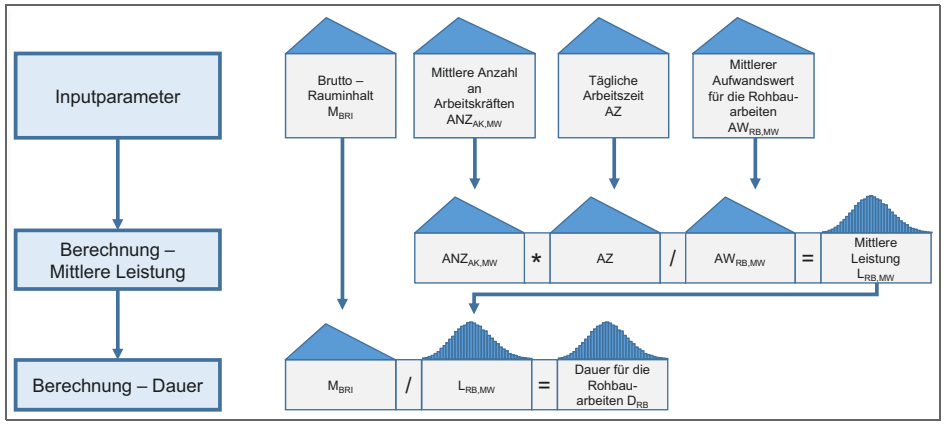


Abb. 9-47 Schematischer Ablauf – Bauzeitermittlung

[48] Die Anzahl der Arbeitskräfte (Maximalanzahl) ist im Hochbau maßgeblich abhängig von der Anzahl der eingesetzten Krane.

9.3.2.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die Berechnung der Dauer für die Rohbauarbeiten ist in Tab. 9-22 dargestellt. In den Spalten C, D und E sind für die unsicheren Inputparameter der minimale, erwartete und der maximale Wert zur Definition der Dreiecksverteilungen angeführt. Die Verteilungen selbst bzw. die Zwischen- und Endergebnisse sind in der Spalte G hinterlegt.

Der erwartete Brutto-Rauminhalt M_{BRI} für das Hochbauprojekt beträgt 289.860 m³. Je nachdem wie weit die Planung und Konkretisierung des Projekts fortgeschritten ist, handelt es sich beim Brutto-Rauminhalt entweder um einen deterministischen (fixen) Wert oder er ist noch mit Unsicherheiten behaftet. Für das Beispiel wird angenommen, dass der Brutto-Rauminhalt noch in gewissen (engen) Grenzen schwanken kann (Minimum: 289.750 m³; Maximum: 290.000 m³ – siehe Zeile 1 in Tab. 9-22.

Die mittlere Anzahl an Arbeitskräften $ANZ_{AK,MW}$ wurde ebenfalls als Dreiecksverteilung zwischen 65 und 80 Arbeitskräften (erwarteter Wert: 70 AK) definiert (siehe Zeile 2). Ebenso kann die tägliche Arbeitszeit AZ (Zeile 3) zwischen 8,00 und 10,00 h/d schwanken (erwarteter Wert: 9,00 h/d).

Ldf. Nr.	Berechnungsparameter		Einheit	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F	G
1	Brutto-Rauminhalt	M_{BRI}	m³	289.750,00	289.860,00	290.000,00	289.870,00
2	Mittlere Anzahl an Arbeitskräften	$ANZ_{AK,MW}$	Std/h	65,00	70,00	80,00	71,67
3	Tägliche Arbeitszeit	AZ	h/d	8,00	9,00	10,00	9,00
4	Mittlerer Aufwandswert für die Rohbauarbeiten	$AW_{RB,MW}$	Std/m³	0,70	0,80	1,00	0,83
5	Mittlere Leistung der Rohbauarbeiten	$L_{RB,MW}$	m³/d				774,00
6	Dauer der Rohbauarbeiten	D_{RB}	d				374,51

Tab. 9-22 Berechnungstabelle – Bauzeitermittlung

Der mittlere Aufwandswert für die Rohbauarbeiten $AW_{RB,MW}$ (Zeile 4) wurde für das Beispiel ebenfalls als Dreiecksverteilung angesetzt. Liegt jedoch entsprechendes Datenmaterial aus abgeschlossenen Projekten (inhaltlich abgegrenzt und z.B. in Bauwerkskategorien getrennt) oder Ergebnisse einer Expertenbefragung vor, kann dieses im Zuge eines Datenfittings in eine theoretische Verteilungsfunktion übergeführt und für die Berechnungen herangezogen werden.

Die mittlere Leistung der Rohbauarbeiten $L_{RB,MW}$ errechnet sich in Zelle G5 aus dem Produkt der Arbeitszeit und der mittleren Arbeitskräfteanzahl, dividiert durch den Aufwandswert für die Rohbauarbeiten.

Schließlich ergibt sich die Dauer der Rohbauarbeiten D_{RB} aus der Division des Brutto-Rauminhalts durch die mittlere Leistung in Zelle G6 als Histogramm (siehe Abb. 9-48).

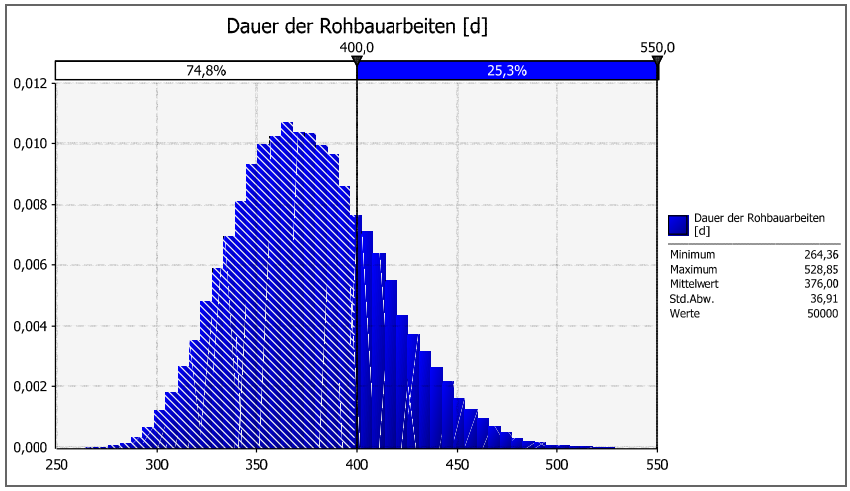


Abb. 9-48 Histogramm – Dauer der Rohbauarbeiten

Die Bandbreite der Dauer der Rohbauarbeiten liegt für das Beispiel nach 50.000 Iterationen zwischen 264 und 529 d. Der Mittelwert beträgt ca. 376 d und die Standardabweichung ca. 37 d.

Mit Hilfe des Ergebnisses der probabilistischen Berechnung kann der AG bei der Vorgabe einer Bauzeit direkt auf das damit verbundene Chancen-Risikoverhältnis in Bezug auf seine Annahmen für die Berechnung schließen. Für das gegenständliche Beispiel würde eine Bauzeit von 400 d einem Chancen-Risikoverhältnis von ca. 75 % (Chance) zu 25 % (Risiko) entsprechen.

Ziel des AG sollte es sein, die Bauzeit so vorzugeben, dass die Auftragnehmer ihre Produktionsfaktoren optimal einsetzen können. Damit wird das Potenzial für erforderliche Forcierungsmaßnahmen und evtl. geforderte Mehrkosten reduziert.

9.3.2.4 Nutzen für den AG

Die probabilistische Ermittlung der Bauzeit liefert dem AG ein anschauliches Bild (in Form eines Histogramms) über die Unsicherheiten, die mit der Vorgabe der Bauzeit verbunden sind. Der AG ist gut beraten, die Bauzeit nicht im unteren Spektrum der ermittelten Bandbreite anzusetzen, da damit ein erhöhtes Risiko, dass diese Bauzeit nicht eingehalten werden kann, verbunden ist.

Da es sich bei der Berechnung der Bauzeit über den Brutto-Rauminhalt um ein sehr grobes Verfahren handelt, kann es sinnvoll sein, zusätzlich noch einen prozentuellen Puffer auf die ermittelte Bauzeit aufzuschlagen.

Die ermittelte Bauzeit hängt natürlich direkt mit den Annahmen des AG zur Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte, zur täglichen Arbeitszeit und besonders zum Aufwandswert [Std/m³] zusammen. Werden die Bandbreiten bereits in der Modellierung sehr optimistisch angesetzt, ergibt sich dementsprechend auch für das Histogramm eine Bandbreite der Bauzeit, die im niedrigen Wertebereich angesiedelt ist. Die angesetzten Verteilungen für die Inputparameter sollten daher auf eine solide Datenbasis bzw. Expertenangaben aufbauen.

Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation können die Unsicherheiten in den Berechnungen systematisch berücksichtigt und mit der Interpretation der Ergebnisse die möglichen Streuungen dargestellt werden. Es wird damit eine Entscheidungsbasis, für eine letztendlich deterministisch vorzugebende Bauzeit geschaffen.

Die Bieter kennen die Annahmen des AG in Bezug auf die Bauzeitvorgaben nicht und führen auf Basis der Ausschreibungsunterlagen eigene Überlegungen zur Bauzeit durch. Sie werden ihrerseits Beurteilungen darüber treffen, ob die vorgegebene Bauzeit normal, zu kurz oder sogar zu lang ist und ihre Preisbildung und ihren geplanten Ressourceneinsatz darauf auslegen.

AG können mit den gewonnen Informationen über die zu erwartende Bauzeit und die zu erwartenden Streuungen weiterführende Überlegungen hinsichtlich der Nutzung (z.B. Vermietungen, Eröffnungen) und der damit verbundenen Chancen und Risiken anstellen.

9.3.3 Angebotsanalyse – Vertiefte Angebotsprüfung

Im Zuge einer konstruktiven Ausschreibung stellt das Leistungsverzeichnis für den Bieter und späteren AN die zentrale Grundlage für die Kalkulation und Preisbildung dar (jedoch immer in Zusammenschau mit den gesamten Ausschreibungsunterlagen). Es müssen alle Umstände der Leistungserbringung vom AG so beschrieben sein, dass der Bieter nach der Auslegungsregel des objektiven Erklärungswerts der Unterlagen sein Angebot erstellen kann.

Der AN hat dem gegenüber alle auf Grundlage der Ausschreibungsunterlagen zur Preisermittlung und Ausführung getroffenen Annahmen zu vertreten (Kalkulationsannahmen bzw. Kalkulationsrisiko), weiters alle auftragnehmerseitigen Dispositionen sowie das Risiko der von ihm gewählten Lieferanten und Subunternehmer.

Der AG erstellt also i.d.R. die Leistungsbeschreibung und der Bieter kalkuliert sein Angebot und trifft dazu seine Annahmen. Vermischt der AG beispielsweise mehrere Leistungen für unterschiedliche Bauteile, Gewerke, Bodenarten, Stabstahldurchmesser etc. in einer Position und werden die Kalkulationsgrundlagen dieser Mischpositionen nicht offengelegt, ist der Bieter gezwungen, freie Kalkulationsannahmen zu treffen, um seine Kalkulation überhaupt durchführen zu können.

Ändert sich das Mischungsverhältnis innerhalb der in einer Position ausgeschriebenen Leistung gegenüber den kalkulatorischen Annahmen des Bieters, führt dies zu einem geänderten Preisgefüge und es kann zu Mehr- oder Minderkosten gegenüber dem Angebotspreis kommen.

Die konstruktive Leistungsbeschreibung stellt die wesentliche Grundlage für die Kalkulation und Preisbildung des AN dar. Bezogen auf die geplanten Bauarbeiten bedeutet dies, dass die Angaben danach einzuschätzen bzw. auszulegen sind, wie die Erklärungen in den Ausschreibungsunterlagen bei objektiver Beurteilung der Sachlage vom Bieter zu verstehen sind. Demnach darf ein Bieter bzw. Kalkulant auf die ihm zur Verfügung gestellten Unterlagen vertrauen und wird diese samt den damit bekannt gegebenen und zu erwartenden Umständen der Leistungserbringung in seine Kalkulation und Preisbildung einfließen lassen.

Möchte der AG das Ergebnis vermeiden, dass der Bieter selbst z.B. einen mittleren Stabdurchmesser für die Stabbewehrung ermittelt und als Kalkulationsgrundlage heranzieht, muss er in seinen Ausschreibungsunterlagen einen mittleren Stabdurchmesser vorgeben. Gleiches gilt etwa für die Biegeformverteilung sowie für die Bewehrungsgrade

einzelner Bauteile. Obwohl der AG erwarten kann, dass der Bieter nicht ‚blind' auf die Angaben im LV vertraut, muss der Bieter nur ganz offensichtliche Unvollständigkeiten erkennen und davor warnen.

Bei einem Einheitspreisvertrag folgen mit den Einheitspreisen und den Mengen die Positionspreise, die aufsummiert zum Gesamtpreis führen. Nicht nur ein deutlich niedrigerer Gesamtpreis kann auf eine Spekulation hindeuten, sondern auch höhere Bieterangebote können spekulative Elemente enthalten. Ist bei Einheitspreisverträgen eine vertiefte Angebotsprüfung durchzuführen, wird nachfolgend gezeigt, wie Einheitspreise systematisch geprüft werden können.

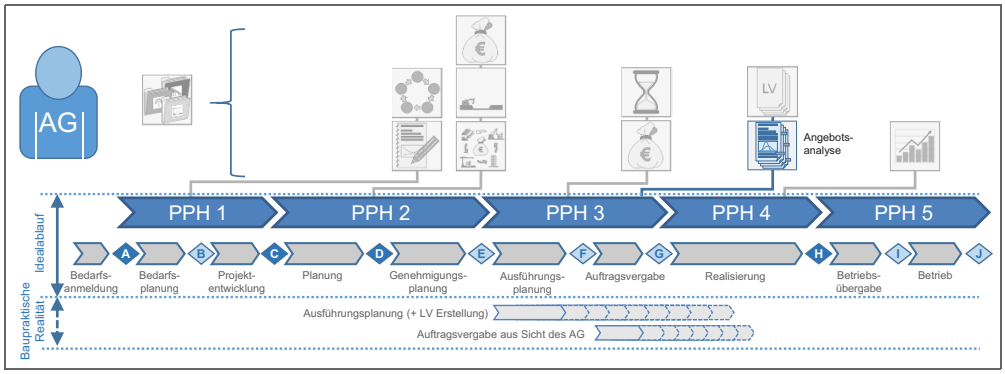


Abb. 9-49 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

Die Angebotsanalyse bzw. die vertiefte Angebotsprüfung ist dem Ende der PPH 3 zuzuordnen. Sie stellt in der Regel den letzten Schritt zur Auftragsvergabe dar. (siehe Abb. 9-49).

9.3.3.1 Grundlagen

Oberndorfer/Jodl bezeichnen im Handwörterbuch der Bauwirtschaft einen angemessenen Preis für Bauleistungen im Wettbewerb als jenen, „[...] der sich innerhalb einer Bandbreite der Kostendeckung bewegt. Der angemessene Preis liegt demnach in einer Bandbreite zwischen einem Unterpreis und einem überhöhten Preis"[49].

Heiermann/Riedl/Rusam et al. stellen im Handkommentar zur VOB fest, dass die Angemessenheit der Preise dann erreicht wird, wenn „[...] unter Berücksichtigung rationellen Baubetriebs und sparsamer Wirtschaftsführung eine einwandfreie Ausführung einschließlich Haftung für Mängelansprüche erwarten lassen"[50].

Es gilt zu beachten, dass es den Bietern grundsätzlich frei steht, wie sie ihren Preis gestalten. Die Zusammensetzung des Gesamtpreises muss aber jedenfalls plausibel sein. Aufgrund unterschiedlicher Leistungswerte oder Einschätzungen zur Produktivität oder Einsatz innovativer Bauverfahren der Bieter können Kalkulationsansätze deutlich voneinander abweichen.

Selbst nicht kostendeckende Angebotspreise können sich aus Markteinführungsüberlegungen oder wegen großen Interesses zur Erlangung von Referenzprojekten oder zur

[49] Oberndorfer/Jodl et al. (2001), S. 121

[50] Heiermann/Riedl/Rusam et al. (2003), S. 67

Auslastung eines Unternehmens erklären. Eine Gefährdung der Liquidität des Unternehmens durch den ungewöhnlich niedrigen Preis darf dabei jedoch nicht gegeben sein, weil dies im Widerspruch zum Gebot der betriebswirtschaftlichen Erklärbarkeit der Preise stünde. Somit können auch nicht kostendeckende Angebote eine plausible Zusammensetzung des Gesamtpreises aufweisen und sind daher nicht schon von vornherein auszuscheiden.

Nicht nur ein deutlich niedrigerer Gesamtpreis kann ein Indiz für Spekulation sein, auch höhere Bieterangebote können spekulative Elemente enthalten. In diesem Zusammenhang darf nicht übersehen werden, dass sich hohe und niedrige Einheitspreise im Gesamtpreis kompensieren können.

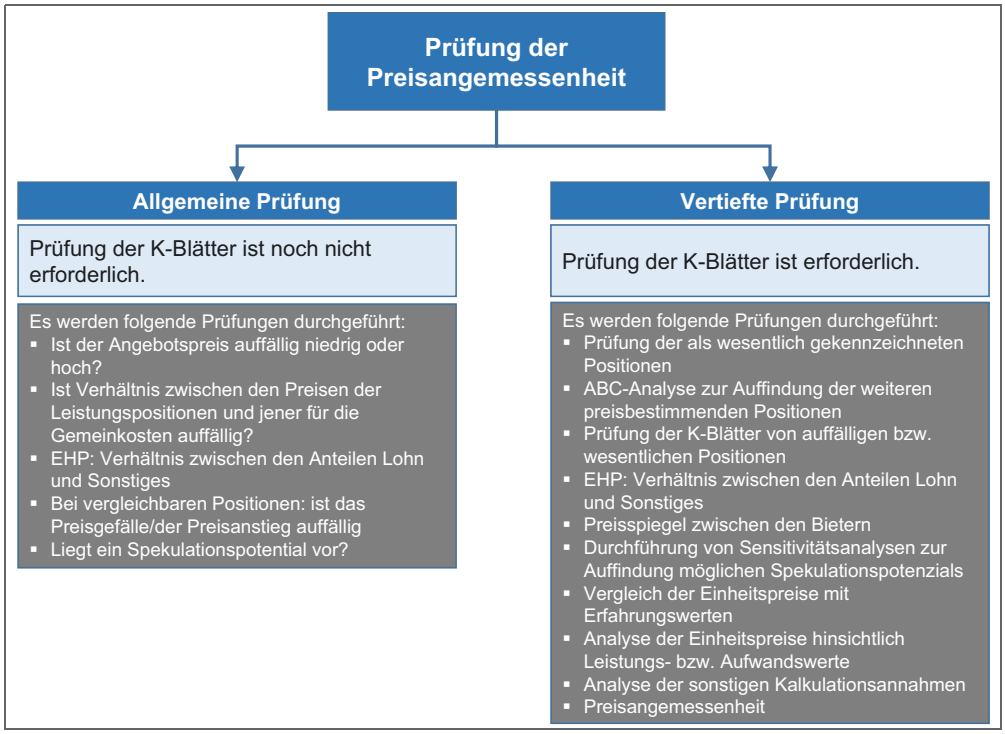


Abb. 9-50 Prüfung der Preisangemessenheit für Auftraggeber der öffentlichen Hand

Zumindest abgedeckt sein sollten die primären ausgabenwirksamen Kosten, wie Löhne, Gehälter, Materialien, Gerätereparaturen und Fremdleistungen. Dabei handelt es sich um größtenteils variable Kosten, die auf jeden Fall anfallen und die nicht über andere Leistungen oder Baustellen verdient werden können. Ein Unterpreis liegt regelmäßig unter den variablen Kosten. Fixe Kosten, wie Abschreibung und Verzinsung von Geräten, Gemeinkosten oder Wagnis und Gewinn, können auch über andere Leistungspositionen oder andere Baustellen verdient werden.

Es ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob eine allgemeine oder eine vertiefte Angebotsprüfung durchgeführt wird (siehe Abb. 9-50).

Im Zuge der Prüfung von Preiskomponenten und Preisgrundlagen (Beispiele siehe in Abb. 9-51) werden Kalkulationsformblätter analysiert.

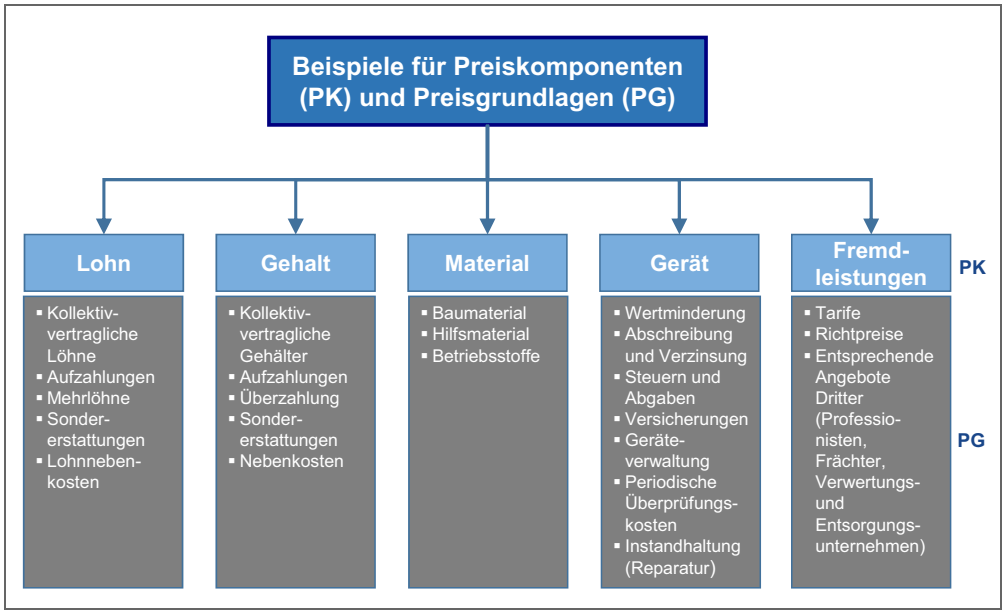


Abb. 9-51 Unterscheidung in Preisgrundlagen (PG) und Preiskomponenten (PK)

Kalkulationsformblätter (K-Blätter)

Um die Form der Kalkulation in Österreich zu standardisieren, werden Kalkulationsformblätter eingesetzt, welche bei Aufträgen der öffentlichen Hand zwingend erforderlich sind. Den K-Blättern kommt hinsichtlich der Ermittlung der Preisgrundlagen erhebliche Bedeutung zu. Die normgemäße Ausarbeitung der K-Blätter erleichtert die Darstellung der Preisgrundlagen im Zusammenhang mit der Angebotsprüfung und in weiterer Folge von Mehrkostenforderungen. Es empfiehlt sich schon bei Projektstart zwischen AG und AN über die Preisgrundlagen Einvernehmen herzustellen.

Der Ablauf der Angebotsprüfung bei Einheitspreisverträgen wird anhand von Ablaufdiagrammen zunächst allgemein und dann für die vertiefte Prüfung einzelner Positionen dargestellt und beschrieben.

Ablaufdiagramm zur Angebotsprüfung

In Abb. 9-52 ist das Diagramm zum allgemeinen Ablauf der Angebotsprüfung bei Vorliegen von Einheitspreisverträgen dargestellt.

Nach Abgabe der Angebote durch die Bieter und nach Ablauf der Angebotsfrist sind zunächst die verspätet eingetroffenen Angebote auszuscheiden. Wurde ein Vadium verlangt, muss der Nachweis über den Eingang zum Zeitpunkt der Angebotsöffnung vorliegen. Ist dies nicht der Fall, ist das Angebot ebenfalls auszuscheiden.

In einem weiteren Schritt ist die Eignung der Bieter, die formale und rechnerische Richtigkeit sowie die Vollständigkeit und Fehlerfreiheit der Angebote zu prüfen. Ein weiterer Grund für das Ausscheiden von Angeboten ist der Verstoß gegen die guten Sitten oder gegen den Grundsatz des Wettbewerbs durch verstoßende Abreden.

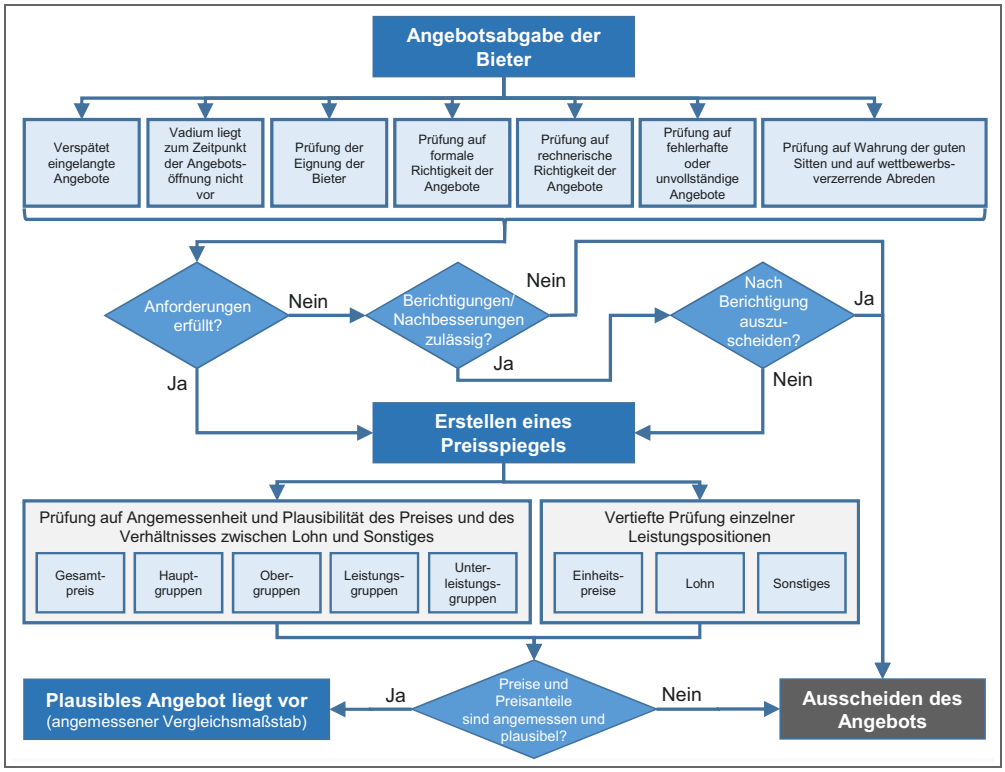


Abb. 9-52 Allgemeiner Ablauf zur Angebotsprüfung (beispielhaft für Prüfungen in Österreich)

Sind diese grundsätzlichen Anforderungen erfüllt, kann mit der Erstellung eines Preisspiegels sowie der weiteren Prüfung der Angebote fortgefahren werden. Werden die Anforderungen nicht erfüllt, können einzelne Berichtigungen und Nachbesserungen (insbesondere bei rechnerisch fehlerhaften Angeboten) zulässig sein, die aber auch nach diesen Berichtigungen noch zum direkten Ausscheiden von Angeboten führen können.[51)]

Im weiteren Vorgehen ist die Angemessenheit und Plausibilität der Preise und der Verhältnisse zwischen den Anteilen Lohn und Sonstiges – projektspezifisch – auf unterschiedlichen Ebenen des Leistungsverzeichnisses zu prüfen. Die Ebenen der Prüfung sind durch die Strukturierung des Leistungsverzeichnisses vorgegeben. Es wird dabei vom Groben ins Detail (Gesamtpreis bis zu Unterleistungsgruppen) vorgegangen.

Die detaillierteste Stufe der Angebotsprüfung stellt die vertiefte Prüfung einzelner Leistungspositionen dar, wobei hier zunächst der Einheitspreis und in weiterer Folge die Anteile Lohn und Sonstiges auf Angemessenheit und Plausibilität geprüft werden.

Werden alle Preise und Preisanteile – gegebenenfalls nach entsprechender Aufklärung durch die Bieter – als angemessen und plausibel befunden, liegen vergleichbare und plausible Angebote vor, die für die Vergabe herangezogen werden können.

[51)] z.B. wenn die Summe der Absolutbeträge aller Berichtigungen 2 % oder mehr des ursprünglichen Gesamtpreises (ohne Umsatzsteuer) beträgt. Vgl. BVergG

9.3.3.1.1 Ablaufdiagramm zur Prüfung von Einheitspreisen

Anschaulich wird anhand der nachfolgenden Ablaufdiagramme gezeigt, wie die vertiefte Angebotsprüfung von Einheitspreisen systematisch durchgeführt werden kann.

Welche Einheitspreise zu prüfen sind, ergibt sich aus dem Umstand, ob es sich um wesentliche Positionen handelt oder ob begründete Zweifel an der Angemessenheit der Preise (zu hoch oder zu niedrig) bestehen bzw. ob es weitere Gründe für eine vertiefte Angebotsprüfung gibt. Weiters sind auch die, anhand der ABC-Analyse, ermittelten kostenbestimmenden Positionen vertieft zu prüfen.

Als erstes wird der Einheitspreis insgesamt betrachtet, ob er angemessen und plausibel zur beschriebenen Leistung erscheint, oder ob er zu niedrig bzw. zu hoch ist.

Ausgehend von den angebotenen Preisen im LV werden die Anteile Lohn und Sonstiges bzw. die Einheitspreise je Position herangezogen. Es gilt dabei zunächst zu klären, ob die Prüfung der Angebotspreise auf Plausibilität überhaupt bzw. für welche Positionen diese Prüfung tatsächlich durchgeführt wird. Für unwesentliche bzw. C-Positionen wird eine vertiefte Angebotsprüfung im Bezug auf den Gesamtauftrag unerheblich sein und auch auf den Gesamtpreis wenig Einfluss haben.

C-Positionen können nur bei (sehr unwahrscheinlichen) massiven Mengenmehrungen einen bedeutenden Einfluss auf den Gesamtpreis der Bauleistung haben. Bei der vertieften Angebotsprüfung der Preisanteile ist das Augenmerk sowohl auf zu hohe als auch auf zu niedrige Einheitspreise zu richten. Damit soll der AG geschützt werden, dass er die Leistungen zu überhöhten Preisen vergibt und der Bieter bzw. spätere AN soll davor geschützt werden, dass er den Auftrag zu unangemessen niedrigen Preisen erhält.

Wird eine Prüfung der Einheitspreise durchgeführt, ist in die Anteile Lohn und Sonstiges zu differenzieren. Es gilt in einem ersten Schritt zu überprüfen, ob das Verhältnis zwischen Lohn und Sonstigem angemessen und plausibel erscheint. Wenn beispielsweise bei lohnintensiven Tätigkeiten der Anteil Lohn nur einen sehr geringen Prozentsatz am Einheitspreis ausmacht, ist die Plausibilität des Verhältnisses in jedem Fall in Frage zu stellen und gegebenenfalls in einem Aufklärungsgespräch mit dem Bieter näher zu erörtern.

Weiters sind die Anteile für Lohn (Mittellohnpreis und Aufwandswert) sowie die Anteile für Sonstiges (Material- und Gerätepreis) einer vertieften Prüfung zu unterziehen.

Wenn beispielsweise Anteile aus dem Anteil Lohn durch die Kalkulation von Subunternehmerleistungen in den Anteil Sonstiges der betreffenden Position verschoben wurden, oder zumindest vom Bieter so argumentiert wird, liegt im Sinne der ÖNORM B 2061:2009 keine verursachungsgerechte Kalkulation vor. Das Angebot müsste demnach ausgeschieden werden.

9.3.3.1.2 Prüfung Anteil Lohn

Der Prüfung des Anteils Lohn (Ablaufschema siehe Abb. 9-53) kommt besonders bei lohnintensiven Tätigkeiten eine hohe Bedeutung zu. Insbesondere kann bei offengelegtem K3-Blatt mittels Division des Lohnanteils durch den Mittellohnpreis der Aufwandswert, welcher der Position zugrunde gelegt wurde, erhoben werden. Ergeben sich aus diesen rechnerisch ermittelten Aufwandswerten sehr niedrige Lohnstundenansätze pro Einheit [Std/MEH], kann dies ein Indiz für Lohn- und/oder Sozialdumping bzw. für die Einrechnung von Preisanteilen in eine andere Position darstellen.

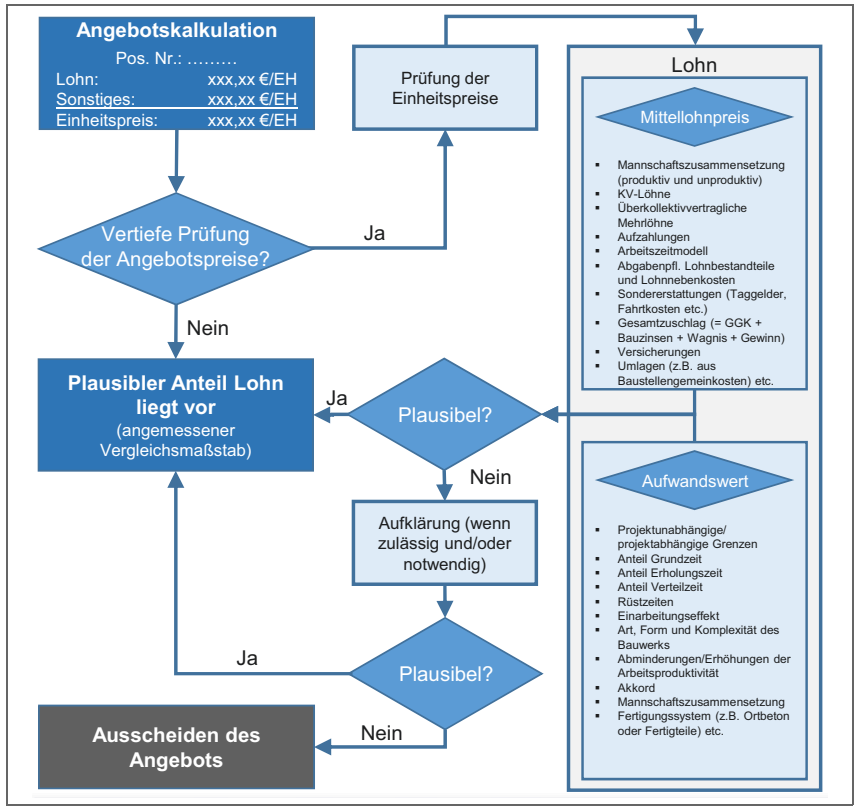


Abb. 9-53 Plausibilitätsprüfung von Preisen bei Einheitspreisverträgen – Anteil Lohn

Dies begründet sich dadurch, dass das Arbeitspotenzial des produktiven Bauarbeiters ausgeschöpft zu sein scheint. Kollektivverträge sind einheitlich geregelt und mit klaren Grenzen vorgegeben. Einer Steigerung der Produktivität bei der Ausführung von Bauleistungen sind physische, arbeitsrechtliche, baubetriebliche, technologische, umfeldspezifische und fertigungstechnische Grenzen gesetzt. Die Belastungsgrenzen für die Arbeitskräfte (Normalleistung) sind mittlerweile ausreichend gut erforscht.

Für die Ausführung von arbeitsintensiven Tätigkeiten gibt es für Aufwandswerte damit ablaufbedingte und technologische Untergrenzen, die nicht unterschritten werden können und durch Einflüsse von Witterung, Umwelt, Qualität und Quantität, Umfeld, Art, Form und Komplexität des Bauvorhabens projektspezifisch höher als diese Untergrenzen ausfallen werden.

Ergeben sich Aufwandswerte, die weit unter der Untergrenze möglicher Aufwandswerte liegen, ist entweder der Mittellohnpreis nicht richtig eingerechnet worden, oder dieser muss hinsichtlich der Plausibilität gesondert geprüft werden. Es ist weiters auch möglich, dass Lohnanteile in den Anteil Sonstiges eingerechnet wurden (z.B. bei Vergabe an Subunternehmer des Bieters).

Sind einzelne Anteile des Einheitspreises nicht plausibel, kann vom Bieter (sofern dies zulässig und/oder notwendig ist), eine Aufklärung zu seinem Angebot gefordert werden. Erscheinen die Komponenten der Einheitspreise nach einer derartigen Aufklärung noch immer nicht plausibel, ist das Angebot auszuscheiden. Liegen nach bzw. vor den Aufklä-

rungsgesprächen plausible Einheitspreise vor, können diese mit anderen Angeboten verglichen und schließlich dem besten/billigsten Angebot der Zuschlag erteilt werden.

9.3.3.1.3 Anteil Sonstiges

Der Anteil Sonstiges wird aus den Geräte- und Materialpreisen gebildet. Es ist zu prüfen (Ablaufschema siehe Abb. 9-54), ob das Verhältnis zwischen den beiden wesentlichen Komponenten eine übliche Verteilung darstellt oder ob eine Verzerrung in eine Richtung festzustellen ist.

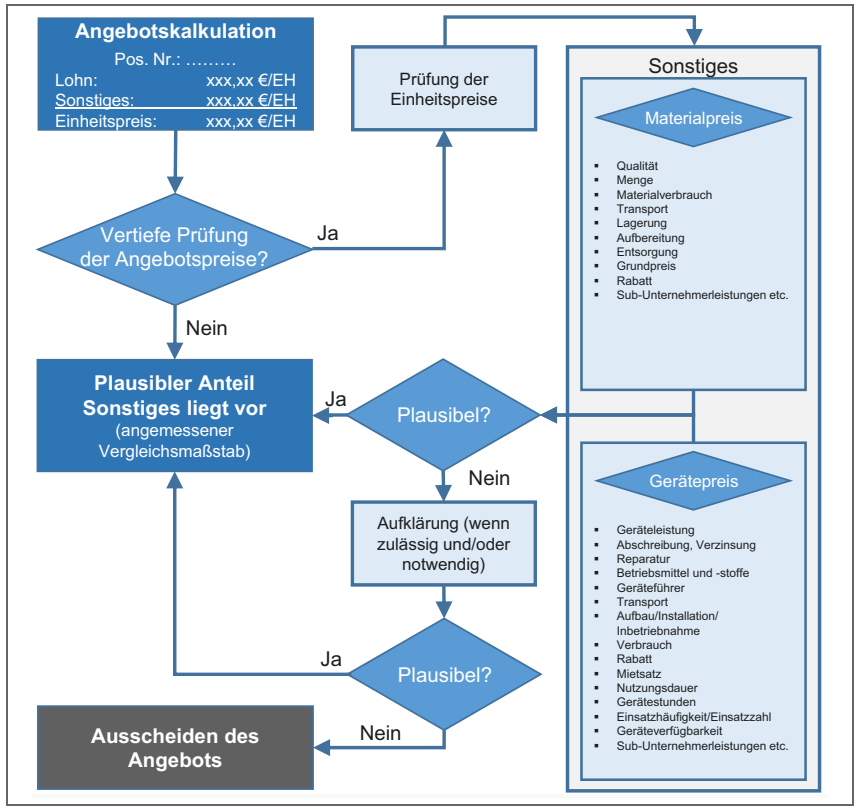


Abb. 9-54 Plausibilitätsprüfung von Preisen bei Einheitspreisverträgen – Anteil Sonstiges

Plausibilitätsprüfung für Gerätepreise

Die Gerätepreise werden maßgeblich von den Geräte- und Bedienungskosten (Maschinist) bestimmt. Weiters ist zu untersuchen, ob noch zusätzliche Mannschaft(en) im Umfeld des Geräteeinsatzes benötigt werden. Jede geräteintensive Leistung benötigt eine bestimmte Anzahl an Gerätestunden. Diese Gerätestunden werden von einzelnen Geräten und/oder Geräteketten aufgewendet. Für die Ausführung von geräteintensiven Tätigkeiten gibt es für die technische Nutzleistungen ablaufbedingte und technologische Untergrenzen, die nicht unterschritten werden können und durch Einflüsse von Witterung, Umwelt, Qualität und Quantität, Umfeld, Art, Form und Komplexität des Bauvorhabens projektspezifisch wesentlich bestimmt werden.

Werden zur Plausibilitätskontrolle für die Abschreibung und Verzinsung von Geräten ÖBGL-Werte bzw. BGL-Werte herangezogen, sind diese Werte entsprechend abzumindern, da diese überhöhte Durchschnittswerte darstellen, die auf den Einzelfall nicht zutreffen müssen.

Dieser Umstand wird durch folgendes Zitat aus *Kropik/Krammer* zur Abminderung der Sätze für Abschreibung und Verzinsung untermauert: „In der kalkulatorischen Praxis werden die Werte der ÖBGL für Abschreibung und Verzinsung in der Regel abgemindert. Die Höhe der Abminderung ergibt sich aus der Differenz der betriebswirtschaftlichen Abschreibung zur steuerlichen Abschreibung und berücksichtigt die in der Praxis meist höhere Lebensdauer der Geräte gegenüber den Werten der ÖBGL. Im Normalfall liegt der Abminderungsfaktor für ÖBGL-Werte zirka zwischen 0,40 und 0,80.“[52)]

Plausibilitätsprüfung für Materialpreise

Im Zuge der Prüfung der Materialpreise wird untersucht, ob die Material-, Transport-, Lager-, Umschlags- und Überwachungsanteile berücksichtigt wurden. Weiters wird auch die marktübliche Rabattierung geprüft.

9.3.3.2 Aufgabenstellung

Im Zuge der vertieften Angebotsprüfung ist zu prüfen, ob der angebotene Einheitspreis des Bestbieters als plausibel und angemessen einzustufen ist. Der Auszug aus dem Leistungsverzeichnis mit der Bewehrungsposition ist in Abb. 9-55 dargestellt (vereinfacht und anonymisiert).

Pos.Nr.	Positionstext *Menge* *EH* *Preisanteile* *Positionspreis*			
01 xx xx	Bewehrung Ständige Vorbemerkungen 1. Technische Vertragsbedingungen Die Technischen Vertragsbedingungen RVS 08.06.02 sind einzuhalten.			
01 xx xx xx	Betonstahl der Sorte Bx für schlaffe Bewehrung liefern, schneiden, biegen und verlegen. Der Einheitspreis gilt ohne Unterschied der Durchmesser bzw. Formate und für alle plangemäß erforderlichen Längen sowie erforderlichenfalls auch für Rundstahl der Stahlsorte S235. Die Leistung beinhaltet auch: • das sachgemäße Lagern, • alle erforderlichen Zwischentransporte einschließlich Auf- und Abladen, • den Zutransport zur Einbaustelle, • das Liefern des Bindedrahtes und der Abstandhalter zur Schalung, • das Schweißen der Unterstellungen von Spanngliedern sowie die Aufwendungen für die erhöhte Genauigkeit dieser Unterstellungen. Gesondert vergütet wird: • die Mehrkosten für Stäbe mit einer Länge größer 14 m. Verrechnet wird: • das theoretische Gewicht der Bewehrung, der Unterstellung (Z-Eisen, Distanzstreifen udgl.) und Aussteifungen nach den genehmigten Plänen ohne Verschnitt.			
01 xx xx xxA	**Betonstahl B550B** LT 1 Betonstahl B550B gemäß ÖNORM B 4707.			
		Lohn:	160,00 €/t	
		Sonstiges:	540,00 €/t	
	3.500,00 t	Einheitspreis:	700,00 €/t	2.450.000,00 €

Abb. 9-55 Auszug aus dem Leistungsverzeichnis des zu prüfenden Angebots

[52)] Kropik/Krammer (1999), S. 239f.

Der Einheitspreis mit 700 €/t setzt sich aus den Anteilen Lohn und Sonstiges zusammen. Es handelt sich dabei um ein Ingenieurbauwerk (Kategorie ‚Ingenieurbau'), für das ausschließlich Stabstahl ausgeschrieben wurde. Da es für die unterschiedlichen Bauteilgruppen keine eigenen Positionen gab, gilt der Mischpreis unabhängig von der Bauteilart.

Weiters ist aus dem Angebot (K3-Blatt) ersichtlich, dass der Mittellohnpreis mit 40 €/Std angesetzt wurde.

9.3.3.3 Modellierung

Anhand des vorliegenden Auszugs aus dem LV ist ersichtlich, dass es sich um eine Mischpreiskalkulation handelt. Auf den ersten Blick erscheint der Einheitspreis als auffällig niedrig. In weiterer Folge können aufgrund der Aufschlüsselung die Anteile Lohn und Sonstiges vertieft geprüft werden. Der Anteil Lohn [€/t] folgt aus dem Produkt des Aufwandswerts [Std/t] und des Mittellohnpreises [€/Std]. Aus der Division des Anteils Lohn [€/t] durch den, dem Angebot zugrundeliegenden Mittellohnpreis in der Höhe von 40 €/Std, wird der dazugehörige Aufwandswert mit 4 Std/t berechnet (siehe Abb. 9-56).

In weiterer Folge gilt es zu beantworten, ob mit diesem Mischaufwandswert die Ausführung der Bewehrungsarbeiten baubetrieblich überhaupt möglich ist. Dazu ist eine baupraktische Bandbreite zu ermitteln, anhand derer festgestellt werden kann, ob der ermittelte Aufwandswert überhaupt erzielbar ist.

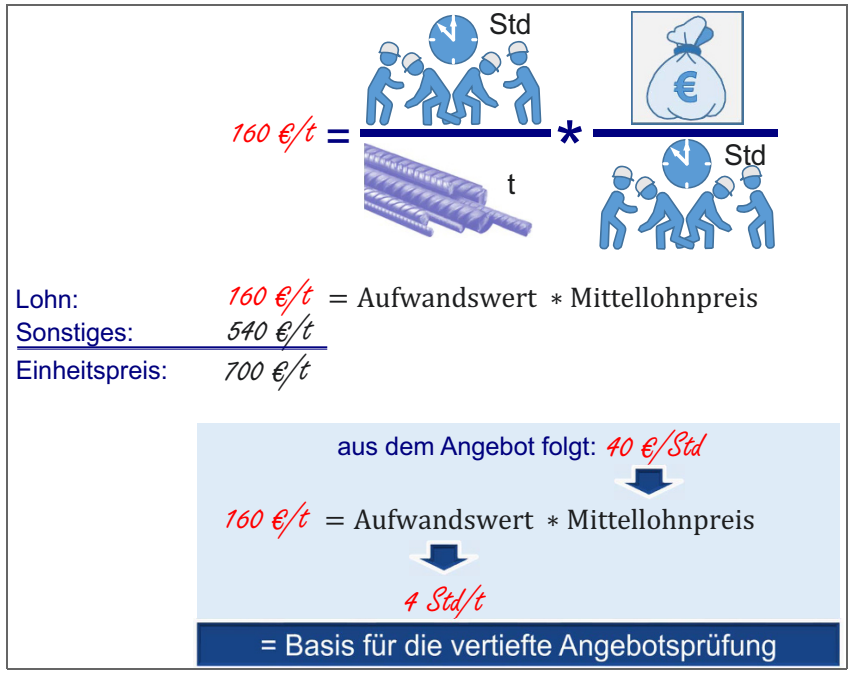


Abb. 9-56 Berechnung des Aufwandswerts aus dem Anteil Lohn

Um eine repräsentative Vergleichsbasis für die vertiefte Prüfung zu erzielen, sind in der Praxis anerkannte Werte aus der Fachliteratur heranzuziehen (oder Vergleichswerte aus Baustellenerhebungen bzw. Nachkalkulationen). Da es sich bei dem Beispielprojekt um

ein Bauwerk der Kategorie Ingenieurbau handelt, werden dafür die spezifischen Kaliberverteilungen, Biegeformverteilungen und Aufwandswerte herangezogen.

Diese deterministischen Werte werden für die Analyse mit Bandbreiten versehen, um ein haltbares Ergebnis für die Streuung der Vergleichs-Aufwandswerte zu erhalten.

Als unsichere Inputparameter werden die Mengenanteile der Kaliber, die Biegeformanteile sowie die Aufwandswerte je Kaliber und Biegeform definiert. In Abb. 9-57 sind neben dem schematischen Ablauf der Berechnungen auch die entsprechenden Verteilungsfunktionen qualitativ dargestellt. Der Mittellohnpreis wird im Berechnungsmodell als deterministischer Wert berücksichtigt (folgt aus dem Angebot mit 40 €/Std).

Die Mengen- und die Biegeformanteile müssen jeweils auf 100 % normiert werden, damit es in der Simulation zu keiner Über- oder Unterschreitung der ausgeschriebenen Bewehrungsmenge kommt (Menge für die vertiefte Angebotsprüfung = Mengenvordersatz aus dem LV mit 3.500 t).

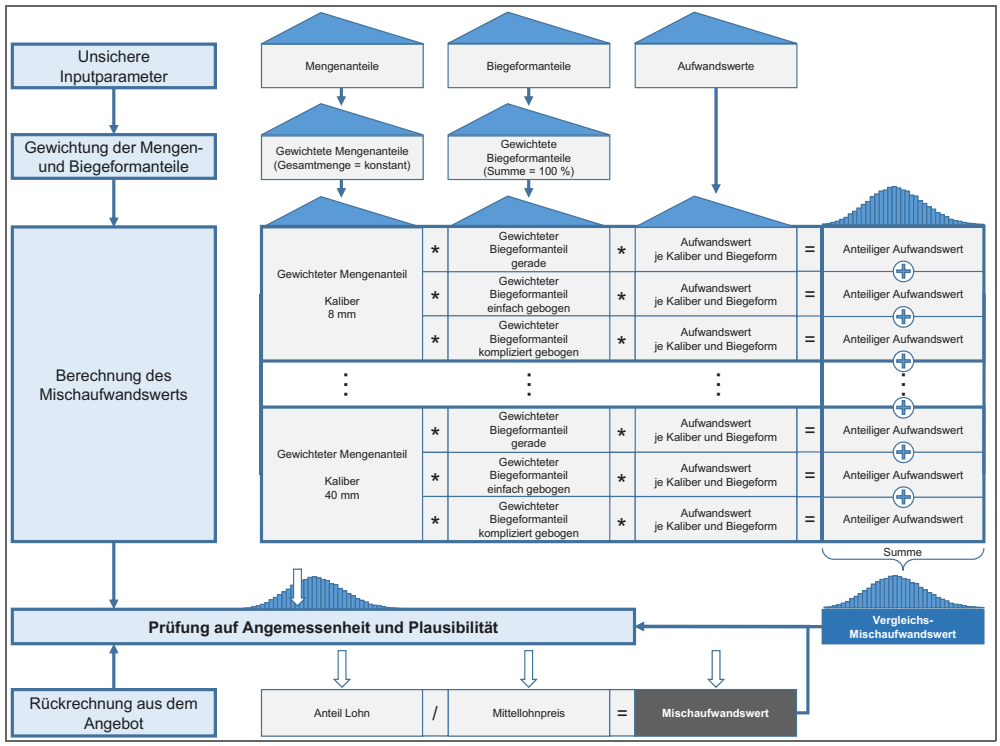


Abb. 9-57 Schematischer Ablauf der Modellbildung

Für die Berechnung des Mischaufwandswerts wird in weiterer Folge jeder Mengenanteil der Stabdurchmesser jeweils mit den gewichteten Biegeformanteilen (gerade, einfach gebogen und kompliziert gebogen) sowie mit den Verteilungsfunktionen für die Aufwandswerte multipliziert. Es folgen daraus für jeden Kaliber und jede Biegeform anteilige Aufwandswerte in Form von Histogrammen (insgesamt 30 = 10 Kaliber * 3 Biegeformen). Die daraus berechneten anteiligen Aufwandswerte werden schließlich aufsummiert und bilden das Histogramm für den Mischaufwandswert. Dieses Histogramm dient als Vergleichsmaßstab zur Beurteilung der Plausibilität des Aufwandswerts

der Angebotskalkulation. Um den Vergleich anstellen zu können, muss weiters der angebotene Mischaufwandswert aus dem Einheitspreis bzw. aus dem Anteil Lohn rückgerechnet werden. Dazu wird der Lohnanteil [€/t] durch den Mittellohnpreis dividiert. Der damit, als deterministischer Wert ermittelte Mischaufwandswert des Angebots kann nun zur Prüfung der Angemessenheit und Plausibilität herangezogen werden.

9.3.3.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Es stellt sich hier die wesentliche Frage, wie Angebote hinsichtlich auskömmlicher, plausibler und nachvollziehbarer Preise systematisch sowie baubetrieblich, bauwirtschaftlich und rechtlich einwandfrei geprüft werden können.

Dieser Nachweis oder die Falsifikation gelingt nach ausdrücklicher Meinung der Autoren nur durch Analyse des dabei eingegangenen Chancen- und Risikoverhältnisses.

Dazu wird dem Ablaufschema in Abb. 9-57 folgend die Berechnungsmatrix gemäß Tab. 9-23 erstellt. Für die verschiedenen Kaliber werden die Mengen bezogen auf die normierte Menge von 3.500 t variiert.

In Tab. 9-23 ist die Berechnung des Mischaufwandswerts dargestellt. Die unsicheren Parameter (Mengenanteile, Biegeformanteile und Aufwandswerte) werden jeweils als Dreiecksverteilungen modelliert. Dazu sind in den Spalten B, C, D, I, J, K, N, O und P die minimalen (MIN), erwarteten (ERW) und maximalen (MAX) Werte, die die Dreiecksverteilungen definieren, eingetragen. Die erwarteten Werte entsprechen dabei den qualifizierten Angaben des VÖBV für die Bauwerkskategorie Ingenieurbau.[53)]

Für die Mengenabweichungen wurde jeweils eine Unterschreitung der Mengen um 10 % und eine Überschreitung um 20 % je Kaliber angenommen. In der Spalte E sind die Dreiecksverteilungen der Mengen angegeben (in der Tabelle ist jeweils der Mittelwert der Verteilung angeführt). Im Zuge der Simulation können diese Werte innerhalb der angegebenen Bandbreiten schwanken und nehmen in jeder Iteration zufällige Werte an.

Da die Ausschreibungsmenge für den Stabstahl jedoch mit 3.500 t fixiert ist, muss eine Gewichtung der jeweiligen Mengenanteile durchgeführt werden. Bedingt durch diese Gewichtung wird die zufällige Mengenzusammensetzung in jeder Iteration dermaßen anteilig umgerechnet, dass die Summe der Mengenanteile immer (in jeder Iteration) 3.500 t ergibt. Es ändert sich damit im Zuge der Simulation zwar die Zusammensetzung der Kaliberanteile an der Gesamtmenge, diese wird jedoch konstant gehalten. Für die Berechnung des Vergleichs-Mischaufwandswerts erfolgt weiters in der Spalte G eine Normierung der gewichteten Mengenanteile. Dabei handelt es sich um die prozentuellen Mengenanteile je Stabdurchmesser. In Summe müssen die Prozentwerte 100 % ergeben.

53) Vgl. VÖBV (2010), S. 2ff. bzw. Hofstadler/Franzl (2011), 25ff.

Lfd. Nr.	Kaliber	Mengen						Anteil der Mengen für die Biegeformen						Aufwandswerte				Aufwands-wert
		MIN	ERW	MAX	Vertei-lung	Gewich-tung	Normie-rung	Biegeform	MIN	ERW	MAX	Vertei-lung	Gewich-tung	MIN	ERW	MAX	Vertei-lung	
	[mm]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[Std/t]	[Std/t]	[Std/t]	[Std/t]	[Std/t]
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	8	17,0	18,9	22,7	19,5	18,9	0,54	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	14,29	15,88	19,06	16,41	0,05
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	31,44	34,93	41,92	36,09	0,05
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	51,59	57,32	68,78	59,23	0,06
2	10	266,8	296,5	355,7	306,3	296,5	8,47	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	10,98	12,20	14,64	12,61	0,60
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	23,45	26,05	31,26	26,92	0,55
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	40,15	44,61	53,53	46,10	0,76
3	12	453,9	504,4	605,2	521,2	504,4	14,41	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	8,41	9,34	11,21	9,65	0,78
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	16,74	18,60	22,32	19,22	0,67
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	29,08	32,31	38,77	33,39	0,94
4	14	542,4	602,7	723,2	622,8	602,7	17,22	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	6,68	7,42	8,90	7,67	0,74
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	13,02	14,47	17,36	14,95	0,62
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	20,76	23,07	27,68	23,84	0,80
5	16	484,2	538,0	645,5	555,9	538,0	15,37	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	5,47	6,08	7,30	6,28	0,54
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	9,79	10,88	13,06	11,24	0,42
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	16,40	18,22	21,86	18,83	0,56
6	20	565,7	628,6	754,3	649,6	628,6	17,96	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	3,80	4,22	5,06	4,36	0,44
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	6,79	7,54	9,05	7,79	0,34
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	11,56	12,84	15,41	13,27	0,46
7	26	569,5	632,8	759,4	653,9	632,8	18,08	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	3,18	3,53	4,24	3,65	0,37
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	5,72	6,35	7,62	6,56	0,29
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	10,09	11,21	13,45	11,58	0,41
8	30	190,9	212,1	254,5	219,2	212,1	6,06	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	3,18	3,53	4,24	3,65	0,12
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	5,54	6,15	7,38	6,36	0,09
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	9,43	10,48	12,58	10,83	0,13
9	36	26,5	29,4	35,3	30,4	29,4	0,84	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	3,18	3,53	4,24	3,65	0,02
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	5,36	5,95	7,14	6,15	0,01
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	9,25	10,28	12,34	10,62	0,02
10	40	33,1	36,8	44,1	38,0	36,8	1,05	gerade	45,09	56,36	67,63	56,36	56,36	3,18	3,53	4,24	3,65	0,02
								einfach	19,32	24,15	28,98	24,15	24,15	5,36	5,95	7,14	6,15	0,02
								kompliziert	15,59	19,49	23,39	19,49	19,49	9,07	10,08	12,10	10,42	0,02
11	**Summe**		**3.500,0**		3.616,7	3.500,0	100,00											**10,92**

Tab. 9-23 Berechnung des Vergleichs-Mischaufwandswerts

Neben den Mengenverteilungen der Kaliber ist auch die Verteilung der Biegeformen (gerade, einfach gebogen und kompliziert gebogen) mit Unsicherheiten behaftet. Für die Monte-Carlo-Simulation werden auch hier Dreiecksverteilungen (Spalte L) angesetzt. Die minimalen, erwarteten und maximalen Prozentsätze der Biegeformanteile sind in den Spalten I bis K angegeben. Der erwartete Wert entspricht dabei jeweils den Angaben des VÖBV für die Kategorie Ingenieurbau. Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die Biegeformverteilungen für alle Kaliber gleich angenommen werden und, dass die Dreiecksverteilungen für jeden Kaliber identisch sind. Das bedeutet, dass die zufällig gewählten Anteile der Biegeformen in jeder Iteration für die unterschiedlichen Kaliber die gleichen sind. Der Anteil der geraden Stäbe für den Kaliber 8 mm ist damit in jedem Berechnungsdurchgang identisch mit dem Anteil der geraden Stäbe für die Kaliber 10 mm bis 40 mm. Gleiches gilt für die Anteile der einfach und kompliziert gebogenen Stäbe.

Da auch die Biegeformen mit Dreiecksverteilungen belegt sind, müssen auch diese im Zuge der Simulation entsprechend gewichtet werden, damit in jedem Iterationsschritt die Summe der Biegeformanteile 100 % ergibt. Diese Umrechnung erfolgt in Tab. 9-23 in der Spalte M.[54)] Die erwarteten Aufwandswerte der einzelnen Kaliber und Biegeformen (Spalte O) entsprechen für die Ermittlung des Vergleichs-Mischaufwandswerts ebenfalls den Angaben des VÖBV. Dabei wird angenommen, dass die Schwankungsbreite der Aufwandswerte nach unten 10 % und nach oben 20 % beträgt (Spalten N und P). Die Dreiecksverteilungen sind in der Spalte Q hinterlegt.

Zur Berechnung der anteiligen Aufwandswerte je Kaliber und Biegeform (Spalte R) werden in jeder Zeile die gewichteten Mengen- und Biegeformanteile (Spalten G und M) mit den Verteilungen für die Aufwandswerte (Spalte Q) multipliziert. Die Summe dieser anteiligen Aufwandswerte ergibt schließlich in Zelle R11 den Vergleichs-Mischaufwandswert. Dieser ist in Abb. 9-58 als Histogramm dargestellt und wird zur Prüfung der Angemessenheit und Plausibilität des Angebotspreises herangezogen.

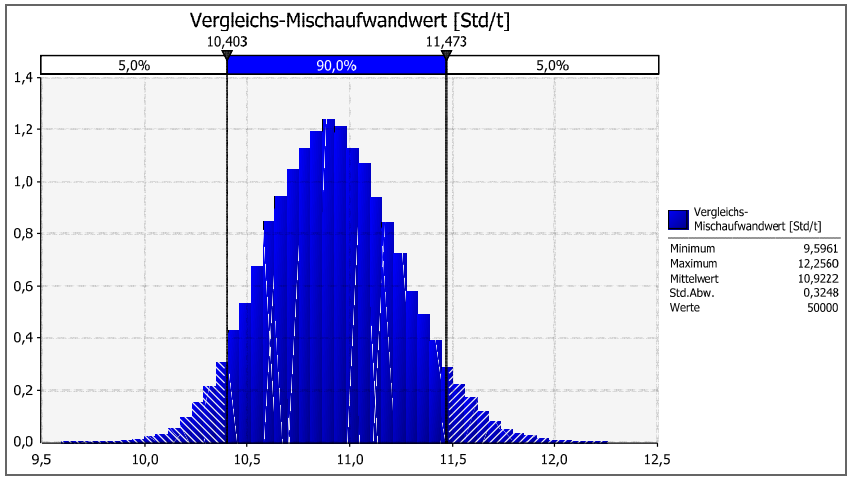


Abb. 9-58 Histogramm des Vergleichs-Mischaufwandswerts

54) In der Tab. 9-23 sind in Spalte L jeweils die Mittelwerte der Verteilungen angeführt. Diese ergeben in Summe 100 % (= 56,36 % + 24,15 % + 19,49 %) und es ist dadurch für diesen Fall keine Gewichtung der Anteile erforderlich. Daher sind in der Spalte M für diesen Iterationsschritt die gleichen Werte eingetragen, wie in Spalte L.

Der Mittelwert des Mischaufwandswerts ergibt sich mit 10,92 Std/t wobei die Standardabweichung ca. 0,32 Std/t beträgt. Das X_5-Quantil liegt bei 10,40 Std/t und das X_{95}-Quantil bei 11,47 Std/t.

Anhand des, mit historischen Werten generierten, Histogramms kann eine Untergrenze festgelegt werden, die den Übergang zur fehlenden Realisierungsmöglichkeit beschreibt. Liegt der aktuelle Wert z.B. 10 % unter dieser Grenze, ist aus Sicht der Autoren das Angebot auszuscheiden. Diese untere Grenze symbolisiert jenen Wert, bei dem davon ausgegangen werden kann, dass dessen Erreichung bzw. Unterschreitung praktisch kaum möglich und damit sehr unwahrscheinlich ist. Um die Anschaulichkeit und die Beweiskraft dieser Vorgangsweise zu verstärken, wird die probabilistische Simulation dargestellt. Mit dem probabilistischen Berechnungsverfahren ist es möglich, Unsicherheiten systematisch anhand von Bandbreiten zu berücksichtigen. Weiters kann durch Wahl der Art der Verteilungsfunktion die Lage des erwarteten Werts festgelegt und der Bereich um diesen Wert mit einer höheren Eintrittswahrscheinlichkeit belegt werden.

Bei der vertieften Angebotsprüfung sind für die rückgerechneten Aufwandswerte die Chancen- und Risikoverhältnisse zu prüfen. Als Maßstab zur Beurteilung dient das X_5-Quantil, das dafür steht, dass 5 % der Werte unterhalb und 95 % der Werte oberhalb dieser Kennzahl liegen. Befindet sich beispielsweise der aus dem Angebot ermittelte (rückgerechnete) Aufwandswert 10 % unter dem Wert des X_5-Quantils, ist der Aufwandswert aus dem Angebot nicht mehr plausibilisierbar.

In Abb. 9-59 ist das Histogramm als Ergebnis einer Monte-Carlo-Simulation zur Berechnung des Mischaufwandswerts für die Bewehrungsarbeiten eines Ingenieurbauwerks dargestellt (als Basis dient das Histogramm in Abb. 9-58). Die Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Biegeformverteilungen erfolgte in den gewählten Ansätzen durch die Bandbreite ± 20 %. Bei den Kaliberverteilungen wurde die Bandbreite, ebenso wie bei den Aufwandswerten, mit -10 % und +20 % um die erwarteten Werte angesetzt. Für das Histogramm beträgt der Median 10,91 Std/t, das X_5-Quantil liegt bei 10,40 Std/t und das X_{95}-Quantil bei 11,47 Std/t. Für die Festlegung der Untergrenze für den Mindestaufwandswert des zu prüfenden Bauprojekts, wird das X_5-Quantil mit 10,40 Std/t als Basis verwendet und davon 10 % abgezogen. Der damit ermittelte Grenzaufwandswert von 9,36 Std/t stellt im Zuge der vertieften Angebotsprüfung die absolute Untergrenze dar. Alle Angebote die einen Aufwandswert kleiner als 9,36 Std/t aufweisen, sind auszuscheiden. Die Begründung dafür liegt darin, dass die Wahrscheinlichkeit den Aufwandswert von 9,36 Std/t zu unterschreiten bei 0 % liegt. Dieser Wert ist in der Bauausführung nicht zu erreichen, da in 100 % der baupraktischen Fälle höhere Aufwandswerte erzielt werden.

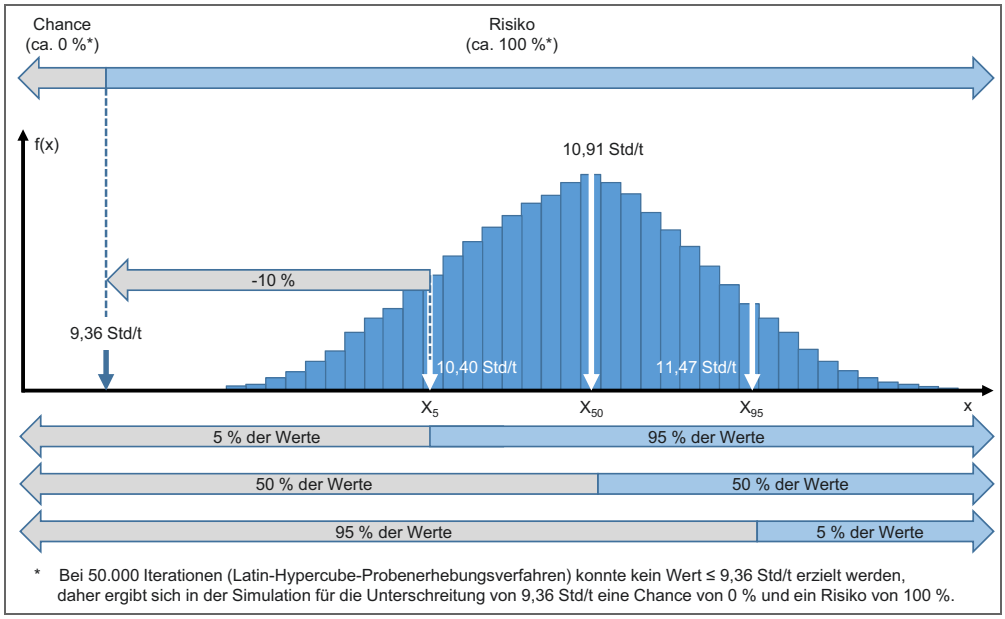


Abb. 9-59 Verteilung als Ergebnis einer Monte-Carlo-Simulation zur Veranschaulichung der Bestimmung einer Untergrenze für Aufwandswerte am Beispiel der Bewehrungsarbeiten[55)]

In weiterer Folge wird der dem Angebot zugrundeliegende Aufwandswert in der Höhe von 4 Std/t mit der Bandbreite der erklärbaren Aufwandswerte verglichen. Aus Abb. 9-60 geht auch optisch eindeutig hervor, dass dieser Wert weit unterhalb des Bereichs des Möglichen liegt. Die Differenz zur Untergrenze beträgt in etwa 57 % [= (9,36 Std/t - 4 Std/t) / 9,36 Std/t * 100 %). Anders ausgedrückt, liegt der Grenzwert für einen erklärbaren Aufwandswert um ca. 234 % (= 9,36 Std/t / 4 Std/t * 100 %) über dem Angebotsaufwandswert in der Höhe von 4 Std/t.

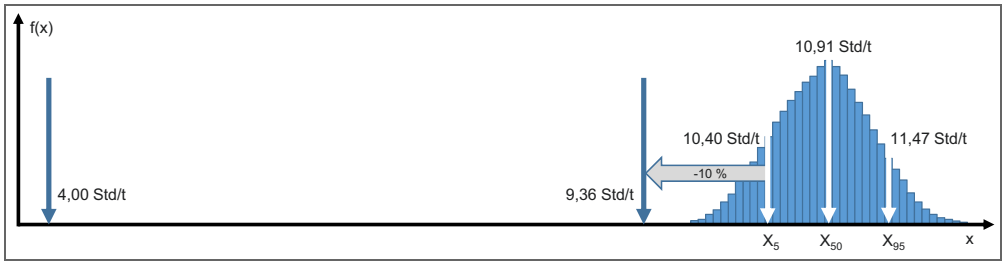


Abb. 9-60 Einordnung des Aufwandswerts aus der Angebotskalkulation in die Bandbreite der erklärbaren Aufwandswerte

Das Beispiel zeigt eindeutig, dass sich der Aufwandswert und damit der Anteil Lohn weit außerhalb der Bandbreite einer möglichen Kostendeckung bewegen. Es handelt sich hier

55) Für das angeführte Beispiel ergibt sich für den Aufwandswert eine Untergrenze von 9,36 Std/t mit einem Chancen-Risikoverhältnis von 0 zu 100 %. Damit wird eindeutig dargestellt, dass die Unterschreitungswahrscheinlichkeit gegen null tendiert. In weiterer Folge sind alle Aufwandswerte, die unter dieser ermittelten Grenze liegen, äußerst fragwürdig im Hinblick auf die Plausibilität des angebotenen Preises zu bewerten.

um einen nicht angemessenen Preis der sich erheblich unter der Grenze zum Unterpreis befindet.

Dieser Aufwandswert (= 4,00 Std/t) ist auch bei Berücksichtigung eines rationellen Baubetriebs und sparsamer Wirtschaftsführung nicht erreichbar und lässt eine einwandfreie Ausführung einschließlich der Haftung für Mängelansprüche nicht zu.

Hier ist – eine legale Entlohnung der Arbeitskräfte vorausgesetzt – eine Gefährdung der Liquidität des Unternehmens durch den ungewöhnlich niedrigen Preis gegeben. Das steht jedenfalls eindeutig im Widerspruch zum Gebot der betriebswirtschaftlichen Erklärbarkeit der Preise.

Der betriebswirtschaftlichen Erklärbarkeit folgend, sollten zumindest die primären ausgabenwirksamen Kosten, wie Löhne, Gehälter, Materialien, Gerätereparaturen und/oder Fremdleistungen durch die Preise abgedeckt sein. Es handelt sich dabei um größtenteils variable Kosten, die auf jeden Fall anfallen und die nicht über andere Leistungen oder Baustellen verdient werden können. Aufwandswerte bestimmen bekanntlich den variablen Anteil der Kosten und sind daher in einer angemessenen und auskömmlichen Höhe im Anteil Lohn zu berücksichtigen.

Der im gegenständlichen Fall angebotene Einheitspreis in der Höhe von 700 €/t – besonders der Anteil Lohn mit 160 €/t – stellt einen Unterpreis dar, da dieser weit unter den plausiblen sowie erklärbaren variablen Kosten liegt.

Diese Kluft zwischen angebotenem Preis und Unterpreis ist auch im Zuge eines Aufklärungsgesprächs mit dem betreffenden Bieter nicht erklärbar und das Angebot ist daher auszuscheiden.

9.3.3.5 Angebotsprüfung bei Pauschalpreisverträgen

Im Unterschied zu den Einheitspreisverträgen liegt bei echten Pauschalverträgen keine Aufschlüsselung der Leistungen in Mengen und Einheitspreise vor.

9.3.3.5.1 Angebotsprüfung bei unechten oder untypischen Pauschalpreisverträgen

Die vertiefte Angebotsprüfung bei unechten Pauschalpreisverträgen (in Deutschland vergleichbar mit den Detail-Pauschalverträgen) kann in gleicher Weise wie bei der vorher beschriebenen Prüfung bei Einheitspreisen erfolgen, wenn die einzelnen Leistungspositionen ausgepreist vorliegen.

9.3.3.5.2 Angebotsprüfung bei echten oder klassischen Pauschalpreisverträgen

Bei echten Pauschalverträgen (in Deutschland vergleichbar mit den Global-Pauschalverträgen), die ohne Leistungsverzeichnisse bzw. Einheitspreise ausgestattet sind, gestaltet sich die Prüfung im Detail als überaus schwierig und zeitintensiv. Bei dieser Form von Pauschalverträgen werden keine Einheitspreise ausgewiesen, daher bleibt als einziger kalkulatorischer Prüfansatz nur die Summen der Anteile Lohn und Sonstiges, aus denen der Angebotspreis ermittelt wird. Die Überprüfung konzentriert sich hier auf die Lohnstunden. Die Gesamtlohnstunden werden anhand des Lohnanteils über den Mittel-

lohnpreis rückgerechnet. Nach Division des Gesamtlohnstundenanteils [€] durch den Mittellohnpreis [€/Std] folgt die Summe der Lohnstunden [Std] beispielsweise für den Bereich Bauwerk-Rohbau. Wird diese Lohnstundensumme mit dem Brutto-Rauminhalt [m³] oder der Summe der Brutto-Grundfläche [m²] des Bauwerks dividiert folgen Verhältniszahlen. Diese Werte können mit ähnlichen Projekten und Literaturangaben verglichen werden. Liegt der aktuelle Wert beispielsweise mehr als 10 % unter dem niedrigsten Wert von vergleichbaren Projekten aus der Vergangenheit, besteht jedenfalls der Verdacht auf Lohn- und Sozialdumping.

Für die Überprüfung, ob bei Pauschalen ein Ausscheidungsgrund vorliegt, gilt das gleiche wie bei Einheitspreisverträgen. Im Zuge der vertieften Angebotsprüfung sind für die rückgerechneten Aufwandswerte und Leistungswerte die Chancen- und Risikoverhältnisse zu prüfen. Liegt beispielsweise der aus dem Angebot ermittelte Wert 10 % unter dem Wert des X_5-Quantils, ist der Angebotswert nicht mehr plausibilisierbar und der Bieter ist daher auszuscheiden.

9.3.3.6 Beurteilung von Mehrkostenforderungen

Bei der Beurteilung von Mehrkostenforderungen stellt sich die zentrale Frage nach der Kalkulierbarkeit von Leistungen. Die gleiche Systematik mit der Berechnung des X_5-Quantils wird für den Nachweis der Kalkulierbarkeit/Nichtkalkulierbarkeit von Leistungen angewendet. Rechtlich wird die Grenze zur Nichtkalkulierbarkeit mit Hilfe der Bewertung des Verhältnisses zwischen geschuldeter Leistung und dem dafür vereinbarten Entgelt gezogen.

9.3.3.7 Nutzen für den AG

Für den AG besteht der größte Nutzen darin, dass es eine repräsentative und haltbare Vergleichsbasis zur Überprüfung der aus den angebotenen Einheitspreisen rückgerechneten Aufwandswerte gibt.

Der AG kann damit sicher gehen, dass er bei Anwendung der vertieften Angebotsprüfung einen systematischen, baubetrieblich und bauwirtschaftlich sowie rechtlich haltbaren Weg eingeschlagen hat.

Für jede Art von Tätigkeit gibt es eine bauwerks- und anforderungsspezfische Untergrenze für die Aufwandswerte. Schneller bzw. produktiver kann nicht gearbeitet werden, da es Belastungsgrenzen für die Arbeitskräfte gibt und ebenso den anderen Produktionsfaktoren (Betriebsmittel und Stoffe) fertigungstechnische und technologische Grenzen gesetzt sind. Weiters wirken sich u.a. Einflüsse aus den Bauteilformen und -abmessungen sowie dem Umfeld und der Witterung jedenfalls erhöhend auf die Aufwandswerte aus und müssen dazu führen, dass Aufwandswerte projektabhängig (weit) über der angeführten Untergrenze zu liegen kommen.

Bewegen sich die kalkulierten Aufwandswerte oberhalb des mit der vorgestellten Methode ermittelten baubetrieblich erforderlichen Minimums (dieses beinhaltet Haupt- und Nebentätigkeiten, Wartezeiten, Erholungszeiten, Verlust- und Verteilzeiten sowie Randstunden), können derart kalkulierte Leistungspositionen unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen an die Ausführung der Leistungen als plausibel angesehen werden.

Bei Anwendung dieser vorgestellten Prüfsystematik (Aufwandswert = Lohnanteil dividiert durch den Mittellohnpreis; anschließender Vergleich mit der probabilistisch ermittelten Untergrenze), im Zuge der Angebotsprüfung für alle wesentlichen lohnintensiven Positionen, kann Lohn- und/oder Sozialdumping aufgedeckt werden.

Bei der Prüfung des vereinbarten Entgelts ist der Anteil Lohn und jener für Sonstiges getrennt zu betrachten. Diese Differenzierung ist deshalb notwendig, um lohnintensive Leistungen von den geräte- und materialintensiven Leistungen zu trennen. Damit wird ein Vermischen von unterschiedlichen Preisgrundlagen verhindert/reduziert. Durch die Analyse des Lohnanteils ist es möglich, je nach Ziel der Untersuchung für das gesamte Bauwerk, für Leistungsgruppen, für einzelne Positionen etc. die kalkulierten Lohnstunden zu ermitteln. Wie beispielsweise in der Leichtathletik, hier gelten für die möglichen (plausiblen) erreichbaren Zeiten im 100-m-Lauf physische, biomechanische und medizinische Grenzen, weil es einfach nicht mehr schneller geht. Genauso verhält es sich im Baubetrieb[56]. Jede Leistung braucht einen bestimmten Mindestaufwand für deren Erbringung. Weniger Lohnstunden sind nicht möglich, auch wenn nur die gewöhnlich vorausgesetzten Eigenschaften zu erfüllen sind.

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass zur Verhinderung von Lohn- und/oder Sozialdumping nur Bieter mit plausiblen Aufwandswerten für Bauaufträge in Betracht gezogen werden können. Unterpreisige Angebote, deren Aufwandswerte unterhalb der für eine konkrete Leistung ermittelten Untergrenze liegen, sind hingegen auszuscheiden.

Damit würde einerseits die Bauwirtschaft in dem Land in dem das Bauvorhaben durchgeführt wird vor illegalen Praktiken geschützt werden und andererseits könnten legal operierende Entsendebetriebe Zuschläge für Bauprojekte im betreffenden Land erhalten.

9.3.4 Vergabeentscheidung

Bei der Vergabe von Bauaufträgen kommt dem Angebotspreis eine besonders hohe Bedeutung (sowohl beim Billigst- als auch beim Bestbieterprinzip) zu. Die Bieter geben bei einem konstruktiven Leistungsverzeichnis Einheitspreise für einzelne Positionen ab. Zusammen mit den Ausschreibungsmengen ergeben sich damit die Positionspreise und in weiterer Folge die Angebotspreise.

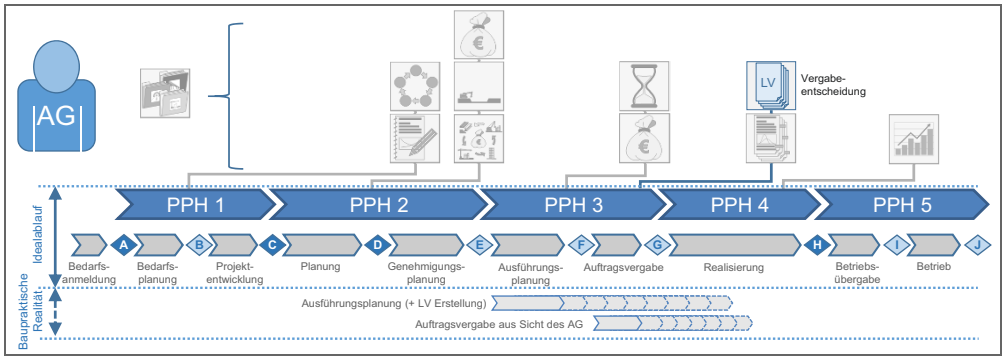


Abb. 9-61 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

[56] Der Baubetrieb ist gekennzeichnet durch die Kombination der elementaren Produktionsfaktoren. Bei Bauarbeiten handelt es sich dabei nicht um Arbeiten die im Laufen verrichtet werden, sondern im Gehen und oftmaligen Verweilen an spezifischen Orten um beispielsweise Handgriffe auszuführen.

Interessant für den AG sind dabei nicht nur die deterministischen Angebotspreise, sondern auch die Auswirkungen möglicher Mengenänderungen auf diese. Die zentrale Frage ist dabei, ob Mengenänderungen zu einem Bietersturz führen können und wie wahrscheinlich ein solcher ist. Die Vergabeentscheidung des AG ist dem Ende der PPH 3 zuzuordnen (siehe Abb. 9-61).

9.3.4.1 Aufgabenstellung

Die Angebotspreise der Bieter werden üblicherweise in einem Preisspiegel, aufgeschlüsselt nach Positionen, zusammengefasst. In den Spalten E bis L der Tab. 9-24 sind die Einheitspreise der acht Bieter dargestellt. Der Preisspiegel liefert bei entsprechender Bearbeitung und Aufbereitung Informationen über die Bandbreite der Einheitspreise und die Abweichungen zum jeweiligen billigsten Einheitspreis bzw. zum Gesamtpreis.

Die Vordermengen der einzelnen Positionen (siehe Spalte D der Tab. 9-24) sind jedoch meist mit Unsicherheiten behaftet, wodurch sich eine Änderung des Preisgefüges und damit auch Änderungen bei der Bieterreihenfolge (Preisreihenfolge) ergeben können. Um diese Streuungen in die Betrachtungen zu integrieren, werden die Mengen mit Dreiecksverteilungen belegt und mit den deterministischen Einheitspreisen der Bieter multipliziert.

Zur Veranschaulichung der Vorgehensweise wird nicht ein gesamtes Leistungsverzeichnis für das Beispiel herangezogen, sondern lediglich eine Leistungsgruppe (07 Beton- und Stahlbetonarbeiten) einer konstruktiven Leistungsbeschreibung eines Hochbauprojekts.

Die Bindung an die angebotenen Einheitspreise gilt lt. ÖNORM B 2110 für eine Mengenüber- bzw. -unterschreitung von +/- 20 %:

„Bei Über- oder Unterschreitung der im Vertrag angegebenen Menge einer Position mit Einheitspreis um mehr als 20 % ist über Verlangen eines Vertragspartners ein neuer Einheitspreis für die tatsächlich ausgeführte Menge unter Berücksichtigung der Mehr-/Minderkosten zu vereinbaren, wenn dies kalkulationsmäßig auf bloße Mengenänderung (unzutreffende Mengenangaben ohne Vorliegen einer Leistungsabweichung) zurückzuführen ist. Dieses Verlangen ist dem Grunde nach ehestens nachweislich geltend zu machen.“[57)]

Für das Beispiel werden die Bandbreiten der Angebotspreise unter Berücksichtigung der Mengenunsicherheiten grafisch aufbereitet und ausgewählte Histogramme der Angebotspreise miteinander in Form von Histogrammen gegenübergestellt.

[57)] ÖNORM B 2110:2013, S. 28f.

Lfd. Nr.	Pos.Nr.		Beschreibung	Einheit	ERW	Bieter A	Bieter B	Bieter C	Bieter D	Bieter E	Bieter F	Bieter G	Bieter H
						[€/EH]							
0	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	07.02.02A	Z	Beton Aussensandwichwand H-4,00m C30/37 35 cm	m³	270,45	159,18	104,62	250,98	153,42	125,24	108,44	258,77	96,55
2	07.02.02B	Z	Beton Innenwand H-5m C30/37 ü.30-40cm dick	m³	12,69	90,14	104,62	91,92	106,79	100,47	93,01	87,23	100,01
3	07.02.02C	Z	Beton Innenwand H-5m C30/37 ü.20-30cm dick	m³	3,83	92,16	125,55	93,54	109,69	107,51	93,01	88,90	103,56
4	07.02.02D	Z	Beton Innenwand H-5m C30/37 ü.40-65cm dick	m³	37,22	92,14	102,74	91,92	106,79	100,47	93,01	85,79	100,01
5	07.02.02S	Z	Schalung Betonwand H-5m	m²	232,06	19,40	23,72	28,26	43,83	30,34	28,13	28,87	23,63
6	07.02.02T	Z	Schalung Betonwand H-4m Sandwichwand	m²	1.499,68	18,39	28,48	38,99	77,15	44,39	71,64	30,43	32,19
7	07.02.02U	Z	AZ für Sichtbetonschalung	m²	614,75	20,51	4,49	2,45	20,14	6,63	8,09	14,54	10,71
8	07.02.02V	Z	Bewehrung Stabstahl Betonwand	kg	22.317,20	1,34	1,16	1,21	1,27	1,50	1,32	1,34	1,38
9	07.02.02W	Z	Bewehrung Matten Betonwand	kg	16.227,00	1,39	1,16	1,26	1,27	1,40	1,35	1,30	1,57
10	07.02.96I	Z	Anschlusselement Wand 2-reihig 10/150mm	m	160,00	11,52	21,02	27,53	25,11	19,24	16,12	23,49	22,56
11	07.03.02D		Beton Decke/Kragplatte H-5m C30/37 b.25cm	m³	50,63	90,25	103,65	92,64	111,02	95,78	103,85	92,66	97,39
12	07.03.02S		Schalung Decke/Kragplatte Untersicht H-5m	m²	168,75	19,39	23,04	23,79	33,80	29,47	26,19	29,70	35,70
13	07.0302T		Schal.Decke/Kragplatt.Roste, Ranschal.H-5m	m²	78,14	19,40	37,87	54,82	33,80	32,35	37,80	40,48	34,02
14	07.03.02U	Z	AZ für Sichtbetonschalung	m²	116,36	7,47	4,49	0,35	14,21	4,97	6,15	14,83	10,71
15	07.03.02V		Bewehrung Stabstahl Decke/Kragpl. H-5m	kg	7.000,00	1,34	1,16	1,21	1,27	1,40	1,32	1,34	1,38
16	07.03.48A		Schal. Durchbr.Decken/Platt.-0,5m2	m²	3,57	24,34	50,13	63,61	67,60	65,98	64,90	79,31	75,61

Tab. 9-24 Preisspiegel – LG 07

9.3.4.2 Modellierung

Der schematische Ablauf der Berechnungen ist in Abb. 9-62 dargestellt. Die Einheitspreise der Bieter werden dabei als deterministische Werte (symbolisiert durch einen Pfeil) und die Mengenabweichungen als Dreiecksverteilungen (entsprechendes Symbol bei den Positionsmengen) in die Berechnungen integriert.

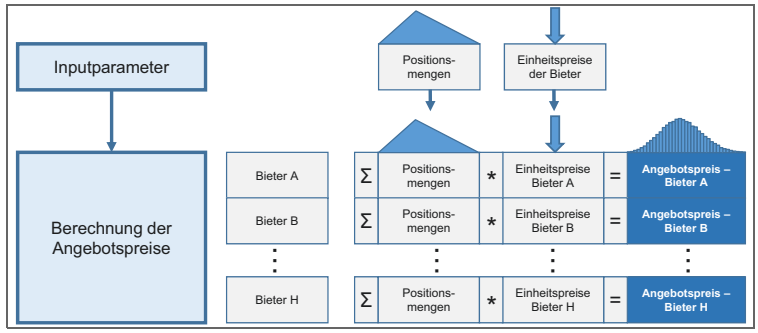


Abb. 9-62 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs

Die Mengenunsicherheiten werden für das Beispiel mittels symmetrischen Dreiecksverteilungen modelliert, wobei das Minimum jeweils 80 % und das Maximum 120 % der Ausschreibungsmenge beträgt. Der erwartete Wert entspricht der ausgeschriebenen Menge lt. LV. Für das Beispiel werden die Mengenvordersätze aller Positionen mit symmetrischen Verteilungen belegt.

Für konkrete Anwendungsfälle in der Praxis, bei denen mehrere hundert Positionen in einem Leistungsverzeichnis enthalten sein können, ist es beispielsweise auch möglich, für eine erste Analyse nur die wesentlichen bzw. die A-Positionen für eine derartige Untersuchung heranzuziehen. Weiters muss nicht jede Position mit Unsicherheiten behaftet sein. Ist sich der AG bei den ausgeschriebenen Mengen bestimmter Positionen sicher, dass es zu keinen Mengenunter- bzw. -überschreitungen kommt, sind diese Mengen als deterministische Werte in die Berechnungen zu integrieren.

Die Angebotspreise der Bieter weisen in weiterer Folge durch die Berücksichtigung der Mengenunsicherheiten unterschiedliche Streuungen auf, die miteinander verglichen werden können.

9.3.4.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die Berechnungstabelle für die Ermittlung der Angebotspreise der Bieter ist in Tab. 9-25 dargestellt. Für die Berücksichtigung der Mengenunsicherheiten werden zunächst die erwarteten Mengen aus dem Leistungsverzeichnis jeweils um 20 % verringert bzw. erhöht. Damit ergeben sich für jede Position die minimalen und maximalen Mengen (Spalten D und F), die die Dreiecksverteilungen definieren. Als erwarteter Wert der Dreiecksverteilungen wird die Ausschreibungsmenge je Position herangezogen (Spalte E). Die Verteilungen selbst sind in der Spalte G hinterlegt.

Für die Berechnung der Positionspreise werden die deterministischen Einheitspreise der Bieter aus Tab. 9-24 mit den Dreiecksverteilungen der Mengen multipliziert (Spalten H bis O). Die Summe der Positionspreise je Bieter ergeben schließlich die Angebotspreise in

Zeile 17. Die angegebenen Werte entsprechen dabei den Summen der Mittelwerte der Positionspreise. Auf Basis dieser Werte sind in Zeile 18 die Ränge der Angebote vom niedrigsten (1) bis zum höchsten Angebot (8) angeführt.

Bei diesen Angebotspreisen handelt es sich jedoch nicht um deterministische Werte (einzelne Zahlenwerte), sondern um 50.000 Einzelergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation (50.000 Iterationen). Diese Einzelergebnisse können in Form von Histogrammen dargestellt und hinsichtlich statistischer Werte analysiert werden. Für die Histogramme der Angebotspreise je Bieter wurden jeweils das Minimum, das Maximum, der Mittelwert, die Standardabweichung und die Spannweite (Zeilen 18 bis 22) ausgelesen.

Die Minima und Maxima der Angebotspreise entsprechen dabei nicht den Extremwerten, die bei einer gleichzeitigen Mengenunterschreitung bzw. -überschreitung um 20 % in jeder Position auftreten würden. Es handelt sich dabei um die niedrigsten und höchsten Angebotspreise die im Zuge einer Monte-Carlo-Simulation mit 50.000 Iterationen aufgetreten sind.

Die Ränge der Spannweiten (kleinste Spannweite = 1 | größte Spannweite = 8) sind in Zeile 24 angegeben. Es zeigt sich anhand dieser Auswertung bereits, dass die Rangreihenfolge der Angebotspreise (Summe der Mittelwerte der Positionspreise) nicht identisch mit der Rangreihenfolge der Spannweiten sein muss (Vergleiche Angebote der Bieter C und G). Je nachdem wie sich die Struktur der Einheitspreise und der Mengen zusammensetzt, kann ein Angebot mit niedrigem Gesamtpreis eine hohe oder auch geringe Spannweite des Angebotspreises bei Änderung der Mengen aufweisen.

Alleine die Höhe des Angebotspreises liefert noch keinerlei Information darüber wie stabil sich ein Angebot eines Bieters und dessen Preisstruktur gegenüber Mengenänderungen verhält. Besonders große Spannweiten deuten auf eine geringe Preisstabilität des Angebots hin und bergen für den AG ein erhöhtes Risiko, bei Mengenänderungen deutliche Preissteigerungen in Kauf nehmen zu müssen.

Enge Spannweiten der Angebotspreise haben für den AG den Vorteil, dass bei Mengenänderungen innerhalb einer angenommenen Bandbreite von +/- 20 %, der Gesamtpreis sich stabiler verhält.

Lfd. Nr.	Pos.Nr.		Beschreibung	Einheit	MIN	ERW	MAX	Verteilung	Bieter A	Bieter B	Bieter C	Bieter D	Bieter E	Bieter F	Bieter G	Bieter H
													[€]			
0	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	07.02.02A	Z	Beton Aussensandwichwand H-4,00m C30/37 35 cm	m³	216,36	270,45	324,54	270,45	43.050,23	28.294,48	67.877,54	41.492,44	33.871,16	29.327,60	69.984,35	26.111,95
2	07.02.02B	Z	Beton Innenwand H-5m C30/37 ü.30-40cm dick	m³	10,15	12,69	15,23	12,69	1.143,88	1.327,63	1.166,46	1.355,17	1.274,96	1.180,30	1.106,95	1.269,13
3	07.02.02C	Z	Beton Innenwand H-5m C30/37 ü.20-30cm dick	m³	3,06	3,83	4,60	3,83	352,97	480,86	358,26	420,11	411,76	356,23	340,49	396,63
4	07.02.02D	Z	Beton Innenwand H-5m C30/37 ü.40-65cm dick	m³	29,78	37,22	44,66	37,22	3.429,45	3.823,98	3.421,26	3.974,72	3.739,49	3.461,83	3.193,10	3.722,37
5	07.02.02S	Z	Schalung Betonwand H-5m	m²	185,65	232,06	278,47	232,06	4.501,96	5.504,46	6.556,02	10.171,19	7.040,70	6.527,85	6.699,57	5.483,58
6	07.02.02T	Z	Schalung Betonwand H-4m Sandwichwand	m²	1.199,74	1.499,68	1.799,62	1.499,68	27.579,12	42.710,89	58.472,52	115.700,31	66.570,80	107.437,08	45.635,26	48.274,70
7	07.02.02U	Z	AZ für Sichtbetonschalung	m²	491,80	614,75	737,70	614,75	12.608,52	2.760,23	1.506,14	12.381,07	4.075,79	4.973,33	8.938,47	6.583,97
8	07.02.02V	Z	Bewehrung Stabstahl Betonwand	kg	17.853,76	22.317,20	26.780,64	22.317,20	29.905,05	25.887,95	27.003,81	28.342,84	33.475,80	29.458,70	29.905,05	30.797,74
9	07.02.02W	Z	Bewehrung Matten Betonwand	kg	12.981,60	16.227,00	19.472,40	16.227,00	22.555,53	18.823,32	20.446,02	20.608,29	22.717,80	21.906,45	21.095,10	25.476,39
10	07.02.96I	Z	Anschlusselement Wand 2-reihig 10/150mm	m	128,00	160,00	192,00	160,00	1.843,20	3.363,20	4.404,80	4.017,60	3.078,40	2.579,20	3.758,40	3.609,60
11	07.03.02D		Beton Decke/Kragplatte H-5m C30/37 b.25cm	m³	40,50	50,63	60,76	50,63	4.569,36	5.247,80	4.690,36	5.620,94	4.849,34	5.257,93	4.691,38	4.930,86
12	07.03.02S		Schalung Decke/Kragplatte Untersicht H-5m	m²	135,00	168,75	202,50	168,75	3.272,06	3.888,00	4.014,56	5.703,75	4.973,06	4.419,56	5.011,88	6.024,38
13	07.0302T		Schal.Decke/Kragplatt.Roste, Ranschal.H-5m	m²	62,51	78,14	93,77	78,14	1.515,92	2.959,16	4.283,63	2.641,13	2.527,83	2.953,69	3.163,11	2.658,32
14	07.03.02U	Z	AZ für Sichtbetonschalung	m²	93,09	116,36	139,63	116,36	869,21	522,46	40,73	1.653,48	578,31	715,61	1.725,62	1.246,22
15	07.03.02V		Bewehrung Stabstahl Decke/Kragpl. H-5m	kg	5.600,00	7.000,00	8.400,00	7.000,00	9.380,00	8.120,00	8.470,00	8.890,00	9.800,00	9.240,00	9.380,00	9.660,00
16	07.03.48A		Schal. Durchbr.Decken/Platt.-0,5m2	m²	2,86	3,57	4,28	3,57	86,89	178,96	227,09	241,33	235,55	231,69	283,14	269,93
17			**Summe**	**€**					**166.663,35**	**153.893,38**	**212.941,21**	**263.214,37**	**199.220,76**	**230.027,05**	**214.911,85**	**176.515,75**
18			Rang der Angebotssumme						2	1	5	8	4	7	6	3
19			Minimum	**€**					146.672,42	134.905,52	183.932,01	228.909,25	174.141,61	199.314,37	188.419,41	156.341,00
20			Maximum	**€**					187.898,71	173.358,23	241.747,28	299.680,28	225.438,95	262.412,66	243.263,47	198.452,21
21			Mittelwert	**€**					166.663,35	153.893,38	212.941,21	263.214,37	199.220,76	230.027,05	214.911,85	176.515,75
22			Standardabweichung	**€**					5.389,93	5.061,76	7.932,46	10.604,70	7.062,88	9.667,59	7.604,22	5.707,55
23			**Spannweite**	**€**					**41.226,29**	**38.452,71**	**57.815,27**	**70.771,02**	**51.297,34**	**63.098,29**	**54.844,06**	**42.111,21**
24			Rang der Spannweite						2	1	6	8	4	7	5	3

Tab. 9-25 Berechnungstabelle – Angebotspreise bei unsicheren Mengen

Die Spannweiten der simulierten Angebotspreise je Bieter sind in Abb. 9-63 gemeinsam mit den Mittelwerten dargestellt. Es zeigt sich, dass die Angebote der Bieter D und F die größte und die Bieter B und A die geringste Spannweite der Angebotssumme aufweisen. Der niedrigste Mittelwert ist ebenfalls beim Angebot von Bieter B auszumachen. Das zweitgünstigste Angebot weist Bieter A auf.

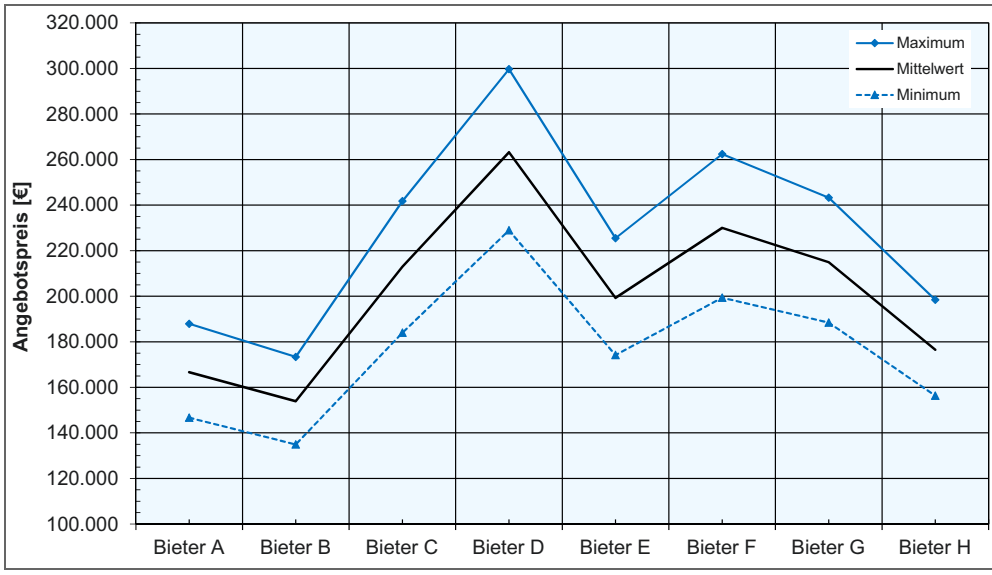


Abb. 9-63 Spannweiten der Angebotspreise unter Berücksichtigung von Mengenunsicherheiten

Es gilt zu untersuchen, ob es Fälle gibt, bei denen Bieter A ein günstigeres Angebot als Bieter B hat und es durch Mengenänderungen zu einem Bietersturz kommen kann. Dazu wird die Angebotssumme von Bieter B von jener des Bieters A abgezogen. Gibt es Fälle, bei denen die Angebotssumme von A geringer ist als jene von Bieter B, berechnet sich die Differenz als negativer Wert. In Abb. 9-64 ist die Differenz als Histogramm dargestellt. Es zeigt sich, dass diese durchwegs positive Werte aufweist und damit in allen simulierten Fällen das Angebot des Bieters B niedriger als jenes des Bieters A ist.

Ein ähnlicher Vergleich wurde in Abb. 9-65 für die Angebote C und G (wobei die Angebotssumme von C von jener des Bieters G abgezogen wurde) durchgeführt. Hier zeigt sich, dass in ca. 5,9 % der simulierten Fälle das Angebot G einen geringeren Preis aufweist als das Angebot C. Würde es sich bei diesen beiden Angeboten um die beiden Billigstbieter handeln, könnte unter Annahme von Mengenänderungen um +/- 20 % ein Bietersturz zwar in ca. 94,1 % der Fälle ausgeschlossen werden, ein Risiko von ca. 5,9 %, dass ein solcher Fall eintritt, würde jedoch bestehen.

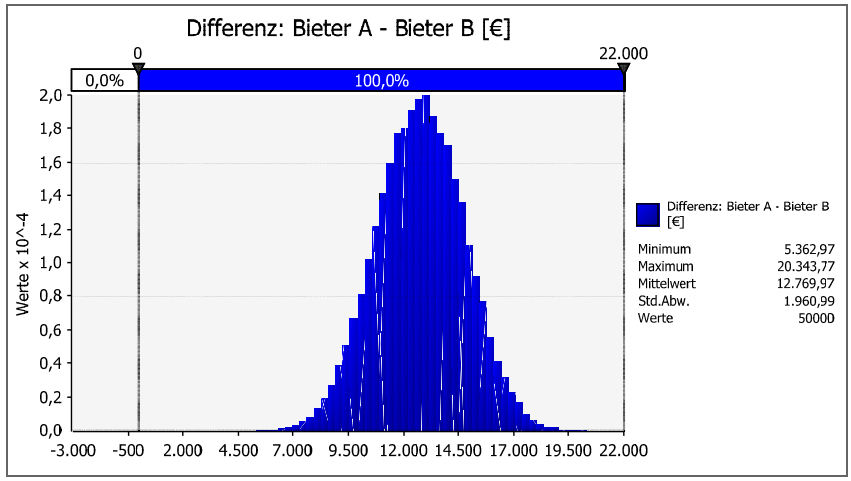


Abb. 9-64 Histogramm – Differenz der Angebotspreise – Angebot A - Angebot B

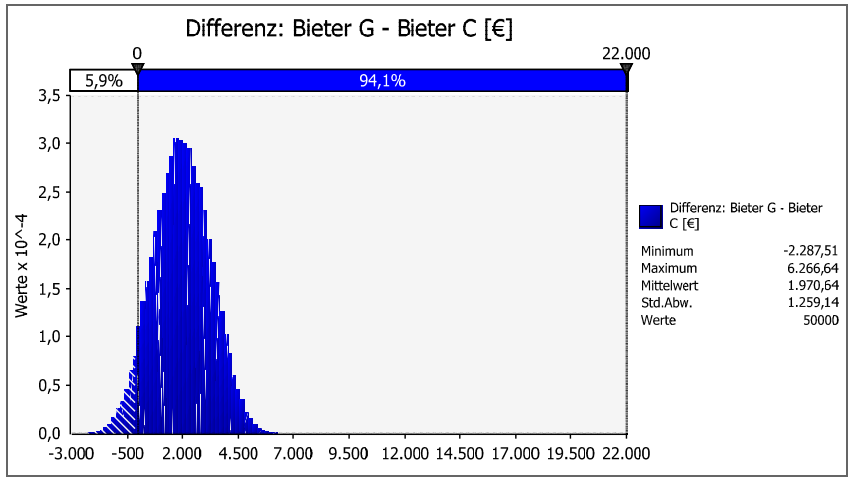


Abb. 9-65 Histogramm – Differenz der Angebotspreise – Angebot G - Angebot C

9.3.4.4 Nutzen für den AG

Der AG muss sich bei der Erstellung seiner Angebote auf spezifische Mengen für die einzelnen Positionen einer konstruktiven Leistungsbeschreibung festlegen. Dies vor dem Hintergrund einer meist nicht vollständig abgeschlossenen Planung und entsprechenden Unsicherheiten. Die Bieter geben mit ihren Angeboten Einheitspreise ab, die multipliziert mit den ausgeschriebenen Mengen zu Positionspreisen und in weiterer Folge zum Angebotspreis führen.

Für die Vergabeentscheidung des AG spielt der Angebotspreis eine wichtige Rolle. Dementsprechend ist auch die Stabilität der angebotenen Preise bei Mengenänderungen besonders interessant. Das im Beispiel gezeigte Verfahren berücksichtigt die Unsicher-

heiten der Mengen und zeigt deren Einfluss auf die Streuung der Angebotspreise der Bieter. Das Ergebnis sind Histogramme der Angebotspreise, die hinsichtlich ihrer statistischen Werte (Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung, Spannweite, Quantilwerte etc.) untersucht werden können.

Besonders die Bildung der Differenz von Angebotspreisen zeigt, ob es Fälle gibt, bei denen es zu einer Änderung der Bieterreihenfolge kommt. Alternativ kann auch in jedem Iterationsschritt der Rang des Angebots erhoben und in einem Histogramm dargestellt werden. In Abb. 9-66 ist beispielsweise das Histogramm für den Rang des Bieters C dargestellt. Den sechsten Rang belegte das Angebot des Bieters C in ca. 5,9 % der simulierten Fälle. Die restlichen Iterationen führten zu dem Ergebnis, dass Angebot C den fünften Platz (also das fünftniedrigste Angebot) belegt. Dieses Ergebnis ist mit den Prozentwerten in Abb. 9-65 vergleichbar. Liegen die Angebote sehr eng beieinander, ist die Ermittlung der Ränge deutlich einfacher und schneller zu interpretieren, als die Bildung der Differenzen.

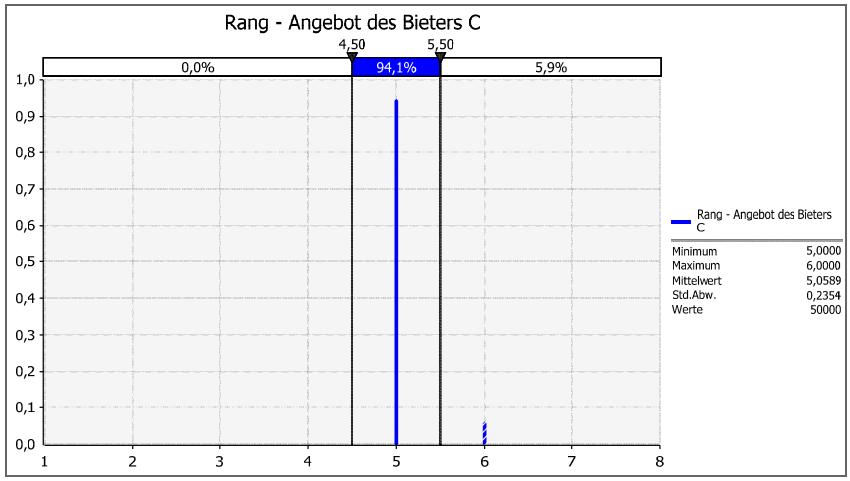


Abb. 9-66 Histogramm – Rang des Angebots von Bieter C

Insgesamt ergibt sich mit der Berücksichtigung der Mengenunsicherheiten eine zusätzliche Möglichkeit für den AG die Angebote auf deren Struktur und hinsichtlich der Preisstabilität zu untersuchen. Evtl. könnte auch überlegt werden, die Preisstabilität der Angebote in die Vergabeentscheidung (im Sinne des Bestbieterprinzips) einzubeziehen.

9.4 Projektphase PPH 4

In der PPH 4 führen die Auftragnehmer die beauftragten Leistungen aus. Der AG bzw. seine Erfüllungsgehilfen sind in dieser Phase mit Koordinations-, Kontroll- und Steuerungsaufgaben beschäftigt. Nachfolgend werden die Grundlagen für die Durchführung von Trendanalysen als Werkzeug für die Prognose zukünftiger Entwicklungen gezeigt.

9.4.1 Trendanalyse

Auf Basis historischer Daten bzw. Fortschrittsdaten aus einem laufenden Projekt lassen sich mit Hilfe mathematisch-statistischer Methoden Prognosen zukünftiger Entwicklungen erstellen. Für den AG eignen sich Trendanalysen, um während der Realisierungsphase eines Bauprojekts (PPH 4 – siehe Abb. 9-67) den Projektfortschritt zu kontrollieren und den weiteren Verlauf zu prognostizieren sowie bei absehbaren Fehlentwicklungen steuernd einzugreifen.

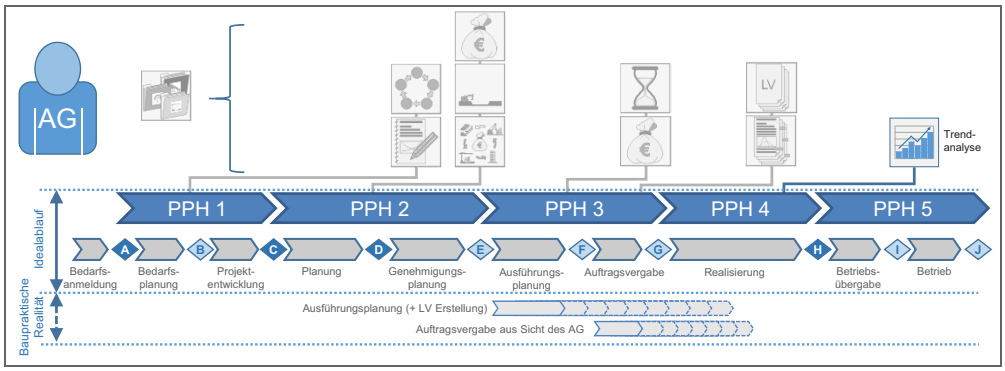


Abb. 9-67 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

9.4.1.1 Grundlagen

Trend (vom englischen trend; aus mittelhochdeutsch: trendeln ‚kreiseln', ‚nach unten rollen') steht für:

- eine besonders tiefgreifende und nachhaltige Entwicklung (Soziologie)
- eine Entwicklung im mathematischen, statistischen, messtechnischen und wirtschaftlichen Bereich (Statistik)
- Kurstrend – eine Entwicklung von Börsenkursen (Chartanalyse)
- Markttrend – eine voraussichtliche Entwicklung der Nachfrage auf einem Markt

Ein Trend beschreibt demnach eine, über einen gewissen Zeitraum beobachtbare, statistisch erfassbare Entwicklung(-stendenz) oder einen Wandlungsprozess. Er ist eine Komponente einer Zeitreihe, von der angenommen wird, dass sie längerfristig und nachhaltig wirkt. Der Trend ist eine – häufig als linear unterstellte – Funktion der Zeit, die die Grundrichtung des Verlaufs einer Zeitreihe ausdrückt und meist auch als deterministischer Trend bezeichnet wird. Von diesem ist der stochastische Trend abzugrenzen (‚Random Walk').[58)]

In der Statistik wird auf Basis von vorhandenen Daten bzw. Informationen durch Regressionsanalysen eine Hypothese für einen zukünftigen Verlauf aufgestellt.

Dabei kommen häufig lineare Regressionen, aber auch polygonale und logarithmische Regressionen auf Basis von vorhandenen Beobachtungspunkten (Punktwolken) zum Einsatz (deterministische Trendanalysen).

[58)] Vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/trend.html. Datum des Zugriffs: 10.08.2016

Werden auch Unsicherheiten in die Trendanalyse einbezogen, spricht man von ‚Zeitreihenanalysen'. Typische Beispiele für Zeitreihen sind Börsenkurse, Wahlabsichtsbefragungen oder Wetterbeobachtungen. Die Zeitreihenanalyse ist die Disziplin, die sich mit der inferenzstatistischen Analyse (schließende Statistik: Aussage über die Grundgesamtheit auf Basis von Stichproben) von Zeitreihen und der Vorhersage (Trends) ihrer künftigen Entwicklung beschäftigt. Sie ist eine Spezialform der Regressionsanalyse.

Eine Trendanalyse funktioniert in erster Linie nach mathematischen Gesichtspunkten. Sie untersucht historische Daten und/oder Ereignisse. Auf Grundlage der sich ergebenden grafischen Auswertungen werden Prognosen für zukünftige Entwicklungen erstellt.

Baubetriebliche bzw. bauwirtschaftliche Trendanalysen basieren auf Soll-Ist-Vergleichen, bei denen durch Fortschreibung der Ist-Werte der weitere Ablauf des Bauprojekts abgeschätzt werden kann.[59)]

Girmscheid/Motzko führen an, dass mit einer Beschränkung auf die Gegenwart ohne Verwendung von prognostizierenden Trendaussagen bzw. genauen Analysen der Ist-Werte keine Projektsteuerung möglich ist. Als Voraussetzung einer guten Projektsteuerung ergibt sich demnach die Kombination der Auswertung der Ist-Werte, die Analyse des Soll-Ist-Vergleichs und der Beobachtung dieser beiden Controllingergebnisse über einen längeren Zeitraum, um Tendenzen und Trends feststellen zu können.[60)]

Jede Veränderung einer Größe im Zusammenhang mit einer Bezugsgröße hat ihre Ursachen. Diese Veränderungen manifestieren sich in einem Trend. Je besser man die Hintergründe, Antriebe und die ‚Anatomie' eines Trends (siehe Abb. 9-68) versteht, desto besser lassen sich Vorhersagen über den weiteren Verlauf machen. Um den Trend zu verstehen, sind die Ursachen bzw. die treibenden Faktoren (Treiber) zu ergründen und zu analysieren.[61)]

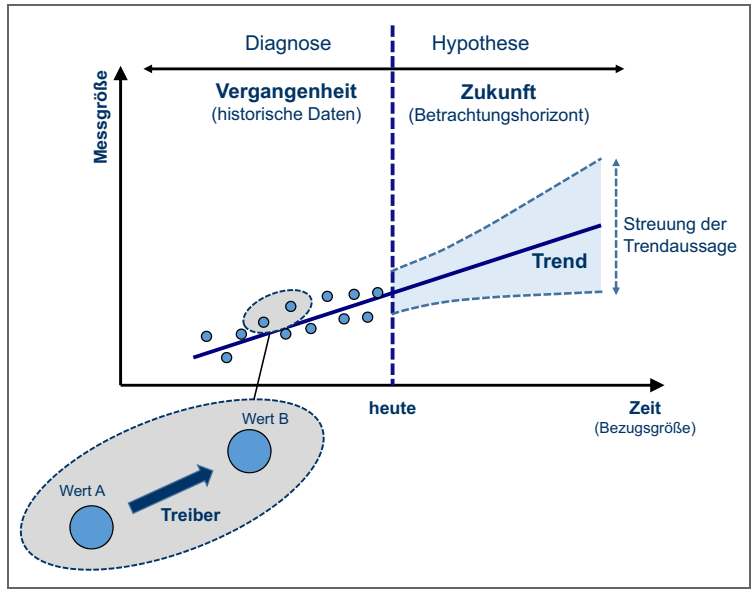


Abb. 9-68 Anatomie eines Trends[62)]

[59)] Vgl. Girmscheid/Motzko (2013), S. 421
[60)] Vgl. ebd.
[61)] Vgl. Pillkahn (2007), S. 131f.
[62)] Vgl. ebd., S. 131

Trendanalysen liefern eine Prognose für die weitere Entwicklung des Projekts, indem sie in übersichtlicher Darstellung die zu verschiedenen Berichtszeitpunkten veränderte Einschätzung von Plan-Werten zeigen.

Trendanalysen können für den Vergleich von z.B. Mengen, Kosten, Zeiten oder Lohnstunden angewendet werden.

Die einfachste Art, in einer Messreihe einen Trend festzustellen, ist ihre grafische Darstellung als Punktdiagramm z.B. in Abhängigkeit der Zeit (oder je nach Fragestellung auch des Messorts). Je eher die Punktwolke einer horizontalen Linie (oder einer runden Punktwolke) ähnelt, desto geringer ist ein auffälliger Trend. Eine lineare Regression ist meist der nächste Schritt zur Analyse.

Die lineare Regression ist ein Spezialfall der Regressionsanalysen, bei der ein linearer Zusammenhang zwischen einer Einfluss- und einer Zielgröße hergestellt wird. Dabei wird eine Gerade dermaßen durch eine Punktwolke gelegt, dass die Differenz zwischen der Regressionsgeraden und den Messwerten möglichst gering ist (Minimum-Quadrat-Methode bzw. Methode der kleinsten Fehlerquadrate).

Die Geradengleichung ist in Glg. (9-7) angegeben, wobei k die Steigung der Geraden und d den Y-Achsdurchgang (‚Offset') darstellt.

$$y = k \cdot x + d \tag{9-7}$$

Die Steigung einer Regressionsgeraden die nicht durch den Koordinatenursprung verläuft (siehe Abb. 9-69 – links), errechnet sich aus der Division der Kovarianz von X und Y durch die Varianz von X (siehe Glg. (9-8)).

Die Kovarianz ist dabei ein nichtstandardisiertes Zusammenhangsmaß für einen monotonen Zusammenhang zweier Zufallsvariablen. Der Wert dieser Kenngröße macht tendenzielle Aussagen darüber, ob hohe Werte der einen Zufallsvariablen eher mit hohen oder eher mit niedrigen Werten der anderen Zufallsvariablen einhergehen.

$$k = \frac{Cov(X;Y)}{Var(X)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} \tag{9-8}$$

Der Y-Achsdurchgang d ergibt sich dann durch Einsetzen der Mittelwerte für X und Y in Glg. (9-9).

$$d = \bar{y} - k \cdot \bar{x} \tag{9-9}$$

Bei der linearen Regression mit Nulldurchgang (siehe Abb. 9-69 – rechts) wird die Bedingung berücksichtigt, dass die Regressionsgerade durch den Koordinatenursprung gehen muss ($d = 0$). Je nach Aufgabenstellung kann dies sinnvoll sein, wenn die Einflussgröße den Wert null annimmt und die Zielgröße dadurch automatisch auch null sein muss. Die Steigung k errechnet sich in diesem Fall nach Glg. (9-10).

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2} \tag{9-10}$$

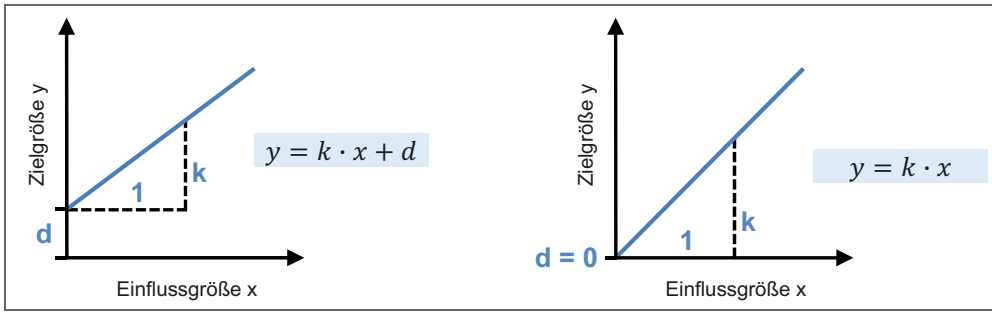


Abb. 9-69 Geradengleichung ohne (links) und mit Nulldurchgang (rechts)

Mit Hilfe der linearen Regressionsgeraden ist es vereinfacht möglich, eine Prognose über den weiteren Verlauf einer Messreihe vorzunehmen. Diese Aussage ist jedoch mit Streuungen und mitunter großen Unsicherheiten behaftet. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist dies in jedem Fall kritisch zu betrachten.

9.4.1.2 Aufgabenstellung

Für den Auftraggeber ist besonders die Einhaltung der vorgegebenen Bauzeit bzw. der vereinbarten Baukosten von Interesse. Die ständige Kontrolle des Baufortschritts kann dabei auf unterschiedliche Kennzahlen bezogen werden. Insbesondere eignen sich der Baufortschritt bezogen auf eine Leitmenge (für die Baumeisterarbeiten z.B. die Stahlbetonmenge), die aufgewendeten Lohnstunden (können aus den Bautagesberichten ermittelt werden) oder die Kosten (Teilrechnungen).

9.4.1.3 Modellierung

Durch die Dokumentation des Fortschritts in möglichst engen Zeitintervallen ergibt sich über die Zeit ein intervallweiser Verlauf der Fortschrittsdaten, die als Datenbasis für die Fortschreibung in die Zukunft (Prognose) herangezogen werden.

Dazu können die Differenzen der Fortschritte ermittelt und diese Differenzwerte in eine Verteilungsfunktion übergeführt werden (z.B. mittels Datenfitting). Diese Verteilung wird in weiterer Folge herangezogen, um für zukünftige Zeitintervalle den Fortschritt zu prognostizieren. Durch den Einsatz der Monte-Carlo-Simulation werden zufällige Werte für den Projektfortschritt aus der Bandbreite der generierten Verteilung gewählt und damit ein möglicher Projektfortschritt simuliert.

Wird dieser Vorgang mehrfach (z.B. 50.000 Iterationen) durchgeführt, ergibt sich eine prognostizierte Entwicklung des Projektfortschritts über die Zeit, aus der auch Informationen zu Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeiten abgelesen werden können.

9.4.1.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Ein Praxisbeispiel zur Trendanalyse für den Projektfortschritt der Stahlbetonarbeiten ist in Abschnitt 10.4.10 angeführt. Es werden dabei sowohl deterministische als auch probabilistische Trendanalysen durchgeführt und die Ergebnisse grafisch dargestellt und interpretiert.

9.4.1.5 Nutzen für den AG

Sowohl mit einem Balken- wie auch einem Liniendiagramm ist es relativ einfach, Soll-Ist-Vergleiche anschaulich abzubilden. Die Darstellung der Veränderung von Soll-Werten über einen längeren Zeitraum erweist sich dagegen bei diesen Arten von Diagrammen als schwierig. Aus diesem Grund werden in solchen Fällen ‚Trendanalysen', die hervorragend geeignet sind, zukünftige Engpässe und Tendenzen erkennen zu lassen, verwendet.

Mit einer Trendanalyse lässt sich bestimmen, inwieweit von einem Basisplan (klassifiziert durch Kosten-, Termin-, Inhalts- und Umfangsparameter) durch die Anwendung von Daten aus früheren Fortschrittsberichten abgewichen wird.

Es lässt sich ebenso projizieren, wie groß die Abweichung eines bestimmten Parameters in einem Projekt zu einem beliebig wählbaren Zeitpunkt in der Zukunft sein kann, wenn bei der Ausführung des Projekts keine unvorhersehbaren Veränderungen vorgenommen und die bisherigen Aufzeichnungen für die zukünftigen Entwicklungen herangezogen werden.

Durch die Berücksichtigung von Bandbreiten können die Prognosen nicht nur als einzelne deterministische Werte, sondern in Form von Histogrammen dargestellt werden. Es werden damit die möglichen Bandbreiten sowie die mit einem spezifischen Wert verbundenen Chancen und Risiken dargestellt.

9.5 Projektphase PPH 5

Für diese Projektphase sind in der vorliegenden Fassung keine Beispiele angeführt. Denkbar wären allerdings Anwendungen der Monte-Carlo-Simulation sowohl im operativen als auch im strategischen Facility Management. Für die Vermietung und den Betrieb von Immobilien können Mietausfälle und deren Auswirkungen auf die Rentabilität eines Objekts mit den verbundenen Unsicherheiten beurteilt werden.

9.6 Übergeordnetes Portfoliomanagement

Das Portfoliomanagement ist keiner PPH direkt zuzuordnen, sondern als übergeordnetes Managementwerkzeug aufzufassen (siehe Abb. 9-70).

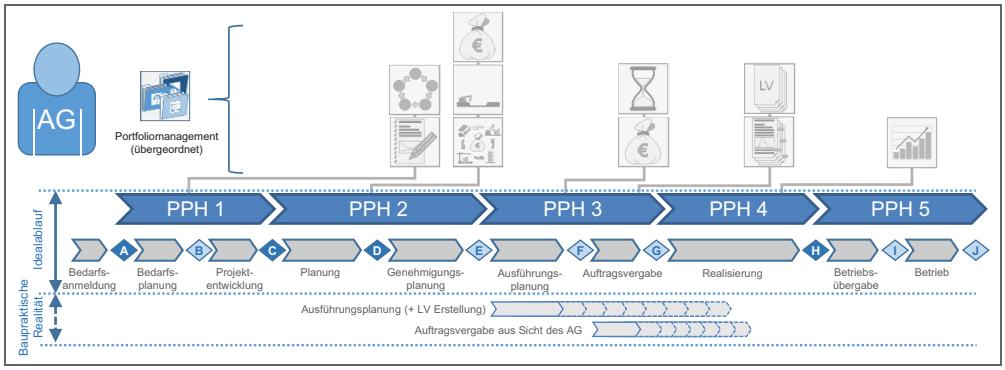


Abb. 9-70 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

Es werden dabei mehrere Projekte hinsichtlich ihrer Kosten und dem zur Verfügung stehenden Budget des AG betrachtet. Ziel ist es einen Überblick über das Chancen-Risikoverhältnis des gesamten Portfolios zu erlangen und umgekehrt auch den Einfluss einzelner Projekte auf das Portfolio darzustellen und zu bewerten.

Die Anwendung ist dabei besonders für große (z.B. öffentliche) Auftraggeber mit mehreren gleichzeitig ausgeführten Projekten mit unterschiedlichem Projektvolumen und unterschiedlichen Projektfortschritten von Interesse.

9.6.1 Grundlagen

Die Portfoliotheorie geht auf *Markowitz*[63] zurück und stellt in seiner ursprünglichen Form ein Teilgebiet der Kapitalmarkttheorie dar. Ausgangspunkt ist dabei ein bestimmter zur Verfügung stehender Investitionsbetrag, der durch Streuung (Diversifikation) auf mehrere Anlagemöglichkeiten (z.B. Aktien, Anleihen) aufgeteilt wird. Das Ziel dieser Maßnahme ist eine Reduktion des Risikos (bezogen auf die Varianz und die Höhe der Rendite) gegenüber einer Investition in nur eine Anlage. Für den Kapitalmarkt stellt sich dabei die Frage, welche Wertpapiere in einem Portfolio zusammengefasst werden sollen und zu welchen Anteilen diese zusammengesetzt werden. Eine solche Zusammenfassung von Anlagemöglichkeiten erfolgt praktisch durch die Bildung und den Vertrieb von Fonds (z.B. Aktienfonds).[64]

Die theoretischen Überlegungen zur Bildung eines optimalen Portfolios werden in der Praxis durch die Unsicherheiten der Daten und Informationen über die Anlagealternativen sowie durch die Volatilität des Marktes beeinträchtigt.

Umgelegt auf die Bauwirtschaft stellt sich für Auftraggeber eine ähnlich Situation dar. Sie können mit ihrem zur Verfügung stehenden Budget mehrere Projekte realisieren. Kann mit den realisierten Projekten keine direkte Rendite erzielt werden (z.B. mit Infrastrukturprojekten) beschränkt sich die Portfoliobetrachtung auf die Ausgabenseite (Ausgaben bzw. Kosten). Ziel des AG sollte es dabei sein, das verfügbare Gesamtbudget nicht zu überschreiten. Dieses Ziel kann durch die vorhandenen Unsicherheiten zukünftiger Entwicklungen nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht werden. Als Steuerungsinstrument dient dabei die Auswahl der zu realisierenden Projekte bzw. durch die Einengung der Kosten-Bandbreiten einzelner Projekte (z.B. mittels Pauschal- und/oder Fixpreisverträgen). Je nach Art der Auftraggeber (öffentlich/privat) sind diese mehr oder weniger flexibel in der Zusammensetzung ihrer Projektauswahl.

Gegenüber der Finanzmathematik – bei der z.B. eine beliebige Menge an Aktien erworben werden kann – ergibt sich beim Projektportfoliomanagement der wesentliche Unterschied, dass einzelne Projekte in der Regel nicht ‚gestückelt' werden können. Eine Investition in ein Projekt erfolgt entweder ganz oder gar nicht.

9.6.2 Aufgabenstellung

Bauprojekte werden von Auftraggebern durchgeführt, um einen bestimmten Bedarf zu decken und einen angestrebten Nutzen zu stiften. Dieser Bedarfsdeckung steht jedoch ein begrenztes Budget gegenüber, welches z.B. innerhalb eines Ressorts auf mehrere Projekte verteilt werden kann. Es handelt sich dabei zumeist um Projekte unterschiedlicher Größe

[63] Vgl. Markowitz (1952), 77ff.

[64] Vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/portfolio-selection.html. Datum des Zugriffs: 02.11.2016

(Projektvolumen) und mit unterschiedlichem Projektfortschritt. Damit verbunden sind auch unterschiedliche Chancen und Risiken, die mit den Projekten verbunden sind.

Je nach Fortschritt der Planung zum Zeitpunkt der Ausschreibung bzw. der Auftragsvergabe können Mengen- und/oder Leistungsänderungen in einem größeren oder geringeren Ausmaß während des Projektverlaufs auftreten und sich erhöhend auf die Kosten auswirken. Eine unvollständige Planung und eine Vielzahl an Änderungen während der Bauausführung wirken sich in der Regel negativ auf das Chancen-Risikoverhältnis zur Einhaltung des Budgets aus.

Im Zuge des Portfoliomanagements ist es möglich, einzelne Projekte und deren Chancen-Risikoverhältnisse zusammenzufassen und dem zur Verfügung stehenden Budget gegenüberzustellen. Auch die Auswirkungen eines neuen Projekts auf das Portfolio können betrachtet und in die Entscheidungsfindung für oder gegen das entsprechende Projekt integriert werden.

9.6.3 Modellierung

Für die Ermittlung des Chancen-Risikoverhältnisses zur Einhaltung eines vorgegebenen Budgets ist es in der Modellierung erforderlich, die Unsicherheiten der Kosten für die einzelnen Projekte des Portfolios in Form von Verteilungen abzubilden. Liegt dabei eine probabilistische Kostenermittlung der Projekte vor, kann diese direkt für die Portfoliobetrachtungen übernommen werden. Ist eine derartige probabilistische Berechnung nicht vorhanden, müssen die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeiten der einzelnen Projektbudgets sowie die Bandbreiten der zu erwartenden Kosten abgeschätzt werden.

Aus der Summe dieser Kostenverteilungen ergibt sich in weiterer Folge ein Histogramm für die Gesamtkosten, welches dem Gesamtbudget gegenübergestellt werden kann. Es ergibt sich daraus ein Chancen-Risikoverhältnis zur Einhaltung dieses Budgets für das gesamte Portfolio. In gleicher Weise können auch neue Projekt aufgenommen und hinsichtlich ihres Einflusses auf das Portfolio und die Budgeteinhaltung untersucht werden.

Entscheidend ist, dass die Kostenverteilungen der Projekte über den Projektfortschritt aktualisiert werden. Nur so können aktuelle Entwicklungen der Einzelprojekte im Kontext des Gesamtportfolios berücksichtigt werden.

9.6.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Ein Praxisbeispiel zum übergeordneten Portfoliomanagement ist in Abschnitt 10.6 angeführt. Es wird dabei aus Sicht des Auftragnehmers gezeigt, wie einzelne Projekte zu einem Projektportfolio zusammengefasst werden können und wie das Portfoliomanagement sowohl als Kontroll- als auch als Steuerungsinstrument eingesetzt werden kann.

9.6.5 Nutzen für den AG

Mit der gezeigten Systematik gelingt es Projekte mit unterschiedlichem Projektfortschritt, unterschiedlichen Auftragsvolumen und unterschiedlichen Chancen-Risikoverhältnissen in einer Gesamtbetrachtung zu vereinen und daraus wiederum Rückschlüsse auf einzelne neue Projekte ziehen zu können.

Die Betrachtung der Gesamtheit von Projekten in Form eines Portfolios hat den Vorteil, dass bei entsprechend angepasster Datengrundlage eine aktive und iterative Regulierung der Budgetsicherheit durch die Auswahl neuer Projekte vorgenommen werden kann. Als zentrales Regelungsinstrument dient dabei das Chancen-Risikoverhältnis für das Portfolio.

Ändert sich durch ein neues Projekt das Chancen-Risikoverhältnis des Gesamtportfolios dermaßen, dass eine Einhaltung des Budgets nicht mit ausreichender Wahrscheinlichkeit gegeben ist, kann es durchaus sinnvoll sein, das angestrebte Projekt zeitlich zurückzustellen und erst zu einem späteren Zeitpunkt (in einer anderen Portfoliokonstellation) durchzuführen.

Die praktische Anwendung des Portfoliomanagements wird in Abschnitt 10.6 aus der Sicht des Auftragnehmers gezeigt, da die Grundüberlegungen für die Portfoliobetrachtung sehr ähnlich sind.

Das Projektportfoliomanagement ist als Managementinstrument mit Kontroll- und Steuerungsfunktionen aufzufassen. Die Eingabedaten sind dabei iterativ und fortlaufend zu aktualisieren, um aktuelle Aussagen zu den vorhandenen Chancen-Risikoverhältnissen treffen zu können.

9.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden praxisbezogene Anwendungsbeispiele der Monte-Carlo-Simulation für den AG gezeigt. Die Beispiele beziehen sich dabei vornehmlich auf die PPH 1 bis PPH 4. Die gezeigten Methoden und Werkzeuge sind jedoch auch in anderen Projektphasen anwendbar und können gegebenenfalls auch von Bietern und späteren Auftragnehmern angewendet werden.

Die Beispiele sind nachvollziehbar dargestellt und folgen im Aufbau einer einheitlichen Systematik. Die Berechnungstabellen sind in den jeweiligen Abschnitten erklärt und durch die schematischen Darstellungen der Berechnungsabläufe grafisch aufbereitet. Besonderes Augenmerk wird auf die Interpretation der Simulationsergebnisse und das Aufzeigen des Nutzens für die Anwender gerichtet.

9.8 Literaturverzeichnis

Bauer, Ulrich (2009). Enzyklopädie Betriebswirtschaftslehre – Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre – Betriebswirtschaftslehre Bau. Skriptum. Graz. Technische Universität Graz.

Bichler, Daniel (2014). Lebenszykluskostenrechnung in der Bauwirtschaft. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

BKI BAUKOSTEN-Poster 2016; Quelle: Eurostat Datenbank New Cronos.

Blecken, Udo et al. (2007). Kosten im Hochbau – Praxis-Handbuch und Kommentar zur DIN 276. Hrsg.: Blecken, Udo; Hasselmann, Willi. Köln. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG. (ISBN 978-3-481-02245-7)

Diederichs, Claus Jürgen (2006). Immobilienmanagement im Lebenszyklus – Projektentwicklung, Projektmanagement, Facility Management, Immobilienbewertung – 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York. Springer-Verlag. (ISBN-10 3-540-25509-5)

DIN 276-1 (Ausgabe: 2008-12). Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau.

DIN 277-1 (Ausgabe: 2016-01). Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen.

Fetzer, Robert et al. (2016). BKI Baukosten 2016 – Neubau – Teil 3 – Statistische Kostenkennwerte für Positionen. Hrsg.: BKI Baukosteninformationszentrum. Stuttgart. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH. (ISBN 978-3-945-649-15-2)

Girmscheid, Gerhard; Motzko, Christoph (2013). Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft – Produktionsprozessorientierte Kostenberechnung und Kostensteuerung – 2. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-36637-6)

Glatte, Thomas (2014). Entwicklung betrieblicher Immobilien – Beschaffung und Verwertung von Immobilien im Corporate Real Estate Management. Hrsg.: Berner, Fritz; Bernd Kochendörfer. Wiesbaden. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-658-05687-2)

Heiermann, Wolfgang; Riedl, Richard; Rusam, Martin et al. (2003). Handkommentar zur VOB – Teile A und B, Rechtsschutz im Vergabeverfahren – 10. Auflage. Wiesbaden. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH. (ISBN 3-528-11715-X)

Hofstadler, Christian (2014c). Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. In: Nachhaltig Bauen mit Beton: Werkstoff und Konstruktion, Beton Graz‘14 – 2. Grazer Betonkolloquium; 25. / 26. September 2014. Hrsg.: Nguyen, Viet Tue; Maydl, Peter; Freytag, Bernhard; Santner, Gerhard. Seite 139-152. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-360-3)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2015b). Application of the Monte-Carlo Method to Calculate the Life-Cycle Costs of Bridges. In: Multi-Span Large Bridges. Hrsg.: Pacheco, Pedro; Magalháes, Filipe. London. Seite 751-758. CRC Press – Taylor & Francis Group. (ISBN 978-1-138-02757-2)

Jodl, Hans (2010a). Lebenszykluskosten von Brücken – Teil 1 – Berechnungsmodell LZKB. Bauingenieur 85, Mai 2010. Seite 221-230. Düsseldorf. Springer-VDI-Verlag. (ISSN 0005-6650)

Jodl, Hans (2010b). Lebenszykluskosten von Brücken – Teil 2 – Software LZKB. Bauingenieur 85, Mai 2010. Seite 231-240. Düsseldorf. Springer-VDI-Verlag. (ISSN 0005-6650)

Kalusche, Wolfdietrich et al. (2016). BKI Baukosten 2016 Neubau – Teil 1 – Statistische Kostenkennwerte für Gebäude. Hrsg.: BKI Baukosteninformationszentrum. Stuttgart. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH. (ISBN 978-3-945-649-13-8)

Kropik, Andreas; Krammer, Peter (1999). Mehrkostenforderungen beim Bauvertrag – Ansprüche aus Leistungsänderungen, ihre Geltendmachung und Abwehr. Wien. Österreichischer Wirtschaftsverlag. (ISBN 3-85212-105-1)

Lechner, Hans (2009). Projektentwicklung. Skriptum. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Lechner, Hans; Heck, Detlef [Hrsg.] (2011). Wörterbuch (dt./engl.) – BauProjektManagement – 3. Auflage. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-85125-148-7)

Lechner, Hans; Liebenau, Sabine (2010). PM Teil 7a – Kostenplanung. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz.

Markowitz, Harry (1952). Portfolio Selection. In: The Journal of Finance. Vol. 7, No. 1. März 1952. Seite 77-91. American Finance Association. (ISSN 1540-6261)

Oberndorfer, Wolfgang; Jodl, Hans Georg et al. (2001). Handwörterbuch der Bauwirtschaft – ON V 208 – 2. Auflage. Wien. ON Österreichisches Normungsinstitut. (ISBN 3-85402-072-4)

ÖNORM B 1800 (Ausgabe: 2013-08-01). Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken und zugehörigen Außenanlagen.

ÖNORM B 1801-1 (Ausgabe: 2015-12-01). Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 1: Objekterrichtung.

ÖNORM B 2110 (Ausgabe: 2013-03-15) Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm.

Pillkahn, Ulf (2007). Trends und Szenarien als Werkzeuge zur Strategieentwicklung – Wie Sie die unternehmerische und gesellschaftliche Zukunft planen und gestalten. Erkangen. Publics Corporate Publishing. (ISBN 978-3-89578-286-2)

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Trend. Online unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/trend.html. Datum des Zugriffs: 10.08.2016.

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Portfolio Selection. Online unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/portfolio-selection.html. Datum des Zugriffs: 02.11.2016.

Veit, Peter (2012). Betriebswirtschaftslehre – Bau – Kostenrechnung, Investition. Skriptum. Graz. Technische Universität Graz.

10 Anwendungsbeispiele – Auftragnehmer

In diesem Kapitel werden praxisbezogene Anwendungsbeispiele für die Sphären der Bieter und Auftragnehmer gezeigt. Die Methoden und Anwendungsschemata können jedoch auch von Auftraggebern bzw. in ihrer grundsätzlichen Struktur auch von anderen am Bau Beteiligten herangezogen werden.

Die Beispiele sind den Projektphasen zugeordnet und in die Abschnitte Grundlagen (sofern erforderlich), Aufgabenstellung bzw. Ausgangssituation, Modellierung, Berechnung sowie Ergebnisinterpretation und Nutzendarstellung gegliedert.

Generell erfolgten alle Berechnungen bzw. Simulationen mit MS Excel in Kombination mit dem Add-In @Risk. Beim händischen Nachrechnen der angegebenen Zahlenwerte können Rundungen zu geringfügig abweichenden Ergebnissen führen.

Wenn nicht anders angegeben, liegen den Simulationsergebnissen jeweils 50.000 Iterationen unter Anwendung des Latin Hypercube Probenerhebungsverfahrens zugrunde.

10.1 Projektphase PPH 1

Auftragnehmer sind in dieser Projektphase in der Regel noch nicht in das Projekt involviert, sofern es sich nicht um Eigenprojekte oder PPP-Projekte handelt. Wenn der AN auch AG-Funktionen übernimmt, können die für den AG angeführten Methoden und Werkzeuge eingesetzt werden (siehe Abschnitt 9.1).

10.2 Projektphase PPH 2

Auftragnehmer sind in dieser Projektphase in der Regel noch nicht in das Projekt involviert, sofern es sich nicht um Eigenprojekte oder PPP-Projekte handelt. Wenn der AN auch AG-Funktionen übernimmt, können die für den AG angeführten Methoden und Werkzeuge eingesetzt werden (siehe Abschnitt 9.2).

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1_10

10.3 Projektphase PPH 3

In der PPH 3 berechnen die Bieter die zu erwartenden Kosten und bilden darauf aufbauend den Angebotspreis. Nachfolgend wird für ausgewählte Einsatzmöglichkeiten der Monte-Carlo-Simulation gezeigt, welcher Mehrwert dadurch für die Bieter in ihrer Entscheidungsfindung entsteht.

10.3.1 Mengenunsicherheiten/Mischpreiskalkulation

Die Mischpreiskalkulation wird durch den Ausschreibenden dann veranlasst, wenn Leistungen für unterschiedliche Bauteile, Gewerke, Bodenarten, Stabdurchmesser etc., die eine variierende Art und Kombination der Produktionsfaktoren erfordern, in einer Position zusammengefasst werden sollen. Sie ist dann erforderlich, wenn für den Einsatz der Produktionsfaktoren aus unterschiedlichen kalkulatorischen Ansätzen ein Einheitspreis gebildet wird.

Anhand der Ausschreibungsunterlagen für die Bewehrungsarbeiten eines Ingenieurbauwerks wird gezeigt, welche Unsicherheiten mit freien Kalkulationsannahmen aufgrund nicht offengelegter Kalkulationsgrundlagen verbunden sind. Der AG hat durch die Wahl einer Mischpreisposition für die Bewehrung keine Angaben zur Kaliber- und/oder Biegeformverteilung der Stabbewehrung gemacht.

Es werden für das Beispiel lediglich die Lohnkosten für das Verlegen der Stabbewehrung betrachtet. Geräte- und Materialkosten sowie Lohnkosten für das Schneiden und Biegen bleiben unberücksichtigt. Das Beispiel ist der PPH 3 innerhalb des Projektverlaufs zuzuordnen (siehe Abb. 10-1).

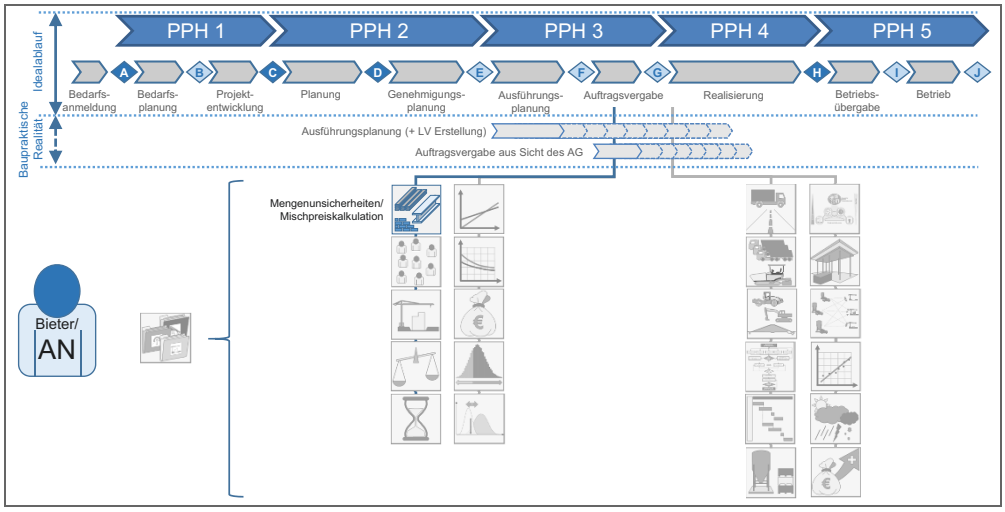


Abb. 10-1 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.3.1.1 Ausgangssituation

Der AG hat in seiner Ausschreibung für die Bewehrungsarbeiten nur eine Position für Stabstahl mit der entsprechenden Bewehrungsmenge angegeben. Zu den Durchmessern

und der Biegeformverteilung (Mengenverteilung) sind in der Ausschreibung keinerlei Angaben enthalten und der Bieter ist veranlasst einen Mischaufwandswert und in weiterer Folge einen Mischpreis für die Angebotserstellung zu ermitteln (siehe Abb. 10-2).

Bei den Bewehrungsarbeiten sind von den Bietern dann Mischpreiskalkulationen durchzuführen, wenn es beispielsweise bei der Stabbewehrung keine Differenzierung in Durchmesser und/oder es keine Angaben zur Kompliziertheit der Biegeform und/oder es keine Bauteilzuordnung gibt.

Bei der Kalkulation muss der Bieter von jener Verteilung der Bewehrung und jenen Mengenangaben ausgehen, die ihm der AG im Leistungsverzeichnis vorgibt. Ist in der Ausschreibung nichts zur Verteilung der Bewehrung auf die verschiedenen Bauteilgruppen, zum mittleren Stabdurchmesser und zu den Biegeformen angegeben, hat der Bieter freie Kalkulationsannahmen zu treffen.

Pos.Nr.	Positionstext *Menge EH*	*Preisanteile*	*Positionspreis*
01 xx xx	Bewehrung Ständige Vorbemerkungen 1. Technische Vertragsbedingungen Die Technischen Vertragsbedingungen RVS 08.06.02 sind einzuhalten.		
01 xx xx xx	Betonstahl der Sorte Bx für schlaffe Bewehrung liefern, schneiden, biegen und verlegen. Der Einheitspreis gilt ohne Unterschied der Durchmesser bzw. Formate und für alle plangemäß erforderlichen Längen sowie erforderlichenfalls auch für Rundstahl der Stahlsorte S235. Die Leistung beinhaltet auch: • das sachgemäße Lagern, • alle erforderlichen Zwischentransporte einschließlich Auf- und Abladen, • den Zutransport zur Einbaustelle, • das Liefern des Bindedrahtes und der Abstandhalter zur Schalung, • das Schweißen der Unterstellungen von Spanngliedern sowie die Aufwendungen für die erhöhte Genauigkeit dieser Unterstellungen. Gesondert vergütet wird: • die Mehrkosten für Stäbe mit einer Länge größer 14 m. Verrechnet wird: • das theoretische Gewicht der Bewehrung, der Unterstellung (Z-Eisen, Distanzstreifen udgl.) und Aussteifungen nach den genehmigten Plänen ohne Verschnitt.		
01 xx xx xxA	**Betonstahl B550B** LT 1 Betonstahl B550B gemäß ÖNORM B 4707.		
	3.500,00 t	Lohn: Sonstiges: Einheitspreis:	

Abb. 10-2 Auszug aus dem Leistungsverzeichnis[1)]

Werden die Kalkulationsgrundlagen bzw. Ausschreibungsgrundlagen vom AG nur teilweise oder gar nicht offengelegt, muss der Bieter und spätere AN Annahmen treffen, um überhaupt kalkulieren zu können. Legt der Bieter seine Annahmen im Zuge der Angebotsabgabe ebenfalls nicht offen, sind Streitigkeiten – bei Änderung der Mengen oder der Verteilung der Mischpreisbestandteile – vorprogrammiert (siehe Abb. 10-3).

Für den Bieter ist nicht nachvollziehbar, welches Mengengefüge der AG seiner Ausschreibung zugrunde gelegt hat und der AG hat keine Informationen darüber, welche

[1)] Basierend auf einem realen Leistungsverzeichnis, das von den Autoren für das Beispiel anonymisiert wurde.

Ansätze der Bieter für seine Kalkulation und Preisbildung gewählt hat (sofern die Kalkulationsgrundlagen nicht offengelegt werden).

Bei der Offenlegung des Bieters muss weiters unterschieden werden, ob die eigenen Annahmen oder jene, die von einem Subunternehmer angesetzt wurden, offengelegt werden (evtl. unterschiedliche Mittellohnpreise). Legt der Bieter seine Annahmen offen, sind die Preisgrundlagen dem AG bekannt gemacht.

Liegen die Preisgrundlagen nicht offen, sind nur die Preiskomponenten (Lohn + Sonstiges = Einheitspreis) offensichtlich, die nicht als fundierte Basis für den Nachweis einer sachgerechten Kalkulation dienen. Im Streitfall sind die vom AN im Nachhinein offengelegten Preisgrundlagen auf Plausibilität zu prüfen, gegebenenfalls mit Angaben aus der Literatur kritisch zu vergleichen und über die Rückrechnung des Angebotspreises – soweit möglich – zu rekonstruieren.

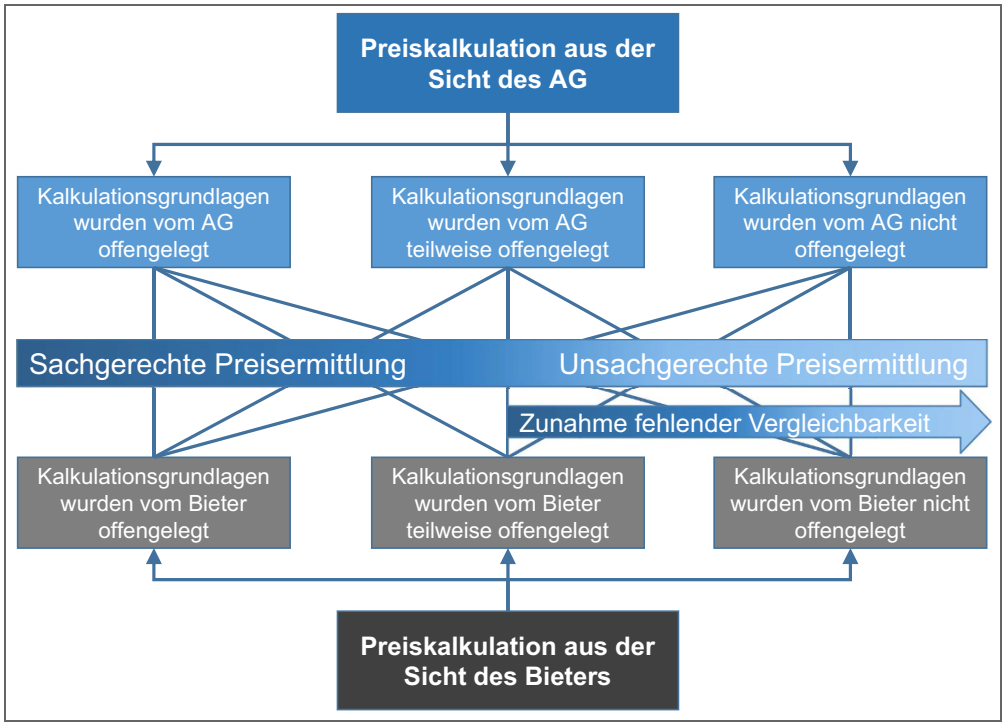


Abb. 10-3 Kalkulationsgrundlagen aus Sicht des AG und des Bieters

Grundsätzlich gilt, dass der AN freie Kalkulationsannahmen zu Mengen und deren Verteilung treffen muss, wenn der AG keine näheren Angaben in seiner Leistungsbeschreibung macht. Diese freien Annahmen dürfen jedoch nicht fern jeder Realität sein und müssen auch rechtliche Rahmenbedingungen (z.B. Mindestlöhne im Hinblick auf Lohn- und Sozialdumping) berücksichtigen.

Im konkreten Beispiel orientierte sich der Bieter mit seinen Kalkulationsannahmen an den Ansätzen des VÖBV[2)]. Darin werden für bestimmte Bauwerkskategorien Angaben zu üblichen Biegeform- und Kaliberverteilungen angegeben.

[2)] Verband Österreichische Biege- und Verlegetechnik

10.3.1.2 Modellbildung

Der Bieter musste einen Mischpreis für alle Kaliber (8 bis 40 mm) und alle Biegeformen (gerade, einfach gebogen und kompliziert gebogen) ermitteln. Die Anzahl der Freiheitsgrade war damit in der Kalkulation sehr hoch und der Bieter war gezwungen, freie Kalkulationsannahmen zu treffen.

Woher der Bieter seine sachgerechten Annahmen bezieht, ist im Grunde seine Sache. Diese sollten jedenfalls im plausiblen Verhältnis zu den in der Ausschreibung beschriebenen Leistungen stehen.

Für die Ermittlung des Lohnanteils sind zunächst Annahmen zur Kaliber- und Biegeformverteilung zu treffen und anschließend deren Anteile mit den entsprechenden Aufwandswerten zu gewichten. Der damit ermittelte Mischaufwandswert kann in weiterer Folge mit dem Mittellohnpreis multipliziert werden und daraus ergibt sich der Lohnanteil des Einheitspreises (siehe Abb. 10-4).

Als unsichere Inputparameter werden dabei die Mengenanteile der Kaliber, die Biegeformanteile sowie die Aufwandswerte je Kaliber und Biegeform definiert. In Abb. 10-4 sind neben dem schematischen Ablauf der Berechnung auch die entsprechenden Verteilungsfunktionen qualitativ dargestellt. Der Mittellohnpreis wird als deterministischer Wert in das Berechnungsmodell integriert.

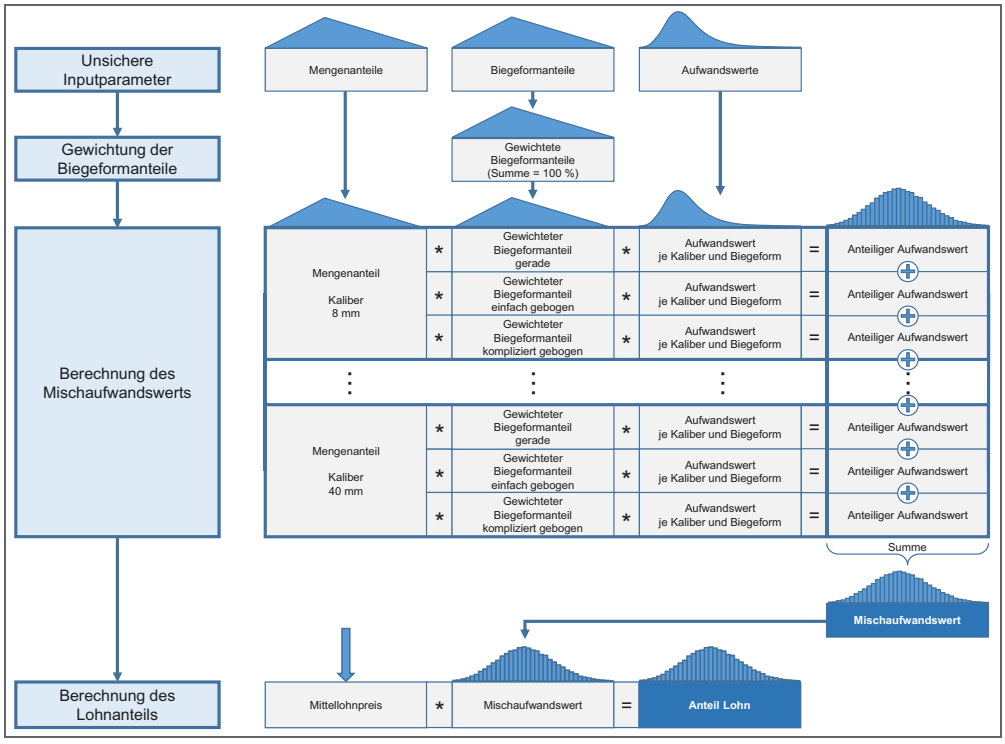


Abb. 10-4 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs

Für Ingenieurbauwerke gibt der VÖBV übliche Kaliber- und Biegeformverteilungen an. Diese prozentuellen Angaben sind in Tab. 10-1 und Tab. 10-2 für die unterschiedlichen Kaliber und Biegeformen angeführt.

Lfd. Nr.	Kaliber [mm]	Ingenieurbau [%]
0	A	B
1	8	0,54
2	10	8,47
3	12	14,41
4	14	17,22
5	16	15,37
6	20	17,96
7	26	18,08
8	30	6,06
9	36	0,84
10	40	1,05
11	**Summe**	**100,00**

Tab. 10-1 Kaliberverteilung – Ingenieurbau lt. VÖBV[3)]

Da es sich bei den Angaben des VÖBV um Mittelwerte handelt, die Unsicherheiten bzw. Streuungen unterworfen sind, wird für die probabilistische Berechnung jeweils angenommen, dass die Anteile um +/-20 % um die angegebenen Werte schwanken können.[4)]

Lfd. Nr.	Biegeform-verteilung [-]	Ingenieurbau [%]
0	A	B
1	gerade	56,36
2	einfach	24,15
3	kompliziert	19,49
4	**Summe**	**100,00**

Tab. 10-2 Biegeformverteilung – Ingenieurbau lt. VÖBV[5)]

Modelliert werden diese Bandbreiten der Kaliber- und Biegeformanteile durch symmetrische Dreiecksverteilungen. Tab. 10-3 zeigt in den Spalten B, C und D jeweils den minimalen, erwarteten und maximalen Mengenanteil je Kaliber. Die Bandbreiten (MIN und MAX) entsprechen dabei jeweils einer 20 %igen Erhöhung bzw. Verringerung des erwarteten Werts. In der Spalte E ist in jeder Zeile die entsprechende Dreiecksverteilung der Mengenanteile hinterlegt. Im Zuge der Simulation kann durch die zufällige Kombination der unterschiedlichen Kaliber die Summe der Prozentwerte jeweils über oder unter 100 % liegen. Daher erfolgt in der Spalte F eine Gewichtung dieser Anteile. Für einfach gebogene Kaliber 20 mm (Zeile 6) ergibt sich demnach für die angegebenen Zufallswerte in Tab. 10-3 ein gewichteter Mengenanteil von 17,217 % (= 16,651 % / 96,717 % * 100 %).

Damit wird in der Simulation auch berücksichtigt, dass die ausgeschriebene Menge nicht zwingend jene sein muss, die auch tatsächlich zur Ausführung gelangt. Die Grenzfälle, in denen alle Mengenanteile gleichzeitig das Minimum bzw. das Maximum der definierten Bandbreiten annehmen, sind äußerst unwahrscheinlich und wurden im Zuge der Simulation bei 50.000 Iterationen nicht generiert.

3) Vgl. VÖBV (2010), S. 2

4) Annahme orientiert sich an der 20 %-Klausel der ÖNORM B 2110:2013, S. 28f.

5) Vgl. VÖBV (2010), S. 6

Ist die ausgeschriebene Menge keinen Unsicherheiten unterworfen, wäre an dieser Stelle eine Normierung der Mengenanteile für jeden Iterationsschritt möglich (siehe Abschnitt 9.3.3.4).

Ingenieurbau						
Lfd. Nr.	Kaliber	Mengenverteilung				
		MIN	ERW	MAX	Verteilung	Gewichteter Anteil
	[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0	A	B	C	D	E	F
1	8	0,432	0,540	0,648	0,503	0,520
2	10	6,776	8,470	10,164	9,071	9,379
3	12	11,528	14,410	17,292	14,042	14,519
4	14	13,776	17,220	20,664	17,426	18,018
5	16	12,296	15,370	18,444	13,242	13,692
6	20	14,368	17,960	21,552	16,651	17,217
7	26	14,464	18,080	21,696	17,657	18,256
8	30	4,848	6,060	7,272	6,075	6,281
9	36	0,672	0,840	1,008	0,866	0,895
10	40	0,840	1,050	1,260	1,184	1,224
11	**Summe**	**80,000**	**100,000**	**120,000**	**96,717**	**100,000**

Tab. 10-3 Kaliberverteilung – Ingenieurbau – Bandbreiten

Tab. 10-4 zeigt die Modellierung der Biegeformverteilung nach demselben Prinzip wie für die Kaliberverteilung. In den Spalten B bis D sind ebenfalls die minimalen, erwarteten und maximalen Mengenanteile je Biegeform angegeben. Auch bei den Biegeformen beträgt die Bandbreite jeweils +/- 20 %. Die zufälligen Mengenanteile in Spalte E, die sich innerhalb der definierten Bandbreiten befinden, zeigen, dass es ebenfalls zu Über- oder Unterschreitungen bei der Summe der Biegeformanteile kommen kann. Daher erfolgt in der Spalte F eine Gewichtung dieser Anteile. Für einfach gebogene Bewehrungsstäbe (Zeile 2) ergibt sich demnach für die angegebenen Zufallswerte in Tab. 10-4 ein Mengenanteil von 23,19 % (= 23,96 % / 103,32 % * 100 %).

Ingenieurbau						
Lfd. Nr.	Biegeform	Biegeformverteilung				
		MIN	ERW	MAX	Verteilung	Gewichteter Anteil
	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0	A	B	C	D	E	F
1	gerade	45,09	56,36	67,63	61,62	59,64
2	einfach	19,32	24,15	28,98	23,96	23,19
3	kompliziert	15,59	19,49	23,39	17,74	17,17
4	**Summe**	**80,00**	**100,00**	**120,00**	**103,32**	**100,00**

Tab. 10-4 Biegeformverteilung – Ingenieurbau – Bandbreiten

Für die Berechnung des Lohnanteils der Stabbewehrung sind in weiterer Folge für jeden Stabdurchmesser und jede Biegeform Aufwandswerte anzusetzen. Dazu gibt es vom VÖBV ebenfalls eine tabellarische Aufstellung der mittleren Aufwandswerte (siehe Tab. 10-5).

Lfd. Nr.	Kaliber	Aufwandswerte		
		Biegeform		
		gerade	einfach gebogen	kompliziert gebogen
	[mm]	[Std/t]	[Std/t]	[Std/t]
0	A	B	C	D
1	8	15,88	34,93	57,32
2	10	12,20	26,05	44,61
3	12	9,34	18,60	32,31
4	14	7,42	14,47	23,07
5	16	6,08	10,88	18,22
6	20	4,22	7,54	12,84
7	26	3,53	6,35	11,21
8	30	3,53	6,15	10,48
9	36	3,53	5,95	10,28
10	40	3,53	5,95	10,08

Tab. 10-5 Aufwandswerte für das Verlegen von Stabstahl – Unterscheidung nach Biegeformen und Kaliber[6)]

Die Aufwandswerte sind für gerade Stäbe niedriger als für einfach oder kompliziert gebogene Stäbe und nehmen generell mit steigendem Stabdurchmesser ab (siehe Abb. 10-5). Besonders kleine Stabdurchmesser, die zudem kompliziert gebogen sind, verursachen den größten Lohnstundenaufwand je Tonne Bewehrung.

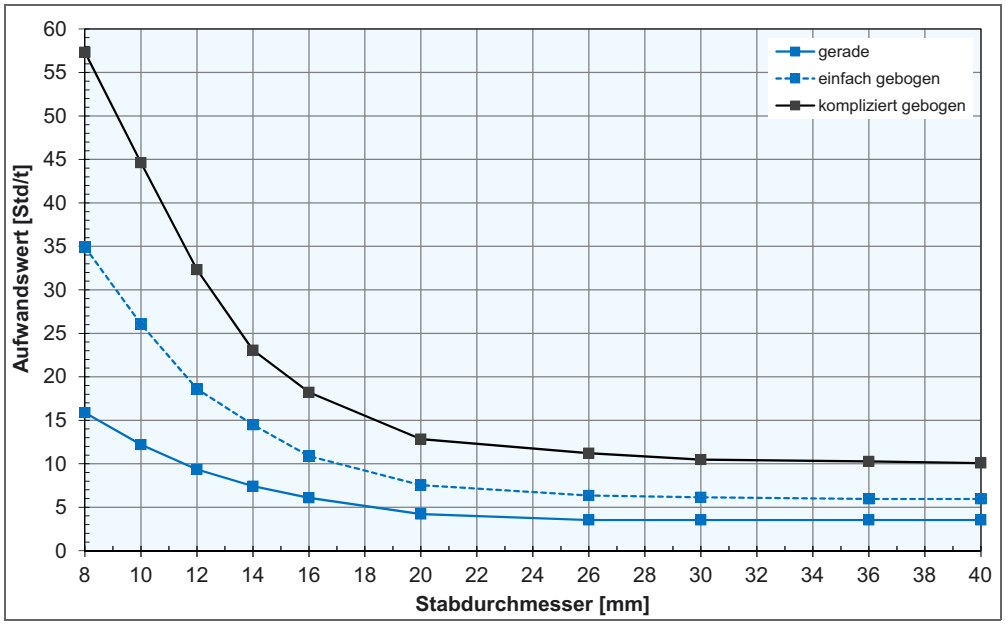


Abb. 10-5 Aufwandswerte für das Verlegen von Stabstahl getrennt nach Biegeformen lt. VÖBV[7)]

Um auch die Unsicherheiten die in den Angaben zu den Aufwandswerten enthalten sind in der Modellbildung zu berücksichtigen, werden LogLogistic-ähnliche Verteilungen für die Aufwandswerte definiert. Die Methodik entspricht dabei jener, die in Abschnitt 7.2.1 für

6) Vgl. Hofstadler/Franzl (2011), S. 174

7) Vgl. ebd.

den Aufwandswert der Schalarbeiten bei Decken angewandt wurde. Da über die Form der Verteilungsfunktion für Bewehrungsarbeiten keine entsprechende Datenbasis für ein gesondertes Datenfitting vorhanden ist, wird angenommen, dass die Form der Verteilung für den Aufwandswert der Schalarbeiten auch für die Bewehrungsarbeiten übernommen werden kann.[8)] Es wird also nur die Form der Verteilung von den Schalarbeiten übernommen, die Aufwandswerte für die Bewehrungsarbeiten (minimaler und erwarteter Wert) werden projektspezifisch angesetzt.

Um die polygonale Form der LogLogistic-ähnlichen Verteilung der Aufwandswerte für die Schalarbeiten in den Wertebereich für Bewehrungsarbeiten zu transformieren, müssen neben den erwarteten Werten (Tab. 10-5) auch noch minimale Werte angegeben werden. Die minimalen Werte werden jeweils 5 % unter den erwarteten Aufwandswerten angesetzt.

Für den Stabdurchmesser 20 mm – Biegeform: gerade – ergibt sich damit beispielsweise ein erwarteter Aufwandswert von 4,22 Std/t (siehe Zelle B6 der Tab. 10-5) und ein minimaler Aufwandswert von 4,01 Std/t (= 4,22 Std/t * 0,95). Auf Basis dieser beiden Werte und der Umrechnung der Koordinaten für die polygonale Annäherung des Aufwandswerts der Schalarbeiten (siehe Tab. 7-3), ergibt sich in weiterer Folge die Aufwandswertverteilung für Kaliber 20 mm (siehe Abb. 10-6). Es zeigt sich, dass der minimale Wert der Verteilungsfunktion dem rechnerisch ermittelten Minimum entspricht. Der erwartete Wert von 4,22 Std/t weist außerdem die größte Wahrscheinlichkeit auf (Modus). Das Maximum für den Aufwandswert ergibt sich aus der Form der Verteilung und dem angesetzten Abstand zwischen Minimum und erwarteten Wert mit ca. 5,02 Std/t.

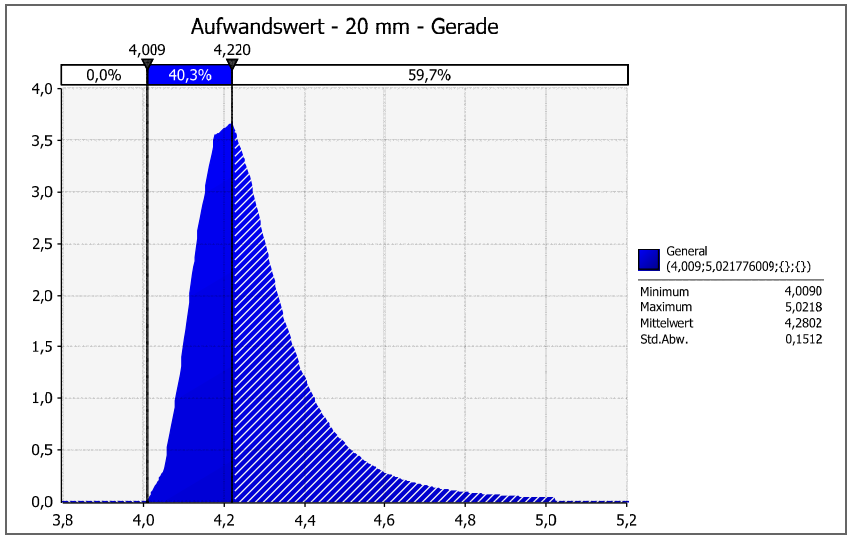


Abb. 10-6 LogLogistic-ähnliche Verteilung – Aufwandswert für das Verlegen – Stabdurchmesser 20 mm – Biegeform: gerade

8) Es handelt sich dabei um eine praxisorientierte Annahme, da auch die Aufwandswerte für die Bewehrungsarbeiten eine untere Grenze aufweisen und nach oben hin eine größere Bandbreite möglich ist. Aufgrund des Minimalprinzips wird weiters angenommen, dass niedrigere Aufwandswerte eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen als höhere. Die Mittelwerte des VÖBV sind außerdem als erwartete Werte aufzufassen. Es ergibt sich damit aus den theoretischen Überlegungen und Charakteristika eine stetige, beidseitig begrenzte, unimodale, rechtsschiefe Verteilung, die mit der LogLogistic-ähnlichen Verteilung der Schalarbeiten modelliert wird. Für eine vereinfachte Betrachtung wäre auch der Ansatz von PERT- oder Dreiecksverteilungen denkbar – hier müsste dann aber neben einem Minimum auch jeweils ein maximaler Aufwandswert definiert werden.

Für die restlichen Stabdurchmesser und Biegeformen werden nach dem gleichen Prinzip ebenfalls LogLogistic-ähnliche Verteilungen für die Aufwandswerte definiert. Diese fließen als Inputparameter in die Monte-Carlo-Simulation ein.

10.3.1.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Zur Berechnung des Anteils Lohn der Stabbewehrung ist zunächst der Mischaufwandswert der verschiedenen Kaliber und Biegeformverteilungen zu berechnen. Dazu werden zunächst die Mengenanteile je Kaliber mit den entsprechenden gewichteten Mengenanteilen je Biegeform und den Aufwandswerten multipliziert. Jeder dieser Parameter ist aus der Modellbildung mit Verteilungsfunktionen belegt und berücksichtigt daher die vorhandenen Unsicherheiten und Streuungen. Aus der Multiplikation der Verteilungen ergeben sich in weiterer Folge 30 Histogramme für die anteiligen Aufwandswerte (drei Biegeformverteilungen * zehn Kaliber).

Für den anteiligen Aufwandswert des Kaliber 20 mm (gerade) werden beispielsweise die Verteilungen für den Mengenanteil des Stabdurchmessers (in Zelle E6 der Tab. 10-3 hinterlegt) sowie für den gewichteten Mengenanteil der Biegeform (in Zelle F1 der Tab. 10-4 hinterlegt) mit der LogLogistic-ähnlichen Verteilung für den Aufwandswert (Abb. 10-6) multipliziert. Aus der Monte-Carlo-Simulation ergibt sich für den Kaliber 20 mm (gerade) das Histogramm in Abb. 10-7 (hinterlegt in Zelle B6 der Tab. 10-6).

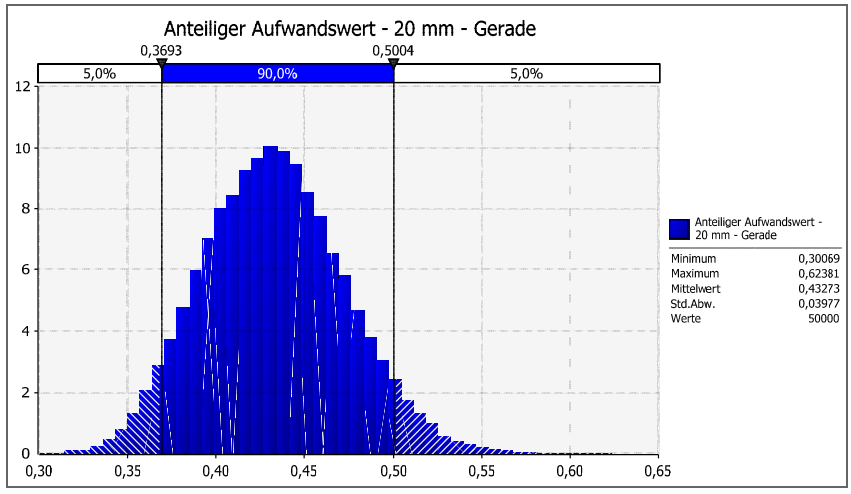


Abb. 10-7 LogLogistic-ähnliche Verteilung – Aufwandswert für das Verlegen – Stabdurchmesser 20 mm – Biegeform: gerade

Für jede der drei Biegeformen (gerade, einfach gebogen und kompliziert gebogen) der unterschiedlichen Durchmesser (8 bis 40 mm) werden auf diese Weise die anteiligen Aufwandswerte als Histogramm errechnet. Diese sind in Tab. 10-6 in den Spalten B bis D (Zeilen 1 bis 10) hinterlegt. In der Spalte E werden in weiterer Folge die anteiligen Aufwandswerte je Kaliber und schließlich in der Zelle E11 der Mischaufwandswert für das Verlegen des Stabstahls als Histogramm ermittelt.

Lfd. Nr.	Kaliber	Mischaufwandswert				Mittellohn-preis	Anteil Lohn
		Biegeform					
		gerade	einfach gebogen	kompliziert gebogen	Anteiliger Aufwandswert		
	[mm]	[Std/t]	[Std/t]	[Std/t]	[Std/t]	[€/Std]	[€/t]
0	A	B	C	D	E	F	G
1	8	0,05	0,05	0,06	0,16		
2	10	0,59	0,54	0,75	1,88		
3	12	0,77	0,66	0,92	2,35		
4	14	0,73	0,61	0,79	2,13		
5	16	0,53	0,41	0,55	1,50		
6	20	0,43	0,33	0,46	1,22		
7	26	0,36	0,28	0,40	1,05		
8	30	0,12	0,09	0,13	0,34		
9	36	0,02	0,01	0,02	0,05		
10	40	0,02	0,02	0,02	0,06		
11	**Summe**				**10,71**	**40,00**	**428,58**

Tab. 10-6 Ermittlung des Mischaufwandswerts

Das Histogramm für den Mischaufwandswert (siehe Abb. 10-8) zeigt auf Basis der in die Simulation integrierten Unsicherheiten die Bandbreite der realistischen Aufwandswerte für das Verlegen des Stabstahls. Die Bandbreite nach 50.000 Iterationen liegt dabei etwa zwischen 9,59 und 11,93 Std/t. Der Mittelwert ergibt sich mit 10,72 Std/t und die Standardabweichung mit 0,31 Std/t. Weiters liegen 90 % der Simulationswerte innerhalb von 10,23 Std/t und 11,24 Std/t. Die Wahrscheinlichkeit, dass kleinere oder größere Werte in Bezug auf diese Grenzen erzielt werden, liegt jeweils bei 5 %.

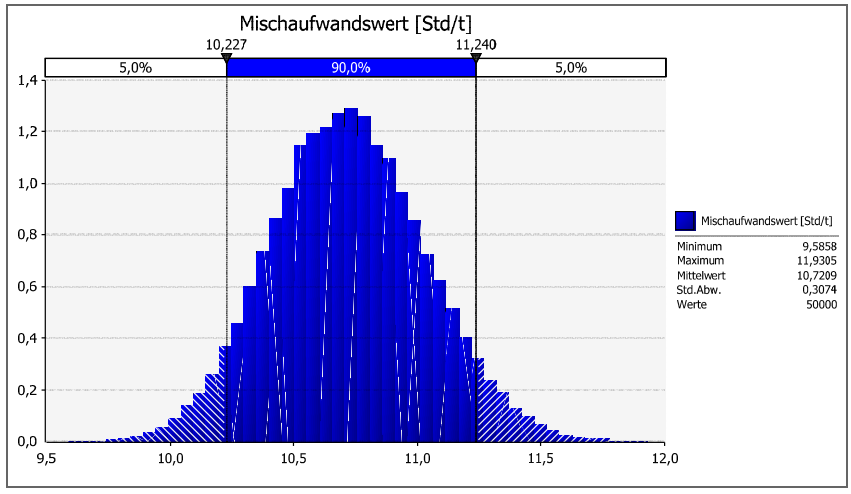


Abb. 10-8 Histogramm für den Mischaufwandswert

Durch die Multiplikation des Mischaufwandswerts mit dem Mittellohnpreis (siehe Zelle F11 der Tab. 10-6) ergibt sich der Lohnanteil für den Stabstahl in [€/t] (siehe Zelle G11 der Tab. 10-6). Als Ergebnis dieser Berechnung kann wiederum ein Histogramm für den Lohnanteil ausgegeben werden, welches für die weiteren Analysen und Interpretationen dient (siehe Abb. 10-9).

Der Mittelwert der Verteilung ergibt sich mit ca. 429 €/t, das 5 %-Quantil der Lohnkosten liegt bei ca. 409 €/t und das 95 %-Quantil bei ca. 450 €/t. Die Standardabweichung beträgt ca. 12,30 €/t.

Im Zuge der Preisbildung steht der Bieter vor der entscheidenden Frage, welcher Wert innerhalb der Bandbreite für das Angebot abgegeben werden soll. In diese Entscheidung fließen das risikoaverse, risikoneutrale oder risikoaffine Verhalten des Kalkulanten und letztendlich des Entscheiders, aber auch die Chancen-Risikopolitik des Unternehmens und nicht zuletzt die Marktsituation, ein.

Wird ein ausgeglichenes Chancen-Risikoverhältnis (50 % Chance zu 50 % Risiko) angestrebt, ist als Lohnkostenanteil der Median des ermittelten Histogramms anzusetzen. Wird ein erhöhtes Risiko für diese Leistungsposition eingegangen, kann z.B. eine Standardabweichung vom Mittelwert nach unten abgerückt werden (428,84 €/t - 12,30 €/t = 416,54 €/t). Damit würde sich in diesem Fall ein Chancen-Risikoverhältnis von ca. 16 % (Chance) zu 84 % (Risiko) ergeben.

Ist die Notwendigkeit den Auftrag zu erhalten besonders groß und kann ein erhöhtes Risiko durch andere Positionen oder durch andere Projekte ausgeglichen werden, kann in Ausnahmefällen auch z.B. bis zum 5 %-Quantil abgerückt werden. Es würde sich dabei um einen sehr risikoreichen Ansatz, der aber noch als plausibel einzustufen ist, handeln (siehe Abschnitt 9.3.3).

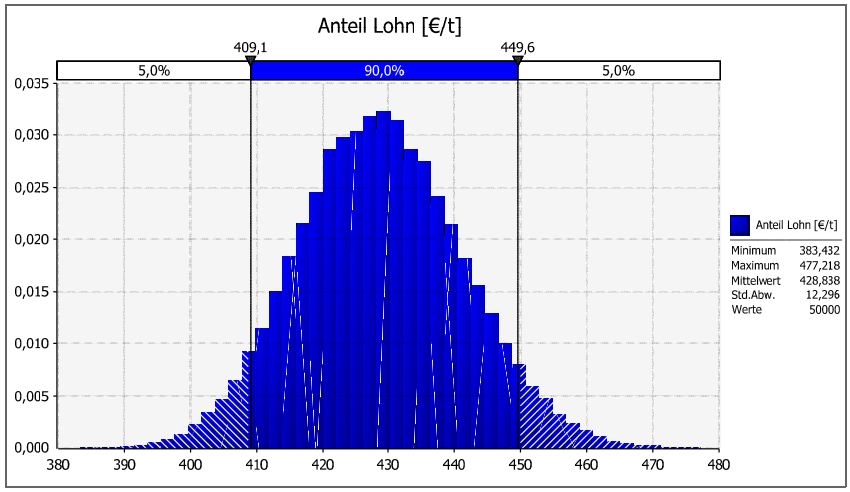


Abb. 10-9 Histogramm für die Lohnkosten

10.3.1.4 Nutzen für den Bieter/AN

Der Nutzen probabilistischer Berechnungen liegt für den Bieter bzw. späteren AN einerseits in der systematischen Berücksichtigung von Unsicherheiten, andererseits in der transparenten und nachvollziehbaren Darstellung der Ergebnisse in Form von Histogrammen. Statistische Kenngrößen sowie Bandbreiten und Quantilwerte können schnell ermittelt und den Entscheidungen zugrunde gelegt werden.

Obwohl Erfahrungswerte und Projektspezifika in die Modellbildung bzw. in die Wahl der Verteilungsfunktionen und in die Simulation einfließen, erfolgt die Festlegung auf einen spezifischen Wert anhand des entsprechenden Chancen-Risikoverhältnisses.

Unplausible Werte die weit außerhalb der ermittelten Bandbreiten liegen, werden durch die Ergebnisdarstellung als Histogramm bei der Entscheidungsfindung ausgeklammert. Werden dennoch Werte außerhalb der Bandbreite gewählt, muss diese Entscheidung entsprechend begründet bzw. bewusst im Hinblick auf das damit verbundene Chancen-Risikoverhältnis getroffen werden.

Im Zuge von Verhandlungen mit dem AG können die Simulationsergebnisse und die definierten Eingangsparameter außerdem die Kommunikation und das Verständnis hinsichtlich der Unsicherheiten bzw. Chancen und Risiken verbessern.

Kommt es im Zuge der Ausführung zu einer Änderung bzw. Konkretisierung der Kaliber- und/oder Biegeformverteilung, kann anhand der angesetzten Aufwandswerte ein neues Histogramm ermittelt und der ursprünglichen Berechnung vergleichend gegenübergestellt werden. Durch die Beibehaltung des gleichen Chancen-Risikoverhältnisses im Soll und im Ist, können dann in weiterer Folge werthaltige, nachvollziehbare und plausible Mehrkostenforderungen geltend gemacht werden (siehe Abschnitt 10.4.12).

10.3.2 Makrobetrachtung für die Anzahl der Arbeitskräfte

Die Anzahl der Arbeitskräfte stellt eine entscheidende Stellgröße im Produktionssystem des AN dar. Sie beeinflusst die Anzahl an einsetzbaren Geräten und wirkt sich direkt auf die Logistik sowie die Baustelleneinrichtung aus. Für eine Makrobetrachtung wird anhand eines Hochbauprojekts (Musiktheater Linz) gezeigt, wie für die Stahlbetonarbeiten die mittlere sowie die maximale Anzahl an Arbeitskräften berechnet werden kann. Diese Makrobetrachtung ist der PPH 3 zuzuordnen (siehe Abb. 10-10).

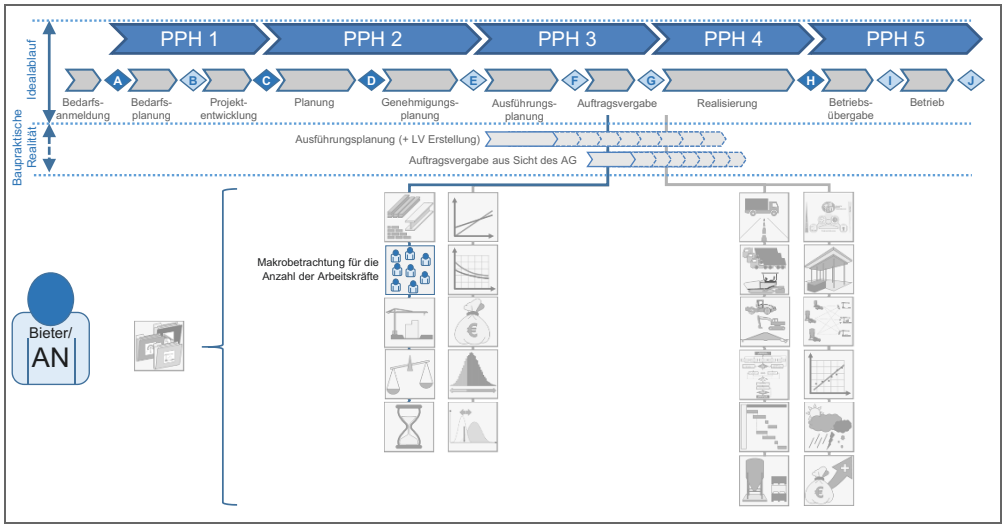


Abb. 10-10 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.3.2.1 Grundlagen

Die Anzahl der Arbeitskräfte für die Stahlbetonarbeiten hängt in erster Linie von der herzustellenden Betonmenge BT_M [m³] und der dafür zur Verfügung stehenden Bauzeit

D_{STB} [d] ab. Mit diesen beiden Kenngrößen errechnet sich nach Glg. (10-1) die durchschnittliche tägliche Leistung der Stahlbetonarbeiten L_{STB} [m³/d].

$$L_{STB} = \frac{BT_M}{D_{STB}} \tag{10-1}$$

Die Leistung wiederum wird durch die tägliche Arbeitszeit AZ [h/d], den mittleren Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten AW_{STB} [Std/m³] und die mittlere Anzahl an Arbeitskräften $ANZ_{AK,MW}$ [Std/h] bestimmt. Durch Umformung der Gleichung ergibt sich die mittlere Anzahl an Arbeitskräften nach Glg. (10-2).

$$ANZ_{AK,\,MW} = \frac{L_{STB} \cdot AW_{STB}}{AZ} \tag{10-2}$$

Besonders für die Dimensionierung der Baustelleneinrichtung und die Ermittlung der Anzahl an Schlüsselgeräten (z.B. Anzahl der Krane) ist nicht die mittlere Anzahl der Arbeitskräfte als bestimmende Größe heranzuziehen, sondern die maximale Anzahl.

Für die Umrechnung von der mittleren zur maximalen Anzahl wird ein Trapezmodell herangezogen (siehe Abb. 10-11). Der Zusammenhang zwischen der mittleren und der maximalen Anzahl an Arbeitskräften wird durch den Arbeitskräfteverhältnisfaktor f_{AK} [-] angegeben.

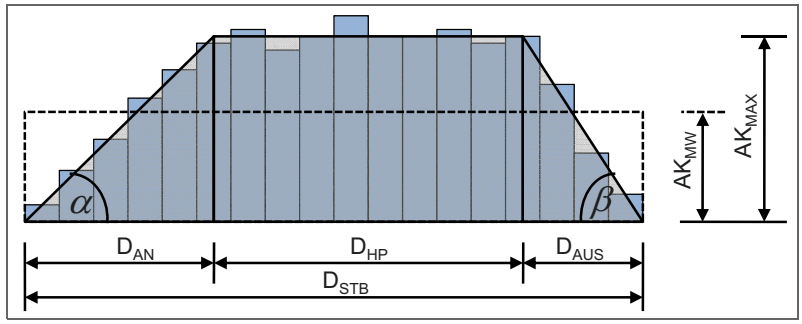


Abb. 10-11 Trapezverteilung der Arbeitskräfte über die Bauzeit

Die maximale Anzahl an Arbeitskräften errechnet sich mit Hilfe des Arbeitskräfteverhältnisfaktors nach Glg. (10-3). Je mehr sich das Trapezmodell in Abb. 10-11 einem Rechteck annähert, desto näher liegt der Faktor f_{AK} bei 1,00.

$$ANZ_{AK,\,MAX} = \frac{ANZ_{AK,\,MW}}{f_{AK}} \tag{10-3}$$

10.3.2.2 Modellierung

Der schematische Ablauf der Berechnung für die mittlere bzw. maximale Anzahl an Arbeitskräften ist in Abb. 10-12 dargestellt. Für die Berechnungen werden dabei die Gleichungen aus Abschnitt 10.3.2.1 herangezogen.

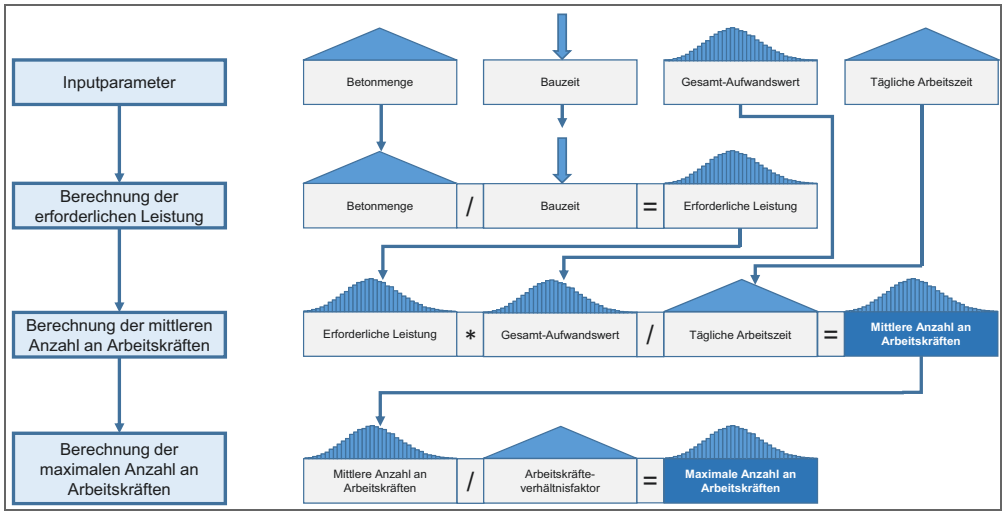


Abb. 10-12 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs

Das Beispiel bezieht sich auf das Musiktheater Linz, bei dem eine Bauzeit von 400 d für die Stahlbetonarbeiten vorgegeben ist (deterministischer Wert). Die Betonmenge wird als Dreiecksverteilung angesetzt. Die Bandbreite um den erwarteten Wert der Betonmenge (= 38.275 m³) beträgt dabei +/- 10 % (siehe Tab. 10-7). Die tägliche Arbeitszeit liegt zwischen 8,00 und 10,00 h/d, wobei der erwartete Wert 9,00 h/d beträgt (Dreiecksverteilung).

Der Gesamt-Aufwandswert wird aus der Berechnung in Abschnitt 7.3.3 für korrelierte Parameter übernommen und geht direkt als Ergebnis einer probabilistischen Berechnung in die Simulation zur Ermittlung der Arbeitskräfteanzahl ein (Verteilung ist in Zelle G4 der Tab. 10-7 eingetragen).[9)]

Der Arbeitskräfteverhältnisfaktor gibt den Zusammenhang zwischen der mittleren und der maximalen Anzahl an Arbeitskräften an und wird ebenfalls als Dreiecksverteilung (0,75 | 0,80 | 0,85) angesetzt (siehe Zeile 5 der Tab. 10-7).

Ldf. Nr.	Berechnungsparameter		Einheit	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F	G
1	Betonmenge	BT_M	m³	34.447,50	38.275,00	42.102,50	38.275,00
2	Bauzeit	D_{STB}	d		400,00		400,00
3	Tägliche Arbeitszeit	AZ	h/d	8,00	9,00	10,00	9,00
4	Gesamt-Aufwandswert	AW_{STB}	Std/m³				6,10
5	Arbeitskräfte-verhältnisfaktor	f_{AK}	-	0,75	0,80	0,85	0,80

Tab. 10-7 Berechnungsparameter

9) Die Angaben zur Bauzeit, der täglichen Arbeitszeit und den Aufwandswerten stammen von den Autoren.

10.3.2.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die erforderliche tägliche Leistung ergibt sich aus der Berechnung nach Glg. (10-1) durch Einsetzen der Betonmenge und der vorgegebenen Bauzeit. Das Histogramm der Leistung für die Stahlbetonarbeiten ist in Abb. 10-13 dargestellt. Die Form entspricht dabei jener der Betonmenge (symmetrische Dreiecksverteilung), da die Bauzeit als deterministischer Wert angesetzt wurde und damit kein zusätzlicher unsicherer Parameter in die Berechnung der Leistung einfließt.

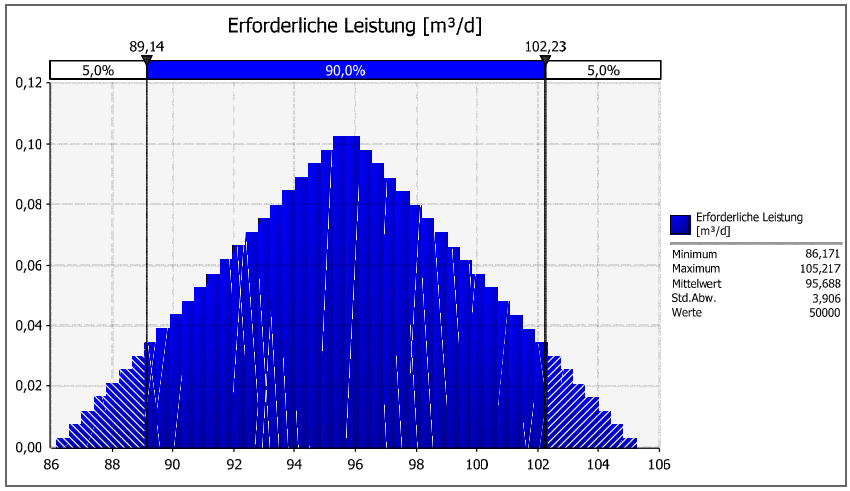


Abb. 10-13 Histogramm für die erforderliche tägliche Leistung

Aus der erforderlichen Leistung kann in weiterer Folge unter Einbeziehung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten sowie der täglichen Arbeitszeit die mittlere Anzahl an Arbeitskräften nach Glg. (10-2) berechnet werden. Das Ergebnis ist als Histogramm in Abb. 10-14 dargestellt. Der Mittelwert beträgt ca. 69 AK und die Standardabweichung liegt bei ca. 8 AK.

Für die Dimensionierung der Baustelleneinrichtung und der Schlüsselgeräte (z.B. Anzahl der Krane) ist aber nicht die mittlere, sondern die maximale Anzahl an Arbeitskräften während der Hauptbauphase entscheidend.

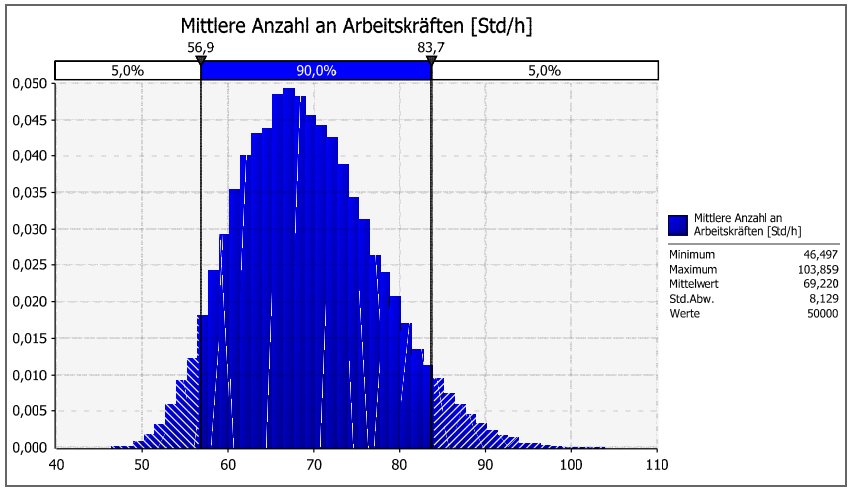


Abb. 10-14 Histogramm für die mittlere Anzahl an Arbeitskräften

Aus der Division der mittleren Arbeitskräfteanzahl durch den Arbeitskräfteverhältnisfaktor (siehe Glg. (10-3)) ergibt sich die maximale Anzahl an Arbeitskräften aus der Simulation ebenfalls als Histogramm (siehe Abb. 10-15). Der Mittelwert der Anzahl an Arbeitskräften liegt bei ca. 87 AK bei einer Standardabweichung von ca. 10 AK.

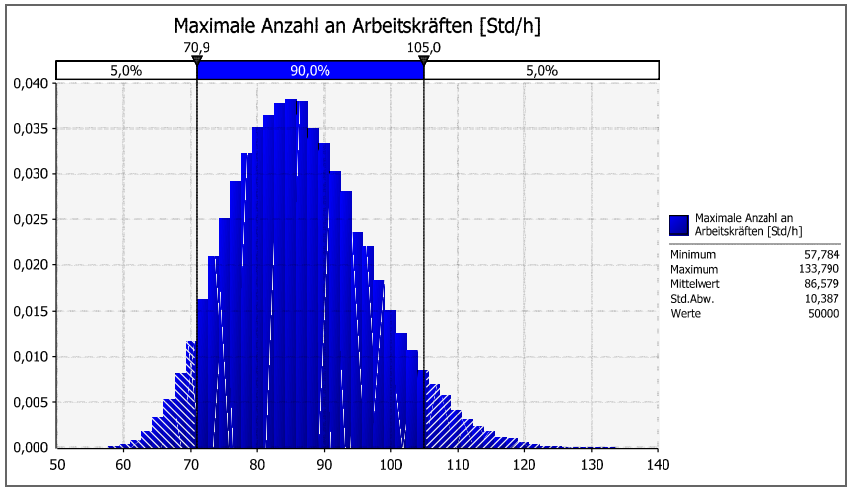


Abb. 10-15 Histogramm für die maximale Anzahl an Arbeitskräften

Durch die Unsicherheiten in der Betonmenge, der täglichen Arbeitszeit, dem Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten und dem Arbeitskräfteverhältnisfaktor ergibt sich eine Spannweite für die maximale Anzahl der Arbeitskräfte zwischen etwa 58 und 134 AK.

Können die Bandbreiten für einzelne Inputparameter eingegrenzt oder gar als deterministische Werte in die Berechnung eingesetzt werden, wirkt sich dies direkt auf die Streuung der Ergebnisse für die maximale Anzahl der Arbeitskräfte aus.

10.3.2.4 Nutzen für den Bieter/AN

Die probabilistische Berechnung für die Anzahl der Arbeitskräfte zeigt, wie groß die Unsicherheiten für den Bieter bzw. späteren AN in frühen Projektphasen sind. Die Abstimmung und Planung der Baustelleneinrichtung sowie der Anzahl an Geräten ist dermaßen zu gestalten, dass in der Ausführung noch möglichst flexibel reagiert werden kann. Idealerweise kann die Baustelleneinrichtung auf die tatsächlichen Anforderungen (in Bezug auf die Anzahl der Arbeitskräfte – innerhalb der ermittelten Bandbreiten) angepasst bzw. aufgestockt werden. Durch die Wahl eines Chancen-Risikoverhältnisses wird jene Anzahl an Arbeitskräften gewählt, auf die der Baubetrieb ausgelegt wird.

Für das konkrete Beispiel wäre im Mittel in der Hauptbauzeit mit etwa 87 AK für die Stahlbetonarbeiten zu rechnen. Zur Abdeckung von 95 % der berechneten Fälle sollte es im Zuge der Ausführung aber auch möglich sein, die Baustelleneinrichtung für ca. 105 AK zu erweitern (z.B. zusätzliche Containerstellplätze, Stellfläche für evtl. erforderlichen zusätzlichen Kran).

Die Makrobetrachtung für die Anzahl der Arbeitskräfte gibt auch erste Hinweise auf mögliche Produktivitätsverluste, die z.B. aufgrund zu geringer Krankapazität oder der Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche auftreten können.

10.3.3 Ermittlung der erforderlichen Geräteanzahl

Die Wahl der ‚richtigen' Anzahl an Geräten hat für Bauprojekte wesentlichen Anteil am effizienten und reibungslosen Bauablauf und zählt zu den wesentlichen Aufgaben der Arbeitsvorbereitung. Das angeführte Beispiel wird daher der PPH 3 (siehe Abb. 10-16) zugeordnet. Die Wahl und Bereitstellung der erforderlichen Anzahl an Geräten trägt zur Optimierung des Bauablaufs und zur Minimierung von Produktivitätsverlusten bei.

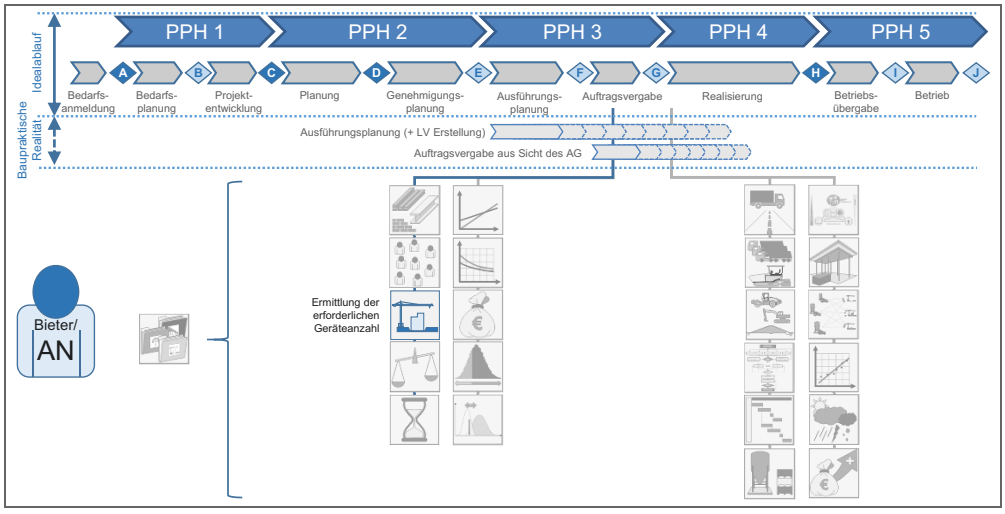


Abb. 10-16 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

Im Hochbau stellen die Krane die Schlüsselgeräte der Baustellen dar und bilden die zentralen Elemente der Baustellenlogistik. Zwischen der vorgegebenen Bauzeit, der Anzahl an Arbeitskräften und der Anzahl der Krane bestehen gegenseitige Abhängig-

keiten. Eine kurze Bauzeit bedeutet mehr Arbeitskräfte auf der Baustelle. Eine größere Anzahl an Arbeitskräften erfordert in der Regel eine größere Anzahl an Kranen bzw. sonstigen Hebezeugen.

Im Praxisbeispiel werden zwei Verfahren zur Ermittlung der Anzahl an Kranen miteinander verglichen. Einerseits erfolgt die Bestimmung über die maximale Anzahl an Arbeitskräften (aufbauend auf das Beispiel in Abschnitt 10.3.2), andererseits über die detailliertere Betrachtung anhand der Kranbelegungswerte. Das Beispiel bezieht sich auf die Stahlbetonarbeiten eines Hochbauprojekts.

10.3.3.1 Grundlagen

Für die Grundlagen zur Ermittlung der erforderlichen Anzahl an Kranen muss zunächst in die beiden angewendeten Berechnungsmethoden unterschieden werden. Zum einen wird die Berechnung über die maximale Anzahl an Arbeitskräften und zum anderen über Kranbelegungswerte durchgeführt.[10)]

Bestimmung der Anzahl der Krane aus der Arbeitskräfteanzahl

Zur Berechnung der Anzahl an erforderlichen Kranen über die maximale Arbeitskräfteanzahl dient der Kranproportionalitätsfaktor PF_{AK} [AK/Kran]. Dieser gibt an, wie viele Arbeitskräfte bei Stahlbetonarbeiten durch einen Kran bedient werden können. Der Kranproportionalitätsfaktor ist abhängig von der Kranart (Obendreher oder Schnelleinsatzkran) und der Art des Betoneinbaus (z.B. mit Kran und Kranübel, ohne Kran). In Tab. 10-8 ist jeweils die maximale Anzahl an Arbeitskräften je Krantyp und Betonierverfahren dargestellt. Bei den angeführten Werten handelt es sich um Durchschnittswerte von Expertenangaben. Werden diese Maximalwerte nicht überschritten, ist damit zu rechnen, dass diesbezüglich keine baubetrieblich unüblichen Verlust- und Verteilzeiten eintreten.[11)]

Betonierverfahren [-]	Alle Bauteile mit Kran und Krankübel	Nur Wände und Stützen mit Kran	Nur Stützen mit Kran	Ohne Kran
Anzahl der Arbeitskräfte je Kran – Obendreher	13	16	18	20
Anzahl der Arbeitskräfte je Kran – Schnelleinsatzkran	10	12	14	15

Tab. 10-8 Maximale Anzahl an Arbeitskräften je Kran[12)]

Bestimmung der Anzahl der Krane aus Kranbelegungswerten

Als weitere Möglichkeit die Anzahl an Kranen detaillierter zu ermitteln wird die Berechnung anhand von Kranbelegungswerten gezeigt. Kranbelegungswerte geben die benötigte Betriebsmittelgrundzeit eines Krans je Mengeneinheit an. In Tab. 10-9 sind minimale und maximale Kranbelegungswerte für Stahlbetonarbeiten angeführt.

Für diese detailliertere Berechnung der Anzahl an Kranen müssen zusätzlich die Mengen je Bauteilgruppe, getrennt für das Schalen, Bewehren und Betonieren bekannt sein bzw. abgeschätzt werden.

10) Weitere Methoden zur Ermittlung der erforderlichen Krananzahl sind z.B. die Bestimmung über den Brutto-Rauminhalt, das Baustoffgewicht oder der Einsatz von Warteschlangenmodellen.

11) Vgl. Hofstadler (2014a), S. 227ff.

12) Vgl. ebd.

Lfd. Nr.	Vorgang	Kranbelegungswerte	
		MIN	MAX
		[h/MEH]	[h/MEH]
0	A	B	C
1	**Schalen**	**[h/m²]**	**[h/m²]**
2	Konventionelle Deckenschalung	0,020	0,090
3	Deckentische	0,020	0,030
4	Stützen	0,020	0,045
5	Großflächen Wände	0,040	0,080
6	Konventionelle Wandschalung	0,020	0,045
7	Unterzüge auf Tischen	0,025	0,035
8	Unterzüge auf Böcken	0,030	0,040
9	Rippendecken	0,050	0,090
10	Fundamente	0,010	0,020
11	**Bewehren**	**[h/t]**	**[h/t]**
12	Matten	0,300	0,550
13	Rund-, Stabstahl	0,200	0,350
14	Bewehrung gesamt	0,240	0,400
15	**Betonieren**	**[h/m³]**	**[h/m³]**
16	Decken	0,060	0,120
17	Fundamente	0,050	0,090
18	Wände	0,080	0,150
19	Stützen	0,120	0,260

Tab. 10-9 Ober- und Untergrenzen für die Kranbelegungswerte bei Stahlbetonarbeiten[13)]

Mit den angeführten Bandbreiten für die Kranbelegungswerte und den entsprechenden Mengen wird die Betriebsmittelgrundzeit t_{BG} [h] berechnet. Bezogen auf die Betriebsmittelzeit t_B [h] wird darüber hinaus die zusätzliche Nutzungszeit t_{BZ} [h] durch eine Reserve in der Höhe von 10-15 % berücksichtigt. Durch diesen Reservezuschlag werden anfänglich nicht vorhersehbare Transportvorgänge (z.B. Auf- und Abladearbeiten, Einbauteile versetzen) in die Berechnung aufgenommen.

Da die Reihenfolge der einzelnen Transportvorgänge in der Praxis in den meisten Fällen nicht genau terminierbar ist und um Wartezeiten bei den Arbeitskräften zu vermeiden, ist deshalb erfahrungsgemäß ein Brachzeitanteil t_{BB} [h] in der Höhe von 30-35 % bezogen auf die Betriebsmittelzeit zu berücksichtigen.[14)]

Die erforderliche Betriebsmittelzeit t_B [h] ergibt sich aus Glg. (10-4).

$$t_B = t_{BG} + t_{BZ} + t_{BB} \tag{10-4}$$

Die Betriebsmittelzeit t_B stellt den gesamten Bedarf an Kranstunden für das Bauwerk (für die Stahlbetonarbeiten) dar (Verteilung siehe Abb. 10-17). Aus der geplanten Rohbauzeit und der täglichen Arbeitszeit kann in weiterer Folge die Berechnung der erforderlichen Krananzahl erfolgen.

13) Vgl. Spranz (2003), S. 113
14) Vgl. ebd., S. 114

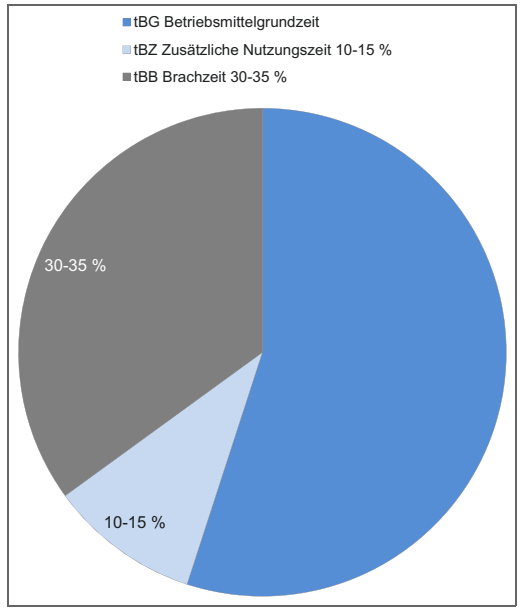


Abb. 10-17 Zusammensetzung der Betriebsmittelzeit t_B

10.3.3.2 Aufgabenstellung

Für die beiden ausgewählten Methoden zur Berechnung der erforderlichen Krananzahl werden jeweils probabilistische Berechnungen durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt. Die Berechnungen beziehen sich dabei auf ein Hochbauprojekt (Musiktheater Linz). Für die Bestimmung der Anzahl der Krane aus der Arbeitskräfteanzahl wird auf die Ergebnisse der Berechnungen aus Abschnitt 10.3.2 aufgebaut.

10.3.3.3 Modellierung

Wie bei den Grundlagen, wird auch für die Modellierung in die zwei gezeigten Methoden zur Ermittlung der Krananzahl (aus der maximalen Arbeitskräfteanzahl und mittels Kranbelegungswerten) unterschieden.

Bestimmung der Anzahl der Krane aus der Arbeitskräfteanzahl

Für das Beispiel wird angenommen, dass es sich bei den einzusetzenden Kranen um Obendreher handelt und, dass das Betonieren ohne Kran und Krankübel erfolgt.

In Abb. 10-18 wird die einsetzbare Anzahl an Arbeitskräften je Kran der Bauzeit gegenübergestellt. Für eine normale Bauzeit werden die Maximalwerte für die Anzahl der Arbeitskräfte und die Anzahl der Geräte, welche produktiv eingesetzt werden sollen, um 10 % unterschritten.

Um für das Beispiel nicht Gefahr zu laufen, Produktivitätsverluste aufgrund einer zu geringen Krankapazität zu generieren, wird der Maximalwert des Kranproportionalitätsfaktors (= 20 AK/Kran) um 10 % verringert.

Die Berechnung der erforderlichen Anzahl an Kranen erfolgt daher mit einem Kranproportionalitätsfaktor von 18 AK/Kran (= 20 AK/Kran * 0,90).

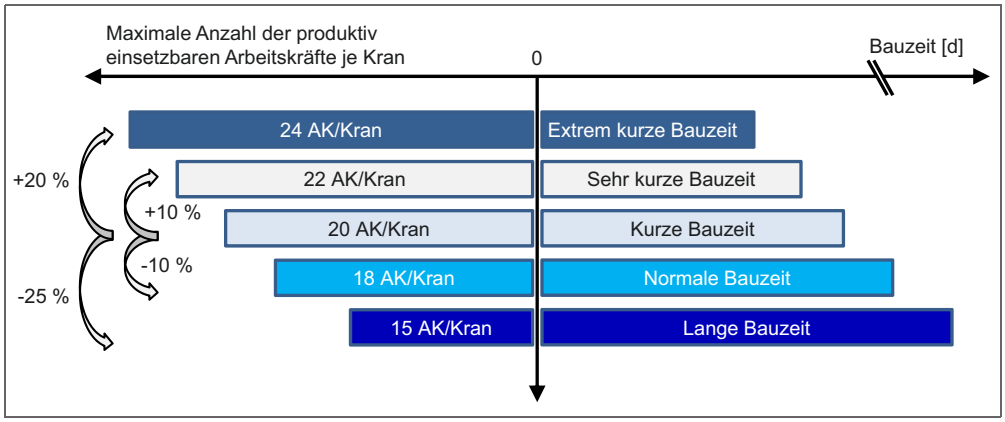


Abb. 10-18 Zusammenhang zwischen dem Kranproportionalitätsfaktor und der Bauzeit

Der schematische Ablauf der Berechnung ist in Abb. 10-20 dargestellt. Im Wesentlichen wird dabei lediglich die bereits in Abschnitt 10.3.2 probabilistisch ermittelte maximale Anzahl an Arbeitskräften durch den Kranproportionalitätsfaktor (= 18 AK/Kran) dividiert. Das Ergebnis kann in weiterer Folge als Histogramm für die Ergebnisinterpretation herangezogen werden.

Für eine realitätsnahe Berechnung der Anzahl der Krane ist es erforderlich das Trapezmodell zu berücksichtigen (siehe Abb. 10-19). Dazu wird nach der Ermittlung der Anzahl der Arbeitskräfte, die durchschnittlich je Arbeitstag benötigt werden AK_{MW} [Std/h], durch den Arbeitskräfteverhältnisfaktor auf den Maximalbedarf AK_{MAX} [Std/h] geschlossen.

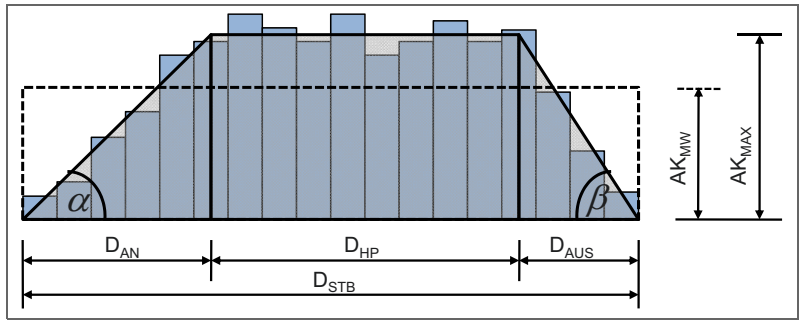


Abb. 10-19 Trapezverteilung der Arbeitskräfte über die Bauzeit

Soll für das ganzzahlige Vielfache der Krananzahl eine direkte Aussage über das Chancen-Risikoverhältnis getroffen werden, können die Einzelergebnisse aus der Simulation auch jeweils auf ganze Zahlen gerundet und als Balkendiagramm dargestellt werden.

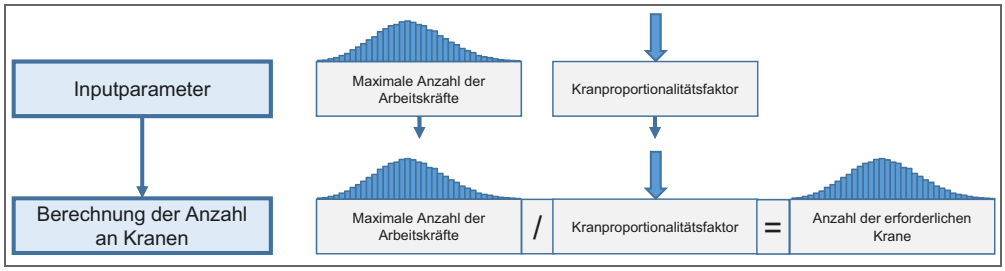


Abb. 10-20 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs – Krananzahl aus Arbeitskräfteanzahl

Bestimmung der Anzahl der Krane aus Kranbelegungswerten

Die Kranbelegungszeiten werden getrennt für Schalung, Bewehrung und Beton durch die Multiplikation der Mengen mit den entsprechenden Kranbelegungswerten ermittelt und bilden aufaddiert die Betriebsmittelgrundzeit t_{BG} [h]. Diese wird in weiterer Folge mit den Anteilen für die zusätzliche Nutzungszeit t_{BZ} [h] und die Brachzeit t_{BB} [h] beaufschlagt. In Summe errechnet sich damit die Betriebsmittelzeit t_B [h], mit der die Anzahl der erforderlichen Krane ermittelt werden kann. Dazu ist die Bauzeit, die tägliche Arbeitszeit sowie ein Faktor – zur Berücksichtigung der trapezförmigen Ressourcenverteilung über die Bauzeit – erforderlich.

Lfd. Nr.	Bauteile	Schalungsfläche			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
		[m²]	[m²]	[m²]	[m²]
0	A	B	C	D	E
1	Bodenplatte	1.070	1.150	1.231	1.150
2	Stützen	3.441	3.700	3.959	3.700
3	Wände	75.330	81.000	86.670	81.000
4	Decken	27.900	30.000	32.100	30.000
5	Balken, Träger	5.952	6.400	6.848	6.400
6	Sonstige Platten	1.581	1.700	1.819	1.700
7	Treppen	465	500	535	500
8	Brüstungen	2.604	2.800	2.996	2.800
9	**Summe**	**118.343**	**127.250**	**136.158**	**127.250**

Tab. 10-10 Mengenangaben – Schalung

Lfd. Nr.	Bauteile	Bewehrungsmenge			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
		[t]	[t]	[t]	[t]
0	A	B	C	D	E
1	Bodenplatte	1.395	1.500	1.620	1.500
2	Stützen	112	120	130	120
3	Wände	1.395	1.500	1.620	1.500
4	Decken	1.349	1.450	1.566	1.450
5	Balken, Träger	151	162	175	162
6	Sonstige Platten	93	100	108	100
7	Treppen	19	20	22	20
8	Brüstungen	74	80	86	80
9	**Summe**	**4.587**	**4.932**	**5.327**	**4.932**

Tab. 10-11 Mengenangaben – Bewehrung

Lfd. Nr.	Bauteile	Betonmenge			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
		[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
0	A	B	C	D	E
1	Bodenplatte	9.024	9.600	10.272	9.600
2	Stützen	376	400	428	400
3	Wände	14.570	15.500	16.585	15.500
4	Decken	9.776	10.400	11.128	10.400
5	Balken, Träger	1.297	1.380	1.477	1.380
6	Sonstige Platten	376	400	428	400
7	Treppen	85	90	96	90
8	Brüstungen	475	505	540	505
9	**Summe**	**35.979**	**38.275**	**40.954**	**38.275**

Tab. 10-12 Mengenangaben – Beton

Die erwarteten Mengenangaben für die Stahlbetonbauteile sind in Tab. 10-10 bis Tab. 10-12 getrennt für Schalung, Bewehrung und Beton für die jeweiligen Bauteilgruppen aufgelistet. In den Spalten B, C und D sind jeweils die minimalen, erwarteten und maximalen Mengen für die Schalung, die Bewehrung und den Beton angegeben. Die Minima und Maxima orientieren sich an den aus einer Expertenbefragung erhobenen Mengenabweichungen (bezogen auf die M-Schätzer für private AG – siehe Abschnitt 7.2.2). Modelliert werden die Mengenunsicherheiten vereinfacht durch Dreiecksverteilungen. Diese sind jeweils in der Spalte E eingetragen (in den Tabellen ist hier jeweils der erwartete Wert dargestellt). Der schematische Ablauf der Berechnung ist in Abb. 10-22 ersichtlich.

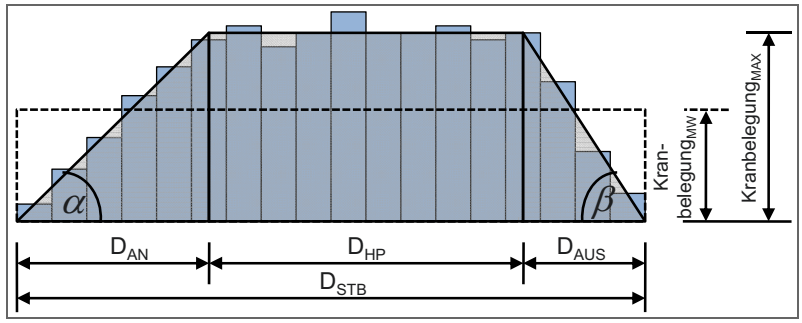


Abb. 10-21 Trapezverteilung der Kranbelegung über die Bauzeit

Für eine realitätsnahe Berechnung der Anzahl der Krane ist es erforderlich, für die Verteilung der notwendigen Kranstunden das Trapezmodell zu berücksichtigen (siehe Abb. 10-21). Dazu wird nach der Ermittlung der Anzahl der gesamten Kranstunden, die durchschnittlich je Arbeitstag benötigt werden, durch Berücksichtigen des Anteils der Hauptbauzeit auf den Maximalbedarf an Kranstunden je Arbeitstag geschlossen.

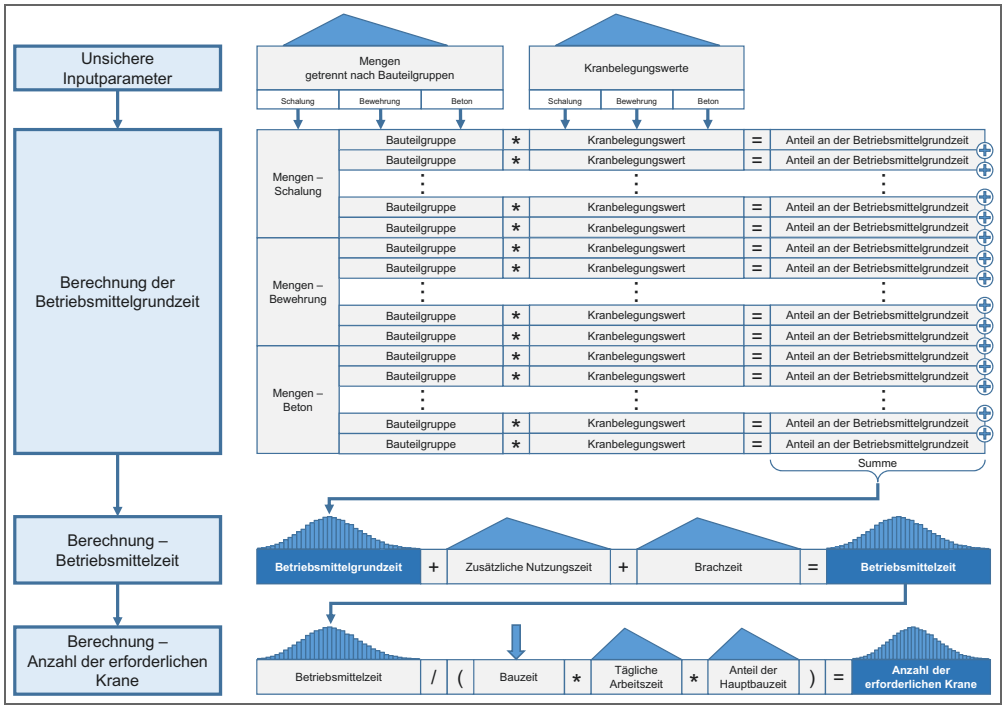


Abb. 10-22 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs – Krananzahl aus Kranbelegungswerten

10.3.3.4 Berechnung und Interpretation der Ergebnisse

Die Berechnungen und Ergebnisinterpretationen werden getrennt für die beiden angewendeten Methoden angeführt.

Bestimmung der Anzahl der Krane aus der Arbeitskräfteanzahl

Für die Berechnung der erforderlichen Krananzahl wird die probabilistisch ermittelte maximale Anzahl an Arbeitskräften (siehe Abb. 10-15) durch den Kranproportionalitätsfaktor (um 10 % verringerter Maximalwert: 20 AK/Kran * 0,90 = 18 AK/Kran) dividiert. Das Ergebnis für die Anzahl der erforderlichen Krane ist in Abb. 10-23 als Histogramm abgebildet. Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass nicht nur geradzahlige Werte aus der Berechnung hervorgehen. Wird der Schieberegler am oberen Bildrand auf 5 Krane eingestellt, zeigt sich, dass aus dieser Betrachtung rund 65,5 % der simulierten Fälle abgedeckt werden können.

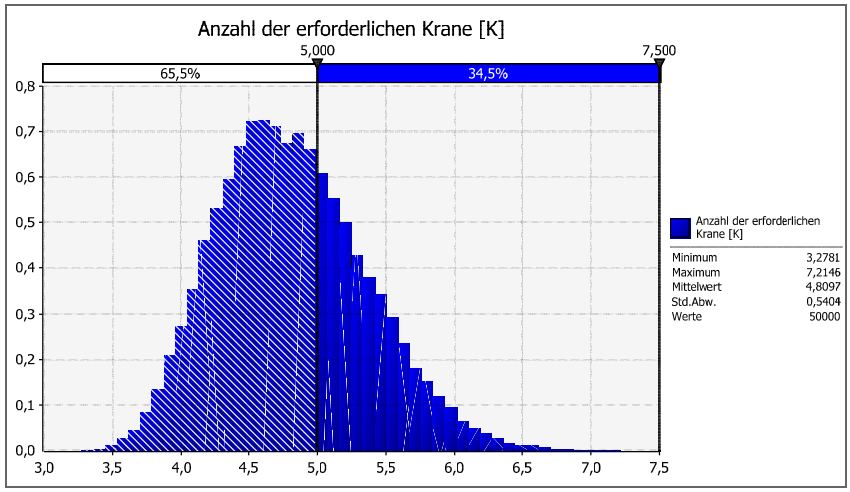


Abb. 10-23 Histogramm für die erforderliche Anzahl an Kranen – Bestimmt aus der Arbeitskräfteanzahl

Um die Dezimalwerte aus der Berechnung auf ganzzahlige Vielfache der Krananzahl zusammenzufassen, werden die Einzelergebnisse jeweils nach jeder Iteration auf ganzzahlige Werte gerundet und als Balkendiagramm dargestellt (siehe Abb. 10-24). Es zeigt sich, dass bei dieser Darstellung sogar mehr als 88 % der berechneten Fälle mit fünf Kranen abgedeckt werden können. Dies ist damit zu begründen, dass in der ganzzahligen (diskretisierten) Darstellung auch Werte die zwischen 5,00 und 5,49 liegen, jeweils auf fünf Krane abgerundet werden. Insgesamt weist der Wertebereich zwischen 4,50 und 5,49 (jeweils auf 5,00 gerundet) die größte Häufigkeit auf. Dieses Ergebnis bezieht sich auf die relativ grobe Bestimmung der Anzahl an Kranen aus der Arbeitskräfteanzahl.

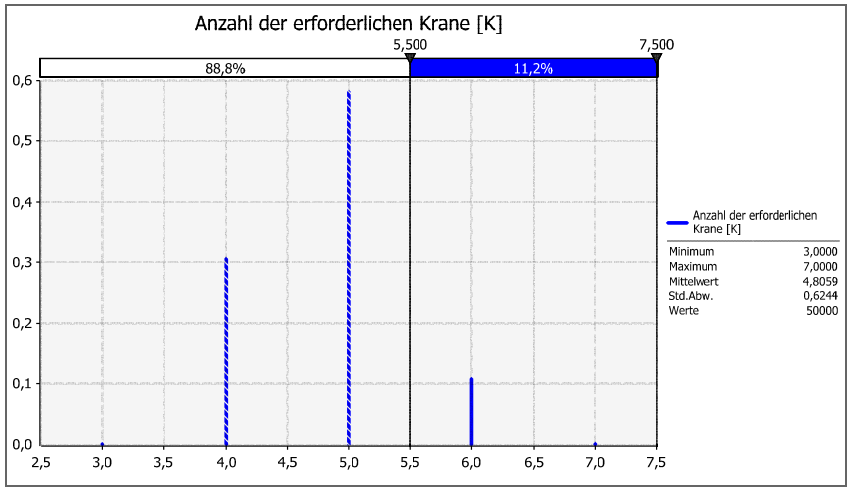


Abb. 10-24 Balkendiagramm für die erforderliche Anzahl an Kranen – Bestimmt aus der Arbeitskräfteanzahl

Bestimmung der Anzahl der Krane aus Kranbelegungswerten

Die Kranbelegungszeiten werden getrennt für Schalung, Bewehrung und Beton durch die Multiplikation der Mengen mit den entsprechenden Kranbelegungswerten ermittelt, aufaddiert und bilden die Betriebsmittelgrundzeit t_{BG} [h].

Schalung

Die Schalungsflächen sind nach Bauteilgruppen getrennt als Dreiecksverteilungen angegeben (siehe Spalten B bis E der Tab. 10-13 – entspricht den Werten aus Tab. 10-10) und werden mit den Kranbelegungswerten – die ebenfalls als Dreiecksverteilungen (Spalten F bis I der Tab. 10-13) angenommen wurden – multipliziert. Die Kranbelegungszeiten errechnen sich je Bauteilgruppe in Spalte J. Angegeben ist in der Spalte J jeweils der Mittelwert der in den Zellen hinterlegten Verteilungen.

Lfd. Nr.	Bauteile	Schalungsfläche				Kranbelegungswerte				Kranbelegungszeit
		MIN	ERW	MAX	Verteilung	MIN	ERW	MAX	Verteilung	Verteilung
		[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[h/m²]	[h/m²]	[h/m²]	[h/m²]	[h]
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Bodenplatte	1.070	1.150	1.231	1.150	0,010	0,015	0,020	0,015	17,25
2	Stützen	3.441	3.700	3.959	3.700	0,020	0,030	0,045	0,030	111,00
3	Wände	75.330	81.000	86.670	81.000	0,040	0,050	0,080	0,050	4.050,00
4	Decken	27.900	30.000	32.100	30.000	0,020	0,025	0,030	0,025	750,00
5	Balken, Träger	5.952	6.400	6.848	6.400	0,020	0,030	0,045	0,030	192,00
6	Sonstige Platten	1.581	1.700	1.819	1.700	0,020	0,060	0,090	0,060	102,00
7	Treppen	465	500	535	500	0,050	0,070	0,090	0,070	35,00
8	Brüstungen	2.604	2.800	2.996	2.800	0,020	0,030	0,050	0,030	84,00
9	**Summe**	**118.343**	**127.250**	**136.158**	**127.250**					**5.341,25**

Tab. 10-13 Berechnung der Kranbelegungszeit – Schalung

In Zelle J9 ist die Summe der Kranbelegungszeiten für die Schalung als Histogramm – siehe Abb. 10-25 – enthalten. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % liegt die Kranbelegungszeit für die Schalung zwischen 4.887 h und 7.186 h. Dass eine Kranbelegungszeit über 7.186 h für die Schalung eintritt, liegt bei einer Wahrscheinlichkeit von 5 % (X_{95}) und mit einer Kranbelegungszeit kleiner als 4.887 h ist ebenfalls mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % (X_5) zu rechnen.

Die größte Kranbindung verursacht die Schalung der Wände. Diese weist auch gleichzeitig den größten Mengenanteil der Gesamtschalungsmenge auf.

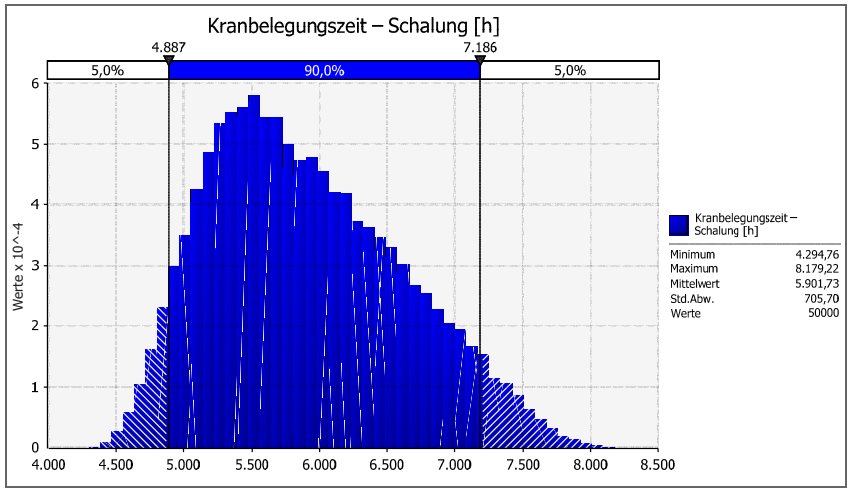


Abb. 10-25 Histogramm der Kranbelegungszeit – Schalung

Bewehrung

Die Bewehrungsmengen sind nach Bauteilgruppen getrennt als Dreiecksverteilungen angegeben (siehe Spalten B bis E der Tab. 10-14 – entspricht den Werten aus Tab. 10-11) und werden mit den Kranbelegungswerten – die ebenfalls als Dreiecksverteilungen (Spalten F bis I der Tab. 10-14) angenommen wurden – multipliziert.

Lfd. Nr.	Bauteile	Bewehrungsmenge				Kranbelegungswerte				Kranbelegungszeit
		MIN	ERW	MAX	Verteilung	MIN	ERW	MAX	Verteilung	Verteilung
		[t]	[t]	[t]	[t]	[h/t]	[h/t]	[h/t]	[h/t]	[h]
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Bodenplatte	1.395	1.500	1.620	1.500	0,200	0,400	0,550	0,400	600,00
2	Stützen	112	120	130	120	0,200	0,250	0,350	0,250	30,00
3	Wände	1.395	1.500	1.620	1.500	0,250	0,300	0,400	0,300	450,00
4	Decken	1.349	1.450	1.566	1.450	0,300	0,400	0,550	0,400	580,00
5	Balken, Träger	151	162	175	162	0,200	0,300	0,350	0,300	48,60
6	Sonstige Platten	93	100	108	100	0,300	0,350	0,550	0,350	35,00
7	Treppen	19	20	22	20	0,200	0,300	0,350	0,300	6,00
8	Brüstungen	74	80	86	80	0,200	0,250	0,350	0,250	20,00
9	**Summe**	**4.587**	**4.932**	**5.327**	**4.932**					**1.769,60**

Tab. 10-14 Berechnung der Kranbelegungszeit – Bewehrung

Die Summe der Kranbelegungszeiten für die Bewehrung ergibt sich in Zelle J9 als Histogramm, welches in Abb. 10-26 dargestellt ist. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % liegt die Kranbelegungszeit für die Bewehrung zwischen 1.568 h und 2.039 h. Dass eine Kranbelegungszeit über 2.039 h für die Bewehrung eintritt, liegt bei einer Wahrscheinlichkeit von 5 % (X_{95}) und mit einer Kranbelegungszeit kleiner als 1.568 h ist ebenfalls mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % (X_5) zu rechnen.

Die größte Kranbindung für die Bewehrung wird für die Bodenplatte verursacht, gefolgt von den Decken und Wänden.

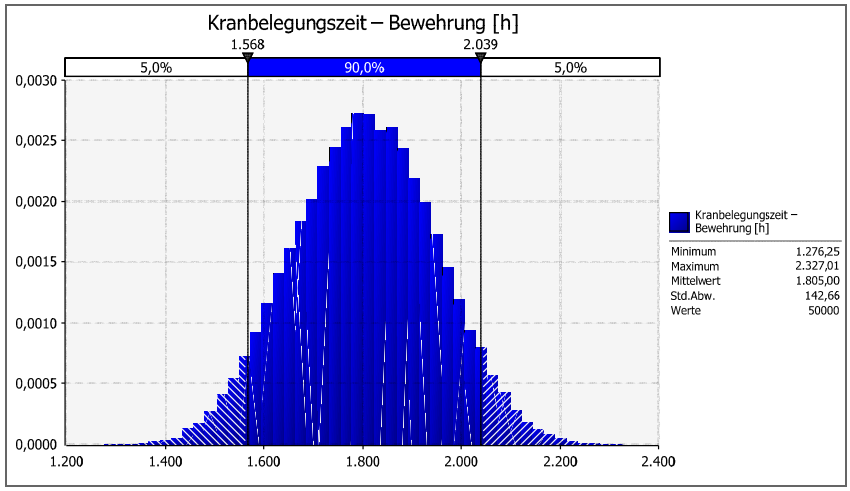


Abb. 10-26 Histogramm der Kranbelegungszeit – Bewehrung

Beton

Die Betonmengen sind nach Bauteilgruppen getrennt als Dreiecksverteilungen angegeben (siehe Spalten B bis E der Tab. 10-15 – entspricht den Werten aus Tab. 10-12) und werden mit den Kranbelegungswerten – die ebenfalls als Dreiecksverteilungen (Spalten F bis I der Tab. 10-15) angenommen wurden – multipliziert. Zusätzlich ist in Spalte J ein deterministischer Prozentwert angeführt, der angibt, wie viel Prozent der jeweiligen Betonmenge je Bauteilgruppe mit Kran und Krankübel betoniert werden. Für das angeführte Beispiel wird angenommen, dass keine Betonierarbeiten mit Kran und Krankübel durchgeführt werden.

Die Kranbelegungszeiten errechnen sich in weiterer Folge je Bauteilgruppe in Spalte K aus der Multiplikation der Betonmenge mit dem Kranbelegungswert und dem prozentuellen Mengenanteil der mit Krankübel betonierten Betonmenge.

Da die Prozentwerte in der Spalte J durchwegs auf null gesetzt sind, ergibt sich für die Betonierarbeiten auch keine Kranbelegungszeit (Transporte für Rüttler etc. fallen hier in die zusätzliche Nutzungszeit).

Lfd. Nr.	Bauteile	Betonmenge				Kranbelegungswerte				Mengenanteil mit Krankübel betoniert	Kran-belegungszeit
		MIN	ERW	MAX	Verteilung	MIN	ERW	MAX	Verteilung	det. Wert	Verteilung
		[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[h/m³]	[h/m³]	[h/m³]	[h/m³]	[%]	[h]
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Bodenplatte	9.024	9.600	10.272	9.600	0,050	0,060	0,090	0,060	0,00	0,00
2	Stützen	376	400	428	400	0,120	0,200	0,260	0,200	0,00	0,00
3	Wände	14.570	15.500	16.585	15.500	0,080	0,100	0,150	0,100	0,00	0,00
4	Decken	9.776	10.400	11.128	10.400	0,060	0,080	0,120	0,080	0,00	0,00
5	Balken, Träger	1.297	1.380	1.477	1.380	0,080	0,120	0,150	0,120	0,00	0,00
6	Sonstige Platten	376	400	428	400	0,060	0,090	0,120	0,090	0,00	0,00
7	Treppen	85	90	96	90	0,070	0,100	0,140	0,100	0,00	0,00
8	Brüstungen	475	505	540	505	0,080	0,110	0,150	0,110	0,00	0,00
9	**Summe**	**35.979**	**38.275**	**40.954**	**38.275**						**0,00**

Tab. 10-15 Berechnung der Kranbelegungszeit – Beton

Die Summe der ermittelten Kranbelegungszeiten für Schalung, Bewehrung und Beton bildet die Betriebsmittelgrundzeit t_{BG} [h] (siehe Abb. 10-27), die zur Berechnung der Betriebszeit t_B [h] um Anteile für zusätzliche Nutzungszeiten t_{BZ} [h] und Brachzeiten t_{BB}

[h] erhöht wird. Die Spannweite für die Brachzeiten wird von *Spranz*[15)] mit 30-35 % angegeben, der Anteil der zusätzlichen Nutzungszeit wird mit 10-15 % angenommen.

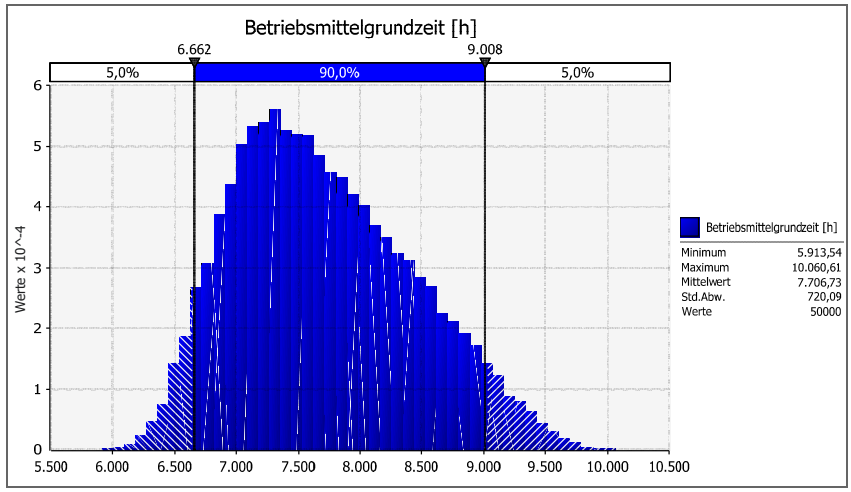


Abb. 10-27 Histogramm der Betriebsmittelgrundzeit

Für diese beiden Betriebsmittelzeitanteile werden jeweils Dreiecksverteilungen definiert (siehe Tab. 10-16; Spalten C, D, E und F). Der Anteil der Betriebsmittelgrundzeit t_{BG} ergibt sich aus der Rückrechnung auf 100 % für die Betriebsmittelzeit t_B. Wird beispielsweise in der Simulation bei einem Iterationsschritt für die zusätzliche Nutzungszeit zufällig ein Anteil von 12,50 % und für die Brachzeit ein Anteil von 32,50 % angenommen (entspricht den erwarteten Werten), errechnet sich der Anteil der Betriebsmittelgrundzeit mit 55 % (= 100 % - 12,5 % - 32,5 %). Die Berechnung der zusätzlichen Nutzungszeit ergibt sich dann mit 1.616,10 h (= 7.110,85 h * 12,50 % / 55,00 %) und jene der Brachzeit mit 4.201,87 h (= 7.110,85 h * 32,50 % / 55,00 %).

Lfd. Nr.	Zeitanteile		Zeitanteil				
			MIN	ERW	MAX	Verteilung	Verteilung
	[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[h]
0	A	B	C	D	E	F	G
1	Betriebsmittelgrundzeit	t_{BG}				55,00	7.110,85
2	zusätzliche Nutzungszeit	t_{BZ}	10,00	12,50	15,00	12,50	1.616,10
3	Brachzeit	t_{BB}	30,00	32,50	35,00	32,50	4.201,87
4	**Betriebsmittelzeit (= t_{BZ} + t_{BB} + t_{BG})**	**t_B**				**100,00**	**12.928,82**

Tab. 10-16 Berechnung der Betriebsmittelzeit

Die Summe aus Betriebsmittelgrundzeit, zusätzlicher Nutzungszeit und Brachzeit ergibt die Betriebsmittelzeit t_B [h], die für die Ermittlung der Anzahl an erforderlichen Kranen maßgebend ist (Zelle G4 der Tab. 10-16). Das Histogramm der Betriebsmittelzeit ist in Abb. 10-28 dargestellt.

Mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % liegt die Betriebsmittelzeit zwischen 12.025 h und 16.464 h. Dass eine Betriebsmittelzeit über 16.464 h eintritt, liegt bei einer Wahrschein-

15) Vgl. Spranz (2003), S. 114

lichkeit von 5 % (X_{95}) und mit einer Betriebsmittelzeit kleiner als 12.025 h ist ebenfalls mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % (X_5) zu rechnen.

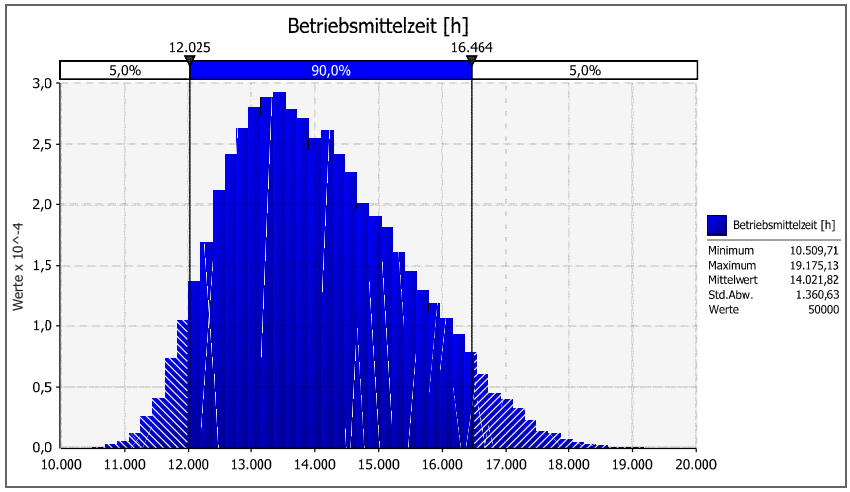


Abb. 10-28 Histogramm der Betriebsmittelzeit

Um aus der Betriebsmittelzeit die Anzahl der erforderlichen Krane ermitteln zu können, müssen die Bauzeit der Stahlbetonarbeiten und die tägliche Arbeitszeit bekannt sein. Weiters ist der Anteil der Hauptbauzeit an der Gesamtbauzeit anzugeben. Damit wird eine trapezförmige Verteilung der Ressourcen über die Bauzeit in den Berechnungen berücksichtigt.

Die Bauzeit liegt als deterministischer Wert (= 400 d) vor. Die tägliche Arbeitszeit und der Anteil der Hauptbauzeit werden als Dreiecksverteilungen definiert (siehe Zeilen 3 und 4 der Tab. 10-17).

Die Betriebsmittelgrundzeit wird durch das Produkt der Bauzeit, der täglichen Arbeitszeit und des Anteils der Hauptbauzeit dividiert, um die erforderliche Anzahl der Krane zu ermitteln. Diese wird in Zelle F5 der Tab. 10-17 berechnet. Das Histogramm ist in Abb. 10-29 ersichtlich.

Lfd. Nr.	Gegenstand	Einheit	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F
1	Betriebsmittelzeit t_B	[h]				12.928,82
2	Bauzeit	[d]				400,00
3	Tägliche Arbeitszeit	[h/d]	8,00	9,00	10,00	9,00
4	Anteil der Hauptbauzeit	[%]	75,00	80,00	85,00	80,00
5	**Anzahl der erforderlichen Krane**	**[K]**				**4,49**

Tab. 10-17 Berechnung der Anzahl an erforderlichen Kranen

Das Histogramm in Abb. 10-29 zeigt, dass die Anzahl der erforderlichen Krane nicht eindeutig ausfällt, aber ein ähnliches Ergebnis wie aus der Bestimmung der Krananzahl aus der Arbeitskräfteanzahl vorliegt. Wird der Schieberegler am oberen Bildrand auf fünf Krane eingestellt, zeigt sich, dass aus dieser Betrachtung rund 61 % der simulierten Fälle abgedeckt werden können.

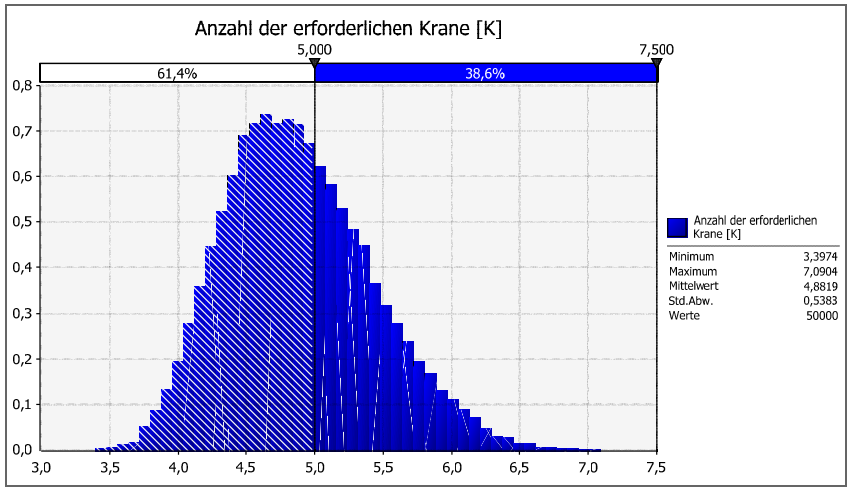


Abb. 10-29 Histogramm der Anzahl an erforderlichen Kranen

Um die Dezimalwerte aus der Berechnung auf ganzzahlige Vielfache der Krananzahl zusammenzufassen, werden die Einzelergebnisse jeweils nach jeder Iteration auf ganzzahlige Werte gerundet und als Balkendiagramm dargestellt (siehe Abb. 10-30). Es zeigt sich, dass bei dieser Darstellung (inkl. der Abrundung von Werten bis 5,49) mehr als 86 % der berechneten Fälle mit fünf Kranen abgedeckt werden können. Insgesamt weist der Wertebereich zwischen 4,50 und 5,49 (jeweils auf 5,00 gerundet) die größte Häufigkeit auf. Dieses Ergebnis bezieht sich auf die detaillierte Berechnung mittels Kranbelegungswerten unter der Annahme, dass keine Betonierarbeiten mit Kran und Krankübel ausgeführt werden.

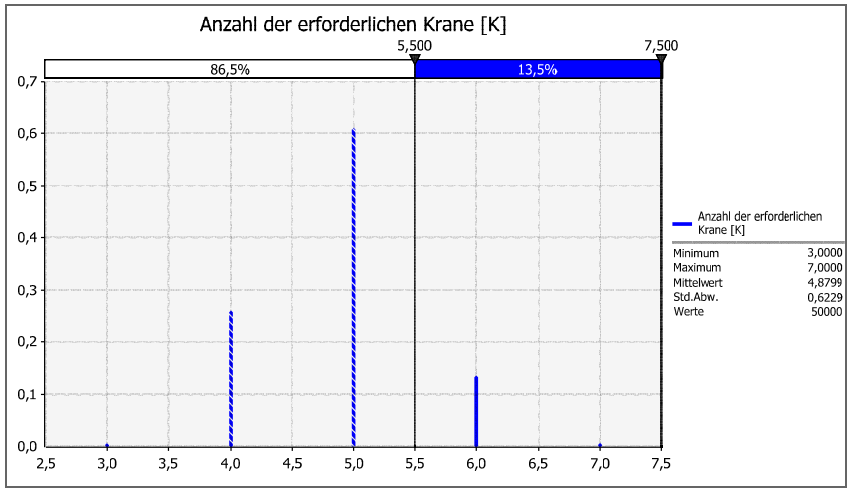


Abb. 10-30 Balkendiagramm für die erforderliche Anzahl an Kranen – Bestimmt mittels Kranbelegungswerten

Der Vergleich der beiden Berechnungsverfahren (über die maximale Arbeitskräfteanzahl und mittels Kranbelegungswerten) zeigt für dieses Beispiel eine sehr gute Überein-

stimmung (siehe Abb. 10-31). Für ein Chancen-Risikoverhältnis von ca. 86 % (Chance) zu 14 % (Risiko) sind für das gegenständliche Hochbauprojekt für die Stahlbetonarbeiten fünf Obendreherkrane einzusetzen. Um auch für die restlichen Fälle vorbereitet zu sein bzw. Spitzen abzudecken und Produktivitätsverluste aufgrund einer zu geringen Krankapazität zu vermeiden, kann es empfehlenswert sein, bei der Baustelleneinrichtung (je nach Platzverhältnissen) eine Aufstellfläche für einen evtl. kurzzeitig erforderlichen Mobilkran oder Schnelleinsatzkran vorzusehen. Soll die Anzahl der Krane auf vier reduziert werden, sind zusätzliche Maßnahmen für den Material- und Gerätetransport vorzusehen, um das Risiko zu geringer Krankapazität zu reduzieren.

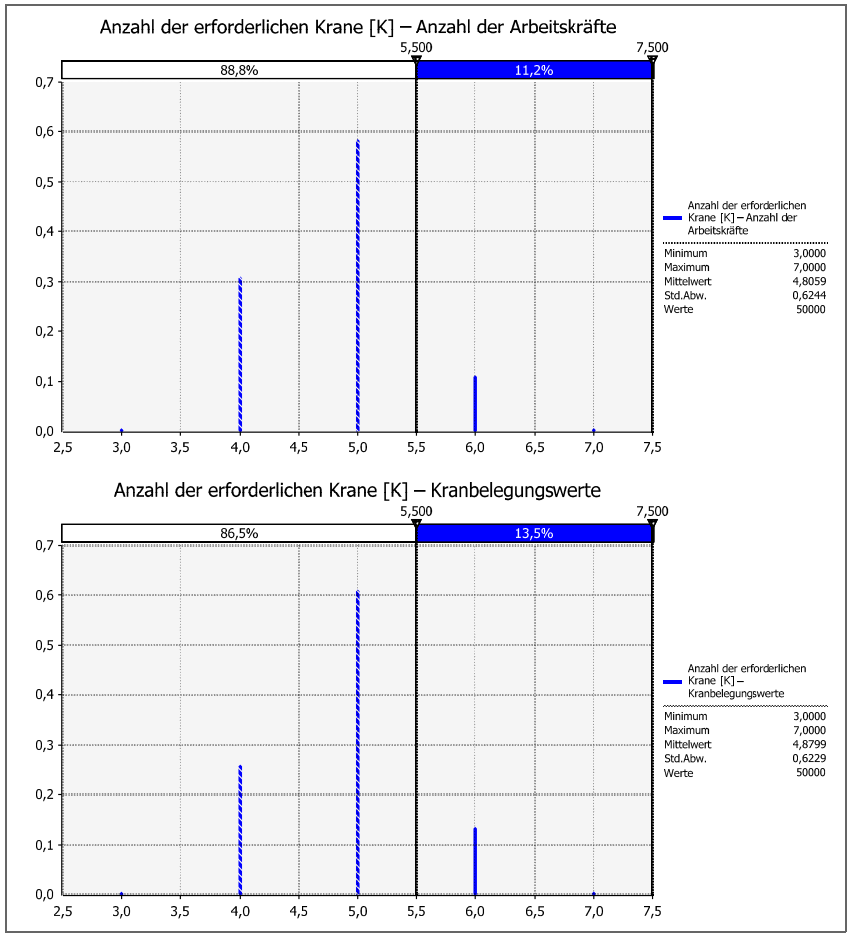


Abb. 10-31 Vergleich der Balkendiagramme für die Anzahl der Krane – Oben: Bestimmung aus der maximalen Arbeitskräfteanzahl – Unten: Bestimmung mittels Kranbelegungswerten

Häufig kommt es auf Baustellen vor, dass die baubetrieblich notwendige Anzahl an Kranen nicht installiert werden kann. Dies kann sich aus geometrischen Gründen oder aus Platzgründen ergeben. Gesetzt den Fall, dass für das gezeigte Praxisbeispiel nur vier Krane installiert werden können, steigt das Risiko des Eintretens von Produktivitätsverlusten und des Nichteinhaltens der Bauzeit. Für den Einsatz von nur vier Kranen ist das geänderte Chancen-Risikoverhältnis in Abb. 10-32 (für die Berechnung mittels Kranbele-

gungswerten) dargestellt. Die beiden Histogramme beziehen sich auf den gleichen Output der Simulation, werden aber einmal als stetige Verteilung (oben) und einmal als diskrete Verteilung (unten) dargestellt.

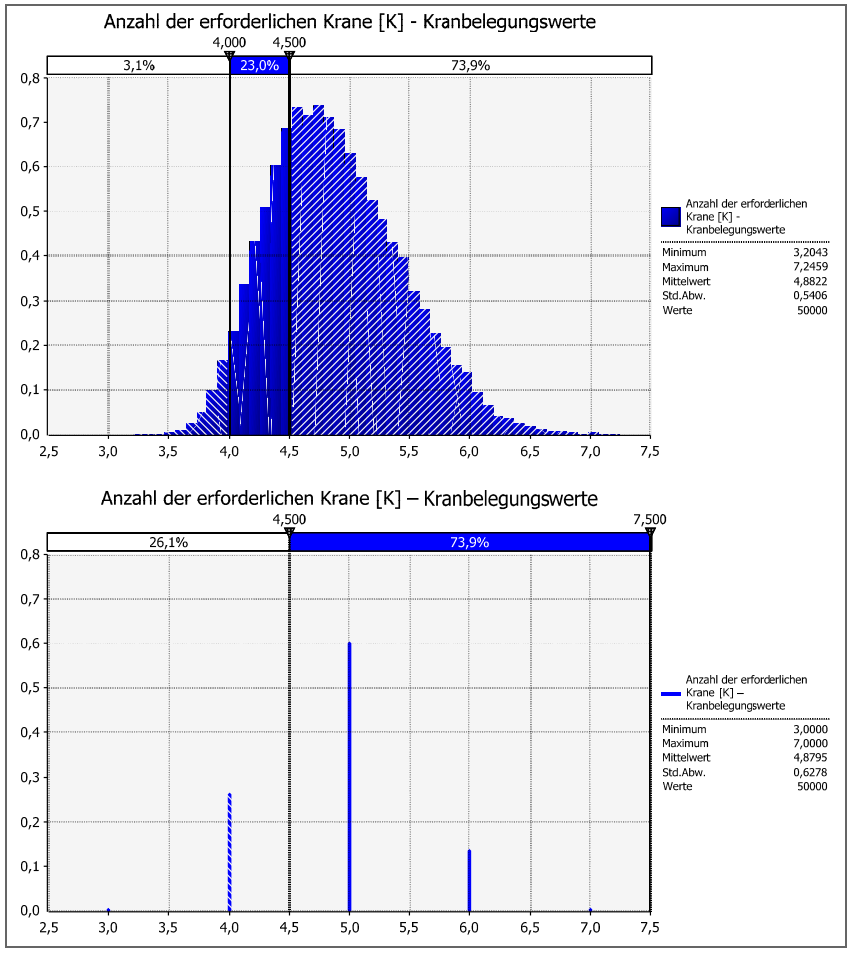


Abb. 10-32 Histogramm der Anzahl an erforderlichen Kranen – Chancen- und Risikoverhältnis für vier Krane – Bestimmung mittels Kranbelegungswerten

Aus dem stetigen Histogramm geht hervor, dass bei vier Kranen die Chance ca. 3 % und das Risiko ca. 97 % (= 23,0 % + 73,9 %) beträgt (siehe Abb. 10-32 – oben). Bei der diskreten Verteilung beträgt die Chance, dass vier oder weniger Krane benötigt werden, ca. 26 % und das Risiko, dass mehr als vier Krane erforderlich werden, ca. 74 % (siehe Abb. 10-32 – unten).

Dieser Unterschied in den Chancen-Risikoverhältnissen liegt daran, dass beim diskreten Histogramm (unten) Werte zwischen 4,00 und 4,49 abgerundet und mit ihrer Häufigkeit zum Balken der vier Krane hinzugezählt werden. Wird der Gleitbegrenzer beim oberen Histogramm auf den Wert 4,5 eingestellt, ergibt sich auch für die stetige Verteilung ein Chancen-Risikoverhältnis von ca. 26 % (= 3,1 % + 23,0 %) zu 74 %.

Allgemein zeigt der Vergleich der beiden Histogramme, dass für Parameter, bei denen die Entscheidung auf einen ganzzahligen Wert fallen muss (da eine Teilbarkeit nicht möglich ist – z.B. Anzahl der Krane), die Diskretisierung von stetigen Verteilungen eine Erleichterung und damit einen Vorteil für die Ergebnisinterpretation und -kommunikation darstellt. Die Häufigkeiten der Einzelergebnisse aus der Simulation, die als Dezimalwerte vorliegen, werden dabei für die entsprechenden ganzzahligen Werte zusammengefasst. Die praktische Umsetzung dieser Zusammenfassung erfolgt mit dem Excel-Befehl ‚RUNDEN'.

Insgesamt zeigt das Ergebnis, dass beim Einsatz von nur vier Kranen das Risiko einer zu geringen Krankapazität mit ca. 74 % deutlich höher ausfällt (siehe Abb. 10-32) als beim Einsatz von fünf Kranen (13,5 % – siehe Abb. 10-30).

10.3.3.5 Nutzen für den Bieter/AN

Die probabilistische Berechnung der erforderlichen Anzahl an Kranen ist in jedem Fall einer deterministischen Berechnung vorzuziehen. Nur mit probabilistischen Berechnungsverfahren lassen sich Unsicherheiten der Inputparameter systematisch berücksichtigen.

Für das Beispiel wurden zwei Verfahren für die Ermittlung der Krananzahl gezeigt. Die Berechnung über die maximale Anzahl der Arbeitskräfte ist dabei als das überschlagsmäßige aber einfachere Verfahren zu bezeichnen. Die Berechnung mittels Kranbelegungswerten erfordert mehr Eingabedaten und ist mit einem größeren Rechenaufwand verbunden. Das zweite Verfahren hat aber auch mehr Möglichkeiten auf spezifische Umstände der Ausführung in der Berechnung detaillierter einzugehen. Durch die Angabe von Prozentwerten für die Anteile der Bauteilgruppen die mit Kran und Krankübel betoniert werden sollen, kann der geplante Bauablauf sehr genau in die Simulation einbezogen werden.

Die Interpretation der Ergebnisse gestaltet sich nach der Diskretisierung der Histogramme für die Krananzahl etwas leichter, da durch die Rundung ganzzahlige Werte in einem Balkendiagramm dargestellt werden können und damit die Entscheidung für eine bestimmte Anzahl der Krane leichter nachvollzogen werden kann.

Bieter bzw. spätere AN können durch die probabilistische Berechnung feststellen, welche Krananzahl für die Erreichung eines bestimmten Chancen-Risikoverhältnisses erforderlich ist. Kann aus Gründen der Geometrie oder der Beschaffenheit des Baugrundstücks nur eine bestimmte Anzahl an Kranen aufgestellt werden, ist direkt das damit verbundene Chancen-Risikoverhältnis ermittelbar. Beispielsweise kann durch die Wahl eines anderen Schalungssystems (z.B. kranunabhängige Schalungen) oder durch ein anderes Betonierverfahren (z.B. Betonieren mit Betonpumpen und Verteilermast statt Kran und Krankübel) die Kranbelegungszeit und damit auch die Anzahl der erforderlichen Krane bzw. die Bandbreite der erforderlichen Krananzahl reduziert werden.

10.3.4 Chancen- und Risikoregister

Besonders im klassischen Risikomanagement ist es das Ziel der Risikobewertung (siehe Chancen-Risikomanagementprozess in Kapitel 4) einen Überblick über mögliche Schadensfälle (= Konsequenzen von Risiken nach dem Risikoeintritt) zu erlangen und in weiterer Folge die Finanzierung zur Abdeckung dieser erwarteten Risiken zu planen bzw. Maßnahmen der Risikobewältigung (Vermeidung, Verminderung, Diversifikation und/oder Transfer) einzuleiten. Es erfolgt damit eine Einschätzung über das erforderliche Risikokapital bzw. das zu erwartende Investitionsvolumen.

Mit dem nachfolgenden Beispiel wird gezeigt, wie die Bewertung von Einzelchancen und -risiken durch Einsatz der sogenannten ‚Praktikermethode' und unter Verwendung von Monte-Carlo-Simulationen auf der Makroebene (PPH 3 – siehe Abb. 10-33) durchgeführt werden kann.

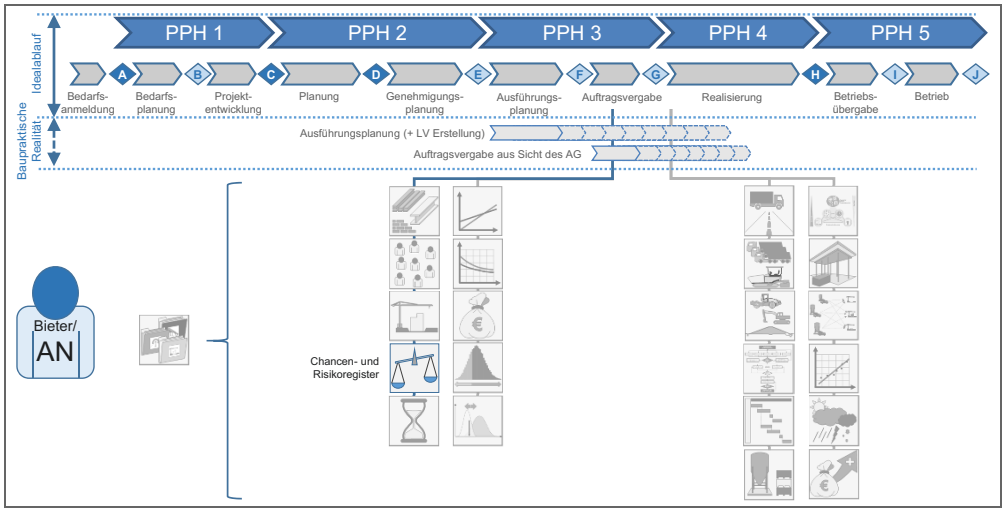


Abb. 10-33 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.3.4.1 Ausgangssituation

Da eine Makrobetrachtung in frühen Projektphasen durchgeführt wird, ist eine detaillierte Berechnung der Risiken (bzw. Chancen) oft nicht möglich. Es wird daher meist auf die ‚Praktikermethode' zurückgegriffen. Dabei wird die erwartete Eintrittswahrscheinlichkeit mit den jeweils erwarteten Konsequenzen eines Risikos multipliziert (siehe Glg. (10-5)).

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \cdot \text{Konsequenz} \tag{10-5}$$

Umgelegt auf eine Chancenbetrachtung kann Glg. (10-5) entsprechend umgeschrieben werden:

$$\text{Chance} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \cdot \text{Nutzen} \tag{10-6}$$

Besonders in einem frühen Projektstadium bzw. bei der ersten Analyse eines neuen Projekts zeigt sich die Schwierigkeit, die mit der Festlegung einzelner (deterministischer) Zahlenwerte – sowohl für die Eintrittswahrscheinlichkeiten als auch für die Konsequenzen bzw. den Nutzen – verbunden ist. In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 2.1.2 und hier besonders auf Abb. 2-2 verwiesen.

Problematisch bei der deterministischen Chancen-Risikobetrachtung mit der ‚Praktikermethode' ist, dass es dazu kommen kann, dass Risiken mit geringer Wahrscheinlichkeit und hoher Konsequenz den gleichen Risikowert aufweisen wie Risiken mit geringer Konsequenz und hoher Eintrittswahrscheinlichkeit (siehe Abb. 2-2). Es werden also z.B. zwei von ihrer Struktur und von ihren Eigenschaften völlig unterschiedliche Risiken letzt-

endlich identisch bewertet. Risiken mit hoher Konsequenz erfordern aber evtl. andere Gegensteuerungs- bzw. Bewältigungsmaßnahmen als Risiken, die zwar eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit aber nur eine geringe Konsequenz aufweisen.[16)]

Bei der probabilistischen Betrachtung besteht die Möglichkeit, die Konsequenzen einzelner Risiken durch Verteilungsfunktionen innerhalb einer definierten Bandbreite abzubilden und somit das gesamte mögliche Spektrum der Gesamtkonsequenzen zu berücksichtigen.

Um die Eintrittswahrscheinlichkeit von einzelnen Chancen und Risiken modellieren zu können, bietet sich im Zuge einer Monte-Carlo-Simulation eine Bernoulli-Verteilung (bzw. Null-Eins-Verteilung als Spezialfall der Binomialverteilung) an. Bei der Bernoulli-Verteilung handelt es sich um eine diskrete Verteilung, bei der nur zwei Ausprägungen – 0 oder 1 – möglich sind. Sie eignet sich daher besonders gut, um den Risikoeintritt anhand einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit zu modellieren. Mit der Angabe eines Prozentsatzes wird die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt (= 1) bzw. die Gegenwahrscheinlichkeit für den Nichteintritt (= 0) einer Chance bzw. eines Risikos definiert.[17)]

Im Zuge eines Simulationsdurchlaufs können mehrere tausend mögliche Kombinationen eintretender Chancen bzw. Risiken betrachtet und in Form von Histogrammen gemeinsam dargestellt werden. Damit werden die unvermeidbaren und vorhandenen Unsicherheiten der Inputparameter in die Berechnung integriert. Die Grundlagen für Entscheidungen auf Basis eines spezifischen Chancen-Risikoverhältnisses werden damit geschaffen.

Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation ist ein deutlicher Informationszugewinn im Hinblick auf den möglichen ‚Ereignisraum' gegeben. Wird die ‚Praktikermethode' um probabilistische Eingabeparameter erweitert, bildet sie die Bewertungssituation in frühen Projektphasen bzw. bei der ersten Analyse eines neuen Projekts deutlich realistischer ab als dies mit deterministischen Berechnungen der Fall ist.

Bei der Bewertung (Makrobetrachtung) von Chancen und Risiken wird unter ‚Nutzen' bzw. ‚Konsequenz' eine in Geldeinheiten bewertete positive bzw. negative Folge verstanden, die beim Eintritt der Chance bzw. Risikos schlagend wird.

10.3.4.2 Modellierung

Für die probabilistische Erweiterung der ‚Praktikermethode' wird die Eintrittswahrscheinlichkeit als Bernoulli-Verteilung modelliert. Diese Verteilung weist nur zwei Ausprägungen auf – null und eins. Null steht dabei dafür, dass das Risiko bzw. die Chance nicht eintritt. Eins steht für den Eintritt der Chance bzw. des Risikos in der jeweiligen Iteration. Je nach Angabe der Eintrittswahrscheinlichkeit wird in der Simulation häufiger null (Eintrittswahrscheinlichkeit kleiner als 50 %) oder häufiger eins (Eintrittswahrscheinlichkeit größer als 50 %) gewählt. Bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von genau 50 % treten die Werte eins und null zwar zufällig aber gleich häufig in der Simulation auf.

Durch diese Modellbildung der Eintrittswahrscheinlichkeiten mittels Bernoulli-Verteilungen lassen sich Histogramme über die Anzahl der gleichzeitig auftretenden Risiken und Chancen darstellen.

Die Bewertung einzelner Chancen und Risiken erfolgt mittels Dreiecksverteilungen (Nutzen und Konsequenz). Im folgenden Beispiel werden diese als Eingangsparameter

16) Ähnlich problematisch gestaltet sich in diesem Zusammenhang auch die Bewertung von Chancen.

17) Vgl. Kummer (2014), S. 178

angesetzt. Der Risiko- bzw. Chancenwert je Einzelrisiko bzw. -chance errechnet sich in weiterer Folge aus der Multiplikation des Zufallswerts aus der jeweiligen Bernoulli-Verteilung (null oder eins) und einer zufälligen Konsequenz bzw. Nutzens innerhalb der definierten Bandbreiten.

Die Chancen- und Risikowerte ergeben sich in weiterer Folge als Histogramme, die zum einen den Wert null aufweisen (für alle Fälle in denen die Chance bzw. das Risiko nicht eingetreten ist) und zum anderen dem definierten Nutzen bzw. den Konsequenzen entsprechen.

Die Summen der Chancen- bzw. Risikowerte ergeben sich wiederum als Histogramme, die für die weitere Interpretation und Entscheidungsfindung herangezogen werden können.

Der schematische Ablauf der Berechnungen ist in Abb. 10-34 dargestellt.

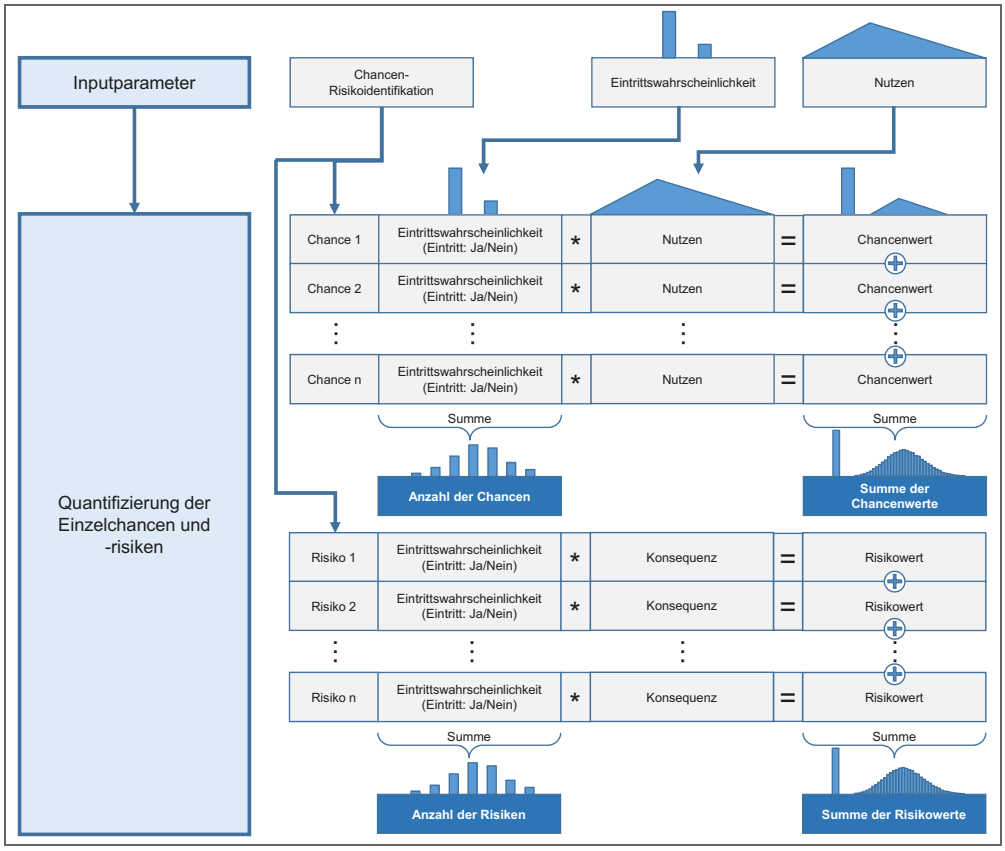


Abb. 10-34 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs – Chancen- und Risikoregister

Für die Durchführung einer probabilistischen Chancen- und Risikobewertung auf Basis einer Makrobetrachtung mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation sind die Einzelchancen und -risiken entsprechend Tab. 10-18 bzw. Tab. 10-19 in Spalte A aufzulisten (als Ergebnis der Chancen-Risikoidentifikation – siehe Abschnitt 4.5.1.1). Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird als Prozentangabe in Spalte B eingegeben und beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Chance bzw. ein Risiko in der Simulation eintritt (bzw. den Wert eins bei der Bernoulli-Verteilung annimmt).

Lfd. Nr.	Chancen	Bernoulli-Verteilung		Nutzen				Chancenwert
								
		Eintritts-wahrscheinlichkeit	Eintritt: ja=1 / nein=0	MIN	ERW	MAX	Verteilung	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Chance 1	15,00 %	0	25.000,00 €	30.000,00 €	35.000,00 €	30.000,00 €	0,00 €
2	Chance 2	20,00 %	0	150.000,00 €	200.000,00 €	210.000,00 €	186.666,67 €	0,00 €
3	Chance 3	60,00 %	1	20.000,00 €	22.000,00 €	40.000,00 €	27.333,33 €	27.333,33 €
4	Chance 4	10,00 %	0	55.000,00 €	60.000,00 €	75.000,00 €	63.333,33 €	0,00 €
5	Chance 5	5,00 %	0	250.000,00 €	280.000,00 €	300.000,00 €	276.666,67 €	0,00 €
6	Chance 6	25,00 %	0	30.000,00 €	40.000,00 €	50.000,00 €	40.000,00 €	0,00 €
7	**Summe**		**1**					**27.333,33 €**

Tab. 10-18 Chancenregister

Die Anzahl der Chancen und Risiken ist für dieses Beispiel jeweils mit sechs gewählt, es können auch mehr oder weniger Chancen bzw. Risiken in die Register aufgenommen werden. Es besteht keine Notwendigkeit dafür, dass die Anzahl der Chancen und Risiken gleich groß ist.

Lfd. Nr.	Risiken	Bernoulli-Verteilung		Konsequenz				Risikowert
								
		Eintritts-wahrscheinlichkeit	Eintritt: ja=1 / nein=0	MIN	ERW	MAX	Verteilung	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Risiko 1	80,00 %	1	10.000,00 €	15.000,00 €	20.000,00 €	15.000,00 €	15.000,00 €
2	Risiko 2	20,00 %	0	500.000,00 €	600.000,00 €	900.000,00 €	666.666,67 €	0,00 €
3	Risiko 3	70,00 %	1	20.000,00 €	35.000,00 €	40.000,00 €	31.666,67 €	31.666,67 €
4	Risiko 4	45,00 %	0	110.000,00 €	140.000,00 €	200.000,00 €	150.000,00 €	0,00 €
5	Risiko 5	15,00 %	0	340.000,00 €	360.000,00 €	500.000,00 €	400.000,00 €	0,00 €
6	Risiko 6	30,00 %	0	80.000,00 €	120.000,00 €	185.000,00 €	128.333,33 €	0,00 €
7	**Summe**		**2**					**46.666,67 €**

Tab. 10-19 Risikoregister

In Zeile 1 der Tab. 10-19 weist beispielsweise das Risiko 1 eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 80 % auf. Dies bedeutet, dass in der zugrunde gelegten Bernoulli-Verteilung (siehe Abb. 10-35) der Balken für den Wert eins (80 % = Eintrittswahrscheinlichkeit) viermal so hoch ist, wie jener für den Wert null (20 % = Gegenwahrscheinlichkeit). Risiko 1 tritt im angeführten Beispiel damit in einer durchgeführten Simulation mit 80 %iger Wahrscheinlichkeit ein. Welche Konsequenzen mit einem solchen Chancen- bzw. Risikoeintritt verbunden sind, wird in den Spalten D bis F näher definiert.

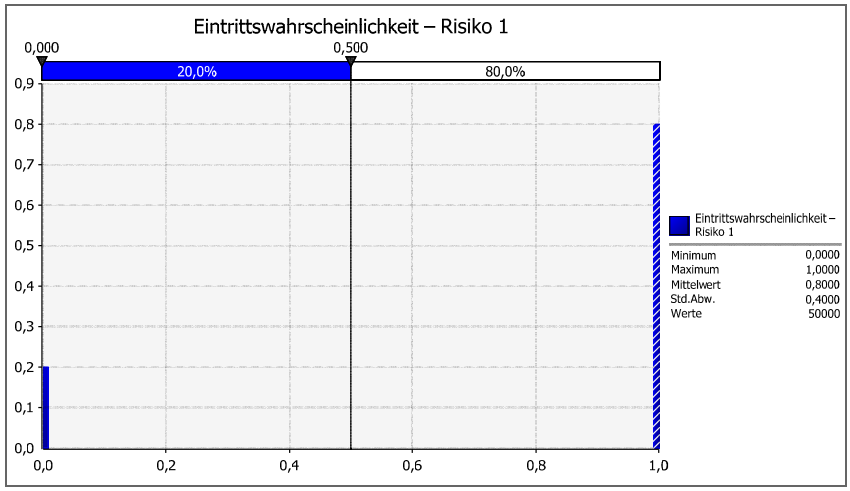


Abb. 10-35 Eintrittswahrscheinlichkeit – Risiko 1 – Bernoulli-Verteilung

Der Nutzen bzw. die Konsequenzen [€] werden vereinfacht als Dreiecksverteilungen definiert.[18)] Dazu ist die Angabe eines minimalen, eines erwarteten und eines maximalen Werts erforderlich (Spalten D bis F in Tab. 10-18 und Tab. 10-19). Die Dreiecksverteilungen sind in der Spalte G eingetragen, in der Tabelle wird jeweils der Mittelwert der Verteilung angegeben.

In der Spalte H wird für jede Chance bzw. jedes Risiko das Produkt aus Eintritt (0 oder 1 – Spalte C) und Nutzen/Konsequenz (zufälliger Wert innerhalb der definierten Bandbreite) gebildet. Je niedriger der Anteil der Eintrittswahrscheinlichkeit angesetzt wird, desto häufiger wird das Ergebnis dieser Multiplikation einen Wert von null annehmen, da die Chance bzw. das Risiko nicht eintritt und damit keinen Nutzen bzw. keine Konsequenzen bewirkt.

Für dieses Beispiel wurde angenommen, dass die betrachteten Risiken und Chancen unabhängig voneinander sind. Mögliche Korrelationen zwischen einzelnen Risiken oder zwischen Risiken und Chancen könnten aber durch den Ansatz einer Korrelationsmatrix in den Betrachtungen berücksichtigt werden.

10.3.4.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

In der Tab. 10-18 bzw. Tab. 10-19 sind in den Zellen der Spalte G und H jeweils die Mittelwerte der Verteilungen dargestellt. In den Zellen H7 wird die Summe der Risiko- bzw. Chancenwerte gebildet. Im Zuge der Monte-Carlo-Simulation werden 50.000 Iterationen durchgeführt, bei denen jeweils ein zufälliger Wert für die unsicheren Inputparameter gewählt und damit ein Ergebnis für die Chancen- und Risikowerte berechnet wird. Diese Ergebnisse können in Form von Histogrammen dargestellt werden, um Aussagen über Wahrscheinlichkeiten spezifischer deterministischer Werte zu erhalten. Abb. 10-36 und Abb. 10-37 zeigen die Histogramme für die Summe der Chancen- und Risikowerte [€].

[18)] *Busch* wählte beispielsweise BetaPERT-Verteilungen für die Konsequenzen. Diese sind ebenfalls durch minimale, erwartete und maximale Werte definiert, weisen aber höheren Werten tendenziell eine geringere Wahrscheinlichkeit zu. Vgl. Busch (2004), S. 60f.

In Abb. 10-36 sind zwei unterschiedliche Stellungen der Gleitbegrenzer jeweils am oberen Bildrand erkennbar. Es zeigt sich im oberen Bild, dass in ca. 96,0 % der Fälle eine Chancenrealisierung über ca. 300.000 € nicht möglich sein wird. Im unteren Bild ist für das gleiche Histogramm weiters zu erkennen, dass in ca. 72,9 % der Fälle die Summe der Chancen lediglich einen Wert zwischen 0 und 100.000 € annehmen wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass gar keine Chance realisiert werden kann liegt bei ca. 17,6 % (siehe Gleitbegrenzer in Abb. 10-38 – oben). Es handelt sich dabei um Iterationen, bei denen keine der angeführten Chancen eingetreten ist.

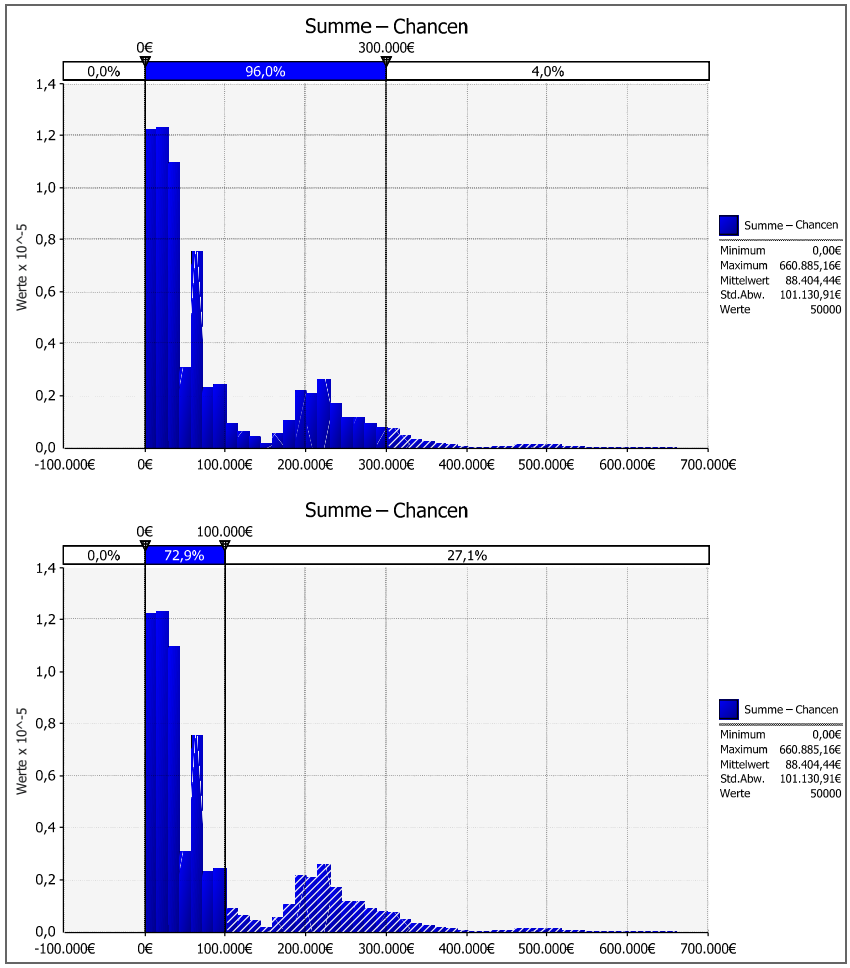


Abb. 10-36 Histogramm – Summe der Chancenwerte – Unterschiedliche Einstellungen der Gleitbegrenzer

In Abb. 10-37 sind ebenfalls zwei unterschiedliche Stellungen der Gleitbegrenzer jeweils am oberen Bildrand erkennbar. Es zeigt sich im oberen Bild, dass in ca. 96,0 % der Fälle die Konsequenzen einer Risikorealisierung unter 1 Mio. € liegen werden. Im unteren Bild ist für das gleiche Histogramm weiters zu erkennen, dass in ca. 72,6 % der Fälle die Summe der Risiken einen Wert zwischen 0 und 500.000 € annehmen wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass keines der identifizierten Risiken schlagend wird, liegt bei ca.

1,5 % (siehe Gleitbegrenzer in Abb. 10-38 – unten). Es handelt sich dabei um jene Iterationen, bei denen keines der angeführten Risiken eingetreten ist (alle Eintragungen in der Spalte C der Tab. 10-19 weisen in diesen Fällen den Wert null auf).

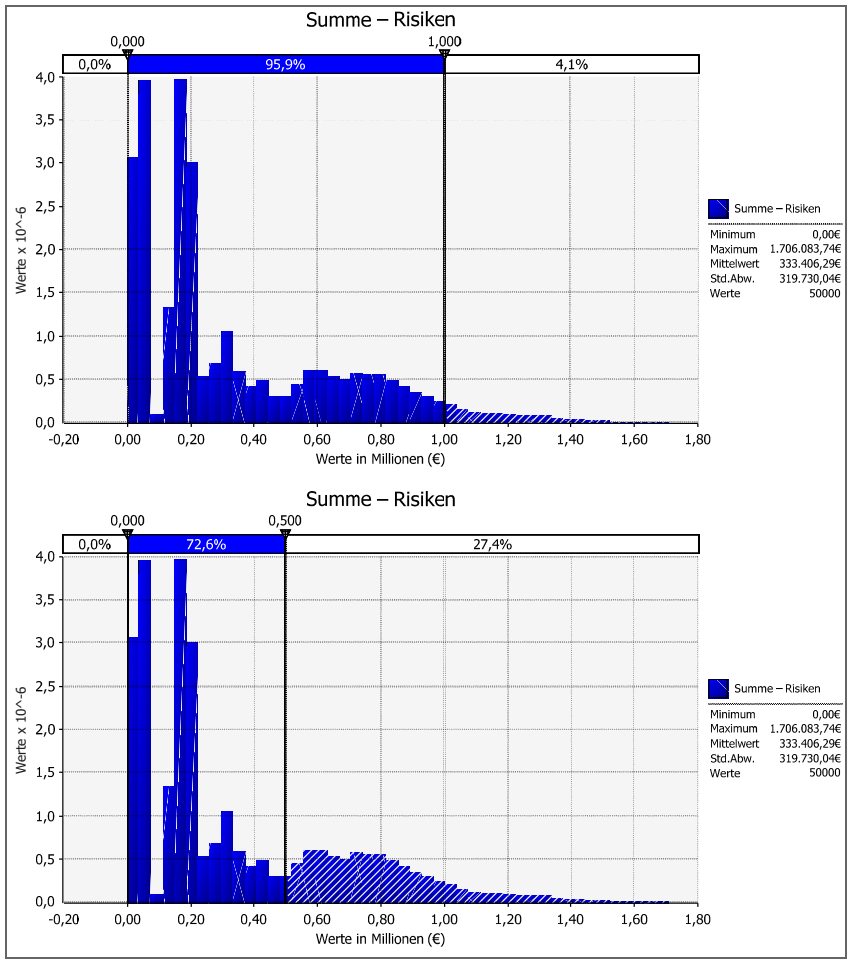


Abb. 10-37 Histogramm – Summe der Risikowerte – Unterschiedliche Einstellungen der Gleitbegrenzer

Sowohl in Abb. 10-36 als auch in Abb. 10-37 sind relativ große Bandbreiten und multimodale Verläufe, die sich durch die Berücksichtigung der Einzelchancen und Einzelrisiken ergeben, zu erkennen.

Erfolgt eine reine Chancen- oder eine reine Risikobetrachtung, kann anhand der Histogramme in Abb. 10-36 und Abb. 10-37 bereits eine Entscheidung für einen deterministischen Wert auf Basis eines gewählten Chancen-Risikoverhältnisses getroffen werden. Sollen beispielsweise 80 % der möglichen Risiken durch einen Kapitalpuffer/eine Kapitalreserve abgedeckt werden, wäre im gegenständlichen Fall die Bereitstellung von ca. 643.000 € erforderlich.

Eine weitere Analyse kann hinsichtlich der Anzahl der gleichzeitig auftretenden Chancen und Risiken durchgeführt werden. In den Zellen C7 der Tab. 10-18 bzw. Tab. 10-19 wird die Summe der Chancen-/Risikoeintritte gebildet. Da bei jedem Iterationsschritt der

Simulation unterschiedliche Kombinationen der Chancen und Risiken auftreten können, ergeben sich auch unterschiedliche Häufigkeiten für die Anzahl der gleichzeitig auftretenden Chancen und Risiken.

Abb. 10-38 zeigt die Häufigkeiten des Auftretens mehrerer Chancen und Risiken, welche aufgrund der gewählten Einzeleintrittswahrscheinlichkeiten erwartet werden.

Bei der Anzahl der gleichzeitig auftretenden Chancen (siehe Abb. 10-38 – oben) ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich keine der Chancen realisiert, mit 17,6 % relativ hoch. Dass sich mehr als drei Chancen realisieren, ist als sehr unwahrscheinlich zu bezeichnen (1,4 %). Am häufigsten kann mit dem gleichzeitigen Auftreten einer oder zwei Chancen gerechnet werden.

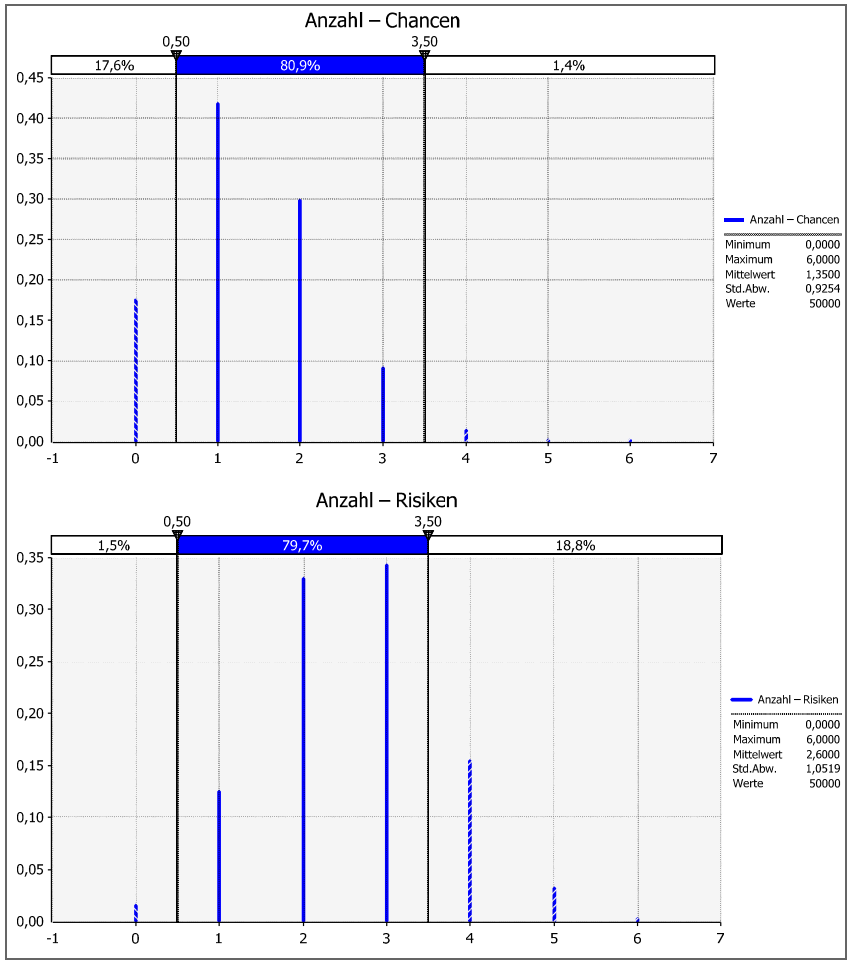


Abb. 10-38 Anzahl gleichzeitig auftretender Chancen (oben) und Risiken (unten)

Aus Abb. 10-38 (unten) kann die Wahrscheinlichkeit, dass kein einziges Risiko auftritt, mit ca. 1,5 % abgelesen werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass vier oder mehr Risiken gleichzeitig auftreten beträgt ca. 18,8 %. Am häufigsten treten entsprechend der gewählten Inputparameter zwei oder drei Risiken gleichzeitig auf.

Werden die Summen der Chancen- und Risikowerte voneinander abgezogen (Differenz = Chancenwerte - Risikowerte), ergibt sich das Histogramm in Abb. 10-39. Dabei sind auch negative Werte ersichtlich. Es handelt sich dabei um Ergebnisse von Szenarien, bei denen die Konsequenzen der aufgetretenen Risiken größer als der Nutzen der in der Simulation realisierten Chancen waren. Werden keine Vorkehrungen zur Bewältigung von Risiken getroffen, kann in ca. 23 % der Fälle damit gerechnet werden, dass die Auswirkungen der Chancen jenen der Risiken überwiegen. Nicht berücksichtigt sind dabei nicht erkannte bzw. nicht erkennbare Chancen und Risiken.

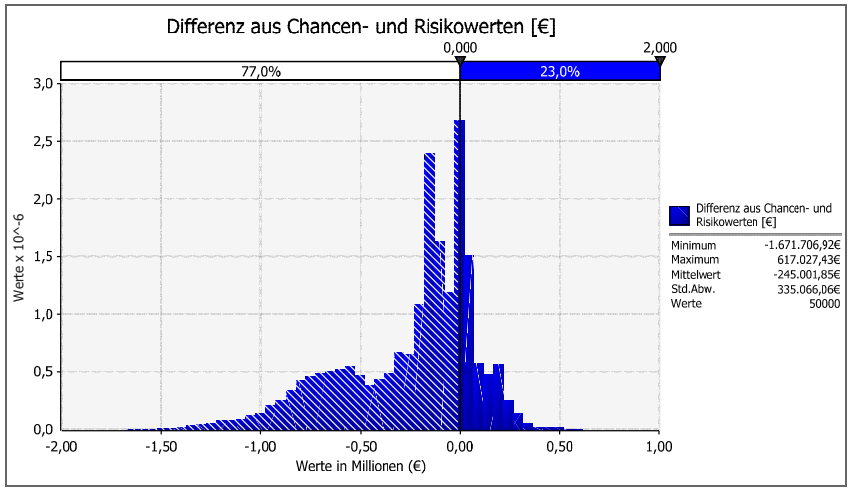


Abb. 10-39 Differenz aus Chancen- und Risikowerten

Soll das Chancen-Risikoverhältnis zugunsten der Budgetsicherheit bzw. der erzielbaren Chancen erhöht werden, ist ein Risikopuffer zu wählen, der das gewünschte Verhältnis auf Basis des ermittelten Histogramms liefert.

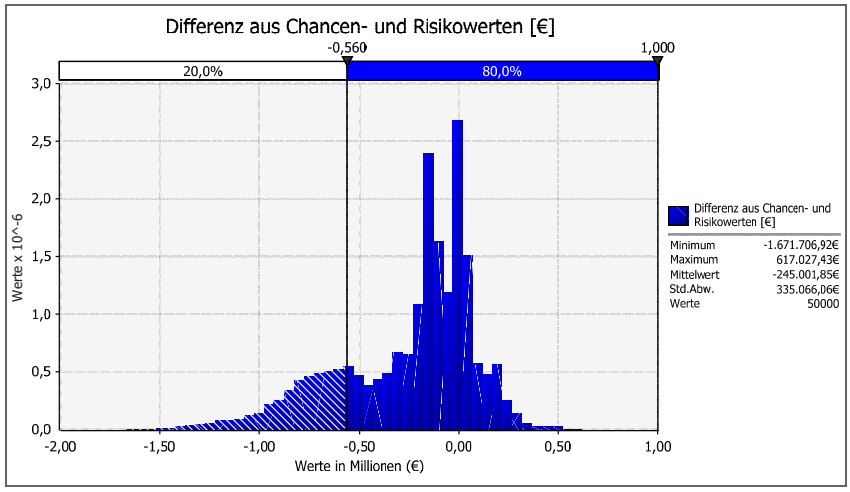


Abb. 10-40 Differenz aus Chancen- und Risikowerten – Risikopuffer für 80 % der Fälle

Wird beispielsweise ein zusätzlicher Puffer in der Höhe von ca. 560.000 € vorgesehen, werden damit bei der gemeinsamen Betrachtung von Chancen und Risiken ca. 80 % der Fälle abgedeckt (siehe Abb. 10-40).

10.3.4.4 Nutzen für Bieter/AN

Bei der Zusammenstellung von Chancen- und Risikolisten ist eine Systematik bzw. Gliederung in unterschiedliche Gruppen (z.B. nach der Art der Produktionsfaktoren, nach der Art der Beteiligten, nach Projektphasen) sinnvoll. Diese sollte bereits bei der Chancen-Risikoidentifikation, die der Chancen- und Risikobewertung voraus geht, erfolgen (siehe dazu auch Abschnitt 4.5).

Die erweiterte ‚Praktikermethode' kann sowohl von AG über den gesamten Projektverlauf (von der Bedarfsplanung bis zum Betrieb – PPH 1 bis PPH 5) als auch von Bietern und späteren AN in den Projektphasen der Ausführungsvorbereitung und Realisierung (PPH 3 und 4) zur globalen Bewertung von Chancen und Risiken auf Makroebene herangezogen werden. Die Eingabewerte (Eintrittswahrscheinlichkeiten und Nutzen bzw. Konsequenzen) beruhen besonders in frühen Projektphasen meist auf Expertenschätzungen. Daher ist es umso wichtiger, bereits in diesen Phasen Bandbreitenbetrachtungen durchzuführen, um die möglichen Streuungen der Ergebnisse darstellen zu können. Diese dienen in weiterer Folge als Basis für Detailbetrachtungen und Entscheidungsvorbereitungen.

Für eingeplante Risikopuffer kann das veränderte Chancen-Risikoverhältnis direkt aus den probabilistischen Berechnungsergebnissen ermittelt werden. Erfolgt im Zuge der Risikobewältigung eine Vermeidung, Verminderung etc. einzelner Risiken, können die entsprechenden Effekte (z.B. Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder der Konsequenzen) in das Chancen-Risikoregister eingetragen und in Bezug auf das gesamte Chancen-Risikoverhältnis des Projekts beurteilt werden.

Chancen-Risikoregister können über den Projektverlauf aktiv fortgeführt und aktualisiert werden und geben damit einen Überblick über die zu erwartenden Einzelchancen und -risiken des Projekts.

10.3.5 Bauzeitermittlung

Auf die Bedeutung der Bauzeit und den Zusammenhang dieser mit den Baukosten wurde bereits in Kapitel 8 detailliert eingegangen. Die Bauzeit wird normalerweise vom AG vorgegeben. Um jedoch die vorgegebene Bauzeit beurteilen zu können, ist es auch erforderlich, dass der Bieter bzw. spätere AN Überlegungen hinsichtlich der Bauzeit und dem möglichen Ressourceneinsatz anstellt. Kennt der Bieter die projektspezifische normale Bauzeit, können im Vergleich mit der vorgegebenen Bauzeit Rückschlüsse auf den Bauablauf, das Chancen-Risikoverhältnis sowie den Zusammenhang zwischen Baukosten und Bauzeit gezogen werden. Die Ermittlung der Bauzeit ist für den AN der PPH 3 (siehe Abb. 10-41) zuzuordnen.

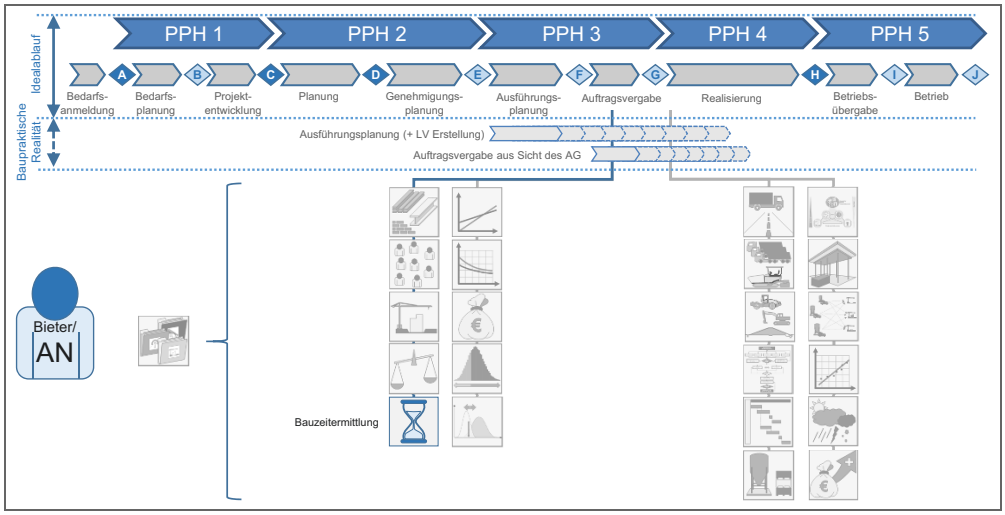


Abb. 10-41 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.3.5.1 Aufgabenstellung

Anhand der Anzahl an einsetzbaren Kranen wird für ein Hochbauprojekt die normale Bauzeit (ohne Produktivitätsverluste) für die Stahlbetonarbeiten ermittelt.

Der Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten wird aus der Berechnung in Abschnitt 7.3.3 für korrelierte Parameter übernommen und geht direkt als Ergebnis einer probabilistischen Berechnung in die Simulation zur Ermittlung der normalen Bauzeit ein.

10.3.5.2 Modellbildung

Krane bilden für Hochbaustellen die Schlüsselgeräte der Baustellenlogistik. Der Kranproportionalitätsfaktor[19)] gibt dabei je nach Betonierverfahren (z.B. alle Bauteile mit Kran und Kranübel) und Krantyp (Obendreher oder Schnelleinsatzkran) die Anzahl der Arbeitskräfte an, die mit den vorhandenen Kranen versorgt werden können.

Es wird dabei angenommen, dass durchwegs Obendreher eingesetzt werden und das Betonieren ohne Kran und Kranübel erfolgt. Unter Berücksichtigung des Trapezmodells[20)] für den Ressourceneinsatz kann damit nicht nur die maximale, sondern auch die mittlere Anzahl an Arbeitskräften berechnet werden.

Zusammen mit der geplanten täglichen Arbeitszeit und dem Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten errechnet sich die durchschnittliche tägliche Leistung. Wird diese auf die herzustellende Stahlbetonmenge bezogen, ergibt sich die normale Bauzeit der Stahlbetonarbeiten.

Die schematische Vorgangsweise zur Berechnung der normalen Bauzeit ist in Abb. 10-42 dargestellt. Deterministische Inputparameter werden durch Pfeile symbolisiert. Parameter

19) Siehe Tab. 10-8
20) Siehe Abb. 10-19

die mit Unsicherheiten behaftet sind, werden mittels Dreiecksverteilungen modelliert. Lediglich der Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten fließt als Output einer vorangegangenen Berechnung (siehe Abschnitt 7.3.3) als Histogramm in die Simulation ein.[21)]

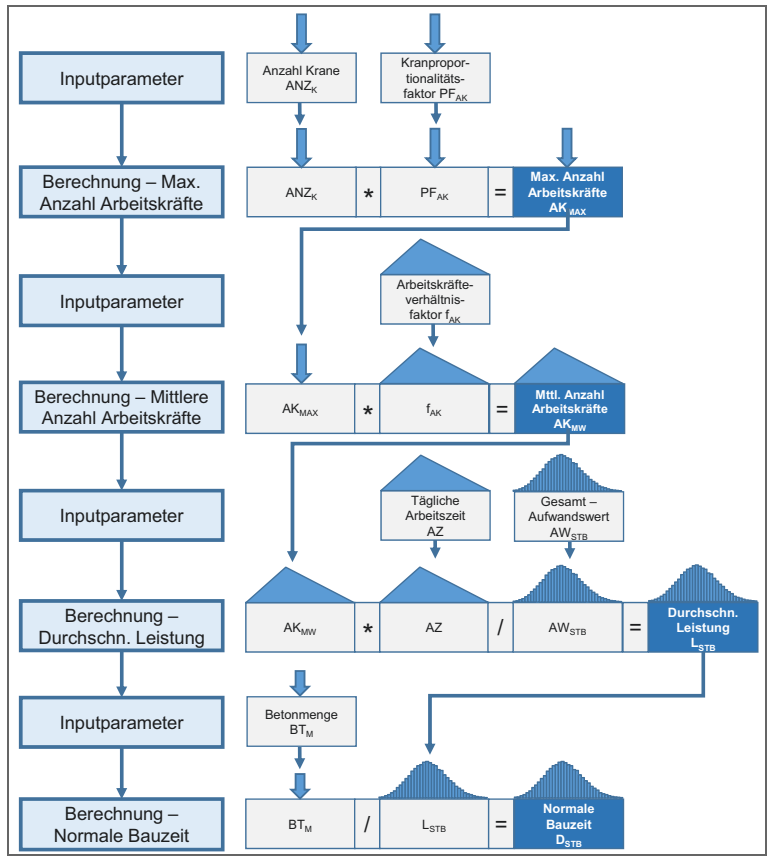


Abb. 10-42 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs – Berechnung der normalen Bauzeit (Arbeitstage)

Durch den Ansatz von Verteilungsfunktionen für die Eingangsparameter sind auch die Zwischenergebnisse (z.B. Durchschnittliche Leistung) als Histogramme abrufbar. Es können hier ebenfalls Aussagen über Wahrscheinlichkeiten getroffen und diese Histogramme für Plausibilitätskontrollen herangezogen werden.

10.3.5.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die Berechnung der normalen Bauzeit ist Tab. 10-20 zu entnehmen. Die Stahlbetonmenge BT_M [m³] wird ebenso wie die Anzahl der (baubetrieblich) einsetzbaren Krane ANZ_K [Krane] und der Kranproportionalitätsfaktor PF_{AK} [AK/Kran] als deterministischer Wert angesetzt (siehe Zeilen 1 bis 3).

21) Es wird dabei jenes Histogramm herangezogen, welches mit korrelierten Eingangsparametern ermittelt wurde (siehe Abb. 7-19).

Der Kranproportionalitätsfaktor für Obendreher Krane beträgt 20 AK/Kran, sofern das Betonieren ohne Kraneinsatz erfolgt. Dieser Wert wird um 10 % abgemindert (18 AK/Kran = 20 AK/Kran* 0,90), um die normale Bauzeit ermitteln zu können (siehe dazu Abb. 10-18).

Damit ergibt sich auch die maximale Anzahl an Arbeitskräften AK_{MAX} [Std/h] mit 90 Arbeitskräften (= 5 Krane * 18 AK/Kran) als deterministischer Wert (Zeile 4). Der Arbeitskräfteverhältnisfaktor f_{AK} [-] bestimmt den Zusammenhang zwischen der mittleren und der maximalen Anzahl an Arbeitskräften und wird als Dreiecksverteilung (0,75 | 0,80 | 0,85) angesetzt (siehe Zeile 5 der Tab. 10-20). Die Multiplikation der maximalen Anzahl an Arbeitskräften mit dem Arbeitskräfteverhältnisfaktor führt zur mittleren Anzahl an Arbeitskräften AK_{MW} [Std/h] (Zeile 6).

Ldf. Nr.	Berechnungsparameter		Einheit	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F	G
1	Betonmenge	BT_M	m³		38.275,00		38.275,00
2	Anzahl der einsetzbaren Krane	ANZ_K	Krane		5,00		5,00
3	Kranproportionalitätsfaktor	PF_{AK}	AK/Kran		18,00		18,00
4	Maximale Anzahl an Arbeitskräften	AK_{MAX}	Std/h				90,00
5	Arbeitskräfteverhältnisfaktor	f_{AK}	-	0,75	0,80	0,85	0,80
6	Mittlere Anzahl an Arbeitskräften	AK_{MW}	Std/h				72,00
7	Tägliche Arbeitszeit	AZ	h/d	8,00	9,00	10,00	9,00
8	Gesamt-Aufwandswert	AW_{STB}	Std/m³				6,10
9	Durchschnittliche Leistung	L_{STB}	m³/d				106,32
10	Normale Bauzeit	D_{STB}	d				360,01

Tab. 10-20 Berechnungstabelle – Normale Bauzeit

Zusammen mit der täglichen Arbeitszeit (Dreiecksverteilung – Zeile 7), dem Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten AW_{STB} [Std/m³] (Zeile 8) und der mittleren Anzahl an Arbeitskräften lässt sich die durchschnittliche tägliche Leistung L_{STB} [m³/d] (Zelle G9) berechnen.

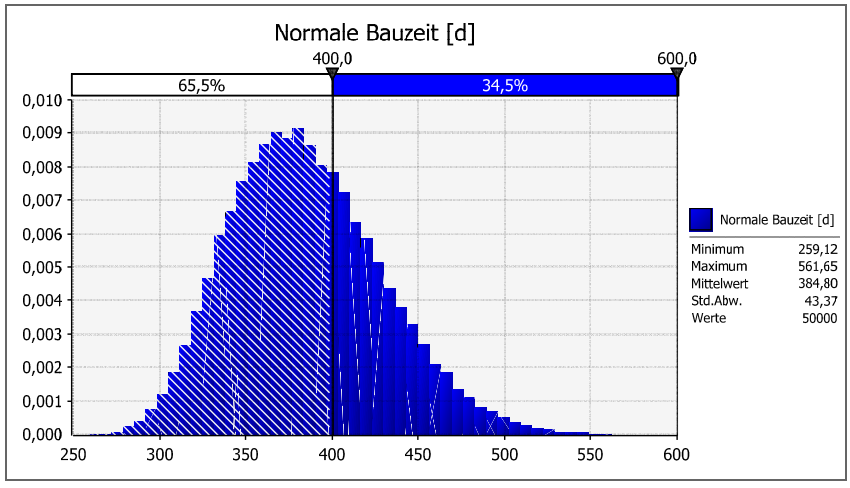


Abb. 10-43 Histogramm – Normale Bauzeit

Wird die Stahlbetonmenge durch die tägliche Leistung dividiert, ergibt sich das Histogramm (siehe Abb. 10-43) der normalen Bauzeit in Zelle G10.[22)]

Der Mittelwert der normalen Bauzeit beträgt ca. 385 d und die Standardabweichung liegt bei ca. 43 d. Könnte der AN die Bauzeit vorgeben, wäre unter Berücksichtigung des Chancen-Risikoverhältnisses eine Bauzeit von ca. 400 d anzustreben. Bei dieser Bauzeit würden die Chancen (ca. 65,5 %) dem Risiko (ca. 34,5 %) überwiegen. Die Wahrscheinlichkeit, die Bauzeit einzuhalten bzw. zu unterschreiten wäre damit nahezu doppelt so groß wie das Risiko einer Bauzeitüberschreitung.

10.3.5.4 Nutzen für den Bieter/AN

Der AN legt seinen geplanten Ressourceneinsatz so aus, dass ihm noch ein Puffer für Unvorhergesehenes bzw. für von ihm verursachte Störungen bleibt. Dieser Puffer ist im gegenständlichen Beispiel durch die Abminderung des maximalen Kranproportionalitätsfaktors um 10 % (von 20 AK/Kran auf 18 AK/Kran) berücksichtigt.

Die Unsicherheiten, der Inputparameter wurden durch Verteilungsfunktionen berücksichtigt und ergeben daher auch für die berechnete normale Bauzeit eine Streuung. Mit Hilfe dieser Verteilung kann der Bieter bzw. spätere AN aber Bauzeitvorgaben des AG hinsichtlich des Chancen-Risikoverhältnisses einschätzen und beurteilen.

Gibt der AG z.B. eine Bauzeit von nur 300 d (siehe Abb. 10-44) vor, reduziert sich die Chance des Bieters/AN auf lediglich 1,1 %. Der Bieter/AN muss sich in einem solchen Fall die Frage stellen, ob er evtl. doch noch einen zusätzlichen Kran und mehr Arbeitskräfte einsetzen kann. Es kann weiters überlegt werden, ob bestimmte Arbeitsschritte durch Vorfertigung entzerrt werden können (z.B. Vorfertigung von Bewehrungskörben) oder ob die tägliche Arbeitszeit erhöht werden kann bzw. ob überhaupt ein Schichtbetrieb erforderlich ist.

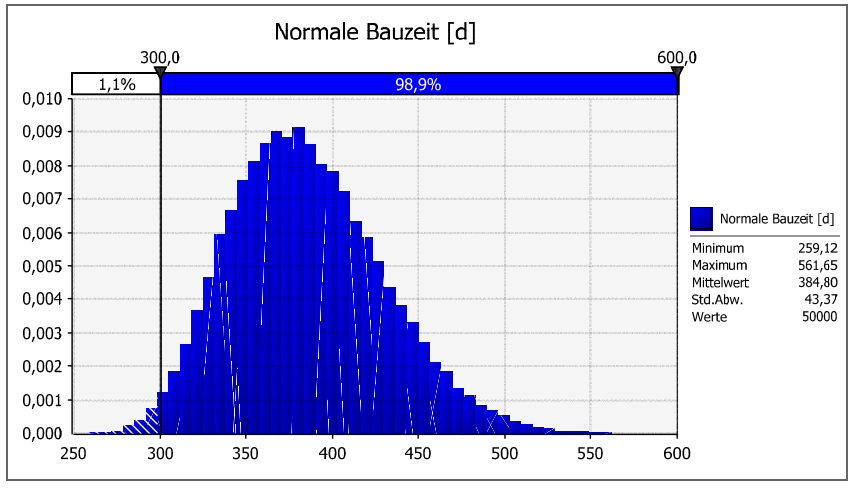


Abb. 10-44 Histogramm – Normale Bauzeit

[22)] Die in Tab. 10-20 angegebene normale Bauzeit errechnet sich aus den Mittelwerten der Inputparameter. Dieser Wert entspricht nicht automatisch dem Mittelwert des Histogramms für die normale Bauzeit (siehe Abb. 10-43).

Weiters gilt es zu beachten, dass eine zu kurz vorgegebene Bauzeit durch den erhöhten Ressourceneinsatz zu Produktivitätsverlusten und damit auch zu erhöhten Herstellkosten führen kann.

Der AN berücksichtigt durch den Einsatz probabilistischer Verfahren diese Unsicherheiten in den Eingangsparametern und kann damit abschätzen, welches Risiko und welche Chance er bei einem Bauvorhaben mit vorgegebener Bauzeit eingeht, um diese einhalten zu können. Ist mit einer hohen Wahrscheinlichkeit eine große Anzahl an Arbeitskräften und Kranen erforderlich, muss der AN im Zuge einer vertieften Analyse überprüfen, ob diese Anzahl an Arbeitskräften überhaupt mit der normalen Produktivität auf der Baustelle eingesetzt werden kann bzw. wie viele Krane tatsächlich auf der Baustelle installiert werden können. Kann keine ausreichende Krankapazität gewährleistet werden, muss bereits im Vorfeld der Einsatz von alternativen Hebezeugen (z.B. Hebebühnen), anderen Bauweisen (z.B. Fertigteile) oder anderen Bauverfahren (z.B. weniger kranintensives Schalungssystem) geprüft werden.

Der AN hatte keinerlei Informationen, wie der AG zu seiner vorgegebenen Bauzeit gekommen ist und welche Überlegungen er hinsichtlich des Chancen-Risikoverhältnisses getroffen hat. Unabhängig davon musste der AN aufgrund der vom AG vorgegebenen Bauzeit seinen Ressourceneinsatz, der von Unsicherheiten geprägt ist, planen.

Ist eine besonders kurze Bauzeit gefordert, sind Auswirkungen auf den Baubetrieb und Bauablauf, die Ausführungsqualität sowie bauwirtschaftliche Fragestellungen zu erwarten (siehe dazu Abschnitt 8.5).

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation dienen auch der Bewusstseinsbildung und bilden die Basis für eine Kommunikation über Chancen und Risiken. Deterministische Werte liefern hier keinen befriedigenden Beitrag, da (mit erhöhtem Rechenaufwand) höchstens Bandbreitenbetrachtungen bzw. einzelne Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden können. Mit probabilistischen Berechnungsverfahren werden bei einem Simulationsdurchgang mehrere tausend Einzelergebnisse ermittelt und systematisch in Form von Histogrammen dargestellt. Erst durch die Anwendung solcher Verfahren werden die Chancen und Risiken, die mit Entscheidungen verbunden sind, abschätzbar.

10.3.6 Grober Verfahrensvergleich

Im Zuge von Verfahrensvergleichen sollen die effizientesten Bauverfahren ermittelt werden. Bereits im Zuge der Angebotserstellung (PPH 3 – siehe Abb. 10-45) ist es für den AN beispielsweise wichtig, zu wissen, welches von zwei zur Verfügung stehenden Schalungssystemen kostengünstiger ist bzw. ab welcher Grenzgröße einem der Systeme der Vorzug zu geben ist.

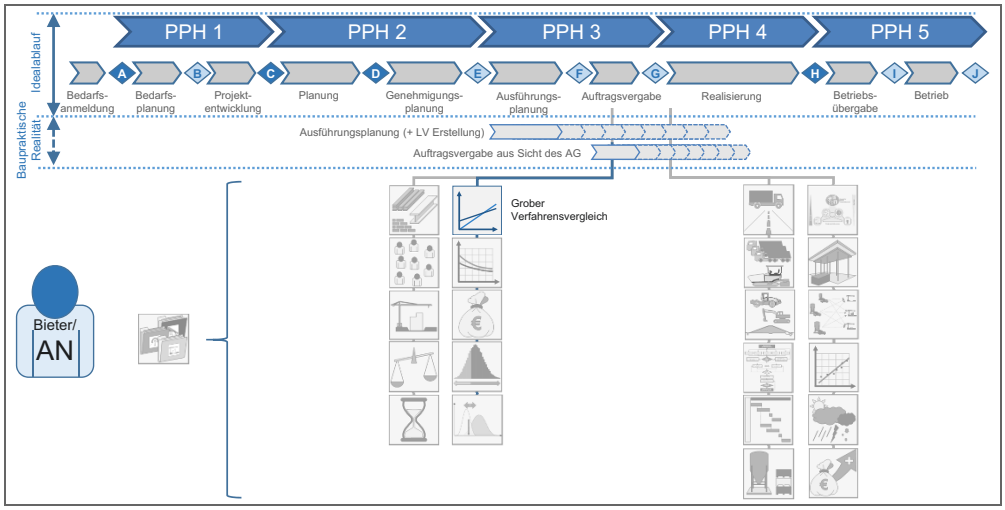


Abb. 10-45 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.3.6.1 Grundlagen

Für die Ausführung der verschiedenen Tätigkeiten zur Errichtung eines Bauwerks stehen in der Regel verschiedene Bauverfahren bzw. Schalungssysteme zur Auswahl, mit denen das gleiche Bau-Soll (z.B. Qualität) erzielbar ist. Die Wahl eines Verfahrens bzw. Systems hat jedoch entscheidenden Einfluss auf die Zielerreichung (Kosten, Leistung, Qualität, Zeit etc.). Die Verfahren und Systeme unterscheiden sich beispielsweise in technologischer, wirtschaftlicher, sicherheitstechnischer und baubetrieblicher Hinsicht. Je nachdem wie viele verschiedene Einflussfaktoren bei der Verfahrenswahl für den Vergleich herangezogen werden, wird in kalkulatorische und differenzierte Verfahrensvergleiche unterschieden.[23)]

Bei kalkulatorischen Verfahrensvergleichen werden für die zu untersuchenden Verfahren bzw. Systeme vergleichende Kostenermittlungen durchgeführt.

Für den differenzierten Schalungsvergleich (Verfahrensvergleich) werden neben den wirtschaftlichen Kriterien auch andere in den Vergleich mit einbezogen. Der differenzierte Verfahrensvergleich ist umfassender als der kalkulatorische und kann z.B. mit einer Entscheidungsmatrix durchgeführt werden (siehe Abschnitt 10.4.4).

10.3.6.2 Aufgabenstellung

Für ein Hochbauprojekt wird kalkulatorisch untersucht, ob der Einsatz einer Trägerschalung oder von Deckentischen aus Elementen der Trägerschalung für die Herstellung der Flachdecken kalkulatorisch sinnvoller ist. Die Schalfläche eines Regelgeschosses beträgt 1.500 m². Insgesamt sind sechs Geschosse in jeweils drei Fertigungsabschnitten herzustellen (siehe Abb. 10-46). Es ergibt sich damit eine zu schalende Fläche von 9.000 m².

23) Vgl. Hofstadler (2008), S. 339

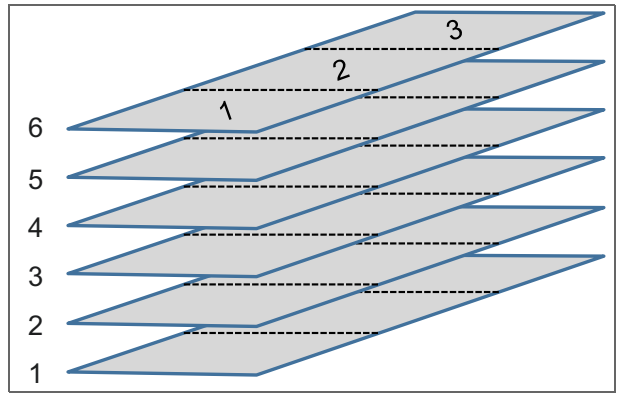


Abb. 10-46 Schematische Darstellung der herzustellenden Decken (sechs Geschosse mit jeweils drei Fertigungsabschnitten)

Die weiteren Eingangsparameter für die Berechnung sind für die Trägerschalung sowie für die Deckentische jeweils in den Berechnungstabellen in Abschnitt 10.3.6.4 angeführt.

10.3.6.3 Modellierung

Die Kostenverläufe der zu vergleichenden Schalsysteme hängen von der Größe der zu schalenden Fläche ab und sind mit Unsicherheiten behaftet. Für den kalkulatorischen Vergleich werden sowohl die Lohnkosten als auch die Geräte- und Materialkosten einbezogen und in Summe als Einzelkosten für die beiden Verfahren gegenübergestellt.

Beim Vergleich der Schalsysteme mit und ohne Grund- und Demontage ist zu klären, ab welcher Schalfläche bzw. Anzahl an Einsätzen welches Verfahren/System die geringsten Kosten verursacht. Für ein Schalungssystem ohne Grund- und Demontage folgen die Einzelkosten $K_{S,EK,A}$ aus Glg. (10-7). In der Klammer werden die Lohn-, Geräte- und Materialkosten je Einheit ermittelt und aufaddiert. Diese Kosten je Einheit werden in weiterer Folge mit der entsprechenden Schalfläche S_F [m²] multipliziert.

$$K_{S,EK,A} = S_F \cdot (AW_{S,A} \cdot ML_{S,MW} + k_{S,G,A} + k_{S,M,A}) \tag{10-7}$$

Die Kosten für ein Schalsystem mit Grund- und Demontage $K_{S,EK,B}$ werden nach Glg. (10-8) berechnet. Im ersten Term in der runden Klammer wird der Aufwandswert für die Grund- und Demontage $AW_{S,GD}$ [Std/m²] mit der spezifischen Schalfläche $S_{F,GD}$ [m²] – für welche die Grund- und Demontage durchgeführt wird – multipliziert und das Produkt mit der gesamten Schalfläche S_F [m²] dividiert.

$$K_{S,EK,B} = S_F \cdot \left[\left(\frac{AW_{S,GD} \cdot S_{F,GD}}{S_F} + AW_{S,B} \right) \cdot ML_{S,MW} + k_{S,G,B} + k_{S,M,B} \right] \tag{10-8}$$

Vergleicht man zwei Schalsysteme, ist besonders jene Schalfläche von Interesse ab der sich für ein Verfahren/System die geringeren Einzelkosten ergeben. Die Grenzschalfläche $S_{F,Grenz}$ [m²] wird nach Glg. (10-9) berechnet (durch Gleichsetzen der Glg. (10-7) und Glg. (10-8)).

$$S_{F,Grenz} = \frac{AW_{S,GD} \cdot S_{F,GD}}{\frac{AW_{S,A} \cdot ML_{S,MW} + k_{S,G,A} + k_{S,M,A} - k_{S,G,B} - k_{S,M,B}}{ML_{S,MW}} - AW_{S,B}} \quad (10\text{-}9)$$

Wenn die gesamte Schalfläche des betrachteten Bauwerks größer ist als jene, die nach Glg. (10-9) ermittelt wurde, dann werden mit dem Schalungssystem B (Deckentische) geringere Einzelkosten erzielt.

Der schematische Ablauf zur Berechnung der Einzelkosten für die beiden betrachteten Schalsysteme ist in Abb. 10-47 dargestellt. Jene Inputparameter, die mit Histogrammen symbolisiert sind, stammen dabei aus vorausgehenden Berechnungen, die im nächsten Abschnitt näher beschrieben werden.

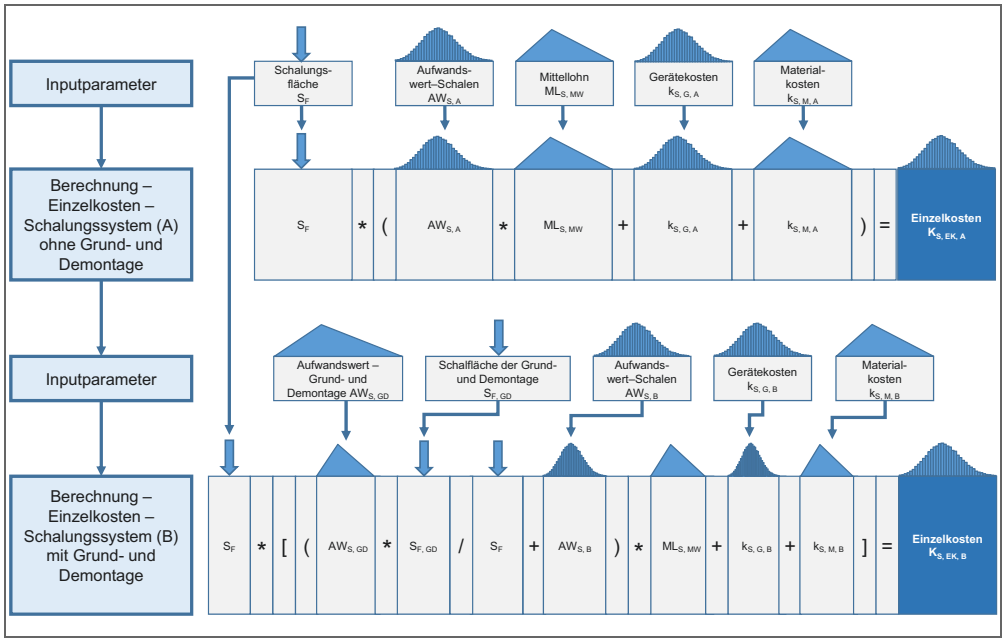


Abb. 10-47 Schematischer Berechnungsablauf – Einzelkostenberechnung

10.3.6.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die Berechnung der Einzelkosten für die beiden Schalsysteme erfolgt unter Berücksichtigung der Unsicherheiten mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation. Jene Parameter, für die kein fixer Zahlenwert festgelegt werden kann, werden als Dreiecksverteilungen modelliert. Die minimalen, erwarteten und maximalen Werte je Parameter sind in den Spalten B, C und D der Tab. 10-21 und Tab. 10-22 eingetragen. In der Spalte E sind jeweils die deterministischen Werte, die Verteilungen bzw. die Zwischen- und Endergebnisse als Histogramme hinterlegt.

In einem ersten Schritt wird die gesamte Schalfläche der Decken des Bauwerks (Zeile 4) ermittelt. Es handelt sich dabei um einen deterministischen Wert, der sich aus der Multiplikation der Schalfläche je Regelgeschoss (Zeile 1), der Anzahl an Geschossen (Zeile 2) und der Anzahl der Fertigungsabschnitte (Zeile 3) mit 9.000 m² ergibt. Diese Schalungsfläche gilt für beide Schalsysteme.

Schalsystem A – Trägerschalung

Der mittlere Aufwandswert für die Trägerschalung $AW_{S,A}$ [Std/m²] (Zelle E17) setzt sich aus den Aufwandswerten für das Ein- und Ausschalen, das Umsetzen und Sonstiges (Zeilen 5 bis 8) zusammen.

Die durchschnittliche tägliche Schalungsleistung [m²/d] (Zeile 18) berechnet sich aus der Anzahl an Arbeitskräften (Zeile 13), der täglichen Arbeitszeit (Zeile 14) und dem Aufwandswert (jedoch bleibt hier der Aufwandswertanteil für Sonstiges – Zeile 8 – unberücksichtigt). Aus der Multiplikation der durchschnittlichen täglichen Schalungsleistung mit der Anzahl an Arbeitstagen je Monat (Zeile 15) folgt die durchschnittliche monatliche Schalungsleistung (Zelle E19). Dieser Parameter ist erforderlich, um zusammen mit den Krankosten je Monat (Zeile 11) und der durchschnittlichen Kranbelegung für die Trägerschalung (Zeile 12) die Gerätekosten der Kranbelegung (Zelle E20) zu erheben.[24)]

Lfd. Nr.	Parameter		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A		B	C	D	E
1	Schalfläche des Regelgeschosses			1.500,00		1.500,00 m²
2	Anzahl der Geschosse			6,00		6,00
3	Anzahl der Fertigungsabschnitte			3,00		3,00
4	Schalungsfläche - Decken	S_F				9.000,00 m²
5	Mittlerer Aufwandswert - Einschalen		0,18	0,20	0,25	0,20 Std/m²
6	Mittlerer Aufwandswert - Ausschalen		0,12	0,15	0,20	0,15 Std/m²
7	Mittlerer Aufwandswert - Umsetzen		0,02	0,02	0,05	0,02 Std/m²
8	Mittlerer Aufwandswert - Sonstiges		0,05	0,05	0,10	0,05 Std/m²
9	Mittlere Gerätekosten		3,00	3,50	5,00	3,50 €/m²
10	Mittlere Materialkosten	$k_{S,M,A}$	0,40	0,50	0,80	0,50 €/m²
11	Krankosten je Monat		7.000,00	7.500,00	8.200,00	7.500,00 €/Mo
12	Durchschnittliche Kranbelegung für die Trägerschalung		12,00	15,00	20,00	15,00 %/Mo
13	Anzahl der Arbeitskräfte		5,00	5,00	6,00	5,00 Std/h
14	Tägliche Arbeitszeit		8,00	9,00	10,00	9,00 h/d
15	Anzahl der Arbeitstage je Monat		19,00	20,00	21,00	20,00 d/Mo
16	Mittellohnkosten	$ML_{S,MW}$	32,00	35,00	37,00	35,00 €/Std
17	Mittlerer Aufwandswert - Trägerschalung	$AW_{S,A}$				0,42 Std/m²
18	Durchschnittliche tägliche Schalungsleistung (ohne AW-Sonstiges)					121,62 m²/d
19	Durchschnittliche monatliche Schalungsleistung					2.432,43 m²/Mo
20	Gerätekosten der Kranbelegung					0,46 €/m²
21	Gerätekosten - Trägerschalung gesamt	$k_{S,G,A}$				3,96 €/m²
22	**Einzelkosten - Trägerschalung**	$K_{S,EK,A}$				**172.462,50 €**
23	**Einheitskosten - Trägerschalung**					**19,16 €/m²**

Tab. 10-21 Berechnungstabelle – Einzelkostenberechnung – Schalsystem A (Trägerschalung)[25)]

Die gesamten Gerätekosten der Trägerschalung (Zelle E21) setzen sich aus den mittleren Gerätekosten (Zeile 9) und den Gerätekosten der Kranbelegung zusammen. Jene Parameter, für die in Tab. 10-21 die Abkürzungen eingetragen sind, werden in die Gleichung für die Einzelkostenberechnung (Glg. (10-7)) eingesetzt und ergeben damit das Histogramm in Abb. 10-48.

24) Deterministisches Berechnungsbeispiel anhand der erwarteten Werte:
(7.500,00 €/Mo * 15,00 % / 100 %) / 2.432,43 m²/Mo = 0,46 €/m²

25) Bei den in Tab. 10-21 angegebenen Einzelkosten der Trägerschalung handelt es sich um das Ergebnis einer deterministischen Berechnung mit den erwarteten Werten der Inputparameter. Da großteils rechtsschiefe Verteilungen angesetzt wurden, entspricht dieser Wert nicht dem Mittelwert und ist im unteren Wertebereich des Histogramms in Abb. 10-48 angesiedelt.

Der Mittelwert des Histogramms liegt bei ca. 188.600 € und die Standardabweichung beträgt ca. 10.140 €. In jeweils 5 % der simulierten Fälle werden Kosten von ca. 172.300 € unterschritten und Kosten in der Höhe von etwa 205.700 € überschritten. Abb. 10-48

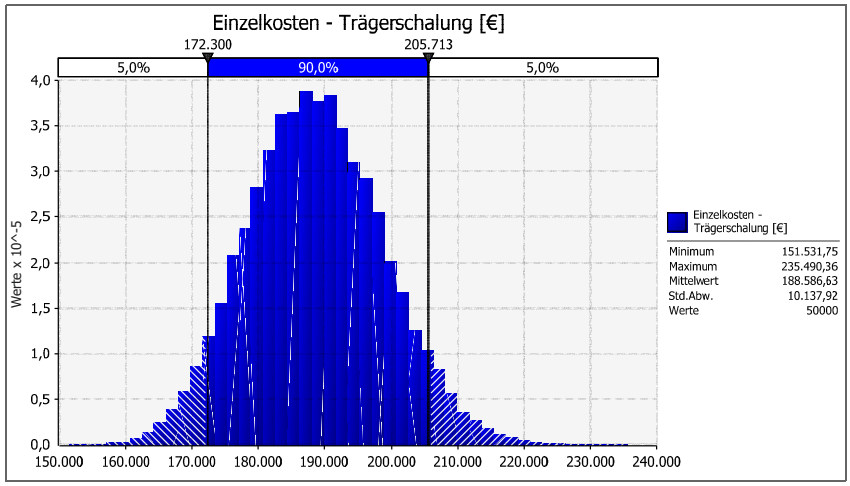


Abb. 10-48 Histogramm – Einzelkosten – Trägerschalung

Schalsystem B – Deckentische

Die Einzelkosten des zweiten Schalsystems (Deckentische) beziehen sich auf die gleiche Schalungsfläche der Decken wie bei der Trägerschalung (= 9.000 m² – siehe Zeile 4 in Tab. 10-22).

Die Berechnung des mittleren Aufwandswerts der Deckentische $AW_{S,B}$ [Std/m²] (siehe Zelle E20) ergibt sich wie bei der Trägerschalung aus den Anteilen für das Ein- und Ausschalen, das Umsetzen und Sonstiges (Zeilen 5 bis 8).

Auch die Berechnung der Gerätekosten für die Kranbelegung (Zelle E23) erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie für die Trägerschalung. Allerdings ist die Kranbelegung für die Deckentische (zwischen 32 und 40 %/Mo – siehe Zeile 15) deutlich höher als bei der Trägerschalung.

Zusätzlich sind bei den Einzelkosten für die Deckentische auch noch die Grund- und Demontage zu berücksichtigen. Der Aufwandswert für die Grund- und Demontage $AW_{S,GD}$ [Std/m²] ist in der Zeile 9 der Tab. 10-22 als Dreiecksverteilung angesetzt. Die Schalungsfläche für die Grund- und Demontage $S_{F,GD}$ [m²] errechnet sich in Zelle E25.

Es wurde für das Beispiel angenommen, dass die Schalung für jeweils zwei Fertigungsabschnitte vorgehalten wird (Zeile 13) und, dass zwischen 80 und 92 % der Geschossflächen mit Deckentischen geschalt werden können (siehe Zeile 12). Bezogen auf den erwarteten Wert ergibt sich demnach eine Schalungsfläche für die Grund- und Demontage von 900 m² (= 1.500 m² / 3 * 0,90 * 2).

Durch Einsetzen der Parameter, für die in Tab. 10-22 die Abkürzungen eingetragen sind, in Glg. (10-8) ergeben sich die Einzelkosten für die Deckentische als Histogramm (siehe Abb. 10-49).

Lfd. Nr.	Parameter		MIN	ERW	MAX	Verteilung	
0	A		B	C	D	E	
1	Schalfläche des Regelgeschosses			1.500,00		1.500,00	m²
2	Anzahl der Geschosse			6,00		6,00	
3	Anzahl der Fertigungsabschnitte			3,00		3,00	
4	Schalungsfläche - Decken	S_F				9.000,00	m²
5	Mittlerer Aufwandswert - Einschalen		0,07	0,08	0,09	0,08	Std/m²
6	Mittlerer Aufwandswert - Ausschalen		0,04	0,05	0,08	0,05	Std/m²
7	Mittlerer Aufwandswert - Umsetzen		0,02	0,02	0,05	0,02	Std/m²
8	Mittlerer Aufwandswert - Sonstiges		0,05	0,05	0,10	0,05	Std/m²
9	Mittlerer Aufwandswert - Grund- und Demontage	$AW_{S,GD}$	0,90	1,00	1,30	1,00	Std/m²
10	Mittlere Gerätekosten		4,00	4,50	5,50	4,50	€/m²
11	Mittlere Materialkosten	$k_{S,M,B}$	0,65	0,75	0,95	0,75	€/m²
12	Anteil der Schalfläche je Geschoss, die mit Deckentischen geschalt werden kann		80,00	90,00	92,00	90,00	%
13	Anzahl der Fertigungsabschnitte, für die Tische vorgehalten werden			2,00		2,00	
14	Krankosten je Monat		7.000,00	7.500,00	8.200,00	7.500,00	€/Mo
15	Durchschnittliche Kranbelegung für die Deckentische		32,00	35,00	40,00	35,00	%/Mo
16	Anzahl der Arbeitskräfte		5,00	5,00	6,00	5,00	Std/h
17	Tägliche Arbeitszeit		8,00	9,00	10,00	9,00	h/d
18	Anzahl der Arbeitstage je Monat		19,00	20,00	21,00	20,00	d/Mo
19	Mittellohnkosten	$ML_{S,MW}$	32,00	35,00	37,00	35,00	€/Std
20	Mittlerer Aufwandswert - Deckentische	$AW_{S,B}$				0,20	Std/m²
21	Durchschnittliche tägliche Schalungsleistung (ohne AW-Sonstiges)					300,00	m²/d
22	Durchschnittliche monatliche Schalungsleistung					6.000,00	m²/Mo
23	Gerätekosten der Kranbelegung					0,44	€/m²
24	Gerätekosten - Deckentische gesamt	$k_{S,G,B}$				4,94	€/m²
25	Schalungsfläche der Grund- und Demontage	$S_{F,GD}$				900,00	m²
26	**Einzelkosten - Deckentische**	$K_{S,EK,B}$				**145.687,50**	**€**
27	**Einheitskosten - Deckentische**					**16,19**	**€/m²**

Tab. 10-22 Berechnungstabelle – Einzelkostenberechnung – Schalsystem B (Deckentische)[26)]

Der Mittelwert der Einzelkosten für die Deckentische liegt bei ca. 158.400 € und die Standardabweichung beträgt ca. 7.400 €. In jeweils 5 % der simulierten Fälle werden Kosten von ca. 146.600 € unterschritten und Kosten in der Höhe von etwa 170.900 € überschritten.

26) Bei den in Tab. 10-22 angegebenen Einzelkosten der Deckentische handelt es sich um das Ergebnis einer deterministischen Berechnung mit den erwarteten Werten der Inputparameter. Da großteils rechtsschiefe Verteilungen angesetzt wurden, entspricht dieser Wert nicht dem Mittelwert und ist im unteren Wertebereich des Histogramms in Abb. 10-49 angesiedelt.

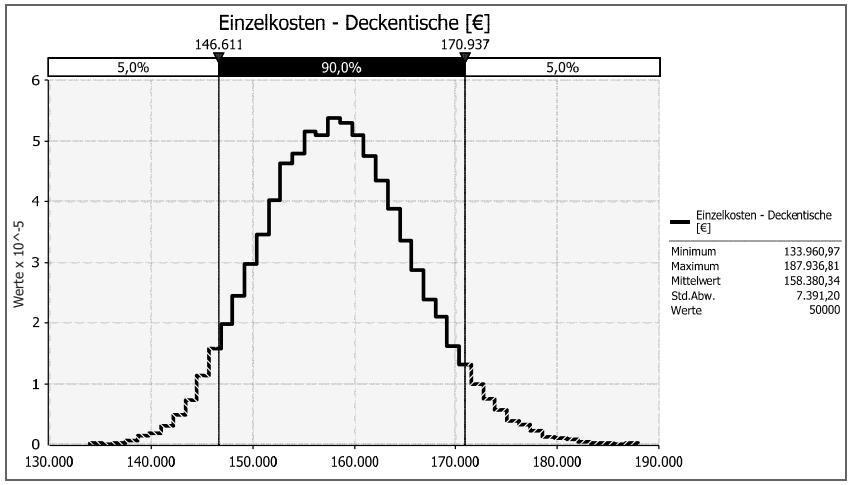


Abb. 10-49 Histogramm – Einzelkosten – Deckentische

Der Vergleich der Histogramme für die Einzelkosten der beiden zur Auswahl stehenden Schalsysteme ist in Abb. 10-50 ersichtlich. Die Kosten der Deckentische liegen unterhalb jener für die Trägerschalung und weisen auch eine geringere Bandbreite auf. Lediglich in 3,7 % der simulierten Fälle liegen die Kosten der Trägerschalung unterhalb dem 95 %-Quantil für die Deckentische.

Für das gegenständliche Bauvorhaben wäre für die Deckenschalung damit eindeutig das Schalsystem B (Deckentische) hinsichtlich der Kosten zu bevorzugen. Sind die Rahmenbedingungen (z.B. Krankapazität) nicht auf das Schalsystem ausgerichtet, kann jedoch auch der Einsatz der Trägerschalung aus baubetrieblichen Gründen erforderlich sein. Für einen differenzierten Verfahrensvergleich kann z.B. eine Entscheidungsmatrix eingesetzt werden. Ein Beispiel dazu ist in Abschnitt 10.4.4 angeführt.

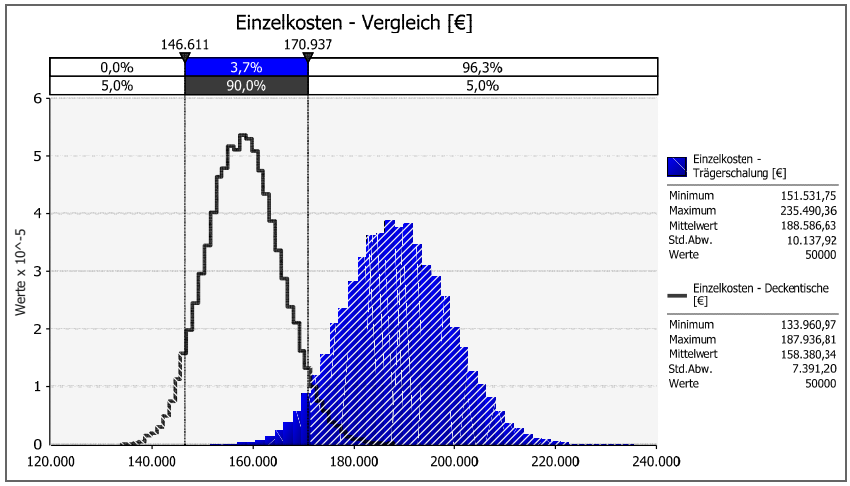


Abb. 10-50 Histogramme – Einzelkosten – Vergleich

Grenzschalfläche

Neben dem direkten Vergleich der Einzelkosten ist für Bieter und spätere AN besonders die Frage nach der Grenzschalfläche, also jener Fläche ab der Deckentische wirtschaftlicher als Trägerschalung eingesetzt werden können, von Interesse. Wie die Einzelkosten ist auch die Grenzschalfläche von den gleichen unsicheren Parametern abhängig und ergibt sich im Zuge einer probabilistischen Berechnung nicht als einzelner Zahlenwert, sondern ebenfalls als Histogramm.

Zur Verdeutlichung der Kostenentwicklungen für die Trägerschalung und die Deckentische wurden die Einzelkosten mit variierenden Schalflächen S_F [m²] berechnet und in einem Diagramm (siehe Abb. 10-51) aufgetragen. Da die Kosten als Histogramme berechnet werden, erfolgt die Darstellung in Form von jeweils 5 Kurven je Schalsystem:

- Mittelwert
- Mittelwert - Standardabweichung
- Mittelwert + Standardabweichung
- 1 %-Quantil
- 99 %-Quantil

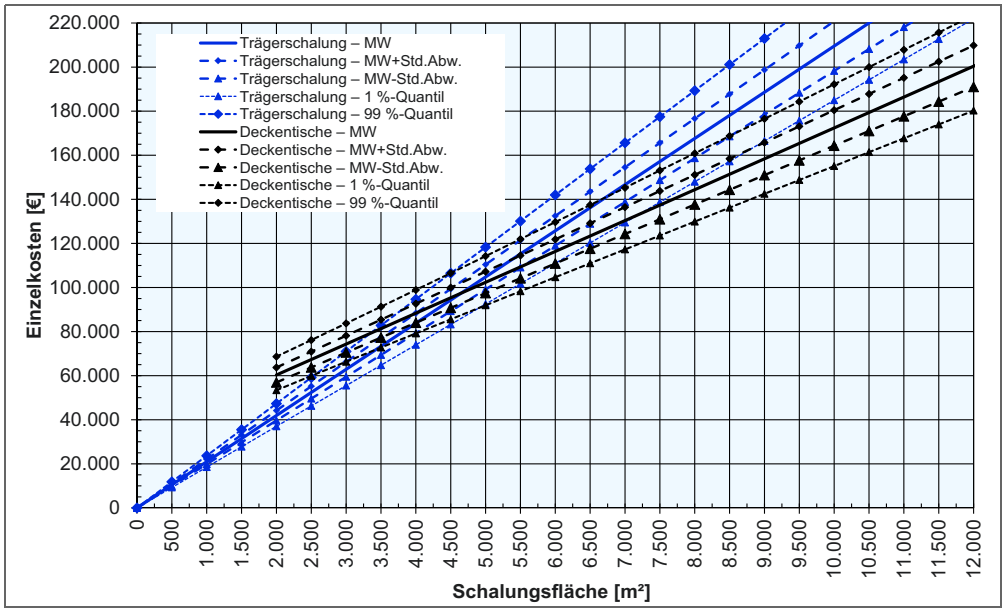


Abb. 10-51 Vergleich der Kostenentwicklung – Trägerschalung vs. Deckentische

Für die Deckentische wurden die Einzelkosten erst ab einer Schalfläche von 2.000 m² berechnet[27)] und die Schalfläche der Grund- und Demontage wurde für diesen groben Vergleich für alle Berechnungen identisch angenommen.

Es zeigt sich ein relativ schleifender Schnitt der beiden Kurvenbänder. Selbst bei einer

27) Da die Schalfläche für die Grund- und Demontage mit ca. 900 m² gewählt wurde, entspricht eine Schalfläche von ca. 2.000 m² etwa einem zweimaligen Einsatz der Deckentische. Eine geringere Fläche in den Vergleich aufzunehmen erscheint in diesem Fall nicht zielführend. Werden für Schalflächen unter 2.000 m² kleinere Fertigungsabschnitte gewählt, kann es durchaus sinnvoll sein, auch in diesem Bereich (bis 2.000 m²) einen gesonderten Vergleich, unter Neuberechnung der Grund- und Demontage, durchzuführen.

Schalungsfläche von 12.000 m² ist noch kein Schnittpunkt zwischen dem 1 %-Quantil der Trägerschalung und dem 99 %-Quantil der Deckentische erkennbar. Dementsprechend wird auch eine große Bandbreite für das Histogramm der Grenzschalfläche erwartet.

Zur Berechnung der Grenzschalfläche werden die Parameter der Tab. 10-21 und Tab. 10-22 in Glg. (10-9) eingesetzt. Das Histogramm der Grenzschalfläche ist in Abb. 10-52 dargestellt. Aufgrund der Unsicherheiten der Inputparameter ergibt sich für das Histogramm der Grenzschalfläche ein langer Ast hin zu hohen Grenzflächen. Dies bedeutet, dass bei 12.000 m² und mehr noch immer eine (sehr) geringe Wahrscheinlichkeit besteht, dass die Trägerschalung weniger Kosten verursacht, als das Schalen mit Deckentischen.

Bei einer Schalfläche von ca. 5.000 m² wären demnach mit ca. 62,7 %iger Wahrscheinlichkeit die Deckentische unter den definierten Randbedingungen und mit den angesetzten Inputparametern das wirtschaftlichere Verfahren.

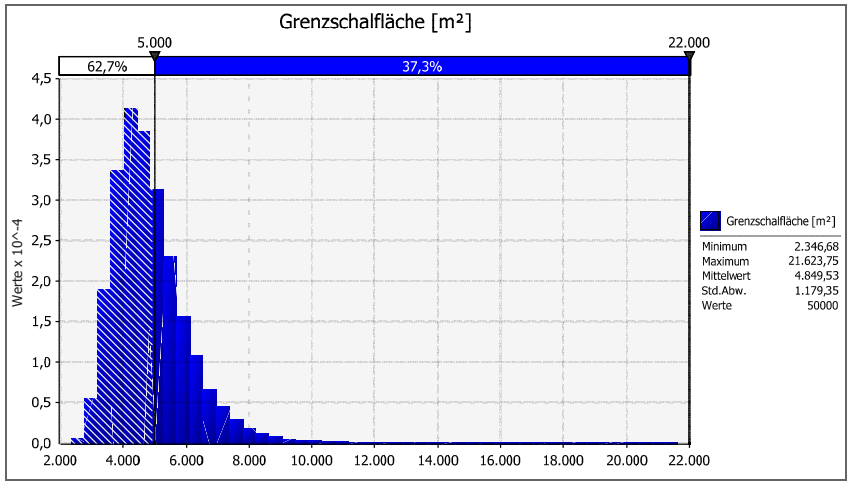


Abb. 10-52 Histogramm – Grenzschalfläche

In Abb. 10-53 sind das Diagramm mit den Einzelkostenverläufen der beiden Schalsysteme und das Histogramm der Grenzschalfläche gegenübergestellt. Der schraffierte Schnittbereich im Diagramm zeigt die Überschneidung der beiden Verläufe zwischen den 1 %- und 99 %-Quantilen. Der lange schleifende Schnittbereich spiegelt sich auch in der Form des Histogramms wider.

Die meisten Fälle der Grenzflächenberechnung liegen etwa im Bereich zwischen 4.000 und 5.000 m². Liegt die auszuführende Schalfläche in diesem Bereich, ist es ratsam, zusätzlich zum rein wirtschaftlichen Vergleich auch noch einen differenzierten Verfahrensvergleich durchzuführen.

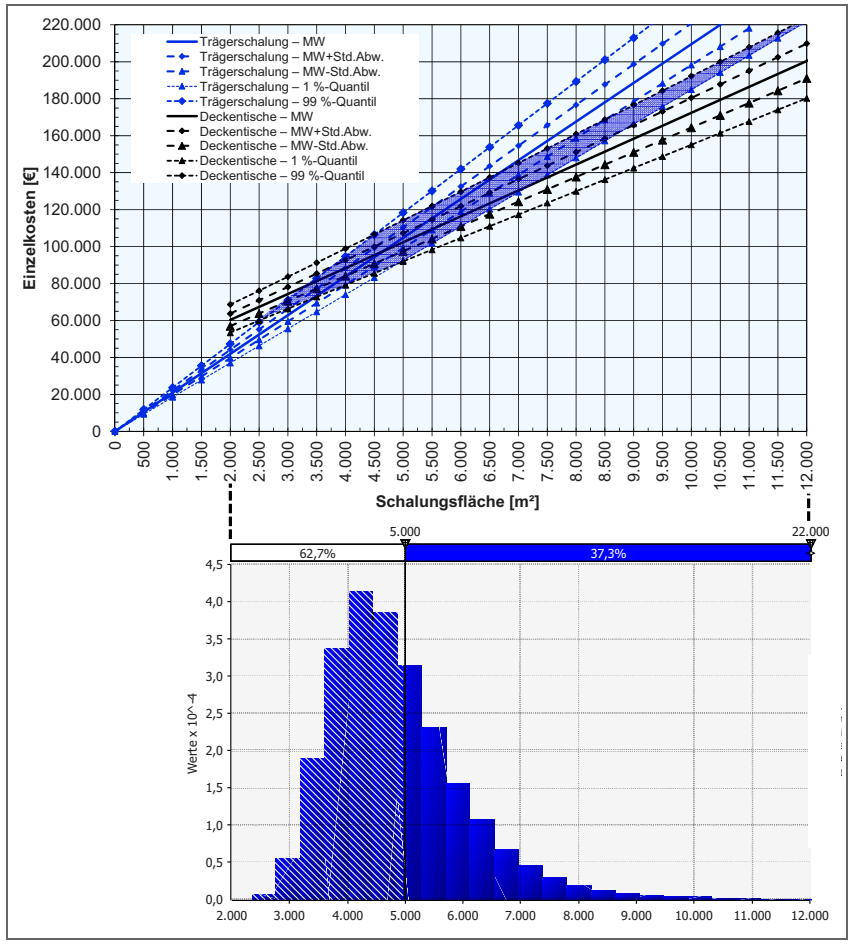


Abb. 10-53 Gegenüberstellung – Diagramm und Histogramm der Grenzschalfläche

10.3.6.5 Nutzen für den Bieter/AN

Der grobe Verfahrensvergleich für unterschiedliche Schalsysteme bezieht sich lediglich auf einen wirtschaftlichen Vergleich der Einzelkosten (Lohn-, Geräte- und Materialkosten). Lassen die Umstände der Leistungserbringung bzw. die äußeren Gegebenheiten auf der Baustelle den Einsatz der zur Auswahl stehenden Verfahren zu, ist ein reiner Kostenvergleich sinnvoll und zielführend.

Gibt es jedoch Beschränkungen (z.B. Kranverfügbarkeit) ist zusätzlich auch noch ein differenzierter Verfahrensvergleich (siehe Abschnitt 10.4.4) durchzuführen. Damit können sowohl wirtschaftliche als auch z.B. baubetriebliche, sicherheitstechnische, umwelt- und umfeldspezifische Kriterien bewertet werden und in die Verfahrensauswahl einfließen.

Die probabilistische Berechnung der Einzelkosten für die Schalsysteme hat für den Bieter bzw. späteren AN aber in jedem Fall großen Nutzen, da die Bandbreite der möglichen Kosten dargestellt und entsprechend analysiert und interpretiert werden kann. Die Histogramme unterschiedlicher Verfahren lassen sich gemeinsam in einem Diagramm abbilden

und liefern damit direkt Informationen über die Streuungen sowie die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeiten bestimmter Kostenwerte.

Neben dem reinen Kostenvergleich ist besonders die Ermittlung der Grenzschalfläche für die Wahl des kostengünstigeren Verfahrens entscheidend. Für das gegenständliche Beispiel hat sich gezeigt, dass der Bereich der Grenzschalfläche eine durchaus große Spannweite aufweist. Dies ist auf den schleifenden Schnitt der beiden Kostenverläufe und die Unsicherheiten in den Inputparametern zurückzuführen. Sind präzisere Angaben (engere Bandbreite) der Inputparameter möglich, kann auch die Bandbreite der Grenzschalfläche eingegrenzt werden.

10.3.7 Grobe Vorhaltemengenermittlung

Auftragnehmer sind an einer geringen Vorhaltemenge und damit an kurzen Standzeiten[28)] der Schalungen interessiert. Besonders die Wahl der Fertigungsabschnittsgröße und die tägliche Schalungsleistung haben dabei wesentlichen Einfluss auf die Vorhaltemenge. Die erforderliche tägliche Schalungsleistung wird maßgeblich von der vorgegebenen Bauzeit beeinflusst.

Wie groß die erforderliche Vorhaltemenge für Wand- und Deckenschalungen bezogen auf die vorgegebene Bauzeit ist, wurde im Zuge einer Expertenbefragung von *Hofstadler* erhoben. Die Ergebnisse dieser Datenerhebung werden in weiterer Folge für eine grobe Vorhaltemengenermittlung des AN in der PPH 3 herangezogen (siehe Abb. 10-54).

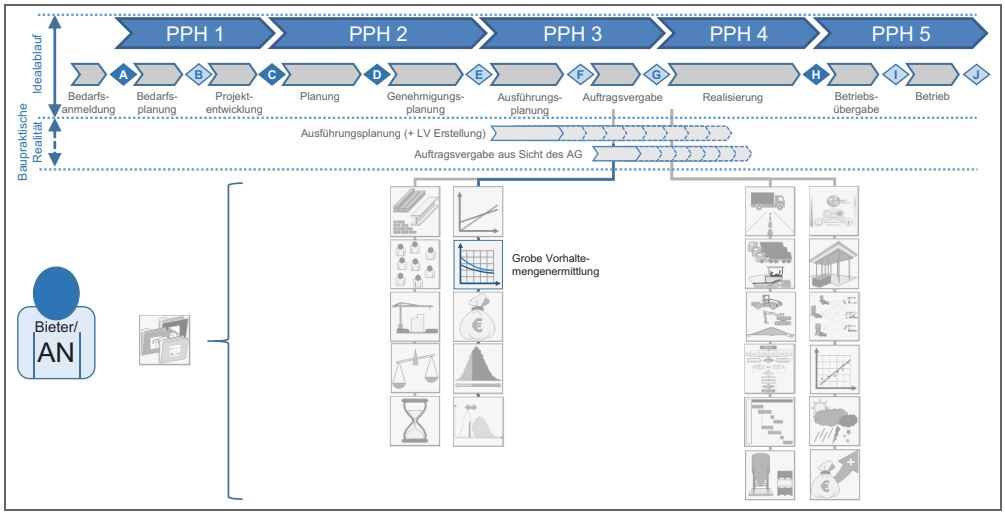


Abb. 10-54 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

28) Bei der Standzeit handelt es sich um jene Zeit, in der die Schalung im Fertigungsabschnitt gebunden ist. Während dieser Zeit steht die Schalung für weitere Einsätze nicht zur Verfügung. Für die Dauer der Standzeit muss zusätzliche Schalung vorgehalten werden und zwar in der Menge, die von der Schalungspartie während dieser Zeit ‚verarbeitet' werden kann. Der Möglichkeit, die Deckenschalung vor den Unterstellungsstützen auszuschalen, kann durch unterschiedliche Standzeiten für die Stützen und die Schalung (z.B. Paneele und Längsträger inkl. Fallkopfsystem) Rechnung getragen werden – siehe dazu Hofstadler (2007), S. 302ff.

10.3.7.1 Grundlagen

Zur Beantwortung der Frage, welcher funktionale Zusammenhang zwischen der Bauzeit und der Vorhaltemenge besteht wurde unter Anwendung der Delphi-Methode ein Fragebogen für eine Expertenbefragung entwickelt.

Zur Generierung von belastbaren Daten wurde an der TU Graz im Zeitraum von August 2012 bis April 2013 eine Expertenbefragung von *Hofstadler* durchgeführt, um den quantitativen Zusammenhang zwischen Bauzeit und Vorhaltemenge zu generieren. Insgesamt wurden 35 in Bauunternehmen tätige Experten befragt (Baugewerbe wie auch Bauindustrie). Die durchschnittliche Berufserfahrung der befragten Experten beträgt 17 Jahre (minimale Erfahrung: 5 Jahre; maximale Erfahrung: 43 Jahre).

Von den Experten wurde erhoben, welcher Prozentsatz an Vorhaltemenge für unterschiedliche Bauzeiten erforderlich ist (1. Stufe: Eigenständiges Ausfüllen des Fragebogens; 2. Stufe: Erörterung des Fragebogens mit dem Experten). Als Referenzbauzeit dient die ‚normale' Bauzeit, bei der die Produktionsfaktoren noch ohne Produktivitätsverluste eingesetzt werden können.

Bevor die Daten aus der Expertenbefragung weiter analysiert wurden, erfolgte eine explorative Betrachtung, um einen Überblick über das gesammelte Datenmaterial zu bekommen. Dies ist aus Gründen der Plausibilitätsprüfung, der Verteilungsprüfung und der Ausreißeridentifikation notwendig. Zur grafischen Übersicht der Verteilungen wurden im Rahmen der Untersuchungen Boxplots der Variablen dargestellt. Ein Boxplot beschreibt die Lage und Streubreite einer Verteilung und gibt Hinweise auf evtl. vorhandene Ausreißer. Ausreißer und Extremwerte (in Abhängigkeit von der Entfernung zur Antenne des Boxplots) können die arithmetischen Mittelwerte stark verzerren. Durch die Anwendung der ‚M-Schätzer-Methode' nach *Huber* wurde dem vorgebeugt und es gelang, vorhandene Ausreißer/Extremwerte durch ein geringeres Gewicht an die ‚Hauptmasse' der Daten heranzuziehen. Als Basis für die Erstellung von Diagrammen und zur Darstellung der Verläufe von Aufwandswerterhöhungen sowie Produktivitätsverlusten dienten arithmetische Mittelwerte und auch M-Schätzer.

Hinsichtlich der Bauzeit wurde dabei in eine extrem kurze, sehr kurze, kurze, normale und lange Bauzeit unterschieden (die Definitionen dazu finden sich in Abschnitt 8.6.2.1). Bei der Befragung wurde in die Vorhaltemenge für Wände und jene für Decken differenziert. Die Vorhaltemenge wird dabei auf die jeweilige spezifische Schalungsfläche eines Bauwerks bezogen.

Wandschalung

Die Experten wurden gebeten ihre Beurteilung des Einflusses der Bauzeit auf die Schalungsvorhaltemenge abzugeben. Dabei wurde im Speziellen die Wandschalung betrachtet. Die statistischen Kennzahlen zur explorativen Datenanalyse finden sich in Tab. 10-23.

Je kürzer die Bauzeit, desto mehr Schalungsmenge muss laut durchschnittlicher Einschätzung der Experten vorgehalten werden. Dabei bezieht sich dieser prozentuelle Wert auf den Anteil an der gesamten Deckenschalfläche. Bei den kürzeren Bauzeiten sind die Standardfehler etwas größer. Insgesamt kann jedoch von relativ präzisen Schätzungen ausgegangen werden. Da sich die Variationskoeffizienten durchwegs im etwas höheren Bereich befinden, liegen teilweise auseinandergehende Meinungen der Experten hinsichtlich der Schalungsvorhaltemenge vor. Dies kann aber auch durch die einzelnen Ausreißer bzw. Extremwerte begründet sein, die bedingt durch die Art der Berechnung der Standardabweichung für diese Kennzahl stärker ins Gewicht fallen. Es sind nur positive

Werte für die Schiefe vorhanden, weshalb nur rechtsschiefe Verteilungen mit den meisten Nennungen im unteren Wertebereich vorliegen. Eine Normalverteilung der Daten kann für keine der Variablen bestätigt werden (Shapiro-Wilk, $p < 0{,}05$).

In den Grunddaten sind auch bei jeder Bauzeit Ausreißer und Extremwerte vorhanden. Diese sind alle im oberen Wertebereich vorzufinden. Damit diese nicht zu starken Einfluss auf die Generierung der Durchschnittswerte nehmen bzw. diese nach oben verzerren, wurde die M-Schätzer-Methode angewandt. Mit dem M-Schätzer H12, der 80 % der Daten voll gewichtet, können plausible und praxisrelevante Werte als baupraktische Empfehlung generiert werden.

Bauzeit [-]	Extrem kurz	Sehr kurz	Kurz	Normal	Lang
n	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Mittelwert	31,89	25,16	18,65	11,64	9,51
Standardfehler des MW	4,69	3,75	2,83	1,80	1,28
Standardabweichung	25,67	20,56	15,50	9,85	7,03
Variationskoeffizient	80,49 %	81,72 %	83,09 %	84,62 %	73,97 %
Median	25,00	20,00	15,00	10,00	8,00
MAD	13,00	9,50	6,92	2,75	3,00
robuster Variationskoeffizient	52,00 %	47,50 %	46,10 %	27,50 %	37,50 %
Minimum	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00
Maximum	100,00	85,00	75,00	50,00	33,00
Spannweite	97,00	82,00	73,00	48,00	32,00
Schiefe	1,44	1,60	2,05	2,52	1,79
M-Schätzer H12 (80 %)	27,15	21,22	15,81	9,45	8,09
Standardabweichung H12 (80 %)	19,38	14,85	10,54	4,90	4,46
robuster Variationskoeffizient	71,39 %	69,96 %	66,65 %	51,84 %	55,11 %
Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein

Tab. 10-23 Deskriptive Statistik – Vorhaltemenge – Wandschalung[29)]

Deckenschalung

Die Experten wurden gebeten anzugeben, wie sie den Einfluss der Bauzeit auf die Schalungsvorhaltemenge (in Relation zur gesamten Deckenfläche) beurteilen. Diese Frage bezieht sich auf die Deckenschalung. Die deskriptiven Kennzahlen dazu sind in Tab. 10-24 zu finden.

Je kürzer die Bauzeit, desto höher ist der prozentuelle Anteil der Schalungsvorhaltemenge an der gesamten Deckenschalfläche (siehe Mittelwerte). Die Standardfehler des Mittelwerts sind jedoch bei den kürzeren Bauzeiten etwas höher, wodurch die Schätzung auf Basis der erhobenen Daten etwas ungenauer wird. Die Variationskoeffizienten deuten auf teilweise auseinandergehende Meinungen der Experten hin. Mit dieser Kennzahl wird nämlich die durchschnittliche Streuung relativ zum Mittelwert ausgedrückt, was direkte Vergleiche ermöglicht. Es sind nur positive Werte für die Schiefe vorhanden, weshalb nur rechtsschiefe Verteilungen mit den meisten Nennungen im unteren Wertebereich vorliegen. Eine Normalverteilung der Daten kann für keine der Variablen bestätigt werden (Shapiro-Wilk, $p < 0{,}05$).

In den Grunddaten sind auch bei jeder Bauzeit Ausreißer und Extremwerte jeweils im oberen Wertebereich vorhanden. Damit diese nicht zu starken Einfluss auf die Generierung der Durchschnittswerte nehmen, wurde die M-Schätzer-Methode angewandt. Mit dem M-Schätzer H12, der 80 % der Daten voll gewichtet, können plausible und praxisrelevante Werte generiert werden.

[29)] Von den 35 befragten Experten beantworteten 30 diese Frage.

Bauzeit [-]	Extrem kurz	Sehr kurz	Kurz	Normal	Lang
n	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Mittelwert	42,48	33,90	24,36	15,53	12,60
Standardfehler des MW	5,09	4,39	3,03	2,04	1,65
Standardabweichung	27,90	24,05	16,60	11,16	9,06
Variationskoeffizient	65,67 %	70,94 %	68,18 %	71,86 %	71,92 %
Median	31,50	25,00	20,00	10,00	10,00
MAD	12,50	10,00	5,00	2,00	2,00
robuster Variationskoeffizient	39,68 %	40,00 %	25,00 %	20,00 %	20,00 %
Minimum	8,00	6,00	5,00	4,00	2,00
Maximum	100,00	100,00	75,00	50,00	50,00
Spannweite	92,00	94,00	70,00	46,00	48,00
Schiefe	1,13	1,50	1,77	2,24	2,75
M-Schätzer H12 (80 %)	36,92	29,01	20,52	12,63	10,48
Standardabweichung H12 (80 %)	21,05	16,59	9,80	5,05	3,78
robuster Variationskoeffizient	57,02 %	57,19 %	47,73 %	39,99 %	36,05 %
Normalverteilung (Shapiro-Wilk, p < 0,05)	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein

Tab. 10-24 Deskriptive Statistik – Vorhaltemenge – Deckenschalung[30)]

Gegenüberstellung

Um einen stetigen Kurvenverlauf für den Zusammenhang zwischen vorgegebener Bauzeit und Vorhaltemenge zu erhalten, erfolgt eine exponentielle Trendanpassung der M-Schätzer aus den Expertenangaben. Diese Trendlinien sowie die M-Schätzer sind im Diagramm in Abb. 10-55 für Decken- und Wandschalungen aufgetragen und zeigen die sehr gute Annäherung der Trendlinien an die M-Schätzer.

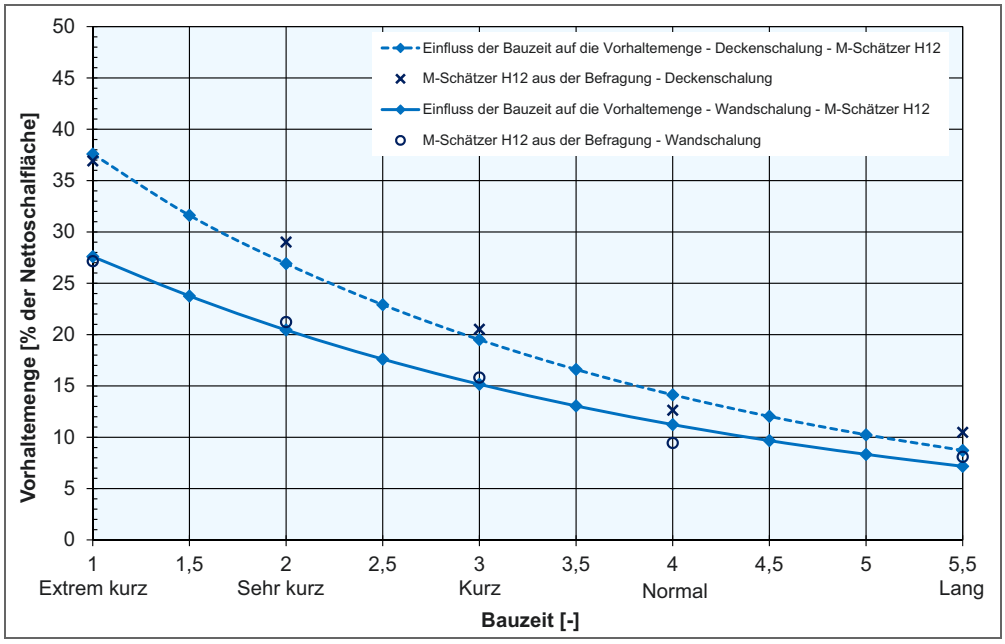


Abb. 10-55 Prozentuelle Vorhaltemenge in Bezug auf die vorgegebene Bauzeit – Ergebnis einer Expertenbefragung – M-Schätzer und exponentielle Trendanpassung

30) Von den 35 befragten Experten beantworteten 30 diese Frage.

Der durch eine exponentielle Trendanalyse ermittelte Wert der prozentuellen Vorhaltemenge $V_{S,WD}$ [%] ergibt sich in Abhängigkeit der Bauzeit BZ [-] für die Wandschalung mit nachfolgender Glg. (10-10).

$$V_{S,\,WD} = 37{,}230329 \cdot e^{-0{,}299509 \cdot BZ} \tag{10-10}$$

Gilt für $1 \leq BZ \leq 5{,}5$.

Der durch eine exponentielle Trendanalyse ermittelte Wert der prozentuellen Vorhaltemenge $V_{S,D}$ [%] ergibt sich in Abhängigkeit der Bauzeit BZ [-] für die Deckenschalung mit nachfolgender Glg. (10-11).

$$V_{S,\,D} = 51{,}525680 \cdot e^{-0{,}323307 \cdot BZ} \tag{10-11}$$

Gilt für $1 \leq BZ \leq 5{,}5$.

10.3.7.2 Aufgabenstellung

Anhand eines Beispiels wird gezeigt, wie die Unsicherheiten des aus der Expertenbefragung erhobenen funktionalen Zusammenhangs zwischen Vorhaltemenge und vorgegebener Bauzeit ebenso wie die Unsicherheiten, die bei der Beurteilung über die vorgegebene Bauzeit auftreten, in einer Monte-Carlo-Simulation integriert werden können.

Besonders in einer frühen Phase der Projektvorbereitung des AN gilt es die vorgegebene Bauzeit qualitativ als zu kurz, normal oder zu lang einzustufen. Diese Einschätzung fließt in weiterer Folge als entsprechender einheitsloser Zahlenwert (zwischen 1 und 5,5) in die weiteren Betrachtungen mit ein.

Die Unsicherheiten der Befragung werden vereinfacht durch Normalverteilungen (definiert durch Mittelwert und Standardabweichung) abgebildet und berücksichtigen dabei die Streuungen in den Antworten der befragten Experten. Um unrealistische Werte (kleiner als 0 % und größer als 100 %) in der Modellierung ausschließen zu können, sind die angesetzten Normalverteilungen nach oben und unten hin begrenzt.

10.3.7.3 Modellierung

Die Kurvenverläufe für die Vorhaltemenge, die aus der Expertenbefragung erhoben wurden, sind aufgrund der Streuungen der Expertennennungen bestimmten Unsicherheiten unterworfen. Um auch diese Unsicherheiten in die Berechnungen zu integrieren, wurden in weiterer Folge die Standardabweichungen der M-Schätzer (siehe Tab. 10-23 und Tab. 10-24 jeweils in der dritten Zeile von unten) herangezogen. Diese ändern sich sowohl bei der Decken- als auch bei der Wandschalung in Abhängigkeit der Bauzeit. Während bei kurzen Bauzeiten die Streuungen der Expertenmeinungen sehr breit sind, nehmen die Standardabweichungen bei längeren vorgegebenen Bauzeiten ab.

Die Standardabweichungen der M-Schätzer sowie die Minima und Maxima der Expertenangaben werden in exponentielle Trendlinien übergeführt. Dies ist erforderlich, um bei der Definition der Verteilungsfunktionen der erforderlichen Vorhaltemenge nicht nur den M-Schätzer, sondern auch die Standardabweichung und die oberen und unteren Grenzen in Abhängigkeit der Bauzeit angeben zu können.

Wandschalung

Um den Kurvenverlauf der Standardabweichung für jeden Wert der Bauzeit (zwischen 1 und 5,5) berechnen und einer Verteilung zugrunde legen zu können, wurde auch die Standardabweichung in eine exponentielle Trendlinie übergeführt (siehe Glg. (10-12)).

$$\sigma_{S,\,WD} = 28{,}240029 \cdot e^{-0{,}361428 \cdot BZ} \tag{10-12}$$

Gilt für $1 \leq BZ \leq 5{,}5$.

Obwohl die deskriptive Statistik der Expertenbefragungen keine Normalverteilungen der Antworten bestätigen kann, wird eine Normalverteilung für die Vorhaltemenge definiert und in weiterer Folge begrenzt, um unrealistische (z.B. negative Vorhaltemengen oder Vorhaltemengen über 100 %) bereits in der Modellierung der Verteilungsfunktion auszuschließen. Durch diese Begrenzung ergibt sich auch gleichzeitig eine rechtsschiefe Verteilung, die die Angaben der Experten gut abbildet.

Die exponentielle Trendlinie der Minima (siehe Tab. 10-23) ergibt sich für die Wandschalung mit nachfolgender Gleichung.

$$MIN_{S,\,WD} = 4{,}345321 \cdot e^{-0{,}242708 \cdot BZ} \tag{10-13}$$

Gilt für $1 \leq BZ \leq 5{,}5$.

Die Trendlinie für die maximale Vorhaltemenge der Wandschalung wird durch Glg. (10-14) definiert. Für die Begrenzung der Verteilung wird dabei angenommen, dass die größte zulässige Vorhaltemenge 100 % beträgt.

$$MAX_{S,\,WD} = 139{,}302797 \cdot e^{-0{,}252220 \cdot BZ} \tag{10-14}$$

Gilt für $1 \leq BZ \leq 5{,}5$.

Für eine kurze bis sehr kurze Bauzeit (BZ = 2,5) ergibt sich durch Einsetzen in Glg. (10-10) und Glg. (10-12) eine Vorhaltemenge von 17,61 % ($= \mu$) und eine Standardabweichung von 11,44 % ($= \sigma$). Mit diesen beiden Werten wird in weiterer Folge eine Normalverteilung definiert ($\mu = 17{,}61$ % | $\sigma = 11{,}44$ %). Die Grenzen der Verteilung ergeben sich aus den ermittelten Trendlinien für die angesetzte Bauzeit (BZ = 2,5) mit 2,37 % bzw. 74,15 %. Die entsprechende begrenzte Normalverteilung ist in Abb. 10-56 dargestellt.

Obwohl das Maximum der Verteilung mit 74,15 % angesetzt wurde, weist dieser Wert für die definierte Verteilung eine dermaßen geringe Wahrscheinlichkeit auf, dass er im Zuge der Simulation mit 50.000 Iterationen nicht erreicht wurde. Das Maximum der Verteilung beträgt für die durchgeführte Simulation ca. 67,46 % für BZ = 2,5.

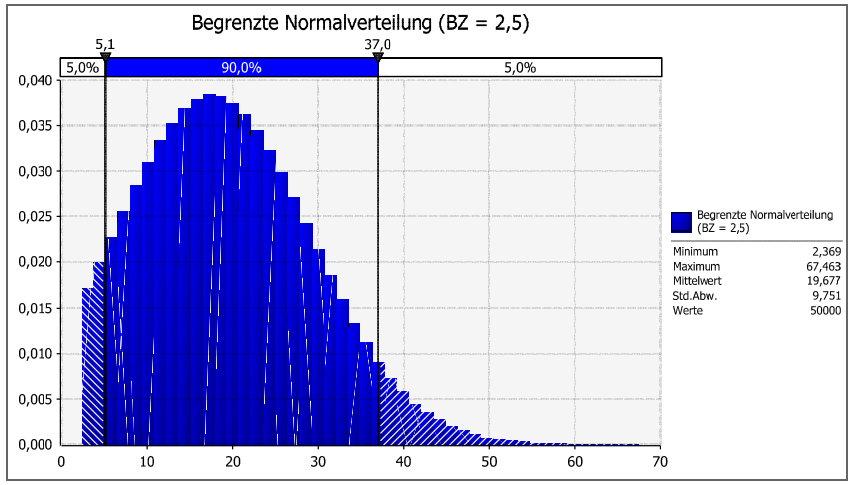


Abb. 10-56 Begrenzte Normalverteilung für die prozentuelle Vorhaltemenge bei einer kurzen Bauzeit (BZ = 2,5) – Wandschalung

Deckenschalung

Der Kurvenverlauf der Standardabweichung mit dem in weiterer Folge die Verteilungen der Vorhaltemengen definiert werden können ergibt sich als exponentielle Trendlinie (siehe Glg. (10-15)).

$$\sigma_{S,D} = 33{,}293242 \cdot e^{-0{,}415474 \cdot BZ} \tag{10-15}$$

Gilt für $1 \leq BZ \leq 5{,}5$.

Obwohl die deskriptive Statistik der Expertenbefragungen keine Normalverteilungen der Antworten bestätigen kann, wird eine Normalverteilung für die Vorhaltemenge definiert und in weiterer Folge begrenzt, um unrealistische (z.B. negative Vorhaltemengen oder Vorhaltemengen über 100 %) bereits in der Modellierung der Verteilungsfunktion auszuschließen. Durch diese Begrenzung ergibt sich auch gleichzeitig eine rechtsschiefe Verteilung, die die Angaben der Experten gut abbildet.

Die exponentielle Trendlinie der Minima (siehe Tab. 10-24) ergibt sich für die Deckenschalung mit nachfolgender Glg. (10-16).

$$MIN_{S,D} = 11{,}286316 \cdot e^{-0{,}294056 \cdot BZ} \tag{10-16}$$

Gilt für $1 \leq BZ \leq 5{,}5$.

Die Trendlinie für die maximale Vorhaltemenge der Deckenschalung wird durch Glg. (10-17) definiert. Für die Begrenzung der Verteilung wird dabei angenommen, dass die größte zulässige Vorhaltemenge 100 % beträgt.

$$MAX_{S,D} = 127{,}012550 \cdot e^{-0{,}185133 \cdot BZ} \tag{10-17}$$

Gilt für $1 \leq BZ \leq 5{,}5$.

Für eine kurze bis sehr kurze Bauzeit (BZ = 2,5) ergibt sich durch Einsetzen in Glg. (10-11) und Glg. (10-15) eine Vorhaltemenge von 22,96 % (= μ) und eine Standardabweichung von 11,78 % (= σ). Mit diesen beiden Werten wird in weiterer Folge eine Normalverteilung definiert (μ = 22,96 % | σ = 11,78 %). Die Grenzen der Verteilung ergeben sich aus den ermittelten Trendlinien für die angesetzte Bauzeit (BZ = 2,5) mit 5,41 % bzw. 79,95 %. Die entsprechende begrenzte Normalverteilung ist in Abb. 10-57 dargestellt.

Obwohl das Maximum der Verteilung mit 79,95 % angesetzt wurde, weist dieser Wert für die definierte Verteilung eine dermaßen geringe Wahrscheinlichkeit auf, dass er im Zuge der Simulation mit 50.000 Iterationen nicht erreicht wurde. Das Maximum der Verteilung beträgt für die durchgeführte Simulation ca. 75,01 % für BZ = 2,5.

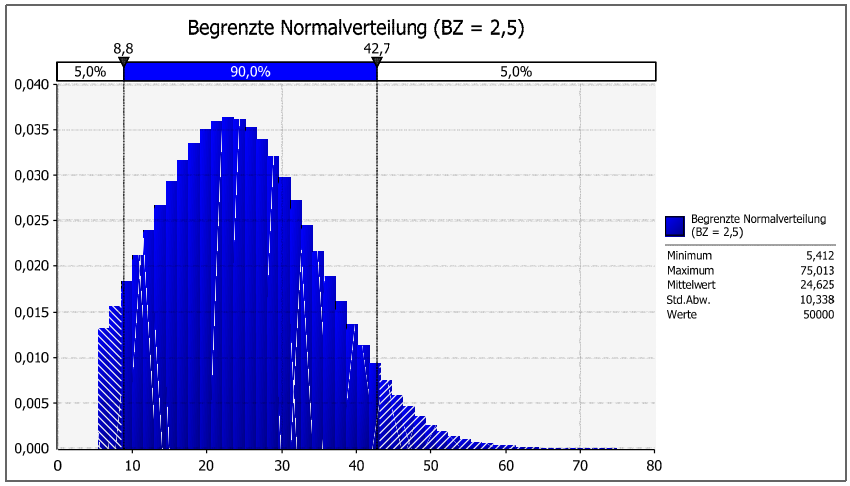


Abb. 10-57 Begrenzte Normalverteilung für die prozentuelle Vorhaltemenge bei einer kurzen Bauzeit (BZ = 2,5) – Deckenschalung

Wird die vorgegebene Bauzeit nicht als ein einzelner Wert (z.B. 2,5) sondern ebenfalls als stetige Verteilung (z.B. Dreiecksverteilung) definiert, wird für jede Iteration ein neuer Wert für die Bauzeit innerhalb der angegebenen Grenzen gewählt. Dieser Wert dient als Eingabeparameter für die ermittelten Trendlinien und es wird in weiterer Folge in jeder Iteration eine neue begrenzte Normalverteilung definiert, aus der immer ein Wert zufällig gewählt wird. Alle prozentuellen Vorhaltemengen, die auf diese Weise berechnet werden, ergeben zusammen ein Histogramm, das sowohl die Unsicherheiten aus dem funktionalen Zusammenhang zwischen Bauzeit und Vorhaltemenge als auch aus der Unsicherheit der Bauzeitdefinition enthält.

10.3.7.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Für das konkrete Beispiel wird angenommen, dass aus der ersten groben Analyse eines Hochbauprojekts die Bauzeit kurz (BZ = 3) bis sehr kurz (BZ = 2) ist. Um die prozentuelle Vorhaltemenge der Wand- und Deckenschalung mit Hilfe der Expertenangaben unter Berücksichtigung von Unsicherheiten zu ermitteln, wird die Bauzeit als Dreiecksverteilung (2,0 | 2,5 | 3,0) angesetzt.

Für die Simulation wird die Systematik zur Definition einer begrenzten Normalverteilung (siehe Abschnitt 10.3.7.3) angewendet.

Wandschalung

Die gesamte Nettoschalungsfläche der vertikalen Tragglieder (Wände) beträgt ca. 10.000 m².

In Tab. 10-25 ist die Berechnungstabelle für die Vorhaltemengenermittlung der Wandschalung dargestellt. Zeile 1 enthält die einheitslosen Angaben zur erwarteten Bauzeit (2,0 | 2,5 | 3,0). Die entsprechende Dreiecksverteilung ist in Zelle F1 hinterlegt.

Die Zellen F3 bis F6 enthalten jeweils die Berechnung des Mittelwerts, der Standardabweichung, des Minimums und des Maximums der in weiterer Folge definierten begrenzten Normalverteilung. Jede dieser vier Zellen enthält einen Verweis auf die Zelle F1, in der bei jeder Iteration ein anderer Wert (innerhalb der definierten Bandbreite) zufällig ausgewählt wird. Die Gleichungen (exponentielle Trendlinien) für die Berechnung der Parameter in den Zellen F3 bis F6 sind jeweils in den Zeilen 3 bis 6 angeführt.

Lfd. Nr.	Parameter	Einheit	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F
1	Bauzeit – Dreiecksverteilung	[-]	2,00	2,50	3,00	2,50
2	**Berechnung der erforderlichen Vorhaltemenge**					
3	Mittelwert – Berechnet aus Trendgleichung – $y = 37{,}230329e^{-0{,}299509x}$	[%]				17,61
4	Std.Abw. – Berechnet aus Trendgleichung – $y = 28{,}240029e^{-0{,}361428x}$	[%]				11,44
5	Minimum – Berechnet aus Trendgleichung – $y = 4{,}345321e^{-0{,}242708x}$	[%]				2,37
6	Maximum – Berechnet aus Trendgleichung – $y = 139{,}302797e^{-0{,}252220x}$	[%]				74,15
7	**Verteilung für die erforderliche Vorhaltemenge – Wandschalung [% der Nettoschalfläche]**	**[%]**				**19,68**
8	Nettoschalfläche	[m²]				10.000,00
9	**Vorhaltemenge**	**[m²]**				**1.967,68**

Tab. 10-25 Berechnungstabelle – Vorhaltemenge – Wandschalung

Die begrenzte Normalverteilung wird in der Zelle F7 definiert und gibt die prozentuelle Vorhaltemenge (in Prozent der Nettoschalfläche) an. Während jeder Iteration im Zuge der Monte-Carlo-Simulation wird damit eine neue Verteilung generiert und daraus ein Zufallswert gewählt. Dieser fließt in weiterer Folge in das Endergebnis für die Vorhaltemenge ein.

Als Ergebnis der Simulation folgt damit ein Histogramm für die prozentuelle Vorhaltemenge der Wandschalung, bei dem sowohl die Unsicherheiten der Expertennennungen als auch jene der Einschätzungen über die Bauzeit berücksichtigt werden (siehe Abb. 10-58).

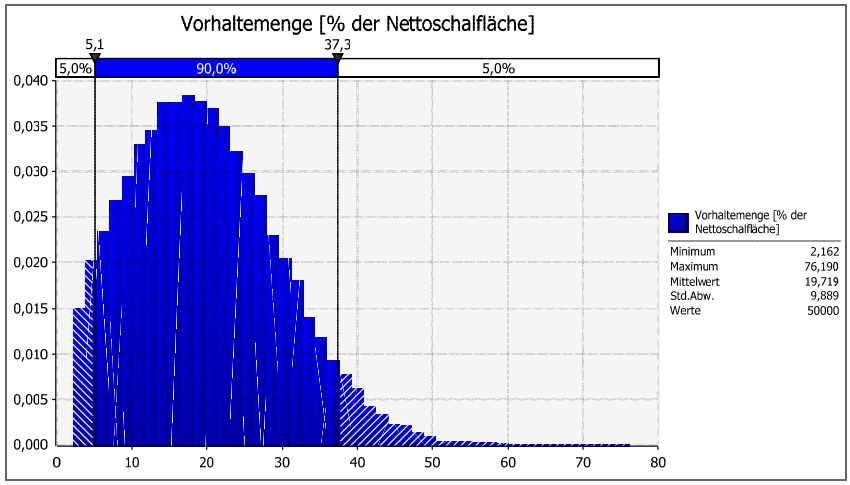


Abb. 10-58 Prozentuelle Vorhaltemenge – Wandschalung

Wird dieses Histogramm mit der gesamten Nettoschalfläche (= 10.000 m²) multipliziert, ergibt sich die Vorhaltemenge für die Wandschalung ebenfalls als Histogramm (siehe Abb. 10-59). Das Histogramm weist einen Mittelwert von ca. 1.972 m² und eine Standardabweichung von ca. 989 m² auf. Dies entspricht einer relativ großen Streuung der Ergebnisse, die auf die Streuung der Expertenangaben zurückzuführen ist. Die große Streuung ist aber auch aufgrund der groben Betrachtungsweise plausibel und zeigt beispielsweise, dass mit ca. 2.000 m² mehr als die Hälfte der Fälle abgedeckt werden können.

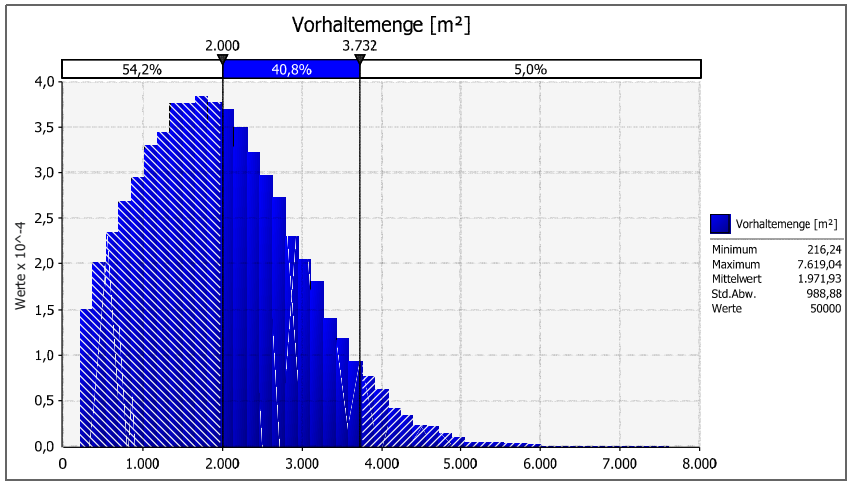


Abb. 10-59 Vorhaltemenge – Wandschalung

Deckenschalung

Die gesamte Nettoschalungsfläche der horizontalen Tragglieder (Decken) beträgt ca. 8.000 m². Der Schalungsverhältnisgrad[31)], der das Verhältnis zwischen den Schalflächen

31) Vgl. Hofstadler (2008), S. 461f.

der horizontalen und vertikalen Bauteile angibt, errechnet sich damit mit 0,80 (= 8.000 m² / 10.000 m²).

In Tab. 10-26 ist die Berechnungstabelle für die Vorhaltemengenermittlung der Deckenschalung dargestellt. Zeile 1 enthält die einheitslosen Angaben zur erwarteten Bauzeit (2,0 | 2,5 | 3,0). Die entsprechende Dreiecksverteilung ist in Zelle F1 hinterlegt.

Die Zellen F3 bis F6 enthalten jeweils die Berechnung des Mittelwerts, der Standardabweichung, des Minimums und des Maximums der in weiterer Folge definierten, begrenzten Normalverteilung. Jede dieser vier Zellen enthält einen Verweis auf die Zelle F1, in der bei jeder Iteration ein anderer Wert (innerhalb der definierten Bandbreite) zufällig ausgewählt wird. Die Gleichungen (exponentielle Trendlinien) für die Berechnung der Parameter in den Zellen F3 bis F6 sind jeweils in den Zeilen 3 bis 6 angeführt.

Lfd. Nr.	Parameter	Einheit	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E	F
1	Bauzeit – Dreiecksverteilung	[-]	2,00	2,50	3,00	2,50
2	**Berechnung der erforderlichen Vorhaltemenge**					
3	Mittelwert – Berechnet aus Trendgleichung – $y = 51{,}525680e^{-0{,}323307x}$	[%]				22,96
4	Std.Abw. – Berechnet aus Trendgleichung – $y = 33{,}293242e^{-0{,}415474x}$	[%]				11,78
5	Minimum – Berechnet aus Trendgleichung – $y = 11{,}286316e^{-0{,}294056x}$	[%]				5,41
6	Maximum – Berechnet aus Trendgleichung – $y = 127{,}012550e^{-0{,}185133x}$	[%]				79,95
7	**Verteilung für die erforderliche Vorhaltemenge – Deckenschalung [% der Nettoschalfläche]**	**[%]**				**24,63**
8	Nettoschalfläche	[m²]				8.000,00
9	**Vorhaltemenge**	**[m²]**				**1.970,02**

Tab. 10-26 Berechnungstabelle – Vorhaltemenge – Deckenschalung

Die begrenzte Normalverteilung wird in der Zelle F7 definiert und gibt die prozentuelle Vorhaltemenge (in Prozent der Nettoschalfläche) an. Während jeder Iteration im Zuge der Monte-Carlo-Simulation wird damit eine neue Verteilung generiert und daraus ein Zufallswert gewählt. Dieser fließt in weiterer Folge in das Endergebnis für die Vorhaltemenge ein.

Als Ergebnis der Simulation ergibt sich damit ein Histogramm für die prozentuelle Vorhaltemenge der Deckenschalung, bei dem sowohl die Unsicherheiten der Expertennennungen als auch jene der Einschätzungen über die Bauzeit berücksichtigt werden (siehe Abb. 10-60).

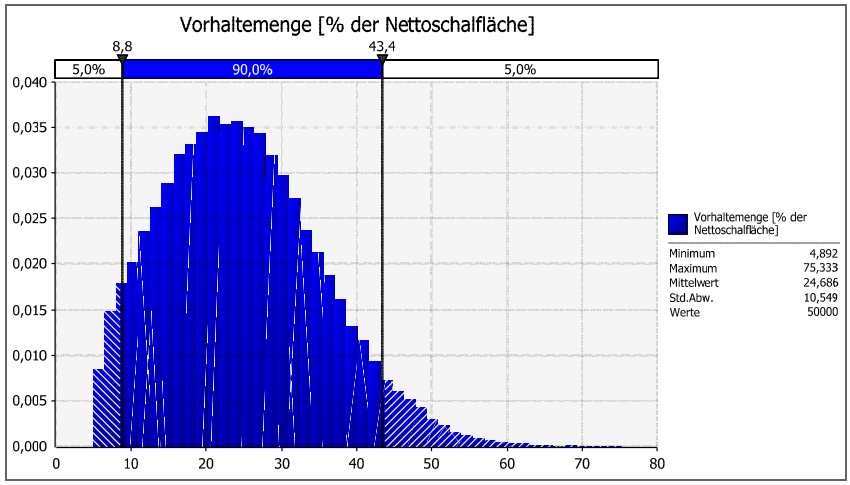


Abb. 10-60 Prozentuelle Vorhaltemenge – Deckenschalung

Wird dieses Histogramm mit der gesamten Nettoschalfläche (= 8.000 m²) multipliziert, ergibt sich die Vorhaltemenge für die Deckenschalung ebenfalls als Histogramm (siehe Abb. 10-61). Das Histogramm weist einen Mittelwert von ca. 1.975 m² und eine Standardabweichung von ca. 840 m² auf. Dies entspricht einer relativ großen Streuung der Ergebnisse, die auf die Streuung der Expertenangaben zurückzuführen ist. Die große Streuung ist aber auch aufgrund der groben Betrachtungsweise plausibel und zeigt beispielsweise, dass mit ca. 2.000 m² mehr als die Hälfte der Fälle abgedeckt werden können.

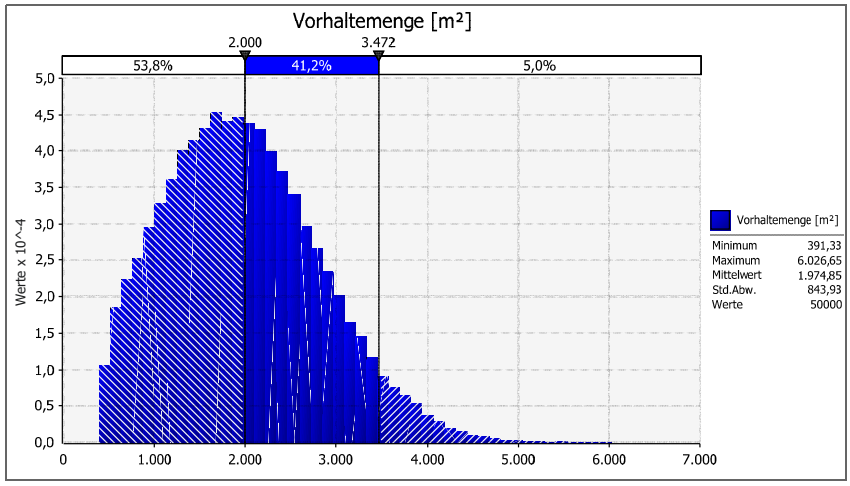


Abb. 10-61 Vorhaltemenge – Deckenschalung

10.3.7.5 Nutzen für den Bieter/AN

Obwohl es sich bei dieser Vorhaltemengenermittlung um eine sehr grobe Betrachtung handelt, zeigt sich für das angeführte Beispiel, dass sowohl für die Decken- als auch für

die Wandschalung jeweils etwa 2.000 m² an Schalung vorgehalten werden müssen, um etwa 54 % der simulierten Fälle abdecken zu können. Zu bedenken ist dabei, dass die Nettoschalfläche für die horizontalen Tragglieder um 2.000 m² geringer ist als jene für die vertikalen Tragglieder (Schalungsverhältnisgrad = 0,80). Eine Vorhaltemenge von jeweils 2.000 m² entspricht bei der Wandschalung (bezogen auf die Schalungsfläche der vertikalen Tragglieder = 10.000 m²) einem Anteil von 20 % und bei der Deckenschalung (bezogen auf die Schalungsfläche der horizontalen Tragglieder = 8.000 m²) einem Anteil von 25 %.

Weiters kann der Einfluss der kurzen Bauzeit auf die Vorhaltemenge anhand einer weiteren Simulation verdeutlicht und gegenüber dem AG kommuniziert werden. Es zeigt sich beispielsweise, dass bei einer normalen (BZ = 4) bis langen Bauzeit (BZ = 5) eine deutliche Verringerung der Vorhaltemenge aber auch der Streuung für die Ergebnisse der Vorhaltemenge erreicht werden kann.

Für eine vergleichende Darstellung wurde die Bauzeit wiederum als Dreiecksverteilung (4,0 | 4,5 | 5,0) angesetzt. Die restlichen Berechnungen bleiben unverändert. Für die Gegenüberstellung wird nur die Vorhaltemenge der Wandschalung verglichen.

In Abb. 10-62 sind die beiden Histogramme für die Vorhaltemenge der Wandschalung bei unterschiedlicher Bauzeitvorgabe gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass bei normaler bzw. langer Bauzeit die Vorhaltemenge in einer wesentlich engeren Bandbreite angegeben werden kann, als bei kurzen oder sehr kurzen Bauzeiten. Zur Erreichung des gleichen Chancen-Risikoverhältnisses (ca. 54 % Chance zu 46 % Risiko) sind für das angegebene Beispiel für die Wandschalung ca. 2.000 m² Vorhaltemenge bei einer kurzen bis sehr kurzen Bauzeit bzw. nur ca. 1.070 m² bei einer normalen bis langen Bauzeit erforderlich.

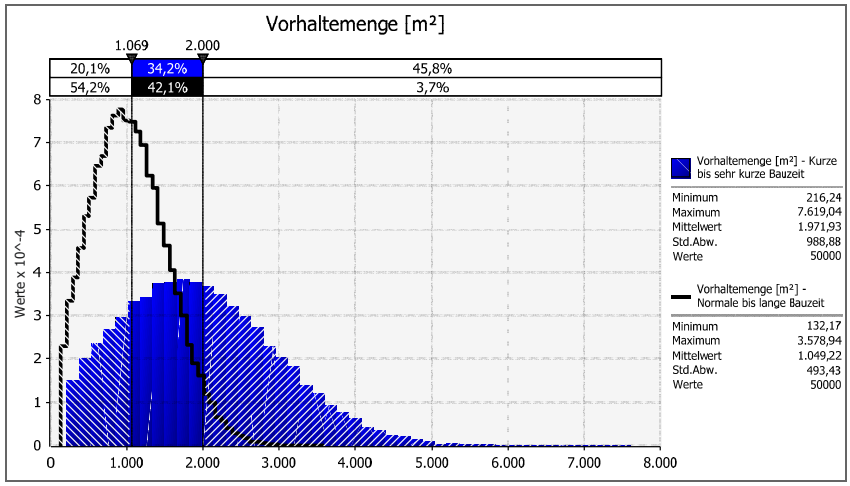


Abb. 10-62 Vorhaltemenge – Vergleich zwischen kurzer und langer Bauzeit – Wandschalung

Die grobe Vorhaltemengenermittlung ist zwar nicht direkt für die Kalkulation oder Arbeitsvorbereitung anwendbar, erfordert aber eine erste Einschätzung hinsichtlich der Umstände der Leistungserbringung (Beurteilung der vorgegebenen Bauzeit) und zeigt das Verhältnis der erforderlichen Vorhaltemenge zwischen Decken- und Wandschalung.

Besonders im Hinblick auf die Vorgabe von sehr kurzen oder extrem kurzen Bauzeiten dient das gezeigte Berechnungsverfahren als Kommunikationsinstrument für die interne Entscheidungsfindung aber auch gegenüber dem AG.

10.3.8 Kalkulation (Nullkalkulation)

Die Kostenermittlung bzw. die Kalkulation bildet die Basis für die Preisbildung und damit für die Angebotserstellung durch die Bieter (PPH 3 – siehe Abb. 10-63). Nur wenn die Bieter wissen, welche Kosten für die ausgeschriebenen Leistungen zu erwarten sind, können sie auch auf einer soliden Basis die Preise festlegen.

Im Unterschied zur Preisbildung werden im Zuge der Kalkulation (Nullkalkulation) nur kostendeckende Preise für später zu erbringende Bauleistungen ohne spekulative Elemente ermittelt.[32)]

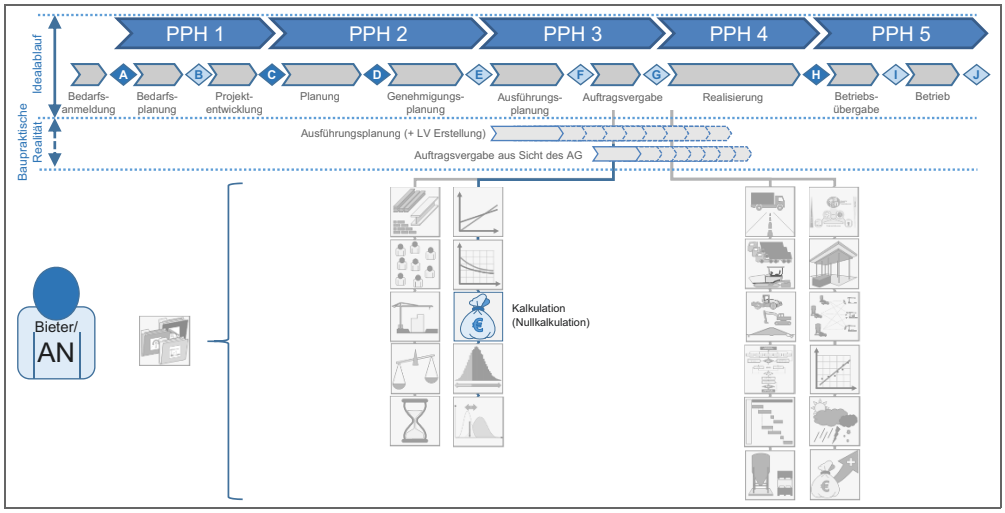


Abb. 10-63 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.3.8.1 Aufgabenstellung

Die Kostenermittlung für Bauleistungen, die erst in der Zukunft erbracht werden ist naturgemäß mit Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten können entweder unsystematisch durch prozentuelle Zuschläge oder systematisch durch die Berücksichtigung von Bandbreiten der Inputparameter berücksichtigt werden.

Für den systematischen Ansatz werden die Berechnungsparameter mit Verteilungsfunktionen an Stelle von einzelnen (deterministischen) Zahlenwerten modelliert. Die probabilistische Berechnung mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation liefert in weiterer Folge ein Histogramm für die Kosten, welches im Zuge der Preisbildung hinsichtlich der Chancen und Risiken beurteilt werden kann.

Als anschauliches Anwendungsbeispiel werden die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten mittels Einsatz der Monte-Carlo-Simulation ermittelt und das Ergebnis interpretiert.

32) Vgl. Oberndorfer/Jodl et al. (2001), S. 36

10.3.8.2 Modellierung

Die Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten K_{STB} [€] (siehe Glg. (6-3) und Abb. 10-64) ergeben sich aus der Multiplikation des Mittellohns ML_{STB} [€/Std] mit dem Gesamt-Aufwandswert für die Stahlbetonarbeiten AW_{STB} [Std/m³] plus den Gerätekosten $k_{Gerät}$ [€/m³] und Materialkosten $k_{Material}$ [€/m³]. Diese Summe der Einheitskosten wird anschließend mit der Stahlbetonmenge BT_M [m³] multipliziert.

In diesem Beispiel wird für jeden der Inputparameter eine Bandbreite möglicher Werte (Minimum und Maximum) sowie ein erwarteter Wert (höchste Wahrscheinlichkeit) angenommen. Mit diesen drei Werten lässt sich in weiterer Folge jeweils eine Dreiecksverteilung definieren, die als Input für die Simulation dient (siehe Abb. 10-64).

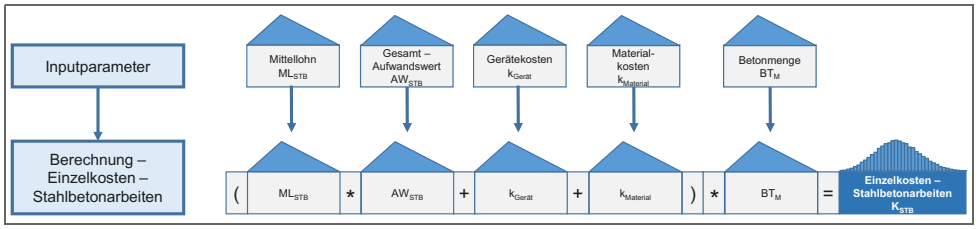


Abb. 10-64 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs

Der Berechnungsablauf, wie er in Abb. 10-64 dargestellt ist, bildet eine grobe Herangehensweise zur Ermittlung der Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten. Je nach Betrachtungstiefe können die einzelnen Inputparameter im Detail (z.B. getrennt für das Schalen, Bewehren sowie Betonieren und/oder getrennt nach Bauteilgruppen bzw. einzelnen Bauteilen) bzw. auf Positionsebene des Leistungsverzeichnisses berechnet werden.

10.3.8.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die Berechnung der Einzelkosten für Stahlbetonarbeiten wurde bereits in Abschnitt 6.2.5.3 sowohl mit deterministischen Werten als auch mit Dreiecksverteilungen für die Inputparameter und unter Anwendung der Monte-Carlo-Simulation gezeigt.

Das als Ergebnis der Simulation ermittelte Histogramm für die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ist in Abb. 10-65 dargestellt. Das Histogramm ähnelt in seiner Form einer Normalverteilung, hat aber sowohl ein definiertes Minimum (ca. 15,09 Mio. €) als auch ein definiertes Maximum (ca. 19,02 Mio. €). Der Mittelwert der Einzelkosten liegt bei ca. 17,00 Mio. € und die Standardabweichung beträgt ca. 545.100 €. Etwa 90 % der insgesamt 50.000 Iterationsergebnisse liegen zwischen 16,12 Mio. € und 17,92 Mio. € (siehe Gleitbegrenzer am oberen Bildrand der Abb. 10-65). In jeweils 5 % der simulierten Fälle ergeben sich Kosten, die unterhalb oder oberhalb dieses Bereiches liegen.

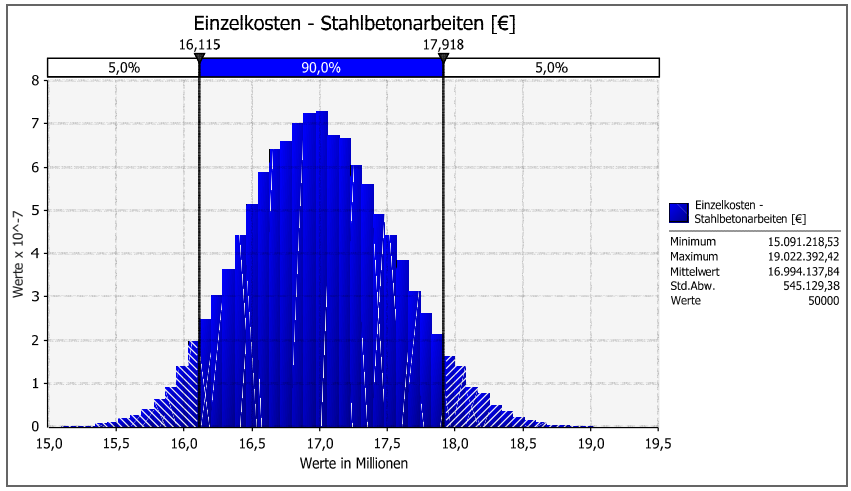


Abb. 10-65 Histogramm – Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten

10.3.8.4 Nutzen für den Bieter/AN

Die probabilistische Berechnung der Kosten im Zuge einer Nullkalkulation hat den Vorteil, dass die ‚wahren' Kosten – ohne spekulative Elemente und unter Berücksichtigung der unvermeidbaren Unsicherheiten – dargestellt werden.

Der Kalkulant muss nicht für jeden Inputparameter einen Wert innerhalb einer Bandbreite wählen, sondern kann seine Erfahrungen und die Erkenntnisse aus dem Studium der Ausschreibungsunterlagen direkt und systematisch in Form von Bandbreiten (Minimum und Maximum) und z.B. der Angabe eines Expertenwerts (erwarteter Wert) einfließen lassen. Die Ergebnisse der Nullkalkulation werden in Form von Histogrammen (je nach Gliederung z.B. für das gesamte Bauwerk, Bauwerksteile, einzelne Leistungsgruppen oder Leistungspositionen) dargestellt. Diese liefern transparente Informationen über die zu erwartenden Bandbreiten und Wahrscheinlichkeiten einzelner deterministischer Werte.

Erst im Zuge der Preisbildung erfolgt die Festlegung auf einen einzelnen Wert (Preis) und das damit verbundene Chancen-Risikoverhältnis. Die probabilistische Berechnung der Kosten stellt die Grundlage dar, um überhaupt Aussagen über Chancen und Risiken spezifischer Preise treffen zu können.

10.3.9 Beurteilung des Kalkulationsrisikos

Nach der Durchführung der probabilistischen Kostenermittlung (Nullkalkulation – siehe Abschnitt 10.3.8) stellt sich im Zuge der Preisgestaltung die Frage, welches Kalkulationsrisiko der Bieter mit seinem Angebot eingeht bzw. eingehen kann/soll. Die Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses sowie der Einfluss von Zuschlägen und Nachlässen auf dieses Verhältnis stehen dabei im Zentrum der Betrachtungen. Das Beispiel ist der PPH 3 zuzuordnen (siehe Abb. 10-66).

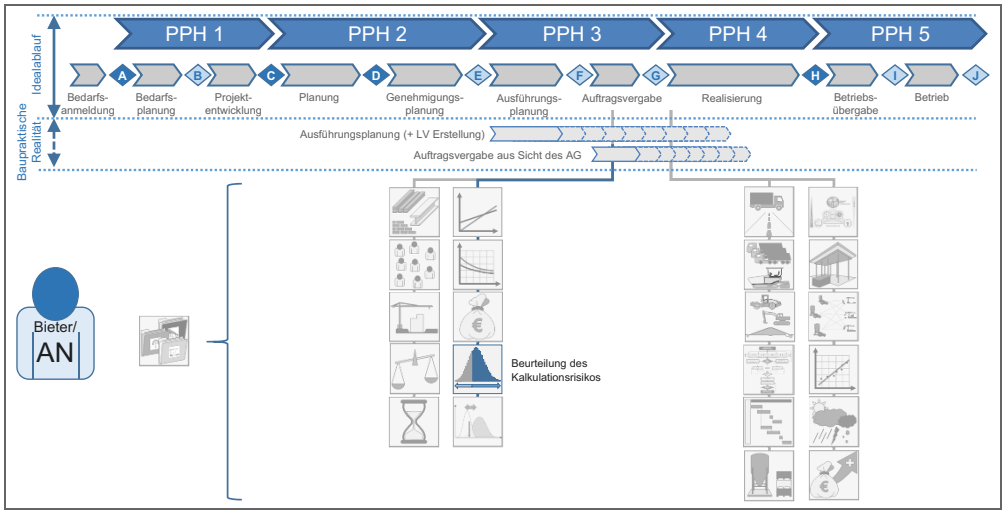


Abb. 10-66 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.3.9.1 Aufgabenstellung

In diesem Beispiel wird das in Abschnitt 10.3.8 ermittelte Histogramm (siehe Abb. 10-65) für die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten hinsichtlich des Chancen-Risikoverhältnisses analysiert.

Mit der Beurteilung der Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeiten spezifischer deterministischer Werte können Aussagen über die Auswirkungen von prozentuellen Zuschlägen oder Nachlässen getroffen werden. Die Entscheidungen werden transparenter und können durch grafische Darstellung der Chancen-Risikoverhältnisse leichter aufgefasst und interpretiert werden.

10.3.9.2 Modellierung

Die Modellierung für die probabilistische Berechnung der Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten wurde bereits in Abschnitt 10.3.8.2 gezeigt. Die Beurteilung des Kalkulationsrisikos beruht auf den Ergebnissen dieser probabilistischen Kostenermittlung.

10.3.9.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die probabilistische Kostenermittlung stellt die Basis dar, um innerhalb der ermittelten Bandbreite einen deterministischen Wert zu wählen und damit das Chancen-Risikoverhältnis zu fixieren. Die Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses kann dabei durch unterschiedliche Beweggründe motiviert sein. Beispielsweise kann es sein, dass ein Bieter zur Sicherung der Auslastung seines Betriebs auch Aufträge mit einem höheren Risikopotenzial annimmt bzw. anbietet. Weiters kann die Marktlage oder strategische Überlegungen (z.B. Einstieg in ein neues Marktsegment oder Akquirierung von Referenzprojekten) zur Wahl eines niedrigen Chancenpotenzials führen. Wählt der Bieter seine Basis (deterministischen Kostenwert) in der Mitte (beim Median) des Histogramms in Abb. 10-

67 beträgt die Wahrscheinlichkeit einer Über- bzw. Unterschreitung jeweils 50 %. Zwischen Chancen und Risiken herrscht damit ein Gleichgewicht.

Wird ein besonders hoher Kostenwert gewählt (z.B. das 5 %-Quantil bei 17,92 Mio. €) ergibt sich eine hohe Chance für den Bieter bzw. späteren AN, dass die Kosten in der Ausführung unterschritten werden, sofern er mit dem hohen angebotenen Preis den Auftrag überhaupt erhält (sieh dazu auch Abb. 7-26).

Bedingt durch die starke Konkurrenz am Markt besteht für die Bieter die Tendenz zu niedrigen Preisen. Die Wahl der Basis wird daher unterhalb des Medians erfolgen. Bei einem angebotenen Wert in der Höhe von 16,12 Mio. € bleibt dem Bieter bzw. AN nur noch eine Chance von ca. 5 %, dass die Kosten unterschritten werden können. Das Risiko überwiegt in diesem Fall mit ca. 95 % deutlich.

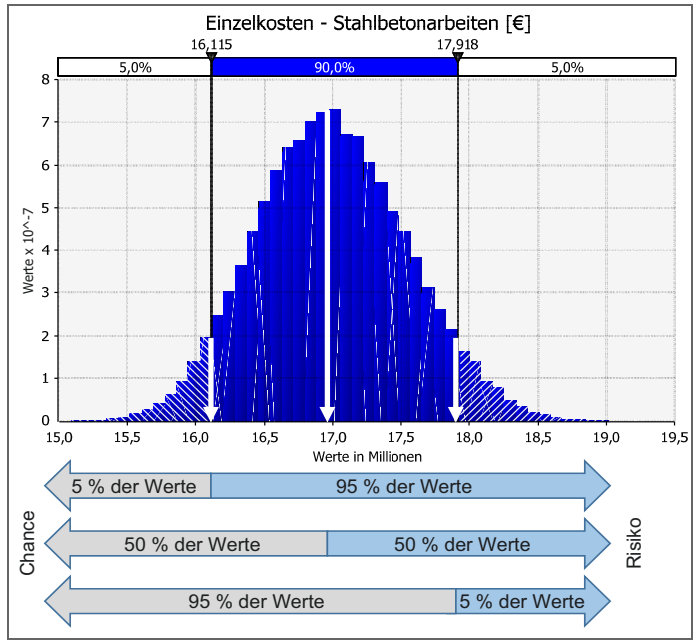


Abb. 10-67 Chancen-Risikoverhältnisse – Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten

Unter der Annahme, dass der Bieter mit einem deterministischen Wert, der dem Median entspricht in die Auftragsverhandlung mit dem AG eintritt, besteht ein Chancen-Risikoverhältnis von 50 zu 50 %. Entschließt sich der Bieter im Zuge der Verhandlungen einen pauschalen Nachlass von 2 % auf die Auftragssumme zu gewähren, ist es von großem Interesse für ihn, herauszufinden wie sich dieser Nachlass auf das Chancen-Risikoverhältnis bezogen auf seine Kalkulation auswirkt. Die Kenntnisse über die zu erwartenden Streuungen der Kosten sind dabei wesentlich, um in den Verhandlungen die Preisgrenzen auszuloten.

In Abb. 10-68 ist diese Situation grafisch dargestellt. Durch den gewährten Nachlass von 2 % (von ca. 16,98 Mio. € auf ca. 16,64 Mio. €) erhöht der Bieter bzw. AN sein Risiko von 50 % auf über 73 %. Umgekehrt sinkt die Chance in der Ausführung niedrigere Kosten zu verursachen von 50 % auf ca. 27 %.

Auf die gleiche Weise können auch die Auswirkungen eines prozentuellen Zuschlags beurteilt werden. Durch eine solche Erhöhung der Basis wird es zu einem Anstieg des Chancenpotenzials und einer Verringerung des Risikopotenzials kommen.

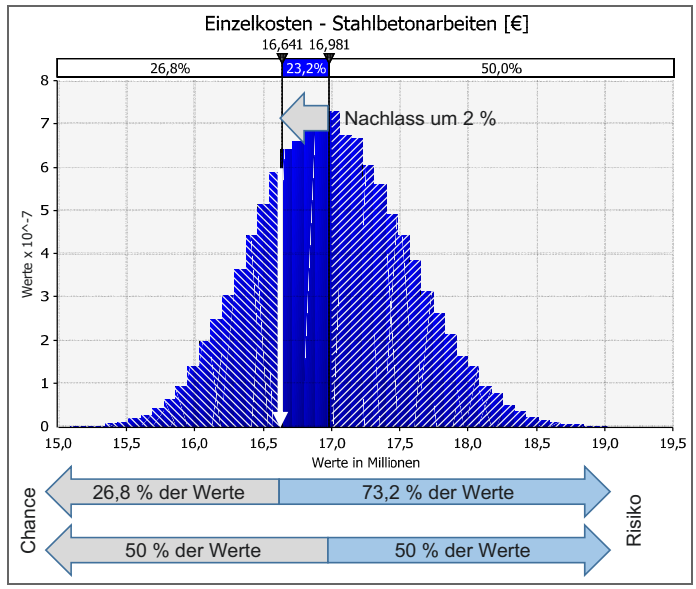


Abb. 10-68 Chancen-Risikoverhältnisse – Nachlass auf die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten

Wird aufgrund der Chancen-Risikopolitik bzw. aus der Analyse des Projektportfolios (siehe Abschnitt 10.6) ein bestimmtes Chancen-Risikoverhältnis angestrebt, kann im umgekehrten Wege auch der maximal zulässige Nachlass bzw. der minimal zulässige Preis angegeben werden.

Für das Beispiel wird angenommen, dass aufgrund eines Beschlusses der Unternehmensleitung ein maximales Chancen-Risikoverhältnis von 20 % (Chance) zu 80 % (Risiko) hinsichtlich des Chancenpotenzials nicht unterschritten werden darf. Für die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten bedeutet dies, auf Basis des ermittelten Histogramms, einen minimale Kostenwert von 16,53 Mio. €. Bezogen auf den Median bedeutet dies einen maximal zulässigen Nachlass in der Höhe von ca. 2,6 % (siehe Abb. 10-69).

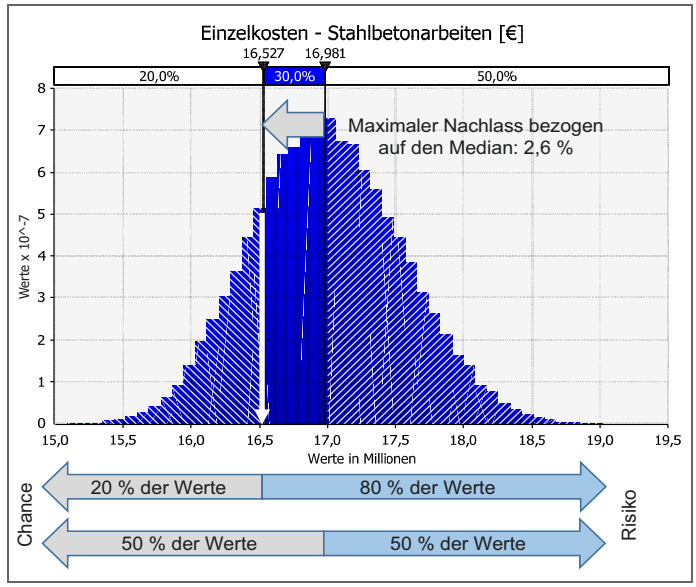


Abb. 10-69 Chancen-Risikoverhältnisse – Maximaler Nachlass auf die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten

10.3.9.4 Nutzen für den Bieter/AN

Der Bieter bzw. spätere Auftragnehmer kann nur dann abschätzen welches Risiko er mit seinem Angebot eingeht, wenn er die Bandbreite der möglichen Kosten kennt. Diese Bandbreite, zusammen mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten für die betrachteten Werte, liefert das Ergebnis einer probabilistischen Kostenermittlung mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation.

Anhand der Verteilung lässt sich das Verhältnis zwischen Chancen und Risiken direkt ableiten und mittels Histogrammen grafisch darstellen. Sowohl für die interne Kommunikation über Unsicherheiten als auch für die externe Kommunikation gegenüber dem AG oder anderen AN bieten sich die Histogramme an, um den möglichen Ereignisraum plakativ zu vermitteln.

Besonders zur Bewertung pauschaler Nachlässe oder Zuschläge eignet sich die Analyse der Kostenhistogramme hinsichtlich der veränderten Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit einzelner deterministischer Werte.

10.3.10 Preisermittlung für das Angebot

Die Preisbildung zählt für Unternehmen mit zur wichtigsten Aufgabe, um überhaupt zu Aufträgen zu kommen und im Wettbewerb des freien Marktes bestehen zu können. Besonders bei öffentlichen Aufträgen stellt der Preis eines der Hauptzuschlagskriterien dar und bedarf daher besonderer vertiefter Betrachtungen.

Die Preisermittlung erfolgt im Anschluss an die Kostenermittlung (Kalkulation) und ist dem Ende der PPH 3 zuzuordnen (siehe Abb. 10-70).

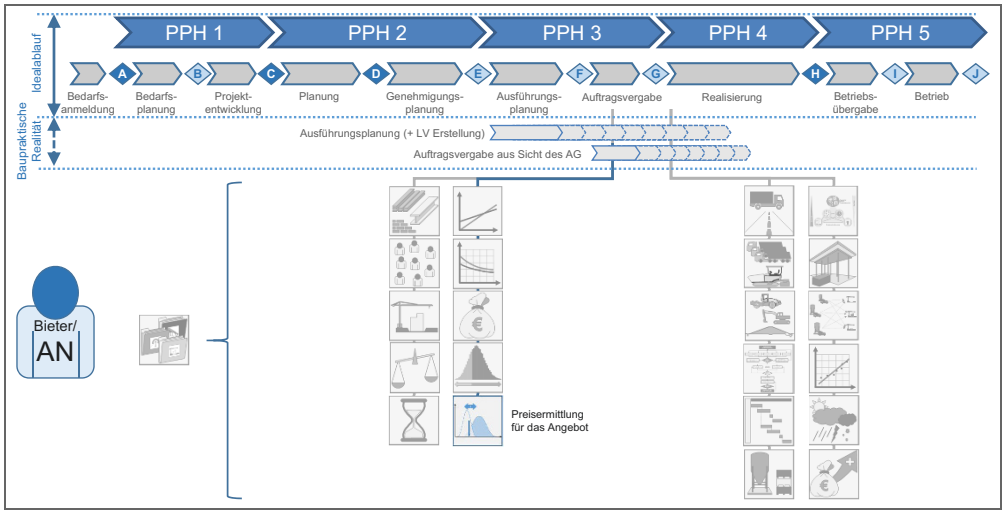


Abb. 10-70 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.3.10.1 Grundlagen

Generell gilt, dass wenn der Quotient aus Baukosten und Baupreis größer als 1 ist, ein finanzieller Verlust droht (siehe Glg. (10-18)). Die Gefahr, dass dieser Fall eintritt wird als ‚Baupreisrisiko' bezeichnet.[33)]

$$\frac{\text{Baukosten}}{\text{Baupreis}} \tag{10-18}$$

Da Kosten – besonders für in der Zukunft auszuführende Leistungen – immer mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind, lassen sich mit Hilfe probabilistischer Berechnungsverfahren Histogramme für die Baukosten getrennt nach Positionen, Kostengruppen, Gebäudeteilen, Leistungsgruppen, Obergruppen, Gewerken oder für das gesamte Bauwerk ermitteln. Preisvereinbarungen beruhen demnach auf einer Kostenvorhersage.[34)]

Der von *Raaber* über den Quotienten zwischen Baukosten und Baupreis definierte Term des ‚Baupreisrisikos' lässt sich auch grafisch durch die Darstellung der Baukosten als Histogramm bzw. Verteilungsfunktion und des Baupreises als deterministischen Wert veranschaulichen (siehe Abb. 10-71).

33) Vgl. Raaber (1979), S. 1
34) Vgl. ebd.

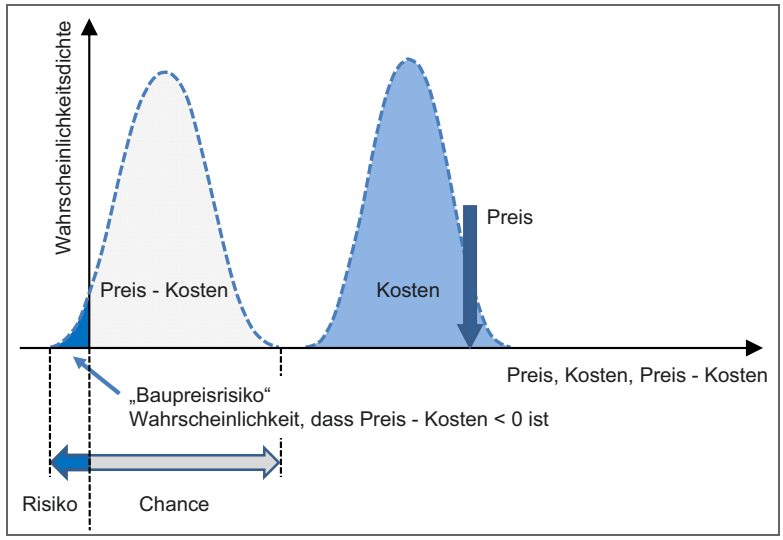


Abb. 10-71 Baupreisrisiko

Übersteigen die Kosten den angebotenen Preis, ist also die Differenz aus Preis und Kosten kleiner als null, hat sich das Baupreisrisiko realisiert. In allen anderen Fällen, in denen die Kosten unter dem angebotenen Preis liegen, hat der AN die Chance einen Gewinn zu erwirtschaften.[35)]

Lfd. Nr.	Kostengruppen	Unvorhersehbare Einflüsse	
		marktbezogen	leistungsbezogen
0	A	B	C
1	Bauführungskosten	▪ Gehälter ▪ Löhne ▪ Einrichtung: Grundstücke, Aufschließung	▪ Anzahl des erforderlichen Personals ▪ Technische und organisatorische Anforderungen
2	Gerätekosten	▪ Anschaffungskosten ▪ Buchwerte ▪ Ersatzteilkosten	▪ Leistungsfähigkeit ▪ Reparaturanfälligkeit ▪ Eignung
3	Stoffkosten	▪ Kaufpreis ▪ Transportkosten ▪ Handling	▪ Erforderliche Menge zur Erfüllung der Vertragsbedingungen ▪ Handling
4	Lohnkosten	▪ Kollektivvertragliche und Überkollektivvertragliche Zahlungen ▪ Reise- und Unterbringungskosten ▪ Trennungsgelder ▪ Soziale Lasten	▪ Qualifikation ▪ Erforderliche Zahl der Arbeitsstunden zur Erfüllung der Vertragsbedingungen
5	Hilfs- und Nebenkosten (Stoffe und Löhne)	wie 2 - 4	wie 2 - 4
6	Festkosten	Allgemeine Geschäftskosten	Umlegung auf den Umsatz

Tab. 10-27 Unvorhersehbare Einflüsse auf unterschiedliche Kostengruppen – Marktbezogen und leistungsbezogen[36)]

[35)] Unter der Voraussetzung, dass die Vollkosten (Einzelkosten + Gemeinkosten) berücksichtigt wurden.

Die angespannte Lage in der Baubranche und der harte Wettbewerb um Aufträge zwingen die Bieter dazu, Preise eher im unteren Bereich der Kostenverteilung abzugeben. Der Anstieg des Baupreisrisikos führt im gleichen Maße zu einer Reduktion der Chancen.

Die Unsicherheiten, die sich auf unterschiedliche Kosten auswirken, fasst *Raaber* tabellarisch getrennt nach marktbezogenen und leistungsbezogenen Einflüssen zusammen (siehe Tab. 10-27).

10.3.10.2 Aufgabenstellung

Das gegenständliche Beispiel wurde von *Raaber*[37)] entwickelt und bezieht sich dabei nicht auf absolute Kostenwerte, sondern auf Faktoren für die einzelnen Kostengruppen.

Es werden zwei Betrachtungen durchgeführt, wobei der Basisfall von einer bestimmten Zusammensetzung der Gesamtkosten ausgeht und marktbezogene und leistungsbezogene unvorhersehbare Einflüsse durch Prozentwerte berücksichtigt werden. Aus dieser ersten Betrachtung ergibt sich eine Streuung der Gesamtkosten, die als Histogramm dargestellt werden kann.

Die zweite Betrachtung bezieht sich auf das gleiche Bauvorhaben. Es wird aber davon ausgegangen, dass sich durch die Wahrnehmung von Einflussmöglichkeiten die Zusammensetzung der Anteile der Kostengruppen verändert hat. Weiters haben sich auch die leistungsbezogenen Unsicherheiten (z.B. durch einen optimierten Bauablauf) reduziert und weisen nun eine geringere Bandbreite auf. Auch für diesen Fall sind die Gesamtkosten einer gewissen Streuung unterworfen, die sich von jener des ersten Falls jedoch unterscheidet (nämlich geringer ist).

Ziel ist es, einen Vergleich der beiden Histogramme anzustellen und die Auswirkungen eines prozentuellen Wagniszuschlags auf das Chancen-Risikoverhältnis der beiden Fälle abzubilden und zu interpretieren.

10.3.10.3 Modellierung

Raaber geht bei der Modellierung für die Kosten je Kostengruppe von Normalverteilungen aus und gibt gleichzeitig Prozentwerte für die unteren und oberen Grenzen der Kosten an. Hier zeigt sich ein Widerspruch, da die Normalverteilung als beidseitig offene Verteilung ohne Grenzen definiert ist. Für die weiteren Berechnungen wird daher angenommen, dass die angegebenen ‚Grenzwerte' jeweils dem 1 %- bzw. 99 %-Quantil entsprechen.

Der schematische Berechnungsablauf für die Ermittlung der Gesamtkosten ist in Abb. 10-72 dargestellt.

---

36) Vgl. Raaber (1979), Anhang, Blatt 1
Festkosten entsprechen den Fixkosten.

37) Vgl. ebd.

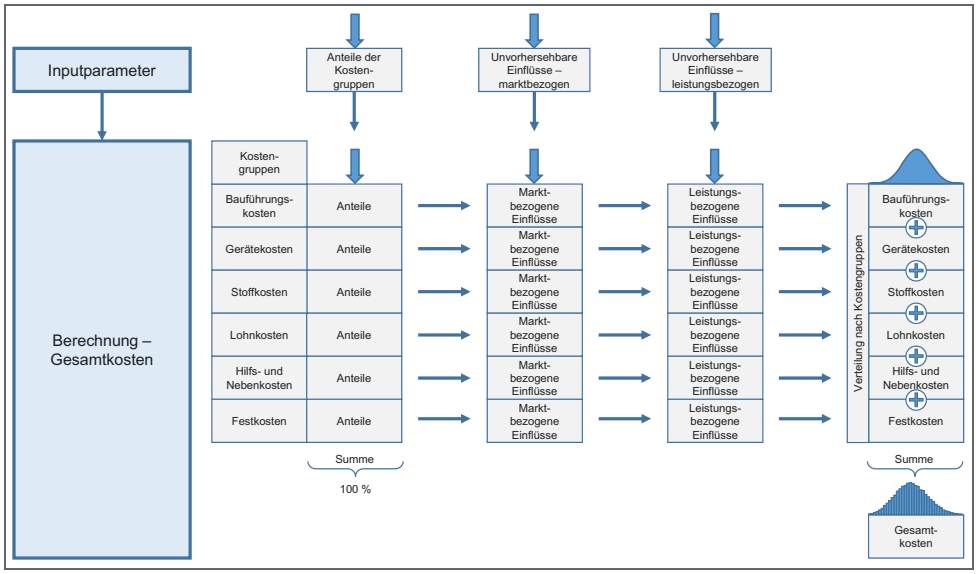


Abb. 10-72 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs

Für ein Zahlenbeispiel werden die Kosten je Kostengruppe nicht als absolute Werte, sondern als Faktoren angegeben, die in Summe den Wert 1,00 (bzw. 100 %) annehmen (siehe Tab. 10-28). Den größten Anteil weisen dabei die Lohnkosten mit 50 % (siehe Zelle B4) gefolgt von den Stoffkosten mit 32 % (Zelle B3) auf.

Raaber bezeichnet diese Kostengliederung als konventionell bzw. altmodisch, da der Lohnanteil hoch, die Kosten für Gerät und Bauführung sehr niedrig angesetzt wurden.[38)]

Lfd. Nr.	Kostengruppen		Unvorhersehbare Einflüsse	
			marktbezogen	leistungsbezogen
0	A	B	C	D
1	Bauführungskosten	0,03	2,00 %	5,00 %
2	Gerätekosten	0,04	2,00 %	6,00 %
3	Stoffkosten	0,32	2,00 %	3,00 %
4	Lohnkosten	0,50	6,00 %	15,00 %
5	Hilfs- und Nebenkosten	0,03	4,00 %	6,00 %
6	Festkosten	0,08	0,00 %	2,00 %
7	Summe der Kosten	1,00		

Tab. 10-28 Berechnungsansätze des AN

Die angeführten Prozentwerte in den Spalten C und D der Tab. 10-28 – welche Unsicherheiten in den Kostenansätzen aufgrund von marktbezogenen und leistungsbezogenen Einflüssen angeben – sind in gleichem Maße in positiver und in negativer Richtung zu verstehen. Um die gesamte Streubreite (innerhalb des 1 %- und 99 %-Quantils) zu modellieren, müssen die Prozentwerte aus marktbezogenen und leistungsbezogenen Einflüssen jeweils aufaddiert werden. Beispielsweise folgt für die Gerätekosten (Zeile 2) ein Anteil von 4 % (Faktor 0,04) an der Summe der Gesamtkosten. Die Bandbreite beträgt +/- 8 % (+/- 2 % marktbezogen und +/- 6 % leistungsbezogen). Die Verteilungsfunktion (Normal-

38) Vgl. Raaber (1979), S. 13

verteilung) für die Gerätekosten ist in Abb. 10-73 dargestellt. Der Mittelwert entspricht dem Faktor der Gerätekosten (0,04). Das 1 %-Quantil wurde mit 0,0368 (= 0,04 * 0,92) und das 99 %-Quantil mit 0,0432 (= 0,04 * 1,08) ermittelt.[39)]

Wie aus der Legende der Verteilung im rechten Bildrand ersichtlich ist, sind das Minimum und das Maximum der Verteilung nicht als Zahlenwerte definiert, da sich die Verteilung jeweils von minus bis plus Unendlich erstreckt. Nach dem gleichen gezeigten Schema werden auch die Verteilungen für die anderen angeführten Kostengruppen modelliert.

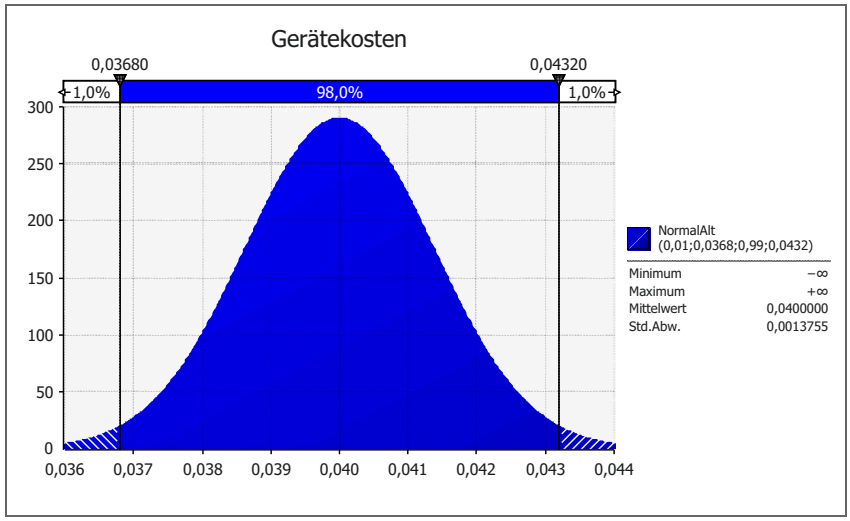


Abb. 10-73 Gerätekosten – Normalverteilung

10.3.10.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die mit Normalverteilungen modellierten Kosten für die sechs Kostengruppen werden mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation aufaddiert. Das Ergebnis dieser Berechnung ist ein Histogramm (siehe Abb. 10-74), das Aussagen über die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit spezifischer Werte zulässt.

Obwohl die einzelnen Verteilungen für die Kostengruppen als Normalverteilungen mit beidseitig offenen Grenzen (von minus bis plus unendlich) angesetzt wurden, weist das Histogramm für die Gesamtkosten ein spezifisches Minimum und auch ein spezifisches Maximum auf.

Dies ist damit zu begründen, dass für die Addition der Kosten jeweils Zufallswerte innerhalb der Bandbreiten (von minus bis plus unendlich) gewählt und zusammengezählt wurden. Bei einer endlichen Anzahl an Iterationen (hier: 50.000) und Darstellung der Gesamtheit der Ergebnisse in Form eines Histogramms ergibt sich eine geschlossene Bandbreite für die Gesamtkosten entsprechend Abb. 10-74.

Wird vom Mittelwert des Histogramms (= 1,00) ausgegangen, erscheint eine Kostenüberschreitung von mehr als 13,0 % immerhin als denkbar. Ebenso ist aber auch eine Kostenunterschreitung um mehr als 13,0 % auf Basis der gewählten Eingabeparameter möglich.

[39)] Funktion zur Definition der Verteilungsfunktion in @Risk: =RiskNormalAlt(1%;0,0368;99%;0,0432)

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Kosten um weniger als +/- 3 % (könnte in positiver Richtung ein plausibler Ansatz für den Wagniszuschlag sein) um den Mittelwert schwanken beträgt lediglich 49 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Mittelwert um nicht mehr als 3 % überschritten wird, beträgt ca. 74,4 % (= 48,9 % + 25,5 %).

Für diesen Fall bedeutet dies, dass durch einen Wagniszuschlag von 3 % noch immer ein (ungedecktes) Risiko von ca. 26 % verbleibt.

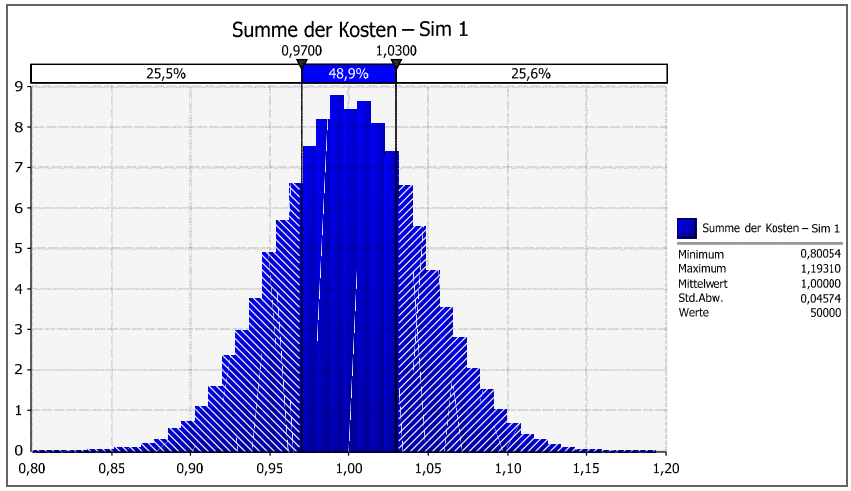


Abb. 10-74 Histogramm – Gesamtkosten

Zur Verringerung der Bandbreite für die Gesamtkosten können Maßnahmen zur Regulierung und Determinierung des Arbeitsablaufs sowie zur Begegnung menschlicher Unzulänglichkeiten getroffen werden, um einen streng überschaubaren, vorhersehbaren, reproduzierbaren Baubetrieb zu organisieren. Diese Maßnahmen sind im Zuge der Arbeitsvorbereitung vorzubereiten und zu planen. Durch eine detaillierte und umfassende Arbeitsvorbereitung können nicht nur die Kosten in der Bauausführung gesenkt, sondern auch die Bandbreiten und Unsicherheiten reduziert werden.[40)]

Beispielhaft wird von *Raaber* eine schlecht ausgebaute Baustraße angeführt. Diese gestattet bei normalem (durchschnittlichem) Wetter eine Transportleistung von 100 t/h. Bei besonders gutem Wetter erlaubt sie 120 t/h. Bei schlechtem Wetter (lange Regenperioden) wird sie unbenutzbar. Soll der Kalkulant jetzt mit dem langjährigen Durchschnitt des Wetterverlaufs rechnen oder soll er einen weniger wahrscheinlichen, aber außerordentlich folgenschweren Schlechtwetterfall in seiner Kalkulation annehmen? D.h. wie hoch soll der Wagniszuschlag sein? Es wird evtl. besser erscheinen, die Straße auszubauen. Die Kosten für die Position ‚Baustraße' werden dann zwar höher, aber die Kalkulation wird insgesamt risikoärmer. Auch der übrige Bauablauf, der von Transporten abhängig ist, wird besser organisiert und Bandbreiten können eingegrenzt werden. Die gesamte Kostenvorhersage wird genauer (präziser und richtiger).[41)]

Von *Raaber* werden allgemeine Möglichkeiten bzw. Ansatzpunkte, wie auf die Streuung der Kosten je Kostengruppe Einfluss genommen werden kann, tabellarisch getrennt nach marktbezogenen und leistungsbezogenen Einflüssen aufgelistet (siehe Tab. 10-29).

40) Vgl. Raaber (1979), S. 13f.

41) Vgl. ebd., S. 14

Lfd. Nr.	Kostengruppen	Einflussnahme auf die Streuung	
		marktbezogen	leistungsbezogen
0	A	B	C
1	Bauführungskosten	Sicherung des erforderlichen Personals	**Arbeitsvorbereitung:** ▪ Ablaufplanung ▪ Zeit-Arbeitsstudien ▪ Zeitprogramm (Netzplan) ▪ Einrichtungsplan ▪ Geräteeinsatzplan ▪ Verkehrswege ▪ Zugänglichkeit der Arbeitsstellen ▪ Transporte und Lagerung ▪ Vorversuche ▪ Verbrauch und Verschleiß ▪ Schutz vor schädlichen Natureinflüssen
2	Gerätekosten	▪ Sicherung des erforderlichen Geräts ▪ Zustand (Grundreparatur)	
3	Stoffkosten	Lieferverträge	
4	Lohnkosten	Sicherung des erforderlichen Personals (Stammpersonal)	
5	Hilfs- und Nebenkosten (Stoffe und Löhne)	wie 2 - 4	
6	Festkosten		

Tab. 10-29 Einflussnahme auf die Streuung – Marktbezogen und leistungsbezogen[42)]

Bezogen auf das angeführte Zahlenbeispiel wird angenommen, dass alle Einflussmöglichkeiten auf die Kostenparameter erkannt und eingesetzt worden sind und es dadurch einerseits zu einer Verschiebung in den Kostenanteilen (Spalte B), andererseits zu einer Eingrenzung der Bandbreiten gekommen ist (siehe Tab. 10-30 im Vergleich zur Tab. 10-28).

Es zeigt sich, dass eine Verschiebung der Kostenanteile zwischen den Gruppen stattgefunden hat. Insbesondere der Anteil der Lohnkosten wurde von 0,50 auf 0,40 reduziert. Im Gegenzug wurden die Anteile der Bauführungs- und Gerätekosten erhöht. Die Unsicherheiten, die sich aus marktbezogenen Einflüssen ergeben (Spalte C), wurden unverändert übernommen. Jedoch wurden die Bandbreiten der Kosten aufgrund der leistungsbezogenen Einflüsse (Spalte D) deutlich reduziert.

Lfd. Nr.	Kostengruppen		Unvorhersehbare Einflüsse	
			marktbezogen	leistungsbezogen
0	A	B	C	D
1	Bauführungskosten	0,06	2,00 %	3,00 %
2	Gerätekosten	0,10	2,00 %	4,00 %
3	Stoffkosten	0,32	2,00 %	2,00 %
4	Lohnkosten	0,40	6,00 %	5,00 %
5	Hilfs- und Nebenkosten	0,04	4,00 %	3,00 %
6	Festkosten	0,08	0,00 %	2,00 %
7	Summe der Kosten	1,00		

Tab. 10-30 Berechnungsansätze des AN nach Wahrnehmung der Einflussmöglichkeiten

Für die Berechnung der Gesamtkosten wird wieder angenommen, dass die Kosten je Kostengruppe als Normalverteilungen definiert werden. Die durch die Summe der Prozentwerte definierten ‚Grenzen' beziehen sich auf das 1 %- und 99 %-Quantil. Die Monte-Carlo-Simulation liefert nach 50.000 Iterationen (Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren) das Histogramm der Gesamtkosten entsprechend Abb. 10-75.

42) Vgl. Raaber (1979), Anhang, Blatt 5
Festkosten entsprechen dabei den Fixkosten.

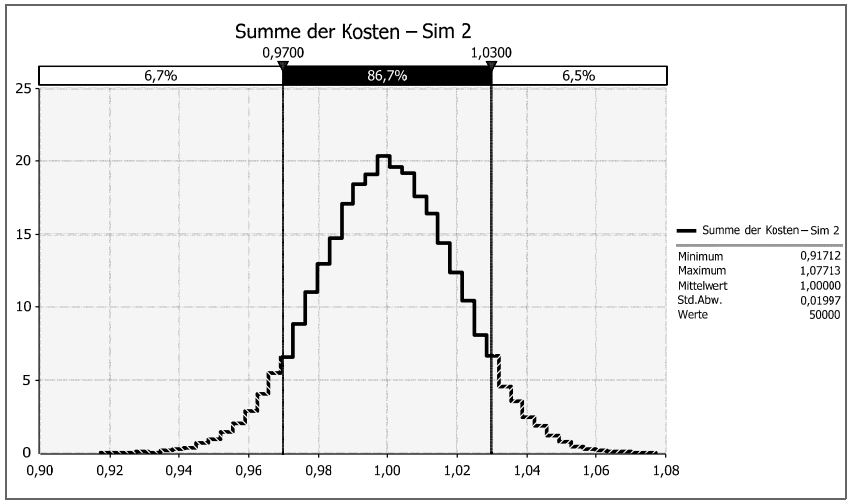


Abb. 10-75 Histogramm – Gesamtkosten – Simulation 2

Bei gleichen mittleren erwarteten Kosten (= 1,00) ist die Streuung deutlich geringer geworden. Innerhalb einer Bandbreite von +/- 3 % um den Mittelwert liegen nun ca. 86,7 % der Ergebnisse aus der Simulation (zum Vergleich bei Simulation 1 waren es ca. 48,9 %). Die Streuung der Kosten wurde damit insgesamt eingeengt.

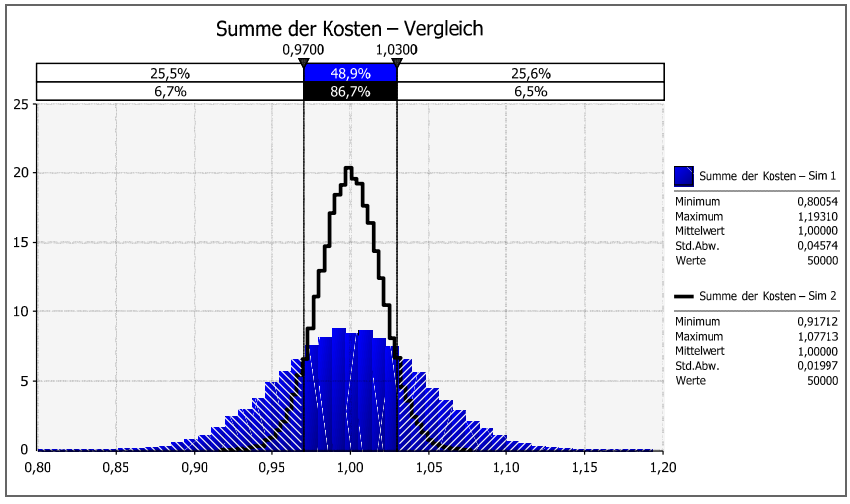


Abb. 10-76 Vergleich – Gesamtkosten – +/- 3 % um den Mittelwert

Ein direkter Vergleich der beiden Histogramme aus der ersten und zweiten Simulation macht die Verringerung der Bandbreite für die Gesamtkosten noch deutlicher (siehe Abb. 10-76). Während bei der ersten Simulation die gesamte Streuung der Kosten in einem Bereich von ca. +/- 19 % (siehe Minimum und Maximum des Histogramms der ersten Simulation in Abb. 10-76) liegt, wurde diese Spannweite in der zweiten Simulation auf einen Bereich von ca. +/- 8 % (siehe Minimum und Maximum des Histogramms der zweiten Simulation in Abb. 10-76) eingegrenzt. Im zweiten Fall könnten mit einem Wagnis-

zuschlag von 3 % etwa 93,4 % (= 86,7 % + 6,7 %) der berechneten Fälle abgedeckt werden. Das Baupreisrisiko würde entsprechend bei ca. 7 % (Gegenwahrscheinlichkeit) liegen.

Wird ein Chancen-Risikoverhältnis von 90 % (Chance) zu 10 % (Risiko) angestrebt (siehe Abb. 10-77), müsste der Wagniszuschlag im ersten Fall ca. 5,9 %, im zweiten Fall jedoch nur ca. 2,6 % betragen. Alleine aus Gründen der Risikobewertung bzw. für die Wahrung des gleichen Chancen-Risikoverhältnisses kann der geplante Bauablauf der Simulation 2 billiger angeboten werden.

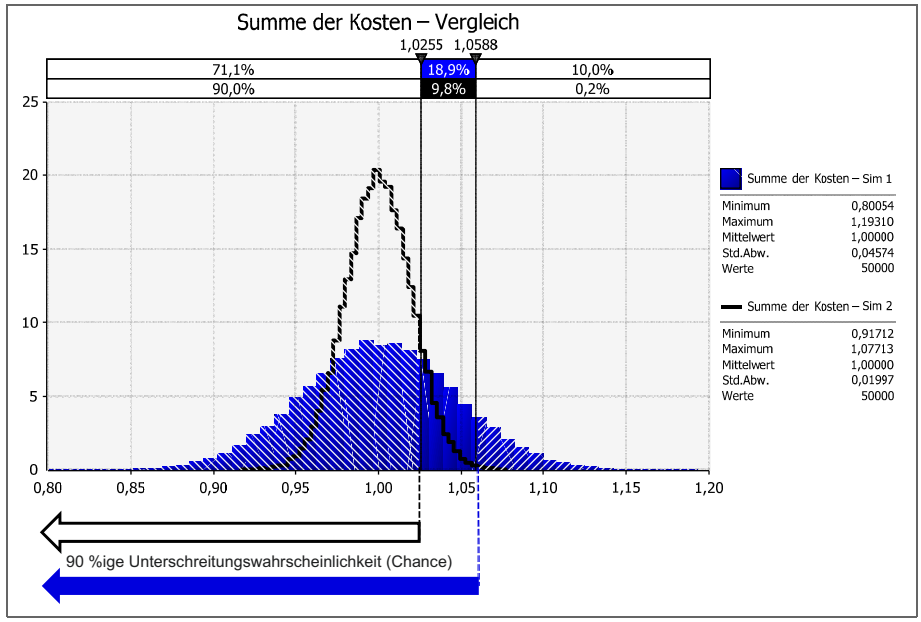


Abb. 10-77 Vergleich – Gesamtkosten – Chancen-Risikoverhältnis von 90 % zu 10 %

10.3.10.5 Nutzen für den Bieter/AN

Zusammenfassend zeigt sich, dass durch die Anwendung probabilistischer Berechnungsverfahren die Bandbreite möglicher Ergebnisse sehr anschaulich und nachvollziehbar dargestellt werden kann. Auf evtl. zu große Streuungen in den Ergebnissen kann durch eine gezielte Eingrenzung der Bandbreiten von Eingabeparametern reagiert werden. Es können Maßnahmen gesetzt werden, die sich sowohl auf die Verteilung der Kostenanteile als auch auf die Unsicherheiten, die mit den jeweiligen Kostenanteilen verbunden sind, beziehen.

Maßnahmen der Arbeitsvorbereitung und Planung des Bauablaufs helfen dabei den zukünftigen Bauablauf vorhersehbarer zu machen und damit die möglichen Bandbreiten einzuengen. Eine solche Verringerung der Bandbreiten wirkt sich – bei prozentuell gleichem Wagniszuschlag – auch direkt auf das erzielbare Chancen-Risikoverhältnis aus, wie das angeführte Beispiel zeigt.

Durch die Überlegungen bei der Definition der Verteilungsfunktionen für die Eingangsparameter der Simulation werden Kalkulanten sensibilisiert, nicht überall die niedrigsten Werte anzusetzen, die in der internen Datenbank oder in der Literatur zu finden sind. Der Umgang mit probabilistischen Berechnungen fördert damit auch die kritische Auseinan-

dersetzung mit Nachkalkulations- und Literaturwerten. Dem Optimismus in der Kostenermittlung und in weiterer Folge in der Preisbildung werden Grenzen gesetzt. Auch wenn die Marktsituation tendenziell in die Richtung niedrigerer Preise geht, kann mit der gezeigten Methodik das eingegangene Risiko bzw. die verbleibende Chance für den Bieter bzw. späteren AN quantifiziert werden.

Raaber fordert die Praxis dringend dazu auf, die Aufgaben der innerbetrieblichen Datenerhebung und -verarbeitung umzusetzen, um eine solide Basis für zukünftige Kalkulationen zu schaffen. Ziel sollte dabei nicht nur die Erhebung von Mittelwerten sondern auch die gezielte Erhebung und Veranschaulichung von Schwankungsbreiten sein.[43)]

Verfügbare Softwareprogramme ermöglichen es heute, auch mit wenigen mathematischen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Kenntnissen, aus einer Fülle von Daten ein Fitting durchzuführen, dass einen grafischen Überblick über die Bandbreiten und Gewichtungen spezifischer Kalkulationskennwerte zulässt.

10.4 Projektphase PPH 4

In der PPH 4 führen die Auftragnehmer die beauftragten Leistungen aus. Sie sind in dieser Phase besonders an einer Optimierung ihres Produktionssystems interessiert. Besonders die Wahl der Art, Anzahl und Kombination der Produktionsfaktoren steht im Vordergrund. Nachfolgend wird für ausgewählte Einsatzmöglichkeiten der Monte-Carlo-Simulation gezeigt, welcher Mehrwert dadurch für die Auftragnehmer in ihrer Realisierungsphase entsteht.

10.4.1 Logistik/Anzahl der Transporte

Die Anzahl der Transporte stellt für die Planung der Baustellenlogistik eine zentrale Größe dar. Beispielsweise muss während den Betonierarbeiten eine ununterbrochene Versorgung der Baustelle mit Beton sichergestellt werden. Bei innerstädtischen Baustellen kann dies aufgrund von verkehrstechnischen Überlastungen zu Stoßzeiten (‚Rushhour') zu einer nicht zu unterschätzenden Herausforderung werden. Ist schon im Vorfeld die tägliche Anzahl an Transporten bekannt, können mit diesen Daten die Auswirkungen auf das Verkehrsnetz bzw. auf das Logistikkonzept der Baustelle besser untersucht werden. Die Berechnung der Anzahl an Transporten ist der PPH 4 zuzuordnen (siehe Abb. 10-78).

Für die Rohbauarbeiten nehmen die Transporte im Zusammenhang mit den Stahlbetonarbeiten eine übergeordnete Rolle ein. Für ein Hochbauprojekt (Musiktheater Linz) werden daher nur diese Transporte betrachtet. Die Berechnungen erfolgen getrennt für die Materialtransporte für den Beton und die Bewehrung sowie für die Gerätetransporte der Schalung.

43) Vgl. Raaber (1979), S. 5

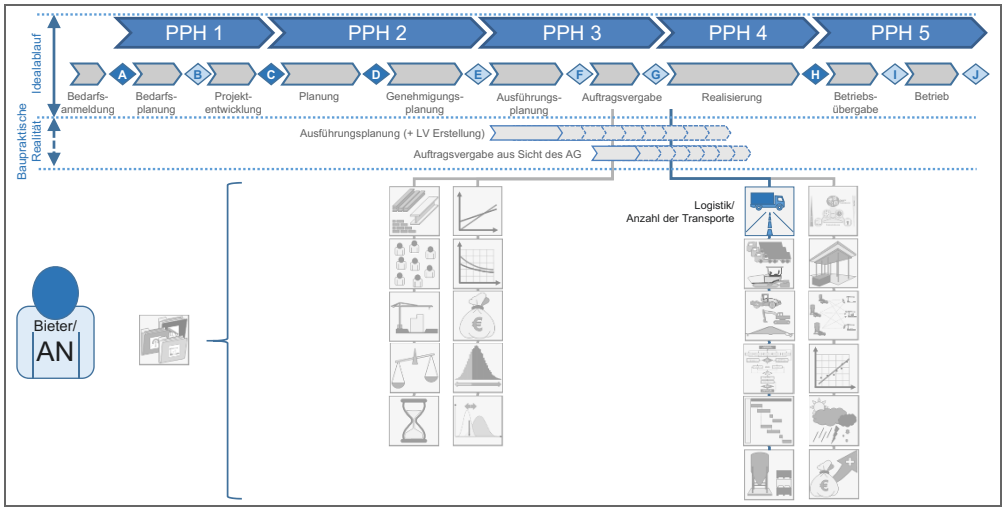


Abb. 10-78 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.4.1.1 Grundlagen

Die Baulogistik wird in die Beschaffungs-, die Produktions- und die Entsorgungslogistik unterteilt. In Abhängigkeit vom Standort der Baustelle (z.B. innerstädtisch) hat die Baustellenlogistik eine hohe Bedeutung hinsichtlich eines wirtschaftlich effektiven und effizienten Einsatzes der Produktionsfaktoren. Während die Gesamtanzahl der Transporte wesentlich von der Bauweise und der Art des Bauvorhabens beeinflusst wird, hängt die Transportdichte (Anzahl der Transporte [TR] je Zeiteinheit) von der zur Verfügung stehenden Bauzeit ab. Kurze Bauzeiten stellen dabei größere Anforderungen an die Logistik dar.

Für die Berechnung der Gesamtanzahl an Transporten stehen beispielsweise für Erdarbeiten genauere Berechnungsgleichungen zur Verfügung. Anhand der technischen Nutzleistung der Aushubgeräte und des Fassungsvermögens der Transportfahrzeuge kann auf die Anzahl der Transporte geschlossen werden. Bei Erdarbeiten ist besonders darauf zu achten, dass ein Auflockerungsfaktor für das Aushubmaterial berücksichtigt wird.[44)]

Für die Berechnung der Anzahl an Transporten für die Stahlbetonarbeiten gelangen Kennzahlen zur Anwendung. Es handelt sich dabei um Transportgrade tp_g [1/MEH] für die Schalung, die Bewehrung und den Beton. Werden diese mit den entsprechenden Mengen multipliziert, ergibt sich die Anzahl der erforderlichen Transporte.

Transportgrad der Schalung

Der Transportgrad für die Schalung $tp_{g,s}$ [1/m²] errechnet sich aus der Vorhaltemenge V_S [m²], der gesamten Schalfläche des Bauwerks $S_{F,BWK}$ [m²] und der durchschnittlichen Schalungsfläche, die pro Transport auf die Baustelle angeliefert wird $S_{F,TR}$ [m²] (siehe Glg. (10-19)).[45)]

44) Vgl. Hofstadler (2009), S. 146
45) Vgl. ebd., S. 150

$$tp_{g,\,s} = \frac{V_S}{S_{F,\,BWK} \cdot S_{F,\,TR}} \tag{10-19}$$

Wesentlichen Einfluss auf den Transportgrad übt die Art der Schalung aus. Vorgefertigte Schalungen verbrauchen in der Regel mehr Platz auf einem Transporter als zerlegte Schalungen in Form von Gebinden oder Paletten. Der Transportgrad für die Schalarbeiten wird mit 0,00083 bis 0,00125 [1/m²] angegeben. Für kleine Bauvorhaben, wie z.B. Einfamilienhäuser, können diese Werte aber auch niedriger sein (führt zu einer geringeren Anzahl an Transporten).[46)]

Transportgrad der Bewehrung

Der Transportgrad der Bewehrung $tp_{g,bw}$ [1/t] wird durch die Menge an Bewehrung $BW_{M,TR}$ [t], die je Transport angeliefert wird, berechnet.

$$tp_{g,\,bw} = \frac{1}{BW_{M,\,TR}} \tag{10-20}$$

Können also beispielsweise 20 t je Transport geliefert werden, beträgt der Transportgrad der Bewehrung 0,05 [1/t]. Bei lediglich 10 t je Lieferung ergibt sich ein Transportgrad von 0,10 [1/t]. Die Höhe des Transportgrads der Bewehrung wird hauptsächlich von äußeren Umständen beeinflusst. Diese können z.B. Gewichtsbeschränkungen für Brücken auf dem Weg zur Baustelle sein. Ist die Zufahrt auf die Baustelle aufgrund von beengten Platzverhältnissen mit Sattelschleppern nicht möglich, wirkt sich dies ebenfalls auf den Transportgrad aus.[47)]

Transportgrad des Betons

Der Transportgrad des Betons $tp_{g,bt}$ [1/m³] wird durch die Menge an Beton (Festbetonmenge) $BT_{M,TR}$ [m³], der je Transport angeliefert wird, berechnet.

$$tp_{g,\,bt} = \frac{1}{BT_{M,\,TR}} \tag{10-21}$$

Können beispielsweise 12 m³ je Transport geliefert werden beträgt der Transportgrad des Betons 0,08 [1/m³]. Bei lediglich 7 m³ je Lieferung folgt der Transportgrad mit 0,14 [1/m³]. Die Höhe des Transportgrads für den Beton wird hauptsächlich von äußeren Umständen beeinflusst (Gewichtsbeschränkungen, Beschaffenheit der Zufahrtswege, verfügbare Fahrzeuge des Mischwerks etc.).[48)]

10.4.1.2 Aufgabenstellung

Für das Beispiel wird die erforderliche Anzahl an Transporten für den Bereich Bauwerk-Rohbau (Stahlbetonarbeiten) mit Hilfe von Transportgraden berechnet. Die Gesamtanzahl der Transporte setzt sich dabei aus den Anteilen für die Schalung, die Bewehrung und den Beton zusammen.

Das Beispiel ist der Beschaffungslogistik (Transporte zur Baustelle) zuzuordnen, die sich im Wesentlichen mit der Versorgung der Baustelle mit Geräten und Materialien beschäftigt. Abzugrenzen ist die im Beispiel ermittelte Anzahl an Transporten gegenüber

46) Vgl. Hofstadler (2009), S. 464
47) Vgl. ebd., S. 151
48) Vgl. ebd.

der Produktionslogistik (Transporte auf der Baustelle) und der Entsorgungslogistik (Transport von der Baustelle weg).

10.4.1.3 Modellierung

Zur Modellierung der probabilistischen Berechnung werden die Dreiecksverteilungen für die Schalungsflächen, die Bewehrungsmengen sowie die Betonmengen je Bauteilgruppe für das Musiktheater Linz herangezogen. Diese wurden bereits in Abschnitt 10.3.3 in Tab. 10-10 bis Tab. 10-12 jeweils mit minimalen, erwarteten und maximalen Werten angegeben.

Der schematische Berechnungsablauf für die Berechnung der Anzahl an Transporten bzw. der Transportdichte je Tag ist in Abb. 10-79 dargestellt.

Die Mengen je Bauteilgruppe werden zu Gesamtmengen für die Schalung, die Bewehrung und den Beton aufsummiert und mit den Transportgraden, die ebenfalls als Dreiecksverteilungen angesetzt werden, multipliziert. Aus diesen Berechnungen ergeben sich Histogramme für die Anzahl an Transporten (Schalung, Bewehrung und Beton). Die Gesamtanzahl der Transporte für die Stahlbetonarbeiten ergibt sich in weiterer Folge ebenfalls als Histogramm.

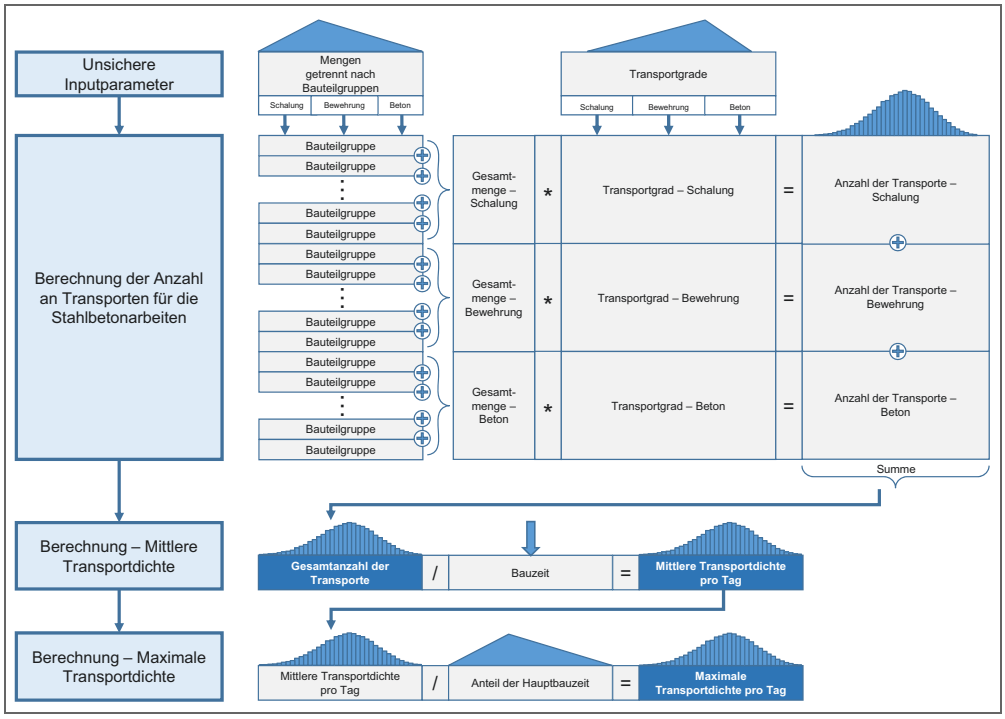


Abb. 10-79 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs

Die mittlere Transportdichte pro Tag ergibt sich aus der Division der Gesamtanzahl der Transporte durch die vorgegebene Bauzeit (deterministischer Wert = 400 d). Da dem Ressourceneinsatz jedoch ein Trapezmodell zugrunde gelegt wird, können Transportspitzen aus der mittleren Transportdichte nicht abgelesen werden. Der Mittelwert muss

dazu noch durch den Anteil der Hauptbauzeit (Dreiecksverteilung: 0,75 | 0,80 | 0,85) dividiert werden. Damit ergibt sich das Histogramm für die maximale Transportdichte pro Tag in der Hauptbauzeit.

Die für das Beispiel angesetzten Transportgrade sind der Tab. 10-31 zu entnehmen. Die minimalen, erwarteten und maximalen Werte sind in den Spalten B, C und D eingetragen. Die Spalte E enthält die Dreiecksverteilungen, wobei jeweils der erwartete Wert dieser Verteilungen in Tab. 10-31 angegeben ist.

Lfd. Nr.	Bauteile	Transportgrade			
		MIN	ERW	MAX	Verteilung
		[1/MEH]	[1/MEH]	[1/MEH]	[1/MEH]
0	A	B	C	D	E
1	Schalung	0,00083	0,00110	0,00125	0,00110
2	Bewehrung	0,05000	0,08500	0,10000	0,08500
3	Beton	0,08000	0,13000	0,14000	0,13000

Tab. 10-31 Eingabewerte für die Transportgrade – Schalung, Bewehrung und Beton

10.4.1.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

In den Tab. 10-32, Tab. 10-33 und Tab. 10-34 werden die Berechnungen für die Anzahl der Transporte getrennt für die Schalung, die Bewehrung und den Beton durchgeführt. Für das Hochbauprojekt werden dazu in einem ersten Schritt die Mengen der Bauteilgruppen für das gesamte Bauwerk aufsummiert, um die Histogramme der Gesamtmengen zu ermitteln. Diese Gesamtmengen sind in den Tabellen jeweils in den Zellen E9 eingetragen. Die Gesamtmengen werden in weiterer Folge mit den jeweiligen Dreiecksverteilungen für die Transportgrade (Zellen F9) multipliziert und ergeben damit die Anzahl der Transporte in den Zellen G9.

Lfd. Nr.	Bauteile	Schalungsfläche				Transport-grad	Anzahl der Transporte – Schalung
		MIN	ERW	MAX	Verteilung	Verteilung	Verteilung
		[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[1/m²]	[TR]
0	A	B	C	D	E	F	G
1	Bodenplatte	1.070	1.150	1.231	1.150		
2	Stützen	3.441	3.700	3.959	3.700		
3	Wände	75.330	81.000	86.670	81.000		
4	Decken	27.900	30.000	32.100	30.000		
5	Balken, Träger	5.952	6.400	6.848	6.400		
6	Sonstige Platten	1.581	1.700	1.819	1.700		
7	Treppen	465	500	535	500		
8	Brüstungen	2.604	2.800	2.996	2.800		
9	**Summe**				**127.250**	**0,00110**	**139,98**

Tab. 10-32 Berechnung der Anzahl an Transporten – Schalung

Die Anzahl der Transporte ergibt sich somit für die Schalung, die Bewehrung und den Beton jeweils als Histogramm. Die größte Anzahl an Transporten wird dabei durch die Betontransporte verursacht. Die geringsten Transporte sind für die Schalung erforderlich. Dies begründet sich dadurch, dass die Schalung mehrfach eingesetzt wird und damit nur die Vorhaltemenge des Schalungsgeräts auf die Baustelle zu transportieren ist.

Lfd. Nr.	Bauteile	Bewehrungsmenge				Transport-grad	Anzahl der Transporte – Bewehrung
		MIN	ERW	MAX	Verteilung	Verteilung	Verteilung
		[t]	[t]	[t]	[t]	[1/t]	[TR]
0	A	B	C	D	E	F	G
1	Bodenplatte	1.395	1.500	1.620	1.500		
2	Stützen	112	120	130	120		
3	Wände	1.395	1.500	1.620	1.500		
4	Decken	1.349	1.450	1.566	1.450		
5	Balken, Träger	151	162	175	162		
6	Sonstige Platten	93	100	108	100		
7	Treppen	19	20	22	20		
8	Brüstungen	74	80	86	80		
9	**Summe**				**4.932**	**0,08500**	**419,22**

Tab. 10-33 Berechnung der Anzahl an Transporten – Bewehrung

Aufgrund der großen Anzahl der Transporte für den Beton ist auch bei jenen Bauteilen, die die größten Anteile an der Gesamtbetonmenge aufweisen (Wände, Decken und die Bodenplatte) im Zuge der Ausführung eine erhöhte Transportdichte zu erwarten. Besonders bei der Bodenplatte, die einen zusammenhängenden Bauteil darstellt (im Gegensatz zu einzelnen Wänden oder Decken), ist mit einer Spitzentransportanzahl zu rechnen. Hier ist eine große Menge an Beton in entsprechend kurzer Zeit (bedingt durch betontechnologische Randbedingungen) auf die Baustelle zu liefern. Die Transportdichte wird bei diesem Bauteil besonders groß sein.

Eine detailliertere Analyse ist zu empfehlen. Für eine solche detaillierte Betrachtung der Transportdichte ist sowohl die Art der Fertigung (Fertigungsabschnitte oder monolithische Herstellung) als auch die Zeit für den Betoniervorgang bzw. die Betoniervorgänge zu ermitteln.

Lfd. Nr.	Bauteile	Betonmenge				Transport-grad	Anzahl der Transporte – Beton
		MIN	ERW	MAX	Verteilung	Verteilung	Verteilung
		[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[1/m³]	[TR]
0	A	B	C	D	E	F	G
1	Bodenplatte	9.024	9.600	10.272	9.600		
2	Stützen	376	400	428	400		
3	Wände	14.570	15.500	16.585	15.500		
4	Decken	9.776	10.400	11.128	10.400		
5	Balken, Träger	1.297	1.380	1.477	1.380		
6	Sonstige Platten	376	400	428	400		
7	Treppen	85	90	96	90		
8	Brüstungen	475	505	540	505		
9	**Summe**				**38.275**	**0,13000**	**4.975,75**

Tab. 10-34 Berechnung der Anzahl an Transporten – Beton

In Abb. 10-80 sind die drei Histogramme für die Anzahl der Transporte für die Schalung (oben), die Bewehrung (Mitte) und den Beton (unten) dargestellt. Beim Vergleich der Histogramme ist darauf zu achten, dass sich die Skalierungen der Abszissen (und der Ordinaten) wesentlich voneinander unterscheiden.

Die Histogramme stellen durchwegs linksschiefe (rechtssteile) Verteilungen dar. Dies ist auf die Wahl der Verteilungen für die Transportgrade zurückzuführen. Es wurde demnach in der Modellbildung angenommen, dass eher wenige Mengeneinheiten je Transport geliefert werden können.

Der Mittelwert der Transporte für die Schalung liegt bei ca. 135 Transporten. Die Standardabweichung beträgt ca. 11 Transporte. Die Spannweite (Minimum und Maximum) der Transportanzahl liegt zwischen ca. 102 und 165 Transporten.

Für die Bewehrung ergibt sich grundsätzlich eine größere Transportanzahl als für die Schalung. Der Mittelwert beträgt ca. 388 Transporte. Mit 90 %iger Wahrscheinlichkeit liegt die Anzahl der Transporte zwischen ca. 293 und 466 Transporten.

Der mit Abstand größte Anteil der Transporte an der Gesamtanzahl ergibt sich bei den Stahlbetonarbeiten für die Betonlieferungen. Diese weisen einen Mittelwert von ca. 4.480 und eine Standardabweichung von ca. 508 Transporten auf.

Kann im Zuge der Arbeitsvorbereitung bereits ein Lieferwerk für die Versorgung der Baustelle festgelegt werden, und sind die Ladevolumen der einzelnen Fahrmischer bekannt, ist es möglich diesen Transportgrad als deterministischen Wert oder zumindest in einer engeren Bandbreite anzugeben. Damit würde die Anzahl der Transporte hauptsächlich durch die Unsicherheiten in den Betonmengen bestimmt werden.

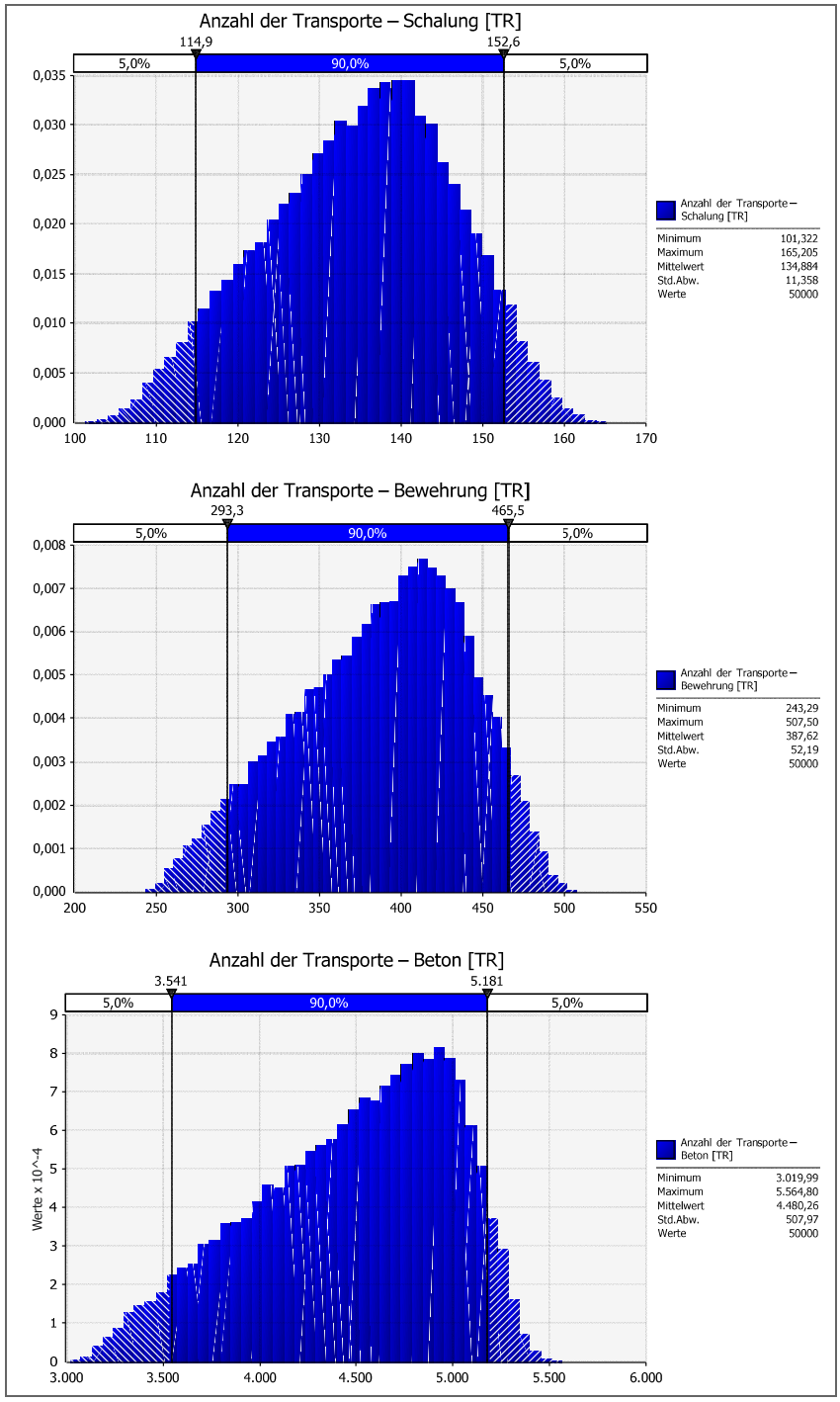


Abb. 10-80 Histogramme für die Anzahl der Transporte – Schalung, Bewehrung und Beton

Durch die Summenbildung der Transporte ergibt sich die Gesamtanzahl der Transporte in Abb. 10-81 als Histogramm. Die Form des Histogramms wird dabei durch die Anzahl der Betonlieferungen dominiert, da diese den größten Anteil an der Gesamtanzahl aufweisen. Insgesamt ist im Mittel mit etwa 5.003 Transporten für die Stahlbetonarbeiten über die gesamte Bauzeit zu rechnen. Das X_5-Quantil liegt bei ca. 4.062 und das X_{95}-Quantil bei ca. 5.709 Transporten.

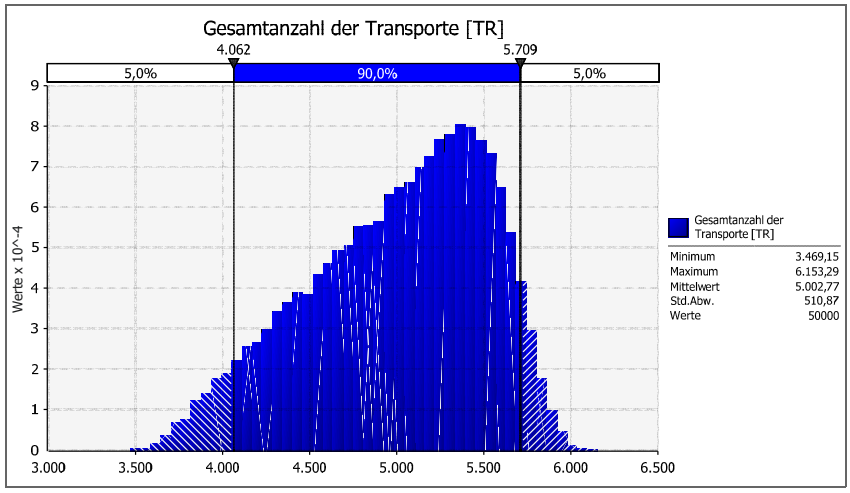


Abb. 10-81 Histogramm für die Gesamtanzahl der Transporte

Wird die Gesamtanzahl der Transporte durch die vorgegebene Bauzeit von 400 d (deterministischer Wert) dividiert, ergibt sich die mittlere Transportdichte pro Tag – als Histogramm in Abb. 10-82 abgebildet. Die mittlere Transportdichte ist als Durchschnittsbetrachtung über die gesamte Bauzeit aufzufassen. Demnach ist über die gesamten 400 d durchschnittlich mit ca. 9 bis 15 Transporten pro Tag zu rechnen.

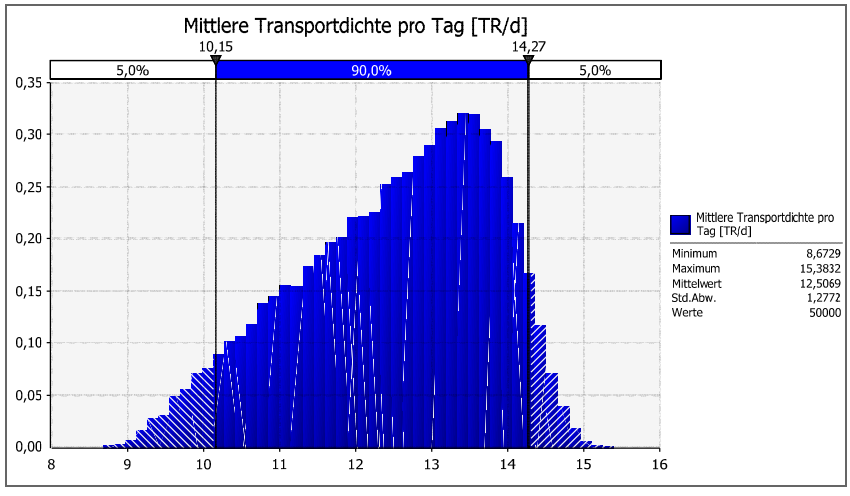


Abb. 10-82 Histogramm für die mittlere Transportdichte pro Tag

Für die Hauptbauzeit (maximaler Ressourceneinsatz) erhöht sich in der Regel der Bedarf an Materialien auf der Baustelle. Dementsprechend ist in dieser Phase der Realisierung auch mit einer Erhöhung der Transportdichte zu rechnen. Die Berechnung der maximalen Transportdichte pro Tag ergibt sich aus der Division der mittleren Transportdichte durch den Anteil der Hauptbauzeit (angesetzt als Dreiecksverteilung: 0,75 | 0,80 | 0,85). Das Histogramm für die maximale Transportdichte ist in Abb. 10-83 dargestellt.

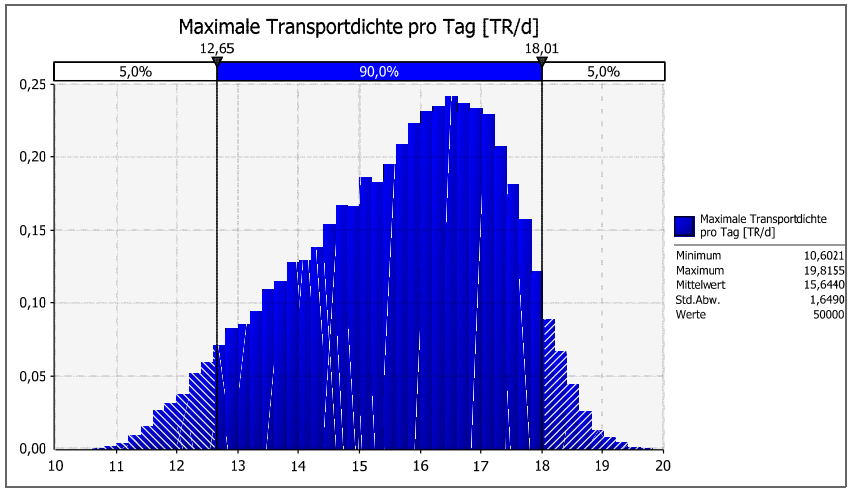


Abb. 10-83 Histogramm für die maximale Transportdichte pro Tag

In der Hauptbauzeit sind demnach 11 bis 20 Transporte pro Tag zu erwarten. Im Mittel werden ca. 16 Transporte pro Tag erwartet. Bei einer täglichen Arbeitszeit von 8 h/d entspricht dies einer Frequenz von ca. zwei Transporten je Stunde.

10.4.1.5 Nutzen für den AN

Die probabilistische Berechnung der Transportanzahl liefert Bandbreiten über die zu erwartende Gesamtanzahl der Transporte sowie – in Abhängigkeit der Bauzeit – über die zu erwartende Transportdichte. Den größten Anteil an der Gesamtanzahl der Transporte weisen bei den Stahlbetonarbeiten in der Regel die Betonlieferungen auf. Werden einzelne Bauteile (z.B. Bodenplatte) oder Fertigungsabschnitte mit einem großen Lieferbetonbedarf in kurzer Zeit hergestellt, empfiehlt sich für diese Bereiche bzw. Bauteile eine detailliertere Betrachtung. Die Systematik einer solchen Detailbetrachtung entspricht dabei der gezeigten Vorgehensweise für das Beispiel.

Die errechneten Transportintervalle (mittlere und maximale) sind als direkte quantitative Anforderungen für die Logistikplanung aufzufassen. Die ermittelte Transportdichte kann durch Einbeziehung der täglichen Arbeitszeit direkt in ein erforderliches Transportintervall [TR/h] übergeführt werden.

Ist das erwartete Transportintervall nicht einzuhalten, ist entweder mit einer Erhöhung der täglichen Arbeitszeit oder mit der Verlängerung der Ausführungszeiten zu rechnen.

Bei besonders kurzen Transportintervallen sind Zeitfenster (‚Time-Slots') für die Anlieferungen zu vergeben bzw. Wartezonen im Umkreis der Baustelle zu installieren. Von diesen Wartezonen können die einzelnen Transporte dann in weiterer Folge auf die Baustelle

bestellt werden, um die Be- und Entladevorgänge besser koordinieren zu können. Die Gefahr, dass Zufahrten zur Baustelle und/oder Entlade- bzw. Lagerplätze mit wartenden LKWs blockiert werden, kann damit reduziert werden.

10.4.2 Abstimmung von Geräteketten

Nicht nur bei arbeitsintensiven Tätigkeiten (z.B. Stahlbetonarbeiten) ist eine Kombination der Produktionsfaktoren entscheidend, um die größtmögliche Produktivität und damit die geringsten Kosten zu erzielen. Auch bei geräteintensiven Arbeiten hängt die erzielbare Leistung von der Kombination der Produktionsfaktoren ab. Nur wenn die Gerätekette optimal aufeinander abgestimmt ist, können die vorgegebenen Leistungswerte sowie die damit in Zusammenhang stehenden Projektziele erreicht werden.

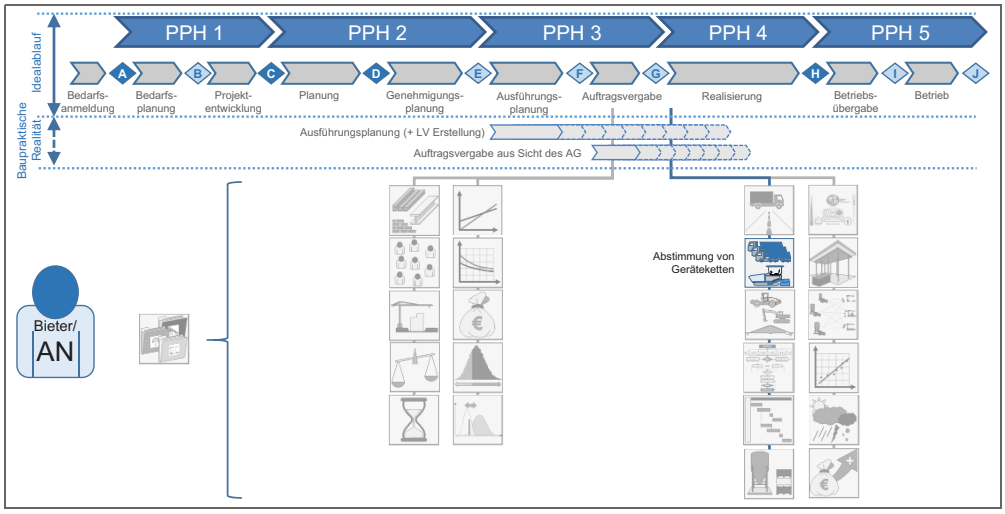


Abb. 10-84 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

Im Anwendungsbeispiel wird die Abstimmung der Gerätekette für die Asphaltfertigung gezeigt. Diese ist der PPH 4 zuzuordnen (siehe Abb. 10-84). Konkret werden die Leistung des Asphaltfertigers und die Transportleistung der LKW-Flotte miteinander verglichen und der vorgegebenen Bauzeit gegenübergestellt. Damit wird auch die ‚Engpassleistung' ermittelt, die in weiterer Folge die kürzest mögliche Bauzeit bestimmt.

10.4.2.1 Grundlagen

Für die Herstellung einer Asphaltdeckschicht wird ein Raupenfertiger eingesetzt. Die Versorgung mit Asphalt erfolgt über Kipplaster, die an den Asphaltfertiger andocken können und während des laufenden Betriebs entleert werden (siehe schematischer Ablauf in Abb. 10-85). Ist kein bzw. zu wenig Material vorhanden, kann der Fertiger seine Leistung nicht in vollem Umfang erbringen.

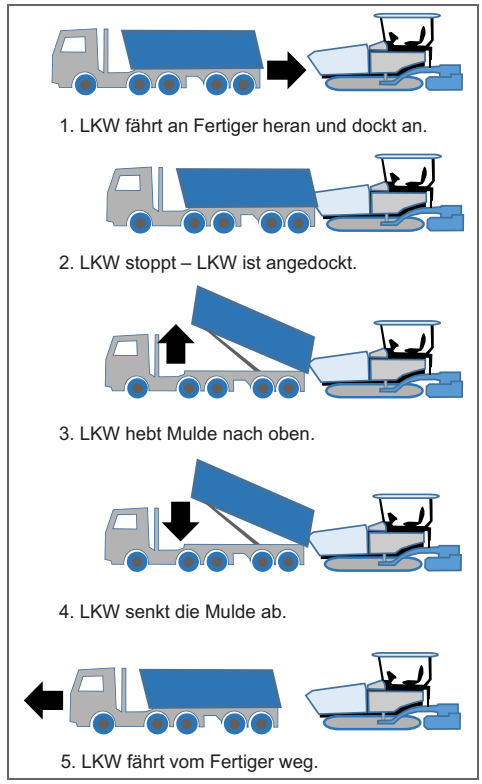


Abb. 10-85 Schematischer Beschickungsvorgang mittels Kipplaster[49)]

Für die Herstellung der Asphaltdeckschicht sind im Wesentlichen vier unterschiedliche Leistungen maßgebend:

- Leistung des Raupenfertigers
- Leistung der LKW-Flotte
- Leistung des LKW-Spiels (direkt beim Fertiger)
- Leistung des Mischwerks zur Herstellung des Asphalts

Für das Beispiel wird angenommen, dass die Versorgung durch das Mischwerk ausreichend und damit nicht kritisch für die Erzielung der Gesamtleistung der Gerätekette ist. Ebenso wird das LKW-Spiel für den Wechsel zwischen entleerten und beladenen Kippern direkt beim Asphaltfertiger als nicht kritisch angenommen.[50)]

Verglichen werden für dieses Beispiel daher lediglich die Leistung der LKW-Flotte sowie die Leistung des Fertigers. Erst durch eine lückenlos funktionierende LKW-Kette ist die Voraussetzung gegeben, dass der Fertiger seine technische Nutzleistung erbringen kann.

[49)] Vgl. Joseph Vögele AG – Produktdatenblatt – Vögele Raupenfertiger SUPER 1900-3i – Highway Class

[50)] Für eine tiefgehende Betrachtung können auch diese beiden Leistungen im Detail untersucht und den anderen Leistungen gegenübergestellt werden.

10.4.2.2 Aufgabenstellung

Herzustellen ist eine dreischichtige Asphaltdecke mit einer erwarteten Breite von 9,50 m und einer erwarteten Gesamtschichtdicke von 18,5 cm. Die Länge des Fertigungsabschnitts beträgt 10 km. Die Bauzeit für die Herstellung der Asphaltdecke wurde mit 25 d angesetzt. Die Randbedingungen zur Herstellung sind in Tab. 10-35 als deterministische Werte eingetragen.

Auf Basis der Abmessungen der Asphaltdecke wird das Asphaltvolumen (Zeile 4 – Tab. 10-35) und die Asphaltmasse (Zeile 6) errechnet. Über die geplante Bauzeit (Zeile 7) kann die erforderliche Leistung pro Tag (Zeile 8) errechnet werden (1.722,35 t/d = 43.058,75 t / 25 d). Nach Einbeziehung der täglichen Arbeitszeit (Zeile 9) errechnet sich die erforderliche stündliche Leistung mit 172,24 t/h (= 1.722,35 t/d / 10,00 h/d).

Die durchschnittliche erforderliche Leistung je Arbeitstag bzw. je Arbeitsstunde ist daher von der einzubauenden Asphaltmenge, der vorgegebenen Bauzeit und der effektiven täglichen Arbeitszeit[51)] abhängig.

Lfd. Nr.	Parameter	Wert
0	A	B
1	Breite der Asphaltstrecke	9,50 m
2	Asphaltschichtdicke (alle 3 Schichten)	0,185 m
3	Länge des Fertigungsabschnitts	10.000,00 m
4	Asphaltvolumen	17.575,00 m³
5	Dichte von Asphalt	2,45 t/m³
6	Asphaltmasse	43.058,75 t
7	Geplante Bauzeit	25,00 d
8	Erforderliche Leistung pro Tag	1.722,35 t/d
9	Tägliche Arbeitszeit	10,00 h/d
10	**Erforderliche stündliche Leistung**	**172,24 t/h**

Tab. 10-35 Berechnungstabelle – Erforderliche Leistung

Wird die deterministische Berechnung mit unterschiedlichen Eingangswerten durchgeführt, können die Ergebnisse als Kurven in einem Diagramm dargestellt werden (siehe Abb. 10-86). Auf der Abszisse ist die vorgegebene (geplante) Bauzeit in Tagen und auf der Ordinate die erforderliche Leistung in [t/h] aufgetragen. Die erforderlichen Leistungen in Abhängigkeit der Bauzeit und der täglichen Arbeitszeit sind außerdem in Tab. 10-36 aufgelistet.

51) Hier ist bei der LKW-Kette zu berücksichtigen, dass sich die Bestimmungen zur Lenkzeit evtl. auf die technische Nutzleistung auswirken.

Lfd. Nr.	Geplante Bauzeit	Erforderliche Leistung je Stunde				
		Tägliche Arbeitszeit				
	[d]	8 h/d	9 h/d	10 h/d	11 h/d	12 h/d
0	A	B	C	D	E	F
1	15	358,82	318,95	287,06	260,96	239,22
2	16	336,40	299,02	269,12	244,65	224,26
3	17	316,61	281,43	253,29	230,26	211,07
4	18	299,02	265,79	239,22	217,47	199,35
5	19	283,28	251,81	226,63	206,02	188,85
6	20	269,12	239,22	215,29	195,72	179,41
7	21	256,30	227,82	205,04	186,40	170,87
8	22	244,65	217,47	195,72	177,93	163,10
9	23	234,01	208,01	187,21	170,19	156,01
10	24	224,26	199,35	179,41	163,10	149,51
11	25	215,29	191,37	172,24	156,58	143,53
12	26	207,01	184,01	165,61	150,56	138,01
13	27	199,35	177,20	159,48	144,98	132,90
14	28	192,23	170,87	153,78	139,80	128,15
15	29	185,60	164,98	148,48	134,98	123,73
16	30	179,41	159,48	143,53	130,48	119,61
17	31	173,62	154,33	138,90	126,27	115,75
18	32	168,20	149,51	134,56	122,33	112,13
19	33	163,10	144,98	130,48	118,62	108,73
20	34	158,30	140,71	126,64	115,13	105,54
21	35	153,78	136,69	123,03	111,84	102,52

Tab. 10-36 Erforderliche Leistung je Stunde in Abhängigkeit der täglichen Arbeitszeit und der geplanten Bauzeit

Die Kurven geben den Zusammenhang dieser beiden Größen wieder, wobei jede Kurve für eine andere effektive tägliche Arbeitszeit (von 8 h/d bis 12 h/d) steht. Für die Berechnung wurde die Asphaltmasse mit 43.058,75 t konstant gehalten. Die ca. 43.000 t Asphalt entsprechen der gesamten Menge für die drei Schichten einer Richtungsfahrbahn (Autobahn) ohne Berücksichtigung des Mittelstreifens und der Rampen.

Sollen die Arbeiten beispielsweise in 16 Tagen abgeschlossen sein und ist eine tägliche Arbeitszeit von 10 h/d vorgesehen, müsste eine stündliche Leistung von ca. 269 t/h erreicht werden. Hingegen wäre bei der gleichen täglichen Arbeitszeit und einer angestrebten Bauzeit von 25 d ‚nur' eine Leistung von ca. 172,2 t/h erforderlich.

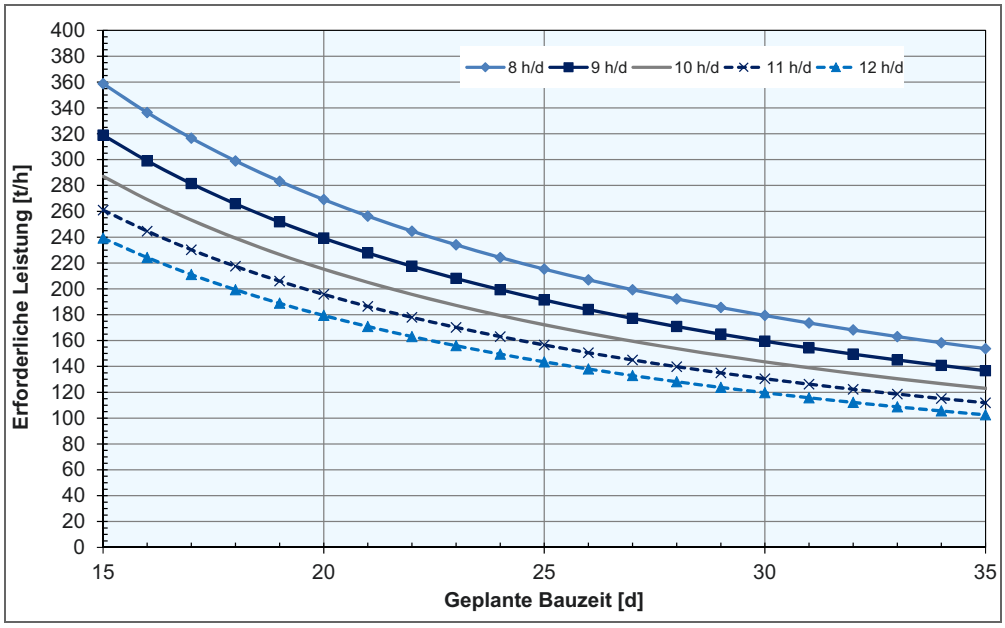


Abb. 10-86 Zusammenhang – Geplante Bauzeit, tägliche Arbeitszeit und erforderliche stündliche Leistung

Allein mit der deterministischen Berechnung kann keine Antwort auf die Frage gefunden werden, ob das Risiko eine bestimmte Bauzeit einzuhalten, für den AN tragbar ist oder nicht. Außerdem gibt die deterministische Berechnung keinen Aufschluss darüber, ob die Leistung des Fertigers bzw. der LKW-Flotte für die angestrebte Bauzeit ausreichend ist.

10.4.2.3 Modellierung

Im Zuge der Modellierung werden die Eingangsparameter und Berechnungsgleichungen für die Berechnung der Leistung des Raupenfertigers sowie der Transportleistung (LKW-Flotte) dargestellt und erläutert.

Für die probabilistischen Berechnungen werden die Einbaubreite der Richtungsfahrbahn sowie die Einbaustärke der Asphaltdecke jeweils als Dreiecksverteilung angesetzt, um Unsicherheiten in der Trassierung und des Unterbaus in der Simulation zu berücksichtigen.

Leistung des Raupenfertigers – Betrachtung des gesamten Asphaltaufbaus

Leistungswerte für Raupenfertiger, die von den jeweiligen Herstellern stammen, dürfen nicht unreflektiert übernommen werden, da nicht bekannt ist, unter welchen Bedingungen diese Leistungen ermittelt worden sind (ideale Bedingungen und größtmögliche Einbaudicke etc.). Es handelt sich dabei um theoretische Werte, die unter baupraktischen Bedingungen schwer erreichbar sind. Für den gegenständlichen Fall wird zunächst die technische Grundleistung und dann die technische Nutzleistung des Asphaltfertigers probabilistisch ermittelt.

Die technische Grundleistung Q_T [t/h] errechnet sich mit nachstehender Gleichung:[52)]

$$Q_T = 60 \cdot v_E \cdot b \cdot d \cdot f_Z \cdot \rho \quad (10\text{-}22)$$

Mit:

v_E Einbaugeschwindigkeit (durchschnittlich 4-6 m/min; maximal 16-20 m/min)

b Einbaubreite [m]

d Einbaustärke [m]

f_Z Zeiteinsatzfaktor (0,83-0,92)

ρ Dichte des eingebauten Asphalts (2,3-2,6 t/m³)

Die technische Nutzleistung Q_N [t/h] ergibt sich aus der technischen Grundleistung Q_T, abgemindert um einen Baustellenfaktor f_{E1} [-] und einen Betriebsfaktor f_{E2} [-] nach Glg. (10-23).[53)]

$$Q_N = Q_T \cdot f_{E1} \cdot f_{E2} \quad (10\text{-}23)$$

Mit:

f_{E1} Baustellenfaktor (0,5-1,0)

f_{E2} Betriebsfaktor (siehe Tab. 10-37)

Arbeitsvorbereitung Alter und Zustand der Maschine	Qualität und Einsatzfreude der Maschinisten			
	sehr gut	gut	mittel	schlecht
sehr gut	1,00	0,90	0,80	0,70
gut	0,90	0,81	0,72	0,63
mittel	0,80	0,72	0,64	0,56
schlecht	0,70	0,63	0,56	0,49

Tab. 10-37 Betriebsfaktor[54)]

Der schematische Berechnungsablauf für die Ermittlung der technischen Nutzleistung des Asphaltfertigers ist in Abb. 10-87 dargestellt. Qualitativ sind auch die Inputparameter mit ihrer Ausprägung (Dreiecksverteilung oder deterministischer Wert) in der Grafik dargestellt.

52) Vgl. Scheuer (1997), S. 5.8ff.

53) Vgl. ebd.

54) Jurecka (1975), S. 109

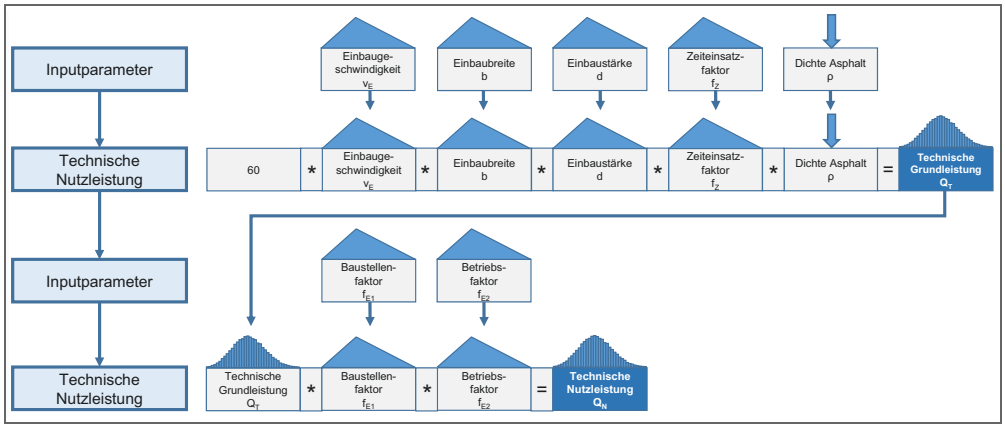


Abb. 10-87 Schematischer Berechnungsablauf – Technische Nutzleistung des Asphaltfertigers

Leistung der LKW-Flotte – Transportleistung

Um die Transportleistung der LKW-Flotte errechnen zu können, wird zunächst die Transportleistung für einen LKW ermittelt und dann auf die gesamte Flotte hochgerechnet. Dazu werden die Zeit am Gelände des Mischwerks (Beladen), die reine Fahrtzeit (Transport) und die Dauer für das Entladen erhoben und aufaddiert. Wird diese Zeit auf die Lademenge des LKWs bezogen, ergibt sich die durchschnittliche Transportleistung je LKW [t/h]. Durch Multiplikation mit der Gesamtanzahl der LKWs errechnet sich in weiterer Folge die stündliche Transportleistung [t/h] für die gesamte Flotte.

In Abb. 10-88 ist der schematische Verlauf der Berechnung inkl. der qualitativ dargestellten Inputs und Outputs abgebildet.

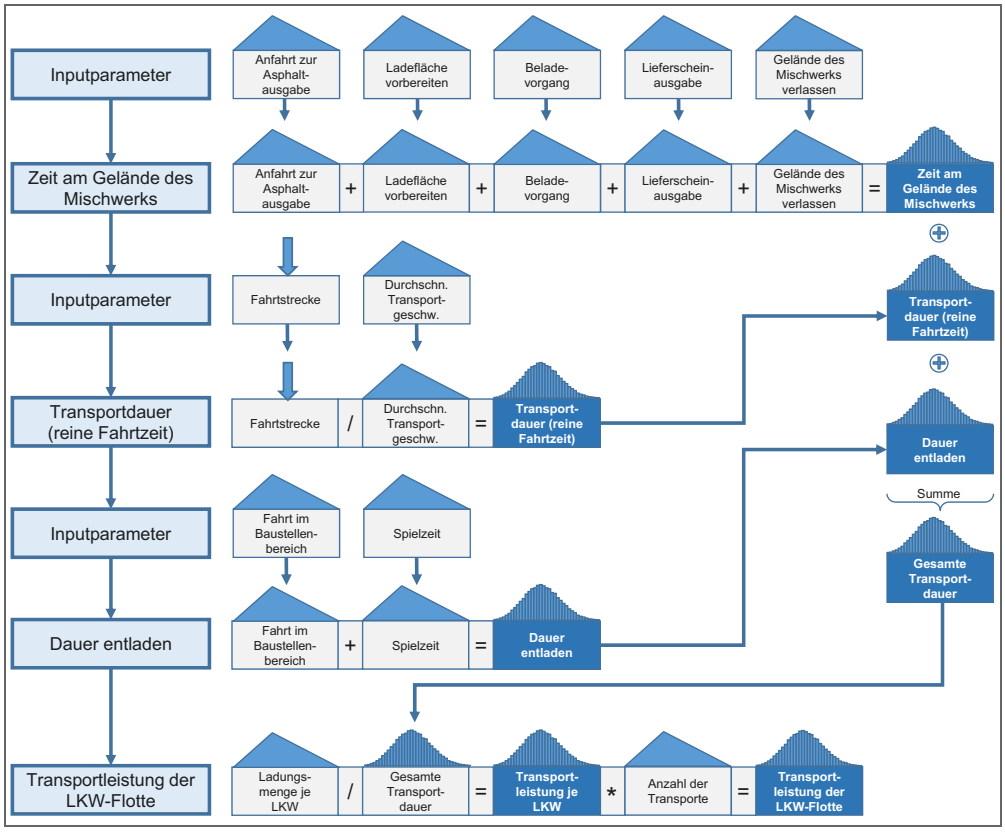


Abb. 10-88 Schematischer Berechnungsablauf – Transportleistung der LKW-Flotte

10.4.2.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Nachfolgend werden die Berechnungstabellen für die Ermittlung der Leistungen des Raupenfertigers und der LKW-Flotte angeführt und die Simulationsergebnisse in der Form von Histogrammen dargestellt und interpretiert.

Leistung des Raupenfertigers – Betrachtung des gesamten Asphaltaufbaus

Für die Berechnung der technischen Nutzleistung des Asphaltfertigers werden die entsprechenden Berechnungsparameter in Glg. (10-22) und Glg. (10-23) eingesetzt. Jene Parameter, die mit Unsicherheiten behaftet sind, fließen dabei mit Dreiecksverteilungen in die Simulation ein. In Tab. 10-38 sind die minimalen, erwarteten und maximalen Werte der unsicheren Parameter in den Spalten B, C und D enthalten. Die Verteilungen (bzw. der deterministische Wert für die Dichte des eingebauten Asphalts) sind in der Spalte E eingetragen.

Lfd. Nr.	Parameter	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Einbaubreite	9,400	9,500	9,600	9,500 m
2	Einbaustärke	0,180	0,185	0,190	0,185 m
3	Zeiteinsatzfaktor	0,830	0,875	0,920	0,875 -
4	Dichte des eingebauten Asphalts				2,450 t/m³
5	Durchschnittliche Einbaugeschwindigkeit	1,100	1,150	1,200	1,150 m/min
6	Technische Grundleistung				259,967 t/h
7	Baustellenfaktor	0,750	0,850	0,900	0,833 -
8	Betriebsfaktor	0,720	0,810	0,950	0,827 -
9	**Technische Nutzleistung**				**179,089 t/h**

Tab. 10-38 Berechnungstabelle – Leistung des Asphaltfertigers

Die technische Grundleistung Q_T [t/h] ergibt sich durch Einsetzen der Berechnungsparameter in Glg. (10-22) als Histogramm (siehe Abb. 10-89) bzw. in Zelle E6 der Tab. 10-38. Der Mittelwert der technischen Grundleistung liegt bei ca. 260 t/h und die Standardabweichung beträgt ca. 7,7 t/h.

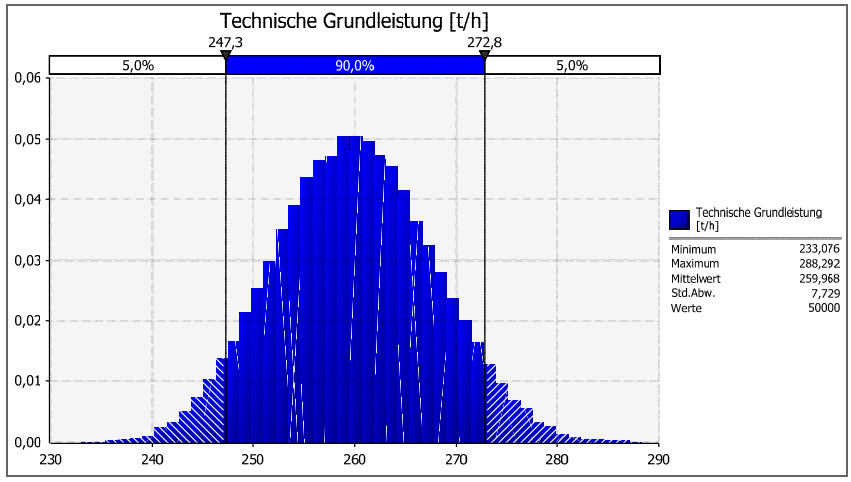


Abb. 10-89 Histogramm – Technische Grundleistung des Asphaltfertigers

Zur Ermittlung der technischen Nutzleistung Q_N [t/h] (Zelle E9 der Tab. 10-38) ist die technische Grundleistung in weiterer Folge um einen Baustellen- sowie einen Betriebsfaktor abzumindern. Beide Faktoren sind mit Unsicherheiten behaftet und werden daher als Dreiecksverteilungen in die Simulation einbezogen. Die Berechnung erfolgt durch Einsetzen in Glg. (10-23). Das Histogramm für die technische Nutzleistung Q_N [t/h] ist in Abb. 10-90 dargestellt. In 90 % der simulierten Fälle liegt diese zwischen ca. 158 und 202 t/h. Der Mittelwert beträgt ca. 179 t/h und die Standardabweichung ca. 13,4 t/h.

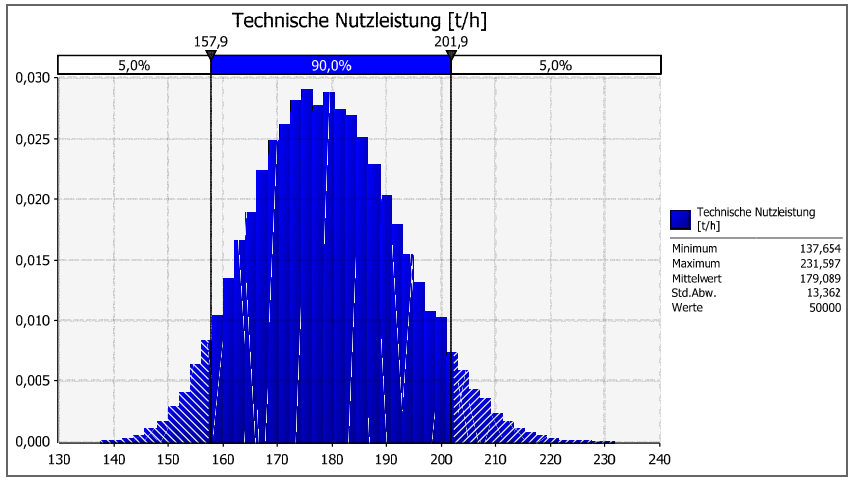


Abb. 10-90 Histogramm – Technische Nutzleistung des Asphaltfertigers

Das Histogramm der technischen Nutzleistung kann in weiterer Folge für den Vergleich mit der Transportleistung (LKW-Flotte) sowie mit der vorgegebenen Bauzeit herangezogen werden.

Leistung der LKW-Flotte – Transportleistung

Für die Berechnung der Transportleistung für die LKW-Flotte wird die gesamte Zeit von der Beladung bis zur Entladung aufsummiert (siehe Tab. 10-39). Diese Gesamtzeit setzt sich aus der Zeit am Gelände des Mischwerks (Zeilen 8 und 9), der reinen Fahrtzeit (berechnet für zwei Richtungen – Zeile 13) und der Zeit für den Entladevorgang (Zeile 16 und 17) zusammen. Diese drei Zeitanteile bestehen wiederum aus kleineren Zeitanteilen (z.B. für die Ladeflächenvorbereitung, die Prüfung der Ladung und des Fahrzeugs, Fahrt im Baustellenbereich), die als unsichere Parameter mit Dreiecksverteilungen modelliert werden. Die minimalen, erwarteten und maximalen Werte der Dreiecksverteilungen sind in den Spalten B, C und D der Tab. 10-39 ersichtlich. Die Verteilungen, deterministischen Inputwerte (Fahrtstrecke) sowie die Zwischen- und Endergebnisse der Berechnungen sind in der Spalte E der Tab. 10-39 eingetragen.

Wird die Ladungsmenge (definiert als Dreiecksverteilung in der Zeile 1 der Tab. 10-39) durch die gesamte Transportdauer eines LKWs (in Zelle E18) dividiert, ergibt sich die Transportleistung eines LKWs in der Zelle E19 als Histogramm (siehe Abb. 10-91).

Lfd. Nr.	Parameter	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Ladungsmenge	24,80	25,00	25,20	25,00 t/LKW
2	Anfahrt zur Asphaltausgabe	0,80	1,00	1,20	1,00 min
3	Ladefläche vorbereiten	0,80	1,00	1,20	1,00 min
4	Beladevorgang	8,00	8,50	9,00	8,50 min
5	Lieferscheinausgabe	2,50	3,00	3,50	3,00 min
6	Ladung und Fahrzeug prüfen	4,50	5,00	5,50	5,00 min
7	Gelände des Mischwerks verlassen	0,80	1,00	1,20	1,00 min
8	Zeit am Gelände des Mischwerks				19,50 min
9	**Zeit am Gelände des Mischwerks**				**0,33 h**
10	Entfernung				120,00 km
11	Gesamte Fahrtstrecke				240,00 km
12	Durchschnittliche Transportgeschwindigkeit	50,00	60,00	70,00	60,00 km/h
13	**Transportdauer (reine Fahrtzeit)**				**4,00 h**
14	Fahrt im Baustellenbereich	8,00	9,00	10,00	9,00 min
15	Spielzeit	8,00	8,50	9,00	8,50 min
16	Gesamte Dauer entladen				17,50 min
17	**Gesamte Dauer entladen**				**0,29 h**
18	Transportdauer (Beladen - Fahrtstrecke - Entladen - Rückfahrt)				4,62 h
19	**Transportleistung je LKW**				**5,42 t/h**
20	Anzahl der LKWs	35,00	40,00	45,00	40,00 -
21	**Transportleistung der LKW-Flotte**				**216,61 t/h**

Tab. 10-39 Berechnungstabelle – Transportleistung der LKW-Flotte

Die Transportleistung eines LKWs beträgt im Mittel ca. 5,41 t/h. Das Maximum beträgt nach 50.000 Iterationen ca. 6,22 t/h und das Minimum ca. 4,60 t/h. Das Histogramm für die Transportleistung eines LKWs entspricht annähernd einer Dreiecksverteilung, da die Ladungsmenge als Dreiecksverteilung mit einer relativ engen Bandbreite angenommen wurde. Diese Verteilung gestaltet sich daher in diesem Fall als bestimmend für die Form des Quotienten.

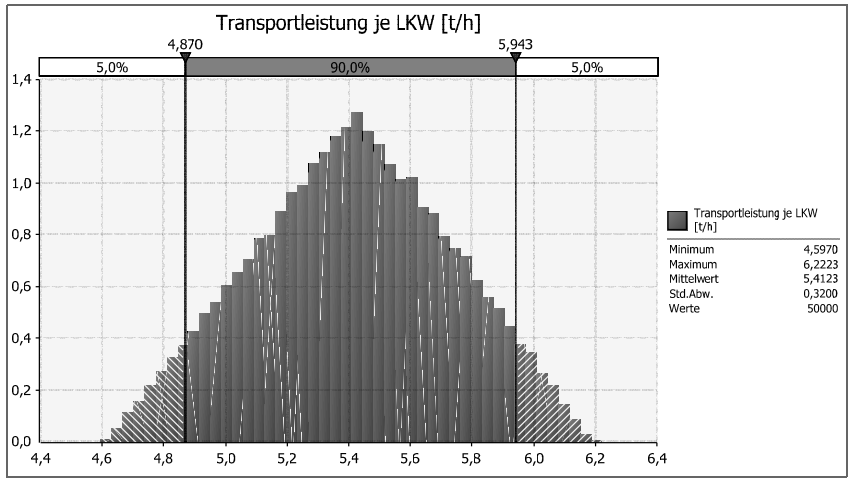


Abb. 10-91 Histogramm – Transportleistung eines LKWs

Zur Berechnung der Transportleistung für die gesamte LKW-Flotte (siehe Zeile 21 der Tab. 10-39) wird die Transportleistung eines LKWs (Zelle E19) mit der Anzahl an eingesetzten LKWs (Dreiecksverteilung – siehe Zeile 20) multipliziert. Die Transportleistung der Flotte [t/h] ergibt sich damit als Histogramm in Abb. 10-92.

Der Mittelwert beträgt ca. 216,49 t/h und die Standardabweichung ca. 16,94 t/h. In 90 % der Fälle wird eine Transportleistung etwa zwischen 189 und 245 t/h erzielt. Das Histogramm für die Transportleistung wird in weiterer Folge für den Vergleich mit der Leistung des Asphaltfertigers herangezogen.

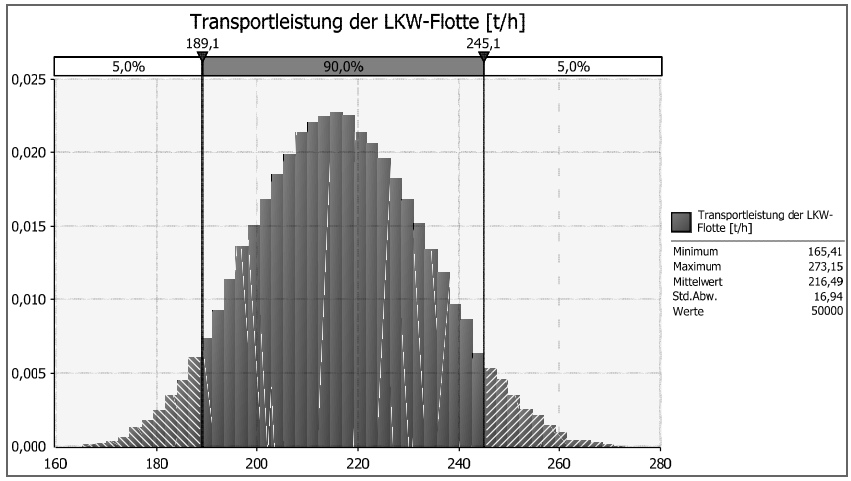


Abb. 10-92 Histogramm – Transportleistung der LKW-Flotte

Vergleich der Leistungen

Eine Gegenüberstellung der beiden Histogramme für die Leistung des Asphaltfertigers und der Transportleistung der LKW-Flotte zeigt, dass die Leistung der LKW-Flotte in den meisten Fällen über der Leistung des Asphaltfertigers liegt (siehe Abb. 10-93).

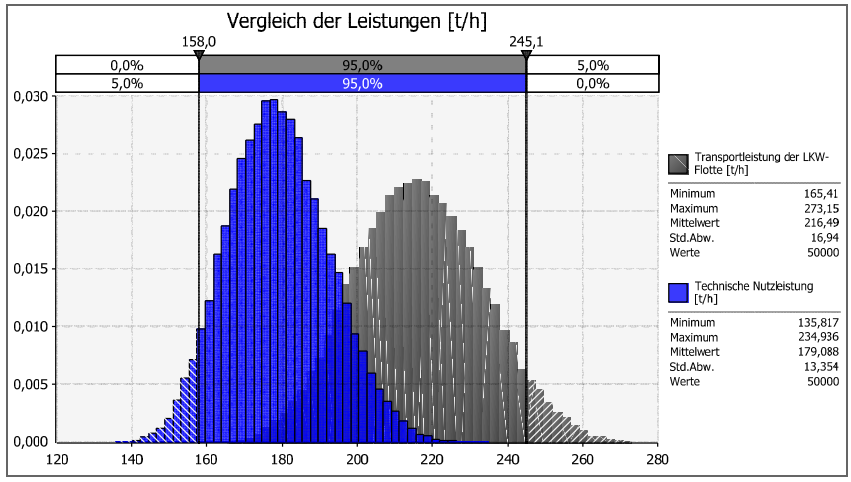


Abb. 10-93 Histogramme – Vergleich der Leistungen

Wird die Differenz der beiden Histogramme in Abb. 10-93 gebildet – wobei die Leistung des Fertigers von der Transportleistung der LKW-Flotte abgezogen wird – ergibt sich das Histogramm in Abb. 10-94. Es zeigt sich dabei, dass lediglich in 4,1 % der Fälle die

Transportleistung der LKW-Flotte geringer ist, als die Leistung des Fertigers. Es kann daher unter den definierten Randbedingungen angenommen werden, dass die Versorgung des Asphaltfertigers in mehr als 95 % der Fälle gegeben sein wird. Für die Einhaltung der vorgegebenen Bauzeit wird daher für das betrachtete Beispiel die Leistung des Asphaltfertigers als Engpassgerät maßgebend sein.

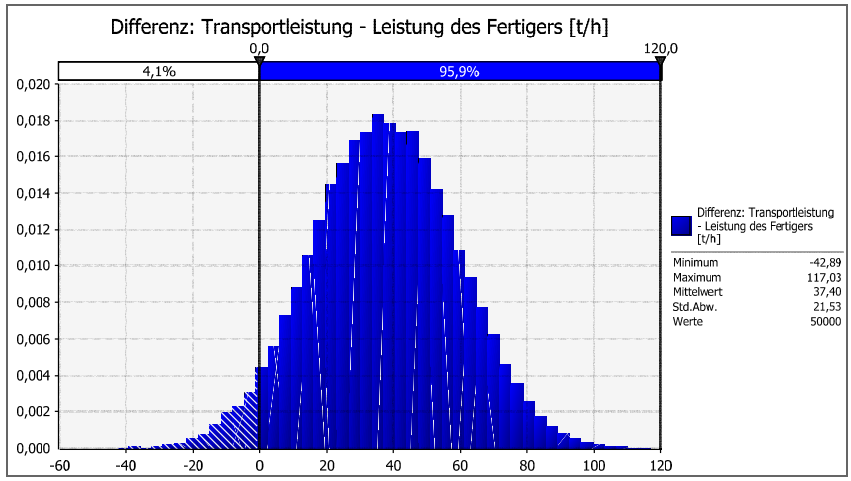


Abb. 10-94 Histogramm – Differenz der Leistungen

In weiterer Folge können die Chancen-Risikoverhältnisse für die Herstellung der Asphaltdecke untersucht werden. Soll die Asphaltdecke in 25 d und mit einer täglichen Arbeitszeit von 10 h/d hergestellt werden, ist eine tägliche Leistung von ca. 172,2 t/h erforderlich (siehe Zelle D11 in Tab. 10-36). Wird hingegen eine Fertigstellung in lediglich 20 d (bei gleicher täglicher Arbeitszeit) angestrebt, ist eine durchschnittliche Leistung von ca. 215,29 t/h (siehe Zelle D6 in Tab. 10-36) notwendig.

In Abb. 10-95 sind die beiden Histogramme für die Leistung des Asphaltfertigers und der Transportleistung der LKW-Flotte noch einmal gegenübergestellt. Am oberen Bildrand wurden jedoch die Gleitbegrenzer dermaßen verschoben, dass die beiden erforderlichen Leistungen für eine Bauzeit von 20 und 25 d (bei einer täglichen Arbeitszeit von 10 h/d) angezeigt werden. Demnach kann die mittlere Leistung für eine Bauzeit von 25 d in 31,8 % der Fälle vom Asphaltfertiger nicht erbracht werden. Die Transportleistung ist hingegen in 99,9 % Fälle dermaßen ausgelegt, dass eine Bauzeit von 25 d eingehalten werden kann.

Bei einer Bauzeit von lediglich 20 d liegen nur noch ca. 0,4 % der Leistungswerte des Asphaltfertigers über der erforderlichen Leistung von 215,29 t/h (tägliche Arbeitszeit = 10 h/d). Die LKW-Flotte könnte diese Leistung noch in ca. 52 % der Fälle erbringen bzw. übertreffen.

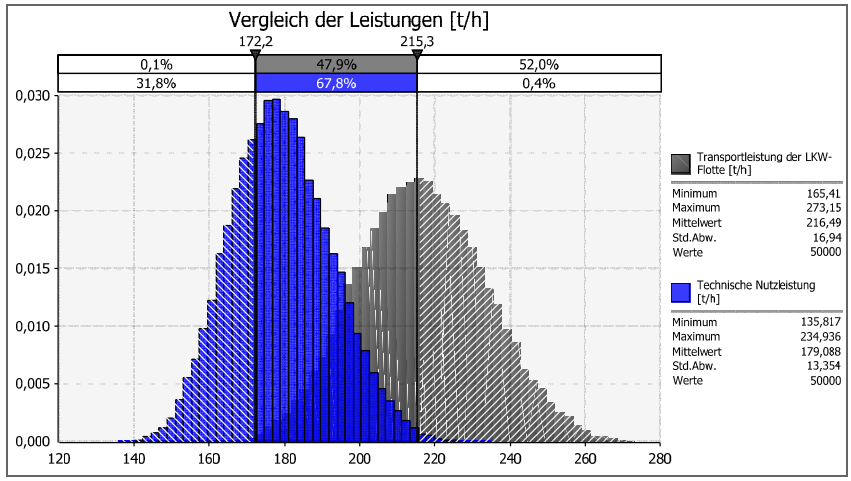


Abb. 10-95 Histogramme – Vergleich der Leistungen

10.4.2.5 Nutzen für den AN

Bei der Bewertung und Analyse von Geräteketten sind die Leistungen der Einzelkomponenten zu untersuchen und mit ihren jeweiligen Unsicherheiten in einem Berechnungsmodell abzubilden. Die Einzelleistungen müssen in weiterer Folge auf eine einheitliche Vergleichsbasis (für das gegenständliche Beispiel die Leistung in t/h) gebracht werden, um sie gegenüberstellen zu können.

Aus der probabilistischen Berechnung kann direkt jene Komponente analysiert werden, die als ‚Engpassgerät' die Leistung der gesamten Gerätekette bestimmt. Durch die Bildung von Differenzen der Leistungen kann auch eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit, dass eine Komponente eine geringere Leistung als eine andere erbringt, getroffen werden (siehe Abb. 10-94).

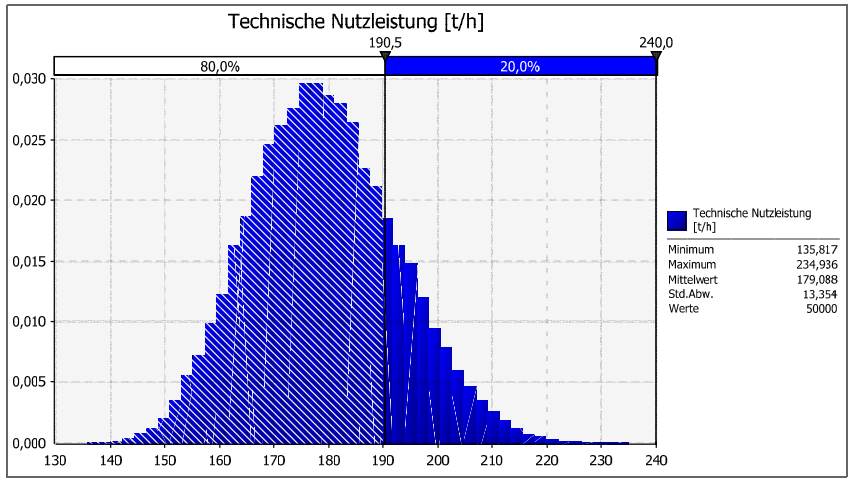


Abb. 10-96 Histogramm – Leistung des Asphaltfertigers – Chancen-Risikoverhältnis: 80 % zu 20 %

Die Ermittlung des Chancen-Risikoverhältnisses der Gerätekette hängt einerseits vom Engpassgerät und andererseits von der geplanten Bauzeit bzw. der täglichen Arbeitszeit ab.

Nachdem der Asphaltfertiger für das Beispiel als Engpassgerät identifiziert wurde, kann für das Histogramm der Leistung ein Chancen-Risikoverhältnis, das der AN bereit ist einzugehen, gewählt werden. Ist er z.B. bereit ein 20 %iges Risiko zu tragen, liegt die Grenzleistung des Asphaltfertigers bei ca. 190,5 t/h (siehe Abb. 10-96).

Wird dieser Grenzwert von 190,5 t/h als horizontale Linie in das Diagramm für die erforderliche Leistung eingetragen, können direkt all jene Kombinationen aus täglicher Arbeitszeit und geplanter Bauzeit identifiziert werden, bei denen die gewählte Grenzleistung kleiner oder gleich der erforderlichen Leistung ist (Chance). In jenen Fällen, in denen die Bauzeit zu kurz oder die tägliche Arbeitszeit zu gering wird und die erforderliche Leistung damit über dem Grenzwert von 190,5 t/h liegt, geht der AN ein höheres Risiko ein (siehe Abb. 10-97).

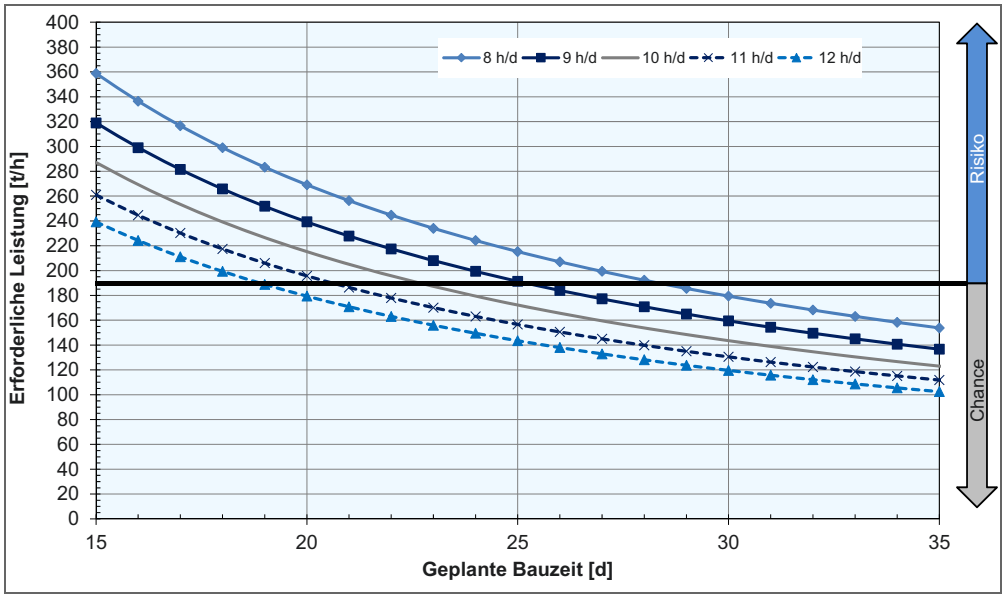


Abb. 10-97 Zusammenhang – Geplante Bauzeit, tägliche Arbeitszeit und erforderliche stündliche Leistung – Chance und Risiko

Fällt die Ausführung der Leistung z.B. in die Urlaubszeit (erhöhte Gefahr von Staus und anderen Baustellen auf der Strecke zwischen Mischwerk und Einbaustelle), kann vom AN ein höheres Sicherheitsniveau für die Transportleistung gefordert werden. Um dieses Sicherheitsniveau zu erreichen, können z.B. mehr LKWs für den Transport eingesetzt werden (neue Dreiecksverteilung: 45 | 50 | 55 LKWs). Durch die zusätzlichen Transporter verschiebt sich die Leistung der LKW-Flotte weiter nach rechts (siehe Abb. 10-98 im Vergleich zu Abb. 10-95). Durch die höhere Transportleistung kann es zwar zu Wartezeiten für die Kipplaster kommen, eine Unterversorgung des Engpassgeräts (Asphaltfertiger) kann dadurch jedoch nahezu ausgeschlossen werden.

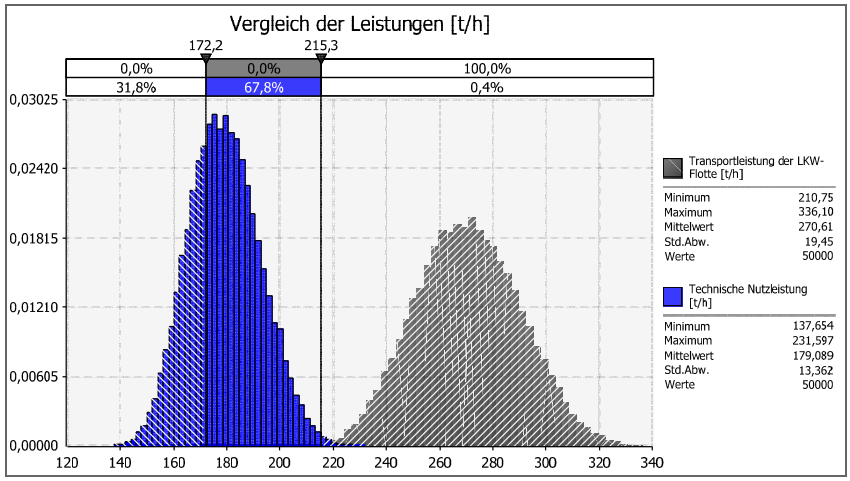


Abb. 10-98 Histogramme – Vergleich der Leistungen – Erhöhte Anzahl der Transporter

AN ziehen einen großen Nutzen aus probabilistischen Berechnungen für die Abstimmung von Geräteketten. Es können die Unsicherheiten jeder Einzelkomponente zunächst separat und dann vergleichend untersucht werden. Die Identifikation der Engpassleistung für die gesamte Gerätekette wird dadurch erleichtert und durch den Vergleich der Histogramme auch grafisch dargestellt. Die Beziehungen zwischen den Geräten können über Leistungsvergleiche (Differenzbildung) und die Angabe von Chancen-Risikoverhältnissen deutlich besser als bei deterministischen Betrachtungen analysiert werden.

Die gezeigte Systematik kann auch bereits in der PPH 3 im Zuge der Angebotserstellung bzw. Auftragsvergabe angewendet werden. Soll die Leistung beispielsweise nach dem Bestbieterprinzip vergeben werden und handelt es sich bei der Bauzeit um ein Bewertungskriterium, ist es mit der probabilistischen Berechnung möglich, angebotene kurze Bauzeiten zu plausibilisieren oder entsprechend zu widerlegen. Die anschauliche und nachvollziehbare Beurteilung erfolgt dabei anhand des jeweiligen Chancen-Risikoverhältnisses für die ermittelten Leistungswerte der Gerätekette.

10.4.3 Verdichtungsleistung im Erdbau

Die Ermittlung der Verdichtungsleistungen für die Herstellung eines Schüttdamms ist der Angebotsphase (PPH 3) bzw. der Realisierungsphase (PPH 4) zuzuordnen (siehe Abb. 10-99).

Es wird der geplante Bauablauf des AN zur Herstellung eines Schüttdamms beschrieben und anhand von schematischen Abläufen dargestellt. Weiters erfolgt die Berechnung der Leistungen für den Antransport des Schüttmaterials zur Einbaustelle, für das Verteilen und Vorverdichten des Materials mittels Bagger sowie für das Verdichten mittels Walze.

Die Leistungsberechnungen werden dabei unter Berücksichtigung der vorhandenen Unsicherheiten mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Jene Inputparameter, für die kein einzelner Zahlenwert festgelegt werden kann, werden als Dreiecksverteilungen modelliert und damit in die Simulationen integriert. Die schematischen Abläufe der Leistungsberechnungen werden jeweils als Ablaufdiagramme dargestellt.

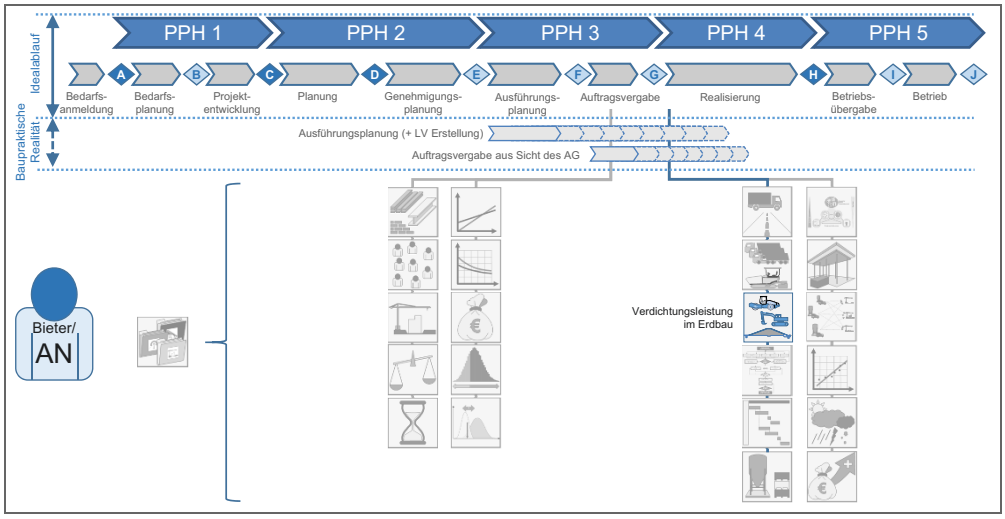


Abb. 10-99 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

Die Ergebnisse der Simulationen werden in Histogramme übergeführt, die es erlauben, für einzelne deterministische Zahlenwerte eine Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit anzugeben. Damit kann auch das Chancen-Risikoverhältnis, welches der AN mit seinem geplanten Ablauf eingegangen ist, dargestellt werden.

Für einen direkten Vergleich werden die Leistungen der Komponenten der Gerätekette in einem Diagramm dargestellt und interpretiert.

10.4.3.1 Aufgabenstellung

Der herzustellende Schüttdamm weist wasserseitig eine Böschungsneigung von 1 : 2,75 und luftseitig eine Böschungsneigung von 1 : 2,50 auf (siehe Abb. 10-100). Der Einbau erfolgt dabei lagenweise mit Schichtdicken bis max. 30 cm. Die Dammaußenseiten sind ca. 0,50 m breit zu überschütten. Nach Herstellung eines Dammabschnitts sind die Überbreiten profilgerecht wieder abzutragen.

Die Überschüttung ist dabei erst nach Abklingen der Setzungen im Untergrund abzutragen. Je nachdem, wie groß diese Setzungen ausfallen, wird mit dem Überschussmaterial der abgetragenen Überschüttung eine weitere Schicht der evtl. gesetzten Dammkrone aufgebracht und verdichtet. Diese Nacharbeiten befinden sich für die Herstellung nicht am kritischen Weg und werden daher in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

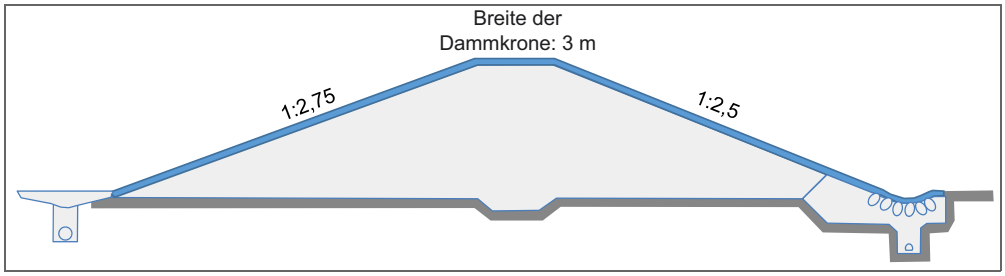


Abb. 10-100 Profil des Schüttdamms – Qualitative Darstellung

Die Länge des Schüttdamms beträgt ca. 870,0 m. Es ist insgesamt ein Bodenvolumen von ca. 51.000 m³ einzubauen. Damit ergibt sich je Dammlaufmeter eine einzubauende Menge des Schüttmaterials von ca. 58,62 m³/m (= 51.000 m³ / 870 m).

Für den Einbau des Schüttmaterials werden Erdbaumulden (für Material, welches vor Ort abgetragen wird) und 4-Achs-LKWs (für zusätzlich zugeliefertes Schüttmaterial) eingesetzt, die das Material direkt zur Einbaustelle transportieren und dort entsprechend großflächig verteilen.

Um eine möglichst gleichmäßige Belastung des Untergrunds gewährleisten zu können, erfolgt der Einbau des Schüttmaterials inkl. der Verdichtung über die gesamte Länge des Damms. Der schematische Ablauf der lagenweisen Herstellung des Damms ist in Abb. 10-101 dargestellt.

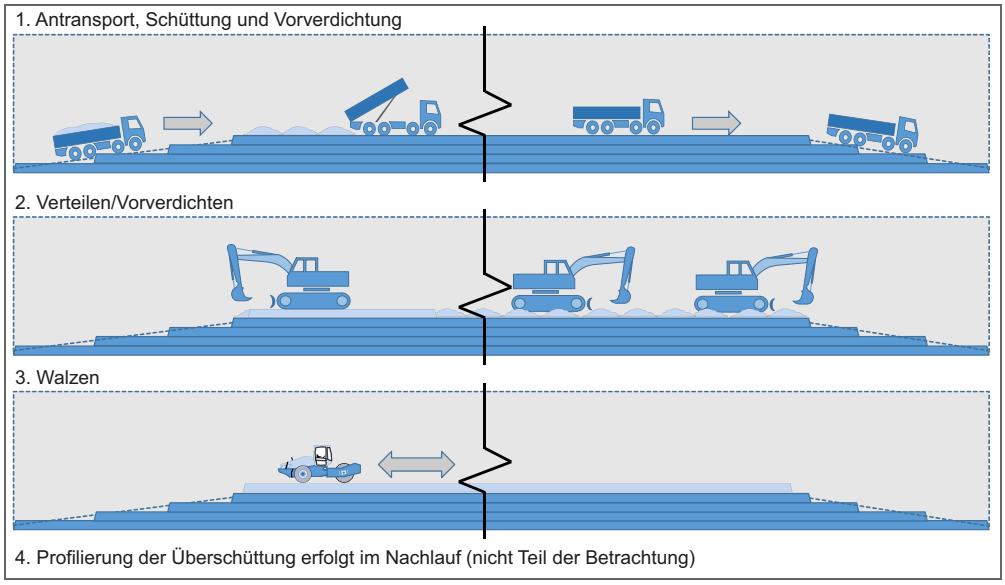


Abb. 10-101 Schematischer Ablauf der Herstellung des Schüttdamms

Zunächst erfolgt der Antransport des Schüttmaterials (entweder Material vor Ort oder zugeliefertes Schüttmaterial) mit LKWs bzw. Mulden über Rampen auf die jeweilige Höhe der nächsten einzubauenden Schicht. Diese fahren auf den Damm und kippen das Schüttmaterial möglichst gleichmäßig auf die vorherige, fertiggestellte Schicht auf, um

die nächste herzustellen. Es wird dabei ein ‚Einbahnbetrieb' vorgesehen, sodass die LKWs bzw. Mulden immer über das bereits geschüttete Material fahren müssen. Dadurch erfolgt bereits die erste Vorverdichtung und lokale Verteilung des Materials. Beim Abladen des Schüttmaterials ist auf eine möglichst flächige Verteilung zu achten. Einzelne große Haufen an Material sind zu vermeiden.

Nachdem der Antransport abgeschlossen und eine erste Vorverdichtung der neuen Schüttlage durch das Befahren mit LKWs bzw. Mulden erfolgt ist, wird das Schüttmaterial durch den Einsatz von drei Baggern weiter verteilt, um eine einheitliche Schichtdicke zu erreichen. Diese Schicht wird durch das Befahren mit den Baggern weiter vorverdichtet.

Für die Errichtung des Absperrdamms sind nur zwei Bagger direkt einkalkuliert. Ein dritter Bagger ist in den Gemeinkosten eingerechnet und wird für die gesamte Bauzeit vorgehalten.

Dieser dritte Bagger wird in der Zeit der Herstellung des Schüttdamms für die Aufrechterhaltung der Wege zum Damm und auf dem Damm eingesetzt. Sind die Schüttarbeiten mittels LKWs bzw. Mulden abgeschlossen, wird dieser Bagger zusammen mit den beiden anderen einkalkulierten Baggern für das Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials eingesetzt.

Im letzten Schritt erfolgt das Walzen der max. 30 cm dicken vorverdichteten Schicht des Schüttmaterials.

Die Profilierung des Damms wird im Nachlauf durchgeführt. Dabei wird die in der Herstellung geforderte Überschüttung (0,50 m auf jeder Seite des Damms) wieder abgetragen, sofern dies aufgrund von Setzungen überhaupt erforderlich ist. Kommt es zu Setzungen der Dammkrone, wird das abgetragene Überschüttungsmaterial an den betroffenen Stellen als zusätzliche Schicht auf der Dammkrone aufgetragen und verdichtet.

Der geplante zeitliche Ablauf für die Herstellung des Schüttdamms ist Abb. 10-102 zu entnehmen. Dabei ist ersichtlich, dass in den ersten acht Stunden pro Tag der Antransport, das Schütten sowie die erste Vorverdichtung des Schüttmaterials erfolgt. Danach werden die Verteilung sowie die weitere Vorverdichtung des Materials mit den drei eingesetzten Baggern durchgeführt. In einem letzten Verdichtungsschritt wird die neu aufgebrachte Schicht schließlich gewalzt.

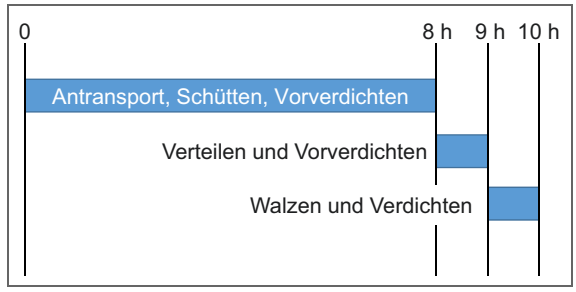


Abb. 10-102 Zeitlicher Ablauf der Herstellung des Schüttdamms – Darstellung eines durchschnittlichen Arbeitstags

10.4.3.2 Modellierung

Nachfolgend werden die Berechnungsmodelle zur Ermittlung der Leistungen für die Anlieferung des Schüttmaterials, für das lagenweise Verteilen und Vorverdichten des

Schüttmaterials (mittels Bagger) sowie für das Walzen getrennt voneinander dargestellt. Die Leistungsberechnungen der Bagger sowie der Walze beziehen sich dabei auf die Transportleistung des Schüttmaterials. Verglichen wird jeweils das feste Volumen des Schüttmaterials und nicht das aufgelockerte Volumen.

Jene Eingangsparameter, die Schwankungen bzw. Unsicherheiten unterworfen sind, werden in den Berechnungen als Dreiecksverteilungen modelliert. Die Berechnungen erfolgen unter Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen mit jeweils 50.000 Iterationen (Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren).

Transportleistung für die Anlieferung des Schüttmaterials

Der Berechnungsablauf zur Ermittlung der Transportleistung wird durch das Ablaufschema in Abb. 10-103 vermittelt. Unsichere Inputparameter sind dabei durch Dreiecksverteilungen und deterministische Inputparameter durch Pfeile symbolisiert. End- und Zwischenergebnisse der Simulation sind im Ablaufdiagramm als Histogramme abgebildet.

Die tägliche Schüttmenge ergibt sich dabei aus der Multiplikation der Anzahl an Anlieferungen und der mittleren Ladungsmenge. Die mittlere Ladungsmenge ergibt sich wiederum aus den jeweiligen Schüttmengen (vor Ort bzw. zugeliefert) und dem Ladevolumen der Mulden bzw. LKWs.

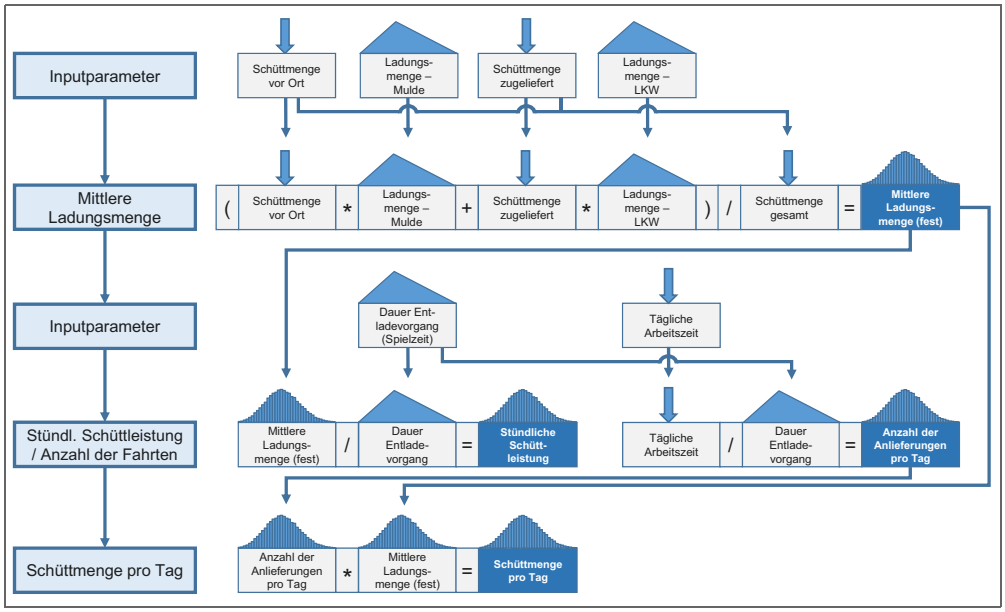


Abb. 10-103 Schematischer Berechnungsablauf – Transportleistung

Leistung der Bagger für das lagenweise Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials – Ohne GPS Unterstützung

Da das Schüttmaterial bereits durch die LKWs und Mulden auf der einzubauenden Fläche grob verteilt wird, müssen die Bagger das lose aufgeschüttete Material nur noch in einer Ebene verteilen. Durch das Befahren des Damms und der neu aufgebrachten Schicht erfolgt bereits durch die eingesetzten Bagger eine Vorverdichtung des Schüttmaterials.

Zur Berechnung der technischen Grundleistung Q_T [m³/h] wird nachstehende Gleichung (siehe Glg. (10-24)) angewendet:

$$Q_T = V_N \cdot n \cdot f_Z \cdot f_S \cdot f_L \tag{10-24}$$

Mit:

V_N	Nenninhalt – Schildfüllung [m³]
n	Spielzahl [1/h]
f_Z	Zeitfaktor – $0{,}83 \leq f_Z \leq 0{,}92$ [-]
f_S	Schildfaktor [-]
f_L	Ladefaktor – $f_L = f_F / f_s$ [-]
f_s	Auflockerungsfaktor [-]
f_F	Füllungsfaktor [-]

Der Nenninhalt bzw. die Schildfüllung errechnet sich nach Glg. (10-25).

$$V_N = 0,80 \cdot W \cdot H^2 \tag{10-25}$$

Mit:

W	Schildbreite [m]
H	Mittlere Schildhöhe [m]

Die technische Nutzleistung Q_N [m³/h] ergibt sich schließlich nach Glg. (10-26).

$$Q_N = Q_t \cdot f_{E1} \cdot f_{E2} \tag{10-26}$$

Mit:

f_{E1}	Baustellenfaktor [-]
f_{E2}	Betriebsfaktor [-]

Der Berechnungsablauf zur Ermittlung der Baggerleistung für das Verteilen und Vorverdichten ist schematisch in Abb. 10-104 dargestellt. Unsichere Inputparameter sind dabei durch Dreiecksverteilungen und deterministische Inputparameter durch Pfeile symbolisiert. End- und Zwischenergebnisse der Simulation sind im Ablaufdiagramm als Histogramme abgebildet.

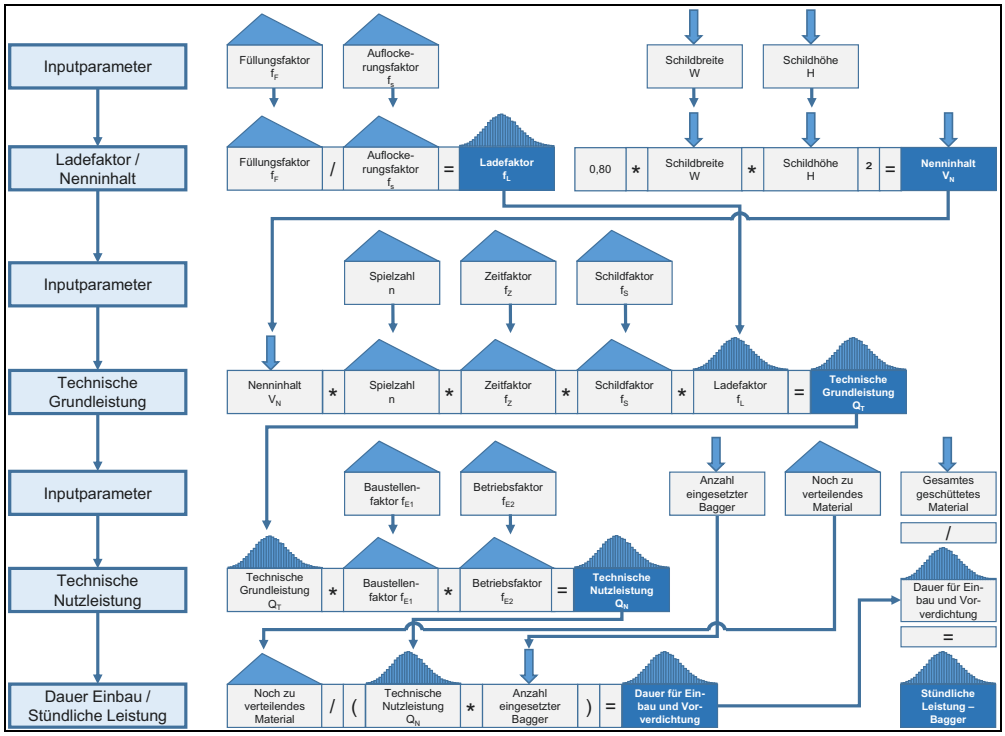


Abb. 10-104 Schematischer Berechnungsablauf – Baggerleistung

Leistung der Bagger für das lagenweise Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials – Mit GPS Unterstützung

Um die Produktivität von Baumaschinen zu steigern und damit Kosten und Zeit einzusparen wurden Systeme eingeführt, die eine automatische Maschinensteuerung ermöglichen. Dabei soll aber keineswegs der Maschinist ersetzt, sondern die Effizienz seiner Arbeit gesteigert werden. Mittlerweile helfen zahlreiche zusätzliche, vom System generierte Informationen dabei, Arbeitsabläufe zu beschleunigen und zusätzliche Nacharbeiten zu vermeiden.

Der Vorteil GPS gesteuerter Geräte liegt in der höheren erzielbaren Genauigkeit sowie in der Verringerung der erforderlichen Spielzeiten. Der Einsatz von GPS-gesteuerten Baggern ist besonders bei sehr komplizierten und feingliedrigen Aufgaben sowie bei der Herstellung von Planumsflächen empfehlenswert, da aufwendige Nacharbeiten weitestgehend vermieden werden.

In einer Studie der TU Graz[55)] konnte für GPS-gesteuerte Bagger eine Steigerung der Produktivität zwischen 14 und 23 % ermittelt werden. Diese Produktivitätssteigerung wird als Dreiecksverteilung (14,0 | 18,5 | 23 %) direkt auf die – ohne GPS Unterstützung ermittelte – stündliche Leistung der Bagger angewendet.

55) Vgl. Graggober (2011), S. 118

Verdichtungsleistung der Walze

Als letztes Glied in der Gerätekette wird die Verdichtungsleistung der Walze betrachtet. Die technische Grundleistung Q_T [m³/h] für Bodenverdichtungsgeräte folgt aus Glg. (10-27).

$$Q_T = 60 \cdot \frac{b \cdot d \cdot v_a \cdot f_Z}{U} \tag{10-27}$$

Mit:

b	Verdichtungsbreite – Wirksame Arbeitsbreite des Verdichtungsgeräts b = 0,80 * B [m]
B	Arbeitsbreite [m]
d	Schichtdicke [m]
v_a	Arbeitsgeschwindigkeit des Verdichtungsgeräts [m/min]
f_Z	Zeitfaktor – $0,83 \leq f_Z \leq 0,92$ [-]
U	Anzahl der Übergänge mit dem Gerät [-]

Die technische Nutzleistung Q_N [m³/h] berechnet sich nach Glg. (10-28).

$$Q_N = Q_T \cdot f_{E2} \tag{10-28}$$

Mit:

f_{E2}	Betriebsfaktor [-]

Der Berechnungsablauf zur Ermittlung der Walzleistung ist schematisch in Abb. 10-105 dargestellt. Unsichere Inputparameter sind dabei durch Dreiecksverteilungen und deterministische Inputparameter durch Pfeile symbolisiert. Die Anzahl der Übergänge U wird als diskrete Verteilung mit zwei möglichen Ausprägungen (zwei oder drei Übergänge) modelliert. End- und Zwischenergebnisse der Simulation sind als Histogramme im Ablaufdiagramm abgebildet.

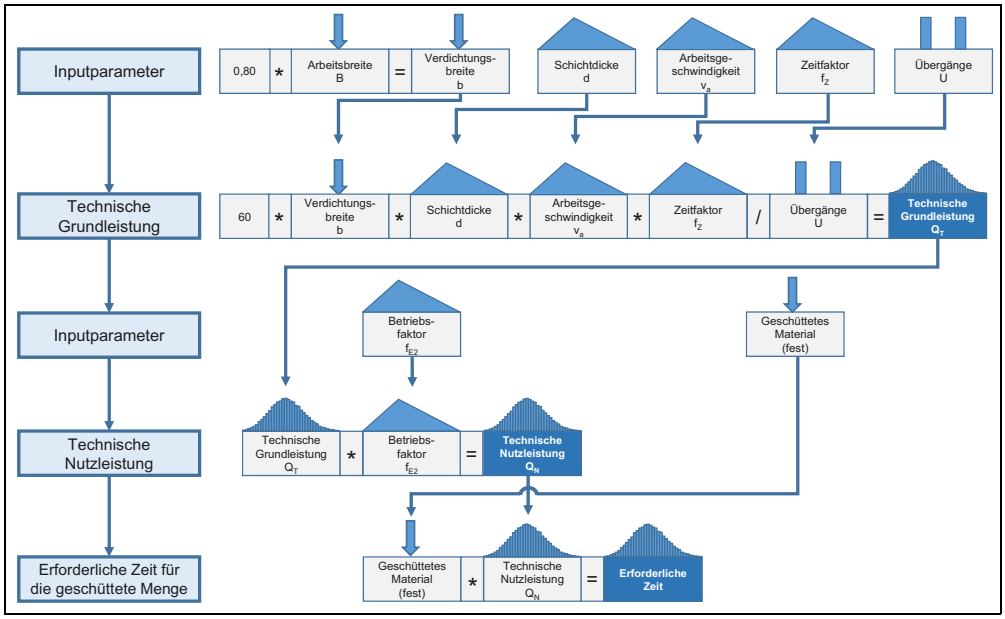


Abb. 10-105 Schematischer Berechnungsablauf – Walzleistung

10.4.3.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die Berechnung der Leistungen für die Anlieferung des Schüttmaterials, für das lagenweise Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials (mittels Bagger) sowie für das Walzen erfolgt getrennt voneinander. Eine Gegenüberstellung der Histogramme für die Leistungen erfolgt am Ende des Abschnitts.

Transportleistung für die Anlieferung des Schüttmaterials

Das Gesamtvolumen der Dammschüttung beträgt ca. 51.000 m³ (fest). Davon sind ca. 21.000 m³ vor Ort (Aushubmaterial – siehe Zeile 1 der Tab. 10-40) und ca. 30.000 m³ (siehe Zeile 2 der Tab. 10-40) müssen zugeliefert werden. Das Material, welches vor Ort ist wird mit Mulden zur Einbaustelle gebracht. Die Anlieferung des zusätzlichen Materials erfolgt mittels 4-Achs-LKWs.

Die Transportleistung für die Anlieferung des Schüttmaterials hängt im Wesentlichen von der Ladungsmenge je LKW/Mulde sowie von der Spielzeit für den Entladevorgang je LKW/Mulde ab.

Die Ladungsmenge je LKW bzw. Mulde wird als Dreiecksverteilung angesetzt. Der minimale, der erwartete und der maximale Wert ist jeweils in den Spalten B, C und D der Tab. 10-40 eingetragen (siehe Zeilen 4 und 5). In der Spalte E sind die Verteilungen bzw. Zwischenergebnisse eingetragen.

Transportleistung – Anlieferung Schüttmaterial					
Lfd. Nr.	Parameter	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Schüttmaterial – vor Ort – Mulden		21.000,00		21.000,00 m³
2	Schüttmaterial – zugeliefert – LKW		30.000,00		30.000,00 m³
3	Schüttmaterial gesamt (fest)				51.000,00 m³
4	Ladungsmenge – Mulden (fest)	12,00	13,50	15,00	13,50 m³/Fahrt
5	Ladungsmenge – LKW (fest)	9,00	9,50	10,00	9,50 m³/Fahrt
6	**Mittlere Ladungsmenge (fest)**				**11,15 m³/Fahrt**
7	Dauer für den Entladevorgang (Spielzeit)	4,00	5,00	6,00	5,00 min/Fahrt
8	Dauer für den Entladevorgang (Spielzeit)				0,08 h/Fahrt
9	**Stündliche Schüttleistung (fest)**				**133,76 m³/h**
10	Tägliche Arbeitszeit für den Materialtransport		8,00		8,00 h/d
11	Anzahl der Anlieferungen pro Tag				96,00 Fahrten/d
12	Anzahl der Anlieferungen pro Stunde				12,00 Fahrten/h
13	**Schüttmenge pro Tag (fest)**				**1.070,12 m³/d**

Tab. 10-40 Berechnungstabelle – Transportleistung

Für die weiteren Berechnungen wird eine mittlere Ladungsmenge je Fahrt berechnet (Zeile 6). Diese wird durch ein gewichtetes Mittel der Ladungsmengen für Mulden und LKWs entsprechend den zu transportierenden Schüttmengen ermittelt. Die mittlere Ladungsmenge ergibt sich als Histogramm, das in Abb. 10-106 angeführt ist. Das Minimum nach 50.000 Iterationen liegt dabei bei ca. 10,28 m³/Fahrt und das Maximum bei ca. 12,01 m³/Fahrt. Der Mittelwert beträgt ca. 11,15 m³/Fahrt und die Standardabweichung liegt bei ca. 0,28 m³/Fahrt.

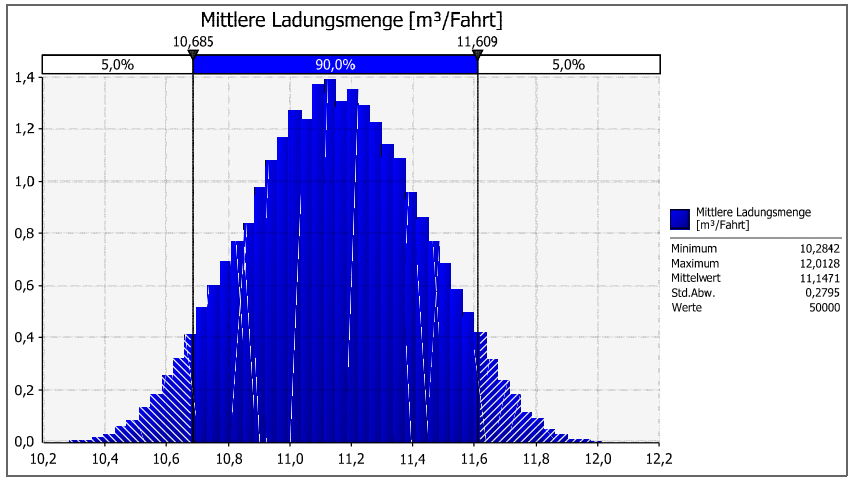


Abb. 10-106 Histogramm – Mittlere Ladungsmenge je Fahrt

Die Dauer für einen Entladevorgang (Spielzeit) wird als Dreiecksverteilung zwischen 4,00 und 6,00 min/Fahrt angesetzt, wobei der erwartete Wert bei 5 min/Fahrt liegt (siehe Zeile 7 der Tab. 10-40). Die Dauer für den Entladevorgang wird in Zelle E8 von [min/Fahrt] in [h/Fahrt] umgerechnet.

Die stündliche Schüttleistung des festen Materials errechnet sich in weiterer Folge in der Zelle E9 der Tab. 10-40 aus der Division der mittleren Ladungsmenge (Zelle E6) durch

die Dauer des Entladevorgangs (Zelle E8). Das Histogramm der stündlichen Schüttleistung ist in Abb. 10-107 abgebildet. In jeweils 5 % der Fälle werden 117,0 m³/h unter- und 155,7 m³/h überschritten. Der Mittelwert beträgt rund 135 m³/h

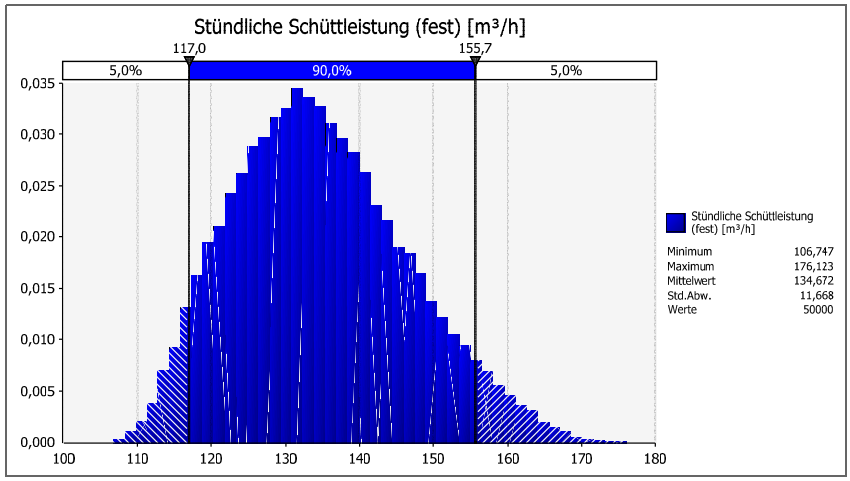


Abb. 10-107 Histogramm – Schüttmenge pro Stunde (fest)

Die tägliche Arbeitszeit für den Materialtransport wird mit 8,00 h/d angesetzt (siehe Zeile 10 der Tab. 10-40 – deterministischer Wert). Die Anzahl der täglichen Anlieferungen (Zeile 11) ergibt sich damit in weiterer Folge aus der Division der Arbeitszeit (Zeile 10) durch die Dauer je Entladevorgang (siehe Zeile 8). Die Anzahl der stündlichen Anlieferungen entspricht dem Kehrwert der Dauer für den Entladevorgang (Zelle E8) und ist der Zeile 12 der Tab. 10-40 zu entnehmen.

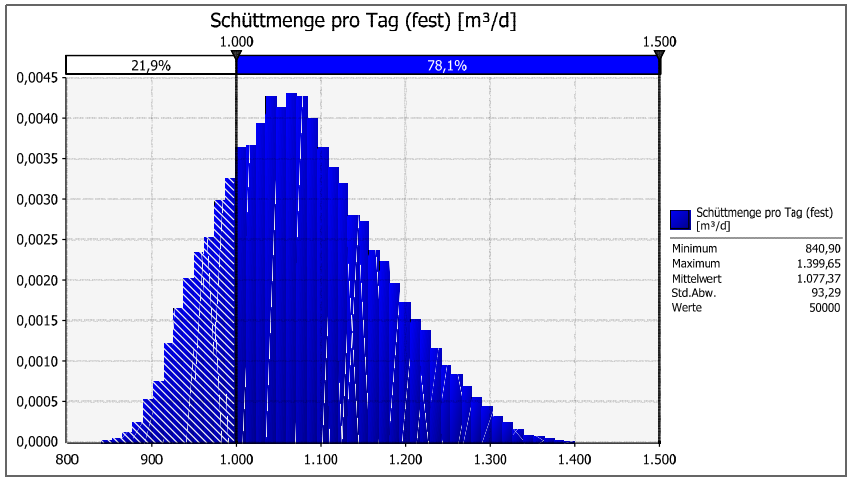


Abb. 10-108 Histogramm – Schüttmenge pro Tag (fest)

Die angelieferte Schüttmenge pro Tag (fest – siehe Zelle E13) ergibt sich aus der Multiplikation der Anzahl an Anlieferungen pro Tag (Zelle E11) mit der mittleren Ladungsmenge (Zelle E6). Das Histogramm der festen täglichen Schüttmenge ist in Abb. 10-108 darge-

stellt. Der Mittelwert liegt bei ca. 1.077 m³/d und die Standardabweichung bei ca. 93 m³/d. Das Minimum aus 50.000 Iterationen ergibt sich mit ca. 841 m³/d und das Maximum liegt bei ca. 1.400 m³/d.

Vom AG wurde im sogenannten ‚Dammschüttprogramm' eine Schüttmenge von 500 bis 1.000 m³/d gefordert. Wie das Histogramm zeigt, wird eine Menge von 1.000 m³/d in den meisten Fällen (ca. 78,1 %) überschritten. Lediglich in 21,9 % der Iterationsdurchgänge liegt die Transportleistung unter 1.000 m³/d. Ein Wert unter 500 m³/d wurde in der Simulation nicht generiert.

Leistung der Bagger für das lagenweise Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials – Ohne GPS Unterstützung

Die für den Einsatz beim gegenständlichen Bauvorhaben geplanten Bagger haben jeweils ein Brustschild, das eine Breite von 2,98 m und eine Höhe von ca. 0,60 m aufweist. Der Nenninhalt des Schilds ergibt sich durch Einsetzen in Glg. (10-25) mit 0,86 m³ (= 0,80 * 2,98 * 0,60²).

Die Berechnung der Leistung erfolgt in Tab. 10-41. Es wird zunächst die technische Grundleistung unter Anwendung der Glg. (10-24) ermittelt. Jene Eingabeparameter, die Unsicherheiten enthalten, werden als Dreiecksverteilungen modelliert. Die minimalen, erwarteten und maximalen Werte sind in den Spalten B, C und D der Tab. 10-41 eingetragen.

Leistung der Bagger für das lagenweise Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials					
Lfd. Nr.	**Parameter**	**MIN**	**ERW**	**MAX**	**Verteilung**
0	A	B	C	D	E
1	Schildbreite				2,98 m
2	Schildhöhe				0,60 m
3	Nenninhalt V_N				0,86 m³
4	Spielzahl n	120,00	140,00	160,00	140,00 1/h
5	Zeitfaktor f_Z	0,83	0,87	0,92	0,87
6	Schildfaktor f_S	0,70	0,80	0,85	0,78
7	Auflockerungsfaktor f_s	1,20	1,25	1,30	1,25
8	Füllungsfaktor f_F	0,95	0,97	1,00	0,97
9	Ladefaktor f_L				0,78
10	**Technische Grundleistung**				**64,01 m³/h**
11	Baustellenfaktor f_{E1}	0,85	1,00	1,15	1,00
12	Betriebsfaktor f_{E2}	0,88	0,94	1,00	0,94
13	**Technische Nutzleistung (fest)**				**60,16 m³/h**
14	Geschüttetes Material (fest)				1.000,00 m³
15	Anteil des Materials, das noch verteilt werden muss	10,00	30,00	50,00	30,00 %
16	Noch zu verteilendes Material				300,00 m³
17	Anzahl eingesetzter Bagger				3,00
18	Dauer für den Einbau und die Vorverdichtung				1,66 h
19	**Stündliche Leistung – Bagger**				**601,65 m³/h**

Tab. 10-41 Berechnungstabelle – Leistung der Bagger

Die Spielzahl n beschreibt die Anzahl der Schildeinsätze je Zeitstunde [1/h] und ist von der mittleren Förderweite abhängig. Dazu findet sich für die Leistungsberechnung von Planierraupen in der Literatur (siehe Tab. 10-42).

Mittlere Förderweite in [m]	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
Spielzahl n in [1/h]	100,00	78,00	63,00	50,00	42,00	36,00	31,00	27,00	24,00

Tab. 10-42 Spielzahl [1/h][56)]

Da sich die Bagger direkt zwischen dem grob verteilten Schüttmaterial positionieren und dieses nur gleichmäßig verteilen müssen, liegt die mittlere Förderweite in jedem Fall unter 20 m. Die Spielzahl wird daher zwischen 120 und 160 mit einem erwarteten Wert von 140 angesetzt (Zeile 4 der Tab. 10-41).

Der Zeitfaktor f_Z [-] wird zwischen 0,83 und 0,92 (siehe Zeile 5) und der Schildfaktor f_S [-] zwischen 0,70 und 0,85 (siehe Tab. 10-43 bzw. Zeile 6 der Tab. 10-41) gewählt (hier wurde die niedrigste Kategorie für Planierraupen gewählt, da für Bagger keine vergleichbaren Werte eruiert werden konnten).

Schildform	Schildfaktor f_S
U-Schild Brustschild, Querschild, Standardschild Schildenden schmal nach vorne abgewinkelt oder mit Seitenblenden	1,10 - 1,25
S-Schild Universalschild Schildflügel breit, nach vorne abgewinkelt	1,00
A-Schild Schwenkschild Beidseitig schwenkbar, keine abgewinkelten Schildenden, große Schildbreite, geringe Schildhöhe	0,70 - 0,85

Tab. 10-43 Schildfaktor[57)]

Der Ladefaktor f_L [-] ist das Maß der Schildfüllung und ergibt sich aus der Division des Füllungsfaktors f_F [-] durch den Auflockerungsfaktor f_s [-].

Der Auflockerungsfaktor f_s wird für das einzubauende Schüttmaterial zwischen 1,20 und 1,30 [-] angenommen. Dies entspricht einer Volumsvergrößerung des aufgelockerten Materials gegenüber dem verdichteten von 20 bis 30 %. Der Füllungsfaktor f_F wird für Mutterboden sowie für leicht lösbare Bodenarten mit 1,00 angegeben und beträgt für mittelschwer lösbare Bodenarten 0,95 (siehe Zeile 8 der Tab. 10-41).

Nach Einsetzen der Eingangsparameter in die Glg. (10-24) ergibt sich die technische Grundleistung Q_T [m³/h] als Histogramm in Abb. 10-109.

56) Vgl. Brecheler et al. (1998), S. 207

57) Vgl. ebd., S. 206f.

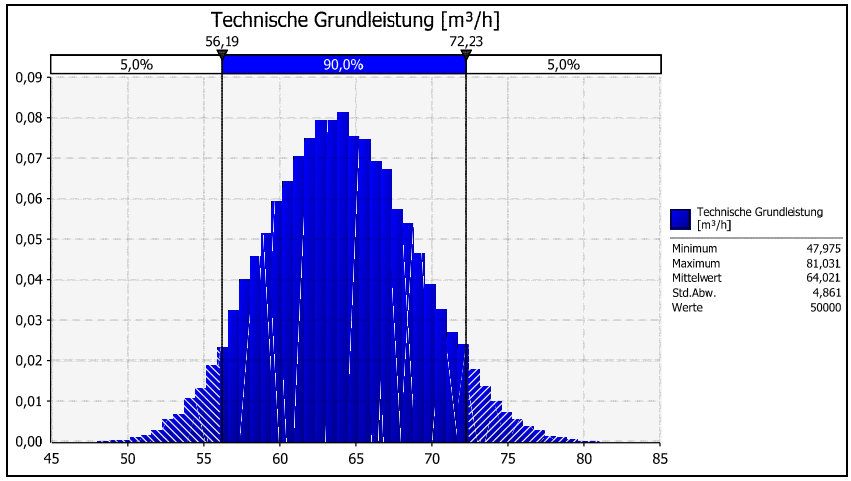


Abb. 10-109 Histogramm – Technische Grundleistung – Bagger

Unter Berücksichtigung des Baustellenfaktors f_{E1} [-] (Zeile 11 der Tab. 10-41) und des Betriebsfaktors f_{E2} [-] (Zeile 12 der Tab. 10-41) ergibt sich die technische Nutzleistung Q_N [m³/h] in Abb. 10-110. In 90 % der simulierten Fälle liegt die technische Nutzleistung zwischen 50,55 und 70,55 m³/h. Der Mittelwert beträgt ca. 60,18 m³/h und die Standardabweichung ca. 6,08 m³/h. Diese Werte beziehen sich auf einen Bagger und auf jene Festmenge, die auch tatsächlich verteilt (horizontal bewegt) werden muss.

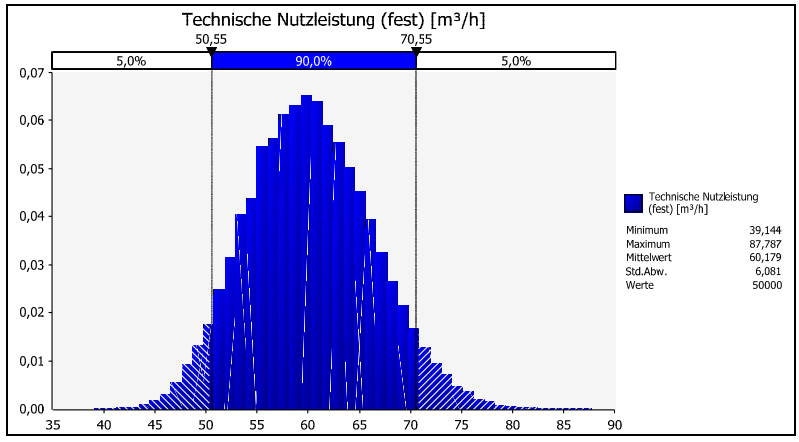


Abb. 10-110 Histogramm – Technische Nutzleistung – Bagger

In der Zelle E14 der Tab. 10-41 sind die angestrebten 1.000 m³ (fest), die pro Tag hergestellt werden sollen, eingetragen. Der Großteil dieses geschütteten Materials befindet sich durch die Verteilung mittels LKWs/Mulden bereits an der richtigen Stelle und muss nicht mehr verteilt werden. Es wird angenommen, dass letztlich nur noch 10 bis 50 % (je nach Qualität der Verteilung durch die LKWs/Mulden) des geschütteten Materials durch die Bagger verteilt werden müssen (siehe Zeile 15 – Dreiecksverteilung mit dem erwarteten Wert bei 30 %).

Damit ergibt sich die Menge des noch zu verteilenden Materials in Zeile 16. Um diese Menge zu verteilen werden insgesamt drei Bagger (gleiche Leistung) eingesetzt (siehe Zeile 17). Die Dauer für den Einbau des Materials sowie für die Vorverdichtung (Zeile 18) ergibt sich aus der Division der noch zu verteilenden Menge (Zeile 16) durch das Produkt aus der technischen Nutzleistung (Zeile 13) und der Anzahl der Bagger (Zeile 17). Das Histogramm für die Dauer ist in Abb. 10-111 dargestellt.

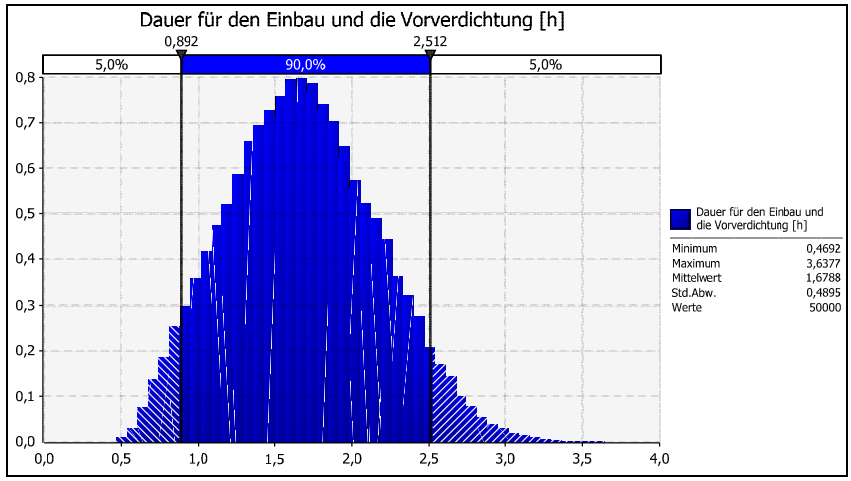


Abb. 10-111 Histogramm – Dauer für das Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials

Wird die gesamte Schüttmenge wiederum auf diese Einbauzeit umgelegt, ergibt sich die stündliche Leistung der Bagger für das Verteilen und Vorverdichten ebenfalls als Histogramm (siehe Abb. 10-112). Die Wahrscheinlichkeit, dass die Verteilung und die weitere Vorverdichtung von 1.000 m³ in weniger als einer Stunde erfolgen liegt bei 8,5 %. Die Chance, dass in der Bauausführung diese Leistung in einer Stunde erzielt werden kann ist damit zwar gering, aber es besteht dennoch die baubetriebliche Möglichkeit der Zielerreichung.

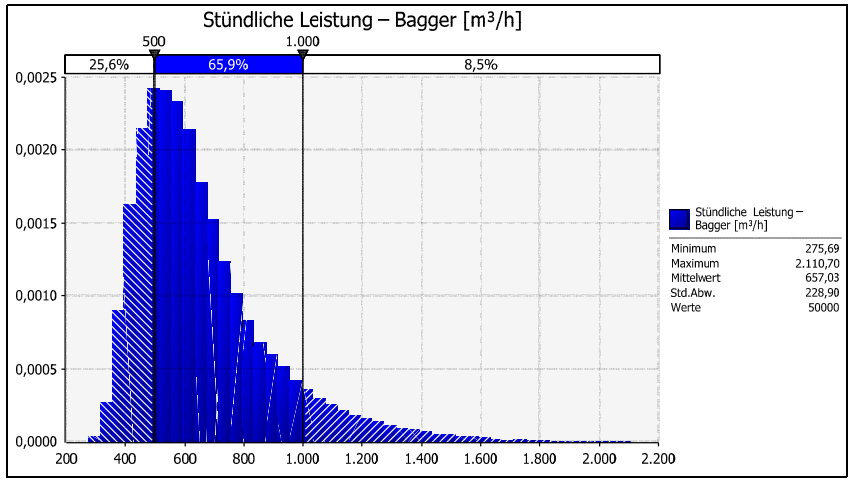


Abb. 10-112 Histogramm – Stündliche Leistung der Bagger für das Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials

Die Gleitbegrenzer am oberen Bildrand der Abb. 10-112 sind auf 500 bzw. 1.000 m³/h eingestellt. Es zeigt sich, dass eine Leistung von mehr als 1.000 m³/h nur in 8,5 % der Fälle überschritten werden kann. Eine Leistung von 500 m³/h wird in 25,6 % der Fälle unterschritten und mit einer 65,9 %igen Wahrscheinlichkeit wird eine Leistung zwischen 500 und 1.000 m³/h erzielt.

Wird die Einbaumenge von 1.000 m³ auf ein Streckenband mit einer Breite von 3,00 m und einer Dicke von 0,30 m (Schichtdicke) bezogen, ergibt sich daraus eine Strecke von ca. 1.111 m [= 1.000 m³ / (3,00 m * 0,30 m)]. Wird diese Strecke durch die Dauer für das Verteilen und Vorverdichten (siehe Abb. 10-111) dividiert, berechnet sich die mittlere erforderliche Geschwindigkeit der Bagger (ohne Wendemanöver) in Abb. 10-113.

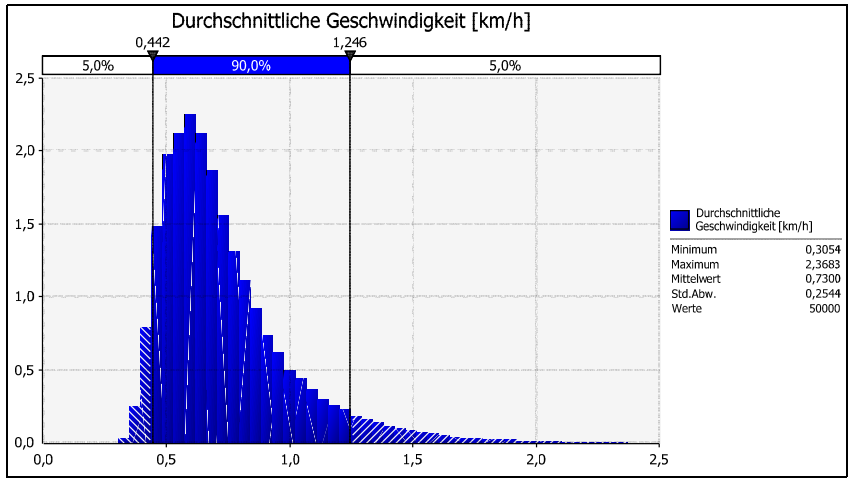


Abb. 10-113 Histogramm – Durchschnittliche Geschwindigkeit der Bagger für das Verteilen und Vorverdichten

Die durchschnittliche Geschwindigkeit stellt einen theoretischen Wert dar, da der Einbau nicht nur auf einem 3 m breiten Streifen erfolgt und Überlappungen zwischen den ‚Bahnen' bei der Vorverdichtung zu berücksichtigen sind. Die Größenordnung und Bandbreite der durchschnittlichen Geschwindigkeit zeigt jedoch, dass keine unplausiblen Geschwindigkeiten zur Erreichung der angestrebten 500 bis 1.000 m³ pro Tag erforderlich sind.

Die Bagger bewegen sich auf der Fläche, auf der sie das Material verteilen und vorverdichten müssen, vor und zurück. Bei einer Einbaumenge von 1.000 m³ und einer Schichtdicke von 0,30 m müssen die eingesetzten Bagger gemeinsam eine Fläche von 3.333 m² bearbeiten. Werden drei Bagger eingesetzt, muss jeder der Bagger auf einer Fläche von ca. 1.111 m² das aufgeschüttete Material verteilen und vorverdichten. Bei einer Dammbreite von z.B. 16 m entspricht dies einem Dammabschnitt je Bagger von ca. 69 m Länge (schematische Darstellung in Abb. 10-114 – unten).

Werden hingegen nur 500 m³ an Schüttmaterial angeliefert, reduziert sich die Fläche, die von einem Bagger zu bearbeiten ist, auf ca. 556 m² (bei einer Schichtdicke von 0,30 m). Beträgt die Dammbreite z.B. 16 m, entspricht dies einer Dammabschnittslänge je Bagger von ca. 35 m (siehe schematische Darstellung in Abb. 10-114 – oben).

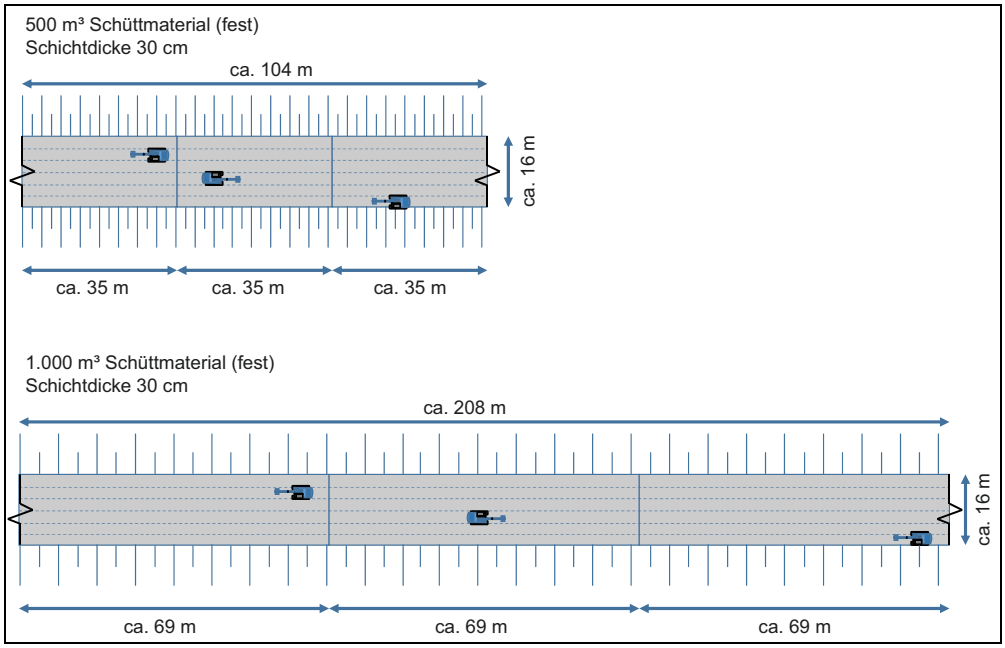


Abb. 10-114 Schematische Darstellung – Verteilen und Vorverdichten mit drei Baggern

Leistung der Bagger für das lagenweise Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials – Mit GPS Unterstützung

Die Produktivitätssteigerung der Bagger durch GPS Unterstützung wird als Dreiecksverteilung (14,0 | 18,5 | 23 %) direkt auf die – ohne GPS Unterstützung ermittelte – stündliche Leistung der Bagger (siehe Abb. 10-112) angewendet. Das Histogramm für die stündliche Leistung der Bagger inkl. GPS Unterstützung ist in Abb. 10-115 der stündlichen Leistung ohne GPS gegenübergestellt.

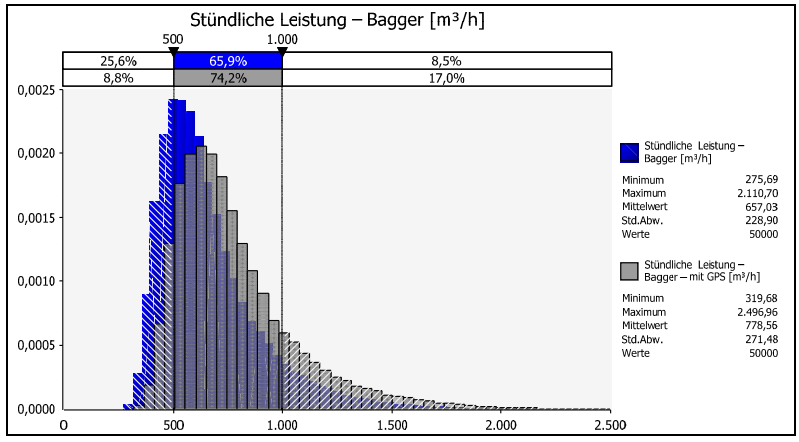


Abb. 10-115 Histogramme – Vergleich – Stündliche Leistung der Bagger für das Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials – Mit und ohne GPS Unterstützung

Die Abbildung zeigt, dass sich die Wahrscheinlichkeit, Leistungen unter 500 m³/h zu erreichen, deutlich von ca. 25,6 % auf 8,8 % verringert hat. Umgekehrt hat sich die Wahrscheinlichkeit, auch Leistungen über 1.000 m³ zu erreichen, von ca. 8,5 % auf ca. 17 % erhöht. Mit GPS Unterstützung wird in etwa 74 % der simulierten Fälle eine stündliche Leistung der drei Bagger zwischen 500 und 1.000 m³/h erreicht.

Durch den Einsatz von GPS-gesteuerten Geräten erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, die angestrebte Einbaumenge von 500 bis 1.000 m³/h zu erreichen. Die Risiken des AN werden verringert und die Chancen erhöhen sich. Die Situation des AN, die angegebene Leistung von 1.000 m³/h zu erreichen stellt sich mit GPS Unterstützung weit günstiger dar.

Verdichtungsleistung der Walze

Die Arbeitsbreite der eingesetzten Walze beträgt 2,13 m (siehe Zeile 1 der Tab. 10-44) und die wirksame Arbeitsbreite beträgt 80 % (Zeile 2). Damit ergibt sich die Verdichtungsbreite als deterministischer Wert mit 1,70 m in Zelle E3 der Tab. 10-44.

Die Schichtdicke ist im Dammschüttprogramm mit max. 30 cm angegeben. Es wird daher eine Schichtdicke zwischen 0,25 und 0,30 m als Dreiecksverteilung (erwarteter Wert bei 0,275 m) angenommen (Zeile 4).

Die Arbeitsgeschwindigkeit wird für Schaffußwalzen zwischen 50 und 300 m/min und für Glattwalzen zwischen 50 und 100 m/min angegeben.[58)] Für die Berechnung wird die Arbeitsgeschwindigkeit zwischen 50 und 100 m/min (erwarteter Wert bei 75 m/min) angesetzt (Zeile 5).

Der Zeitfaktor f_Z [-] wird wie bei der Leistungsberechnung für die Bagger als Dreiecksverteilung zwischen 0,83 und 0,92 (erwarteter Wert bei 0,87) gewählt.

Vedichtungsleistung – Walze					
Lfd. Nr.	Parameter	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Arbeitsbreite		2,130		2,130 m
2	Anteil wirksame Arbeitsbreite		0,800		0,800
3	Verdichtungsbreite				1,704 m
4	Schichtdicke	0,250	0,275	0,300	0,275 m
5	Arbeitsgeschwindigkeit	50,000	75,000	100,000	75,000 m/min
6	Zeitfaktor	0,830	0,870	0,920	0,873
7	Anzahl der Übergänge	2,000		3,000	2,000
8	**Technische Grundleistung**				**920,799 m³/h**
9	Betriebsfaktor	0,880	0,940	1,000	0,940
10	**Technische Nutzleistung**				**865,551 m³/h**
11	Geschüttetes Material (fest)				1.000,000 m³
12	**Erforderliche Zeit für 1.000 m³**				**1,155 h**

Tab. 10-44 Berechnungstabelle – Leistung der Walze

Die Anzahl der Übergänge wird als diskrete Verteilung modelliert, wobei zwei oder drei Übergänge erwartet werden. Die Wahrscheinlichkeit für zwei und drei Übergänge wird dabei jeweils mit 50 % angenommen. Das bedeutet für die Simulation, dass in 50 % der Fälle mit zwei Übergängen und in den restlichen 50 % mit drei Übergängen gerechnet wird. Die diskrete Verteilung der Übergänge ist in Abb. 10-116 angeführt.

58) Vgl. Brecheler et al. (1998), S. 223

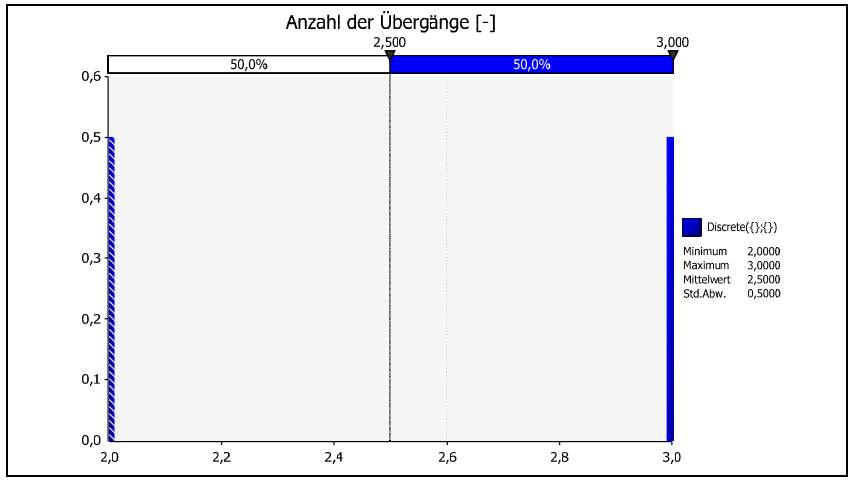


Abb. 10-116 Diskrete Verteilung des Inputparameters – Anzahl der Übergänge

Die technische Grundleistung Q_T [m³/h] ergibt sich in weiterer Folge durch Einsetzen der Inputparameter in Glg. (10-27) als Histogramm (siehe Abb. 10-117). Es zeigt sich ein bimodaler Verlauf des Histogramms. Dies begründet sich durch den diskreten Inputparameter für die Übergänge (siehe Abb. 10-116). Höhere Leistungen werden dann erzielt, wenn nur zwei Walzübergänge erforderlich sind.

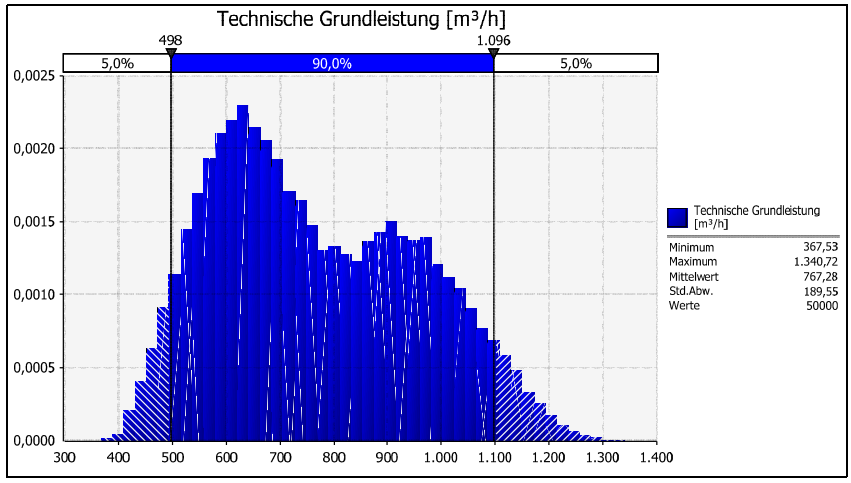


Abb. 10-117 Histogramm – Technische Grundleistung der Walze

Durch die Berücksichtigung des Betriebsfaktors f_{E2} [-] nach Glg. (10-28) errechnet sich die technische Nutzleistung Q_N [m³/h] ebenfalls als Histogramm (siehe Abb. 10-118). Es ist auch für die Nutzleistung ein bimodaler Verlauf ersichtlich. Der Mittelwert der Verteilung liegt bei ca. 721 m³/h und die Standardabweichung bei ca. 179 m³/h. Das Minimum nach 50.000 Iterationen ergibt sich mit ca. 344 m³/h und das Maximum mit ca. 1.281 m³/h.

Eine technische Nutzleistung von 500 m³/h wird in ca. 9,6 % der simulierten Fälle unterschritten und eine Leistung von 1.000 m³ wird in ca. 7,7 % der Fälle überschritten. Anders ausgedrückt: Das Simulationsergebnis zeigt, dass bei 50.000 betrachteten Baustellen eine Verdichtungsleistung von 1.000 m³ auf ca. 3.850 Baustellen (= 50.000 * 0,077) erreicht bzw. überschritten wird. Eine Leistung zwischen 500 und 1.000 m³/h wird demnach auf ca. 41.350 Baustellen (= 50.000 * 0,827) erreicht.

All jene Fälle, bei denen eine Leistung von 1.000 m³/h oder mehr erreicht wurde, sind jenen Iterationen zuzurechnen, bei denen nur zwei Übergängen in die Simulation eingeflossen sind.

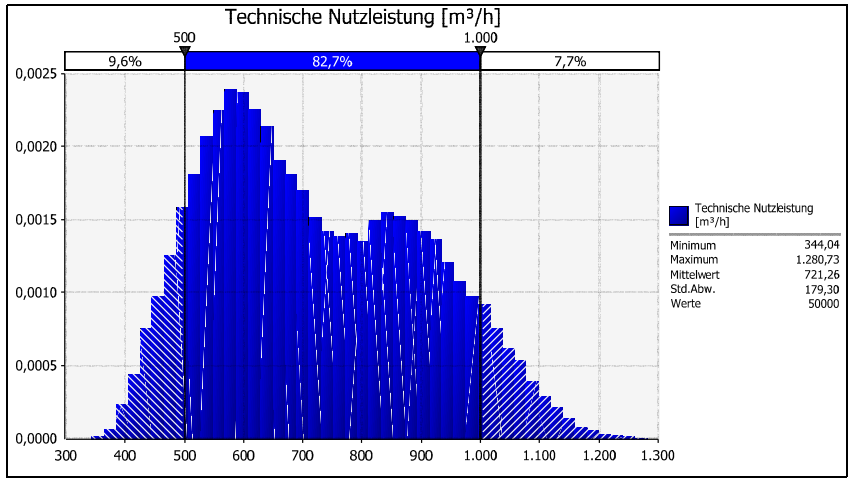


Abb. 10-118 Histogramm – Technische Nutzleistung der Walze

Die Zeit für die Verdichtung von 1.000 m³ (Zeile 11 – deterministischer Wert) erfolgt in Zeile 12 der Tab. 10-44. Die Menge wird dabei durch die technische Nutzleistung (Zelle E10) dividiert. Als Ergebnis ergibt sich ein Histogramm für die Dauer des Walzvorgangs (siehe Abb. 10-119).

Auch für die Dauer folgt ein bimodaler Verlauf, der auf das Histogramm der technischen Nutzleistung (siehe Abb. 10-118) zurückzuführen ist. Dass eine Dauer von 1 h für das Walzen von 1.000 m³ unterschritten wird ist zwar relativ unwahrscheinlich (lediglich 7,7 % Unterschreitungswahrscheinlichkeit), liegt aber noch im Bereich des baubetrieblich Möglichen.

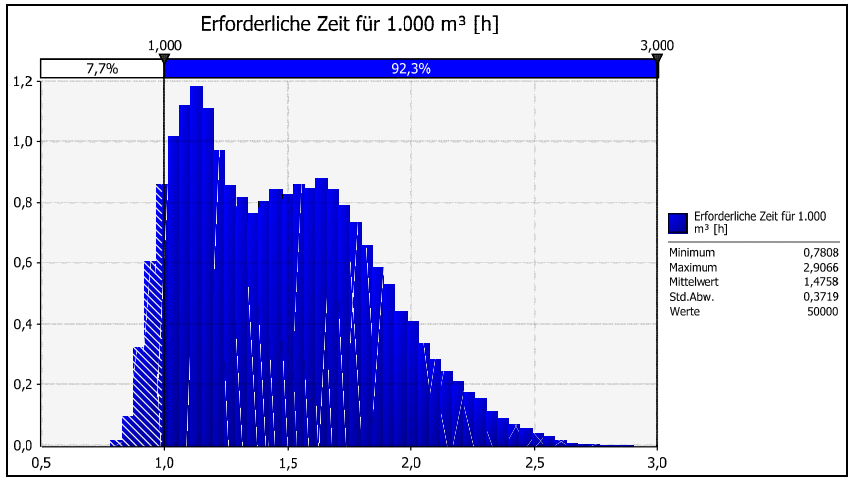


Abb. 10-119 Histogramm – Erforderliche Zeit für das Walzen von 1.000 m³

Vergleich der Leistungen

Die Leistungen der drei Glieder der Gerätekette müssen für einen effizienten und effektiven Bauablauf optimal aufeinander abgestimmt werden. Die Engpassleistung bestimmt dabei die maximal erzielbare Leistung der gesamten Gerätekette.

Es wurden Histogramme für
- die Leistung für den Antransport, das Schütten und Vorverdichten durch die LKWs/Mulden,
- die Leistung für das Verteilen und Vorverdichten durch die Bagger – ohne GPS Unterstützung,
- die Leistung für das Verteilen und Vorverdichten durch die Bagger – mit GPS Unterstützung und
- die Leistung für das Walzen der aufgeschütteten Schicht ermittelt.

Verglichen werden die Leistungen in weiterer Folge jeweils mit der Angabe des AG, dass an einem Arbeitstag mit dem Einbau von 500 bis 1.000 m³ zu rechnen ist.

Die Transportleistung wird bezogen auf einen Arbeitstag für eine tägliche Arbeitszeit von 8 h/d ermittelt. Die Baggerleistung wird auf eine Einsatzzeit von 1 h/d und jene für die Walzleistung ebenfalls auf 1 h/d (siehe Abb. 10-120) ausgelegt.

Auf der Abszisse der Abb. 10-120 ist die Schüttleistung der LKWs/Mulden (Transportleistung) bezogen auf den Arbeitstag [m³/d] aufgetragen. Die Leistung der Bagger und der Walze werden jeweils auf Kubikmeter je Stunde bezogen [m³/h]. Dadurch, dass für die Bagger und die Walze jedoch eine Einsatzzeit von 1 h/d angesetzt wurde, sind die Histogramme der jeweiligen Leistungen miteinander vergleichbar.

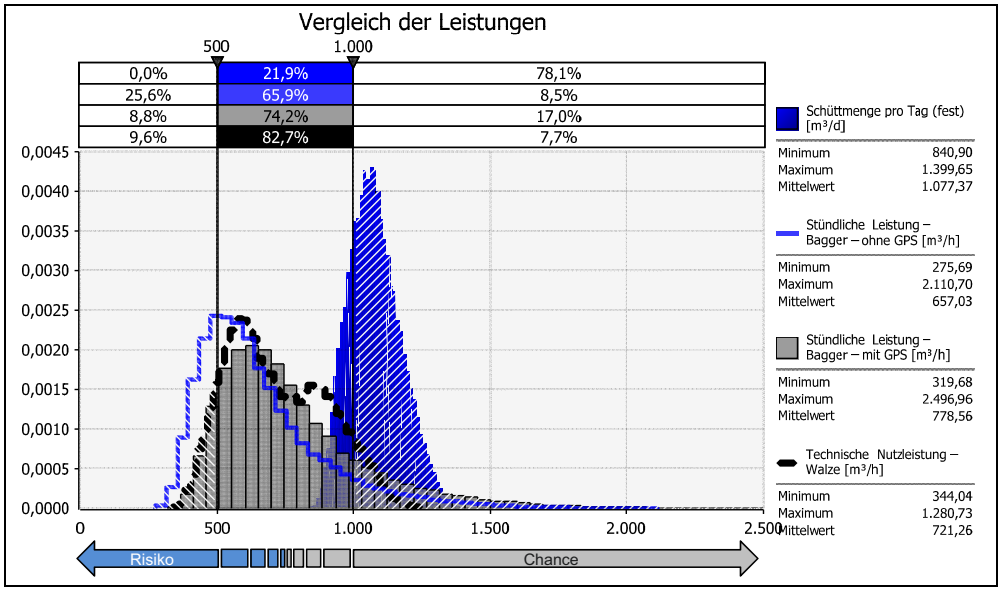


Abb. 10-120 Histogramm – Vergleich der Leistungen – Transportleistung (8 h/d) – Baggerleistung mit und ohne GPS Unterstützung (1 h/d) – Walzleistung (1 h/d)

Die Leistung für den Antransport durch die LKWs/Mulden wurde aufgrund der unterschiedlichen Ladungsmengen (LKWs/Mulden) und der variierenden Entladezeiten für einen Arbeitstag mit 8,00 h/d ermittelt. Das berechnete Histogramm zeigt für eine tägliche Arbeitszeit von 8 h/d, dass die Leistung in ca. 78,1 % der Fälle über 1.000 m³/d liegt (siehe Abb. 10-120). Die Transportleistung ist damit für diesen Vergleich nicht als Engpassleistung aufzufassen.[59)]

Für das Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials werden drei Bagger für eine Stunde am Tag eingesetzt. Die dabei erzielbare Leistung wurde ebenfalls als Histogramm ermittelt (siehe Abb. 10-120 – es handelt sich dabei um die stündliche Leistung der Bagger).

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Leistung zwischen 500 und 1.000 m³/d (bei einer Einsatzzeit von 1 h/d) liegt, beträgt für Bagger ohne GPS Unterstützung ca. 65,9 %. In ca. 25,6 % der Fälle wird eine niedrigere und in ca. 8,5 % sogar eine höhere Leistung erzielt.

Werden Bagger mit GPS Unterstützung eingesetzt, erhöht sich die Leistung der Geräte, da weniger Nacharbeiten erforderlich sind und insgesamt eine höhere Genauigkeit erzielt wird.

Mit GPS-gesteuerten Baggern beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Leistung zwischen 500 und 1.000 m³/d (bei einer Einsatzzeit von 1 h/d) erreicht wird, ca. 74,2 %. In ca. 8,8 % der Fälle wird eine niedrigere und in ca. 17,0 % eine höhere Leistung erzielt.

Der vom AN gewählte Leistungsansatz unter Berücksichtigung des geplanten zeitlichen Ablaufs (siehe Abb. 10-102) erscheint mit der Berücksichtigung der GPS Unterstützung als baubetrieblich noch plausibler.

59) Nicht berücksichtigt wurde die Leistung für das Beladen der Mulden bzw. die Transportleistung der LKWs zur Baustelle.

Die Walzleistung stellt die letzte maßgebende Geräteleistung für die Herstellung des Schüttdamms dar. Auch diese Leistung wird für die hier dargestellte Berechnung auf eine tägliche Einsatzzeit von 1 h/d bezogen. Das damit berechnete Histogramm ist ebenfalls in Abb. 10-120 eingezeichnet. Es zeigt sich, dass eine Walzleistung zwischen 500 und 1.000 m³/d (bei einem Einsatz von 1 h/d) in 82,7 % der Fälle erreicht werden kann. Dies ist dann der Fall, wenn für die zu verdichtende Menge jeweils in 50 % der Fälle zwei und in 50 % der Fälle drei Überfahrten ausreichend sind.

Eine Walzleistung von unter 500 m³ stellt sich unter den getroffenen Annahmen in 9,6 % und ein Walzleistung über 1.000 m³ in 7,7 % der Fälle ein.

Insgesamt zeigt der Vergleich, dass die Leistung der Bagger und jene der Walze die Leistung der Gerätekette bestimmen und am kritischen Weg liegen (Engpassleistung). Es bestehen allerdings für beide Arbeitsbereiche ausreichend Chancen, dass die geforderten Leistungen baubetrieblich erzielbar sind. Die Erklärbarkeit der Stundenleistungen ist für die angesetzten Inputparameter und Abläufe jedenfalls als gegeben zu betrachten.

10.4.3.4 Nutzen für den AG

Die vom AG geforderte tägliche Leistung für die Herstellung des Schüttdamms liegt zwischen 500 und 1.000 m³/d. Für die Herstellung des Schüttdamms wird sowohl das Material vor Ort (ca. 21.000 m³) als auch zugeliefertes Material (ca. 30.000 m³) eingebaut. Dieses muss mit LKWs bzw. Mulden zur Einbaustelle transportiert und dort abgeschüttet werden. Dieser Vorgang erfolgt in der Weise, dass die LKWs bzw. Mulden bereits beim Abschütten des Materials für eine möglichst flächige Verteilung sorgen und durch das Befahren des aufgeschütteten Materials bereits die erste Vorverdichtung erzielen.

Die weitere Verteilung und Vorverdichtung dieses flächig aufgetragenen Schüttguts erfolgt in weiterer Folge durch drei Bagger, die für eine Zeitstunde pro Tag gemeinsam eingesetzt werden, um das Tagesplanum herzustellen, welches im Anschluss von einer Walze in einem letzten Arbeitsschritt verdichtet wird.

Für die Ermittlung der Leistungen der einzelnen Komponenten der Gerätekette gelangten Monte-Carlo-Simulationen zum Einsatz. Dies hat den Vorteil, dass durch den Ansatz von Verteilungsfunktionen eine Vielzahl unterschiedlicher Kombinationen der Inputparameter in den Simulationen berücksichtigt und in weiterer Folge als Histogramme dargestellt werden können. Die Berechnungen zeigen, dass für den dargestellten Bauablauf die Herstellung von 500 bis 1.000 m³/d durchaus möglich und plausibel ist.

Der Vergleich der Histogramme gibt Aufschlüsse über das Chancen-Risikoverhältnis der einzelnen Glieder der Gerätekette. Es kann das Engpassgerät identifiziert und bereits vor der Ausführung steuernd in den geplanten Prozess eingegriffen werden. Anhand des Beispiels konnte beispielsweise gezeigt werden, dass durch den Einsatz von GPS-gesteuerten Baggern eine Erhöhung des Chancenpotenzials für den AN möglich ist.

Insgesamt konnte mit der Simulation gezeigt werden, dass die tägliche Herstellung von 500 bis 1.000 m³/d des Schüttdamms, als plausibel und baubetrieblich als sehr wahrscheinlich erreichbar einzustufen ist.

10.4.4 Verfahrensauswahl

Für den differenzierten Verfahrensvergleich werden neben den wirtschaftlichen Kriterien auch andere in den Vergleich mit einbezogen. Der differenzierte Verfahrensvergleich ist

umfassender als der kalkulatorische, erfordert eine größere Datenmenge und ist zeitaufwendiger. Der Vorteil liegt in der ganzheitlichen Betrachtung, die wesentlich zur Risikoreduzierung in der Kalkulation und Bauausführung beiträgt.[60)]

Die Wahl des geeignetsten Bauverfahrens ist besonders in der Phase der Bauausführung (PPH 4 – siehe Abb. 10-121) bzw. in der Arbeitsvorbereitung entscheidend, da in dieser Phase die endgültige Entscheidung und der Einsatz des gewählten Verfahrens erfolgt. Stellt sich heraus, dass das gewählte Verfahren nicht oder nur unzureichend für die Ausführung geeignet ist, sind damit erhöhte Kosten und/oder Bauzeitverlängerungen (aufgrund von verminderter Produktivität oder für den Wechsel auf ein anderes Verfahren) verbunden.

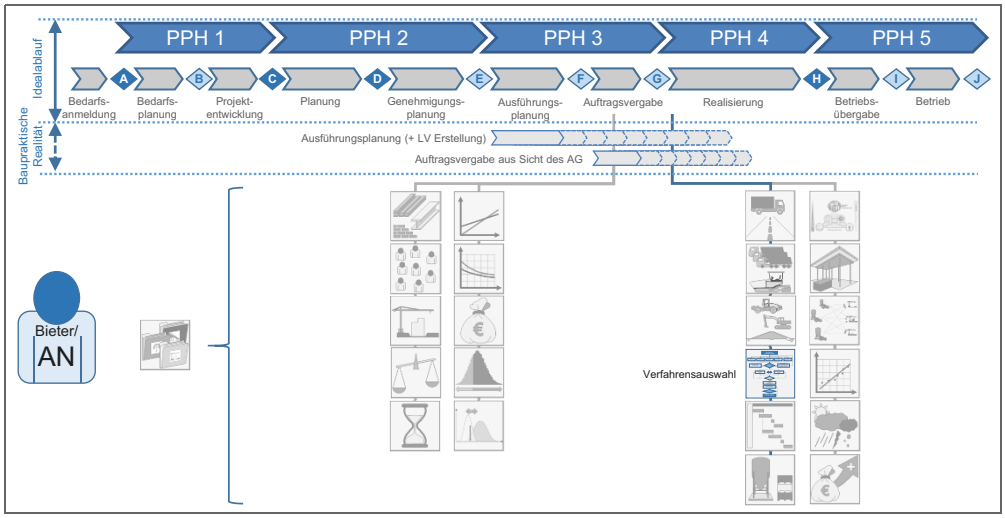


Abb. 10-121 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.4.4.1 Grundlagen

Der systematische Ablauf für den differenzierten Verfahrensvergleich ist in Abb. 10-122 schematisch dargestellt und wird nachfolgend beschrieben:[61)]

1. Formulierung der Ausscheidungskriterien inkl. der Unterkriterien unter Berücksichtigung der Ausschreibungsunterlagen bzw. des Bauvertrags (je nachdem, ob der Auftrag bereits vergeben wurde oder noch nicht):
   - Ästhetische Kriterien
   - Bauwerkskriterien
   - Sicherheitskriterien
   - Technische Kriterien
   - Umwelt- und Umfeldkriterien

2. Durchführung einer Nutzwertanalyse mit Punktesystem (Ausscheidungskriterien)

60) Vgl. Hofstadler (2008), S. 345
61) Vgl. ebd.

3. Überprüfung, ob alle Ausscheidungskriterien erfüllt wurden. Sind Teilkriterien nicht erfüllt, ist zu eruieren ob Elemente des entsprechenden Verfahrens oder Systems ersetzt werden können.
4. Ausscheiden aller Verfahren und Systeme, die nach der Substitution nicht alle Ausscheidungskriterien erfüllen
5. Formulierung der baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Kriterien
6. Ermittlung der Bandbreiten für Kosten und Bauzeit unter besonderer Berücksichtigung des Ressourceneinsatzes und der Logistik
7. Abschätzung des Chancen-Risikoverhältnisses der verschiedenen Verfahren/Systeme hinsichtlich der formulierten Kriterien
8. Durchführung einer Nutzwertanalyse mit Punktesystem (Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Kriterien)
9. Diskussion, Überprüfung und Überarbeitung der Ergebnisse
10. Summenbildung der Punkte je Verfahren bzw. System
11. Abschließende Risikobeurteilung der Verfahren oder Systeme
12. Entscheidung für ein Bauverfahren oder System
13. Im Zuge der Bauausführung dienen Soll-Ist-Vergleiche zur Überprüfung, ob das gewählte Verfahren allen Anforderungen entspricht. Eine Aktualisierung der Entscheidung kann während der Bauausführung erforderlich werden (z.B. geänderte Umstände der Leistungserbringung). Weiters ist zu prüfen, ob alle relevanten Kriterien für den Vergleich erfasst wurden und ob die Gewichtungen der Baurealität entsprochen haben.

Die aus dem Entscheidungsfindungsprozess und in der Evaluierungsphase gewonnenen Erkenntnisse sind dem Wissensspeicher zuzuführen. Damit entsteht ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess in der Entscheidungsfindung und damit wird das Risiko für zukünftige Fehlentscheidungen weiter reduziert.

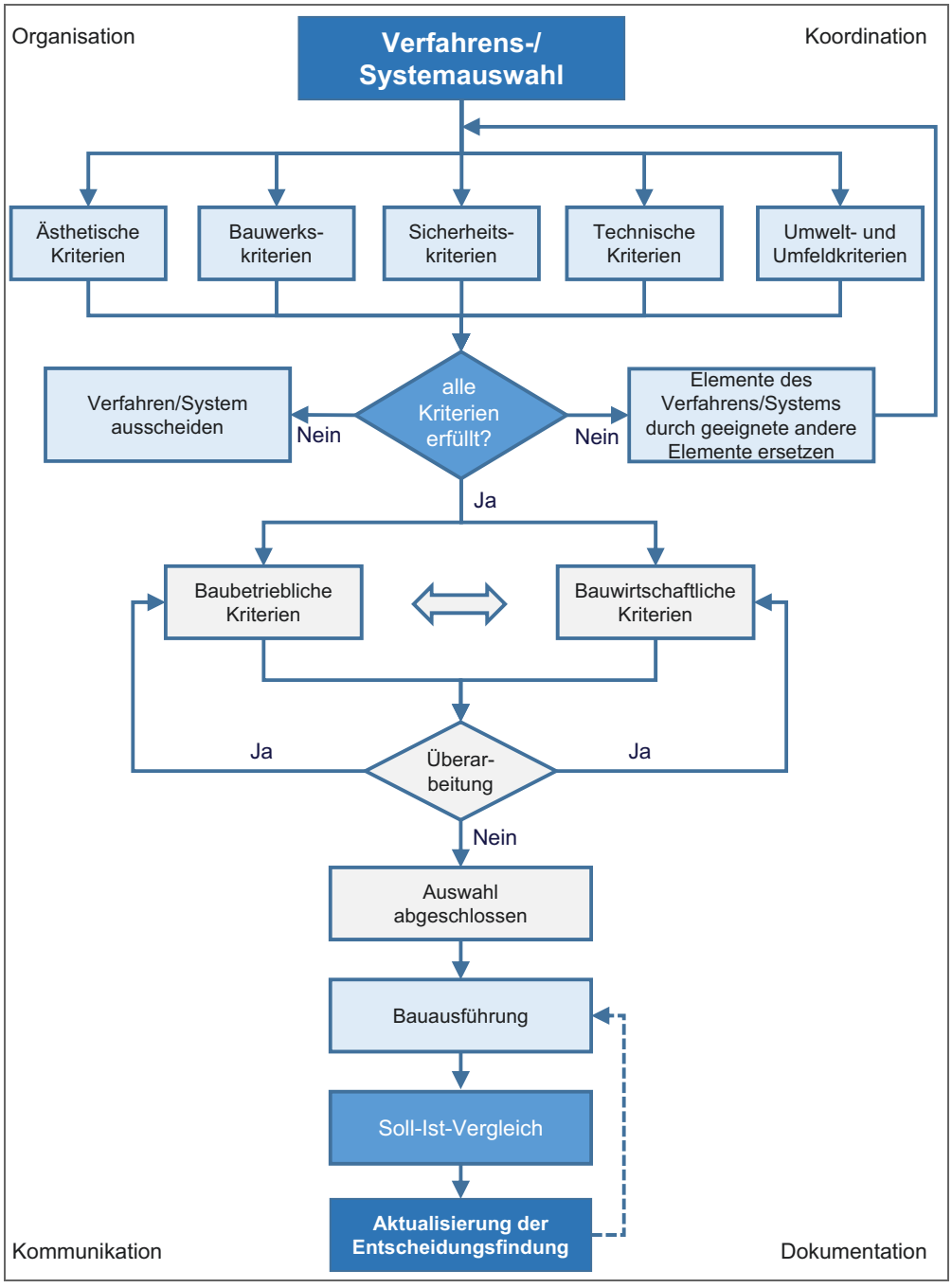


Abb. 10-122 Ablaufdiagramm für den differenzierten Verfahrensvergleich

10.4.4.2 Aufgabenstellung

Für ein zweigeschossiges Fachmarktzentrum (Schnitt siehe Abb. 10-123) sind die Decken in Ortbeton herzustellen. Die Geschosshöhe beträgt für beide Geschosse 4 m und die Geschossdeckenfläche beträgt jeweils 2.250 m². Jede der Decken wird in vier Fertigungsabschnitten hergestellt. In der Entscheidungsfindung ist auch zu berücksichtigen, dass auch Sichtbetonanforderungen zu erfüllen sind.

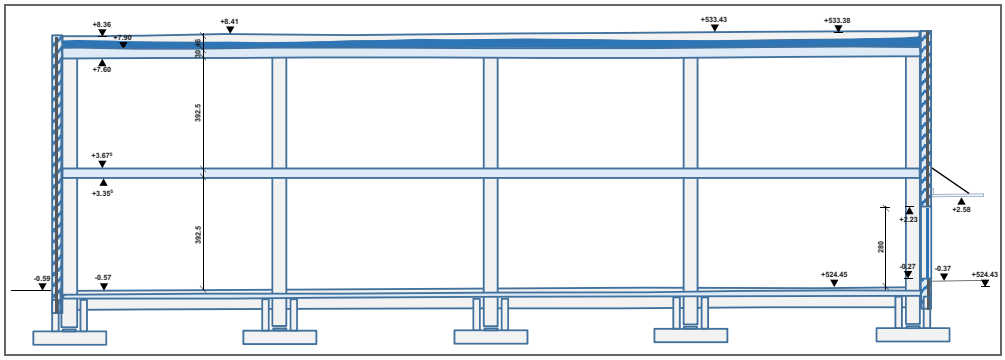


Abb. 10-123 Schnitt – Fachmarktzentrum

Mit Hilfe einer Entscheidungsmatrix (differenzierter Verfahrensvergleich) werden drei Deckenschalungssysteme beurteilt und eine Reihenfolge der Verfahren zur Entscheidungsvorbereitung ermittelt. Die Bewertung der einzelnen Kriterien erfolgt mit Hilfe von Dreiecksverteilungen und auch die Gewichtung der Kriterien erfolgt unter Berücksichtigung von Bandbreiten. Bei der durchgeführten Monte-Carlo-Simulation zur Ermittlung der Gesamtpunktezahl werden durch die probabilistische Berechnung automatisch unterschiedliche Punkte und Gewichtungen miteinander kombiniert (Sensitivitätsanalyse).

Folgende Verfahren werden miteinander verglichen:

Verfahren A

Beim ersten Verfahren handelt es sich um Deckenschaltische, die auf der gleichen Ebene mit einem Tischumsatzgerät und vertikal mit einem Kran umgesetzt werden.

Als Schalungshaut werden dreischichtige Schalungsplatten aus Fichte, deren Oberfläche aus Harnstoff-Melaminharzleim besteht, eingesetzt. Die Verleimung ist koch- und wetterfest und die Kante ist mit einer Imprägnieremulsion versehen. Die Stärke der Platte beträgt 21 mm.

Die Tischgrößen betragen 2,0 x 4,0 m, 2,5 x 4,0 m, 2,0 x 5,0 m und 2,5 x 5,0 m.

Verfahren B

Das zweite zur Auswahl stehende Verfahren ist eine Trägerschalung, bei der das Umsetzen mittels den zur Verfügung stehenden Kranen erfolgt. Die Schalungselemente werden dazu beim Ausschalen bei Bedarf in verschiedenen Transportbehältnissen für den Krantransport zwischengelagert oder direkt händisch in den nächsten Fertigungsabschnitt umgesetzt.

Als Schalungshaut wird ebenfalls eine dreischichtige Betonschalungsplatte aus Fichte, deren Oberfläche aus Harnstoff-Melaminharzleim besteht, eingesetzt. Die Verleimung ist koch- und wetterfest und die Kante ist mit einer Imprägnieremulsion versehen. Die Stärke der Platte beträgt 21 mm.

Verfahren C

Beim letzten Verfahren handelt es sich um eine Modul- bzw. Elementschalung, welche mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Krane umgesetzt werden kann.

Die Schalungshaut besteht aus 3-Schichtplatten mit Melaminharzbeschichtung, bei der die Kanten umlaufend versiegelt sind. Die Platten bestehen aus 3 * 7 mm kreuzweise verleimten Fichtenlagen.

Es werden Elemente der Größe 150 x 50 cm und 150 x 75 cm eingesetzt.

Anzumerken ist, dass bei Verfahren B aufgrund der Flexibilität der Anteil der Passflächen im Gegensatz zu den beiden anderen Systemen kleiner ist. Dies ist jedoch wegen der höheren Anzahl der Einzelteile mit einem höheren Reparaturanteil verbunden. Bei Verfahren A sind hingegen der An- und Abtransport sowie die Lagerung aufgrund der größeren Systemabmessungen aufwendiger.

10.4.4.3 Modellierung

Die Modellbildung baut auf die differenzierte Entscheidungsmatrix nach *Hofstadler* auf.[62)] Für deterministische Entscheidungsfindungen werden für jedes Kriterium die vergebenen Punkte mit den jeweiligen Gewichtungen multipliziert und daraus die Summen für die Ausscheidungskriterien gebildet. Verfahren, bei denen für ein Kriterium null Punkte vergeben werden, sind auszuscheiden (außer es gelingt die Substitution). Für die baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Kriterien werden ebenfalls die jeweiligen Summen gebildet und mit jenen der Ausscheidungskriterien addiert. An dieser Stelle können nach Erfordernis durch Risikofaktoren die Punkte noch abgemindert werden. Jenes Verfahren mit der höchsten Gesamtpunkteanzahl scheint für das Projekt am geeignetsten. Liegen zwei Verfahren sehr eng zusammen, sind weitere Analysen durchzuführen.

Die Erstellung des deterministischen Modells bildet die Basis für die Monte-Carlo-Simulation. Ergänzt wird die Matrix durch zusätzliche Spalten, in denen für jeden Eingabeparameter (Gewichtung und Punktevergabe) neben dem erwarteten Wert auch noch zusätzlich ein minimaler und ein maximaler Wert angegeben werden kann. Dabei muss das Minimum kleiner oder gleich, das Maximum größer oder gleich dem erwarteten Wert sein. Basierend auf diesen drei Eingabewerten je Parameter werden Dreiecksverteilungen definiert. Für die Gewichtungen der übergeordneten Kriterien und der Einzelkriterien muss im Zuge der Simulation jeweils eine Normierung der Gewichtungswerte erfolgen. Bleibt eine solche Normierung aus, können sich während der Iterationen als Summe der prozentuellen Kriteriengewichtungen mehr oder weniger als 100 % ergeben. Durch die Normierung ergibt sich die Summe der prozentuellen Gewichtungen in jedem Iterationsschritt mit genau 100 %.

In den Tab. 10-45 und Tab. 10-46 sind die beiden Teile der Entscheidungsmatrix (Ausscheidungskriterien sowie baubetriebliche und bauwirtschaftliche Kriterien) inkl. der vergebenen Punkte und der definierten Gewichtung dargestellt. In den Spalten 7 und 12 sind jeweils die Dreiecksverteilungen für die Gewichtung der Kriterien hinterlegt. In den Spalten 8 und 13 erfolgt die Normierung der Iterationswerte (in den Tabellen nicht ersichtlich, da jeweils die erwarteten Werte dargestellt sind).

62) Vgl. Hofstadler (2008), S. 345ff.

Entscheidungsmatrix

Kriterien			Gewichtung										Verfahren/System														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
			Gesamt					Einzeln					Punkteverteilung					Punkteverteilung					Punkteverteilung				
Projekt:		Fachmarktzentrum	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM	Verfahren A					Verfahren B					Verfahren C				
Bearbeiter:		Hofstadler/Kummer Version: 1.0	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM
Ausscheidungskriterien	Ästhetische Kriterien	Abdichtung zu den vertikalen Bauteilen						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,060	3	4	5	4	0,080	2	3	4	3	0,060
		Beanspruchung der Elementkanten						5	10	15	10	10	2	3	3	3	0,053	2	2	3	2	0,047	3	4	5	4	0,080
		Beanspruchung der Schalungshautkanten						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,060	2	2	3	2	0,047	3	4	5	4	0,080
		Ebenheit						10	15	20	15	15	3	4	5	4	0,120	3	4	5	4	0,120	4	5	5	5	0,140
		Elementfugen	15	20	25	20	20	10	15	20	15	15	2	3	4	3	0,090	4	4	5	4	0,130	4	5	5	5	0,140
		Farbgleichheit						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,060	3	4	5	4	0,080	3	4	5	4	0,080
		Flächengliederung						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,060	2	3	4	3	0,060	4	5	5	5	0,093
		Schalungshautfugen						5	10	15	10	10	3	4	5	4	0,080	2	3	4	3	0,060	4	5	5	5	0,093
		Struktur						5	10	15	10	10	3	4	5	4	0,080	2	3	4	3	0,060	3	4	5	4	0,080
	Punkteanzahl - Teilkriterium								100		100	100					0,663					0,683					0,847
	Bauwerksspezifische Kriterien	Anzahl der sich wiederholenden Grundrisse						5	10	15	10	10	3	4	5	4	0,080	2	3	4	3	0,060	3	4	5	4	0,080
		Aufriss des Bauwerks						5	10	15	10	10	1	2	3	2	0,040	3	4	5	4	0,080	3	4	5	4	0,080
		Bewehrungsgrad						5	10	15	10	10	4	5	5	5	0,093	4	5	5	5	0,093	4	5	5	5	0,093
		Ebene/gekrümmte Flächen						5	10	15	10	10	4	5	5	5	0,093	4	5	5	5	0,093	4	5	5	5	0,093
		Gesamthöhe des Bauwerks	15	20	25	20	20	5	10	15	10	10	1	2	3	2	0,040	3	4	5	4	0,080	3	4	5	4	0,080
		Gleichbleibender/wechselnder Grundriss						5	10	15	10	10	3	4	5	4	0,080	4	5	5	5	0,093	3	3	4	3	0,067
		Gleichbleibender/wechselnder Aufriss						5	10	15	10	10	3	4	5	4	0,080	3	4	5	4	0,080	3	4	5	4	0,080
		Grundriss des Bauwerks						15	20	25	20	20	3	4	5	4	0,160	4	5	5	5	0,187	3	3	4	3	0,133
		Umbau während des Einsatzes						5	10	15	10	10	4	4	5	4	0,087	2	3	4	3	0,060	4	5	5	5	0,093
	Punkteanzahl - Teilkriterium								100		100	100					0,753					0,827					0,800
	Sicherheits-technische Kriterien	Qualität und Beständigkeit der Elemente						25	30	35	30	30	2	3	4	3	0,135	2	3	3	3	0,120	3	4	5	4	0,180
		Sicheres Arbeiten in allen Arbeitsphasen						10	15	20	15	15	3	4	5	4	0,090	2	3	4	3	0,068	3	4	5	4	0,090
		Subjektives Sicherheitsgefühl für die Arbeitskräfte	10	15	20	15	15	10	15	20	15	15	2	3	4	3	0,068	2	3	4	3	0,068	3	4	5	4	0,090
		Systemintegrierte Sicherheitselemente						15	20	25	20	20	2	3	4	3	0,090	3	3	4	3	0,100	4	4	5	4	0,130
		Windanfälligkeit						15	20	25	20	20	2	3	4	3	0,090	4	5	5	5	0,140	3	4	4	4	0,110
	Punkteanzahl - Teilkriterium								100		100	100					0,473					0,495					0,600
	Technische Kriterien	Anbindung an Passflächen						15	20	25	20	20	2	2	3	2	0,140	4	5	5	5	0,280	2	3	3	3	0,160
		Anbindung von Aussparungen und Einbauten						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,090	4	5	5	5	0,140	2	2	3	2	0,070
		Anschluss der Randabschalung						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,090	3	4	4	4	0,110	2	3	3	3	0,080
		Anschluss von Unterzugschalungen						1	2	3	2	2	2	2	3	2	0,014	3	4	5	4	0,024	2	3	4	3	0,018
		Arbeitsraum für das Ausschalen und Umsetzen						4	6	10	6	6	2	2	3	2	0,042	4	4	5	4	0,078	3	4	4	4	0,066
		Aufstandsfläche für die Lastableitung (eben, geneigt)						2	3	4	3	3	4	5	5	5	0,042	4	5	5	5	0,042	4	5	5	5	0,042
		Bewehrungsart, Bewehrungsgrad						4	6	10	6	6	4	5	5	5	0,084	4	5	5	5	0,084	4	5	5	5	0,084
		Dichtheit der Elementfugen und Schalungshautfugen gegen Auslaufen von Zementleim	25	30	35	30	30	10	15	20	15	15	2	2	3	2	0,105	3	3	4	3	0,150	3	4	5	4	0,180
		Ebenheit						6	8	12	8	8	2	3	4	3	0,072	3	4	5	4	0,096	3	4	5	4	0,096
		Einfluss der Witterung auf die Schalungshautoberfläche						7	8	9	8	8	2	3	4	3	0,072	2	3	4	3	0,072	3	4	5	4	0,096
		Einfluss der Anzahl der Einsätze auf die Schalungshautoberfläche						6	7	8	7	7	1	2	3	2	0,042	2	3	4	3	0,063	3	4	5	4	0,084
		Lagerfunktion für andere Materialien oder Geräte						2	3	4	3	3	2	3	4	3	0,027	2	2	3	2	0,021	3	4	5	4	0,036
		Tragfähigkeit des Untergrundes zur Lastableitung						1	2	3	2	2	4	5	5	5	0,028	4	5	5	5	0,028	4	5	5	5	0,028
	Punkteanzahl - Teilkriterium								100		100	100					0,848					1,188					1,040
	Umwelt- u. Umfeldspezifische Kriterien	Anrainer						5	10	15	10	10	3	4	5	4	0,060	2	3	4	3	0,045	4	5	5	5	0,070
		Bebauungsdichte	10	15	20	15	15	0	10	15	10	10	4	5	5	5	0,070	4	5	5	5	0,070	4	5	5	5	0,070
		Globale Verkehrsanbindung						40	50	60	50	50	3	4	5	4	0,300	4	5	5	5	0,350	4	5	5	5	0,350
		Windbedingungen						25	30	35	30	30	3	4	5	4	0,180	4	5	5	5	0,210	4	5	5	5	0,210
	Punkteanzahl - Teilkriterium								100		100	100					0,610					0,675					0,700
						100	100										**3,347**					**3,868**					**3,987**
Ausscheidungsfaktor (multiplikativ: 1 alle Kriterien erfüllt, 0 zumindest ein Kriterium nicht erfüllt)																	**1**					**1**					**1**
Individueller Faktor (multiplikativ: Zwischen 0 und 1)																	**1**					**1**					**1**
Punkteanzahl der Ausscheidungskriterien:																	**3,35**					**3,87**					**3,99**

Tab. 10-45 Entscheidungsmatrix – Teil 1

Die Spalten 17, 22 und 27 enthalten jeweils die Dreiecksverteilungen für die Punktevergaben je Verfahren (A, B und C). Diese Dreiecksverteilungen werden für jede Zeile mit den Gewichtungen der Spalte 8 und 13 multipliziert, um die gewichteten Punkteanteile je Kriterium und Verfahren je Iterationsschritt zu berechnen.

Die Summe der gewichteten Punkteanteile wird für jedes Kriterium sowie für die Gesamtheit der Kriterien durchgeführt. Die Gesamtpunkteanzahl der drei zur Auswahl stehenden Verfahren ergibt sich als vorletzter Wert in den Spalten 18, 23 und 28 der Tab. 10-46. Der letzte Wert entspricht der Reihung der Verfahren (1 = am besten geeignetstes Verfahren).

Entscheidungsmatrix

Kriterien			Gewichtung										Verfahren/System																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
			Gesamt					Einzeln					Punkteverteilung					Punkteverteilung					Punkteverteilung				
Projekt:		Fachmarktzentrum	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM	Verfahren A					Verfahren B					Verfahren C				
Bearbeiter:		Hofstadler/Kummer Version: 1.0	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM	MIN	ERW	MAX	Vert.	SIM
Baubetriebliche u. bauwirtschaftliche Kriterien	Baubetriebliche Kriterien	Abstand zwischen Fertigungsschwerpunkt(en) und Lagerungsschwerpunkt(en)	40	50	60	50	50	4	7	11	7	7	2	3	4	3	0,105	4	5	5	5	0,163	4	5	5	5	0,163
		Anforderungen an die Qualifikation der Arbeitskräfte						4	5	6	5	5	2	3	4	3	0,075	3	4	5	4	0,100	3	4	5	4	0,100
		Anforderungen an die Baustelleneinrichtung						4	5	6	5	5	1	2	3	2	0,050	4	5	5	5	0,117	4	5	5	5	0,117
		Anforderungen an die Sichtbetonqualität						4	5	6	5	5	1	2	3	2	0,050	2	3	4	3	0,075	2	3	4	3	0,075
		Anzahl der Arbeitskräfte für eine Arbeitsgruppe						2	3	4	3	3	2	3	4	3	0,045	2	3	4	3	0,045	4	5	5	5	0,070
		Anzahl der einsetzbaren Arbeitskräfte je Fertigungsabschnitt						4	5	6	5	5	2	3	4	3	0,075	3	4	5	4	0,100	4	5	5	5	0,117
		Anzahl der möglichen Einsätze auf der gleichen Ebene						2	4	6	4	4	2	3	4	3	0,060	3	4	5	4	0,080	3	4	5	4	0,080
		Aufwandswerteverhältnis: z.B. Einschalen zu Ausschalen						4	5	6	5	5	3	4	5	4	0,100	1	2	3	2	0,050	4	5	5	5	0,117
		Erforderliche tägliche Schalungsleistung						6	8	10	8	8	3	4	4	4	0,147	3	3	4	3	0,133	3	4	4	4	0,147
		Erzielbare tägliche Schalungsleistung						6	8	12	8	8	4	4	5	4	0,173	2	3	3	3	0,107	3	4	5	4	0,160
		Flexibilität						20	25	30	25	25	1	2	3	2	0,250	4	5	5	5	0,583	3	3	4	3	0,417
		Kranverfügbarkeit und Kranintensität						5	10	15	10	10	1	1	2	1	0,067	4	4	5	4	0,217	3	3	4	3	0,167
		Lagerungsbedarf bzw. Zwischenlagerungsbedarf						4	5	6	5	5	1	1	2	1	0,033	3	4	5	4	0,100	3	4	5	4	0,100
		Verfügbarkeit der Schalung am Bauhof						1	2	3	2	2	2	2	2	2	0,020	2	3	3	3	0,027	2	2	2	2	0,020
		Weitgehende Witterungsunabhängigkeit						2	3	4	3	3	2	3	4	3	0,045	3	4	5	4	0,060	4	5	5	5	0,070
	Punkteanzahl - Teilkriterium								100		100	100					1,295					1,957					1,918
	Bauwirtschaftliche Kriterien	Anbindung an die Passflächen	40	50	60	50	50	5	10	15	10	10	1	2	3	2	0,100	4	4	5	4	0,217	2	3	4	3	0,150
		Anteil der Serienteile						2	3	4	3	3	2	3	3	3	0,040	4	4	5	4	0,065	4	4	5	4	0,065
		Anzahl der Einzelteile						1	2	3	2	2	3	4	5	4	0,040	3	3	4	3	0,033	3	4	4	4	0,037
		Anzahl der möglichen Einsätze der Schalungshaut						7	8	9	8	8	2	2	3	2	0,093	3	4	5	4	0,160	3	4	5	4	0,160
		Anzahl der möglichen Einsätze der Unterstützung						2	3	4	3	3	2	3	4	3	0,045	3	4	5	4	0,060	4	5	5	5	0,070
		Anzahl der möglichen Einsätze auf der gleichen Ebene						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,150	3	4	5	4	0,200	3	4	5	4	0,200
		Aufwandswert						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,150	2	3	3	3	0,133	3	4	5	4	0,200
		Dispositiver Arbeitsaufwand						5	10	15	10	10	2	3	3	3	0,133	3	4	4	4	0,183	3	4	4	4	0,183
		Erzielbare tägliche Leistung						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,150	2	3	4	3	0,150	4	4	5	4	0,217
		Grund- und Demontagearbeiten						2	3	4	3	3	2	3	4	3	0,045	2	3	4	3	0,045	3	4	5	4	0,060
		Kranintensität						5	10	15	10	10	1	2	3	2	0,100	4	4	5	4	0,217	3	4	5	4	0,200
		Mietsatz						4	5	6	5	5	2	3	4	3	0,075	2	3	4	3	0,075	2	2	3	2	0,058
		Miet-/Kaufanteil						0	1	2	1	1	2	2	3	2	0,012	2	3	3	3	0,013	2	3	4	3	0,015
		Produktivität						4	5	6	5	5	1	2	3	2	0,050	2	3	4	3	0,075	4	5	5	5	0,117
		Vorhaltemenge						5	10	15	10	10	2	3	4	3	0,150	4	5	5	5	0,233	3	4	4	4	0,183
	Punkteanzahl - Teilkriterium								100		100	100					1,333					1,860					1,915
						100	100										**2,628**					**3,817**					**3,833**
Gesamtpunkteanzahl der Verfahren/Systeme:																	**5,98**					**7,68**					**7,82**
Risikofaktor (multiplikativ: 1 kein erhöhtes Risiko, 0 unüberwindbares Risiko) **:**																	**1**					**1**					**1**
Endpunkteanzahl:																	**5,98**					**7,68**					**7,82**
Entscheidung (Reihenfolge):																	**3**					**2**					**1**

Tab. 10-46 Entscheidungsmatrix – Teil 2

10.4.4.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Aus der Monte-Carlo-Simulation, die für die entwickelte Entscheidungsmatrix durchgeführt wurde, errechnet sich für die Gesamtpunkteanzahl der drei Verfahren jeweils ein Histogramm (siehe Abb. 10-124). Die Darstellung zeigt, dass alle Verfahren eine ähnliche Spannweite der Ergebnisse aufweisen. Dies begründet sich dadurch, dass einerseits die Gewichtung der Kriterien für alle Verfahren identisch ist, andererseits wurden bei der Punktevergabe durchwegs nur eine Bandbreite von einem oder zwei Punkten für die Bewertung der Verfahren je Kriterium angesetzt.[63)]

Grundsätzlich wären alle drei Verfahren für die Ausführung der Geschossdecken geeignet (keines der Ausscheidungskriterien musste mit ‚null' bewertet werden), jedoch konnte Verfahren A die wenigsten Punkte erreichen.

63) Beispielsweise wurden für das Kriterium ‚Umbau während des Einsatzes' für das Verfahren A die Werte 4 | 4 | 5 (Bandbreite = 1) und für das Verfahren B mit 2 | 3 | 4 (Bandbreite = 2) angesetzt.

Für die Verfahrenswahl bleiben demnach die Verfahren B und C übrig. Auf den ersten Blick weist dabei Verfahren C den größeren Mittelwert der Gesamtpunkteanzahl auf. Jedoch überschneiden sich die beiden Histogramme der Verfahren B und C für die Gesamtpunkteanzahl auch in einem Bereich. Diese Überlappung ist so zu interpretieren, dass es innerhalb der Simulation auch zu Punkte und Gewichtungskombinationen auf Basis der Eingabe gekommen ist, bei denen das Verfahren B mehr Punkte erhalten hat, als das Verfahren C. Die Entscheidung für das Verfahren C weist demnach eine gewisse Unsicherheit auf, die es zu beziffern gilt.

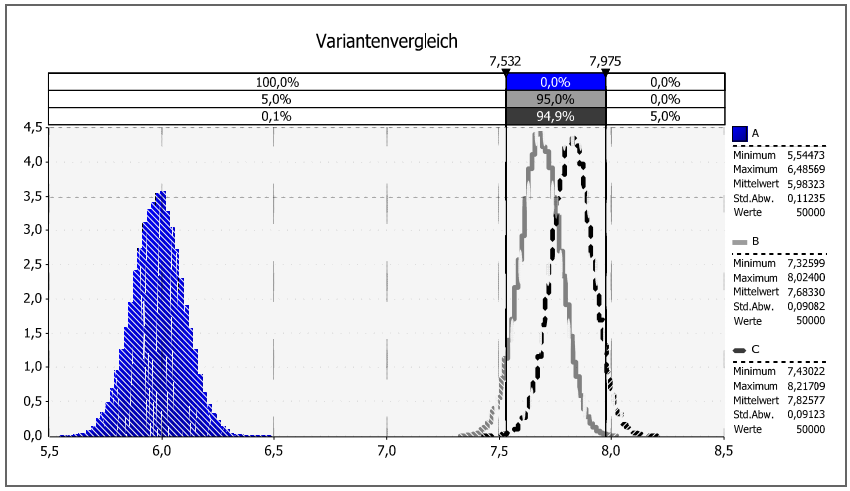


Abb. 10-124 Vergleich der Punktebewertungen für die drei Verfahren

Neben der Punkteanzahl je Verfahren lassen sich auch die Ränge der Verfahren automatisch ermitteln. Die Reihung erfolgt dabei wie bei Sportergebnissen, wobei es auch ex aequo Plätze bei Punktegleichstand in einem Iterationsschritt gibt. Ein solcher Fall ist allerdings beim Ansatz von stetigen Verteilungen und der Vielzahl an Kriterien sehr unwahrscheinlich.

Abb. 10-125 zeigt die erzielten Ränge des Verfahrens C im Zuge der durchgeführten Simulation (50.000 Iterationen). Den dritten Platz belegte das Verfahren C in keinem der berechneten Fälle. Dies bestätigt die erste Interpretation der Histogramme in Abb. 10-124.

Weiters belegte das Verfahren C in ca. 87 % der Fälle Platz 1 und in etwa 13 % der Fälle den zweiten Platz. Trifft der AN nun seine Entscheidung auf Basis des durchgeführten differenzierten probabilistischen Verfahrensvergleichs und wählt das Verfahren C, kann die Chance, dass sich das Verfahren auch tatsächlich als jenes, das die definierten Kriterien am besten erfüllt, mit ca. 87 % angegeben werden. In ca. 13 % der Fälle wäre Variante B eine bessere Wahl gewesen.

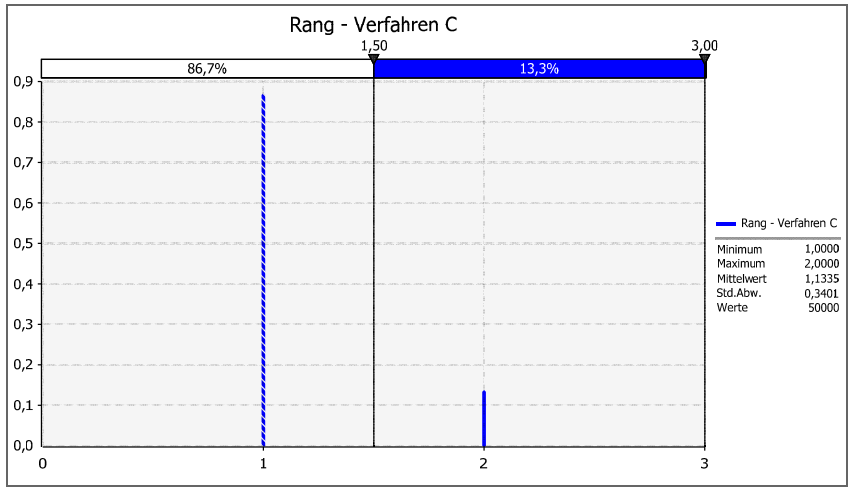


Abb. 10-125 Balkendiagramm – Rang des Verfahrens C

10.4.4.5 Nutzen für den AN

Der AN stützt seine Entscheidung beim differenzierten Verfahrensvergleich auf die Bewertung von Einzelkriterien. Diese Bewertung wird sowohl auf Basis von harten als auch von weichen Faktoren mit Unsicherheiten durchgeführt.

Der Vorteil der Monte-Carlo-Simulation ist, dass diese Unsicherheiten durch Bandbreiten bzw. Verteilungsfunktionen abgebildet und in die Berechnung integriert werden. Fällt die Entscheidung eindeutig aus (wie im Beispiel der dritte Platz für Variante A), wird dies durch die Simulation mit der Darstellung des Ergebnisses als Bandbreite nochmals bestätigt. Weisen aber zwei Verfahren ähnliche Punktesummen auf, zeigt sich in den Histogrammen eine Überlappung und es kann mit Hilfe der Ränge ein Chancen-Risiko-verhältnis angegeben werden. Ist dieses Verhältnis für eine Entscheidung nicht signifikant, muss evtl. die Punktevergabe und/oder die Gewichtung nochmals kontrolliert oder weitere Kriterien hinzugefügt werden.

Eine überlappende Darstellung der Histogramme für die Gesamtpunktezahl ist nur mit probabilistischen Berechnungen möglich. Bei rein deterministischen Betrachtungen liegt jeweils nur ein Gesamtpunktewert je Verfahren vor. Durch diese Verdichtung der vorhandenen Informationen auf eine einzelne Zahl ist über die Streuung der Punkteanzahl sowie das Chance-Risikoverhältnis keine Aussage möglich.

10.4.5 Fertigungsablaufplanung

Die Planung von Abfolgen einzelner Tätigkeiten oder Leistungen gewinnt mit zunehmender Betrachtungstiefe bzw. zunehmenden Detaillierungsgraden an Bedeutung. Während in frühen Projektphasen grobe Angaben zu den Dauern bezogen auf das gesamte Bauwerk oder Teile davon ausreichend sind, gilt es in der Ausführung (PPH 4 – siehe Abb. 10-126) die Arbeiten für einzelne Bauteile bzw. Fertigungsabschnitte zu planen.

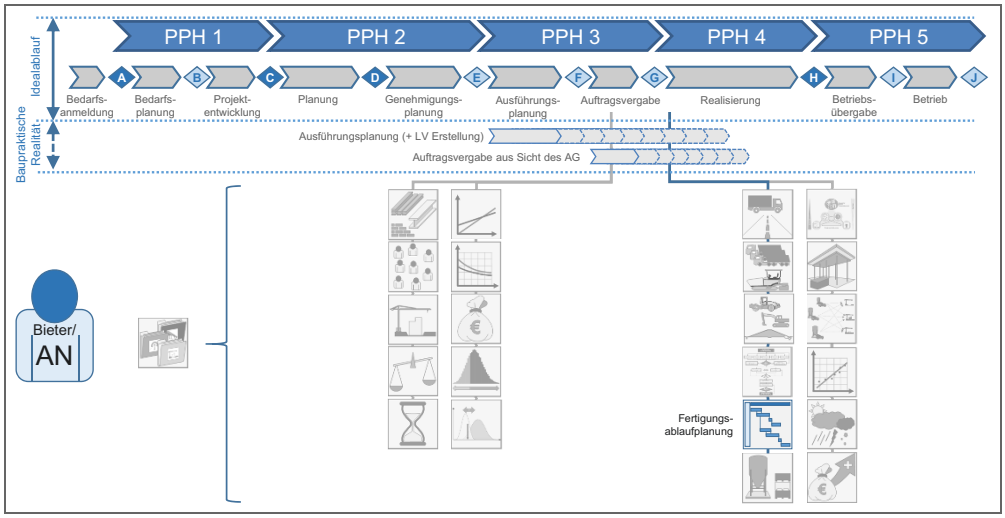


Abb. 10-126 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

Im Hochbau werden für die Ablaufplanung sehr häufig vernetzte Balkenpläne herangezogen. Jeder Balken entspricht dabei einer Tätigkeit, wobei die Länge der Balken die geplante Dauer für die entsprechende Tätigkeit symbolisiert.

Die Einzeldauern werden dabei als deterministische Werte angegeben, die keinerlei Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit oder Bandbreite zulassen. Soll beispielsweise ein Deckenabschnitt in fünf Tagen hergestellt werden, kann aus dem entsprechenden Balkenplan keine Aussage über die Wahrscheinlichkeit getroffen werden. Anhand eines Beispiels wird gezeigt, wie mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation auch in der Fertigungsablaufplanung Unsicherheiten der Inputparameter berücksichtigt werden können.

10.4.5.1 Aufgabenstellung

Für ein Hochbauprojekt beträgt die Schalfläche eines Regelgeschosses 1.500 m². Insgesamt sind sechs Geschosse in jeweils drei Fertigungsabschnitten herzustellen (siehe Abb. 10-127). Es ergibt sich damit eine zu schalende Fläche von insgesamt 9.000 m².

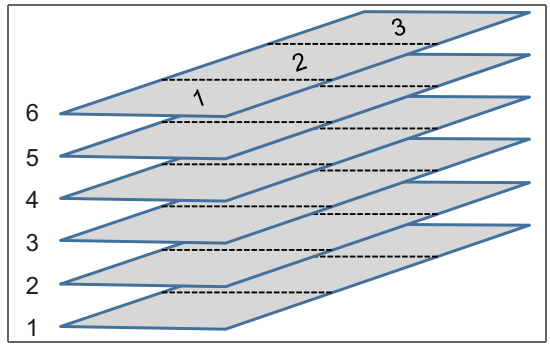


Abb. 10-127 Schematische Darstellung der herzustellenden Decken

Auf Basis der Grobterminplanung sind für die Herstellung der Decken (in Summe 18 Fertigungsabschnitte) insgesamt 90 d vorgesehen. Dies entspricht einer geplanten Herstellungsdauer je Fertigungsabschnitt von 5 d/FA.

Anhand eines Detailterminplans und unter Berücksichtigung der vorhandenen Unsicherheiten wird das Chancen-Risikoverhältnis für die Einhaltung des geplanten Taktablaufs (5 d/FA) ermittelt. Betrachtet werden dabei nur die am kritischen Weg liegenden Arbeiten (Schalen, Bewehren und Betonieren).

10.4.5.2 Modellierung

Der schematische Berechnungsablauf für die Ermittlung der Leistungen bzw. der Vorgangsdauern für das Schalen, Bewehren und Betonieren eines Deckenabschnitts ist in Abb. 10-128 dargestellt.

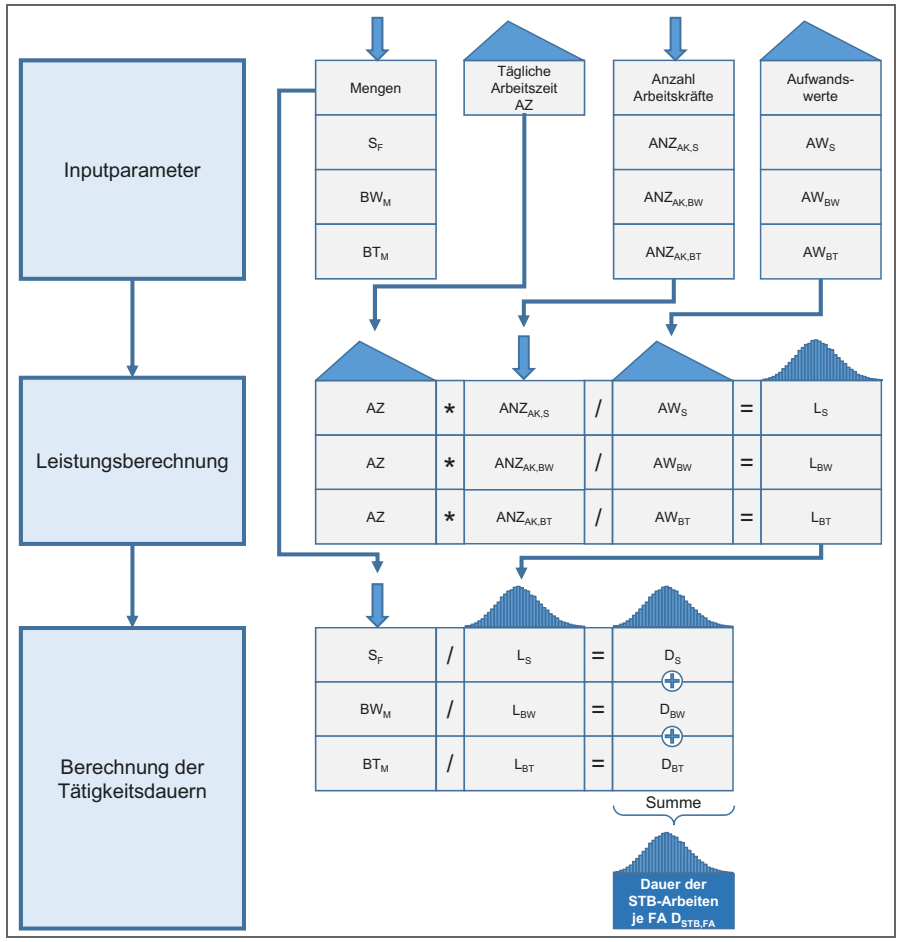


Abb. 10-128 Schematischer Berechnungsablauf – Fließfertigung – Fertigungsabschnitt einer Decke

Die Aufwandswerte und die tägliche Arbeitszeit werden dabei als Dreiecksverteilungen modelliert. Alle anderen Parameter (Mengen und Anzahl der Arbeitskräfte) fließen als deterministische Werte (symbolisiert durch Pfeile) in die Berechnung ein.

Die Summe der Einzelvorgangsdauern ergibt für die Fließfertigung (kein Versatz zwischen Schalen und Bewehren) die Dauer für die Herstellung eines Fertigungsabschnitts der Decken.

Betrachtet werden für dieses Beispiel nur die Vorgänge am kritischen Weg. Unberücksichtigt bleiben damit in der Modellierung die Ausschalfrist sowie der Vorgang für das Ausschalen der Decken.

10.4.5.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Die Berechnung der Dauer für Herstellung eines Deckenfertigungsabschnitts ist in Tab. 10-47 dargestellt. Inputparameter die als Dreiecksverteilungen angesetzt werden, sind durch die minimalen, erwarteten und maximalen Werte in den Spalten B, C und D definiert. Die entsprechenden Verteilungen sind für die jeweiligen Zeilen in der Spalte E hinterlegt. Handelt es sich bei den Inputparametern um deterministische Werte, ist lediglich in der Spalte C der erwartete Wert eingetragen. Dieser wird zur Berechnung in die Spalte E übernommen. Parameter die keine Eintragungen in den Spalten C bis D aufweisen sind als Zwischenergebnisse von Berechnungen zu betrachten.

Das Gebäude hat in Summe sechs Geschosse, wobei die Schalfläche je Regelgeschossdecke (Zeile 1) 1.500 m² beträgt. In Summe sind damit 9.000 m² Deckenschalung herzustellen, wobei jedes Geschoss in drei Fertigungsabschnitten unterteilt wird. Die Schalungsfläche der Decken S_F ergibt sich demnach je Fertigungsabschnitt mit 500 m² (als deterministischer Wert in Zelle E5). Die Deckendicke d beträgt 30 cm (Zeile 6) und der Bewehrungsgrad bw_g der Decken 120 kg/m³ (Zeile 8). Damit lassen sich die Stahlbetonmenge BT_M sowie die Bewehrungsmenge BW_M je Fertigungsabschnitt in den Zellen E7 bzw. E9 ermitteln.

Mit Unsicherheiten sind die Aufwandswerte für das Einschalen, Bewehren und Betonieren sowie die tägliche Arbeitszeit behaftet. Diese Parameter werden als Dreiecksverteilungen in den Zeilen 10 bis 12 bzw. 16 definiert. Die Anzahl der Arbeitskräfte unterscheidet sich je nach Tätigkeit. Für das Einschalen wird eine Gruppe mit 5 AK, für das Bewehren zwei Gruppen mit jeweils 5 AK und für das Betonieren ebenfalls zwei Gruppen mit je 4 AK eingesetzt (Zeilen 13 bis 15).

Die Leistungen für das Schalen, Bewehren und Betonieren ergeben sich in den Zeilen 17 bis 19 durch Einsetzen der Berechnungsparameter in die Gleichung für die Leistungsberechnung (siehe Glg. (10-29)).

$$L = \frac{AK \cdot AZ}{AW} \tag{10-29}$$

Aus der Division der Mengen durch die Leistungen lassen sich in weiterer Folge die Dauern für die einzelnen Tätigkeiten (Schalen, Bewehren und Betonieren) berechnen (Zeilen 20 bis 22). Für eine reine Fließfertigung (ohne Versatz zwischen den Vorgängen für das Schalen und Bewehren ergibt sich in Zelle E23 die Dauer für Herstellung eines Deckenfertigungsabschnitts.

Lfd. Nr.	Parameter		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A		B	C	D	E
1	Schalfläche des Regelgeschosses			1.500,00		1.500,00 m²
2	Anzahl der Geschosse			6,00		6,00
3	Anzahl der Fertigungsabschnitte			3,00		3,00
4	Schalungsfläche - Decken					9.000,00 m²
5	Schalungsfläche je FA	S_F				500,00 m²
6	Deckendicke	d		0,30		0,30 m
7	Stahlbetonmenge je FA	BT_M				150,00 m³
8	Bewehrungsgrad	bw_g		120,00		120,00 kg/m³
9	Bewehrungsmenge je FA	BW_M				18,00 t
10	Mittlerer Aufwandswert - Einschalen	AW_S	0,18	0,20	0,25	0,20 Std/m²
11	Mittlerer Aufwandswert - Bewehren	AW_{BW}	9,00	10,00	12,00	10,00 Std/t
12	Mittlerer Aufwandswert - Betonieren	AW_{BT}	0,40	0,45	0,55	0,45 Std/m³
13	Anzahl Arbeitskräfte - Einschalen	$ANZ_{AK,S}$		5,00		5,00 Std/h
14	Anzahl Arbeitskräfte - Bewehren	$ANZ_{AK,BW}$		10,00		10,00 Std/h
15	Anzahl Arbeitskräfte - Betonieren	$ANZ_{AK,BT}$		8,00		8,00 Std/h
16	Tägliche Arbeitszeit	AZ	8,00	9,00	10,00	9,00 h/d
17	Leistung - Einschalen	L_S				225,00 m²/d
18	Leistung - Bewehren	L_{BW}				9,00 t/d
19	Leistung - Betonieren	L_{BT}				160,00 m³/d
20	**Dauer - Einschalen**	**D_S**				**2,22 d**
21	**Dauer - Bewehren**	**D_{BW}**				**2,00 d**
22	**Dauer - Betonieren**	**D_{BT}**				**0,94 d**
23	**Summe S, BW, BT je FA**	**$D_{STB,FA}$**				**5,16 d**

Tab. 10-47 Berechnungstabelle – Dauer für das Schalen, Bewehren und Betonieren eines Fertigungsabschnitts

Auf Basis der Mittelwerte der durchgeführten Berechnung ergibt sich in Abb. 10-129 der vernetzte Balkenplan eines Fertigungsabschnitts. Es zeigt sich, dass die drei Tätigkeiten durch Ende-Anfangsbeziehungen miteinander verknüpft sind und, dass die Dauer für das Schalen, Bewehren und Betonieren auf Basis der Mittelwerte länger als 5 d (nämlich 5,16 d) dauert. Dieser dargestellte Fall ergibt sich jedoch nur aufgrund einer spezifischen Kombination der Inputparameter und liefert noch keine Aussage über das Chancen-Risikoverhältnis.

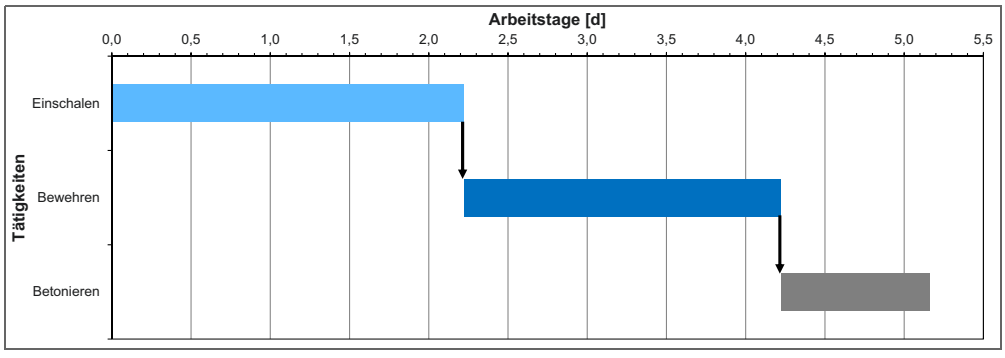


Abb. 10-129 Vernetzter Balkenplan – Fertigungsabschnitt einer Decke

In Abb. 10-130 sind neben dem Balkenplan auf Basis der Mittelwerte für die Dauern der Tätigkeiten auch die Histogramme der möglichen Fertigstellungstermine der einzelnen Tätigkeiten dargestellt. Es zeigt sich, dass bei Vorliegen mehrerer verknüpfter, unsicherer Vorgänge die Streuung des Endtermins zunimmt. Je mehr unsichere Vorgänge am kritischen Weg zu einem geplanten Endtermin führen, desto größer wird die Bandbreite möglicher Fertigstellungstermine.

Werden bewusst Puffer in den Ablauf eingeplant oder können die Bandbreiten der unsicheren Inputparameter eingeschränkt werden, ist wiederum mit einer Reduktion der Bandbreiten zu rechnen.

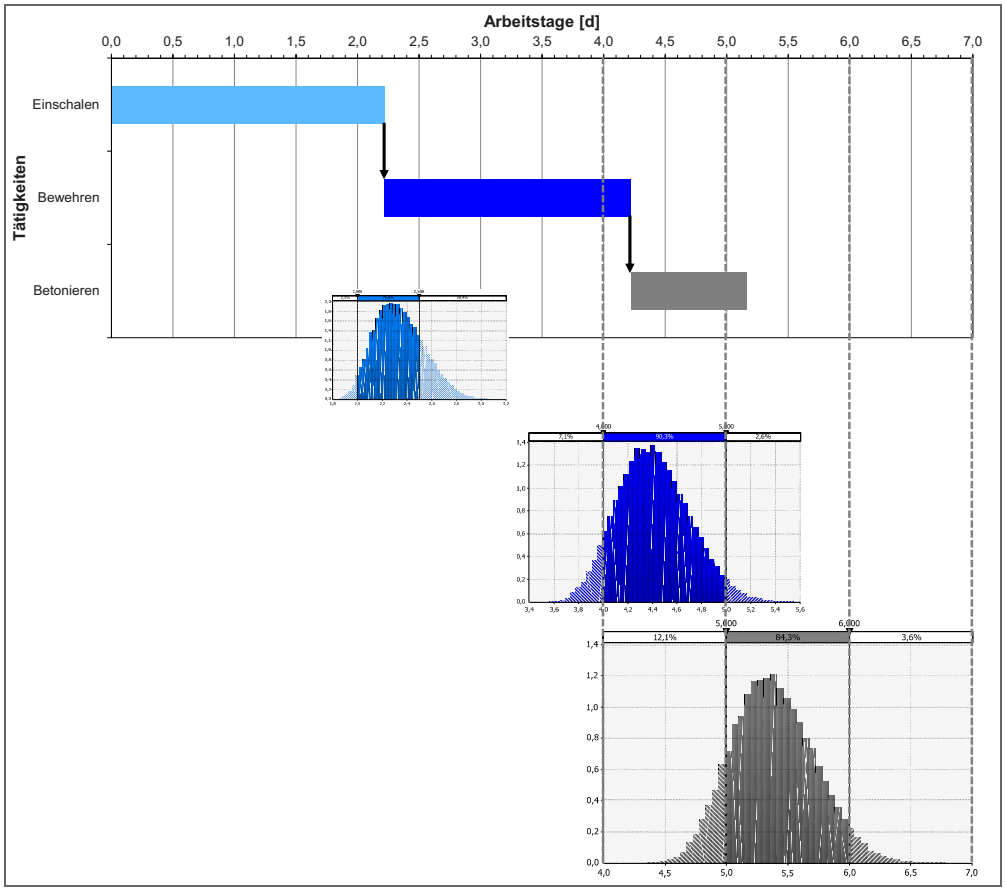


Abb. 10-130 Vernetzter Balkenplan inkl. Histogramme – Fertigungsabschnitt einer Decke

Für das gegenständliche Beispiel ist ein Fertigungsrhythmus der Deckenabschnitte von 5 d vorgesehen. Das Histogramm für die Dauer eines Fertigungsabschnitts ist in Abb. 10-131 noch einmal vergrößert dargestellt.

Auf Basis des Fertigungsablaufs (Fließfertigung) und der Ansätze für die unsicheren Inputparameter ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit, dass der geplante Fertigungsrhythmus von 5 d/FA eingehalten werden kann, von lediglich etwa 12,1 %. In ca. 84,3 % der simulierten Fälle liegt die Herstellungsdauer zwischen 5 und 6 d. Eine Dauer von mehr als sechs Tagen liefert die Simulation in ca. 3,6 % der Fälle.

Eine terminliche Einhaltung des geplanten Fertigungsablaufs ist aufgrund der durchgeführten Analyse zwar baubetrieblich möglich, das Risiko, welches der AN eingehen würde, wäre allerdings mit ca. 88 % sehr hoch.

Um diesem Umstand entgegenzuwirken wäre es denkbar, die beiden Vorgänge des Einschalens und des Bewehrens überlappen zu lassen, um damit eine Parallelisierung der Vorgänge zu erzielen. Dabei gilt es zu beachten, dass die Bewehrungsarbeiten nicht auf die Schalarbeiten auflaufen dürfen und für alle Arbeitskräfte genügend Arbeitsfläche vorhanden ist.[64)]

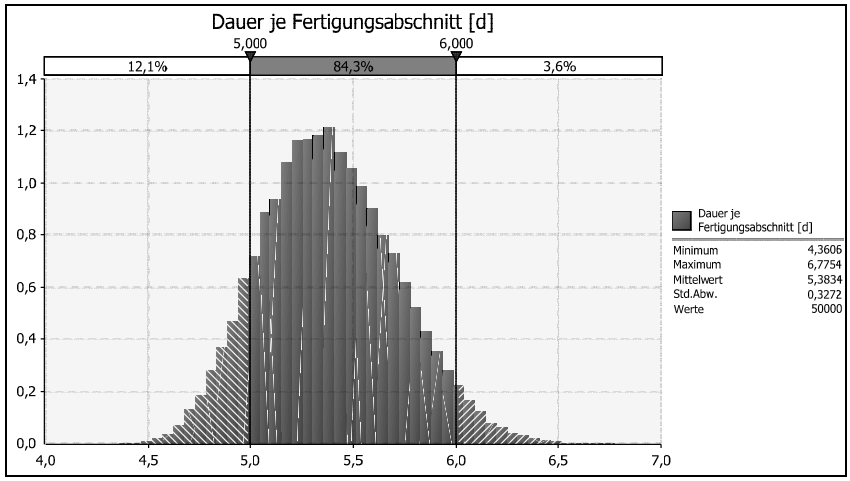


Abb. 10-131 Histogramm – Dauer je Fertigungsabschnitt

10.4.5.4 Nutzen für den AN

Die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Fertigungsablaufplanung ermöglicht durch den Einsatz der Monte-Carlo-Simulation die Kombination unterschiedlicher Eingabewerte für die Inputgrößen. Als Ergebnis der Simulation werden für die Endtermine einer Abfolge von vernetzten Vorgängen Bandbreiten in Form von Histogrammen dargestellt.

Einzelne Termine bzw. Dauern können damit hinsichtlich ihrer Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit beurteilt und analysiert werden. Kann die Abfolge oder die Anordnungsbeziehung zwischen einzelnen Vorgängen geändert werden, können die Auswirkungen auf den Endtermin durch neuerlichen Simulationsdurchlauf aufgezeigt und grafisch dargestellt werden.

Es zeigt sich, dass je mehr unsichere Vorgänge durch Ende-Anfang-Beziehungen verknüpft sind, desto breiter wird die Bandbreite des Endtermins bzw. der Gesamtdauer.

Kleinere Terminpläne mit nur wenigen Vorgängen und einfachen Abhängigkeitsbeziehungen können in MS Excel modelliert und mit dem Add-In @Risk um Unsicherheiten der Inputparameter erweitert werden.

Für größere Terminpläne mit vielen Abhängigkeitsbeziehungen gibt es die Möglichkeit in MS Project erstellte Terminpläne in Kombination mit MS Excel und @Risk unter Berücksichtigung von Unsicherheiten zu berechnen.

64) Bei einer Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche je Arbeitskraft ist mit gegenseitigen Behinderungen und in weiterer Folge mit Produktivitätsverlusten bzw. Aufwandswerterhöhungen zu rechnen.

10.4.6 Lagerhaltung von Baustoffen

Die Planung der Vorratsmenge (Lagermenge, Bestände) von Baustoffen ist ein wesentliches Schlüsselelement auf Baustellen, um die elementaren Produktionsfaktoren Arbeit und Betriebsmittel zu versorgen. Die Lagerhaltung von Baustoffen ist dabei der PPH 4 zuzuordnen (siehe Abb. 10-132).

Dabei ist die Vorratsmenge dermaßen zu optimieren, dass nicht zu viele Baustoffe zwischengelagert werden müssen (und dadurch zusätzliche Kosten aufgrund von Beheizung, Überdachung, Schwund oder evtl. erforderlichen Umlagerungen auf der Baustelle verursachen), im Rahmen der Vorratssicherung aber eine kontinuierliche Versorgung der Fertigung und die Vermeidung von Materialengpässen sichergestellt wird.

Die Dimensionierung des Vorrats für verschiedene Baustoffe zählt zu den wichtigsten Aufgaben der Logistik. In den Überlegungen spielt der Leistungsfortschritt auf der Baustelle, die zur Verfügung stehende Lagerfläche und die Verkehrsanbindung eine wesentliche Rolle.[65)]

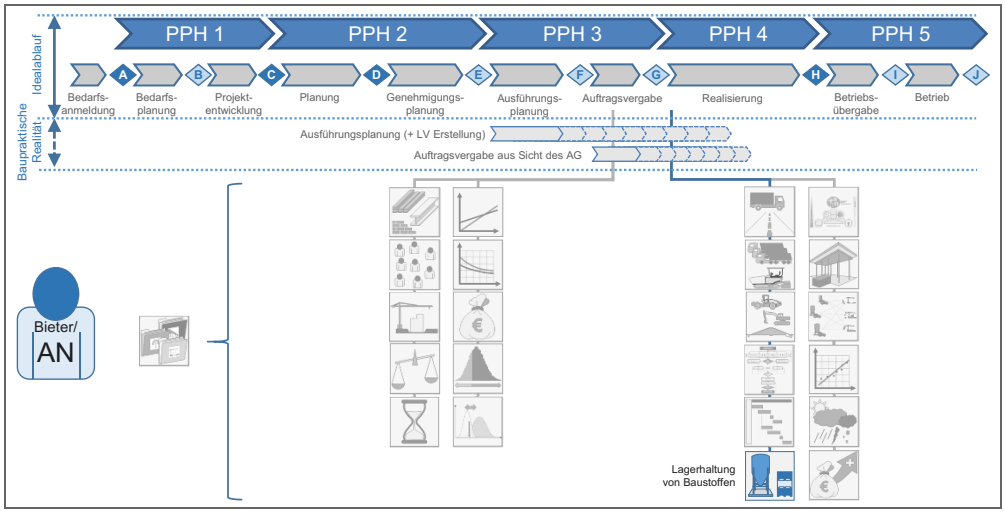


Abb. 10-132 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.4.6.1 Grundlagen

Nachfolgend werden die Grundlagen zur Dimensionierung eines Vorratslagers nach dem Bestellrhythmusverfahren[66)] dargestellt und die einzelnen Schritte zur Berechnung des erforderlichen Vorrats gezeigt.[67)]

Durchsatz (Produktionsmenge)

Unter Durchsatz U ist die Produktionsmenge je Zeiteinheit zu verstehen. Werden z.B. 5 t Bewehrung täglich eingebaut, ist dies der Durchsatz für einen Arbeitstag. Der Durchsatz wird wesentlich von der Arbeitsleistung und/oder Geräteleistung bestimmt.

65) Vgl. Hofstadler (2007), S. 176

66) Hier steht die Planung der optimalen Bestellzeiten (-termine) im Vordergrund. Die Bestellzeitpunkte werden festgelegt, die Bestellmenge ist variabel und richtet sich nach dem Verbrauch.

67) Vgl. Hofstadler (2007), S. 176ff.

Minimaler Vorrat (Sicherheitsbestand)

Der minimale Vorrat n_{min} [MEH] oder Sicherheitsbestand (‚eiserne Reserve', Mindestbestand) ist jener Bestand, der zum Ausgleich von Störungen dient, wenn die geplante Beschaffungszeit überschritten wird oder der tatsächliche Verbrauch höher ist, als der geplante (z.B. wegen größerer Lagerabgangsgeschwindigkeit).

Als Zeiteinheit wird der Arbeitstag herangezogen. Der minimale Vorrat wird nach Glg. (10-30) aus dem Produkt der zusätzlichen Vorratszeit t_Z [d] und dem Durchsatz U [MEH/d] berechnet.

$$n_{min} = U \cdot t_Z \tag{10-30}$$

Durch die zusätzliche Vorratszeit t_Z wird ein über die Beschaffungszeit hinausgehender Vorrat auf der Baustelle sichergestellt. Die Größe der zusätzlichen Vorratszeit ist frei wählbar.

Beschaffungsvorrat

Der Beschaffungsvorrat n_B [MEH] ist jener Vorrat, der während der Beschaffungszeit verbraucht wird. Im Normalfall ist der Beschaffungsvorrat so groß, dass der Sicherheitsbestand n_{min} nicht angegriffen wird.

Nach Glg. (10-31) ergibt sich der Beschaffungsvorrat aus dem Produkt von Beschaffungszeit t_E [d] und Durchsatz U.

$$n_B = U \cdot t_E \tag{10-31}$$

Die Beschaffungszeit t_E [d] wiederum setzt sich nach Glg. (10-32) aus der Dispositionszeit t_D [d] und der Transportzeit t_T [d] zusammen.

$$t_E = t_D + t_T \tag{10-32}$$

Die Dispositionszeit t_D des Lieferanten wird beispielsweise von der Herstellung und Beschaffung der Baustoffe beeinflusst. Die Transportzeit t_T hängt z.B. von Lieferfristen, Genehmigungen, Zoll, Pannen etc. ab.

Erforderlicher Vorrat

Der erforderliche Vorrat oder Meldebestand n_{erf} [MEH] ist jener Bestand, bei dessen Erreichung eine Bestellung ausgelöst wird. Er muss dermaßen festgelegt werden, dass der Sicherheitsbestand n_{min} während der Beschaffungszeit (Eindeckungszeitraum) im Normalfall nicht angegriffen wird. Sicherheitsbestand n_{min} plus Beschaffungsvorrat n_B ergeben den Meldebestand n_{erf} (siehe Glg. (10-33)).

$$n_{erf} = n_{min} + n_B \tag{10-33}$$

Maximaler Vorrat

Der maximal mögliche Vorrat oder Höchstbestand n_{max} [MEH] ist jener, der sich aus den Lagerungsmöglichkeiten und -flächen auf der Baustelle (Anzahl der vorhandenen Silos, Lagerfläche für Bewehrung etc.) ergibt.

Der Höchstbestand n_{max} unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten ist jene Menge die maximal im Lager sein darf, um eine zu hohe Kapitalbindung im Lager zu vermeiden.

Effektiver Vorrat

Der effektive Vorrat oder Lagerbestand n_{eff} [MEH] ist der auf der Baustelle effektiv vorhandene Vorrat an Baustoffen zu einem bestimmten Zeitpunkt. Es handelt sich dabei um den zum Planungszeitpunkt im Lager vorhandenen Bestand, der sich aus Lagerzugängen und -abgängen ergibt.

Der Lagerbestand n_{eff} liegt zwischen dem erforderlichen Vorrat n_{erf} und dem maximalen Vorrat n_{max} (siehe Glg. (10-34)).

$$n_{max} \geq n_{eff} \geq n_{erf} \tag{10-34}$$

Bestellintervall

Das Bestellintervall t_B [d] ist jener Zeitraum, der zwischen dem effektiven und dem erforderlichen Vorrat noch verbleibt.

Berechnet wird das Bestellintervall t_B mittels Quotienten aus Differenz von effektivem n_{eff} und erforderlichem Vorrat n_{erf} und Durchsatz U.

$$t_B = \frac{n_{eff} - n_{erf}}{U} \tag{10-35}$$

10.4.6.2 Aufgabenstellung

Im Folgenden wird ein Beispiel zur Lagerhaltung von Ziegeln für den Mauerwerksbau einer Wohnbauanlage gezeigt. Die täglich erforderliche Menge an Ziegeln ergibt sich aus der geplanten täglichen Arbeitsleistung. Ziegel werden auf Paletten angeliefert und auf Lagerflächen zwischengelagert oder direkt in der Nähe der zu errichtenden Wände gelagert. Gesucht ist das Beschaffungsintervall, um auf Basis der unsicheren Inputparameter ein Chancen-Risikoverhältnis von 20 % (Risiko) zu 80 % (Chance) zu erhalten.

10.4.6.3 Modellierung

Der schematische Ablauf der Berechnung ist in Abb. 10-133 dargestellt. Die unsicheren Inputparameter werden als Dreiecksverteilungen modelliert. Lediglich der effektive Vorrat (Lagerbestand) n_{eff} [m³] ist als deterministischer Wert bekannt.

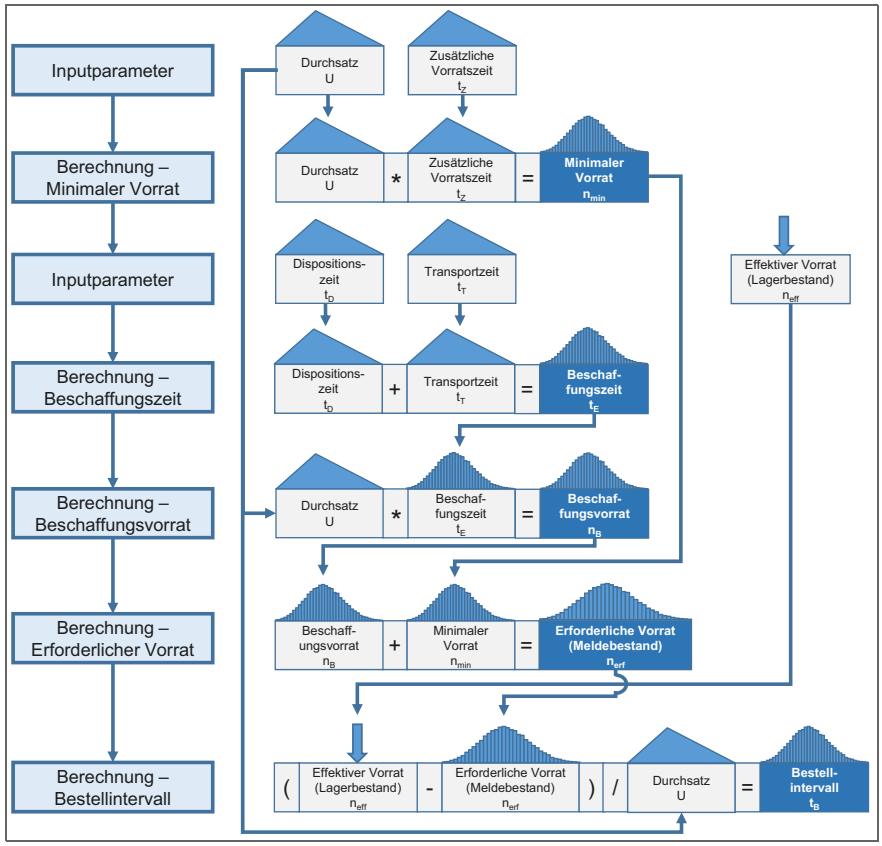


Abb. 10-133 Schematischer Berechnungsablauf – Lagerhaltung von Baustoffen

10.4.6.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Für die Simulation des Bestellintervalls wurden die unsicheren Inputgrößen mit Dreiecksverteilungen modelliert. Die minimalen, erwarteten und maximalen Werte sind in den Spalten B, C und D der Tab. 10-48 eingetragen. Die Dreiecksverteilungen bzw. die Histogramme der Zwischen- und Endergebnisse sind in der Spalte E hinterlegt.

Der Durchsatz (Zeile 3) errechnet sich für das Beispiel aus der Division der Ziegelmenge je Geschoss (Zeile 1) und der Dauer für die Mauerwerksarbeiten für das Geschoss (Zeile 2).

Aus der Multiplikation der zusätzlichen Vorratszeit t_Z (Zeile 4) mit dem Durchsatz U (Zeile 3) ergibt sich in Zelle E8 der minimale Vorrat n_{min} [m³]. Die Beschaffungszeit t_E (Zelle E7) setzt sich aus der Dispositionszeit t_D (Zeile 5) und der Transportzeit t_T (Zeile 6) zusammen.

Das Produkt aus Beschaffungszeit t_E und Durchsatz U entspricht dem Beschaffungsvorrat n_B (Zelle E9), der zusammen mit dem minimalen Vorrat den erforderlichen Vorrat n_{erf} [m³] darstellt.

Der effektive Vorrat bzw. der Lagerbestand n_{eff} [m³] konnte als deterministischer Wert (ohne Unsicherheiten) mit 100,00 m³ bestimmt werden.

Durch Einsetzen des Lagerbestands n_{eff} sowie dem erforderlichen Vorrat n_{erf} und dem Durchsatz U in Glg. (10-35) errechnet sich das Bestellintervall t_B [d] als Histogramm in Zelle E12.

Lfd. Nr.	Parameter		MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A		B	C	D	E
1	Ziegelmenge je Geschoss		35,00	40,00	45,00	40,00 m³
2	Dauer für die Mauerwerksarbeiten für das Geschoss		3,50	4,00	4,50	4,00 d
3	Durchsatz	U				10,00 m³/d
4	Zusätzliche Vorratszeit	t_Z	1,00	2,00	3,00	2,00 d
5	Dispositionszeit	t_D	1,50	2,00	2,50	2,00 d
6	Transportzeit	t_T	0,30	0,50	1,00	0,50 d
7	Beschaffungszeit	t_E				2,50 d
8	Minimaler Vorrat	n_{min}				20,00 m³
9	Beschaffungsvorrat	n_B				25,00 m³
10	Erforderlicher Vorrat	n_{erf}				45,00 m³
11	Effektiver Vorrat (Lagerbestand)	n_{eff}		100,00		100,00 m³
12	**Bestellintervall**	t_B				**5,50 d**

Tab. 10-48 Berechnungstabelle – Bestellintervall

Das Bestellintervall gibt an, in wie vielen Tagen die nächste Ziegelbestellung getätigt werden muss, um die Versorgung der Arbeitskräfte aufrechtzuerhalten. Durch die Unsicherheiten in der Berechnung ergibt sich als Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation eine Bandbreite für das Bestellintervall (siehe Abb. 10-134).

Je länger mit der Bestellung gewartet wird, desto höher ist das Risiko, eine Störung des Produktionssystems aufgrund von mangelnder Materialversorgung zu verursachen.

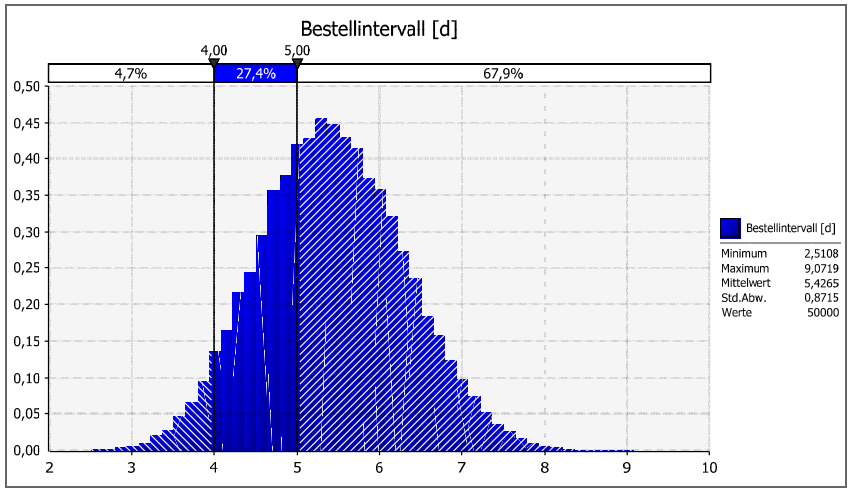


Abb. 10-134 Histogramm – Bestellintervall

Für das Beispiel bedeutet dies, dass bei einer Bestellung in fünf Tagen die Wahrscheinlichkeit, dass die Bestellung früh genug getätigt wurde bei ca. 67,9 % (Chance) liegt. Das Risiko einer zu späten Bestellung würde in diesem Fall ca. 31,1 % betragen.

Dieses Risiko kann durch eine frühere Bestellung (in vier Tagen) auf ca. 4,7 % reduziert werden. In diesem Fall würde nur in ca. 5 % der Fälle eine Kombination der Inputparameter dazu führen, dass auch die Bestellung in vier Tagen zu spät wäre.

10.4.6.5 Nutzen für den AG

Da sowohl die Logistikkette als auch die Produktion einer Baustelle gewissen Schwankungen unterworfen sind, ist die Berücksichtigung dieser Unsicherheiten für die Lagerhaltung von Baustoffen zu empfehlen. Der AN kann durch die Simulationsergebnisse direkt erheben, wie sich unterschiedliche Bestellzeitpunkte bzw. Bestellintervalle auf das Chancen-Risikoverhältnis auswirken.

Für das Beispiel konnte gezeigt werden, dass bereits eine Vorverlegung des Bestellzeitpunkts um einen Tag das Risiko von über 30 % auf etwa 4,7 % reduziert.

10.4.7 Aggregation von Produktivitätsverlusten

Erforderliche Forcierungsmaßnahmen sind oft durch das Auftreten von Produktivitätsverlusten begründet und finden ihren Niederschlag in Mehrkostenforderungen, Gutachten und Streitigkeiten. Der Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten in der Kalkulation geht die Erkenntnis voraus, dass sich die Leistung bei Änderung der Einflussgrößen (Einsatz der Produktionsfaktoren) nicht linear und im Umkehrschluss die Aufwandswerte nicht konstant verhalten. Produktivitätsverluste treten während der Realisierung (PPH 4 – siehe Abb. 10-135) auf, können aber – sofern eine Über- bzw. Unterschreitung der Grenzgrößen der Produktivität erwartet wird – auch schon während der Arbeitsvorbereitung berücksichtigt werden. Produktivitätsverluste können sich dabei gegenseitig beeinflussen und aufschaukeln. Rechnerisch wird dies durch die Aggregation der Produktivitätsverluste berücksichtigt.

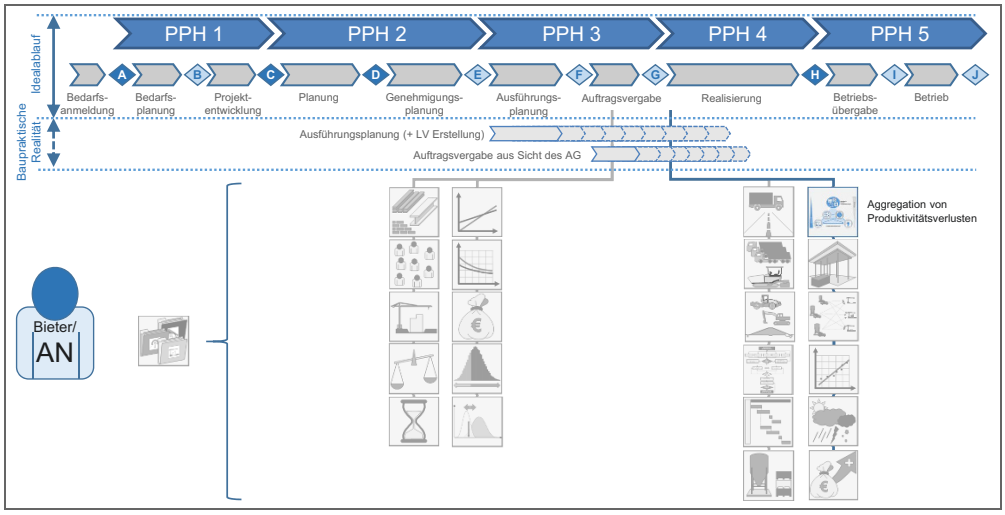


Abb. 10-135 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.4.7.1 Grundlagen

Ist die zur Verfügung stehende Bauzeit kurz oder sogar sehr kurz, muss die tägliche Leistung angepasst (erhöht) werden – Forcierungen werden erforderlich. Kann für eine Bauleistung nicht jene Zeit aufgewendet werden, bei der die Normal-Produktivität erzielbar ist, sind Produktivitätsverluste bzw. Aufwandswerterhöhungen zu erwarten. Diese treten dann auf, wenn Über- bzw. Unterschreitungen von spezifischen Grenzgrößen der Produktivität auftreten. In einem solchen Fall ist neben der Reduktion der Produktivität auch mit einem Anstieg der Herstellkosten zu rechnen.

Für die Bewertung von Produktivitätsverlusten gilt, dass wenn bspw. die gleichen Produktionsfaktoren von Verlusten betroffen sind, die Summe aus zwei Einzelproduktivitätsverlusten nicht das Gleiche wie das gemeinsame Auftreten dieser beiden Produktivitätsverluste ist. Aufgrund der vorgegebenen Bauzeit kann es sowohl bei einem als auch bei mehreren Produktivitätsverlusten zu Rückkopplungen bzw. Aufschaukelungen kommen. Da die erforderliche tägliche Leistung – ausgehend von einer fixierten Bauzeit – vorgegeben ist, muss bei einer Aufwandswerterhöhung zur Kompensation dieser der Ressourceneinsatz angepasst werden (z.B. Erhöhung der Anzahl an Arbeitskräften). Dadurch können sich die ursprünglichen Verluste verstärken oder neue hervorgerufen werden.

Die rechnerische Berücksichtigung dieser Rückkopplungen erfolgt durch stufenweise iterative Berechnungen. Bei einer solchen Aggregation ist der ermittelte Gesamtproduktivitätsverlust größer als bei einer reinen Addition (siehe Abb. 10-136).

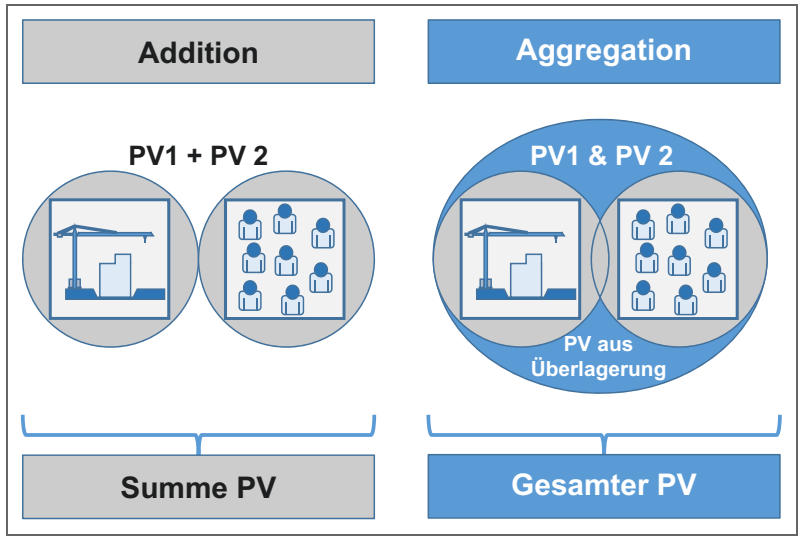


Abb. 10-136 Addition (links) und Aggregation (rechts) von Produktivitätsverlusten[68)]

Unter der Addition – die durch das Kommutativ- und das Assoziativgesetz gekennzeichnet ist – wird eine reine Summenbildung von Einzelmerkmalen (Risiken, Chancen, Produktivitätsverluste etc.) ohne die Berücksichtigung von Rückkopplungseffekten und Abhängigkeiten verstanden.[69)]

68) Vgl. Hofstadler/Kummer (2014), S. 69
69) Vgl. Kummer (2015b), S. 172

Als Aggregation wird die Zusammenfassung von Einzelmerkmalen (Risiken, Chancen, Produktivitätsverluste etc.) zu einem globalen Merkmal (Bottom-Up Ansatz) unter Berücksichtigung gegenseitiger Abhängigkeiten, Beziehungen und individueller Aufschaukelungen – mit Hilfe iterativer Berechnungen – verstanden.[70)]

Angaben aus der Literatur beziehen sich meist nur auf einzelne, isoliert betrachtete Produktivitätsverluste bzw. Aufwandswerterhöhungen. Durch den Einsatz von stufenweisen Iterationen ist es möglich, Rückkopplungen aus Produktivitätsverlusten bzw. Aufwandswerterhöhungen in die Berechnungen zu integrieren. Die probabilistische Aggregation von Produktivitätsverlusten ermöglicht die Darstellung des Chancen-Risikoverhältnisses anhand von Histogrammen, die eine fundierte Basis für Entscheidungen darstellen.

Ziel ist die Ermittlung verursachungsgerechter Kosten, wenn ein optimaler Einsatz der Ressourcen nicht möglich ist und Produktivitätsverluste erwartet werden.

10.4.7.2 Aufgabenstellung

Im Beispiel wird gezeigt, wie die gegenseitige Beeinflussung bzw. Aufschaukelung von zwei unterschiedlichen Produktivitätsverlusten – bezogen auf die Stahlbetonarbeiten – durch stufenweise Iterationen berücksichtigt werden kann.

Das Berechnungsbeispiel bezieht sich auf ein Hochbauprojekt, bei dem die vorgegebene Bauzeit für die Stahlbetonarbeiten ($BT_M = 38.275$ m³) nicht der ‚normalen' Bauzeit, in der die normale Arbeitsproduktivität erbracht werden kann, entspricht.

Um die Stahlbetonarbeiten in der zur Verfügung stehenden Zeit erbringen zu können, wird der Ressourceneinsatz erhöht. Gegenüber der normalen Bauzeit steigt die erforderliche tägliche Leistung ($L_{STB,MW}$), die z.B. durch die Erhöhung der Arbeitskräfteanzahl (AK_{MW}) oder der täglichen Arbeitszeit (AZ) erreicht werden kann (siehe Glg. (10-36)). Denkbar wäre auch die Verringerung des Aufwandswerts (AW_{STB}) z.B. durch effizientere Bauverfahren oder logistische Verbesserungen des Bauablaufs. Weiters sind Kombinationen dieser Forcierungsmaßnahmen möglich.

$$L_{STB,MW} = \frac{AK_{MW} \cdot AZ}{AW_{STB}} \tag{10-36}$$

Es wird untersucht, welche Auswirkungen eine verkürzte Bauzeit auf den Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten AW_{STB} [Std/m³] und in weiterer Folge auf die Lohnkosten verursacht, wenn nur durch die Erhöhung der Anzahl an Arbeitskräften forciert wird. Dazu wird eine probabilistische Betrachtung durchgeführt, um Unsicherheiten der Eingangsparameter in die Berechnungen zu integrieren sowie Chancen und Risiken hinsichtlich der Aufwandswerte beurteilen zu können.

Die normale Bauzeit konnte für die Stahlbetonarbeiten mit ca. 400 d ermittelt werden. Die vorgegebene Bauzeit beträgt hingegen lediglich 300 d. Dies entspricht einer Bauzeitverkürzung um 25 %. Zur Kompensation der zu kurz vorgegebenen Bauzeit und zur Erreichung der erforderlichen Leistung wird die Anzahl der Arbeitskräfte erhöht und die Auswirkungen auf die Produktivität bzw. auf den Grund-Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten (ohne Produktivitätsverluste) ermittelt.

[70)] Vgl. Kummer (2015b), S. 172

10.4.7.3 Modellierung

Für das Beispiel wurden zwei mögliche Einzelproduktivitätsverluste als maßgebend erachtet und in die Berechnungen integriert. Es handelt sich dabei um eine verringerte Krankapazität und um eine Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche. Beide Produktivitätsverluste werden direkt durch die Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte determiniert. Je mehr Arbeitskräfte eingesetzt werden, desto mehr Krane würden auf der Baustelle benötigt werden, um alle Arbeitskräfte ausreichend zu versorgen. Weiters reduziert sich die Arbeitsfläche je Arbeitskraft, je mehr Personal eingesetzt wird. Bei Unterschreitung eines bestimmten Grenzwerts (Mindestarbeitsfläche) kommt es zu einer gegenseitigen Behinderung der Arbeitskräfte und damit zu Produktivitätsverlusten.

Krankapazität

Werden auf der Baustelle mehr Krane benötigt, als baubetrieblich installiert werden können (z.B. aus Platzgründen), sind Produktivitätsverluste bzw. eine Erhöhung der Aufwandswerte die Folge.[71)] In Abb. 10-137 ist die im Zuge einer Expertenbefragung an der TU Graz[72)] ermittelte Kurve für die Aufwandswerterhöhung in Abhängigkeit der Kran-Kapazitätsreduktion als M-Schätzer-Trendlinie dargestellt.

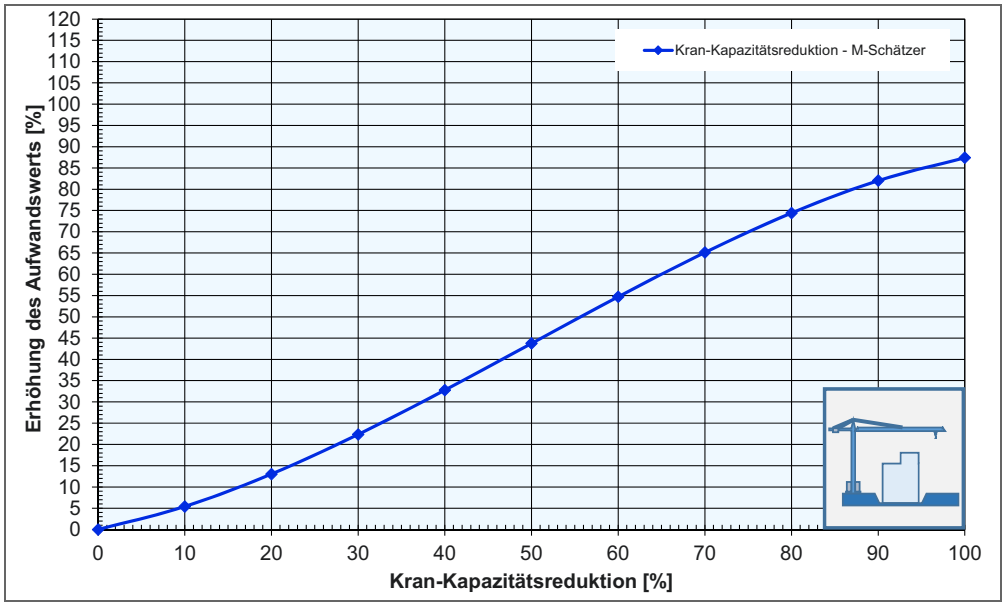


Abb. 10-137 Verlauf der Aufwandswerterhöhungen – Verringerte Krankapazität – Stahlbetonarbeiten[73)]

Die Kran-Kapazitätsreduktion KK_{RED} [%] ergibt sich aus der Anzahl der vorhandenen Krane $ANZ_{K,VOR}$ [Krane] und der optimalen Anzahl an Kranen $ANZ_{K,OPT}$ [Krane] nach Glg. (10-37). Gilt für $ANZ_{K,VOR} < ANZ_{K,OPT}$.

$$KK_{RED} = \left(1 - \frac{ANZ_{K,VOR}}{ANZ_{K,OPT}}\right) \cdot 100\ \% \qquad (10\text{-}37)$$

71) Sofern keine Kompensation durch andere Maßnahmen möglich ist.

72) Vgl. Hofstadler (2014a)

73) Vgl. Hofstadler/Kummer (2014), S. 73

Der Kurvenverlauf für die Aufwandswerterhöhung $\Delta AW_{ERH,KK}$ [%] wird durch die nachfolgende Gleichung beschrieben:

$$\Delta AW_{ERH,KK} = -0{,}000093 \cdot KK_{RED}^{3} + 0{,}013934 \cdot KK_{RED}^{2} + 0{,}410561 \cdot KK_{RED} \tag{10-38}$$

Mindestarbeitsfläche

Auf einer vorgegebenen Fläche (z.B. ein eingeschalter Deckenabschnitt) kann nur eine gewisse Anzahl an Arbeitskräften produktiv eingesetzt werden. Sind zu viele Arbeitskräfte auf engem Raum beschäftigt, behindern diese sich gegenseitig und verursachen Produktivitätsverluste. Im Zuge einer Expertenbefragung[74] wurde erhoben, wie die Aufwandswerterhöhung bei Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche eingeschätzt wird. In Abb. 10-138 ist das Ergebnis dieser Befragung für flächige Stahlbetonbauteile als nichtlinearer Kurvenverlauf dargestellt.

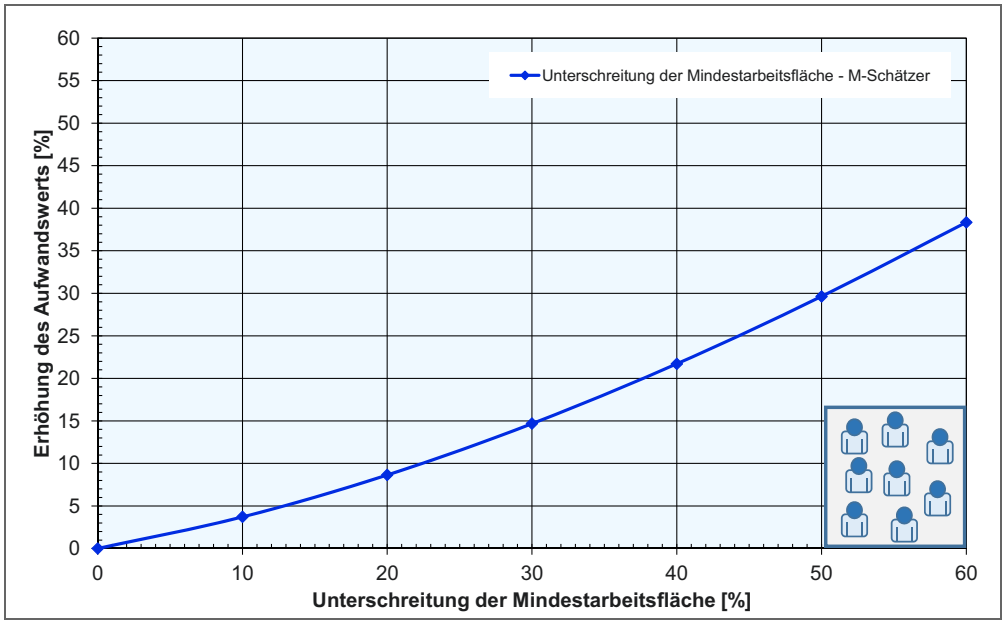


Abb. 10-138 Verlauf der Aufwandswerterhöhungen – Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche – Stahlbetonarbeiten – Flächige Bauteile[75]

Die Arbeitsflächenreduktion AF_{RED} [%] ergibt sich aus der vorhandenen Arbeitsfläche AF_{VOR} [m²/AK] und der Mindestarbeitsfläche AF_{MIN} [m²/AK] nach Glg. (10-39). Gilt für $AF_{VOR} < AF_{MIN}$.

$$AF_{RED} = \left(1 - \frac{AF_{VOR}}{AF_{MIN}}\right) \cdot 100\,\% \tag{10-39}$$

74) Vgl. Hofstadler (2014a)

75) Vgl. Hofstadler/Kummer (2014), S. 74

Der nichtlineare Zusammenhang zwischen der Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche und der Aufwandswerterhöhung $\Delta AW_{AF,ERH}$ [%] wird durch Glg. (10-40) definiert.

$$\Delta AW_{AF,ERH} = -0{,}000018 \cdot AF_{RED}^3 + 0{,}00661 \cdot AF_{RED}^2 + 0{,}30707 \cdot AF_{RED} \quad (10\text{-}40)$$

10.4.7.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Um probabilistische Berechnungen durchführen zu können, müssen die Inputparameter mit Verteilungen belegt werden. Für das gegenständliche Beispiel werden der Einfachheit halber Dreiecksverteilungen für die unsicheren Parameter angesetzt. Diese sind durch einen minimalen, einen erwarteten und einen maximalen Wert definiert. Die entsprechenden Daten sind in Tab. 10-49 (Spalten C, D und E) angeführt. Parameter, bei denen nur ein erwarteter Wert angegeben ist, fließen als deterministische Werte in die Berechnung ein.

Lfd. Nr.	Gegenstand	Einheit	MIN	ERW	MAX
0	A	B	C	D	E
1	Betonmenge	[m³]	38.000,00	38.275,00	38.700,00
2	Normale Bauzeit	[d]		400,00	
3	Grund-Gesamt-Aufwandswert	[Std/m³]	5,50	6,00	6,50
4	Tägliche Arbeitszeit	[h/d]	8,00	9,00	10,00
5	Mittellohnkosten	[€/Std]	33,00	34,00	38,00
6	Anzahl der Krane (max. baubetrieblich möglich)	[Krane]		5,00	
7	Mindestarbeitsfläche	[m²/AK]	28,00	30,00	32,00
8	Verfügbare Arbeitsfläche	[m²]	2.500,00	3.000,00	3.500,00
9	Maximaler Kranproportionalitätsfaktor	[AK/Kran]		20,00	

Tab. 10-49 Eingangsparameter der probabilistischen Berechnung[76)]

Die Berechnung des neuen Aufwandswerts unter Berücksichtigung der beiden möglichen Produktivitätsverluste (verringerte Krankapazität und Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche) ist in Tab. 10-50 für die Addition (Spalte C) und die Aggregation (Spalte D) der Produktivitätsverluste dargestellt.

In der Tabelle sind jeweils deterministische Werte eingetragen. Es handelt sich dabei entweder um deterministische Inputparameter, um Mittelwerte der angesetzten Dreiecksverteilungen oder um Berechnungsergebnisse aus den entsprechenden Rechenoperationen mit diesen Werten. Erklärt wird der Berechnungsablauf anhand dieser deterministischen Werte. Im Zuge der Simulation werden in weiterer Folge jeweils in jeder wiederholenden Iteration variierende Werte für die dreiecksverteilten Inputparameter gewählt und damit die Berechnungen durchgeführt.

Die normale Bauzeit für die Stahlbetonarbeiten ist in Zeile 2 mit 400 d (deterministischer Wert) angegeben. Die Bauzeitverkürzung von 25 % (Zeile 1) entspricht demnach einer

[76)] Es wird angenommen, dass Produktivitätsverluste aus einer verringerten Krankapazität erst bei Überschreiten des Grenzwerts von 20 AK/Kran auftreten.

vorgegebenen Bauzeit von 300 d (Zeile 3). Die für die normale Bauzeit erforderliche mittlere Leistung ergibt sich in Zeile 5 (95,81 m³/d = 38.325 m³ / 400 d). Die normale mittlere Anzahl an Arbeitskräften ergibt sich damit mit 63,88 AK (= 95,81 m³/d * 6,00 Std/m³ / 9,00 h/d).

Für die kürzere Bauzeit von 300 d berechnet sich die erforderliche mittlere Leistung mit 127,75 m³/d (= 38.325 m³ / 300 d).

Gegenstand	Lfd. Nr.	Eingangsgröße	Einheit	25 % BZ-Verkürzung	
	0	A	B	C	D
Grunddaten	1	Bauzeitverkürzung	[%]	25,00	25,00
	2	Normale Bauzeit	[d]	400,00	400,00
	3	Verkürzte Bauzeit	[d]	300,00	300,00
	4	BT_M	[m³]	38.325,00	38.325,00
	5	Erforderliche Leistung - Normale Bauzeit		95,81	95,81
	6	**Erforderliche Leistung**	**[m³/d]**	**127,75**	**127,75**
	7	Tägliche Arbeitszeit	[h/d]	9,00	9,00
	8	AW	[Std/m³]	6,00	6,41
	9	Maximaler Kranproportionalitätsfaktor	[AK/Kran]	20,00	20,00
	10	Normale Anzahl an AK	[AK]	63,88	68,23
	11	**Anzahl AK erforderlich**	**[AK]**	**85,17**	**90,97**
	12	**Arbeitskräftefaktor - Trapezmodell**	**[-]**	**0,80**	**0,80**
	13	**Maximale Anzahl an Arbeitskräften**	**[AK]**	**106,46**	**113,71**
	14	Mittellohnkosten	[€/Std]	35,00	35,00
	15	Vorhandene Arbeitsfläche	[m²]	3.000,00	3.000,00
	16	Tägliche Leistung	[m³/d]	127,75	127,75
Krankapazität	17	$ANZ_{K,VOR}$	[Krane]	5,00	5,00
	18	$ANZ_{K,OPT}$	[Krane]	5,32	5,69
	19	KK_{RED}	[%]	6,07	12,06
	20	$\mathbf{AW_{ERH,KK}}$	**[%]**	**2,98**	**6,81**
	21	$\mathbf{\Delta AW_{ERH,KK}}$	**[Std/m³]**	**0,18**	**0,41**
Mindestarbeitsfläche	22	AF_{VOR}	[m²/AK]	35,23	32,98
	23	AF_{MIN}	[m²/AK]	30,00	30,00
	24	AF_{RED}	[%]	0,00	0,00
	25	$\mathbf{AW_{AF,ERH}}$	**[%]**	**0,00**	**0,00**
	26	$\mathbf{\Delta AW_{AF,ERH}}$	**[Std/m³]**	**0,00**	**0,00**
Neue Werte	**27**	$\mathbf{AW_{ERH}}$	**[%]**	**2,98**	**6,81**
	28	$\mathbf{AW_{ERH}}$	**[Std/m³]**	**0,18**	**0,41**
	29	**Neuer AW**	**[Std/m³]**	**6,18**	**6,41**
Lohn	30	Lohnstundensumme	[Std]	236.808,79	245.618,99
	31	Lohnkosten	[€]	8.288.307,61	8.596.664,61

Tab. 10-50 Berechnungstabelle für die Ermittlung der addierten (Spalte C) und aggregierten (Spalte D) Produktivitätsverluste

Addition

Für die Addition der Produktivitätsverluste wird zunächst die mittlere erforderliche Anzahl an Arbeitskräften mit 85,17 AK (= 127,75 m³/d * 6,00 Std/m³ / 9,00 h/d) berechnet (Zeile 11). Durch die Division mit dem Arbeitskräfteverhältnisfaktor (Zeile 12) von 0,80 (als deterministischer Wert angesetzt) ergibt sich die maximal erforderliche Anzahl an Arbeitskräften mit 106,46 AK (Zeile 13).

Aus der Division der maximalen erforderlichen Anzahl an AK (Zeile 13) durch den maximalen Kranproportionalitätsfaktor (Zeile 9) lässt sich die optimale Anzahl der erforderlichen Krane $ANZ_{K,OPT}$ mit 5,32 Krane bestimmen. Die baubetrieblich mögliche Anzahl an Kranen wurde allerdings (deterministisch) mit 5 Kranen festgelegt (Zeile 17). Die Kran-Kapazitätsreduktion KK_{RED} [%] wird durch Einsetzen in Glg. (10-37) und die Aufwandswerterhöhung aus der verringerten Krankapazität $AW_{ERH,KK}$ [%] durch Einsetzen in Glg. (10-38) berechnet (siehe Zeilen 18 und 19). Die prozentuelle Erhöhung des Aufwandswerts wird auf den Grund-Aufwandswert (Zelle C8) bezogen und ergibt für die deterministische Berechnung eine Aufwandswerterhöhung von 0,18 Std/m³.

Der zweite berücksichtigte Produktivitätsverlust bezieht sich auf die je Arbeitskraft zur Verfügung stehende Arbeitsfläche AF_{VOR} [m²/AK] (Zeile 22). Für den deterministischen Fall der Addition errechnet sich die vorhandene Arbeitsfläche mit 35,23 m²/AK (= 3.000,00 m² / 85,17 AK).[77] Die vorhandene Arbeitsfläche ist damit größer als die Mindestarbeitsfläche (= 30,00 m²/AK – siehe Zeile 23). Es treten weder eine Arbeitsflächenreduktion AF_{RED} [%] noch eine Aufwandswerterhöhung $AW_{AF,ERH}$ [%] – jeweils berechnet nach Glg. (10-39) und Glg. (10-40) – auf (Zeilen 24 bis 26).

Durch die Unsicherheiten der Inputparameter sind auch Kombinationen denkbar, bei denen eine Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche und damit auch eine Aufwandswerterhöhung auftritt. Insbesondere im Zuge der Aggregation kommt es durch die Anpassung (Erhöhung der Arbeitskräfteanzahl) vermehrt zu einem Produktivitätsverlust aufgrund der Arbeitsflächenreduktion.

Die gesamte prozentuelle Aufwandswerterhöhung (Zeile 27) ergibt sich aus der Summe der beiden Einzelaufwandswerterhöhungen (Zeilen 20 und 25). Die absolute Aufwandswerterhöhung (Zeile 28) errechnet sich auf Basis des Grund-Aufwandswerts (Zelle C8) und der gesamten prozentuellen Erhöhung. Der neue Aufwandswert ist in Zeile 29 eingetragen (Zelle C8 + Zelle C28).

Die Lohnstundensumme nach additiver Berücksichtigung der beiden möglichen Produktivitätsverluste ergibt sich in Zeile 30 aus der Multiplikation des neuen Aufwandswerts (Zelle C29) und der Stahlbetonmenge (Zeile 4). Dies wiederum mit den Mittellohnkosten multipliziert ergibt die Lohnkosten der Addition in Zelle C31. Die in Tab. 10-50 als deterministische Werte eingetragenen Aufwandswerte, Lohnstunden und Lohnkosten sind nur ein mögliches Ergebnis aus der Kombination der unsicheren Inputparameter. Insgesamt werden 50.000 Einzelergebnisse (Iterationen) mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation ermittelt und können gemeinsam als Histogramm dargestellt werden (siehe Abb. 10-139).

Der erhöhte Aufwandswert nach der Addition der beiden potenziellen Produktivitätsverluste ergibt sich als Mittelwert mit ca. 6,21 Std/m³. Das Minimum liegt bei ca. bei 5,50 Std/m³ und das Maximum bei ca. 7,67 Std/m³ (50.000 Iterationen). Das Minimum entspricht damit dem minimalen Wert der Eingabe für den Grund-Aufwandswert. Es gibt demnach auch Fälle in der Iteration, in denen keine oder nur sehr geringe Produktivitäts-

[77] Die vorhandene Arbeitsfläche wird auf die mittlere Anzahl der Arbeitskräfte bezogen. Für eine detailliertere Betrachtung wäre es möglich, eine Differenzierung in Anlaufphase, Hauptbauzeit und Auslaufphase mit der entsprechenden zur Verfügung stehenden Arbeitsfläche und Anzahl an Arbeitskräften durchzuführen.

verluste aufgetreten sind. In 90 % der simulierten Fälle für die Addition liegt der erhöhte Aufwandswert zwischen 5,69 und 6,82 Std/m³.

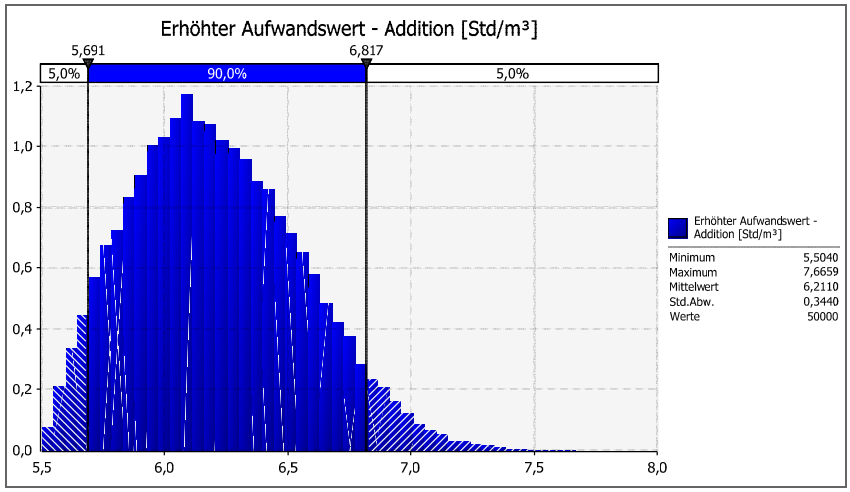


Abb. 10-139 Histogramm – Erhöhter (neuer) Aufwandswert – Addition

Aggregation

Die Aggregation erfolgt im Prinzip nach dem gleichen Schema bzw. Berechnungsablauf wie für die Addition. Der große Unterschied besteht jedoch darin, dass nach der Addition der Produktivitätsverluste und der Berechnung des neuen erhöhten Aufwandswerts, dieser sich wiederum auf die Leistung auswirkt. Mit dem erhöhten Aufwandswert könnte die für die kurze Bauzeit erforderliche Leistung nicht erbracht werden. Daher muss die Anzahl der erforderlichen Arbeitskräfte entsprechend angepasst (erhöht) werden. Dies wirkt sich aber in der Folge wieder auf die Kran-Kapazitätsreduktion und die vorhandene Arbeitsfläche und damit auch auf die errechneten Produktivitätsverluste bzw. Aufwandswerterhöhungen aus.

Der erhöhte Aufwandswert aus Zeile D29 wird nach jeder stufenweisen Iteration wieder in die Zelle D8 eingetragen und die Berechnung erneut durchgeführt. Es ergibt sich in Excel damit ein Zirkelbezug, der so lange durchgerechnet wird, bis ein Abbruchkriterium erreicht wird.[78)]

Im Zuge einer Monte-Carlo-Simulation wird für jeden der Eingangsparameter zufällig ein Wert innerhalb der Bandbreite ausgewählt und damit eine Berechnung durchgeführt. Dieser Vorgang wird mehrere tausend Mal wiederholt, es handelt sich dabei um wiederholende (im Gegensatz zu stufenweisen) Iterationen (siehe Abschnitt 6.2.4.1).

Für jede der wiederholenden Iterationen aus der Monte-Carlo-Simulation werden im Zuge der gezeigten Berechnungsvorschrift der Aggregation 100 stufenweise Iterationen (Anzahl kann direkt in Excel festgelegt werden) durchgeführt.

Die Histogramme für die additive und aggregierte Berücksichtigung der Produktivitätsverluste sind in Abb. 10-140 dargestellt.

Es zeigt sich für die Aggregation ein bimodaler Verlauf des Histogramms. Es handelt sich dabei um unterschiedliche Fälle im Zuge der Simulation, bei denen einmal nur ein

78) Für die Berechnung wurde als Abbruchkriterium eine Anzahl von max. 100 stufenweisen Iterationen vorgegeben.

Produktivitätsverlust (verringerte Krankapazität) und einmal beide betrachteten Produktivitätsverluste in der Berechnung schlagend wurden.

Je breiter die Bandbreiten der Eingangsparameter sind, die den Eintritt der Produktivitätsverluste beeinflussen, desto eher werden auch Zustände simuliert, in denen keine oder nur eine geringe Aufwandswerterhöhung auftritt.

Ist beispielsweise der maximale Wert der zur Verfügung stehenden Arbeitsfläche sehr hoch in der Simulation angesetzt, wird es entsprechend seltener zu Aufwandswerterhöhungen aufgrund einer Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche kommen.

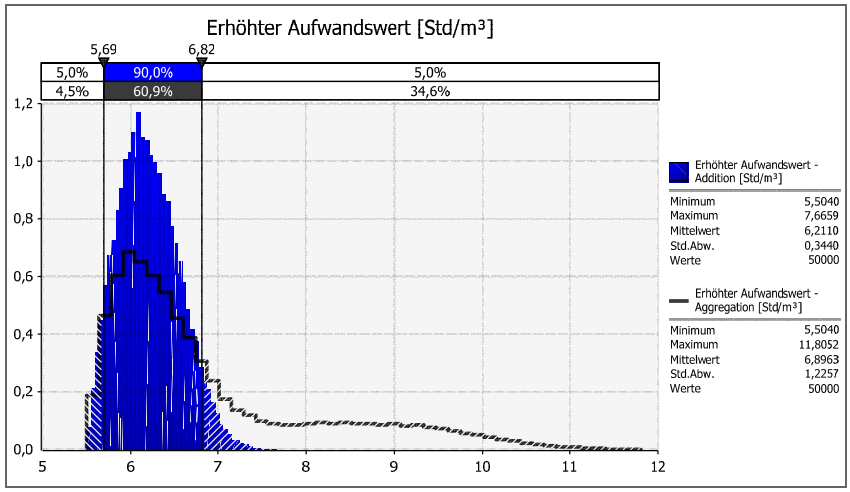


Abb. 10-140 Histogramm – Erhöhter (neuer) Aufwandswert – Vergleich – Addition/Aggregation

Hätte der AN seinen weiteren Überlegungen, Kalkulationen und Arbeitsvorbereitungen z.B. einen Aufwandswert von 6,82 Std/m³ zugrunde gelegt, wäre er bei der reinen Addition von einem Chancen-Risikoverhältnis von ca. 95 % (Chance) zu 5 % (Risiko) ausgegangen. Das Ergebnis der Aggregation zeigt jedoch, dass sich die Situation durch das mögliche Aufschaukeln der Effekte deutlich risikoreicher als vermutet darstellt. Bezogen auf das Histogramm der Aggregation ergibt sich für den gleichen deterministischen Wert ein Chancen-Risikoverhältnis von ca. 65,4 % (Chance) zu 34,6 % (Risiko).

Entscheidend dabei ist nicht nur das prozentuelle Verhältnis zwischen Chance und Risiko, sondern auch die extreme rechtsschiefe Verteilung und die große Bandbreite für den erhöhten Aufwandswert bei der Aggregation der Produktivitätsverluste.

10.4.7.5 Nutzen für den AN

Anhand des Beispiels wurde der Unterschied zwischen Addition und Aggregation von Produktivitätsverlusten beschrieben und die rechnerische Umsetzung der beiden Betrachtungsweisen gezeigt. Wesentliches Element der Aggregation ist eine stufenweise iterative Berechnung, wobei auf Basis von Zirkelbezügen die Ergebnisse einer Iteration immer auf dem vorhergehenden Berechnungsschritt aufbauen. Bei der rein additiven Betrachtung erfolgt nur ein Berechnungsdurchgang, der Rückkopplungen bzw. Aufschaukelungen nicht berücksichtigt.

Da die Eingangsparameter für eine solche Berechnung mit Unsicherheiten behaftet sind und z.T. aufgrund von subjektiven Einschätzungen angegeben werden müssen, wurde eine probabilistische Berechnung (Monte-Carlo-Simulation) durchgeführt, bei der eine Aggregation der beiden betrachteten Produktivitätsverluste (verringerte Krankapazität und Arbeitsflächenreduktion) vorgenommen wurde.

Mit Hilfe des Histogramms für den erhöhten Aufwandswert lassen sich Aussagen über Chancen und Risiken treffen. In der Kalkulation, der Arbeitsvorbereitung etc. müssen Entscheidungen für einen spezifischen Aufwandswert getroffen werden. Die Wahl dieser Basis ist direkt mit einer wahrscheinlichkeitstheoretischen Aussage hinsichtlich der damit verbundenen Chancen und Risiken auf Basis der Streuung der Inputparameter verbunden. Kann die Bandbreite einzelner Inputparameter verringert werden, ändert sich auch die Bandbreite der aggregierten Aufwandswerterhöhung bzw. des Produktivitätsverlusts.

Weiterführend können auf Basis der gezeigten Methodik auch Untersuchungen zur Risikominimierung und zur Optimierung des Ressourceneinsatzes durchgeführt werden. Die Erhöhung der täglichen Arbeitszeit wäre z.B. als zusätzliche bzw. alternative Forcierungsmaßnahme zu untersuchen. Sollen mehrere Produktionsfaktoren hinsichtlich der geringsten Produktivitätsverluste optimiert werden, sind aufgrund der Mehrdimensionalität der Problemstellung Werkzeuge des Operations Research[79)] heranzuziehen, um eine solche Lösung numerisch annähern zu können.

Beim gezeigten Beispiel wurden Korrelationen zwischen den Eingangsparametern sowie der Umstand, dass in der Praxis nicht alle Produktivitätsverluste über die gesamte Bauzeit vorherrschen werden, vernachlässigt.

Weiterführend zum Thema der Aggregation von Produktivitätsverlusten wird auf die Dissertation von *Kummer*[80)] hingewiesen.

10.4.8 Ermittlung der Vorhaltemengen

Die Vorhaltemenge für die Schalung stellt jene Menge dar, die auf der Baustelle vorgehalten werden muss, damit die Arbeitskräfte ausreichend mit Schalungsgerät und -material versorgt werden können. Es soll eine kontinuierliche Beschäftigung aufgrund des gewählten Fertigungsablaufs (Fließfertigung oder Taktfertigung) gesichert werden. Die vorgehaltene Menge an Schalung sollte jedoch auch nicht überdimensioniert werden, da dadurch zusätzliche Kosten (z.B. Mietkosten für das Schalungsgerät) entstehen und Lagerflächen durch nicht benötigte Schalungselemente verstellt werden. Die detaillierte Ermittlung der Vorhaltemengen ist der PPH 4 zuzuordnen (siehe Abb. 10-141).

Das in diesem Abschnitt dargestellte Beispiel unterscheidet sich von jenem in Abschnitt 10.3.7 dadurch, dass eine detailliertere Betrachtung der Fertigungsabschnitte und der Abläufe (Fließfertigung) erfolgt.

79) Vgl. Suhl/Mellouli (2013), S. 291ff.

80) Kummer (2015a)

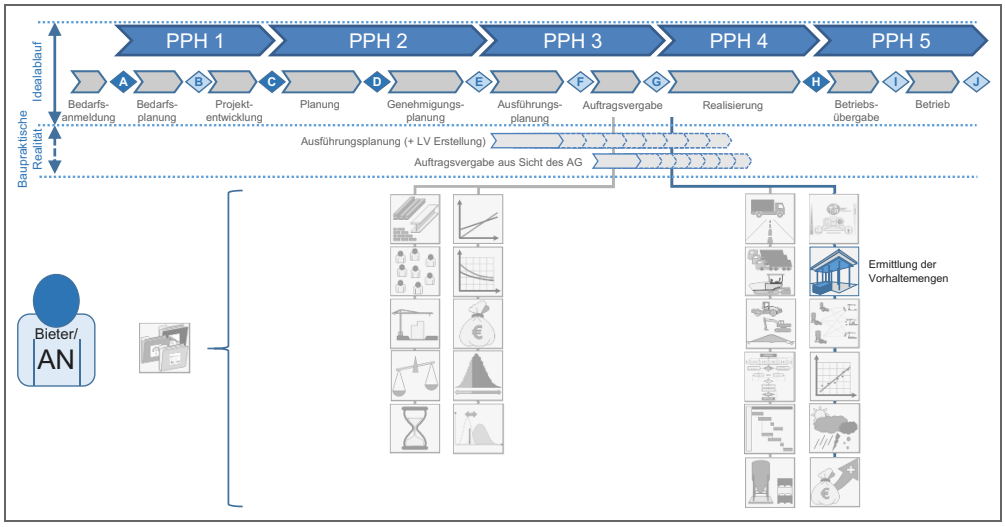


Abb. 10-141 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.4.8.1 Grundlagen

In die Berechnung der Vorhaltemenge fließen Parameter wie die Bauteilabmessungen (z.B. Deckenabmessungen), die Schalungsleistung, die Standzeit der Schalung, die Anzahl der Fertigungsabschnitte, der gewählte Fertigungsablauf und das verwendete Schalungssystem ein.

Für das angeführte Beispiel wird die Vorhaltemenge der Deckenschalung für ein Hochbauprojekt ermittelt. Der Fertigungsablauf wurde als Fließfertigung gewählt.

Bei Fließfertigung ist eine Arbeitsgruppe nur mit dem Ein- und Ausschalen der Fertigungsabschnitte beschäftigt. Die Bewehrungs- und Betonierarbeiten werden von anderen Arbeitsgruppen ausgeführt.

Ist die Schalung für einen Fertigungsabschnitt i,j fertiggestellt, wechselt die Gruppe direkt in den nächsten Fertigungsabschnitt i,j + 1, um dort mit den Schalarbeiten zu beginnen. Mit j wird der jeweilige Fertigungsabschnitt und mit i das jeweilige Geschoss bezeichnet. Wobei i = 1 bis n_g, und j = 1 bis n_{fa} gilt. Auf die Vorhaltemenge hat die Schalungsleistung daher einen wesentlichen Einfluss.

In Abb. 10-142 ist die Dauer für die Deckenschalungsarbeiten durch Balken mit der Bezeichnung $D_{DS,E}$ (nur Einschalen) dargestellt. Die Balken mit der Bezeichnung D_{BW} stehen für die Dauer der Bewehrungsarbeiten und jene mit D_{BT} für die Dauer des Betonierens. Die Balken für die vertikalen Tragglieder sind in Abb. 10-142 nicht dargestellt.

Versetzt um das Maß $A_{S,BW}$ – bezogen auf das Ende der Schalarbeiten – beginnen die Bewehrungsarbeiten (siehe Abb. 10-143). Sind die Bewehrungsarbeiten abgeschlossen, wird der Fertigungsabschnitt betoniert und mit dem Ende dieses Vorgangs beginnt die Ausschalfrist D_A.

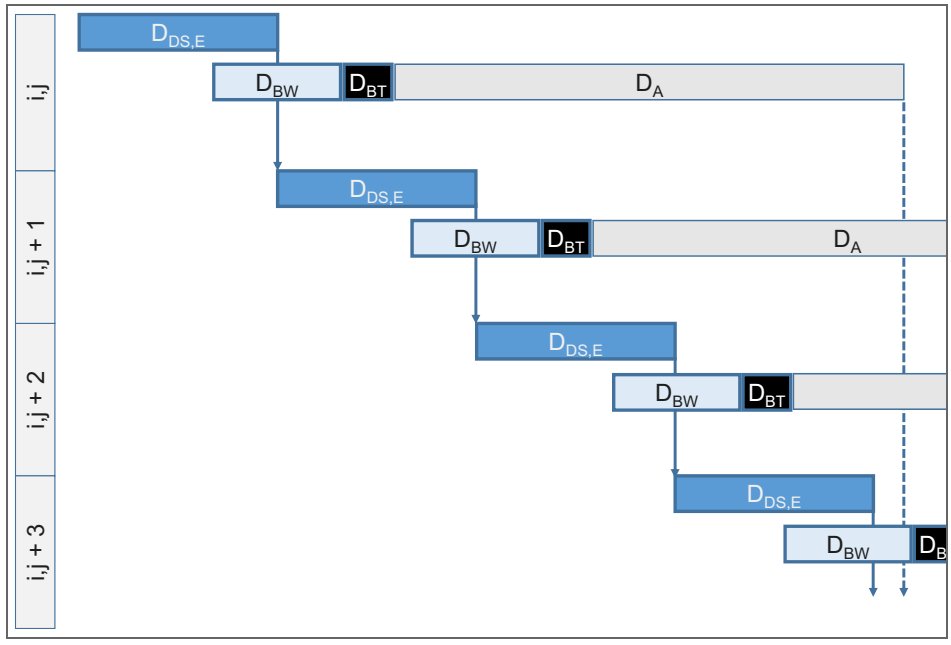


Abb. 10-142 Stahlbetonarbeiten für die Decken – Fließfertigung bei Schalarbeiten

Die Anordnungsbeziehung der Vorgänge Schalen und Bewehren kann von einer Normalfolge bis zu einer versetzten Anfangsfolge ausgeprägt sein. Eine versetzte Anfangsfolge für Fließfertigung ist in Abb. 10-143 dargestellt. Die Bewehrungsarbeiten beginnen vor dem Ende der Schalungsarbeiten um das Maß $A_{S,BW}$ versetzt. Diesem Überschneidungsbereich, in dem die Tätigkeiten Schalen und Bewehren synchron ablaufen, ist eine Grenze gesetzt. Diese Grenze wird als kritische Annäherung k_A [d] bezeichnet. Die kritische Annäherung stellt sicher, dass die Bewehrungsarbeiten erst dann beginnen, wenn eine entsprechende Mindestfläche eingeschalt ist. Weiters soll ein ‚Auflaufen' der Bewehrungsarbeiten auf die Schalarbeiten verhindert werden; dies würde zu einem gestörten Bauablauf führen. Für den Grenzfall $A_{S,BW} = 0$ liegt eine Normalfolge vor, bei der die Bewehrungsarbeiten erst mit dem Ende der Schalungsarbeiten beginnen.[81)]

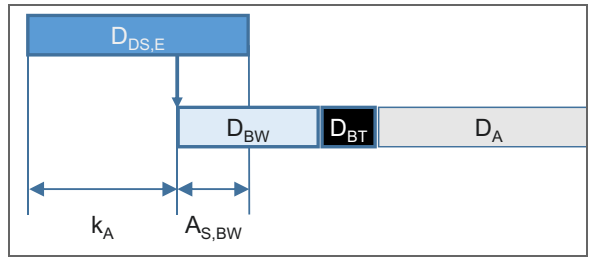


Abb. 10-143 Versetzte Ende-Anfangsbeziehung zwischen Schalen und Bewehren

81) Vgl. Hofstadler (2007), S. 196f.

Die Vorhaltemenge der Deckenschalung bei Fließfertigung wird nach Glg. (10-41) berechnet. Im ersten Term wird die Fertigungsabschnittsfläche aus dem Quotienten der Regelgeschossfläche F_{RG} [m²] und der Anzahl der Fertigungsabschnitte je Geschoss n_{fa} [-] ermittelt. Im zweiten Term wird die Standzeit der Schalung $S_{D,S}$ [d] mit der täglichen Einschalleistung $L_{DS,E}$ [m²/d] multipliziert.

$$V_{DS,F} = \frac{F_{RG}}{n_{fa}} + L_{DS,E} \cdot S_{D,S} \tag{10-41}$$

Bei der Standzeit $S_{D,S}$ [d] handelt es sich um jene Zeit, in der die Schalung im Fertigungsabschnitt gebunden ist. Während dieser Zeit steht die Schalung für weitere Einsätze nicht zur Verfügung. Für die Dauer der Standzeit muss zusätzliche Schalung vorgehalten werden und zwar in der Menge, die von der Schalungspartie während dieser Zeit ‚verarbeitet' werden kann.[82)]

Die Standzeit der Schalung $S_{D,S}$ setzt sich aus der Addition der Zeiten für das Bewehren D_{BW} und Betonieren D_{BT}, der Ausschalfrist für die Schalung[83)] D_A multipliziert mit dem Reduktionsfaktor α_m abzüglich dem Versatz zwischen Schalen und Bewehren $A_{S,BW}$ zusammen (siehe Glg. (10-42)).

$$S_{D,S} = \alpha_m \cdot D_A + D_{BW} + D_{BT} - A_{S,BW} \tag{10-42}$$

Um zu berücksichtigen, dass das Erhärten des Betons auch an arbeitsfreien Tagen stattfindet, wird der Reduktionsfaktor α_m eingeführt. Der Reduktionsfaktor[84)] vermindert die Ausschalfristen in der Weise, dass arbeitsfreie Tage, die sich aus dem gewählten Arbeitszeitmodell ergeben, berücksichtigt werden. Für die Berechnung der Vorhaltemenge ist nur die Anzahl der Arbeitstage mengenwirksam.

Diese gemittelten Werte (die jedoch nicht die exakten Verhältnisse in der Ausführungsphase treffen) sind aber hinreichend genau, um eine Aussage über die Standzeit der Schalung in der Phase der Arbeitsvorbereitung zu treffen.

Der schematische Berechnungsablauf ist inkl. der qualitativen Verteilungsfunktionen der Inputparameter sowie der Outputs in Abb. 10-144 dargestellt.

Wenn die geplante Einschalleistung auch mit Beginn des ersten Ausschalvorgangs aufrechterhalten werden soll, sind für das Ausschalen zusätzliche Arbeitskräfte einzusetzen. Falls das nicht geplant ist und die Arbeitsgruppe nicht verändert wird, sinkt die Einschalleistung aufgrund des zusätzlichen Arbeitsaufwands für das Ausschalen. Damit reduziert sich auch der Bedarf an Vorhaltemenge.

82) Der Möglichkeit, die Deckenschalung vor den Unterstellungsstützen auszuschalen, kann durch unterschiedliche Standzeiten für die Stützen und die Schalung (z.B. Paneele und Längsträger inkl. Fallkopfsystem) Rechnung getragen werden – siehe dazu Hofstadler (2007), S. 302ff.

83) Die Ausschalfristen sind den einschlägigen Regelwerken (z.B. Normen und Richtlinien) zu entnehmen. Die in den Normen angeführten Ausschalfristen sind dort in Kalendertagen angegeben.

84) Vgl. Hofstadler (1999), S. 120ff.

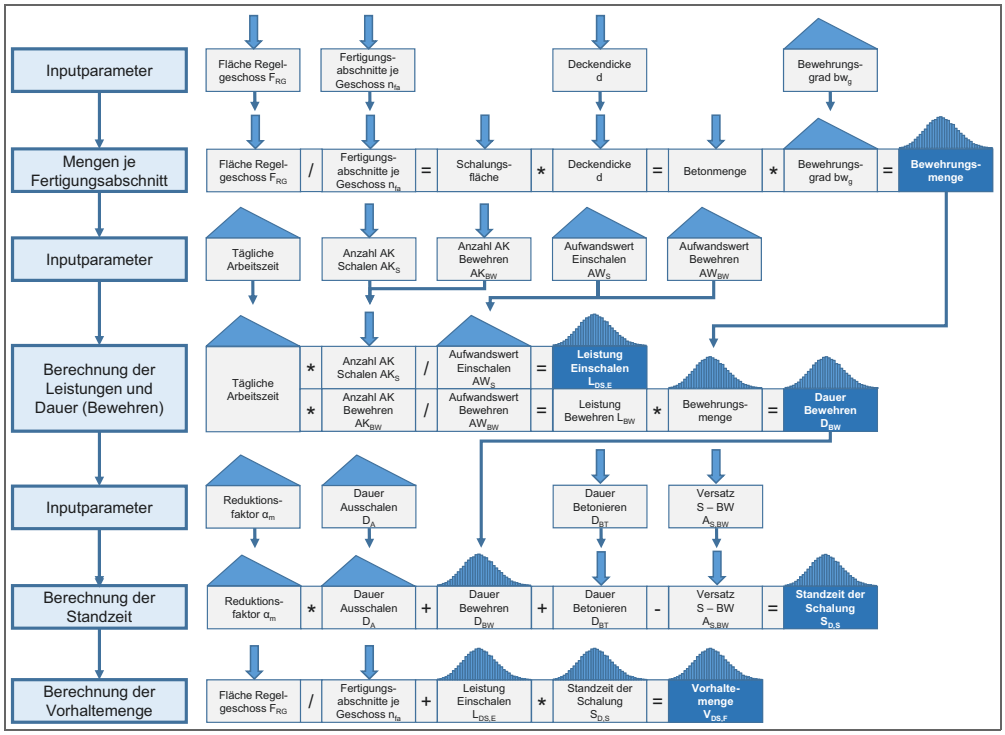


Abb. 10-144 Schematischer Berechnungsablauf – Ermittlung der Vorhaltemenge

10.4.8.2 Aufgabenstellung

Im Folgenden wird ein Beispiel zur Ermittlung der notwendigen Vorhaltemenge für die Deckenschalung gezeigt. Für ein dreigeschossiges Gebäude, dessen Geschossdecken jeweils in 4 Fertigungsabschnitte unterteilt sind, ist unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen und der vorhandenen Unsicherheiten die Vorhaltemenge zu ermitteln. Die Schalarbeiten für die Stahlbetondecken in den einzelnen Fertigungsabschnitten werden in Fließfertigung hergestellt.

Die Eingabeparameter für die Berechnung sind in Tab. 10-51 aufgelistet. In der Spalte A sind die Parameterbezeichnungen inkl. deren Abkürzungen aufgelistet. Die Einheiten der Parameter sind in der Spalte B enthalten. In den Spalten C, D und E sind jeweils die minimalen, erwarteten und maximalen Werte je Parameter eingetragen. Weisen die Zellen in den Spalten C und E keine Werte auf, ist die Eingabe für diesen Parameter als deterministischer Wert aufzufassen. Diese Werte werden unverändert in die Spalte F übernommen (erleichtert die Verknüpfung der Zellen in Excel, da nur Werte aus der Spalte F in die weiteren Berechnungen einfließen). Unsichere Parameter werden als Dreiecksverteilungen modelliert und sind in den Spalten F (auf Basis der Werte in den Spalten C, D und E) hinterlegt.

Lfd. Nr.	Parameter		Einheit	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A		B	C	D	E	F
1	Geschossfläche	F_{RG}	[m²]		8.000,00		8.000,00
2	Deckendicke	d	[cm]		25,00		25,00
3	Anzahl der Geschosse	n_g	[-]		3,00		3,00
4	Anzahl der Fertigungsabschnitte je Geschoss	n_{fa}	[-]		4,00		4,00
5	Aufwandswert für das Einschalen	AW_S	[Std/m²]	0,20	0,25	0,32	0,26
6	Anzahl der Arbeitskräfte für die Schalarbeiten	AK_S	[Std/h]		10,00		10,00
7	Aufwandswert für das Bewehren	AW_{BW}	[Std/t]	12,00	14,00	16,00	14,00
8	Anzahl der Arbeitskräfte für das Bewehren	AK_{BW}	[Std/h]		20,00		20,00
9	Bewehrungsgrad für die Stahlbetondecken	bw_g	[kg/m³]	90,00	100,00	120,00	103,33
10	Dauer Betonieren	D_{BT}	[d]		1,00		1,00
11	Tägliche Arbeitszeit	AZ	[h/d]	8,00	8,00	9,00	8,33
12	Ausschalfrist	D_A	[d]	5,00	5,00	6,00	5,33
13	Versatz Schalen – Bewehren	$A_{S,BW}$	[d]		2,00		2,00
14	Reduktionsfaktor	α_m	[-]	0,80	0,90	1,00	0,90

Tab. 10-51 Inputparameter zur Berechnung der Vorhaltemenge der Deckenschalung

10.4.8.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Für die Berechnung der Vorhaltemenge der Deckenschalung müssen zunächst die Mengen für die Schalung, die Bewehrung und den Beton je Fertigungsabschnitt berechnet werden. Da die Inputparameter für die Geschossfläche, die Anzahl der Fertigungsabschnitte sowie der Deckendicke als deterministische Werte angesetzt werden, ergeben sich auch die Schalungsfläche und die Betonmenge als deterministische Werte.

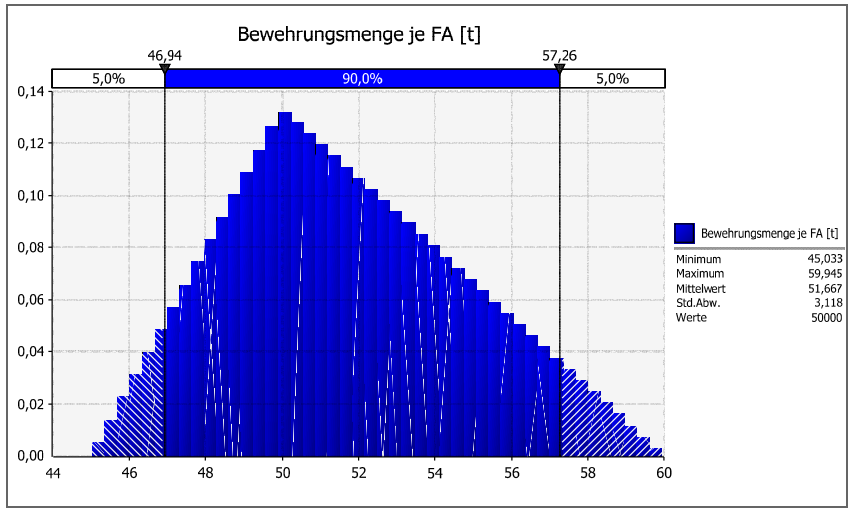


Abb. 10-145 Histogramm – Bewehrungsmenge je Fertigungsabschnitt

Die Schalungsfläche je Fertigungsabschnitt beträgt 2.000 m² (= 8.000 m² / 4).[85] Wird diese Fläche mit der Deckendicke multipliziert ergibt sich die Betonmenge je Fertigungsabschnitt mit 500 m³ (= 2.000 m² * 0,25 m).

Der Bewehrungsgrad – als unsicherer Inputparameter – wurde als Dreiecksverteilung modelliert. Multipliziert mit der Betonmenge ergibt sich für die Bewehrungsmenge je Fertigungsabschnitt ein dreiecksförmiges Histogramm (siehe Abb. 10-145).

Im nächsten Schritt werden die durchschnittlichen Leistungen für das Einschalen $L_{DS,E}$ [m²/d] sowie für das Bewehren L_{BW} [t/d] ermittelt. Dazu wird jeweils die tägliche Arbeitszeit AZ [h/d] mit der Anzahl an Arbeitskräften multipliziert und durch den Aufwandswert dividiert. Für die Berechnung der Schalungsleistung wird angenommen, dass für das Ausschalen zusätzliche Arbeitskräfte eingesetzt werden, damit die durchschnittliche Einschalleistung aufrechterhalten werden kann.

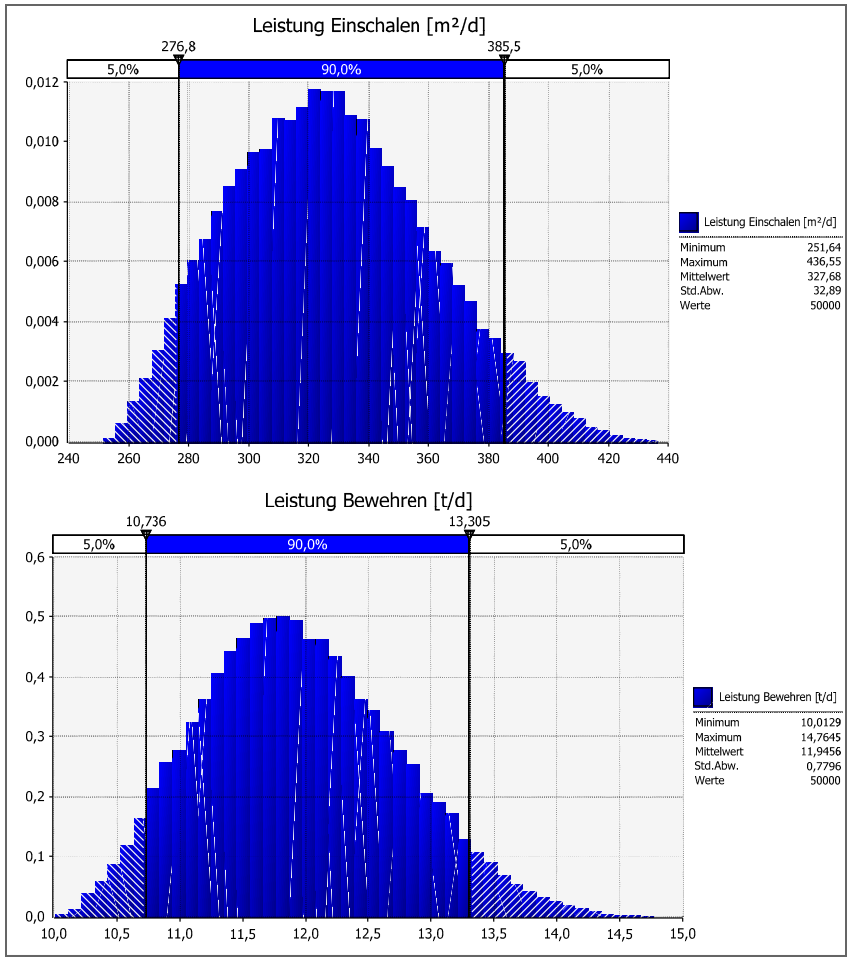


Abb. 10-146 Histogramme – Leistung für das Einschalen und Bewehren

[85] Randabschalungen bleiben unberücksichtigt.

Die tägliche Arbeitszeit wurde dabei als Dreiecksverteilung (8,00 | 8,00 | 9,00 h/d) angesetzt. Die Anzahl der Arbeitskräfte wurde sowohl für das Schalen als auch für das Bewehren als deterministischer Wert (siehe Zeilen 6 und 8 in Tab. 10-51) definiert. Die Aufwandswerte für das Einschalen und das Bewehren sind mit Unsicherheiten behaftet und wurden daher als Dreiecksverteilungen (siehe Zeilen 5 und 7 der Tab. 10-51) in die Berechnung integriert.

Die Histogramme der Schalungs- und Bewehrungsleistung sind in Abb. 10-146 gegenübergestellt. Die Einschalleistung liegt demnach mit 90 %iger Wahrscheinlichkeit zwischen ca. 277 und 386 m²/d. Der Mittelwert liegt bei ca. 328 m²/d.

Der Mittelwert der Bewehrungsleistung ergibt sich mit ca. 11,95 t/d, wobei die Standardabweichung bei ca. 0,78 t/d liegt. In jeweils 5 % der Fälle wird eine Leistung von 10,74 t/d unter- und eine Leistung von 13,31 t/d überschritten.

Wird die Bewehrungsmenge je Fertigungsabschnitt (siehe Abb. 10-145) durch die Bewehrungsleistung dividiert, ergibt sich das Histogramm für die Dauer der Bewehrungsarbeiten je Fertigungsabschnitt in Abb. 10-147.

Als Mittelwert ergibt sich die Dauer für das Bewehren mit ca. 4,34 d. Das 95 %-Quantil liegt bei ca. 5,01 d und das 5 %-Quantil bei 3,74 d.

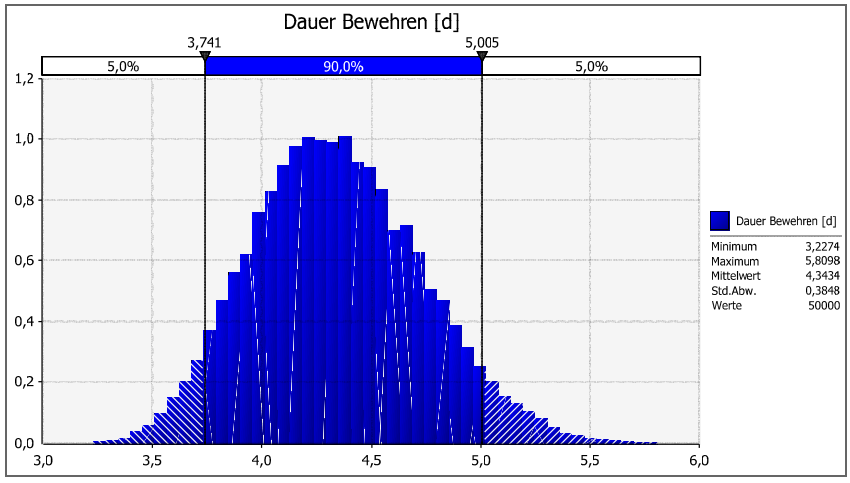


Abb. 10-147 Histogramm – Dauer für das Bewehren

Zur Bestimmung der Standzeit der Schalung werden die deterministischen und probabilistischen Inputparameter sowie die als Zwischenergebnis berechnete Dauer für das Bewehren in Glg. (10-42) eingesetzt. Die Standzeit der Schalung $S_{D,S}$ [d] ergibt sich aus der durchgeführten Monte-Carlo-Simulation als Histogramm (siehe Abb. 10-148). Die minimale Standzeit (bei 50.000 Iterationen) liegt bei ca. 6,53 d und die maximale bei ca. 10,23 d. Als Mittelwert ergeben sich 8,14 d bei einer Standardabweichung von 0,49 d.

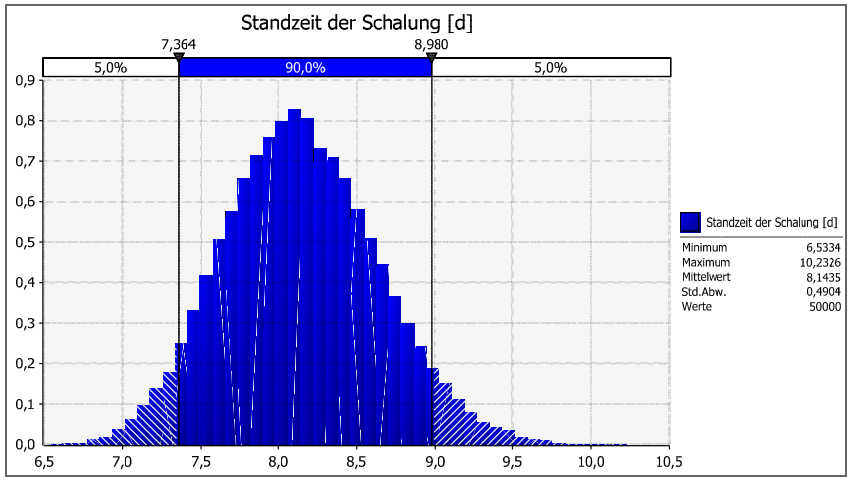


Abb. 10-148 Histogramm – Standzeit der Schalung

Die Standzeit der Schalung $S_{D,S}$ [d], zusammen mit der Schalungsleistung $L_{DS,E}$ [m²/d], der Regelgeschossfläche F_{RG} [m²] und der Anzahl an Fertigungsabschnitten je Geschoss n_{fa} [-], eingesetzt in Glg. (10-41), ergibt die Vorhaltemenge der Deckenschalung $V_{DS,F}$ [m²] (siehe Abb. 10-149).

Der Mittelwert der Vorhaltemenge liegt bei ca. 4.670 m² und die Standardabweichung ergibt sich mit ca. 303 m². Aus der Simulation mit 50.000 Iterationen gehen ein Minimum der Vorhaltemenge von ca. 3.836 m² und ein Maximum von ca. 5.935 m² hervor. Möchte der AN z.B. 80 % der Fälle (Chance) mit seiner Vorhaltemenge abdecken, müsste er für den geplanten Fertigungsablauf (Fließfertigung und vier Fertigungsabschnitte je Geschoss) und den geplanten Ressourceneinsatz (Anzahl der Arbeitskräfte, tägliche Arbeitszeit etc.) ca. 4.923 m² an Deckenschalung auf der Baustelle vorhalten.

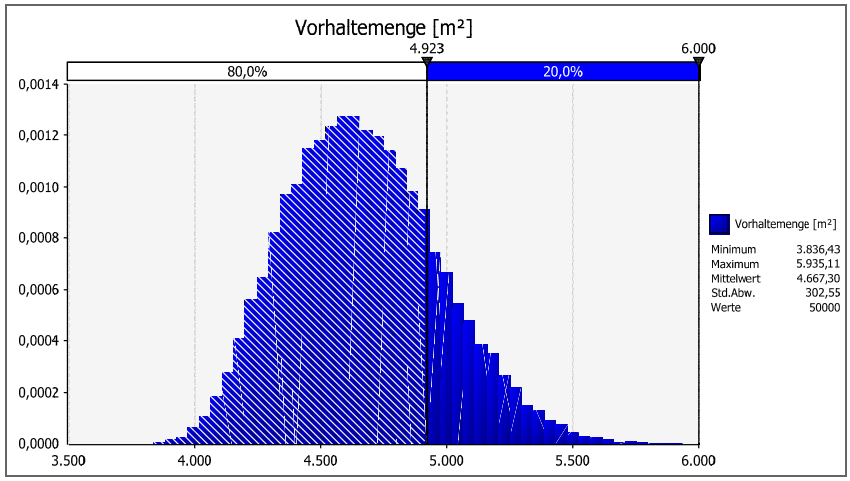


Abb. 10-149 Histogramm – Vorhaltemenge der Deckenschalung

10.4.8.4 Nutzen für den AN

Die detaillierte Ermittlung der Vorhaltemenge für die Deckenschalung ist für den AN zur Optimierung seines Produktionssystems besonders wichtig. Einerseits müssen die Arbeitskräfte mit ausreichend Schalungsgerät und -material versorgt werden, andererseits gilt es zu große Vorhaltemengen aus wirtschaftlichen aber auch aus baubetrieblichen Gründen zu verhindern (z.B. Mietkosten, Lagerflächen).

Im Zuge der Monte-Carlo-Simulation können deterministische und probabilistische Inputparameter in einer Berechnung miteinander kombiniert werden. Es werden dadurch sichere mit unsicheren Parametern in der Ermittlung der Vorhaltemenge systematisch berücksichtigt.

Der Wahl der Vorhaltemenge kann ein gewähltes Chancen-Risikoverhältnis zugrunde gelegt werden. Besonders dann, wenn die Schalarbeiten am kritischen Weg liegen, ist es für den AN wesentlich bei der Entscheidung für eine bestimmte Vorhaltemenge die vorhandenen Unsicherheiten in die Betrachtungen einzubeziehen.

10.4.9 Beschaffungsoptimierung

Die Optimierung der elementaren Produktionsfaktoren sowie die Optimierung von Abläufen ist für Auftragnehmer ein wesentliches Instrument, um bei gleicher Ausführungsqualität die Kosten und den Ressourceneinsatz zu minimieren.

Im Zuge der Ausführung (PPH 4) steht besonders die Versorgung der Baustelle mit den benötigten Materialien im Vordergrund (siehe Abb. 10-150). Gibt es dabei mehrere Möglichkeiten der Materialbeschaffung (z.B. mehrere Betonlieferwerke im Umkreis) und sind mehrere Baustellen des AN gleichzeitig zu beliefern, führt dies zu einem mehrdimensionalen Optimierungsproblem. Werden zusätzlich auch noch Unsicherheiten der Berechnungsparameter berücksichtigt, handelt es sich um ein probabilistisches mehrdimensionales Optimierungsproblem, das nicht mehr analytisch zu lösen ist.

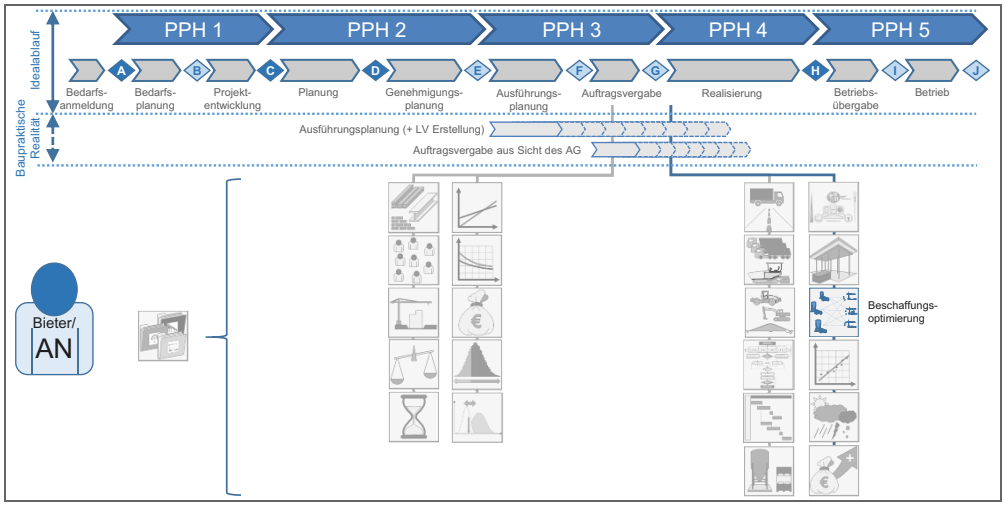


Abb. 10-150 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

Eine ähnliche Problemstellung ergibt sich auch bei der Belieferung von Baustellen mit unterschiedlichem Bedarf aus unterschiedlichen Lagerbeständen. Die Optimierung erfolgt in diesem Fall über die Minimierung der Bezugskosten bzw. der Transportkosten (bei gleichen Materialkosten).

10.4.9.1 Grundlagen

Sind die Eingangsparameter eines Berechnungsmodells mit Unsicherheiten behaftet, kann es von Interesse sein, nicht nur die unterschiedlichen Ergebnisse auf Basis der variierenden Eingangsgrößen in Form eines zusammenfassenden Histogramms darzustellen und zu analysieren, sondern eine Empfehlung für jene steuerbaren Parameter zu erhalten, die in Kombination z.B. die geringsten Kosten bzw. die geringsten Produktivitätsverluste verursachen.

Es handelt sich dabei um ein (u.U. mehrdimensionales) Optimierungsproblem, dessen Lösung aufgrund der stochastischen Einflüsse mit Hilfe von Simulationen und einer entsprechenden probabilistischen Optimierungssoftware[86)] numerisch angenähert werden kann.

Die zu optimierenden Größen sind dabei mit nicht vermeidbaren Streuungen behaftet. In Abb. 10-151 sind solche nicht vermeidbaren Streuungen für zwei Entscheidungsvariablen (X und Y) schematisch dargestellt.

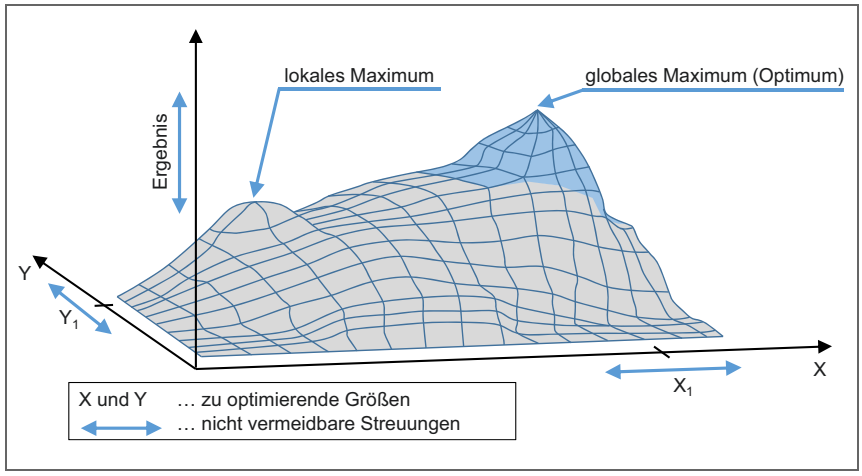


Abb. 10-151 Qualitative Darstellung für die Ermittlung eines globalen Optimums für zwei zu optimierende Größen inkl. nicht vermeidbarer Streuungen[87)]

Damit ein Optimierungsalgorithmus ein globales Optimum[88)] finden kann, muss er bei der Suche nach möglichen Lösungen in einem gewissen Maße auch Verschlechterungen in Hinblick auf das gesuchte Ergebnis zulassen. Werden nur Verbesserungen zugelassen, kann meist nur ein lokales Optimum gefunden werden (siehe Abb. 10-151). Dafür

86) z.B. das in @Risk integrierte Optimierungswerkzeug RISKOptimizer.

87) Vgl. Voigt (2008), Folie 62

88) Bei einem Optimum kann es sich je nach Fragestellung z.B. um ein Minimum (Kosten) oder Maximum (Produktivität) handeln.

gelangen heuristische Optimierungsverfahren (z.B. Simulated Annealing, Threshold Accepting, Great Deluge und Tabu Search) oder auch naturanaloge Metaheuristiken (z.B. genetische Algorithmen) zum Einsatz.[89)]

Das Problem lokaler Suchen besteht darin, dass ein globales Optimum u.U. nicht gefunden werden kann, sondern der Algorithmus bei Auftreten eines lokalen Optimums zu keinen besseren Lösungen mehr kommt. Dies kann mit der Suche nach dem höchsten Punkt in einem dreidimensionalen Gelände verglichen werden (siehe Abb. 10-151). Bei einer lokalen Suche beginnt der Algorithmus an einem beliebigen Punkt (im ‚Gelände') und tastet sich (quasi) blind zum nächsten (benachbarten) Punkt vor. Als Suchkriterium wird nur die ‚Schwere' herangezogen, also ob der Weg nach ‚oben' oder ‚unten' führt. Dieses eingeschränkte Suchkriterium kann dazu führen, dass keine besseren Lösungen (hier: höhere Punkte im ‚Gelände') gefunden werden können. Verbesserte Optimierungsverfahren können Entscheidungen im Suchprozess revidieren (‚Backtracking-Verfahren') oder auch schlechtere Lösungen zulassen, um dadurch in einen anderen ‚Lösungsbereich' zu gelangen und dort nach einem noch besseren (globalen) Optimum zu suchen.[90)]

10.4.9.2 Aufgabenstellung

Anhand eines Beispiels wird gezeigt, wie probabilistische mehrdimensionale Optimierungsprobleme modelliert und schließlich numerisch optimiert werden können. Angenommen wird eine Situation eines AN, der auf drei Baustellen gleichzeitig mit den Stahlbetonarbeiten beauftragt ist und am selben Tag Betonierarbeiten durchführen möchte. Jede der Baustellen benötigt dabei gleiche Betonqualitäten aber in unterschiedlichen Mengen.

Als Bezugsquellen für den Beton hat der AN drei Mischwerke zur Auswahl (siehe Abb. 10-152). Diese verlangen jeweils unterschiedliche Preise für den (qualitativ gleichwertigen) Beton[91)], haben unterschiedliche Entfernungen zu den Baustellen und verfügen außerdem nur über eine begrenzte Kapazität. Keines der Mischwerke kann alle drei Baustellen zur Gänze beliefern.

Ziel der Optimierung ist es, unter Berücksichtigung der Material- und Transportkosten jene Kombination der Betonlieferungen zu ermitteln, bei der die geringsten Gesamtkosten für alle Baustellen gemeinsam verursacht werden.

89) Vgl. Suhl/Mellouli (2013), S. 293

90) Vgl. ebd., S. 136ff.

91) Die Preise, die das jeweilige Mischwerk verrechnet, stellen für den AN Kosten dar.

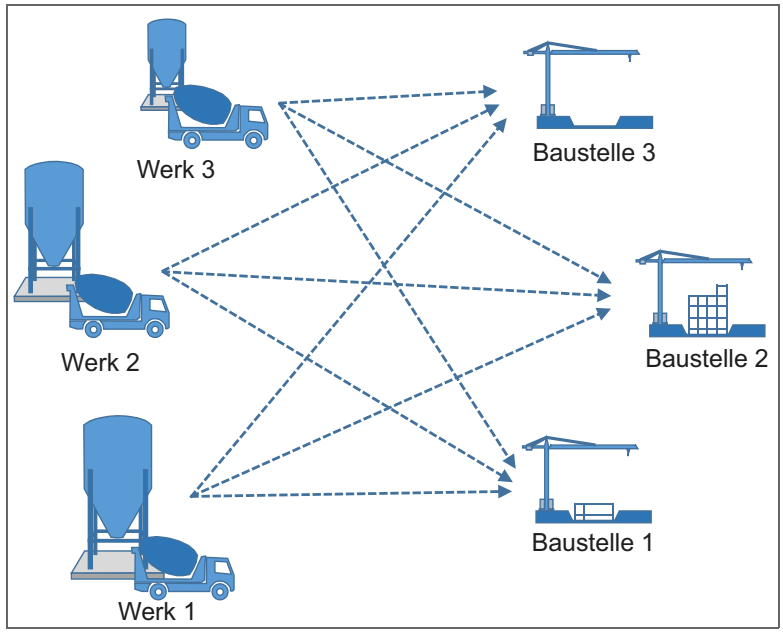


Abb. 10-152 Aufgabenstellung – Beschaffungsoptimierung

10.4.9.3 Modellierung

Für die Modellierung des Optimierungsbeispiels müssen zunächst die Randbedingungen (Entfernungen, Bedarf je Baustelle, Kapazität je Mischwerk und die Ladekapazität je LKW) definiert werden (siehe Abb. 10-153). Es handelt sich dabei jeweils um deterministische Größen. Als Inputparameter, die mit Unsicherheiten behaftet sind, wurden die Transportkosten je Kilometer sowie die Betonkosten je Mischwerk identifiziert (modelliert mit Dreiecksverteilungen). Als veränderbare Werte werden die Liefermengen je Mischwerk und Baustelle festgelegt.

Die Kombination dieser Liefermengen gilt es in weiterer Folge dermaßen zu verändern, dass die Gesamtkosten (= Zielgröße) minimal werden. Die Gesamtkosten setzen sich aus den Transportkosten (abhängig von der Anzahl der Transporte, den Entfernungen und den Kosten je Kilometer) sowie den Betonkosten (abhängig von den Liefermengen und den Betonkosten je Mischwerk) zusammen. Die Optimierung bezieht sich für dieses Beispiel auf den Mittelwert der Gesamtkosten.

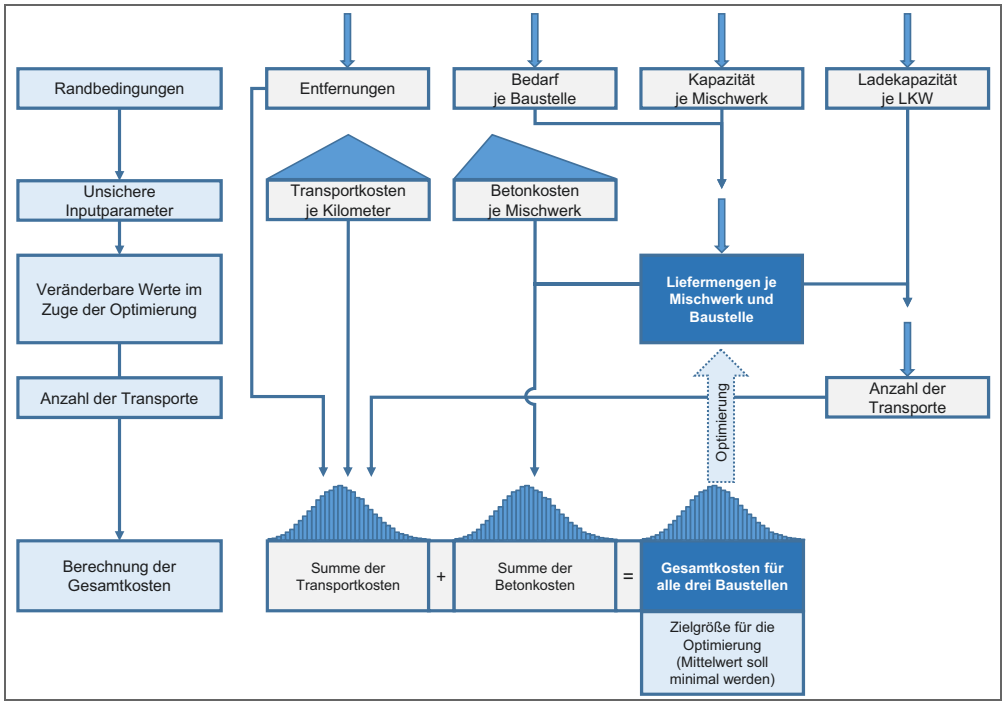


Abb. 10-153 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs

Für das Beispiel sind sowohl die Transportkosten als auch die Betonkosten je Mischwerk mit Unsicherheiten behaftet. Die Transportkosten je Kilometer werden als Dreiecksverteilung (MIN: 1,00; ERW: 1,50; MAX: 2,00 €/km) angesetzt. Die Entfernungen zwischen den Mischwerken und den Baustellen werden als fixe Parameter (deterministische Werte) in die Modellbildung integriert (siehe Tab. 10-52). Die Transportkosten je Kilometer beinhalten bereits die Hin- und Rückfahrt und werden daher nur mit der einfachen Entfernung (eine Richtung) multipliziert.

Entfernungen [km]		Von		
		Werk 1	Werk 2	Werk 3
Nach	Baustelle 1	15,00	25,00	50,00
	Baustelle 2	30,00	20,00	35,00
	Baustelle 3	40,00	35,00	10,00

Tab. 10-52 Entfernungen zwischen Mischwerken und Baustellen

Für jedes Mischwerk konnten die Betonkosten innerhalb einer Bandbreite erhoben werden. Diese Bandbreiten berücksichtigen bereits die Auslastung des jeweiligen Mischwerks sowie zusätzliche Kosten für evtl. erforderliche längere Entladezeiten und/oder Überstundenzuschläge etc. Die Betonkosten werden für jedes Mischwerk als Dreiecksverteilungen angesetzt (siehe Tab. 10-53).

Lfd. Nr.	Betonkosten [€/m³] (gleiche Qualität)				
	Mischwerk	MIN	ERW	MAX	Verteilung
0	A	B	C	D	E
1	Werk 1	90,00	100,00	120,00	103,33
2	Werk 2	80,00	85,00	95,00	86,67
3	Werk 3	70,00	70,00	85,00	75,00

Tab. 10-53 Betonkosten – Dreiecksverteilungen

Die Kapazitäten der drei Mischwerke sind begrenzt (siehe Tab. 10-54), sodass der AN mehrere Bezugsquellen für die Versorgung der Baustellen wählen muss. Die geringste Kapazität weist dabei das Werk 3 auf, die größte Kapazität hat Werk 1.[92)]

Lfd. Nr.	Kapazität	
	Mischwerk	[m³]
0	A	B
1	Werk 1	250,00
2	Werk 2	180,00
3	Werk 3	100,00

Tab. 10-54 Kapazitäten der Mischwerke

Der Bedarf der einzelnen Baustellen ist jeweils unterschiedlich, wobei die größte Betonmenge auf Baustelle 3 und die geringste auf Baustelle 2 verarbeitet werden soll (siehe Tab. 10-55). Insgesamt werden 440 m³ Beton benötigt. Diese Menge kann nur von allen drei Mischwerken gemeinsam zur Verfügung gestellt werden. Ziel des AN ist es, die kostengünstigste Bestellkombination zu finden.

Lfd. Nr.	Bedarf	
	Mischwerk	[m³]
0	A	B
1	Baustelle 1	165,00
2	Baustelle 2	75,00
3	Baustelle 3	200,00

Tab. 10-55 Betonbedarf der Baustellen

Die Kapazität der Mischwägen beträgt unabhängig vom Mischwerk 7,00 m³/LKW. Überschreitet die erforderliche Bestellmenge je Werk ein Vielfaches der Mischwagenkapazität, erfordert dies für die zusätzliche Betonmenge einen weiteren Transport (nur ganzzahlige Anzahl an Transporten zulässig).

In Tab. 10-56 ist die Bestellmatrix für die einzelnen Betonlieferungen dargestellt. In den Zellen B1 bis B3, C1 bis C3 und D1 bis D3 sind dabei die einzelnen bestellten Betonmengen je Werk und Baustelle dargestellt. Es handelt sich bei dieser Kombination an Bestellungen jedoch nicht um jene Bestellung, die insgesamt die geringsten Kosten verursacht, sondern um eine zufällige Kombination, die jedoch alle geforderten Rahmenbedingungen erfüllt. Die Summe des angelieferten Betons für die Baustellen (Spalte E) entspricht genau dem jeweiligen Bedarf (Spalte F). Außerdem wurden mit den bestellten Lieferungen (Zeile 4) die Kapazitäten der drei Mischwerke (Zeile 5) nicht überschritten.

92) Die angegebenen Kapazitäten sind jene, die für die betreffenden Baustellen seitens der Mischwerke zugesagt wurden, da auch noch andere Baustellen im Lieferumkreis versorgt werden müssen.

Lfd. Nr.	Bestellung	Von			Summe Antransport	Bedarf
		Werk 1	Werk 2	Werk 3		
0	A	B	C	D	E	F
1	Baustelle 1	75,00	60,00	30,00	165,00	165,00
2	Baustelle 2	15,00	40,00	20,00	75,00	75,00
3	Baustelle 3	70,00	80,00	50,00	200,00	200,00
4	Summe Lieferungen	160,00	180,00	100,00		
5	Kapazität	250,00	180,00	100,00		

Tab. 10-56 Bestellmatrix

Mit Hilfe der probabilistischen Optimierung werden in weiterer Folge die Werte in den Zellen B1 bis B3, C1 bis C3 und D1 bis D3 entsprechend abgemindert, um die minimalen Gesamtkosten (Material- und Transportkosten) zu erzielen. Dabei wird die Optimierung auf den Mittelwert der Gesamtkosten ausgelegt. Dies ist notwendig, da sich für die Gesamtkosten aufgrund der berücksichtigten Unsicherheiten in den Eingabeparametern nicht eine einzelne Zahl, sondern ein Histogramm ergibt.[93)]

Für die in Tab. 10-56 zufällig ermittelte Bestellkombination ergibt sich unter Berücksichtigung des Ladevolumens (7,00 m³/LKW) die Anzahl der Transporte zwischen den Mischwerken und den Baustellen entsprechend Tab. 10-57. Dabei gilt, dass nicht alle Transporte vollständig gefüllt sind, da es ansonsten zu einer Überschreitung der Kapazitäten einzelner Mischwerke bzw. zu einer zu großen Lieferung für einzelne Baustellen kommen kann.

Lfd. Nr.	Anzahl der Transporte	Werk 1	Werk 2	Werk 3
0	A	B	C	D
1	Baustelle 1	11,00	9,00	5,00
2	Baustelle 2	3,00	6,00	3,00
3	Baustelle 3	10,00	12,00	8,00

Tab. 10-57 Anzahl der Transporte

Für die deterministische Berechnung auf Basis der Mittelwerte errechnen sich die Transporte je Distanz zwischen Mischwerk und Baustelle entsprechend der Tab. 10-58. Der Mittelwert der Dreiecksverteilung (MIN: 1,00; ERW: 1,50; MAX: 2,00 €/km) für die Transportkosten je Kilometer entspricht aufgrund der Symmetrie dem erwarteten Wert (1,50 €/m³). Dieser Wert wird für die deterministische Berechnung mit den Entfernungen in Tab. 10-52 multipliziert. Damit ergeben sich z.B. die Transportkosten zwischen Werk 3 und Baustelle 2 (Zelle D2) mit 52,50 € (= 1,50 €/km * 35 km).

Lfd. Nr.	Transportkosten je LKW	Von		
		Werk 1	Werk 2	Werk 3
0	A	B	C	D
1	Baustelle 1	22,50 €	37,50 €	75,00 €
2	Baustelle 2	45,00 €	30,00 €	52,50 €
3	Baustelle 3	60,00 €	52,50 €	15,00 €

Tab. 10-58 Transportkosten je Distanz – Deterministische Berechnung

93) Es wäre auch eine Optimierung auf ein bestimmtes Quantil oder einen anderen statistischen Wert möglich.

Die gesamten Transportkosten folgen aus der Multiplikation der Transportkosten je LKW (siehe Tab. 10-58) mit der Anzahl der Transporte (siehe Tab. 10-57). Dazu werden zunächst die Produkte jener Zellen mit der gleichen Bezeichnung und dann die Summe aus diesen Produkten gebildet. Insgesamt ergeben sich die deterministischen Transportkosten auf Basis der Mittelwerte mit:

Werk 1: 22,50 * 11 + 45,00 * 3 + 60,00 * 10 +
Werk 2: + 37,50 * 9 + 30,00 * 6 + 52,50 * 12 +
Werk 3: + 75,00 * 5 + 52,5 * 3 + 15,00 * 8

= 2.782,50 €

Für die deterministische Berechnung der Betonkosten werden ebenfalls die Mittelwerte der Dreiecksverteilungen der Betonkosten je Werk (siehe Tab. 10-53 – Spalte E) mit den Bestellmengen (siehe Tab. 10-56 – Zellen B1 bis B3, C1 bis C3 und D1 bis D3) multipliziert und aufsummiert. Die deterministischen Gesamtbetonkosten folgen mit 39.633,33 € [= 103,33 * (75 + 15 + 70) + 86,67 * (60 + 40 + 80) + 75,00 *(30 + 20 + 50)].

Insgesamt betragen die deterministischen Kosten (bezogen auf die Mittelwerte) für die zufällige Kombination der Liefermengen damit 42.415,83 € (= 2.782,50 € + 39.633,33 €). Aufgrund der Unsicherheiten, die in den Beton- sowie in den Transportkosten enthalten sind, können gleiche Bestellsituationen variierende Kosten verursachen (innerhalb der definierten Bandbreiten).

Ziel der Optimierung ist es, die Kosten durch die Änderung der Bestellkombination zu minimieren, wobei die Unsicherheiten der Eingangsparameter berücksichtigt werden.

10.4.9.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Um die Bestellungen ideal zu gestalten, werden im Zuge der probabilistischen Optimierung unterschiedliche Liefermengen je Baustelle und Mischwerk miteinander kombiniert, um damit jene Zusammensetzung zu finden, bei der die geringsten Gesamtkosten entstehen.

Als Ausgangsbasis dienen dabei die zufällig gewählten Bestellmengen in Tab. 10-56 (Zellen B1 bis B3, D1 bis D3 und E1 bis E3).

Abb. 10-154 zeigt die Dokumentation des Optimierungsfortschritts für 1.000 Versuche (Abszisse). Auf der Ordinate sind die Mittelwerte der Gesamtkosten aufgetragen. Horizontale Verläufe des Optimierungsfortschritts zeigen an, dass es bei den entsprechenden Versuchen zu keiner weiteren Verringerung der Kosten gekommen ist. Ein vertikaler Sprung im Verlauf ist auf das Auffinden einer Bestellkombination zurückzuführen, die insgesamt zu geringeren Kosten führt. Entscheidend ist, ob nur ein lokales oder ein globales Minimum durch die Optimierung gefunden wurde (siehe Abb. 10-151).

Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass für dieses einfache mehrdimensionale Optimierungsproblem bereits mit wenigen Versuchen ein stabiles Minimum der Gesamtkosten gefunden werden konnte. In den letzten ca. 900 Versuchen konnte durch die Variation der Bestellmengen keine Ergebnisverbesserung mehr erzielt werden.[94)]

[94)] Bei komplexen Fragestellungen mit vielen Variationsmöglichkeiten (Anzahl der anpassbaren Zellen) kann eine Optimierung durchaus auch mehrere Stunden in Anspruch nehmen.

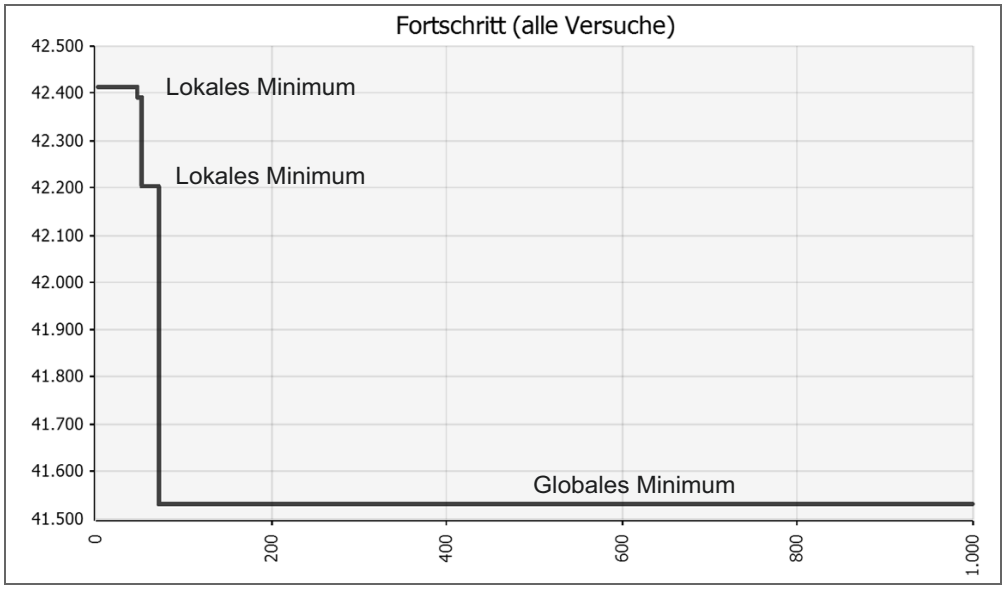


Abb. 10-154 Optimierungsfortschritt

In Tab. 10-59 sind die Bestellmengen je Mischwerk und Baustelle als Ergebnis der probabilistischen Optimierung dargestellt. Für die ideale Bestellkombination ist es demnach erforderlich, dass Werk 3 mit der gesamten Kapazität lediglich die Baustelle 3 beliefert. Idealerweise sollte das Werk 1 fast zur Gänze die Baustelle 1 beliefern. Lediglich 5 m³ sind aus Werk 2 anzutransportieren, wobei hier aus baupraktischen Gründen die gesamte Bestellmenge für Baustelle 1 von Werk 1 zu beziehen sein wird. Die Versorgung der Baustelle 2 erfolgt vollständig durch das Werk 2 und die restlichen 100 m³ für die Baustelle 3 werden ebenfalls vom Werk 2 bereitgestellt.

Lfd. Nr.	Bestellung	Von			Summe Antransport	Bedarf
		Werk 1	Werk 2	Werk 3		
0	A	B	C	D	E	F
1	Baustelle 1	160,00	5,00	0,00	165,00	165,00
2	Baustelle 2	0,00	75,00	0,00	75,00	75,00
3	Baustelle 3	0,00	100,00	100,00	200,00	200,00
4	Summe Lieferungen	160,00	180,00	100,00		
5	Kapazität	250,00	180,00	100,00		

Tab. 10-59 Bestellmatrix – Ergebnis der probabilistischen Optimierung

Die Anzahl der Transporte ergibt sich aus Tab. 10-60 aus der Division der optimierten Bestellmengen durch das Ladevolumen der Mischwägen (= 7,00 m³/LKW). Wird ein ganzzahliges Vielfaches des Ladevolumens überschritten, wird die Anzahl der Transporte aufgerundet (z.B. in Zelle C3: 100,00 m³ / 7,00 m³/LKW = 14,29 LKW – wird aufgerundet auf 15 Transporte).

Lfd. Nr.	Anzahl der Transporte	Werk 1	Werk 2	Werk 3
0	A	B	C	D
1	Baustelle 1	23	1	0
2	Baustelle 2	0	11	0
3	Baustelle 3	0	15	15

Tab. 10-60 Anzahl der Transporte – Ergebnis der probabilistischen Optimierung

In Abb. 10-155 sind die Histogramme der Gesamtkosten für die zufällig kombinierten Bestellmengen sowie für die Optimierung gegenübergestellt. Die Gleitbegrenzer am oberen Bildrand sind jeweils auf die zu optimierenden Mittelwerte eingestellt. Es zeigt sich durch die Optimierung eine Verschiebung des Histogramms bei dem nicht nur der Mittelwert um ca. 1.000 € reduziert werden konnte, sondern auch die Bandbreite der möglichen Gesamtkosten verringert wurde (geringere Standardabweichung).

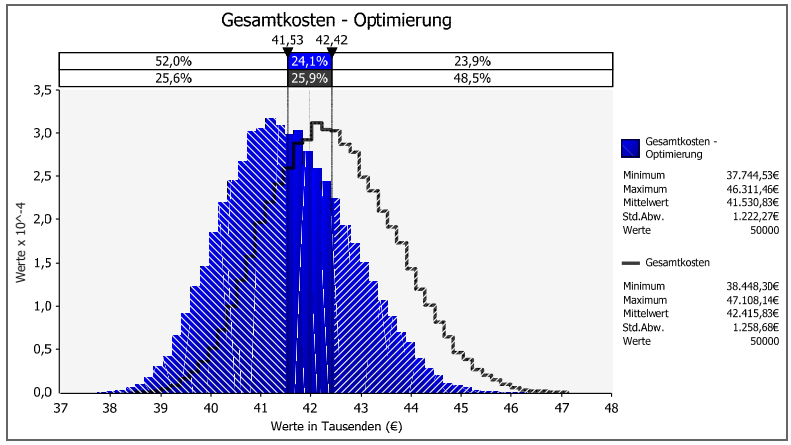


Abb. 10-155 Vergleich der Gesamtkosten vor und nach der Optimierung

Das gezeigte Beispiel bezieht sich auf nur einen einzelnen Betoniertag. Je öfter solche gemeinsamen Betoniertage über die Bauzeiten der einzelnen Projekte auftreten, desto größer wird auch das mögliche Einsparungspotenzial.

Bezogen auf den Mittelwert konnte nur durch eine geänderte Bestellkombination der Mengen eine mehr als 2 %ige Reduktion der Kosten erzielt werden. Geht man von zwei Betoniertagen pro Woche aus, ergibt sich bei einer Bauzeit von 100 d damit ein Einsparungspotenzial von ca. 40.000 € (= 1.000 € * 100 d / 5 d/Wo * 2) bezogen auf den Mittelwert der Kostenverteilung.

10.4.9.5 Nutzen für den AN

Die Beschaffungsoptimierung bietet für AN eine wesentliche Quelle vorhandene Chancen zu nutzen und Kosten durch eine entsprechend optimierte Bestellkombination zu minimieren. Die Methodik wurde anhand eines Beispiels für mehrere Baustellen und mehrere Betonlieferwerke gezeigt, ist aber auch auf andere Beschaffungsoptimierungen anwendbar.

Durch den Einsatz numerischer, probabilistischer Optimierungsverfahren können neben der mehrdimensionalen Änderung der Streuungsparameter (im konkreten Beispiel die Kombination der Bestellmengen) auch Unsicherheiten der Inputparameter berücksichtigt werden. Im Beispiel wurde als Zielgröße die Minimierung der Gesamtkosten (Transport- und Materialkosten für alle drei Baustellen) bezogen auf den Mittelwert definiert. Als Ergebnis konnten konkrete Handlungsempfehlungen (Bestellmengen je Werk und Baustelle) ermittelt werden, die nach entsprechender Prüfung und Plausibilisierung direkt in der Baupraxis umgesetzt werden können.

Mehrdimensionale probabilistische Optimierungen haben den Vorteil, dass vorhandene Potenziale bestmöglich ausgenutzt werden können. Die Chancen werden damit erhöht und vorhandene Risiken reduziert.

Mit dem flexibel gestalteten Berechnungsmodell kann auf geänderte Randbedingungen (Betonkosten, kilometerabhängige Transportkosten, Betonbedarf etc.) direkt reagiert und eine neue Optimierung durchgeführt werden. Die Folgen von geänderten Randbedingungen zeigen sich direkt als Ergebnis der Optimierung in Form einer neuen Bestellstrategie und neuen Histogrammen für die Gesamtkosten.

10.4.10 Trendanalyse

Trendanalysen dienen dazu, auf Basis von historischen Daten bzw. Fortschrittsdaten (z.B. eines laufenden Projekts) mit Hilfe mathematisch-statistischer Methoden eine Aussage über die zukünftige Entwicklung des betrachteten Parameters zu treffen. Bei Bauprojekten eignen sich Trendanalysen besonders für Soll-Ist-Vergleiche im Zuge der Realisierung (PPH 4 – siehe Abb. 10-156).

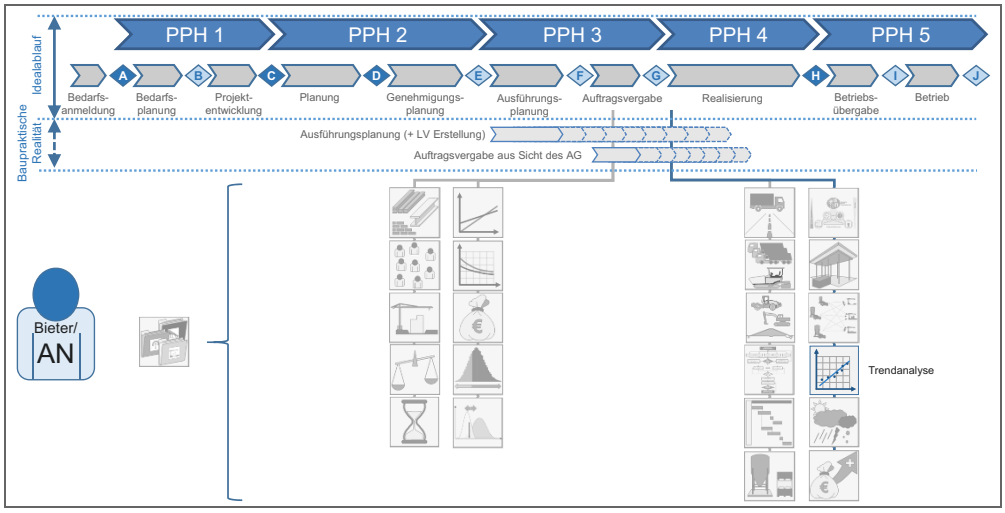


Abb. 10-156 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.4.10.1 Grundlagen

Die Grundlagen zur Trendanalyse bzw. zur linearen Regression als Spezialfall der Regressionsanalysen wurden bereits in Abschnitt 9.4.1.1 dargestellt. Die Durchführung probabilistischer Trendanalysen erfolgt anhand eines Praxisbeispiels in den nachfolgenden Abschnitten.

10.4.10.2 Aufgabenstellung

Für ein Hochbauprojekt wird für die Stahlbetonarbeiten ein begleitender Soll-Ist-Vergleich durchgeführt. Dabei wird zunächst der geplante Leistungsfortschritt für das Soll berechnet und in einem Diagramm dargestellt.

Der tatsächliche Fortschritt im Ist weicht vom Soll ab und wird ebenfalls grafisch aufgetragen. Für das Beispiel sei angenommen, dass die Soll- und Ist-Mengen gleich sind bzw. dass die Abgrenzung der Ist-Mengen gegenüber dem Soll bereits durchgeführt wurde.

Mit Hilfe von Trendanalysen wird ermittelt, ob die geforderte Leistung in der vorgegebenen Zeit erbracht werden kann, bzw. wie hoch die Chancen für die termingerechte Fertigstellung der Leistung sind. Als Leitmenge für die Stahlbetonarbeiten wird dafür die Betonmenge herangezogen. Diese beträgt für das Projekt lt. Ausschreibung 38.275 m³.

Der Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten wurde mit 6,10 Std/m³ berechnet und die vorgegebene Bauzeit beträgt 400 d. Die tägliche Arbeitszeit wurde mit 8,00 h/d festgelegt.

Mit diesen Angaben zum Projekt kann zunächst die mittlere Anzahl an Arbeitskräften über die gesamte Bauzeit berechnet werden:

$$AK_{MW} = \frac{38.275\ m^3 \cdot 6{,}10\ Std/m^3}{400\ d \cdot 8{,}00\ h/d} \approx 73\ AK$$

Dem Einsatz der Ressourcen wird vereinfacht eine Trapezverteilung zugrunde gelegt (Trapezmodell siehe Abb. 10-157). Das Verhältnis zwischen der mittleren AK_{MW} und der maximalen Anzahl an Arbeitskräften AK_{MAX} wird durch den Arbeitskräfteverhältnisfaktor f_{AK} [-] angegeben.

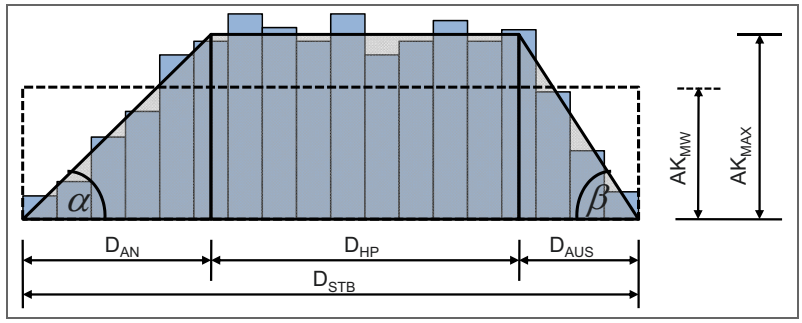


Abb. 10-157 Trapezverteilung der Arbeitskräfte über die Bauzeit – Qualitative Darstellung

Für das gegenständliche Hochbauprojekt wird ein Arbeitskräfteverhältnisfaktor von 0,80 angenommen, womit sich eine maximale Arbeitskräfteanzahl von ca. 91 AK ergibt:

$$AK_{MAX} = \frac{AK_{MW}}{f_{AK}} = \frac{73{,}0\ AK}{0{,}80} \approx 91\ AK$$

Der Anteil der Hauptbauzeit D_{HP} [d] an der gesamten Bauzeit D_{STB} [d] ergibt sich über nachstehende Gleichung für die in Abb. 10-157 qualitativ dargestellte Trapezverteilung.

$$D_{HP} = \frac{2 \cdot D_{STB} \cdot AK_{MW}}{AK_{MAX}} - D_{STB} \tag{10-43}$$

Die Hauptbauzeit errechnet sich nach Einsetzen der entsprechenden Werte in Glg. (10-43) mit 240 d.

$$D_{HP} = \frac{2 \cdot 400\ d \cdot 73\ AK}{91\ AK} - 400\ d \approx 240\ d$$

Die Anlaufphase D_{AN} [d] ermittelt sich nach Glg. (10-44) und die Auslaufphase D_{AUS} [d] wird als ein Drittel der Anlaufphase berechnet.

$$D_{AN} = \frac{3}{4} \cdot (D_{STB} - D_{HP}) \tag{10-44}$$

Damit ergeben sich für die Stahlbetonarbeiten des betrachteten Hochbauprojekts eine Anlaufphase von ca. 120 d [= 3/4 * (400 d - 240 d)] und eine Auslaufphase von ca. 40 d (= 1/3 * 120 d).

Mit dem unterschiedlichen Arbeitskräfteeinsatz in den einzelnen Phasen für die Stahlbetonarbeiten sind auch mit jeder Phase unterschiedliche tägliche Leistungen verbunden. Die durchschnittliche tägliche Leistung in der An- und Auslaufphase der Stahlbetonarbeiten $L_{STB,AN\&AUS}$ [m³/d] errechnet sich mit nachstehender Gleichung:

$$L_{STB,AN\&AUS} = \frac{AK_{MAX} \cdot AZ}{2 \cdot AW_{STB}} \tag{10-45}$$

Die durchschnittliche tägliche Leistung in der An- und Auslaufphase ergibt sich mit ca. 60 m³/d [= 91 AK * 8,00 h/d / (2 * 6,10 Std/m³)].

Für die Ermittlung der durchschnittlichen täglichen Leistung in der Hauptbauzeit $L_{STB,HP}$ [m³/d] wird die Gleichung für die Berechnung der Leistung herangezogen und die maximale Anzahl an Arbeitskräften eingesetzt:

$$L_{STB,HP} = \frac{AK_{MAX} \cdot AZ}{AW_{STB}} \tag{10-46}$$

Die mittlere Leistung in der Hauptbauzeit errechnet sich mit ca. 119 m³/d (= 91 AK * 8,00 h/d / 6,10 Std/m³).

Mit der Berechnung der Dauern für die drei Phasen der Bauzeit sowie mit den entsprechenden Leistungen kann der geplante Fortschritt der Stahlbetonarbeiten über die Bauzeit in einem Diagramm aufgetragen werden (siehe Abb. 10-158).

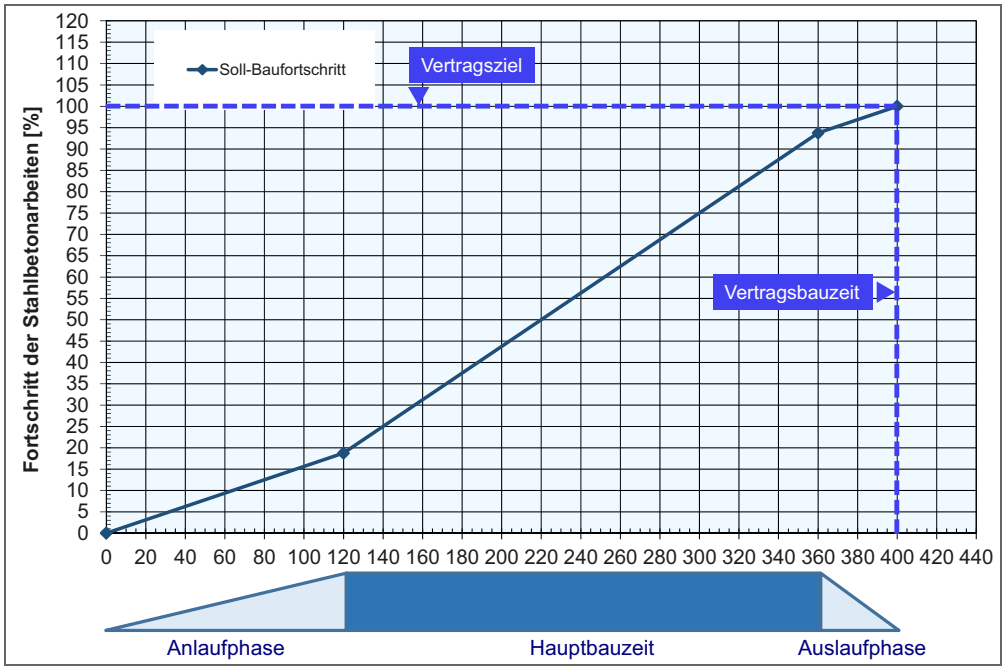


Abb. 10-158 Geplanter Baufortschritt

Im Zuge der Bauausführung werden laufende Aufzeichnungen über den bereits erfolgten Einbau der Leitmenge der Stahlbetonarbeiten vorgenommen. In Tab. 10-61 ist die eingebaute Betonmenge über die ersten 240 Arbeitstage eingetragen. Die Erhebung der eingebauten Menge erfolgte dabei kontinuierlich in Abständen von 20 Arbeitstagen (4 Wochen). Je kürzer diese Intervalle gewählt werden, desto mehr Datenpunkte können den Regressions- bzw. Trendanalysen zugrunde gelegt werden.

Ist-Baufortschritt				
Koordinaten-punkte	**Bauzeit**	**Eingebaute Betonmenge**	**Leistung**	**Anteil der eingebauten Betonmenge an der Gesamtmenge**
A	B	C	D	E
0	0,00 d	0,00 m³		0,00 %
1	20,00 d	550,00 m³	27,50 m³/d	1,44 %
2	40,00 d	1.640,00 m³	54,50 m³/d	4,28 %
3	60,00 d	2.580,00 m³	47,00 m³/d	6,74 %
4	80,00 d	4.920,00 m³	117,00 m³/d	12,85 %
5	100,00 d	7.200,00 m³	114,00 m³/d	18,81 %
6	120,00 d	10.000,00 m³	140,00 m³/d	26,13 %
7	140,00 d	14.210,00 m³	210,50 m³/d	37,13 %
8	160,00 d	17.500,00 m³	164,50 m³/d	45,72 %
9	180,00 d	20.780,00 m³	164,00 m³/d	54,29 %
10	200,00 d	24.060,00 m³	164,00 m³/d	62,86 %
11	220,00 d	26.245,00 m³	109,25 m³/d	68,57 %
12	240,00 d	28.430,00 m³	109,25 m³/d	74,28 %

Tab. 10-61 Ist-Baufortschritt

Die Koordinatenpunkte des dokumentierten Ist-Baufortschritts sind in Abb. 10-159 eingetragen. Auf der Abszisse (X-Achse) ist die Bauzeit und auf der Ordinate (Y-Achse) der kumulierte Fortschritt der Stahlbetonarbeiten in Prozent angegeben. Weiters ist im Diagramm der geplante Baufortschritt aus dem Soll dargestellt.

Aus dem Diagramm kann abgelesen werden, dass in der Anlaufphase zunächst der Baufortschritt unter dem geplanten Soll, dann aber zum Ende der Anlaufphase und bis zur Mitte der Hauptbauphase über dem geplanten Ablauf fortgeschritten ist.

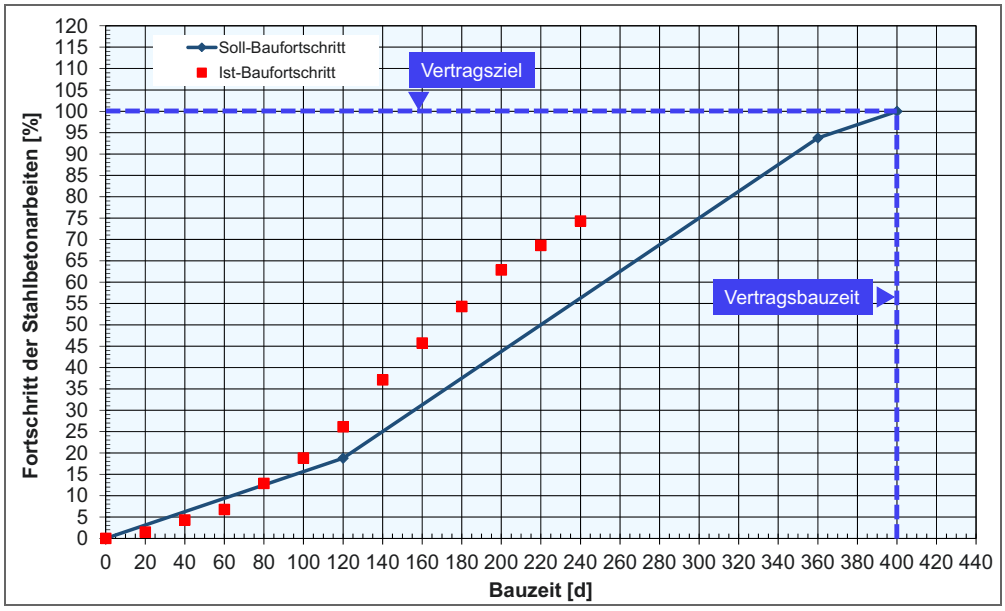


Abb. 10-159 Vergleich – Soll- und Ist-Baufortschritt

Ziel ist es, mit Hilfe von Trendanalysen auf Basis der bisherigen Ausführung eine Prognose für den weiteren Verlauf des Baufortschritts abzugeben. Dafür kommen sowohl deterministische und probabilistische Verfahren zum Einsatz. Weiters wird in eine Intervallweise- und Gesamtbetrachtung unterschieden.

10.4.10.3 Modellierung

In Abb. 10-160 ist der Ablauf für unterschiedliche Varianten der Trendanalyse dargestellt. Zunächst gilt es zu unterscheiden, ob das Intervall, in dem die Ist-Daten erhoben werden fix (z.B. alle 20 Tage) oder variabel festgelegt wird. Unabhängig davon werden die anteiligen Fortschritte je Intervall ermittelt und es muss in weiterer Folge entschieden werden, ob eine Differenzierung in die Anlaufphase, Hauptbauzeit und Auslaufphase erfolgt, oder nicht.

Für beide Varianten können sowohl deterministische Trendanalysen (lineare oder nichtlineare Trendanalysen – durch den Nullpunkt oder nicht durch den Nullpunkt) als auch probabilistische Prognosen durchgeführt werden. Bei den probabilistischen Berechnungen gilt es zu beachten, ob für die Definition der Verteilungen des anteiligen Projektfortschritts in die Projektphasen unterschieden wird oder nicht. Weiters ist bei einem variablen

Dokumentationsintervall des Ist-Fortschritts eine weitere Verteilung für das Beobachtungsintervall zu definieren und evtl. auch noch eine Korrelation zwischen dem Beobachtungsintervall und dem Projektfortschritt zu berücksichtigen. Durch die Wahl eines variablen Intervalls werden demnach zusätzliche Unsicherheiten in das Modell integriert, die durch ein konstantes Beobachtungsintervall relativ leicht ausgeklammert werden können.

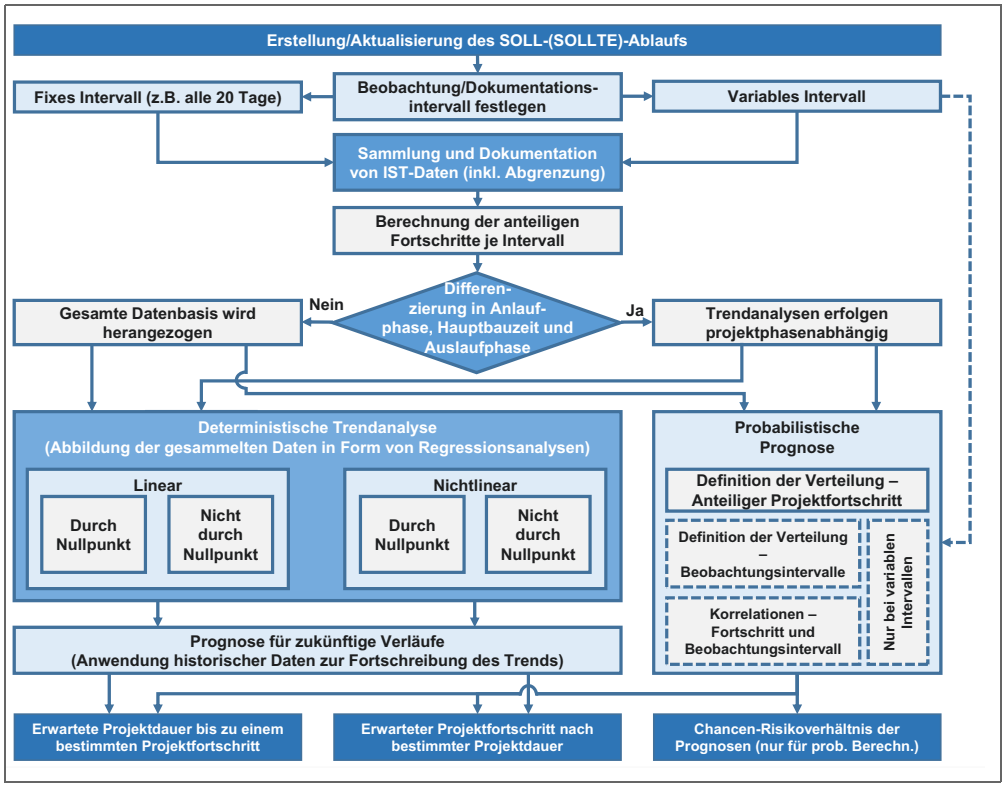


Abb. 10-160 Ablaufdiagramm – Trendanalysen und Prognosen auf Basis historischer Daten

Bei den deterministischen Trendanalysen erfolgt eine Prognose des zukünftigen Projektfortschritts aufgrund der historischen Daten und der Fortschreibung des Trends. Es kann damit die erwartete Projektdauer bis zu einem bestimmten Projektfortschritt oder umgekehrt der erwartete Projektfortschritt nach einer bestimmten Dauer angegeben werden. Nur bei probabilistischen Berechnungen ist auch die Angabe eines Chancen-Risikoverhältnisses für die Prognose möglich.

10.4.10.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Nachfolgend werden deterministische und probabilistische Trendanalysen gezeigt und die Ergebnisse interpretiert.

Lineare Trendanalyse

Anhand von deterministischen Trendanalysen (z.B. lineare Regression) kann auf Basis historischer Daten eine Vorausberechnung für die Fertigstellung des Projekts durchgeführt

werden. Die lineare Regression kann dabei so ausgeführt werden, dass die Regressionsgerade durch den Koordinatenursprung geht oder unabhängig von dieser Festlegung bestmöglich an die vorhandenen Datenpunkte angepasst wird.

In Abb. 10-161 sind zwei Regressionsgeraden auf Basis des Ist-Baufortschritts eingezeichnet und bis zu einer Bauzeit von 400 d verlängert worden. Für beide Geraden ist jeweils die Geradengleichung direkt im Diagramm angeführt.

Entsprechend dieser beiden linearen Regressionen kann eine Prognose für die Fertigstellung der Stahlbetonarbeiten (= 100 % Baufortschritt unter der Voraussetzung, dass es zu keinen Mengenänderungen gegenüber dem Vertragsziel gekommen ist) vorgenommen werden. Die beiden Geraden spannen jeweils einen möglichen Fertigstellungshorizont zwischen ca. 320 und 350 d Bauzeit auf.

Gegenüber dem tatsächlichen Baufortschritt können aber beide Regressionsgeraden nur als sehr grobe Annäherung aufgefasst werden. Eine Vorhersage für den nächsten oder übernächsten Messpunkt (260 d nach Baubeginn) kann mit Hilfe der linearen Regression evtl. ausreichend sein, für die Bestimmung der Gesamtbauzeit bis zur Fertigstellung sind jedoch die Vorausberechnungen mittels linearer Regression mit Vorsicht zu interpretieren.

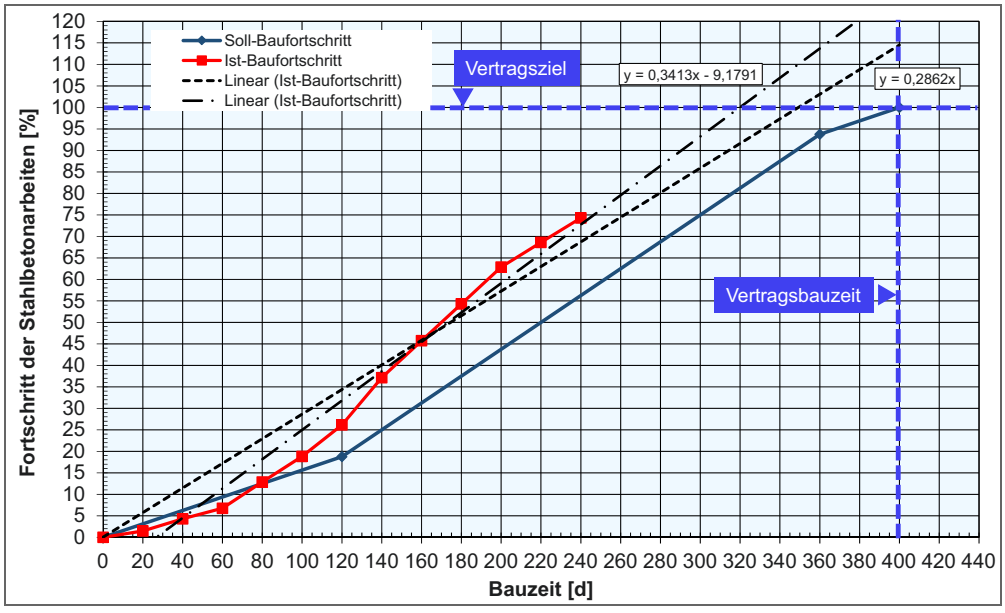


Abb. 10-161 Vergleich – Soll- und Ist-Baufortschritt – Lineare Regressionen

Nichtlineare Trendanalyse

Um den geschwungenen Verlauf des dokumentierten Baufortschritts besser annähern zu können, werden zusätzlich nichtlineare Regressionsanalysen durchgeführt. Zwei Ergebnisse dieser nichtlinearen Regressionen sind in Abb. 10-162 dargestellt.

Beide Polygone bilden eine sehr gute Übereinstimmung mit der vorhandenen Datenbasis und auch für eine Prognose des Baufortschritts bis zu einer Bauzeit von ca. 270 d sind die beiden Kurven nahezu deckungsgleich.

Doch für längerfristige Vorhersagen erscheinen beide gezeigten Kurven als ungeeignet. Das Polygon dritter Ordnung verläuft durch den Koordinatenursprung und weist ab einer

Bauzeit von ca. 290 d einen rückläufigen Baufortschritt auf. Ein solcher Verlauf des Baufortschritts ist bei Fertigstellung des Projekts und ohne Rückbaumaßnahmen während des Projektfortschritts nicht plausibel. Eine langfristige Prognose anhand dieser Trendkurve ist daher nicht möglich.

Das Polygon fünfter Ordnung hat ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit dem dokumentierten Ist-Baufortschritt, allerdings weist die Trendkurve ab ca. 290 d einen sehr steilen Anstieg des Baufortschritts auf. Demnach wäre die Fertigstellung der Stahlbetonarbeiten bereits nach weniger als 320 d zu erwarten. Auch bei dieser Trendanalyse ist von keiner langfristig zuverlässigen Prognose auszugehen. Entgegen des geplanten Soll-Baufortschritts ist für die nichtlineare Regression in der Auslaufphase der Stahlbetonarbeiten ein sehr steiler Anstieg im Diagramm eingetragen. In der Ausführung ist gegen Ende der Bauzeit allerdings mit einem Abflachen des Baufortschritts zu rechnen.

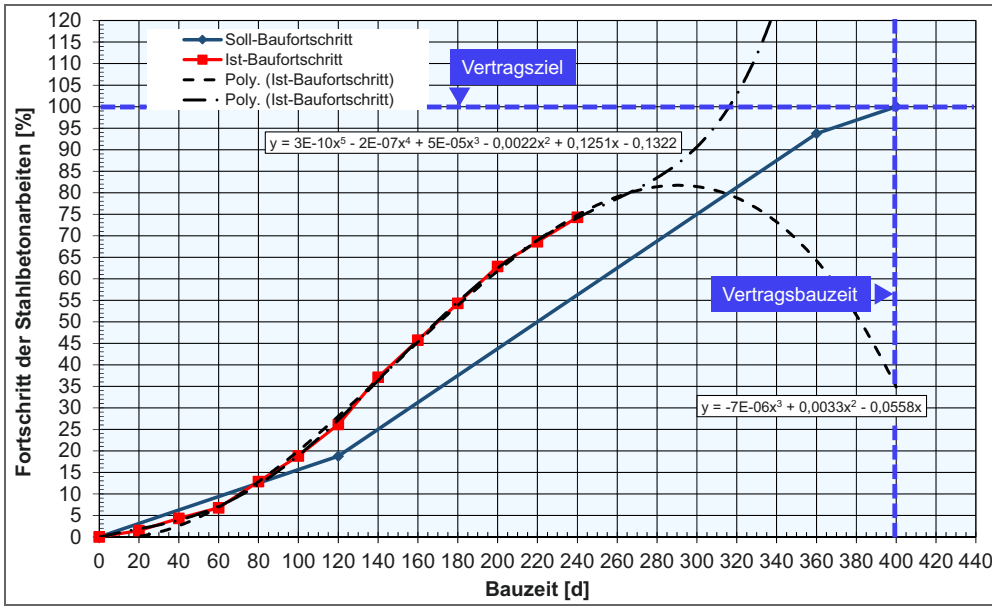


Abb. 10-162 Vergleich – Soll- und Ist-Baufortschritt – Nichtlineare Regressionen

Trendanalysen mittels Monte-Carlo-Simulation

Eine weitere Möglichkeit Trendanalysen bzw. Prognosen für den zukünftigen Baufortschritt auf Basis des dokumentierten Ist-Fortschritts durchzuführen, ist die Anwendung einer Monte-Carlo-Simulation, bei der der Baufortschritt in bestimmten Intervallen unter Berücksichtigung bisheriger Fortschrittsschwankungen berechnet wird.[95)]

Dazu werden zunächst die Differenzen des prozentuellen Baufortschritts zwischen den einzelnen dokumentierten Koordinatenpunkten ermittelt (siehe Tab. 10-62 – Spalte F).

[95)] Das Beobachtungsintervall wurde für dieses Beispiel mit 20 d fixiert.

Ist-Baufortschritt					
Koordinaten-punkte	Bauzeit	Eingebaute Betonmenge	Leistung	Anteil der eingebauten Betonmenge an der Gesamtmenge	ΔBeton-anteil
A	B	C	D	E	F
0	0,00 d	0,00 m³		0,00 %	
1	20,00 d	550,00 m³	27,50 m³/d	1,44 %	1,44 %
2	40,00 d	1.640,00 m³	54,50 m³/d	4,28 %	2,85 %
3	60,00 d	2.580,00 m³	47,00 m³/d	6,74 %	2,46 %
4	80,00 d	4.920,00 m³	117,00 m³/d	12,85 %	6,11 %
5	100,00 d	7.200,00 m³	114,00 m³/d	18,81 %	5,96 %
6	120,00 d	10.000,00 m³	140,00 m³/d	26,13 %	7,32 %
7	140,00 d	14.210,00 m³	210,50 m³/d	37,13 %	11,00 %
8	160,00 d	17.500,00 m³	164,50 m³/d	45,72 %	8,60 %
9	180,00 d	20.780,00 m³	164,00 m³/d	54,29 %	8,57 %
10	200,00 d	24.060,00 m³	164,00 m³/d	62,86 %	8,57 %
11	220,00 d	26.245,00 m³	109,25 m³/d	68,57 %	5,71 %
12	240,00 d	28.430,00 m³	109,25 m³/d	74,28 %	5,71 %

Tab. 10-62 Ist-Baufortschritt inkl. Differenzen

Diese Differenzdaten werden in weiterer Folge herangezogen, um ein Datenfitting (KS-Test) durchzuführen. Festgelegt wird dabei, dass die untere Grenze der Verteilung durch einen Baufortschritt von 0 % gebildet wird. Weiters wird determiniert, dass eine obere Grenze der Verteilung existiert, diese aber im Zuge des Datenfittings zu ermitteln ist.

Die Differenzdaten aus Spalte F der Tab. 10-62 sind in Abb. 10-163 als Histogramm dargestellt. Weiters eingezeichnet ist die gefittete Verteilung, die sich für diese Datenbasis als Dreiecksverteilung (KS-Test) darstellt. Die aus den historischen Daten gefittete Verteilung für den prozentuellen Zuwachs der eingebauten Betonmenge wird für die Berechnung zukünftiger möglicher Verläufe des Baufortschritts herangezogen.

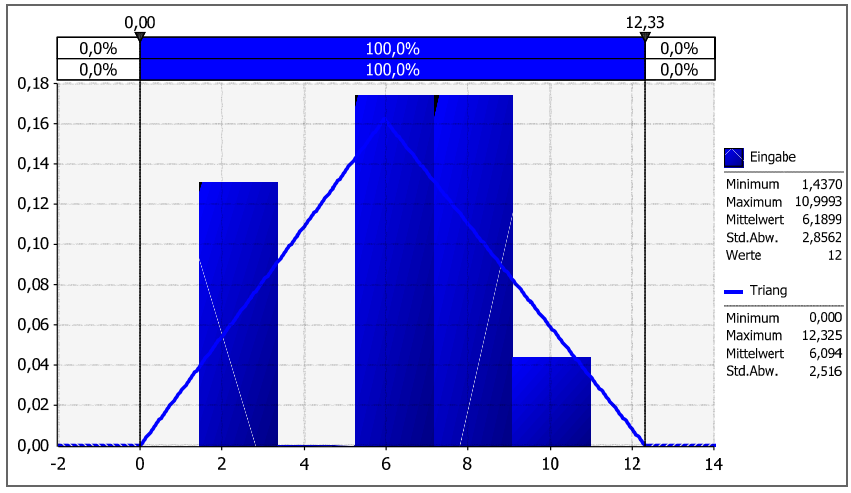


Abb. 10-163 Datenfitting des prozentuellen Fortschrittszuwachses der Stahlbetonarbeiten auf Basis historischer Daten

Für die Prognose zukünftiger Verläufe werden die Y-Werte (prozentueller Fortschritt der Stahlbetonarbeiten) von in der Zukunft liegenden Koordinatenpunkten berechnet. Die X-Werte (Bauzeit) entsprechen dabei dem Muster des dokumentierten Baufortschritts und folgen in 20 d-Schritten.

Die Koordinatenpunkte der eingebauten Gesamtbetonmenge bauen jeweils auf dem Baufortschritt des vorhergehenden Koordinatenpunkts auf. Aus der gefitteten Verteilung wird im Zuge der Monte-Carlo-Simulation jeweils ein Zufallswert gewählt, der die prozentuelle Erhöhung des Baufortschritts darstellt. Werden mehrere zukünftige Koordinatenpunkte berechnet, ist es entscheidend, dass für jeden zu berechnenden Koordinatenpunkt eine eigene gefittete Verteilung hinterlegt ist. Diese Verteilungen beruhen zwar alle auf der gleichen Datenbasis und liefern auch das gleiche Fittingergebnis, für die Simulation werden aber in einem Iterationsschritt jeweils unterschiedliche Zahlenwerte aus der Bandbreite der Verteilungen gewählt. Ist dies nicht der Fall und wird für jede Fortschrittsberechnung auf die gleiche gefittete Verteilung zugegriffen, ergibt sich für den Kurvenverlauf in jedem Iterationsschritt eine Gerade mit konstanter Steigung, da in jede Iteration die gleichen prozentuellen Erhöhungen für alle zukünftigen Koordinatenpunkte einfließen.

Ein schwankender Zuwachs des Baufortschritts innerhalb bestimmter Grenzen entspricht der Realität und auch den Aufzeichnungen der historischen Daten mehr, als ein konstanter Anstieg der eingebauten Betonmenge.

Durch die Simulation ergeben sich für die gewählten Bauzeitintervalle von 20 d jeweils Verteilungen für den zu erwartenden Baufortschritt. Aus diesen Verteilungen können statistische Kennwerte wie z.B. das 5%- und das 95%-Quantil, der Mittelwert oder die Standardabweichung erhoben werden.

Werden diese Werte zu dem bisher dokumentierten Ist-Baufortschritt in das Diagramm eingetragen, zeigt sich eine Streuung der möglichen zukünftigen Fortschrittsverläufe auf Basis der Gesamtheit der historischen Projektdaten über den Zuwachs der eingebauten Stahlbetonmenge.

Abb. 10-164 zeigt zunächst den dokumentierten Baufortschritt im Ist bei einer Bauzeit von 0 bis 240 d. Die weiteren Kurven ab einer Bauzeit von 240 d entsprechen jeweils dem Mittelwert, dem Mittelwert plus/minus einer Standardabweichung sowie dem 5%- und dem 95%-Quantil als Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für den zukünftigen Baufortschritt.

Weiters ist in Abb. 10-164 ein Kurvenverlauf des aktuellen Iterationswerts eingezeichnet. Dabei handelt es sich um eine zufällige Kombination der prozentuellen Baufortschrittswerte für einen Iterationsschritt der Monte-Carlo-Simulation. Zwischen den berechneten Koordinatenpunkten für die Zukunft können sich steilere und flachere Verläufe abwechseln. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nicht für jeden Koordinatenpunkt auf die gleiche gefittete Verteilung zugegriffen wird, sondern auf Zufallswerte mehrerer identischer Verteilungen.

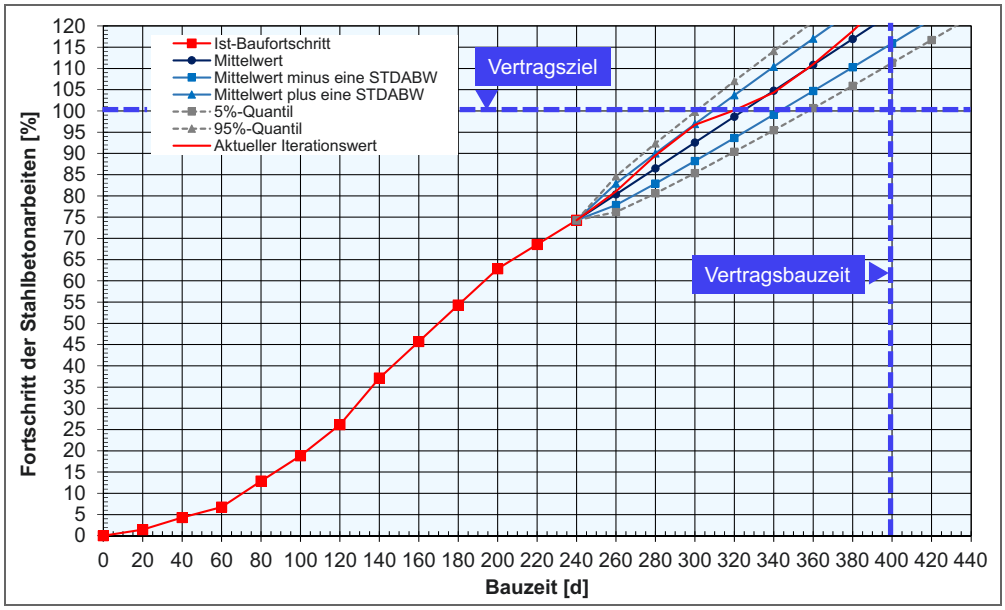


Abb. 10-164 Ist-Baufortschritt inkl. Prognose für den weiteren Baufortschritt

Besonders von Interesse bei der Interpretation des gezeigten Diagramms ist die Frage nach der zu erwartenden Bauzeit bis zur Erreichung des Vertragsziels (= 100 % Baufortschritt). Dazu werden die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation durch lineare Interpolation zwischen den Bauzeitintervallen (= 20 d) dermaßen ausgewertet, dass die Einzeliterationsergebnisse für das Erreichen des Vertragsziels in Form eines Histogramms dargestellt werden können (siehe Abb. 10-165). Es ist zu erkennen, dass die 5%- bzw. die 95%-Quantil-Kurven aus dem Diagramm exakt mit den dargestellten Gleitbegrenzern des Histogramms übereinstimmen.

Das Histogramm für die prognostizierte Bauzeit für die Erreichung des Vertragsziels (= 100 % Baufortschritt) ist ebenfalls gesondert in Abb. 10-166 dargestellt und zeigt, dass mit 90 %iger Wahrscheinlichkeit die Bauzeit für die Fertigstellung der Stahlbetonarbeiten zwischen ca. 300 und 357 d betragen wird.

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation kann es weiters von Interesse sein, welcher Fortschritt der Stahlbetonarbeiten bis zu einer bestimmten Bauzeit zu erwarten ist.

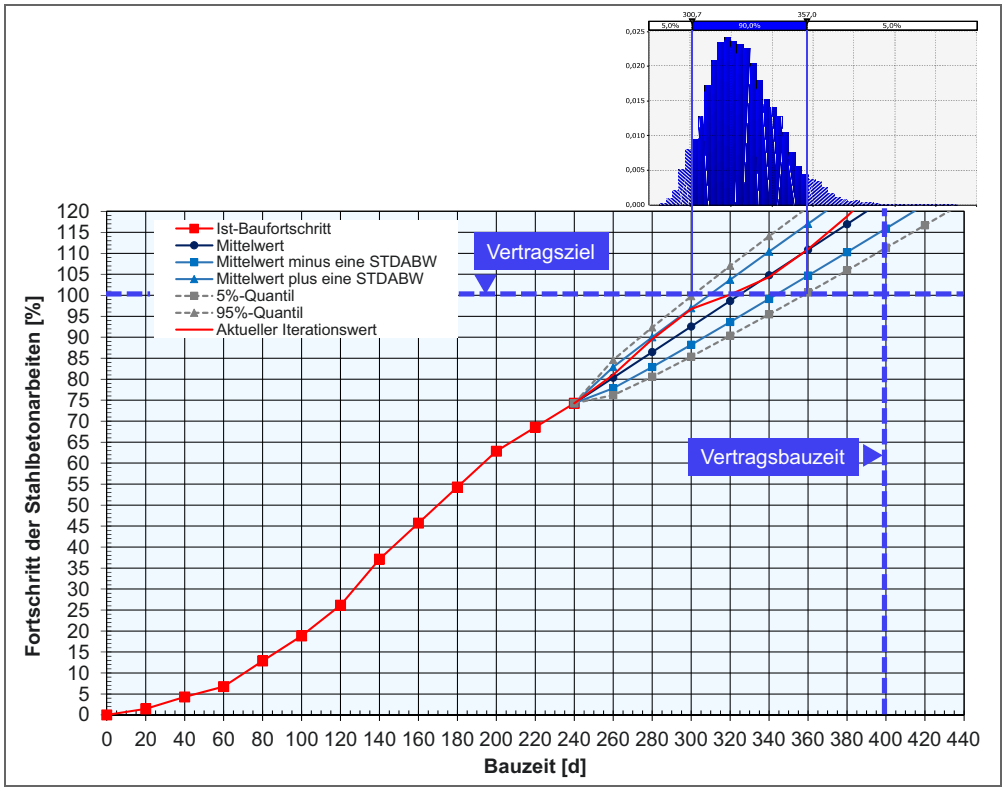


Abb. 10-165 Ist-Baufortschritt inkl. Prognose für den weiteren Baufortschritt – Histogramm für die Bauzeit bei Erreichen des Vertragsziels

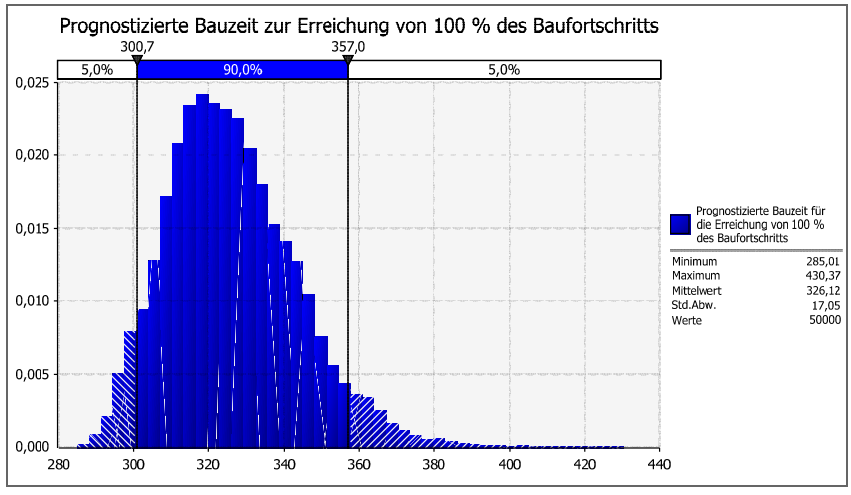


Abb. 10-166 Histogramm für die Bauzeit bei Erreichen des Vertragsziels (= 100 % Baufortschritt)

Beispielhaft wird dazu der prognostizierte Baufortschritt für eine Bauzeit von 290 d ermittelt (siehe Abb. 10-167). Auch bei dieser Abfrage wird durch lineares Interpolieren zwischen den berechneten Koordinatenpunkten für die Zukunft ein Histogramm auf Basis der möglichen Fortschrittskurven aus der Monte-Carlo-Simulation ermittelt.

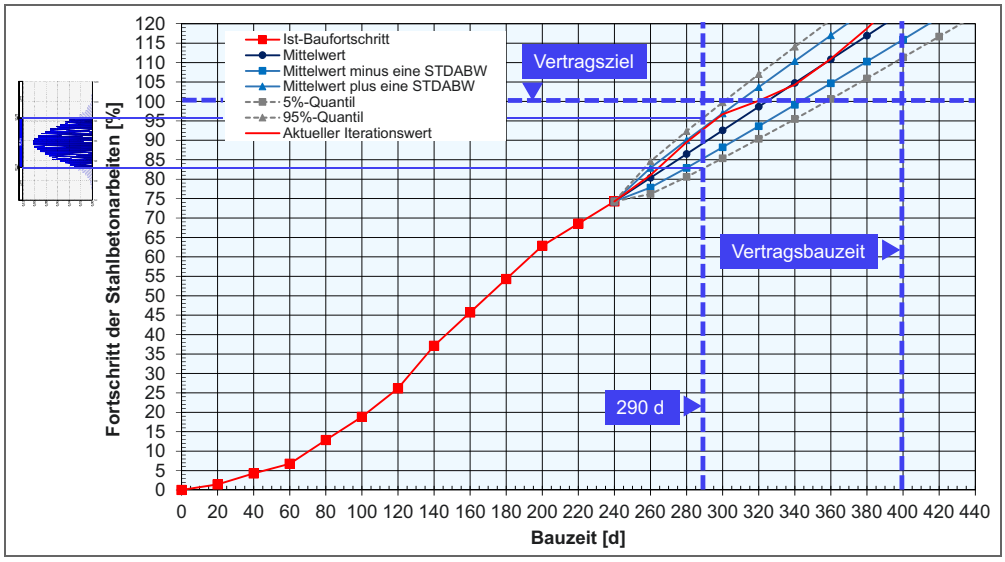


Abb. 10-167 Ist-Baufortschritt inkl. Prognose für den weiteren Baufortschritt – Histogramm für den Baufortschritt für eine spezifische Bauzeit (= 290 d)

In Abb. 10-168 ist das Histogramm für den prognostizierten Baufortschritt nach 290 d Bauzeit dargestellt. Anhand des Histogramms wird deutlich, dass – unter den getroffenen Annahmen – ein Fertigstellungsgrad von mehr als 96 % nur mit 5 %iger Wahrscheinlichkeit überschritten wird. Auf Basis der historischen Daten liegt die Wahrscheinlichkeit, dass weniger als 83 % der Stahlbetonarbeiten nach 290 d (entspricht 72,5 % der vereinbarten Bauzeit) fertiggestellt sind, ebenfalls bei ca. 5 %.

Je mehr Datenpunkte vorhanden sind und je kürzer der Prognosehorizont in der Zukunft liegt, desto höher ist die Aussagegenauigkeit für die Prognosen.

Den gezeigten Berechnungen liegt der Umstand zugrunde, dass für die zukünftigen Koordinatenpunkte die eingebaute Betonmenge sich ähnlich wie für die Gesamtheit der historischen Daten verhält.

Für eine weitere Detaillierung ist es möglich, für die Auslaufphase nur jene prozentuellen Fortschrittszuwächse für das Datenfitting zu berücksichtigen, die in der Anlaufphase dokumentiert wurden. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass es in der Auslaufphase zu einer kontinuierlichen Reduktion des Ressourceneinsatzes und damit auch der durchschnittlichen täglichen Leistung kommt.

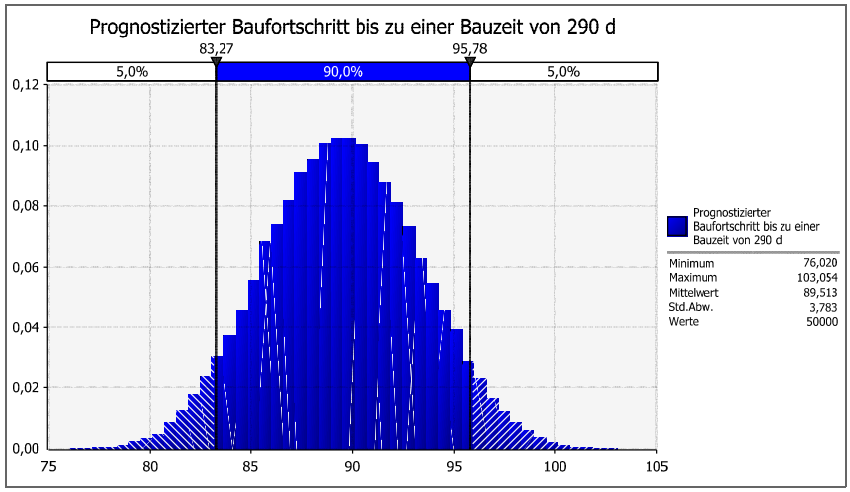


Abb. 10-168 Histogramm für den Baufortschritt für eine spezifische Bauzeit (= 290 d)

Differenziertes Prognoseverfahren durch Unterscheidung in Anlaufphase, Hauptbauzeit und Auslaufphase

Bei den bisher gezeigten Prognosen wurde vorausgesetzt, dass die Zunahme der eingebauten Betonmenge innerhalb bestimmter Bandbreiten auf Basis des bisher dokumentierten Baufortschritts erfolgt. Dabei wurde nicht berücksichtigt, dass sowohl im Soll als auch im Ist mit unterschiedlichen Steigungen des Baufortschritts in den jeweiligen Bauphasen (Anlaufphase, Hauptbauzeit und Auslaufphase) zu rechnen ist. Besonders die Auslaufphase bleibt in den vorangegangenen Betrachtungen unberücksichtigt.

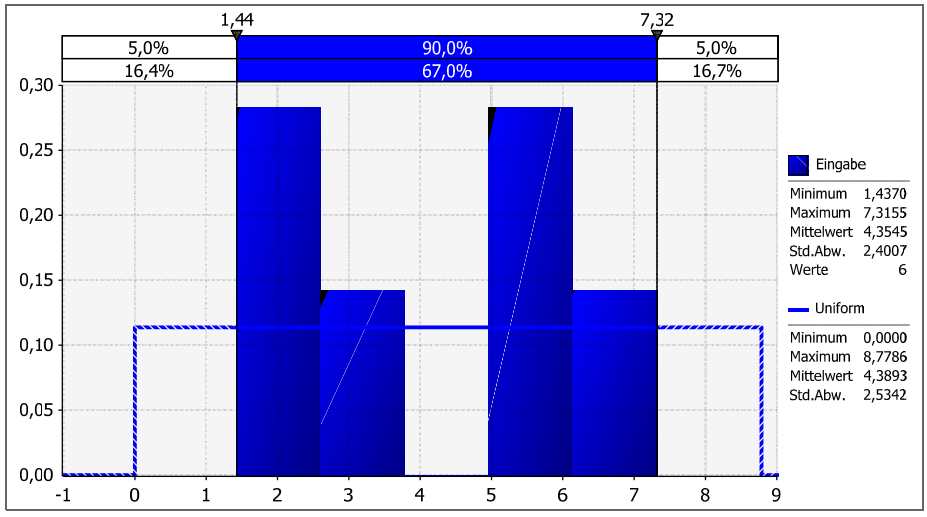


Abb. 10-169 Datenfitting des prozentuellen Fortschrittszuwachses der Stahlbetonarbeiten auf Basis historischer Daten der Anlaufphase (0 bis 120 d)

Für eine weitere probabilistische Prognose werden zunächst zwei Datenfittings der dokumentierten prozentuellen Baufortschritte durchgeführt. Das erste Datenfitting basiert nur auf dem prozentuellen Fortschrittszuwachs der Stahlbetonarbeiten in der Anlaufphase (von Baubeginn bis zu einer Bauzeit von 120 d). Als bestmögliche Annäherung an diese begrenzte Datenbasis ergibt sich eine Rechteckverteilung (KS-Test) – siehe Abb. 10-169.

Das zweite Datenfitting wird aufgrund der restlichen dokumentierten prozentuellen Fortschrittszuwächse erhoben (120 d bis 240 d).[96] Dabei ergibt sich als beste Annäherung eine Dreiecksverteilung (KS-Test) – siehe Abb. 10-170.

Bei beiden Datenfittings wurde festgelegt, dass das Minimum der Verteilung bei 0 % (entspricht einem Stillstand des Baufortschritts) liegt. Das Maximum ergibt sich aus dem Datenfitting wobei als Restriktion angenommen wurde, dass eine obere Grenze für die Verteilung existiert (keine offenen Enden der Verteilung zulässig).

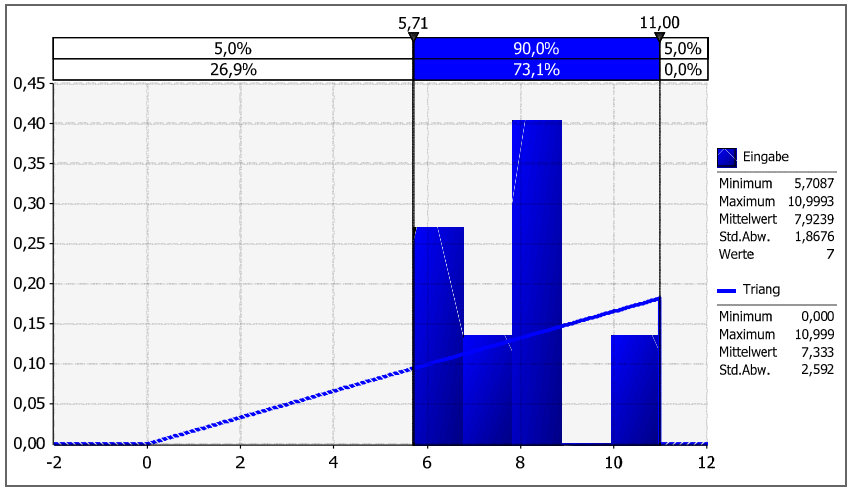


Abb. 10-170 Datenfitting des prozentuellen Fortschrittszuwachses der Stahlbetonarbeiten auf Basis historischer Daten der Hauptbauzeit (120 bis 240 d)

Die gefittete Verteilung für die Anlaufphase weist generell eine geringere Bandbreite als jene für die Hauptbauzeit auf. Weiters werden niedrigeren prozentuellen Fortschrittszuwächsen in der Anlaufphase höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten zugewiesen, als in der Hauptbauzeit. Kritisch hervorzuheben ist die geringe Anzahl an Datenpunkten, auf deren Basis die beiden Fittings durchgeführt wurden. Mit nur sechs Datenpunkten für die Anlaufphase und sieben für die Hauptbauzeit kann nur eine grobe Annäherung an die tatsächliche Verteilung des prozentuellen Fortschrittszuwachses der beiden Phasen durchgeführt werden. Je mehr dokumentierte Fortschrittszuwächse (kleinere Intervalle zwischen den Dokumentationszeitpunkten) dem Datenfitting zugrunde gelegt werden können, desto genauer kann die Anpassung der theoretischen Verteilungen an die Datenbasis vorgenommen werden.

Die beiden Verteilungen werden in weiterer Folge dem prognostizierten Projektfortschritt zugrunde gelegt. Auch bei dieser Simulation wird jedem der in der Zukunft liegenden Datenpunkte eine eigene Verteilungsfunktion für den prozentuellen Projektfortschritt

[96] Der prozentuelle Fortschrittszuwachs bei einer Bauzeit von 120 d fließt damit sowohl in das Datenfitting der Anlaufphase als auch der Hauptbauzeit ein.

zugewiesen, um jeweils zufällige Projektfortschritte innerhalb der ermittelten Bandbreiten simulieren zu können.

Da der Projektfortschritt bis zu einer Bauzeit von 240 d über dem geplanten Soll liegt, wird angenommen, dass bereits nach 280 d die Auslaufphase eingeleitet wird (z.B. durch Reduktion der eingesetzten Schlüsselgeräte und/oder Reduktion der Anzahl an Arbeitskräften). Das bedeutet für die Simulation, dass bis zu einer Bauzeit von 280 d mit einem Projektfortschritt auf Basis des Datenfittings für die Hauptbauzeit gerechnet wird. Danach wird die gefittete Verteilung der Anlaufphase für die Ermittlung des weiteren Projektfortschritts herangezogen.

In Abb. 10-171 ist der Wechsel von der Hauptbauzeit zur Auslaufphase durch einen Knick der Prognosekurven bei einer Bauzeit von 280 d ersichtlich.

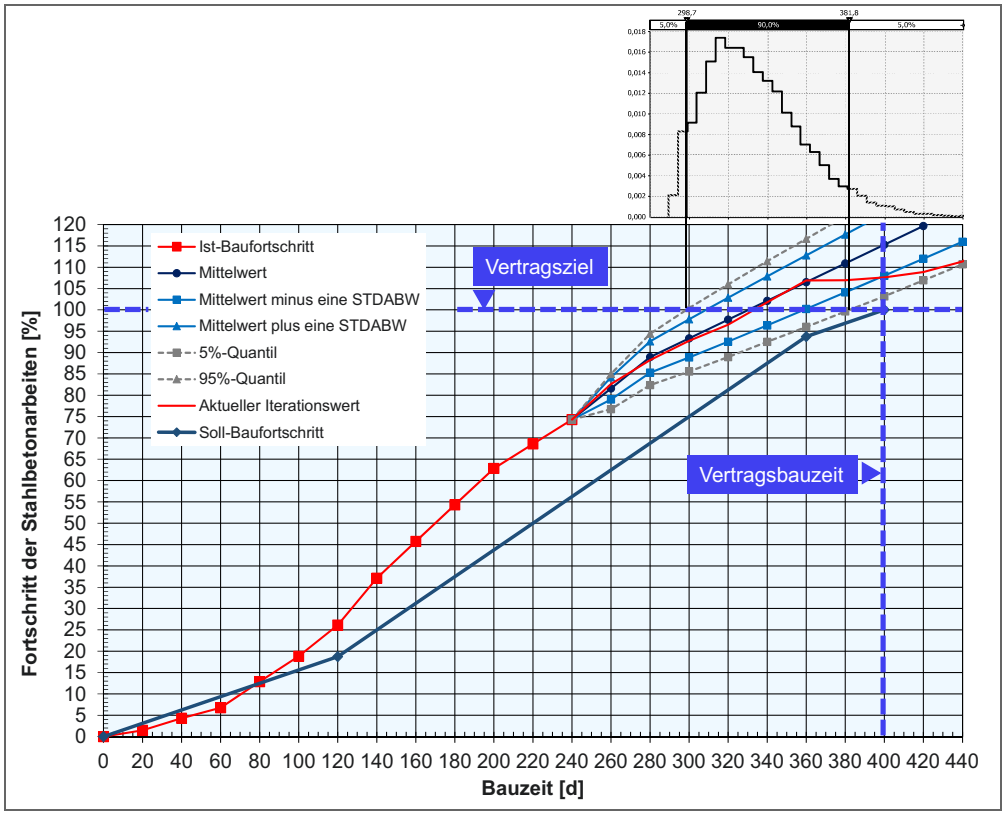


Abb. 10-171 Ist-Baufortschritt inkl. Prognose für den weiteren Baufortschritt – Histogramm für die Bauzeit bei Erreichen des Vertragsziels – Differenziertes Prognoseverfahren

Es zeigt sich insgesamt, dass durch die Berücksichtigung der unterschiedlichen Phasen in der Simulation ein Verlauf des Projektfortschritts prognostiziert wird, der sich qualitativ dem geplanten Soll-Baufortschritt und auch der baupraktischen Realität besser annähert.

In Abb. 10-172 sind die beiden Histogramme für die prognostizierte Bauzeit bei erreichen des Vertragsziels (Baufortschritt = 100 %) gegenübergestellt. Die Vertragsbauzeit mit 400 d kann durch Analyse des Histogramms aus dem differenzierten Prognoseverfahren demnach mit ca. 98,2 %iger Wahrscheinlichkeit eingehalten werden.

Die maximale Bauzeit aus der ersten Simulation (ohne Differenzierung in Hauptbauzeit und Auslaufphase) mit 50.000 Iterationen (Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren) beträgt ca. 421 d (siehe Legende rechts oben in Abb. 10-172). Bei differenzierten Prognoseverfahren liegt das Maximum bei ca. 511 d (siehe Legende rechts unten in Abb. 10-172).

Das differenzierte Prognoseverfahren liefert demnach eine größere Bandbreite in den möglichen Fortschrittszuwächsen und damit auch ein größeres mögliches Leistungsspektrum.

Das differenzierte Prognoseverfahren ist davon abhängig, wann der Übergang von der Hauptbauzeit zur Auslaufphase in der Zukunft definiert wird. Je nachdem, wann die Auslaufphase tatsächlich eingeleitet wird (z.B. durch die Reduktion der Geräte und/oder des Personaleinsatzes) ergeben sich steilere oder flachere Verläufe für den prognostizierten Baufortschritt. Durch den steuerbaren Übergang von der Hauptbauzeit zur Auslaufphase kann während der Ausführung auf einen zu schnellen oder zu langsamen Baufortschritt reagiert und damit steuernd eingegriffen werden.

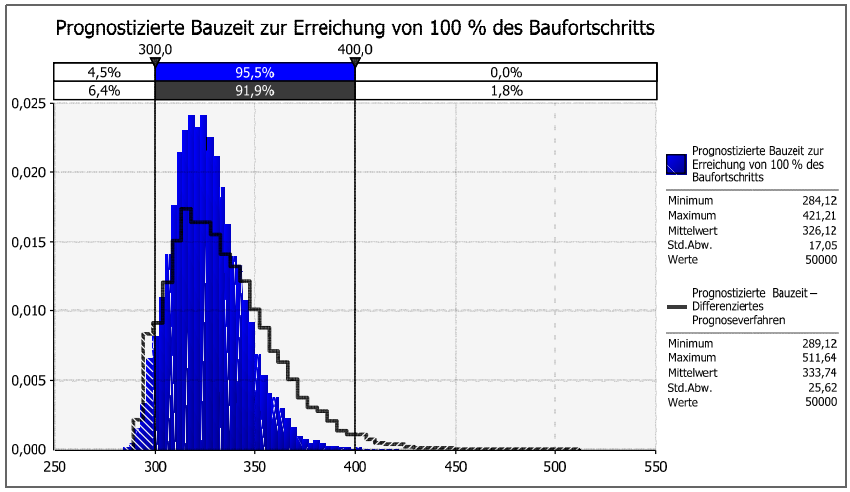


Abb. 10-172 Vergleich der Histogramme für die Bauzeit bei Erreichen des Vertragsziels (= 100 % Baufortschritt)

In diesem Beispiel sind keine Mengenänderungen, die das Vertragsziel jeweils nach unten oder oben korrigieren berücksichtigt. Erhöht sich beispielsweise die Stahlbetonmenge um 10 % gegenüber der Ausschreibungsmenge, muss in den Diagrammen auf der Ordinate nicht ein Leistungsfortschritt von 100 % sondern von 110 % erreicht werden. Wird die Bauzeit trotz der Mengenänderung nicht angepasst, kann mit Hilfe der probabilistischen Trendanalyse direkt auf das Chancen-Risikoverhältnis, welches mit der Mengenmehrung im Bezug auf die Einhaltung der Bauzeit verbunden ist, geschlossen werden.

10.4.10.5 Nutzen für den AN

Der Nutzen von Trendanalysen und probabilistischen Prognoseverfahren für den AN ist in Abb. 10-173 dargestellt. Sie stellen wesentliche Controllinginstrumente bei der Abwicklung von Bauprojekten dar. Diese richten ihren Fokus nicht nur auf bereits geleistete

Tätigkeiten und Prozesse in der Vergangenheit, sondern verwenden daraus abgeleitete projektspezifische historische Daten, um Aussagen über mögliche zukünftige Entwicklungen zu treffen. Durch die Anwendung probabilistischer Prognoseverfahren, können nicht nur Punktschätzer in Form einzelner deterministischer Zahlenwerte abgegeben werden, sondern es werden Beurteilungen bezogen auf das erwartete Chancen-Risikoverhältnis möglich. Ist z.B. das Risiko einer Bauzeitüberschreitung zu groß, müssen Gegensteuerungsmaßnahmen eingeleitet werden, um eine Trendwende im Fortschrittsverlauf herbeizuführen.

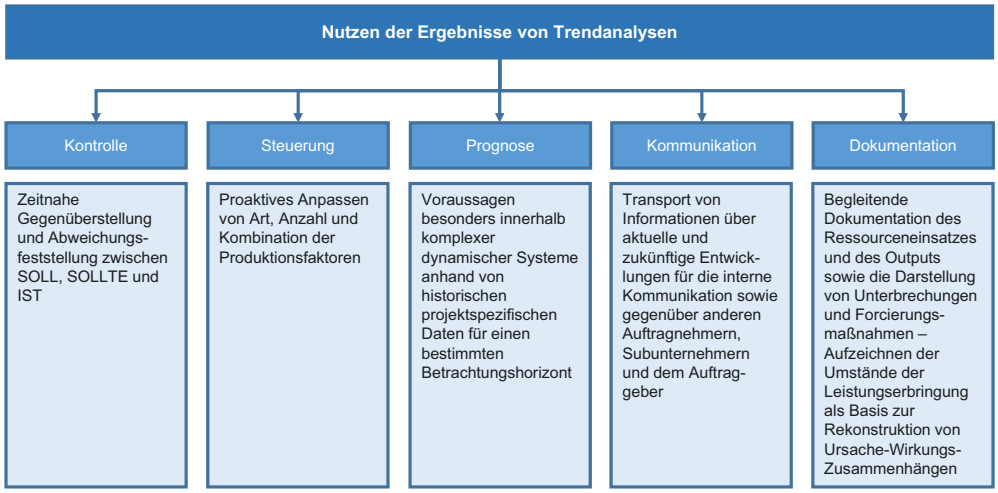


Abb. 10-173 Nutzen von Trendanalysen und Prognosen auf Basis historischer Daten

Bei der Interpretation der Simulationsergebnisse ist darauf zu achten, ob die dokumentierten prozentuellen Fortschrittsänderungen als Gesamtheit oder differenziert nach Bauphasen (Anlaufphase, Hauptbauzeit und Auslaufphase) in das Datenfitting und in weiterer Folge in die Simulation eingeflossen sind.

Für das Datenfitting der prozentuellen Fortschrittsänderung sind im angegebenen Beispiel alle vorhandenen Datenpunkte eingeflossen. Können im Projektverlauf einzelne (besonders geringe oder besonders große) prozentuelle Änderungen auf eine bestimmte Ursache zurückgeführt werden, die während der weiteren Ausführung nicht mehr zu erwarten ist, kann eine Eliminierung dieses Datensatzes aus der Prognoseberechnung bzw. aus dem Fitting angedacht werden, um damit die Bandbreite möglicher Fortschrittsänderungen einzuschränken und realistischere Prognosen für den Betrachtungshorizont zu erhalten.

Das gezeigte Verfahren und die für die Fortschrittsbetrachtung der Stahlbetonarbeiten angewendete Methodik kann auch auf andere Arbeiten oder andere Fragestellungen – z.B. hinsichtlich der Kostenkontrolle oder in Bezug auf den Lohnstundenverbrauch[97)] – übertragen werden.

Entscheidend für die Vorhersagegenauigkeit sind die Qualität und die Abgrenzung der zugrunde gelegten Dokumentation. Wird diese nicht wie im angeführten Beispiel, regelmäßig vorgenommen, ist ein zweites Datenfitting mit den Differenzen der Beobachtungszeitpunkte in die Berechnung zu integrieren. Hierbei sind auch Überlegungen zu möglichen Korrelationen zwischen dem Intervall der Beobachtungszeitpunkte und dem

97) Hier kann der tatsächliche Lohnstundenaufwand meist leicht aus den Bautagesberichten kontinuierlich erhoben werden.

prozentuellen Projektfortschritt zu berücksichtigen. Es wird hierbei von einem starken positiven Korrelationskoeffizienten ausgegangen, da mit größeren Abständen zwischen zwei Mess- bzw. Beobachtungszeitpunkten auch tendenziell ein größerer Baufortschritt zu erwarten ist.

Wenn die Trendanalyse zeigt, dass das Projekt voraussichtlich viel früher abgeschlossen werden kann, kann die Arbeitsgeschwindigkeit reduziert werden – sofern eine kürzere Bauzeit nicht im Sinne des Value Engineerings vom AG entsprechend honoriert wird. Im Zuge dieser Reduktion des Leistungsfortschritts wird die Kombination der Produktionsfaktoren z.B. hinsichtlich der Arbeitsgruppengrößen, der Vorhaltemengen oder der eingesetzten Geräte optimiert.

Liefert die Trendanalyse das Ergebnis, dass die Fertigstellung des Projekts länger benötigen wird, als die vorgegebene Vertragsbauzeit, sind gegensteuernde Maßnahmen zu ergreifen. Dies kann z.B. eine Ausdehnung der Hauptbauzeit und/oder der Einsatz von mehr Geräten bzw. Arbeitskräften sein. Zu beachten sind dabei evtl. auftretende Produktivitätsverluste, wenn spezifische Grenzwerte für den optimalen Einsatz der Produktionsfaktoren überschritten werden (z.B. Mindestarbeitsfläche, Krankapazität).

Insgesamt dienen die Ergebnisse von probabilistischen Trendanalysen auch der internen sowie der externen Kommunikation über aktuelle und zukünftige Entwicklungen und haben das Potenzial – aufgrund einer offenen Diskussion über Unsicherheiten – zu einer partnerschaftlichen Projektabwicklung beizutragen.

10.4.11 Einflüsse der Witterung

Bei Baustellen handelt es sich um vorübergehende, spezifische Produktionsstätten. Die täglich erzielbare Arbeitsleistung während der Ausführung (PPH 4 – siehe Abb. 10-174) wird dabei von äußeren und inneren Einflüssen bestimmt. Einen dieser Einflüsse stellt die Außentemperatur dar, die sich wesentlich auf die Leistungsfähigkeit von Arbeitskräften, die ihre Arbeiten im Freien verrichten müssen, auswirkt. Weicht die Temperatur von einem Idealwert – in positive oder negative Richtung – ab, kommt es zu Produktivitätsverlusten und damit zu einem Anstieg des Aufwandswerts.

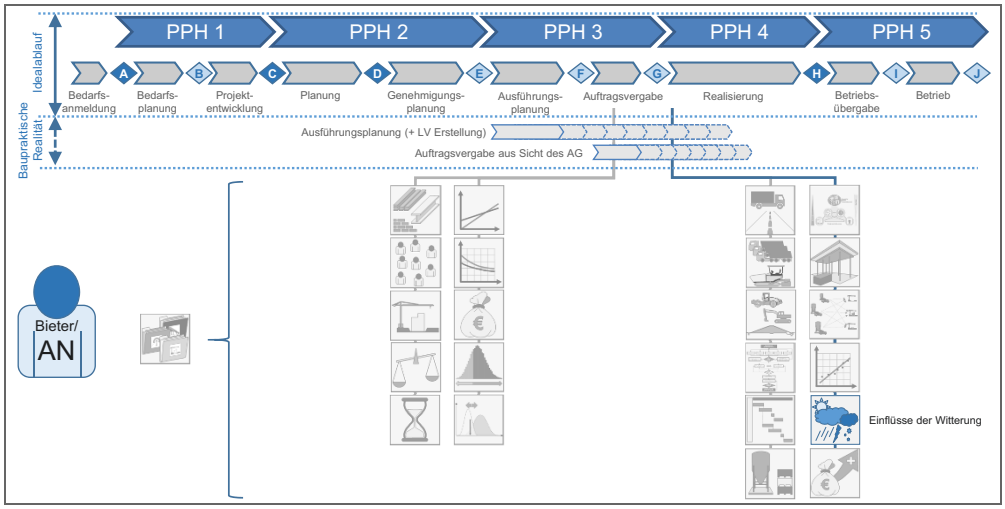


Abb. 10-174 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

Anhand eines Berechnungsbeispiels wird gezeigt, wie sich die Wahl des Baubeginns auf die Lohnstundensumme auswirkt. Es werden probabilistische Berechnungen durchgeführt, um die in den Ansätzen enthaltenen Unsicherheiten zu berücksichtigen und die Ergebnisse in Form von Histogrammen und Kurvenverläufen darzustellen. Die Berechnungen erfolgen mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen, die es erlauben, einzelne Inputparameter für die Berechnungen mit Verteilungsfunktionen zu belegen.

Einsparungspotenziale werden durch eine vorteilhafte Wahl des Baubeginns aufgezeigt. Kommt es zu Störungen oder Bauzeitverzögerungen, können die möglichen Auswirkungen auf den Aufwandswert frühzeitig beurteilt und prognostiziert werden. Erforderliche Gegensteuerungsmaßnahmen können frühzeitig erkannt und systematisch hinsichtlich der Risiken und Chancen beurteilt werden.

10.4.11.1 Grundlagen

Die Wetterverhältnisse beeinflussen die Leistungsfähigkeit der Produktionsfaktoren. Bei Arbeiten im Freien bestimmt u.a. die Außentemperatur die Leistungsfähigkeit der Arbeitskräfte. Die Menschen auf der Baustelle können bei kälteren Temperaturen die Tätigkeiten nicht mehr mit der ‚Normal-Produktivität' ausführen, da sie beispielsweise durch die wärmere Bekleidung (z.B. dickere Handschuhe) in den Bewegungsabläufen beeinträchtigt sind. Weiters reduziert sich die Produktivität durch Pausen zum Aufwärmen sowie dem Zurechtrücken der Kleidung. Auch Geräte, die zur Beheizung aufgestellt sind, können die Bewegungsabläufe der Arbeitskräfte beeinträchtigen. Während des Arbeitens bei tieferen Temperaturen werden Präzision und Schnelligkeit bei den einzelnen Handgriffen verringert, und somit die Produktivität reduziert.

Bei Hitze verringert sich die Produktivität beispielsweise durch zusätzliche ‚Verschnauf-' und Trinkpausen. Weiters kann es bei höheren Temperaturen bei Arbeiten mit Stahl notwendig werden, Schutzhandschuhe zu tragen, die wiederum die Bewegungsabläufe verlangsamen können. Die persönliche Schutzausrüstung wirkt störend und verstärkt das Empfinden der Hitze.

In der Literatur finden sich Angaben zur optimalen Tagestemperatur für unterschiedliche Arbeiten u.a. bei *Koehn/Brown*, *Thomas/Yiakoumis*, *Oglesby et al.* und *Fetzner*.

Aus den Darstellungen von *Koehn/Brown* lässt sich ein optimaler Temperaturbereich zwischen 10 °C und 21,1 °C ableiten und zwar unabhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit.[98)]

Thomas/Yiakoumis geben den Bereich der optimalen Tagestemperatur für die Arbeitsproduktivität zwischen 10 °C und 15,6 °C an, wenn die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 5 % und 75 % liegt.[99)]

Von *Oglesby et al.* wird der Bereich für die optimalen Tagestemperaturen zwischen 10 °C und 21 °C angegeben.[100)]

Fetzner unterscheidet bei den optimalen Tagestemperaturen zwischen den Tätigkeiten. Für die Mauerwerksarbeiten werden 14 °C, für die Betonierarbeiten 10,5 °C und für die Schal- sowie Bewehrungsarbeiten 6,5 °C angeführt.[101)]

98) Vgl. Koehn/Brown (1985), S. 129ff.

99) Vgl. Thomas/Yiakoumis (1987), S. 623ff.

100) Vgl. Oglesby et al. (1989), S. 263f.

101) Vgl. Fetzner (2007), S. 170ff.

Nicht optimale Tagestemperaturen beeinflussen die Arbeitsproduktivität der Arbeitskräfte und haben Einfluss auf den erforderlichen Lohnstundenaufwand [Std] z.B. je hergestelltem Kubikmeter Stahlbeton. Dieses Verhältnis von Lohnstunden zu Mengeneinheit wird als Aufwandswert [Std/m³] bezeichnet.

Aufwandswerte und Produktivität stehen unmittelbar in einer Wechselbeziehung. Steigen die Aufwandswerte, sinkt die Produktivität und umgekehrt. Die relative Veränderung in der Produktivität ΔPV [%] kann durch Glg. (10-47) berechnet werden. Dazu wird die Differenz zwischen der ‚Ausgangs-Produktivität' und der ‚Ist-Produktivität' gebildet und durch die Ausgangsproduktivität dividiert. Die Ausgangs-Produktivität folgt aus dem Reziprokwert des Soll-Aufwandswerts AW_{SOLL} [Std/m³], die Ist-Produktivität aus dem Reziprokwert des Ist-Aufwandswerts AW_{IST} [Std/m³].[102)]

$$\Delta PV = \left(\frac{\frac{1}{AW_{SOLL}} - \frac{1}{AW_{IST}}}{\frac{1}{AW_{IST}}} \right) \cdot 100\ \% \tag{10-47}$$

2012/2013 wurde eine Expertenbefragung an der Technischen Universität Graz durchgeführt, bei der sich 35 Teilnehmer aus dem Baugewerbe und der Bauindustrie aus Deutschland und Österreich mit einer durchschnittlichen Berufserfahrung von 17 Jahren (minimale Erfahrung: 5 Jahre; maximale Erfahrung: 43 Jahre) beteiligten. Als ein Ergebnis dieser Umfrage konnte die optimale Tagestemperatur, bei der für die Arbeitskräfte die idealen Voraussetzungen gegeben sind, um die ‚Normal-Produktivität' zu erreichen, mit 18 °C (robuster Mittelwertschätzer) ermittelt werden.[103)]

Weiters konnte ein Kurvenverlauf für die Aufwandswerterhöhung bei Stahlbetonarbeiten ermittelt werden, wenn die Tagestemperatur von diesem Optimalwert abweicht (siehe Abb. 10-175).

Um Ausreißer bei den Antworten der Experten nicht aus der Erhebung löschen zu müssen und der Gefahr, dass Ergebnisse verzerrt werden, vorzubeugen, wurden robuste Mittelwertschätzer (M-Schätzer nach *Huber*) ermittelt. Dabei fließen Ausreißer und Extremwerte nur mit geringem Gewicht in die Mittelwertbildung ein. Diese Methode bietet sich besonders bei kleiner Datenbasis an.

Die Aufwandswerterhöhung $\Delta AW_{ERH,TMP}$ [%], berechnet aus den M-Schätzern der Expertenangaben, wird nach Glg. (10-48) durch Einsetzen der Temperatur TMP [°C] ermittelt und gilt für: -14 °C ≤ TMP ≤ 17,5 °C und 18,5 °C ≤ TMP ≤ 38 °C.[104)]

$$\Delta AW_{ERH,TMP} = 0,000466 \cdot TMP^3 + 0,048878 \cdot TMP^2 - 2,011685 \cdot TMP + 17,597270 \tag{10-48}$$

[102)] Vgl. Hofstadler (2014a), S. 35

[103)] Vgl. ebd., S. 231ff.

[104)] Vgl. ebd., S. 434f.

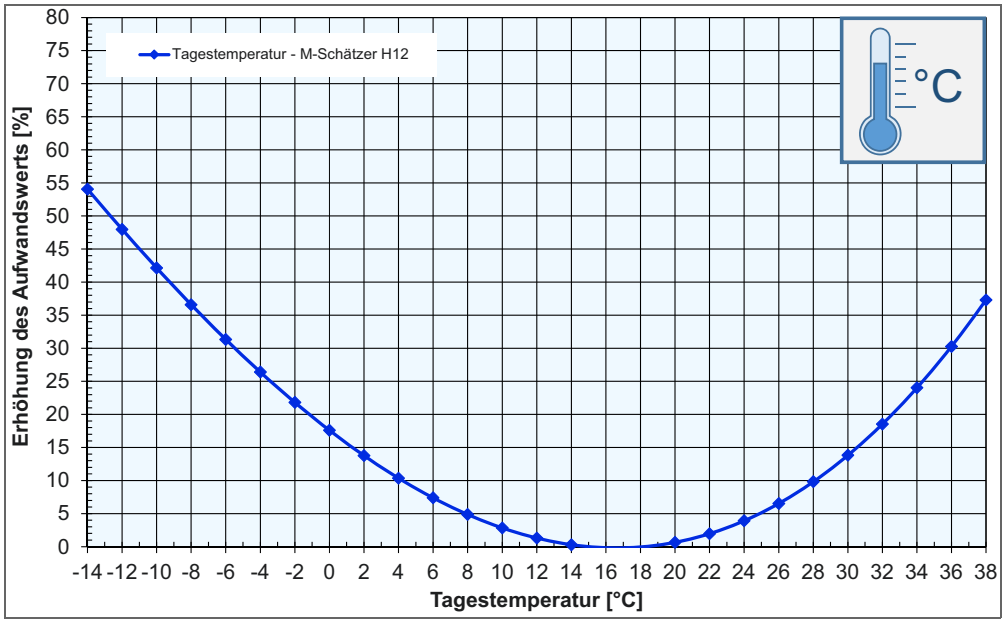


Abb. 10-175 Darstellung der Aufwandswerterhöhungen in Abhängigkeit der mittleren Tagestemperatur – Stahlbetonarbeiten[105)]

10.4.11.2 Aufgabenstellung

Nachfolgend wird ein Berechnungsbeispiel mit probabilistischen Eingangswerten gezeigt, in dem Produktivitätsverluste bzw. Aufwandswerterhöhungen infolge nicht optimaler mittlerer Tagestemperatur berücksichtigt werden.

Das Beispiel bezieht sich auf das Musiktheater in Linz, wobei lediglich die Stahlbetonarbeiten betrachtet werden. Annahmen zum Gesamt-Aufwandswert und zur vorgegebenen Bauzeit stammen von den Autoren (siehe Tab. 10-63).[106)]

Lfd. Nr.	Inputparameter	Wert
0	A	B
1	Betonmenge	38.275,00 m³
2	Grundaufwandswert	6,00 Std/m³
3	Bauzeit - Stahlbetonarbeiten	400,00 d

Tab. 10-63 Deterministische Inputparameter

Die Untersuchung beschäftigt sich mit den Auswirkungen die ein variierender Baubeginn in unterschiedlichen Monaten auf den Gesamt-Aufwandswert bzw. in weiterer Folge auf die Lohnstundensumme und das Chancen-Risikoverhältnis hat. Dazu werden der Berechnung historische Temperaturdaten zugrunde gelegt. Diese Daten (Datenbasis 1971-2000) für die Stadt Linz stammen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geody-

[105)] Vgl. Hofstadler (2014a), S. 434

[106)] Vgl. Kummer/Hofstadler (2015), S. 851ff.

namik (ZAMG) und sind online frei zugänglich.[107)] Abb. 10-176 zeigt den Verlauf der mittleren Tagestemperatur je Monat, das Mittel der täglichen Minima und Maxima sowie die absoluten Minima und Maxima.

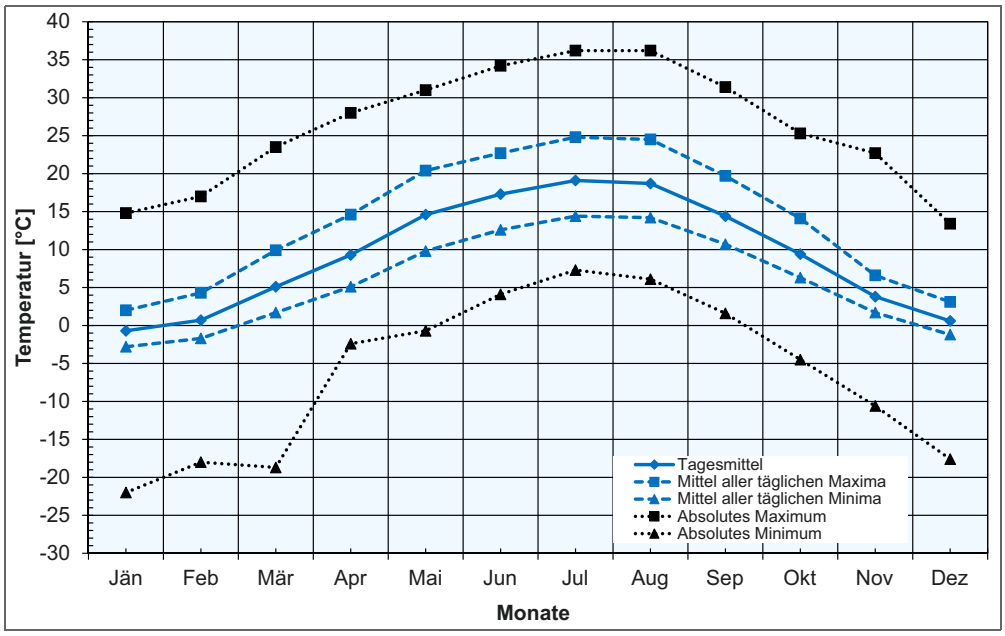


Abb. 10-176 Temperaturverlauf für die Messstation Linz-Stadt

10.4.11.3 Modellierung

Bei der probabilistischen Berechnung werden für den Temperaturverlauf Normalverteilungen angesetzt, wobei das Tagesmittel je Monat (siehe Abb. 10-176) jeweils den Mittelwert bildet. Die mittlere Abweichung zwischen dem Tagesmittel und dem Mittel der täglichen Minima und Maxima wird vereinfacht als Standardabweichung herangezogen. Liegen alle Temperaturmessdaten innerhalb einer Periode vor, können diese Daten direkt für die Berechnungen herangezogen bzw. Datenfittings durchgeführt werden.

Abb. 10-177 zeigt die unterschiedlichen Auswirkungen der Tagestemperatur auf die Aufwandswerterhöhung. Während im Jänner bei niedrigen Temperaturen größere Aufwandswerterhöhungen aufgrund der Unterschreitung des optimalen Temperaturbereichs zu erwarten sind, ist die Bandbreite der erwarteten Temperaturen im Juli günstiger für die Arbeitsproduktivität. Die Aufwandswerterhöhungen fallen daher im Juli geringer aus.

[107)] Siehe http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm. Datum des Zugriffs: 20.08.2016

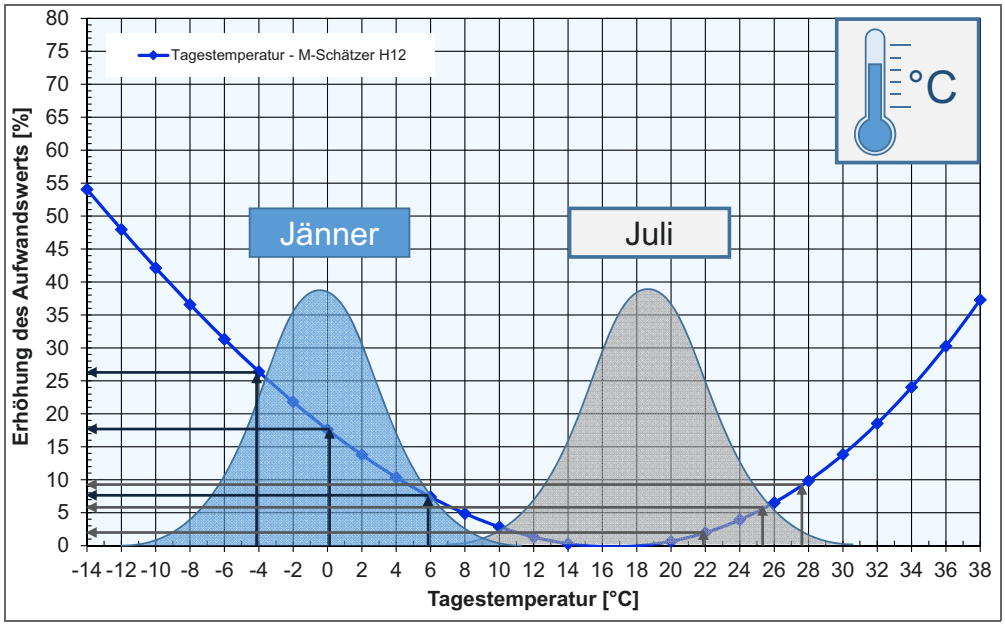


Abb. 10-177 Aufwandswerterhöhungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Tagestemperaturen

Um die Auswirkungen eines unterschiedlichen Baubeginns darstellen zu können, werden insgesamt zwölf Simulationen (Baubeginn im Jänner, Baubeginn im Februar, Baubeginn im März etc.) durchgeführt. In Abb. 10-178 sind die konstanten Bauzeiten (400 d) bei unterschiedlichem Baubeginn als Balken dargestellt. Jeder der Balken steht dabei für eine der zwölf durchgeführten Simulationen. Es wird vereinfacht angenommen, dass jeder Monat im Durchschnitt 4,33 Wochen mit jeweils fünf Arbeitstagen aufweist (= 21,65 d/Mo).[108)]

Abb. 10-179 zeigt den schematischen Ablauf der Berechnungen. Ausgehend von den historischen Temperaturdaten werden Normalverteilungen für die mittlere Temperatur je Monat modelliert.

Diese unterschiedlichen Temperaturverläufe haben jeweils Einfluss auf die Aufwandswerterhöhung je Monat. In Monaten in denen besonders niedrige oder besonders hohe Temperaturen zu erwarten sind, ist der Einfluss auf den Aufwandswert höher als in Monaten, in denen annähernd optimale Temperaturen erwartet werden. Wird der Baubeginn in jeder der 12 durchgeführten Simulationen variiert, kann es in Abhängigkeit der Bauzeit dazu kommen, dass mehrere Perioden mit ungünstigen Temperaturen durchlaufen werden. Dies führt insgesamt zu einer größeren Aufwandswerterhöhung.

108) Eine verfeinerte Modellierung inkl. Feiertagen, Betriebsurlauben etc. wäre möglich, erfordert aber einen deutlich größeren Modellierungsaufwand.

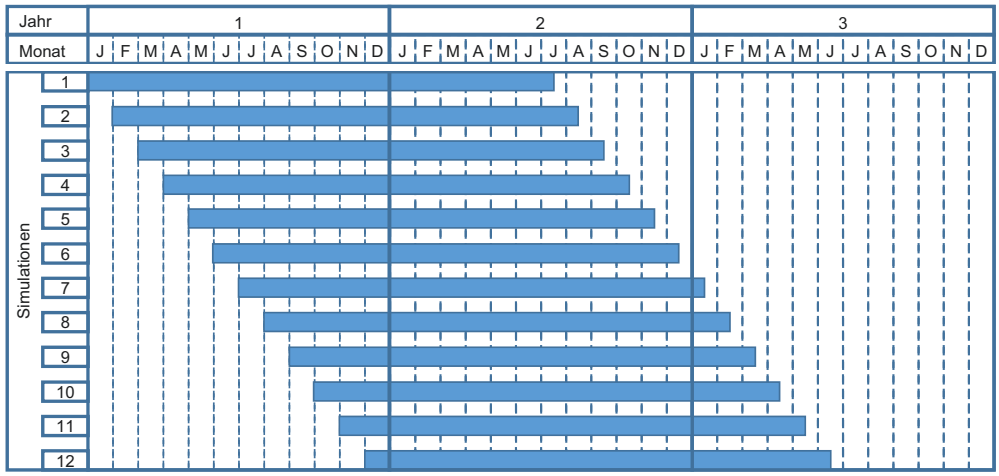


Abb. 10-178 Erstreckung der Bauzeit über die Monate bei unterschiedlichem Baubeginn

Die prozentuellen Aufwandswerterhöhungen werden dabei nach Glg. (10-48) für jeden Monat berechnet. Aus den Aufwandswerterhöhungen je Monat lassen sich in Abhängigkeit der vorgegebenen Bauzeit (deterministischer Wert) die mittleren Aufwandswerterhöhungen je Simulation ermitteln.

Insgesamt beträgt die Bauzeit ca. 18,48 Mo [= 400 d / (4,33 Wo/Mo * 5 d/Wo)]. Erstreckt sich die Bauzeit über den gesamten betrachteten Monat, fließt die gesamte prozentuelle Aufwandswerterhöhung des Monats in die weitere Berechnung ein. Der letzte Monat wird nicht mehr voll sondern nur zu ca. 47,5 % {= [400 d / (4,33 Wo/Mo * 5 d/Wo) - 18 Mo] * 100 %} bei der Ermittlung der mittleren Aufwandswerterhöhung berücksichtigt. Daher fließt die berechnete Aufwandswerterhöhung für den jeweils letzten Monat auch nur mit diesem Prozentsatz in die weitere Berechnung ein.

Diese mittlere Erhöhung wird je Simulation auf den Grund-Aufwandswert (ohne Produktivitätsverluste) aufgeschlagen. Der sich daraus ergebende erhöhte Aufwandswert wird in weiterer Folge für jede der durchgeführten Simulationen mit der herzustellenden Betonmenge (deterministischer Wert) multipliziert und ergibt die Lohnstundensumme in Abhängigkeit vom jeweiligen Baubeginn.

Die zwölf Histogramme für die unterschiedlichen Lohnstundensummen werden für eine leichtere Interpretation der Ergebnisse mit ausgewählten statistischen Kennwerten (Mittelwert, Quantilwerte etc.) in einem Diagramm dargestellt, um zu erheben, welcher Monat für den Baubeginn gewählt werden muss, um die Arbeiten mit der geringsten Lohnstundensumme erbringen zu können.

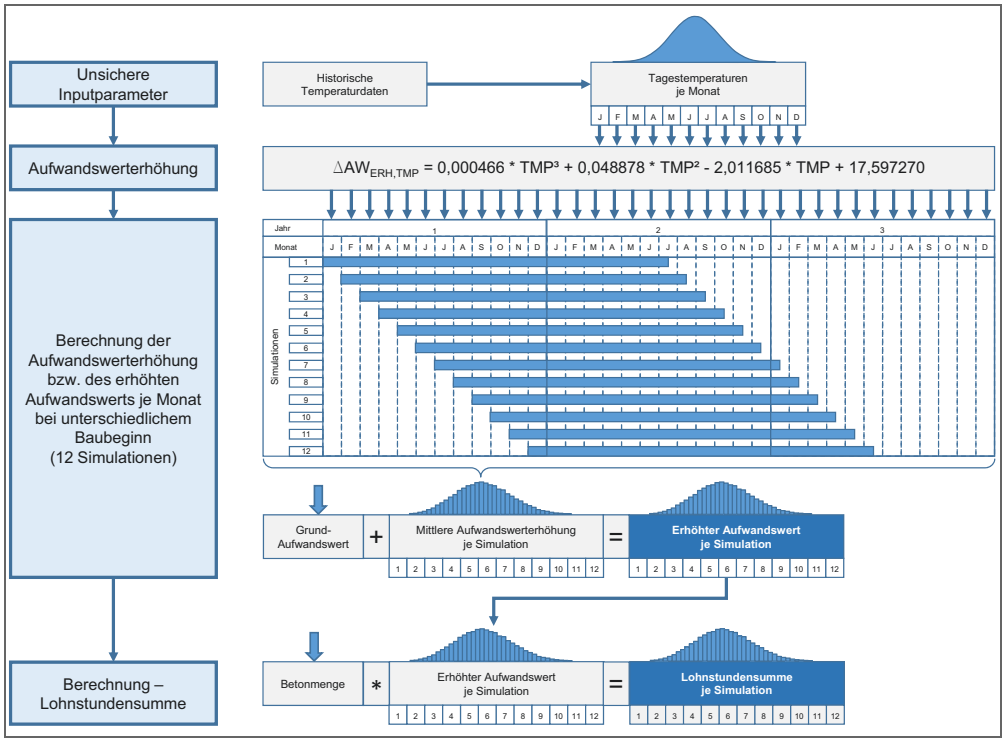


Abb. 10-179 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs

10.4.11.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Für die probabilistische Berechnung wurden für jeden Monat Normalverteilungen für die Temperatur angesetzt und die mittleren erhöhten Aufwandswerte der Stahlbetonarbeiten berechnet. Multipliziert mit der Betonmenge errechnen sich die Lohnstundensummen als Histogramme in Abhängigkeit des Monats in dem der Baubeginn erfolgt. In Abb. 10-180 sind jeweils die einfache Standardabweichung um den Mittelwert sowie das 5%- und 95%-Quantil als Kurven eingetragen. Zusätzlich ist auch das Histogramm für die Lohnstundensumme bei einem Baubeginn im April dargestellt. Das 5 %-Quantil beträgt dabei 239.384 Std und das 95 %-Quantil 247.832 Std.

Die geringste Lohnstundensumme wird demnach bei einem Baubeginn im April und die höchste bei einem Beginn im Oktober erwartet. Die Differenz der Lohnstundensummen bezogen auf die Mittelwerte beträgt dabei ca. 7.841 Std (= 251.058 Std - 243.217 Std). Bei einem Mittellohnpreis von 40,00 €/Std entspricht dies einer Preisdifferenz von 313.640,00 € (= 7.841 Std * 40,00 €/Std).

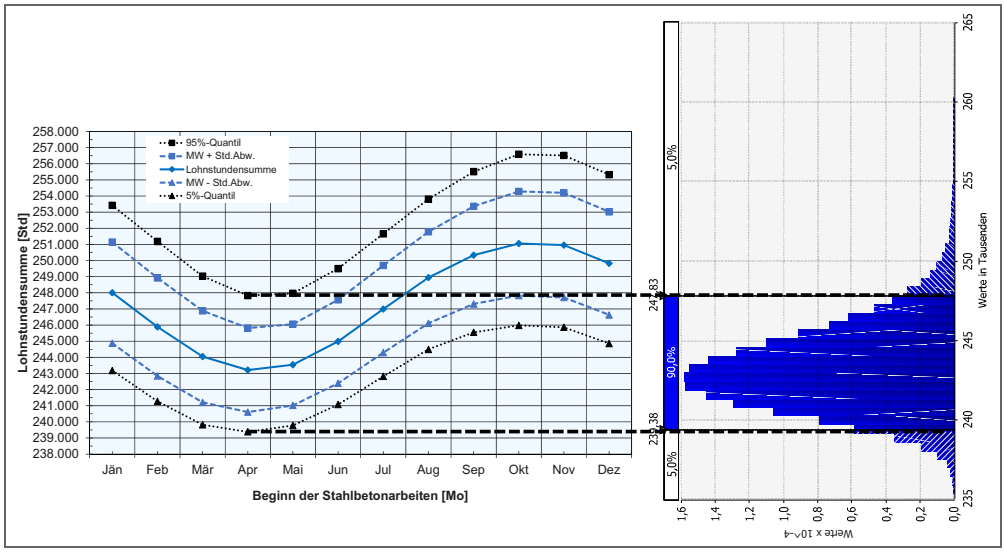


Abb. 10-180 Lohnstundensumme in Abhängigkeit des Baubeginns

Ausgehend von einer Lohnstundensumme in der Höhe von 245.000 Std ändert sich auch das Chancen-Risikoverhältnis in Abhängigkeit des Baubeginns. In Abb. 10-181 sind die Chancen-Risikoverhältnisse für ausgewählte Monate als Baubeginn dargestellt. Es zeigen sich deutliche Unterschiede, in den Chancen und Risiken, die ein Unternehmen je nach Baubeginn eingehen würde, wenn es seiner Kalkulation für die Stahlbetonarbeiten eine Lohnstundensumme von 245.000 Std zugrunde legt. Während bei einem Baubeginn im April die Chance einer Unterschreitung bei ca. 77 % liegt, schrumpft diese Chance bei einem späteren Baubeginn – z.B. im Oktober – auf lediglich 2 %.

Ist der AN von einem Baubeginn im April ausgegangen und kann aufgrund von Verzögerungen erst im Oktober mit den Arbeiten begonnen werden, geht damit eine wesentliche Veränderung des Chancen-Risikoverhältnisses für den AN einher, sofern die entsprechenden Ansätze der Kalkulation nicht an die geänderten Umstände der Leistungserbringung angepasst werden.

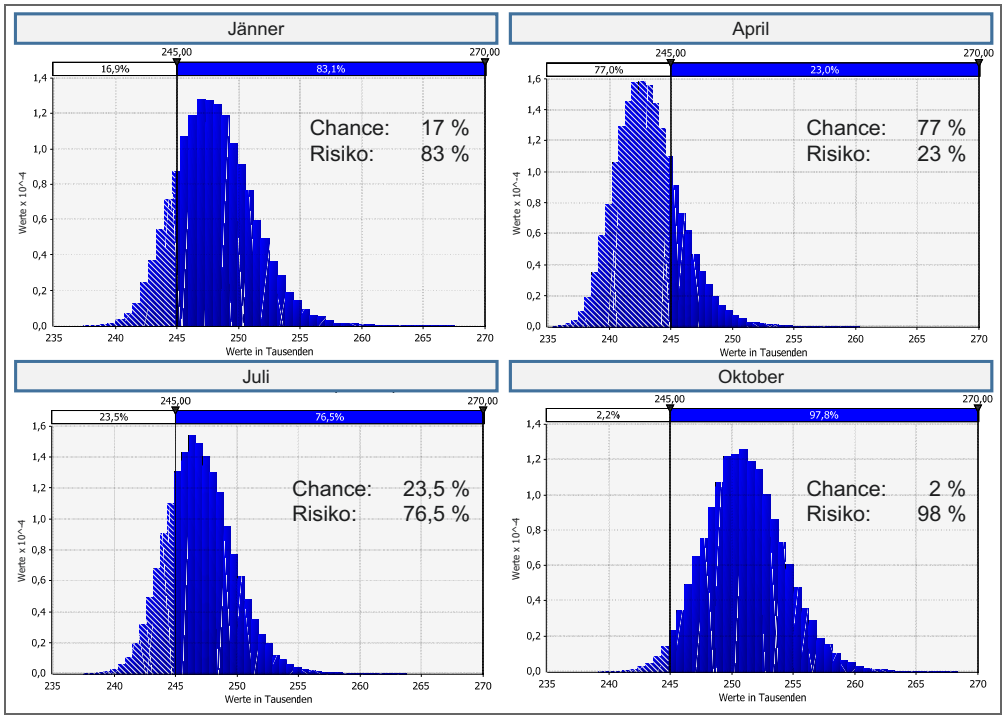


Abb. 10-181 Chancen-Risikoverhältnisse für die Lohnstundensumme in Abhängigkeit des Baubeginns

10.4.11.5 Nutzen für den AN

Eine Abweichung von der optimalen mittleren Tagestemperatur führt zu Produktivitätsverlusten bzw. Aufwandswerterhöhungen. Mit dem gezeigten Verfahren und dem funktionalen Zusammenhang aus der Expertenbefragung können die Einflüsse der Temperatur auf die Leistungsfähigkeit von Arbeitskräften in Berechnungen berücksichtigt werden.

Durch die Einbeziehung historischer Temperaturdaten sind die Einflüsse der Außentemperatur auf die Lohnstundensumme analysierbar und mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen können Unsicherheiten in den Ansätzen systematisch berücksichtigt werden. Histogramme helfen dabei, die Chancen und Risiken von veranschlagten Lohnstundensummen zu beurteilen und Auswirkungen von Verschiebungen des Baubeginns transparent darzustellen und zu kommunizieren. Entscheidungen können auf Basis eines gewählten Chancen-Risikoverhältnisses getroffen bzw. der Bedarf an Forcierungsmaßnahmen frühzeitig erkannt werden.

10.4.12 Mehrkostenermittlung

Im Zuge einer konstruktiven Ausschreibung stellt die Leistungsbeschreibung für den Bieter und späteren AN die wichtigste Grundlage für seine Kalkulation und Preisbildung sowie für die Arbeitsvorbereitung und Bauablaufplanung dar. Darin müssen alle Umstände der Leistungserbringung vom AG so beschrieben sein, dass der Bieter nach dem objektiven Erklärungswert der Unterlagen sein Angebot erstellen kann. Die

Beschreibung der Leistungen fällt in die Sphäre des AG. Unter ‚Sphäre' wird in Österreich in den ÖNORMEN B 2110 und B 2118 ein „vertraglich oder gesetzlich bestimmter Risikobereich des jeweiligen Vertragspartners" verstanden. Vermischt der AG mehrere Leistungen für unterschiedliche Bauteile, Gewerke, Bodenarten, Stabstahldurchmesser, Biegeformen etc. in einer Position und werden die Kalkulationsgrundlagen dieser Mischpositionen nicht offengelegt, ist der Bieter gezwungen, freie Kalkulationsannahmen zu treffen, um seine Kalkulation überhaupt durchführen zu können.

Ändert sich das Mischungsverhältnis innerhalb der in einer Position ausgeschriebenen Leistung gegenüber den kalkulatorischen Annahmen des Bieters, führt dies zu einem geänderten Preisgefüge und es kann zu Mehr- oder Minderkosten gegenüber dem Angebotspreis kommen.

Das angeführte Beispiel zur Ermittlung der Mehrkosten ist der PPH 4 zuzuordnen (siehe Abb. 10-182) und baut inhaltlich auf das Beispiel aus Abschnitt 10.3.1 auf.

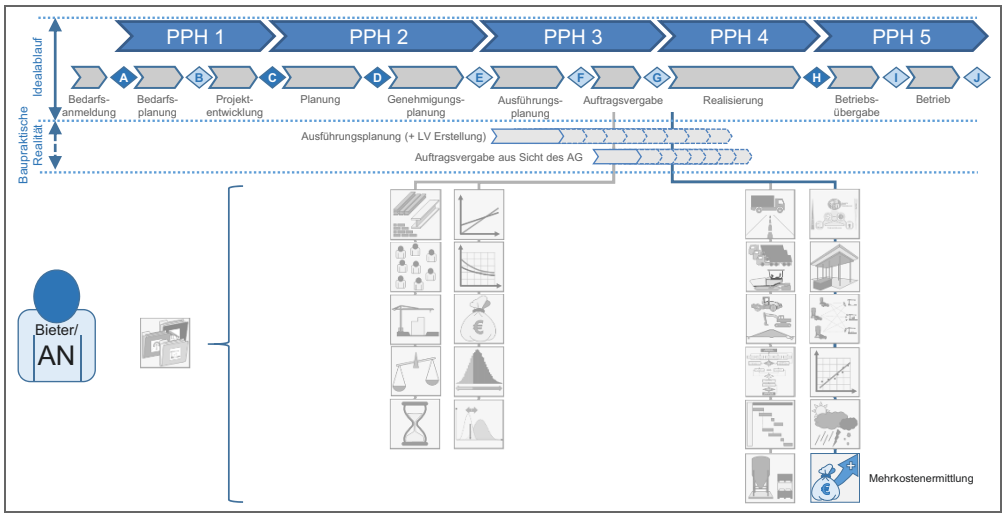


Abb. 10-182 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.4.12.1 Aufgabenstellung

Die konstruktive Leistungsbeschreibung stellt das wesentliche Dokument für die Kalkulation und Preisbildung des Bieters bzw. späteren AN dar. Bezogen auf das gegenständliche Beispiel zum veränderten Mengengefüge der Mischpreisposition für Stabstahl bedeutet dies, dass die Angaben danach einzuschätzen bzw. auszulegen sind, wie diese Erklärungen bei objektiver Beurteilung der Sachlage vom Bieter zu verstehen waren. Demnach darf ein Bieter bzw. Kalkulant auf die ihm zur Verfügung gestellten Unterlagen vertrauen. Er wird diese samt den bekanntgegebenen und den zu erwartenden Umständen der Leistungserbringung in seine Kalkulation und Preisbildung einfließen lassen. Insofern kommt diesen Unterlagen enorme Bedeutung zu.

Entscheidend ist dabei der objektive Erklärungswert der Ausschreibungsunterlagen. Es kommt nicht darauf an, was der Erklärende sagen wollte oder was der Erklärungsempfänger darunter verstanden hat, sondern darauf, wie die Erklärung bei objektiver Beurteilung der Sachlage zu verstehen ist.

Will der AG z.B. das Ergebnis vermeiden, dass der Bieter selbst einen mittleren Stabdurchmesser ermittelt und als Kalkulationsgrundlage heranzieht, muss er einen mittleren Stabdurchmesser vorgeben. Das Gleiche gilt für die Biegeformverteilung sowie für die Bewehrungsgrade der einzelnen Bauteile.

Im Beispiel (als Fortführung aus Abschnitt 10.3.1) musste der Bieter und spätere AN eigene Annahmen für die Kaliber- und Biegeformverteilung treffen. Er orientierte sich dabei an den Empfehlungen des VÖBV. In der Bauausführung hat sich die Kaliber- und Biegeformverteilung gegenüber den Annahmen des AN verändert. Mit dieser Änderung, die aus der Sphäre des AG stammt (statisches Konzept und Bewehrungsplanung wurden durch Vertreter des AG erstellt), ändert sich auch das Preisgefüge des AN. Die Änderung in den Mengenanteilen führt auch zu einer Änderung der Umstände der Leistungserbringung und damit zu Mehrkosten, die der AN vom AG vergütet haben möchte.

10.4.12.2 Modellierung

Das Angebot des AN weist für die Leistungsposition der Bewehrungsarbeiten (Stabstahl) einen Lohnanteil von 416,54 €/t auf (siehe Pfeil in Abb. 10-183). Dieser deterministische Wert ist zunächst mit keinem Chancen-Risikoverhältnis verbunden. Zur Bewertung der Mehrkostenforderung ist zu ermitteln, welches Chancen-Risikoverhältnis der AN mit seinem Angebot überhaupt eingegangen ist. Dazu wird auf die probabilistische Berechnung aus Abschnitt 10.3.1 zurückgegriffen. Das Histogramm für die Berechnung des Mischpreises für den Anteil Lohn ist ebenfalls in Abb. 10-183 eingezeichnet. Diese Berechnung baut auf einer vom AN gewählten Kaliber- und Biegeformverteilung sowie auf den Angaben zu Aufwandswerten des VÖBV auf.

Der Bieter entschied sich im Zuge seiner Preisbildung demnach ein höheres Risiko für die Bewehrungsarbeiten einzugehen und rückte mit seinem Ansatz für den Anteil Lohn [€/t] eine Standardabweichung vom Mittelwert ab (entspricht 416,54 €/t – siehe Abb. 10-183). Der AN ist damit ein Chancen-Risikoverhältnis von ca. 16 % zu 84 % eingegangen.

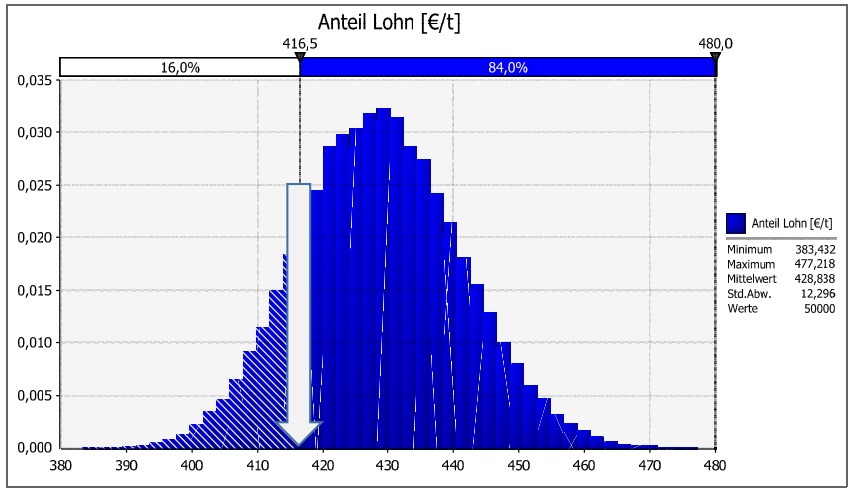


Abb. 10-183 Histogramm für den Anteil Lohn – Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses für das Angebot

In der Ausführung haben sich die Mengenanteile grundlegend gegenüber den plausibel getroffenen Annahmen in der Angebotserstellung verändert. Es gelangten mehr kleine Stabdurchmesser zur Ausführung und auch bei der Biegeformverteilung nahmen die Anteile der einfach und kompliziert gebogenen Stäbe zu.

Für die Modellbildung der geänderten Preisbasis werden die Kaliber- und Biegeformverteilungen als deterministische Werte angesetzt, da diese aus den Lieferscheinen im Zuge der Ausführung ohne Unsicherheiten in die Berechnungen einbezogen werden können.

Die Ist-Mengenanteile für die Kaliberverteilung sind in Tab. 10-64 und jene für die Biegeformverteilung in Tab. 10-65 dargestellt.

IST – Menegenverteilung		
Lfd. Nr.	Kaliber	Mengenanteil
	[mm]	[%]
0	A	B
1	8	0,50
2	10	3,00
3	12	15,00
4	14	20,00
5	16	30,00
6	20	20,00
7	26	10,00
8	30	1,00
9	36	0,50
10	40	0,00
11	**Summe**	**100,000**

Tab. 10-64 Kaliberverteilung – Ist

IST – Menegenverteilung		
Lfd. Nr.	Biegeform	Mengenanteil
	[-]	[%]
0	A	B
1	gerade	33,89
2	einfach	44,20
3	kompliziert	21,91
4	**Summe**	**100,00**

Tab. 10-65 Biegeformverteilung – Ist

Die Aufwandswerte sind auch in der Ist-Berechnung mit Unsicherheiten behaftet und werden wie in Abschnitt 10.3.1 als LogLogistic-ähnliche Verteilungen je Kaliber und Biegeform angesetzt.

In Abb. 10-184 ist der schematische Ablauf für die Berechnung des neuen Mischaufwandswerts sowie der damit verbundenen neuen Preisbasis dargestellt. Die Mengen- und Biegeformanteile werden ebenso wie der Mittellohnpreis als deterministische Werte in das Modell integriert. Die Aufwandswerte je Stabdurchmesser und Biegeform werden als LogLogistic-ähnliche Verteilungen (wie in Abschnitt 10.3.1) modelliert. Der Berechnungsablauf bleibt ansonsten gegenüber dem gezeigten Ablauf in Abb. 10-4 (siehe Seite 457) unverändert.

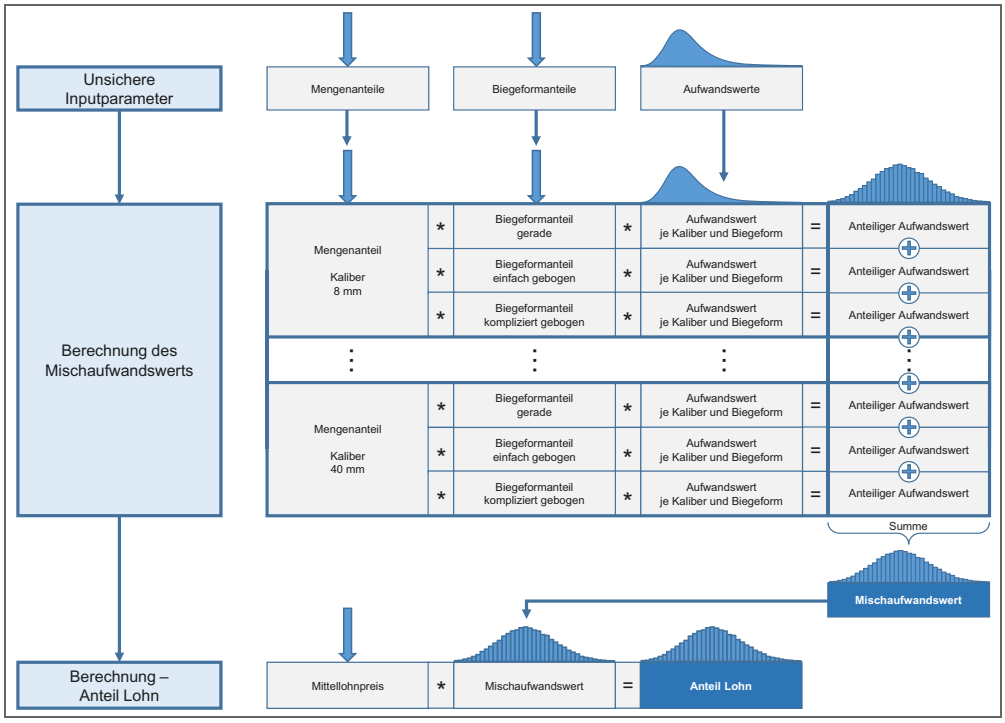


Abb. 10-184 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs

10.4.12.3 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Für die Ermittlung der neuen Preisbasis des Anteils Lohn ist zunächst der neue Mischaufwandswert der geänderten Kaliber- und Biegeformverteilung zu berechnen. Dazu werden die (deterministischen) Ist-Mengenanteile je Kaliber und Biegeform mit den Verteilungen für die Aufwandswerte multipliziert. Für das Ist sind demnach nur noch die Aufwandswerte (LogLogistic-ähnliche Verteilungen) mit Unsicherheiten behaftet. Aus der Multiplikation ergeben sich in weiterer Folge 30 Histogramme für die anteiligen Ist-Aufwandswerte (drei Biegeformverteilungen * zehn Kaliber).

Für jede der drei Biegeformen (gerade, einfach gebogen und kompliziert gebogen) der unterschiedlichen Durchmesser (8 bis 40 mm) werden die anteiligen Aufwandswerte als Histogramm errechnet. Diese sind in Tab. 10-66 in den Spalten B bis D (Zeilen 1 bis 10) hinterlegt. In der Spalte E werden in weiterer Folge die anteiligen Ist-Aufwandswerte je Kaliber und schließlich in der Zelle E11 der Ist-Mischaufwandswert als Histogramm ermittelt.

Lfd. Nr.	Kaliber	Mischaufwandswert				Mittellohn-preis	Anteil Lohn
		Biegeform					
		gerade	einfach gebogen	kompliziert gebogen	Anteiliger Aufwandswert		
	[mm]	[Std/t]	[Std/t]	[Std/t]	[Std/t]	[€/Std]	[€/t]
0	A	B	C	D	E	F	G
1	8	0,03	0,08	0,06	0,17		
2	10	0,13	0,35	0,30	0,77		
3	12	0,48	1,25	1,08	2,81		
4	14	0,51	1,30	1,03	2,83		
5	16	0,63	1,46	1,21	3,30		
6	20	0,29	0,68	0,57	1,54		
7	26	0,12	0,28	0,25	0,66		
8	30	0,01	0,03	0,02	0,06		
9	36	0,01	0,01	0,01	0,03		
10	40	0,00	0,00	0,00	0,00		
11	**Summe**				**12,18**	**40,00**	**487,03**

Tab. 10-66 Ermittlung des Ist-Mischaufwandswerts

Der Ist-Aufwandswert liegt aufgrund des geänderten Mischungsverhältnisses der Mengenanteile für die Kaliber und Biegeformen über dem Mischaufwandswert der Angebotskalkulation. Ein Vergleich der beiden Histogramme zeigt einerseits die unterschiedlichen Bandbreiten, andererseits die verschiedenen Wertebereiche (siehe Abb. 10-185).

Dadurch, dass im Ist-Zustand die Unsicherheiten für die Kaliber- und Biegeformverteilung beseitigt sind und deterministische Werte angesetzt werden können, ergibt sich für den Ist-Mischaufwandswert eine engere Bandbreite der Ergebnisse. Aufgrund der geänderten Mengenverteilungen liegt das Histogramm aus dem Ist außerdem in einem anderen Wertebereich. Aufgrund der größeren Menge an kleineren Stabdurchmessern und einem höheren Anteil an gebogenen Stäben, hat sich der Mischaufwandswert insgesamt erhöht.

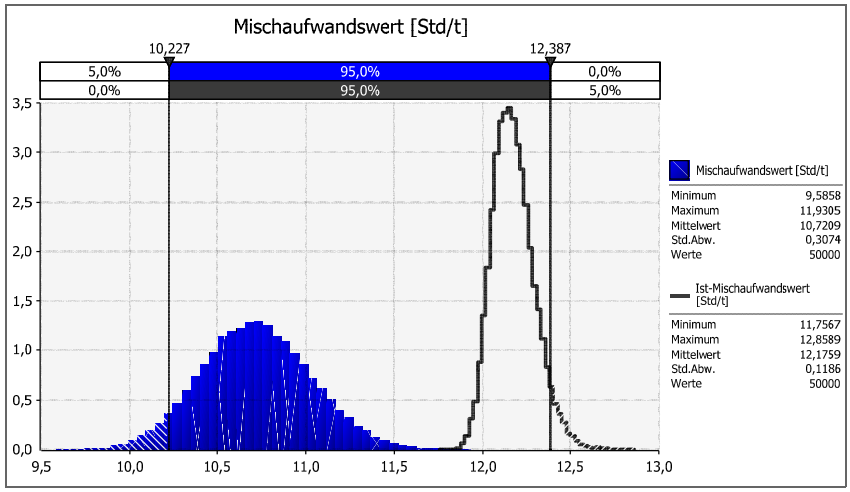


Abb. 10-185 Vergleich – Histogramme der Mischaufwandswerte

Zur Berechnung des Anteils Lohn im Ist wird der Mischaufwandswert mit dem Mittellohnpreis aus der ursprünglichen Kalkulation (40 €/Std) multipliziert. Auch für den Anteil Lohn können die beiden Histogramme einander vergleichend gegenübergestellt werden (siehe Abb. 10-186). Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den Mischaufwandswerten. Dies begründet sich dadurch, dass beide Histogramme der Mischaufwandswerte jeweils nur mit einem deterministischen Wert (40 €/Std) multipliziert wurden. Es fließen keine weiteren Unsicherheiten in die Simulation mit ein.

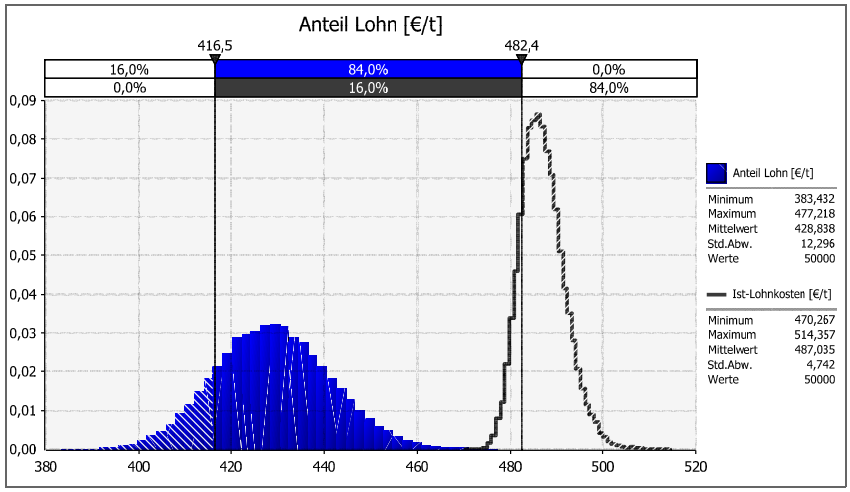


Abb. 10-186 Vergleich – Histogramme des Anteils Lohn

In Abb. 10-186 sind die Gleitbegrenzer am oberen Bildrand jeweils so eingestellt, dass sich für beide Histogramme das gleiche Chancen-Risikoverhältnis ergibt. Der AN ist mit seinem Angebot ein relativ hohes Risiko (ca. 84 %) eingegangen. Dieses Chancen-Risikoverhältnis ist auch im Sinne der Werthaltigkeit für die Mehrkostenermittlung zu berücksichtigen.

Demnach wäre ein Lohnanteil im Ist in der Höhe von 482,40 €/t als werthaltig anzusehen. Dies entspricht einer Erhöhung gegenüber dem Angebot von 65,86 €/t (= 482,40 €/t - 416,54 €/t). Bezogen auf die ausgeschriebene Bewehrungsmenge von 3.500 t entspricht dies Mehrkosten in der Höhe von 230.510 € (= 65,86 €/t * 3.500 t).

Unberücksichtigt blieben bei dieser Berechnung die Einflüsse der geänderten Kaliber- und Biegeformverteilung auf die Geräte- und Materialkosten und auf den Aufwand für das Schneiden und Biegen. Etwaige sonstige aufgetretene Produktivitätsverluste in Folge der geänderten Bewehrungsführung blieben ebenfalls unberücksichtigt.

10.4.12.4 Nutzen für den AN

Bei der Ermittlung von Mehrkosten steht der AN immer vor der Herausforderung, die geänderten Umstände der Leistungserbringung bzw. der Störungen aus der Sphäre des AG so darzustellen und aufzubereiten, dass eine Prüfung durch den AG schnell und mit möglichst geringem Aufwand möglich ist. Die Argumentation muss dabei stringent und nachvollziehbar dargestellt werden, um die Chancen einer Zuerkennung der Mehrkosten durch den AG zu erhöhen.

Zur Erstellung und Begründung einer Mehrkostenforderung ist auch immer eine nähere Betrachtung des Bau-Solls (bzw. der Angebotskalkulation) erforderlich. Dabei gilt es zu prüfen, ob die Kalkulationsannahmen sachgerecht und angemessen waren. Wie die Unsicherheiten in der Phase der Kalkulation in die Berechnungen integriert werden können und wie die Prüfung der Angemessenheit und Plausibilität von Angebotspreisen erfolgen kann, ist den Abschnitten 10.3.1 und 9.3.3 zu entnehmen.

Durch den Vergleich der beiden Histogramme für den Mischaufwandswert bzw. den Anteil Lohn sowie die Offenlegung der Kalkulationsgrundlagen kann sowohl die Entscheidungsfindung für den Angebotspreis als auch die Fortschreibung des Vertrags unter Beibehaltung des gewählten Chancen-Risikoverhältnisses für die Mehrkostenforderung schlüssig dargelegt werden.

Die Darstellung und Vermittlung der vorhandenen Unsicherheiten im Soll und Ist erhöht in jedem Fall die Transparenz von Mehrkostenforderungen und trägt zur Verbesserung der Kommunikation zwischen den Vertragsparteien bei. Zusätzlich zeigen die Ergebnisse der probabilistischen Berechnungen die möglichen Bandbreiten und Verhandlungsspielräume, die sich aufgrund der Unsicherheiten in den Betrachtungen ergeben, auf.

10.5 Projektphase PPH 5

Für diese Projektphase sind in der vorliegenden Fassung keine Beispiele angeführt. Denkbar wären allerdings Anwendungen der Monte-Carlo-Simulation sowohl im operativen als auch im strategischen Facility Management. Für die Vermietung und den Betrieb von Immobilien können Mietausfälle und deren Auswirkungen auf die Rentabilität eines Objekts mit den verbundenen Unsicherheiten beurteilt werden.

10.6 Übergeordnetes Projektportfoliomanagement

Das Projektportfolio ist keiner PPH direkt zuzuordnen, sondern als übergeordnetes Managementwerkzeug auf Unternehmensebene aufzufassen (siehe Abb. 10-187). Es werden dabei mehrere unterschiedliche Projekte in einer Sammlung (Projektportfolio) gemeinsam betrachtet.

Ziel ist es einen Überblick über das Chancen-Risikoverhältnis des gesamten Portfolios zu erlangen und umgekehrt auch den Einfluss einzelner Projekte auf das Portfolio darzustellen und zu bewerten.

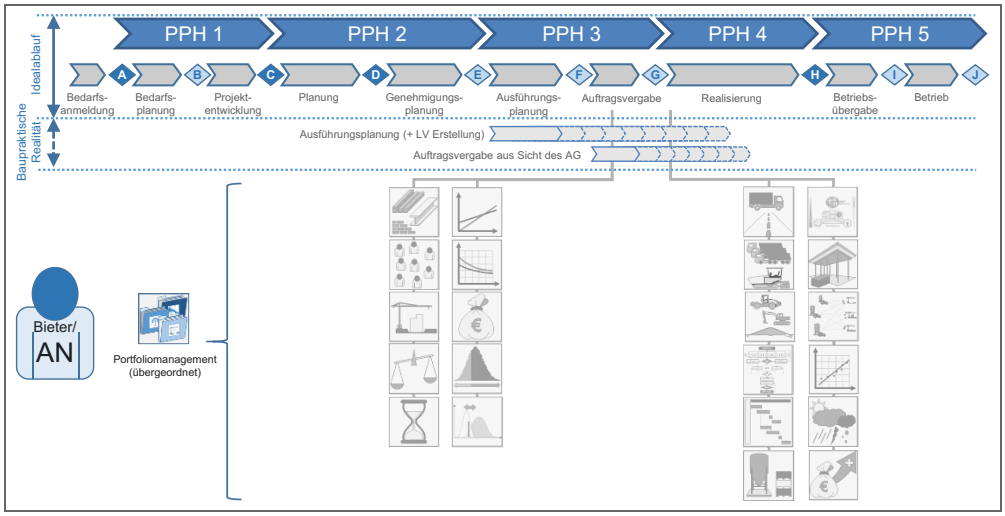


Abb. 10-187 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf

10.6.1 Grundlagen

Der Begriff der ‚Resilienz' bezeichnet in den Ingenieurwissenschaften die Fähigkeit von technischen Systemen, bei einem Teilausfall nicht vollständig zu versagen. Im Sinne dessen stellt jedes große Projekt, welches für ein einzelnes Unternehmen oder für eine ARGE nicht durch andere Projekte finanziell abgefedert werden kann, ein Risiko hinsichtlich der Resilienz dar.

Kommt es zu großen Verlusten im Zuge eines Großauftrags, kann das Fortbestehen des Unternehmens gefährdet werden.

Um die Resilienz eines Unternehmens bzw. einer Abteilung im Hinblick auf laufende und mögliche zukünftige Projekte zu untersuchen, werden Elemente des Projektportfoliomanagements angewendet. Als (Projekt-)Portfolio ist in diesem Zusammenhang eine Menge von Projekten zu verstehen, die gemeinsam koordiniert wird, um dem Unternehmen bzw. der Abteilung einen größeren Nutzen zu stiften, als bei einer unabhängigen Einzelbetrachtung der Projekte. Es werden dabei Projekte gebündelt, die einem bestimmten Teil der Organisation zugeordnet werden können und vergleichbar sind.

Das Projektportfoliomanagement[109)] fokussiert sich auf Projekte einer Führungseinheit und führt eine permanente Planung, Priorisierung, übergreifende Steuerung und Überwachung dieser durch. Zu den wesentlichen Aufgaben zählen dabei u.a.:

- Beurteilung von zukünftigen Projekten
- Laufende Überwachung von Projekten
- Wahrnehmung projektübergreifender Informations- und Wissensmanagementaufgaben

Das Projektportfoliomanagement ist im Gegensatz zu Einzelprojekten nicht mit dem Abschluss des Projekts beendet. Es handelt sich dabei vielmehr um eine permanente Führungsaufgabe, die zyklisch zu wiederholen ist.

[109)] Auch als strategisches Multiprojektmanagement bezeichnet.

10.6.2 Aufgabenstellung

Abb. 10-188 zeigt schematisch die Struktur eines Unternehmens (bzw. eines (Bau-)Konzerns). Das Unternehmen gliedert sich dabei in unterschiedliche Abteilungen, die jeweils mit Projekten unterschiedlicher Größe (Projektvolumen) und mit unterschiedlichem Projektfortschritt betraut sind. Liegt für jedes dieser Projekte eine probabilistische Kostenberechnung vor oder kann zumindest das Chancen-Risikoverhältnis, welches für die einzelnen Projekte mit dem Angebotspreis eingegangen wurde, angegeben werden, lässt sich zunächst das Chancen-Risikoverhältnis des bestehenden Projektportfolios ermitteln.

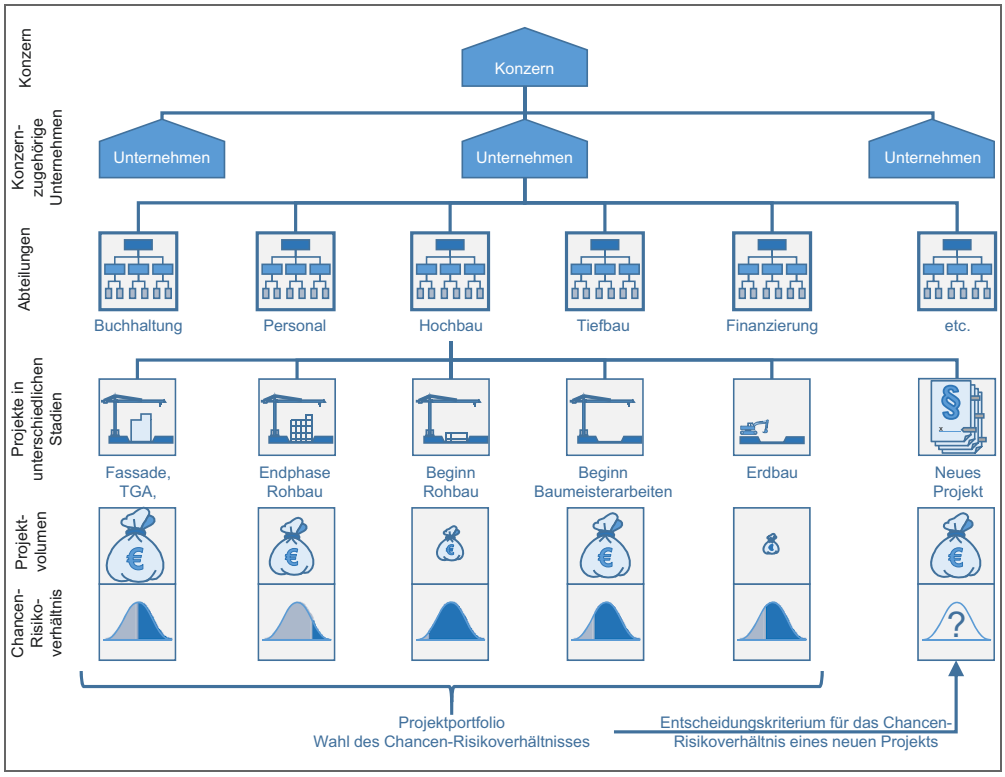


Abb. 10-188 Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses für neue Projekte

In weiterer Folge ist es dann für neue Projekte möglich, die probabilistische Kostenermittlung in das Portfolio einfließen zu lassen und durch Rückrechnung bzw. unter Wahl eines Chancen-Risikoverhältnisses die Grenz-Angebotssumme[110)] aus der erhobenen Bandbreite zu ermitteln.

Das Projektportfoliomanagement setzt in dieser Stufe auf der Ebene der Projekte gleicher Abteilungen an, kann jedoch auch nach oben hin fortgesetzt werden (z.B. Portfolio aus mehreren Abteilungen bzw. Unternehmen).

[110)] Dabei handelt es sich um jene Angebotssumme eines neuen Projekts, die nicht unterschritten werden darf, um das angestrebte Chancen-Risikoverhältnis, zu Lasten eines höheren Risikos nicht zu verfehlen.

Kostenberechnungen für in Ausführung befindliche Projekte sind dabei kontinuierlich zu aktualisieren, um für das Portfolio auf aktuelle Einschätzungen des Chancen-Risikoverhältnisses schließen zu können.

10.6.3 Modellbildung

In Abb. 10-189 ist ein Ablaufdiagramm dargestellt, in dem zunächst das Chancen-Risikoverhältnis eines Projektportfolios ermittelt wird (Kontrollinstrument). In weiterer Folge lässt sich damit der Angebotspreis eines neuen Projekts auf Basis eines angestrebten Chancen-Risikoverhältnisses berechnen (Steuerungsinstrument).

Zunächst müssen alle laufenden Projekte der Abteilung bzw. des Unternehmens mit ihrem Auftragsvolumen bzw. der Auftragssumme aufgelistet werden. Bei Projekten, die bereits weiter fortgeschritten sind, ist die Auftragssumme um Mehr- und Mindermengen sowie um Zusatzaufträge anzupassen. Aus den deterministischen Angaben zum Auftragsvolumen wird die Summe gebildet. Dieser Wert dient in weiterer Folge zur Berechnung des Chancen-Risikoverhältnisses des aktuellen Projektportfolios.

Für jedes der Projekte ist zu prüfen, ob eine (an den Projektfortschritt angepasste) probabilistische Kostenermittlung vorliegt oder nicht. Kann auf eine probabilistische Kostenermittlung zurückgegriffen werden, ist diese Verteilung direkt für die Modellierung der Kostenverteilung für das entsprechende Projekt heranzuziehen.[111)] Liegt keine probabilistische Kostenberechnung vor, sind weitere Angaben bzw. qualifizierte Einschätzungen der aktuellen Lage des Projekts erforderlich. Diese Angaben umfassen die möglichen Kostenabweichungen (Minimum und Maximum) sowie die prozentuelle Angabe der Wahrscheinlichkeit, mit der die (angepasste) Angebotssumme über- bzw. unterschritten wird. In Summe müssen diese beiden Prozentangaben – welche das Chancen-Risikoverhältnis für die einzelnen Projekte angeben – 100 % ergeben (Wahrscheinlichkeit und Gegenwahrscheinlichkeit). Je nach Wahl der Verteilungsfunktion für die Kostenverteilung je Projekt können auch noch weitere oder andere Angaben (z.B. Formparameter) erforderlich sein.

Sollte keine probabilistische Berechnung der Kosten vorliegen, wird an dieser Stelle die Anwendung einer PERT-Verteilung vorgeschlagen. Diese lässt sich standardmäßig durch einen minimalen, erwarteten und maximalen Wert definieren. Für das gegenständliche Beispiel sei aber noch auf eine weitere Möglichkeit zur Definition einer PERT-Verteilung hingewiesen. Dabei ist ebenfalls die Angabe eines Minimums und eines Maximums erforderlich, anstelle des erwarteten Werts wird jedoch ein Quantilwert angegeben. Dieser ist dermaßen definiert, dass der Wert dem deterministischen Auftragsvolumen und das Quantil dem Prozentsatz für die Unterschreitungswahrscheinlichkeit dieses Werts entspricht. Dadurch werden das Chancen-Risikoverhältnis des Projekts sowie die erwartete Bandbreite der Kosten für die weitere Berechnung in Form einer Verteilungsfunktion abgebildet.

Sind alle Kostenverläufe als Verteilungsfunktionen modelliert, kann mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation die Summe der Kostenverteilungen ermittelt werden. Das Ergebnis dieser Addition ist ein Histogramm, innerhalb dessen Bandbreite auch der deterministische Wert der Summe aus den Auftragssummen enthalten ist. Die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit dieses Werts innerhalb der Bandbreite des ermittelten Histogramms entspricht dem Chancen-Risikoverhältnis des aktuellen Projektportfolios.

[111)] z.B. aus probabilistischen Trendanalysen auf Basis aktueller Projektfortschrittsdaten und der daraus abgeleiteten Prognose

Für ein neues Projekt, das durch eine Angebotsabgabe in das Projektportfolio aufgenommen werden soll, ist wiederum eine probabilistische Kostenverteilung zu ermitteln und zusammen mit den anderen Kostenverteilungen der laufenden Projekte aufzuaddieren. Es ergibt sich ein Histogramm der Kostenverteilung für das neue Portfolio.

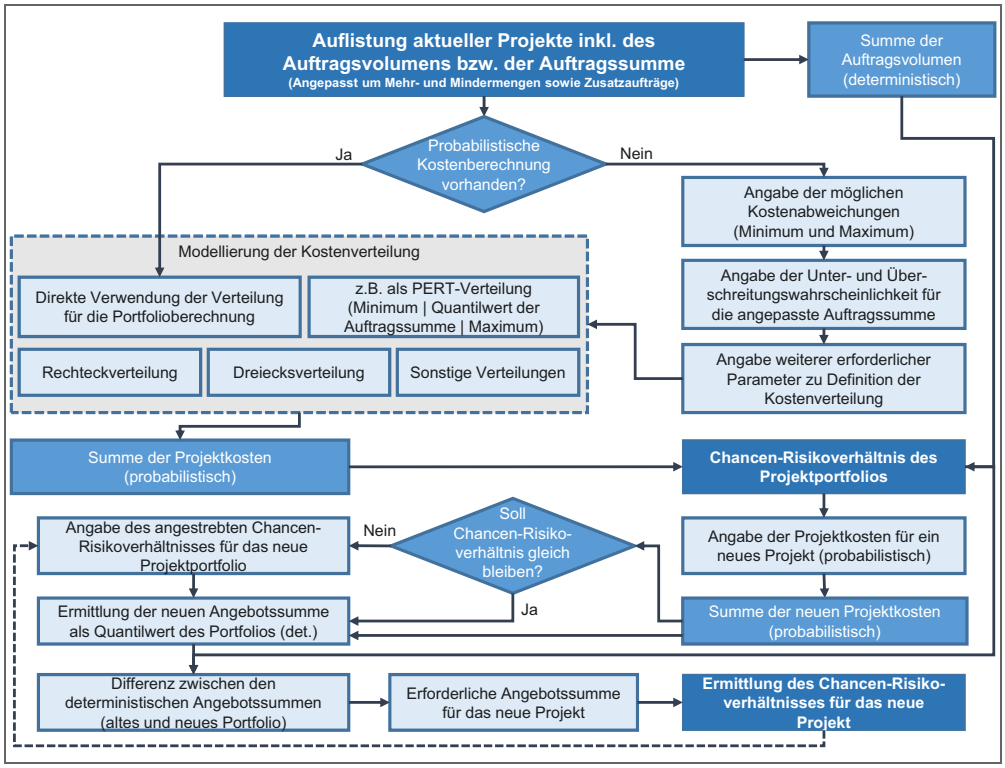


Abb. 10-189 Ablaufdiagramm – Chancen-Risikoverhältnis – Projektportfolio

Als Nächstes gilt es festzulegen, ob das bisherige Chancen-Risikoverhältnis auch nach Aufnahme des neuen Projekts in das Portfolio beibehalten wird, oder ob es zu einer Anpassung des Verhältnisses kommen soll. Wird eine Anpassung des Chancen-Risikoverhältnisses angestrebt, ist das neue Verhältnis anzugeben und mit Hilfe des Histogramms für die neue Summe, der entsprechende Quantilwert der Angebotssummen für das neue Portfolio zu ermitteln.

Aus der Differenz der (deterministischen) Angebotssummen des ursprünglichen und des neuen Portfolios ergibt sich die erforderliche (minimale) Angebotssumme für das neue Projekt, um für das gesamte neue Portfolio im Sinne der Risikodiversifikation das angestrebte Chancen-Risikoverhältnis zu erzielen.

Schließlich kann durch die Eintragung der erhobenen deterministischen Angebotssumme in die Kostenverteilung des neuen Projekts das entsprechende projektspezifische Chancen-Risikoverhältnis ermittelt werden.

Ist das ermittelte Chancen-Risikoverhältnis oder die Angebotssumme für das neue Projekt nicht vertretbar (z.B. aufgrund eines zu hohen Risikos für das Einzelprojekt) ist das angestrebte Chancen-Risikoverhältnis für das Portfolio anzupassen oder sogar von einer Aufnahme dieses Projekts in das Portfolio abzusehen.

10.6.4 Berechnung und Ergebnisinterpretation

Anhand eines Beispiels wird für eine Abteilung eines Unternehmens beispielhaft gezeigt, wie zunächst das Chancen-Risikoverhältnis für das Portfolio laufender Projekte ermittelt werden kann und wie die Integration eines neuen Projekts in dieses Portfolio erfolgt.

In Tab. 10-67 sind in den Zellen 1 bis 5 die aktuell ausgeführten Projekte mit ihrer Projektbezeichnung (Spalte A) und dem aktuellen Projektfortschritt (Spalte B) aufgelistet. In Spalte C sind die jeweiligen Auftragsvolumen bzw. die Angebotssummen (angepasst um Mehr- bzw. Mindermengen sowie Zusatzaufträge) als deterministische Werte eingetragen. Die Summe dieser Auftragssummen wird in Zelle C6 gebildet. Es zeigt sich, dass das Projektportfolio sich aus Projekten mit unterschiedlichem Projektfortschritt und unterschiedlichen Größen (Projektvolumen) zusammensetzt. Ebenso variieren die Chancen-Risikoverhältnisse der einzelnen Projekte untereinander.

Die Spalten D und F enthalten die absoluten, möglichen Kostenabweichungen gegenüber dem Auftragsvolumen je Projekt. Die Werte des Auftragsvolumens müssen innerhalb der in den Spalten D und F angegebenen Bandbreite liegen. In den Spalten E und G sind die prozentuellen Abweichungen der Minima und Maxima auf Basis der deterministischen Angebotssummen in Spalte C angegeben.[112)]

Liegen keine probabilistischen Berechnungen für die Kostenverteilungen der einzelnen Projekte vor, können die minimalen und maximalen Werte zur Definition von Rechteckverteilungen herangezogen werden. Weiters wäre es auch möglich, mit dem Minimum (Spalte D), dem Auftragsvolumen[113)] (Spalte C) und dem Maximum (Spalte F) eine Dreiecks- oder eine PERT-Verteilung zu definieren.

Da jedoch das Auftragsvolumen nicht zwingend dem erwarteten Wert (Modus) z.B. einer PERT-Verteilung entsprechen muss, besteht in den Spalten H und I die Möglichkeit, Unter- und Überschreitungswahrscheinlichkeiten des Auftragsvolumens anzugeben. Die Summe der beiden Prozentwerte muss dabei 100 % betragen. Diese Prozentangaben spiegeln auch gleichzeitig das Chancen-Risikoverhältnis für das jeweilige Projekt wider.

In der Spalte J sind die Kostenverteilungen für die einzelnen Projekte hinterlegt. Hier können – soweit verfügbar und aktualisiert bzw. angepasst – bereits bestehende Verteilungen aus probabilistischen Kostenberechnungen oder neu definierte Verteilungen (z.B. Rechteck- oder Dreiecksverteilungen) eingetragen werden.

Für das vorliegende Berechnungsbeispiel werden durchwegs PERT-Verteilungen angesetzt, die durch die Angaben in den Spalten C, D, F und H bestimmt werden. Die Funktion für die Generierung der Inputverteilungen im Programm @Risk lautet: =RiskPertAlt(“min“;D;H;C;“max“;F). Die Buchstaben D, H, C und F entsprechen dabei den Werten der Zeilen 1 bis 5 aus den jeweiligen Spalten der Tab. 10-67. Diese Definition der Verteilung mit Hilfe eines Quantilwerts an Stelle des erwarteten Werts erlaubt es die Einschätzungen hinsichtlich der Unter- und Überschreitungswahrscheinlichkeit des Auftragsvolumens direkt in die Kostenverteilung zu integrieren.

[112)] In der Zelle E2 ergibt sich damit beispielsweise eine negative Kostenabweichung von 20 % [= (1 - 12.000.000 € / 15.000.000) * 100 %]

[113)] Das Auftragsvolumen bzw. die Auftragssumme ist hier als Nettowert (ohne USt. und ohne Gesamtzuschlag) aufzufassen.

Lfd. Nr.	Projekt-bezeichnung	Projekt-fortschritt	Auftrags-volumen/ Angebots-summe*	Mögliche Kostenabweichungen*				Unter-schreitungs-wahrschein-lichkeit	Über-schreitungs-wahrschein-lichkeit	Projekt-kosten – Verteilung
				Minimum		Maximum		Chance	Risiko	
		[%]	[€]	[€]	[%]	[€]	[%]	[%]	[%]	[€]
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Projekt A	80,00 %	30.000.000	28.000.000	-6,67 %	32.000.000	6,67 %	40,00 %	60,00 %	30.192.650
2	Projekt B	60,00 %	15.000.000	12.000.000	-20,00 %	15.500.000	3,33 %	55,00 %	45,00 %	14.814.020
3	Projekt C	35,00 %	1.200.000	1.100.000	-8,33 %	2.000.000	66,67 %	10,00 %	90,00 %	1.398.542
4	Projekt D	30,00 %	17.500.000	15.000.000	-14,29 %	21.000.000	20,00 %	35,00 %	65,00 %	17.989.584
5	Projekt E	5,00 %	800.000	700.000	-12,50 %	1.000.000	25,00 %	50,00 %	50,00 %	805.251
6	**Summe**		**64.500.000**					**31,83 %**	**68,17 %**	**65.200.047**

* Angepasst um Mehr- und Mindermengen sowie Zusatzaufträge

Tab. 10-67 Berechnungstabelle – Projektportfolio

Für das Projekt C würde die PERT-Verteilung demnach mit folgendem Befehl definiert werden: =RiskPertAlt(“min“;1.100.000;0,10;1.200.000;“max“;2.000.000). Die entsprechende Kostenverteilung für Projekt C ist in Abb. 10-190 dargestellt. Die Gleitbegrenzer am oberen Bildrand zeigen, dass die Auftragssumme von 1,2 Mio. € jeweils eine Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 10 % (Chance – siehe Zelle H3) und eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 % (Risiko – siehe Zelle I3) aufweist. Die Grenzen (Minimum und Maximum) der Verteilung sind in der Legende am rechten Bildrand abzulesen und entsprechen den Werten der Tab. 10-67 (Zellen D3 und F3).

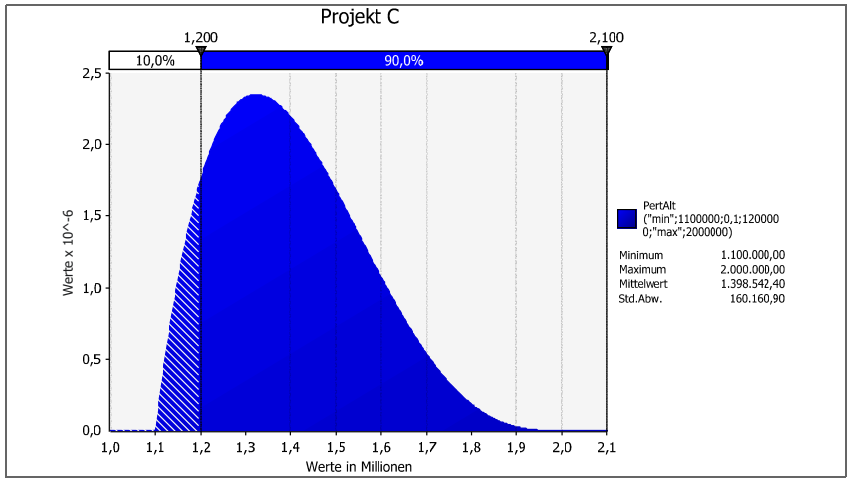


Abb. 10-190 Kostenverteilung – Projekt C

In der Zelle J6 der Tab. 10-67 wird die Summe der Kostenverteilungen der laufenden Projekte gebildet. Nach Durchführung einer Monte-Carlo-Simulation (50.000 Iterationen; Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren) lässt sich das Histogramm der Summe darstellen und die deterministische Summe der Auftragsvolumen (Spalte C6) eintragen (siehe Abb. 10-191). Für das gesamte Projektportfolio der aktuell ausgeführten Projekte (A bis E) ergibt sich eine Chance von ca. 32 %, dass die tatsächlichen Kosten unter dem abgerechneten Auftragsvolumen (Zelle C6) liegen werden. Demgegenüber steht ein Risiko von etwa 68 % (Gegenwahrscheinlichkeit), dass die Kosten über dem abgerechneten Auftragsvolumen liegen werden.

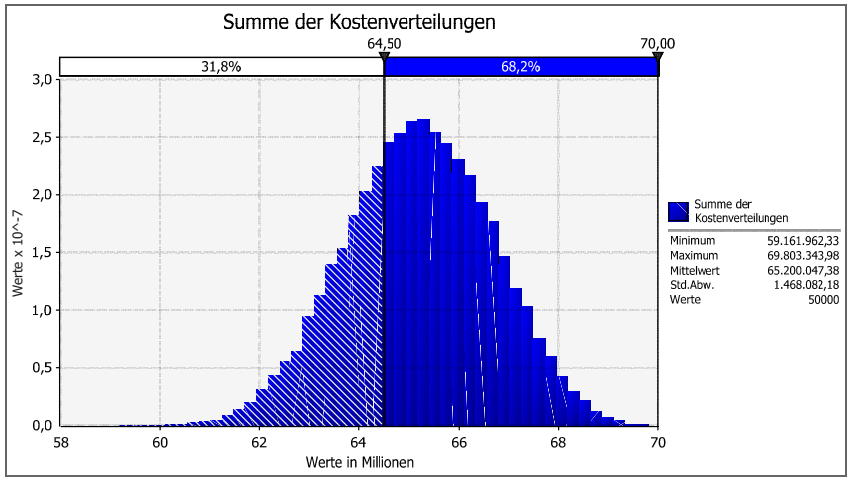


Abb. 10-191 Histogramm – Summe der Kostenverteilungen (Projekte A bis E)

Durch die Bildung der Differenz zwischen der Summe der Auftragsvolumen (deterministischer Wert in Zelle C6) und der Summe der Kostenverteilungen (Zelle J6) ergibt sich ein Histogramm für die Betrachtung des möglichen Gewinns bzw. Verlusts bezogen auf das gesamte Portfolio (siehe Abb. 10-192). Auch aus diesem Histogramm ist das Chancen-Risikoverhältnis für das Portfolio (32 % zu 68 %) abzulesen. Die Höhe des möglichen Gewinns wird durch positive Werte und die Höhe möglicher Verluste durch negative Werte auf der Abszisse abgebildet. Anhand der Legende am rechten Bildrand können die Extremwerte für Gewinne und Verluste auf Basis von 50.000 Iterationen abgelesen werden.

Für das angegebene Beispiel, überwiegt das Risiko eines Verlusts und das Chancen-Risikoverhältnis stellt sich ungünstig in Bezug auf den wirtschaftlichen Erfolg der Abteilung bzw. des Unternehmens dar. Für neue Projekte sollte damit eine Trendwende eingeleitet und der Anteil der Chancen für das gesamte Portfolio erhöht werden.

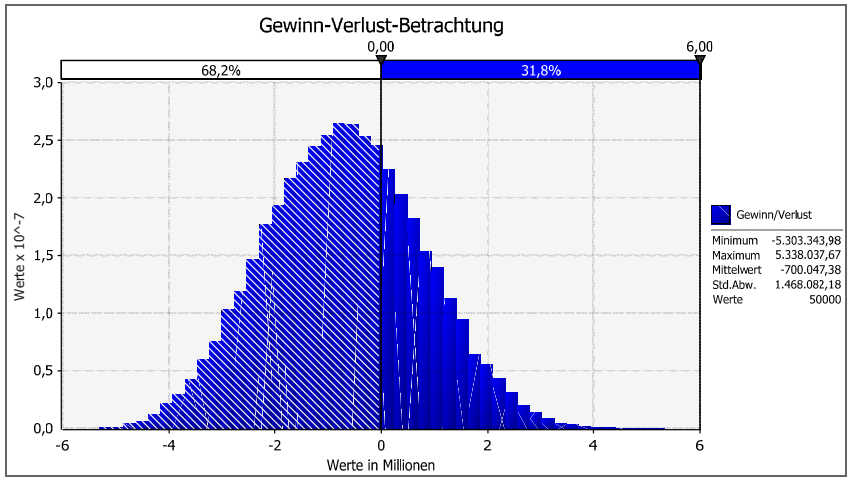


Abb. 10-192 Histogramm – Gewinn-Verlust-Betrachtung

Weiters wird untersucht, welche Auswirkungen ein neues Projekt auf das Chancen-Risikoverhältnis des Portfolios hat bzw. welche Angebotssumme erforderlich ist, um ein bestimmtes Verhältnis zu erzielen.

Tab. 10-68 ist bis zur Zeile 6 identisch mit Tab. 10-67. In der Zeile 7 wird jedoch ein zusätzliches Projekt (‚Projekt NEU') hinzugefügt. Für dieses neue Projekt wird eine probabilistische Kostenermittlung bzw. die Angabe einer Kostenverteilung vorausgesetzt. Hinterlegt wird diese Verteilung in der Zelle J7 der Tab. 10-68.

Für das Beispiel wurde vereinfacht eine PERT-Verteilung mit folgenden Kostenwerten angenommen:

- Minimum: 9.000.000 €
- Erwarteter Wert: 10.000.000 €
- Maximum: 12.500.000 €

Diese Verteilung wird in weiterer Folge zur Summe der Kostenverteilungen (Zelle J6) hinzugezählt und ergibt eine neue Summe in Zelle J8. Nachfolgend wird in den Zellen H8 und I8 das neue (angestrebte) Chancen-Risikoverhältnis des neuen Projektportfolios (Projekte A bis E inkl. Projekt NEU) angegeben. Die Summe der beiden Prozentangaben muss dabei 100 % betragen. Für das Beispiel wurde als Ziel ein neues Chancen-Risikoverhältnis von 48 % zu 52 % angegeben, um insgesamt den Anteil der Chancen für das Portfolio zu erhöhen.

Lfd. Nr.	Projekt-bezeichnung	Projekt-fortschritt	Auftrags-volumen/ Angebots-summe*	Mögliche Kostenabweichungen*				Unter-schreitungs-wahrschein-lichkeit	Über-schreitungs-wahrschein-lichkeit	Projekt-kosten – Verteilung
				Minimum		Maximum		Chance	Risiko	
		[%]	[€]	[€]	[%]	[€]	[%]	[%]	[%]	[€]
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Projekt A	80,00 %	30.000.000	28.000.000	-6,67 %	32.000.000	6,67 %	40,00 %	60,00 %	30.192.650
2	Projekt B	60,00 %	15.000.000	12.000.000	-20,00 %	15.500.000	3,33 %	55,00 %	45,00 %	14.814.020
3	Projekt C	35,00 %	1.200.000	1.100.000	-8,33 %	2.000.000	66,67 %	10,00 %	90,00 %	1.398.542
4	Projekt D	30,00 %	17.500.000	15.000.000	-14,29 %	21.000.000	20,00 %	35,00 %	65,00 %	17.989.584
5	Projekt E	5,00 %	800.000	700.000	-12,50 %	1.000.000	25,00 %	50,00 %	50,00 %	805.251
6	**Summe**		**64.500.000**					**31,83 %**	**68,17 %**	**65.200.047**
7	Projekt NEU	0,00 %	10.875.985	9.000.000	-17,25 %	12.500.000	14,93 %	**82,28 %**	**17,72 %**	10.250.000
8	**Neue Summe**		**75.375.985**					**48,00 %**	**52,00 %**	**75.450.047**

* Angepasst um Mehr- und Mindermengen sowie Zusatzaufträge

Tab. 10-68 Berechnungstabelle – Projektportfolio mit neuem Projekt

Durch die Ermittlung des 48 %-Quantils der neuen Summe der Kostenverteilungen (Zelle J8 kann der deterministische Wert für die Summe des neuen Auftragsvolumens ermittelt werden. In Abb. 10-193 ist mit Hilfe der Gleitbegrenzer das neue (angestrebte) Chancen-Risikoverhältnis des Projektportfolios eingestellt. Der deterministische Wert, der die Grenze zwischen den beiden Bereichen am oberen Bildrand angibt, entspricht jenem in Zelle C8 der Tab. 10-68 (= 75.375.985 €).

Wird die Differenz aus der Summe der Auftragsvolumen mit und ohne Projekt NEU (Zellen C8 und C6) gebildet, ergibt sich die minimale Auftragssumme für das Projekt NEU in Zelle C7. Es handelt sich dabei um jene Angebotssumme, die auf Basis der probabilistischen Kostenverteilung des neuen Projekts (Zelle J7) nicht unterschritten werden darf, um das angestrebte Chancen-Risikoverhältnis für das neue Portfolio zu erreichen. Wird ein höheres Angebot für das Projekt gestellt, wirkt sich dies erhöhend auf den Chancenanteil des Gesamtportfolios aus.

In den Zellen D7 und F7 sind das Minimum und Maximum der Kostenverteilung, die in Zelle J7 für das Projekt NEU hinterlegt ist, angegeben. Die prozentuellen Abweichungen beziehen sich auf die deterministisch ermittelte Angebotssumme in Zelle C7.

Schließlich wird in den Zellen H7 und I7 das Chancen-Risikoverhältnis für das Projekt NEU angegeben. Es zeigt sich, dass das Chancenverhältnis für dieses Projekt (mit der entsprechenden Projektgröße) relativ hoch angesetzt werden muss, um die angestrebte Änderung des Chancen-Risikoverhältnisses des Gesamtportfolios herbeizuführen.

Generell gilt, dass sich große Projekte (großes Projektvolumen) stärker auf das Gesamtportfolio auswirken und das Chancen-Risikoverhältnis solcher Projekte mehr Einfluss auf das Portfolio ausüben als kleinere Projekte.

Erscheint die Angebotssumme, die über die gezeigte Systematik für das neue Projekt ermittelt wurde zu hoch (Marktpreisniveau), muss das angestrebte Chancen-Risikoverhältnis des Portfolios angepasst werden. Dabei gilt jedoch zu beachten, dass je niedriger die Angebotssumme für das neue Projekt ausfällt, desto weniger wird der Chancenanteil des Portfolios erhöht.

Dies gilt solange, bis ein spezifischer Angebotswert (Grenzwert) unterschritten wird und die Aufnahme des neuen Projekts in das Portfolio sich erhöhend auf den Risikoanteil des Portfolios auswirkt.

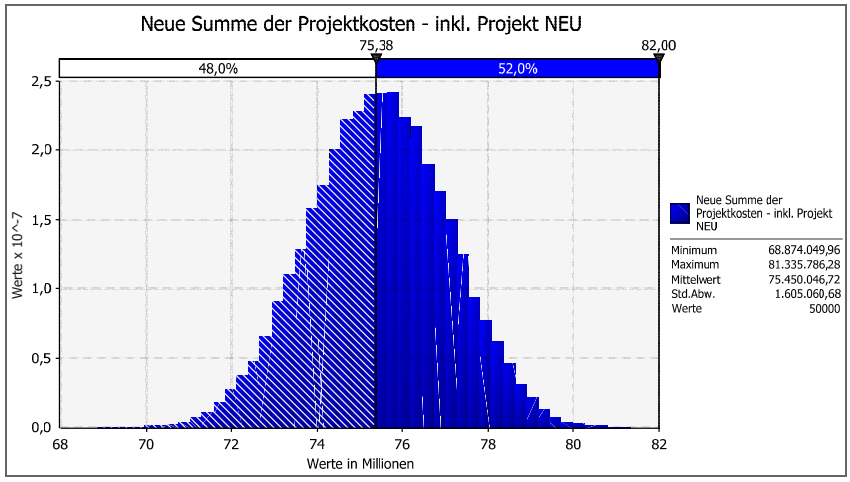


Abb. 10-193 Histogramm – Neue Summe der Kostenverteilungen – Inkl. Projekt NEU

10.6.5 Nutzen für den AN

Das gezeigte Verfahren für die Bewertung und Steuerung des Chancen-Risikoverhältnisses einer Gesamtheit von laufenden und neuen Projekten (Portfolio) hat den Vorteil, dass bei entsprechend angepasster Datengrundlage[114)] eine aktive und iterative Regulierung der Angebotspreise neuer Projekte vorgenommen werden kann. Als zentrales Regelungsinstrument dient dabei das Chancen-Risikoverhältnis für das Portfolio.

[114)] Angebotssummen unter Berücksichtigung von Mehr- und Mindermengen sowie von Zusatzaufträgen. Angabe der Kostenminima und -maxima bzw. der Chancen-Risikoverhältnisse der einzelnen Projekte bezogen auf den aktuellen Projektfortschritt.

Mit der gezeigten Systematik gelingt es Projekte mit unterschiedlichem Projektfortschritt, unterschiedlichen Auftragsvolumen und unterschiedlichen Chancen-Risikoverhältnissen in einer Gesamtbetrachtung zu vereinen und daraus wiederum Rückschlüsse auf einzelne neue Projekte ziehen zu können.

Das Projektportfoliomanagement ist daher sowohl als Kontrollinstrument (Überwachung der Auswirkungen einer gewählten Angebotssumme auf das Chancen-Risikoverhältnis des Portfolios) als auch als Steuerungsinstrument (Festlegung einer minimalen Angebotssumme zur Erzielung eines bestimmten Chancen-Risikoverhältnisses des Portfolios) einsetzbar.

10.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden praxisbezogene Anwendungsbeispiele der Monte-Carlo-Simulation für den Bieter bzw. späteren Auftragnehmer gezeigt. Die Beispiele beziehen sich dabei vornehmlich auf die PPH 3 und PPH 4. Die gezeigten Methoden und Werkzeuge sind jedoch auch in anderen Projektphasen anwendbar und können gegebenenfalls auch von Auftraggebern angewendet werden.

Die Beispiele sind nachvollziehbar dargestellt und folgen einer einheitlichen Systematik in deren Aufbau. Die Berechnungstabellen sind in den jeweiligen Abschnitten erklärt und durch die schematische Darstellung der Berechnungsabläufe grafisch aufbereitet. Besonderes Augenmerk wird auf die Interpretation der Simulationsergebnisse und das Aufzeigen des Nutzens für den Bieter bzw. späteren Auftragnehmer gerichtet.

10.8 Literaturverzeichnis

Brecheler, Winfried et al. (1998). Baubetriebslehre – Kosten- und Leistungsrechnung – Bauverfahren. Braunschweig/Wiesbaden. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH. (ISBN 3-528-07708-5)

Busch, Thorsten (2004). Systematisches Projektrisikomanagement in der Angebotsphase. In: Tagungsband – 2. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium – Risikomanagement in der Bauwirtschaft. Hrsg.: Technische Universität Graz – Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft. Seite 49-62. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 3-901351-91-4)

Fetzner, Torsten (2007). Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen. Dissertation. Darmstadt. Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt.

Graggober, Christoph (2011). Einsatz von GPS gesteuerten Baumaschinen im Erd- und Straßenbau. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Hofstadler, Christian (1999). Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Hofstadler, Christian (2007). Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN-13 978-3-540-34320-2)

Hofstadler, Christian (2008). Schalarbeiten – Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-540-85178-3)

Hofstadler, Christian (2009). Beschaffungslogistik für die Phase Bauwerk-Rohbau – Berechnung der Anzahl der Transporte für Stahlbetonarbeiten unter Anwendung der Monte-Carlo-Simulation. In: Festschrift anlässlich des 30-jährigen Bestehens des Instituts für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt – Baubetriebliche Aufgaben. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 4 Bauingenieurwesen, Nr. 211. Hrsg.: Motzko, Christoph. S. 144-158. Düsseldorf. VDI-Verlag. (ISBN 978-3-18-321104-3)

Hofstadler, Christian (2014a). Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-41632-3)

Hofstadler, Christian; Franzl, Gerald (2011). Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb. Hrsg.: Verband Österreichischer Biege- und Verlegetechnik (VÖBV). (ISBN 978-3-200-02149-5)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2014). Systematischer Umgang mit Produktivitätsrisiken in der Auftragskalkulation. In: Tagungsband – 12. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium – Risiken im Bauvertrag – Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte. Hrsg.: Heck, Detlef; Mauerhofer, Gottfried; Hofstadler, Christian. Seite 53-90. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-312-2)

Joseph Vögele AG – Produktdatenblatt – Vögele Raupenfertiger SUPER 1900-3i – Highway Class. Online unter: http://media.voegele.info/media/03_voegele/produkte/broschueren/02_raupenfertiger/layout_2016/super_1900_3i_1/SUPER_1900-3i_DE_2556102_mPW_0916_Lay2016.pdf. Datum des Zugriffs: 06.08.2016.

Jurecka, Walter (1975). Kosten und Leistungen von Baumaschinen. Wien, New York. Springer Verlag. (ISBN 3-211-81324-1)

Koehn, Enno; Brown, Gerald (1985). Climatic Effects on Construction. In: Journal of Construction Engineering and Management, 111(2), June, 1985. Seite 129-137. American Society of Civil Engineers (ASCE). (ISSN 1943-7862)

Kummer, Markus (2014). Additive Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. In: Tagungsband – 25. BBB-Assistententreffen in Graz – Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik. Hrsg.: Heck, Detlef; Mauerhofer, Gottfried; Hofstadler, Christian. Seite 171-186. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-356-6)

Kummer, Markus (2015a). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten – Deterministische und probabilistische Betrachtungen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Kummer, Markus (2015b). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. In: Tagungsband – 26. BBB-Assistententreffen – Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauverfahrenstechnik. Hrsg.: Berner, Fritz. Seite 167-183. Stuttgart. Institut für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart. (ISBN 978-3-9814355-7-3)

Kummer, Markus; Hofstadler, Christian (2015). Influence of mean daily temperature on the selection of the construction start date. In: Implementing Innovative Ideas in Structural Engineering and Project Management – ISEC-8. Hrsg.: Saha, Swapan; Zhang, Y. X.; Yazdani, Siamak; Singh, Amarjit. S. 851-856. Fargo. ISEC Press. (ISBN 978-0-9960437-1-7)

Oberndorfer, Wolfgang; Jodl, Hans Georg et al. (2001). Handwörterbuch der Bauwirtschaft – ON V 208 – 2. Auflage. Wien. ON Österreichisches Normungsinstitut. (ISBN 3-85402-072-4)

Oglesby, Clarkson H.; Parker, Henry.; Howell, Gregory (1989). Productivity Improvement in Construction. New York. McGraw-Hill Inc. (ISBN 0-07-047802-3)

ÖNORM B 2110 (Ausgabe: 2013-03-15) Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm.

Raaber, Norbert (1979). Eine Analyse des Baupreisrisikos. Vortrag, gehalten am 15.03.1979 an der TU Graz.

Scheuer, Christian (1997). Zur Leistungsermittlung von Maschinen und Geräten im Baubetrieb – Hauptgruppen 4 bis 7 nach ÖBGL 1996. Diplomarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.

Spranz, Dieter (2003). Arbeitsvorbereitung im Ingenieurhochbau. Berlin. Bauwerk Verlag. (ISBN 978-3-89932-023-7)

Suhl, Leena; Mellouli, Taïeb (2013). Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen – 3. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-38936-8)

Thomas, Randolph; Yiakoumis, Iacovos (1987). Factor Model of Construction Productivity. In: Journal of Construction Engineering and Management, 113(4), December, 1987. Seite 623-639. American Society of Civil Engineers (ASCE). (ISSN 1943-7862)

VÖBV – Verband Österreichische Biege- und Verlegetechnik (2010). Wirtschaftliches Bewehren. Online unter: http://www.voebv.at/pdf/VOEBV%20Wirtschaftliches%20Bewehren.pdf. Datum des Zugriffs: 01.10.2016.

Voigt, Matthias (2008). Grundlagen der Probabilistik. Vortrag im Zuge des 1. Dresdner Probabilistik-Workshops der Professur für Turbomaschinen und Strahlantriebe am Institut für Strömungsmechanik. Technische Universität Dresden. 09. bis 10. Oktober 2008. (Online unter: http://www.probabilistik.de/vortrag/Vortrag0102_Voigt_TUD.pdf. Datum des Zugriffs: 09.11.2016)

ZAMG:
http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm. Datum des Zugriffs: 20.08.2016.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1 Kombination der Produktionsfaktoren zur Erzielung der Gesamtproduktivität – Zweidimensionales System 2

Abb. 1-2 Kombination der Produktionsfaktoren zur Erzielung der Gesamtproduktivität – Dreidimensionales System 3

Abb. 1-3 Unterschied zwischen Effektivität und Effizienz 4

Abb. 1-4 Unterscheidung zwischen genauen, präzisen und richtigen Vorhersagen 5

Abb. 1-5 Bestandteile von Systemen 6

Abb. 1-6 Veranschaulichung – Komplexität von Systemen – Aufbau eines Planums mit vier Schichten 8

Abb. 1-7 Vergleich – Trichterexperiment mit dem Produktionssystem 9

Abb. 1-8 Unsicherheiten des Systems – Trichterexperiment 10

Abb. 1-9 Vergleich der Versuchsergebnisse bei Systemen mit unterschiedlichen Unsicherheiten 11

Abb. 1-10 Gliederung des Buchs – Teil 1 13

Abb. 1-11 Gliederung des Buchs – Teil 2 15

Abb. 1-12 Gliederung des Buchs – Teil 3 17

Abb. 2-1 Etymologie des Risikobegriffs 22

Abb. 2-2 Vergleichbarkeit von Risiken unter Anwendung der Risikogleichung 24

Abb. 2-3 Gliederung von Unsicherheiten lt. Knight 26

Abb. 2-4 Unsicherheit in der Entscheidungstheorie 28

Abb. 2-5 Gliederung von Unsicherheiten 28

Abb. 2-6 Subjektive bzw. objektive Bandbreite – Subjektive bzw. objektivierbare Wahrscheinlichkeitsverteilung 30

Abb. 2-7 Zeitliche Entwicklung der Anzahl an Risikodefinitionen und dem relativen Anteil der Chancen 31

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1

Abb. 2-8	Risikodefinitionen	33
Abb. 2-9	Chance-Gefahr/Wagnis-Auffassung des Risikobegriffs	34
Abb. 2-10	Chance-Gefahr/Wagnis-Verteilung des Risikobegriffs	35
Abb. 2-11	Mögliche Erwartungsstruktur – Messbarkeit der Unsicherheit	36
Abb. 2-12	Darstellung von Chancen und Risiken in Abhängigkeit der gewählten Basis	39
Abb. 2-13	Darstellung von Chancen und Risiken in Abhängigkeit der gewählten Basis	40
Abb. 2-14	Differenzierung zwischen globalem Wagniszuschlag und Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses	41
Abb. 2-15	Differenzierung zwischen verschiedenen Stufen und Arten von Aussagen über die Zukunft	43
Abb. 2-16	Prognose des Chaoskegels für den Hurrikan ‚Katrina' (26. August 2005; 17:00 Uhr) – mögliche Position des Hurrikanzentrums für die nächsten drei Tage	44
Abb. 2-17	15-Tage-Trend für die Tagestemperatur	45
Abb. 2-18	Prognosen auf Basis von vollständiger und unvollständiger Dokumentation in Abhängigkeit der Bezugszeitpunkte der Daten und Informationen sowie der Prognosehorizonte	46
Abb. 2-19	Wesentliche Teilbereiche der Mathematik	47
Abb. 2-20	Begriffsdefinition – Stochastik, Kombinatorik, Probabilistik und Statistik	50
Abb. 2-21	Dichtefunktion einer diskreten (links) und einer stetigen Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung	53
Abb. 2-22	Kumulative Wahrscheinlichkeitsfunktion einer diskreten (links) und einer stetigen Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung	53
Abb. 2-23	Dichtefunktion einer Bernoulli-Verteilung (links) und einer allgemeinen diskreten Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung	54
Abb. 2-24	Dichtefunktion einer Rechteckverteilung (links) und einer PERT-Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung	55
Abb. 2-25	Dichtefunktion einer LogLogistic-Verteilung (links) und einer Normalverteilung (rechts) – Qualitative Darstellung	55
Abb. 2-26	Dichtefunktion diskreter (oben) und stetiger (unten) unimodaler (links) sowie multimodaler (rechts) Verteilungen – Qualitative Darstellung	56
Abb. 2-27	Dichtefunktion einer rechtsschiefen bzw. linkssteilen (links) und einer linksschiefen bzw. rechtssteilen Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung	57
Abb. 2-28	Histogramm – Qualitative Darstellung	57
Abb. 2-29	Lageparameter bei schiefen Verteilungen – Qualitative Darstellung	59
Abb. 2-30	M-Schätzer nach Huber – Qualitative Darstellung	59
Abb. 2-31	Vergleich unterschiedlicher Streuungen bei gleichem Mittelwert – Qualitative Darstellung	60
Abb. 2-32	Quantilwerte in Abhängigkeit der Standardabweichung – Normalverteilung	61
Abb. 2-33	Quantilwert Q_p einer stetigen Verteilungsfunktion	62

Abb. 2-34	Änderung des Variationskoeffizienten für die Summe in Abhängigkeit der Anzahl an identischen Summanden und mit unterschiedlichen symmetrischen Verteilungsfunktionen	65
Abb. 2-35	Zusammenhang zwischen zwei Variablen x und y bei unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten – Oben: Punktwolken – Unten: Vektordarstellung	68
Abb. 3-1	Einteilung nach Wissensarten	76
Abb. 3-2	Anwendung der Wissenstreppe nach North auf den Baubetrieb	79
Abb. 3-3	Dokumentation des AN	81
Abb. 3-4	Prozesse zur systematischen Datenerhebung und Informationsgenerierung	82
Abb. 3-5	Unvollständiger Informationsfluss	83
Abb. 3-6	Qualitativer Ablauf der Dokumentation	84
Abb. 3-7	Aufwandswert, Medikament und Beipacktext	85
Abb. 3-8	Übersicht zu den Methoden der Informationsbeschaffung nach Haberfellner et al.	88
Abb. 3-9	Informationsgenerierung und -weitergabe	94
Abb. 3-10	Wesentliche Fragen zur Dokumentation	96
Abb. 3-11	BIM aus der Sicht eines Bauunternehmens und der Austausch mit den verschiedenen Projektphasen – Gegenwart und Zukunft	99
Abb. 4-1	Grundsätze des Risikomanagements	111
Abb. 4-2	Berufserfahrung und Zuständigkeit der Probanden	113
Abb. 4-3	Risikopotenzial von Risikofeldern aus Auftragnehmersicht	114
Abb. 4-4	Projektphasen als Fehler- und Risikoquellen	115
Abb. 4-5	Risikoneigung – Unterschied zwischen Mitarbeiter und Unternehmen	116
Abb. 4-6	Chancen- und Risikopotenzial in Abhängigkeit von der Wettbewerbssituation (maßgeblich beeinflusst durch Wettbewerbsintensität sowie Planungs- und Ausschreibungsqualität) – Szenario 1	118
Abb. 4-7	Chancen- und Risikopotenzial in Abhängigkeit von der Wettbewerbssituation (maßgeblich beeinflusst durch Wettbewerbsintensität sowie Planungs- und Ausschreibungsqualität) – Szenario 2	119
Abb. 4-8	Stellenwert der Chancen- und Risikopolitik	120
Abb. 4-9	Chancen- und Risikomanagement auf unterschiedlichen Ebenen – Interaktion zwischen Betriebsumfeld und Projektumfeld	122
Abb. 4-10	Chancen- und Risikomanagementsystem	125
Abb. 4-11	Chancen- und Risikomanagementprozess	127
Abb. 4-12	Regelkreis für die Chancen- und Risikoidentifikation	132
Abb. 4-13	Systematischer und unsystematischer Lösungsweg	135
Abb. 4-14	Regelkreis für die Chancen- und Risikoeinschätzung	137
Abb. 4-15	Methoden der Chancen- und Risikobewertung (demonstrative Auswahl)	140
Abb. 4-16	Regelkreis für die Chancen- und Risikobewertung	141

Abb. 4-17	Methoden zur Chancenverstärkung	146
Abb. 4-18	Ablauf der Risikobewältigung	148
Abb. 4-19	Methoden zur Risikobewältigung	148
Abb. 5-1	Projektphasen	158
Abb. 5-2	Gegenüberstellung – Projektphasen und Leistungsphasen für Planer	160
Abb. 5-3	Beeinflussbarkeit der Kosten über die Projektlaufzeit	161
Abb. 5-4	Einsatz von Werkzeugen und Methoden des Chancen-Risikomanagements für AG und AN – Zuordnung zu den Projektphasen	164
Abb. 5-5	Kostentoleranzen bei professioneller Kostenplanung bzw. bei traditioneller Vorgehensweise	187
Abb. 6-1	Beispiel – Flächenermittlung mittels Monte-Carlo-Methode	193
Abb. 6-2	Beispiel – Flächenermittlung mittels Monte-Carlo-Methode – 125 Koordinatenpunkte	193
Abb. 6-3	Beispiel – Flächenermittlung mittels Monte-Carlo-Methode – Links: 250 Koordinatenpunkte – Rechts: 500 Koordinatenpunkte	194
Abb. 6-4	Einordnung von Experimentiermöglichkeiten inkl. Klassifikation von Simulationsmodellen	196
Abb. 6-5	Einordnung der Monte-Carlo-Simulation in die Teilbereiche der Mathematik	198
Abb. 6-6	Schematische Darstellung stufenweiser und wiederholender Iterationen	199
Abb. 6-7	Wahrscheinlichkeitsverteilung – Augenzahl eines Würfels	202
Abb. 6-8	Wahrscheinlichkeitsverteilung – Summe der Augenzahl von zwei Würfeln	203
Abb. 6-9	Verteilungsfunktion für die Aushubmengen der Bodenklasse 3-5	204
Abb. 6-10	Histogramm – Preis für den Aushub der gesamten Baugrube	205
Abb. 6-11	Funktionsweise der Monte-Carlo-Simulation	208
Abb. 6-12	Prinzipskizze – Monte-Carlo-Probenerhebungsverfahren – Beispiel für eine ungünstige Probenerhebung	211
Abb. 6-13	Prinzipskizze – Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren	212
Abb. 6-14	Einfluss der Anzahl an Iterationen auf die Darstellung der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation (Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren)	213
Abb. 6-15	Vergleich des Gesamt-Aufwandswerts für die Stahlbetonarbeiten mit unterschiedlichen Verteilungen der Inputparameter	220
Abb. 6-16	Addition zweier Verteilungsfunktionen mit unterschiedlicher Schiefe	222
Abb. 6-17	Subtraktion zweier Verteilungsfunktionen mit unterschiedlicher Schiefe	222
Abb. 6-18	Multiplikation zweier Verteilungsfunktionen mit unterschiedlicher Schiefe	223
Abb. 6-19	Division zweier Verteilungsfunktionen mit unterschiedlicher Schiefe	224
Abb. 6-20	Erhebungsmethoden für Korrelationen	225
Abb. 6-21	Summe aus zwei identischen Variablen in Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten	229

Abb. 6-22 Differenz aus zwei identischen Variablen in Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten 230
Abb. 6-23 Produkt aus zwei identischen Variablen in Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten 231
Abb. 6-24 Produkt von zwei Dreiecksverteilungen (2 | 6 | 10) mit einem Korrelationskoeffizienten von r = -1 232
Abb. 6-25 Quotient aus zwei identischen Variablen in Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten 233
Abb. 6-26 Summe aus elf identischen Variablen in Abhängigkeit der Korrelationen im Vergleich mit dem unkorrelierten Ergebnis 238
Abb. 6-27 Vergleich von fünf Berechnungsmodi – Ermittlung von Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten 240
Abb. 7-1 Arten der Erhebung von Verteilungsfunktionen 250
Abb. 7-2 Einfluss der Risikoneigung auf die Schiefe von Verteilungsfunktionen 252
Abb. 7-3 Qualitative Darstellung möglicher Ausprägungen von Verteilungsfunktionen – Entscheidungsstruktur 253
Abb. 7-4 Ablaufdiagramm – Datenfitting 260
Abb. 7-5 Einteilung in Grundrissklassen 262
Abb. 7-6 Fitting – Klasse 1: Schalarbeiten für Decken (Lagerung der Decken auf Stützen mit rundem Querschnitt) 266
Abb. 7-7 Vergleich zwischen einer Dreiecks- und der aus dem Fitting generierten LogLogistic-Verteilung 267
Abb. 7-8 Polygonal approximierte Verteilung 268
Abb. 7-9 LogLogistic-ähnliche Verteilung mit benutzerdefinierten Eingabedaten 271
Abb. 7-10 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Schalarbeiten – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG 274
Abb. 7-11 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Bewehrungsarbeiten – Stabstahl – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG 276
Abb. 7-12 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Bewehrungsarbeiten – Mattenstahl – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG 278
Abb. 7-13 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Betonierarbeiten – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG 280
Abb. 7-14 Datenfitting – Mengenabweichungen bei Mauerarbeiten – Oben: öffentliche AG – Unten: private AG 282
Abb. 7-15 Mengenabweichungen – Spannweiten der Expertenangaben und Bandbreiten der M-Schätzer 283
Abb. 7-16 Violinplots der Mengenabweichungen – Schalen, Bewehren, Betonieren und Mauern – Öffentliche und private AG 284
Abb. 7-17 Mögliche Korrelationen zwischen den Berechnungsparametern des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten 286
Abb. 7-18 Korrelationen zwischen den Parametern des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten 291

Abb. 7-19	Vergleich des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten auf Basis von unabhängigen und korrelierten Eingangsparametern	293
Abb. 7-20	Qualitative Darstellung eines Galtonbretts	295
Abb. 7-21	Wahrscheinlichkeiten für den Weg der Kugel durch die Hindernisse	296
Abb. 7-22	Schematische Überführung der Ergebnisse aus mehreren Versuchen mit dem Galtonbrett auf ein Histogramm	297
Abb. 7-23	Darstellung eines Outputs als Histogramm	298
Abb. 7-24	Darstellung eines Outputs als Summenkurve	299
Abb. 7-25	Normalverteilung – Standardabweichung	300
Abb. 7-26	Wahl des Angebotspreises im Hinblick auf den wirtschaftlichen und den Angebotserfolg	301
Abb. 7-27	Darstellung mehrerer Histogramme in einem Diagramm	302
Abb. 7-28	Variantenentscheidung anhand der μ-σ-Regel	303
Abb. 7-29	Variantenentscheidung anhand der μ-σ-Regel – z.B. Leistungs- und Produktivitätswerte	304
Abb. 7-30	Variantenentscheidung anhand der μ-σ-Regel – z.B. Kosten, Aufwandswerte	305
Abb. 7-31	Qualitative Gliederung der Inputparameter zur Berechnung von Tornadodiagrammen	306
Abb. 7-32	Beispiel – Tornadodiagramm (‚Tornado – Änderung in Ausgabe Mittelwert') – Kapitalwert	306
Abb. 7-33	Beispiel – Tornadodiagramm (‚Regressions-Koeffizient') – Kapitalwert	307
Abb. 7-34	Beispiel – Tornadodiagramm (‚Korrelations-Koeffizient') – Kapitalwert	308
Abb. 7-35	Beispiel – Tornadodiagramm (‚Regression – zugeordnete Werte') – Kapitalwert	309
Abb. 7-36	Punktdiagramm – Zusammenhang zwischen Einnahmen (Input) und Kapitalwert (Output)	310
Abb. 7-37	Spiderdiagramm – Zusammenhang zwischen der Änderung der Inputs und des Outputs (Kapitalwert)	311
Abb. 8-1	Zielsystem für den Lebenszyklus von Bauobjekten	317
Abb. 8-2	Zusammenhang zwischen Projektvorlaufzeit und Projektzielen	318
Abb. 8-3	Bewertung des Produktionssystems hinsichtlich der äußeren Einflüsse	320
Abb. 8-4	Histogramm für den mittleren Gesamt-Aufwandswert der Schalarbeiten – Gewählter Aufwandswert mit entsprechendem Chancen-Risikoverhältnis	325
Abb. 8-5	Aufwandswerte – Differenzierung der Betrachtungstiefe	326
Abb. 8-6	Bedeutung der Bauzeit für die Planungs- und Bauprozesse (demonstrative Aufzählung)	329
Abb. 8-7	Entwicklung der Produktionsfaktoren und der Produktivität über die Bauzeit	333
Abb. 8-8	Zusammenhang zwischen dem Kranproportionalitätsfaktor und der Bauzeit	336

Abb. 8-9 Vorgegebene Bauzeit des Bauherren im Vergleich zur normalen Bauzeit des Bieters/AN ... 339
Abb. 8-10 Verlauf der Aufwandswerterhöhungen – Vergleich zwischen Verlängerung und Verkürzung der Bauzeit – Stahlbetonarbeiten ... 342
Abb. 8-11 Verlauf der Aufwandswerterhöhungen und Produktivitätsverluste – Vergleich zwischen Verlängerung und Verkürzung der Bauzeit – Stahlbetonarbeiten ... 343
Abb. 8-12 Durchschnittliche Anzahl der gemeinsam auftretenden Produktivitätsverluste im Hochbau – Bei zu kurzer und zu langer Bauzeit ... 344
Abb. 8-13 Produktivitätsverluste – Vergleich der Ansätze von Oberndorfer, Petzschmann und Reister mit den Erkenntnissen aus der Expertenbefragung von Hofstadler ... 347
Abb. 8-14 Baukosten- und Aufwandswerterhöhung – Vergleich der Erkenntnisse aus der Expertenbefragung von Hofstadler (2012/13) mit der Expertenbefragung von Kummer/Hofstadler (2015) ... 349
Abb. 9-1 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 354
Abb. 9-2 Schematischer Berechnungsablauf – Grunderwerbskosten ... 355
Abb. 9-3 Schematischer Ablauf – Grundstücksaufbereitung ... 356
Abb. 9-4 Schematischer Ablauf – Direkte Baukosten ... 357
Abb. 9-5 Schematischer Ablauf – Baunebenkosten und Summe der Baukosten ... 357
Abb. 9-6 Schematischer Ablauf – Projektmanagement-Honorar ... 358
Abb. 9-7 Schematischer Ablauf – Finanzierungskosten ... 358
Abb. 9-8 Schematischer Ablauf – Gesamtinvestitionskosten ... 359
Abb. 9-9 Histogramm – Grunderwerbskosten ... 361
Abb. 9-10 Histogramm – Grundstücksaufbereitung ... 362
Abb. 9-11 Histogramm – Summe der direkten Baukosten ... 364
Abb. 9-12 Histogramm – Summe Baunebenkosten ... 365
Abb. 9-13 Histogramm – Summe Baukosten ... 365
Abb. 9-14 Histogramm – Summe Projektmanagement-Honorar ... 366
Abb. 9-15 Histogramm – Summe Finanzierungskosten ... 368
Abb. 9-16 Histogramm – Summe Gesamtinvestitionskosten ... 369
Abb. 9-17 Tornadodiagramm – Summe Gesamtinvestitionskosten ... 369
Abb. 9-18 Histogramme – Summe Gesamtinvestitionskosten – Vergleich ... 370
Abb. 9-19 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 371
Abb. 9-20 Methoden der Investitionsrechnung ... 373
Abb. 9-21 Systematik zur Ermittlung des Kapitalwerts ... 373
Abb. 9-22 Aufgabenstellung ... 374
Abb. 9-23 Schematisch Ablauf – Kapitalwert ... 375
Abb. 9-24 Histogramm – Kapitalwert ... 377

Abb. 9-25	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	378
Abb. 9-26	Zusammenhang zwischen Barwert und Endwert	379
Abb. 9-27	Endwerte für das gesamte Projekt – Betrachtungszeitraum 70 Jahre inkl. Histogramm des Endwerts am Ende der Betrachtungsperiode.	382
Abb. 9-28	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	384
Abb. 9-29	Risikominderung für die beteiligten Parteien – Fall A: begrenzte Erkundung – Fall B: angemessene Erkundung	385
Abb. 9-30	Konnex zwischen Mengenunsicherheiten und Stabilität der Einheitspreise – Qualitative Darstellung	386
Abb. 9-31	Schematisches Berechnungsmodell für die Ermittlung des Einheitspreises des Bodenaushubs	387
Abb. 9-32	Dreiecksverteilungen der Erkundungspreise, der Mengenabweichungen und der Aufschläge auf die Grundeinheitspreise – Fälle 1 bis 3	390
Abb. 9-33	Histogramme für die Gesamtpreise der drei Fälle	393
Abb. 9-34	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	395
Abb. 9-35	Kostenkennwerte für die Kosten eines Bauwerks (Kostengruppen 300+400 nach DIN 276) – Mehrfamilienhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten, mittlerer Standard	396
Abb. 9-36	Kostenkennwerte für die Kosten eines Bauwerks (Kostengruppen 300 + 400 nach DIN 276) – Mehrfamilienhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten, mittlerer Standard – 16 Vergleichsobjekte	397
Abb. 9-37	Regionalfaktoren 2016 für Europa	399
Abb. 9-38	Lageplan – Wohngebäude	400
Abb. 9-39	Schnitt A-A‘ – Wohngebäude	400
Abb. 9-40	Schematischer Ablauf – Kostenschätzung und -berechnung – Grob- und Detailbetrachtung	403
Abb. 9-41	Histogramm – Gesamtkosten – Grobbetrachtung	404
Abb. 9-42	Histogramm – Gesamtkosten – Detailbetrachtung	406
Abb. 9-43	Histogramme – Gesamtkosten – Grob- und Detailbetrachtung	407
Abb. 9-44	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	409
Abb. 9-45	Schematischer Ablauf – Kostenanschlag	410
Abb. 9-46	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	411
Abb. 9-47	Schematischer Ablauf – Bauzeitermittlung	412
Abb. 9-48	Histogramm – Dauer der Rohbauarbeiten	414
Abb. 9-49	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	416
Abb. 9-50	Prüfung der Preisangemessenheit für Auftraggeber der öffentlichen Hand	417
Abb. 9-51	Unterscheidung in Preisgrundlagen (PG) und Preiskomponenten (PK)	418
Abb. 9-52	Allgemeiner Ablauf zur Angebotsprüfung (beispielhaft für Prüfungen in Österreich)	419

Abb. 9-53	Plausibilitätsprüfung von Preisen bei Einheitspreisverträgen – Anteil Lohn	421
Abb. 9-54	Plausibilitätsprüfung von Preisen bei Einheitspreisverträgen – Anteil Sonstiges	422
Abb. 9-55	Auszug aus dem Leistungsverzeichnis des zu prüfenden Angebots	423
Abb. 9-56	Berechnung des Aufwandswerts aus dem Anteil Lohn	424
Abb. 9-57	Schematischer Ablauf der Modellbildung	425
Abb. 9-58	Histogramm des Vergleichs-Mischaufwandswerts	428
Abb. 9-59	Verteilung als Ergebnis einer Monte-Carlo-Simulation zur Veranschaulichung der Bestimmung einer Untergrenze für Aufwandswerte am Beispiel der Bewehrungsarbeiten	430
Abb. 9-60	Einordnung des Aufwandswerts aus der Angebotskalkulation in die Bandbreite der erklärbaren Aufwandswerte	430
Abb. 9-61	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	433
Abb. 9-62	Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs	436
Abb. 9-63	Spannweiten der Angebotspreise unter Berücksichtigung von Mengenunsicherheiten	439
Abb. 9-64	Histogramm – Differenz der Angebotspreise – Angebot A - Angebot B	440
Abb. 9-65	Histogramm – Differenz der Angebotspreise – Angebot G - Angebot C	440
Abb. 9-66	Histogramm – Rang des Angebots von Bieter C	441
Abb. 9-67	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	442
Abb. 9-68	Anatomie eines Trends	443
Abb. 9-69	Geradengleichung ohne (links) und mit Nulldurchgang (rechts)	445
Abb. 9-70	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	446
Abb. 10-1	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	454
Abb. 10-2	Auszug aus dem Leistungsverzeichnis	455
Abb. 10-3	Kalkulationsgrundlagen aus Sicht des AG und des Bieters	456
Abb. 10-4	Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs	457
Abb. 10-5	Aufwandswerte für das Verlegen von Stabstahl getrennt nach Biegeformen lt. VÖBV	460
Abb. 10-6	LogLogistic-ähnliche Verteilung – Aufwandswert für das Verlegen – Stabdurchmesser 20 mm – Biegeform: gerade	461
Abb. 10-7	LogLogistic-ähnliche Verteilung – Aufwandswert für das Verlegen – Stabdurchmesser 20 mm – Biegeform: gerade	462
Abb. 10-8	Histogramm für den Mischaufwandswert	463
Abb. 10-9	Histogramm für die Lohnkosten	464
Abb. 10-10	Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf	465
Abb. 10-11	Trapezverteilung der Arbeitskräfte über die Bauzeit	466
Abb. 10-12	Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs	467
Abb. 10-13	Histogramm für die erforderliche tägliche Leistung	468

Abb. 10-14 Histogramm für die mittlere Anzahl an Arbeitskräften ... 469
Abb. 10-15 Histogramm für die maximale Anzahl an Arbeitskräften ... 469
Abb. 10-16 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 470
Abb. 10-17 Zusammensetzung der Betriebsmittelzeit t_B ... 473
Abb. 10-18 Zusammenhang zwischen dem Kranproportionalitätsfaktor und der Bauzeit ... 474
Abb. 10-19 Trapezverteilung der Arbeitskräfte über die Bauzeit ... 474
Abb. 10-20 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs – Krananzahl aus Arbeitskräfteanzahl ... 475
Abb. 10-21 Trapezverteilung der Kranbelegung über die Bauzeit ... 477
Abb. 10-22 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs – Krananzahl aus Kranbelegungswerten ... 477
Abb. 10-23 Histogramm für die erforderliche Anzahl an Kranen – Bestimmt aus der Arbeitskräfteanzahl ... 478
Abb. 10-24 Balkendiagramm für die erforderliche Anzahl an Kranen – Bestimmt aus der Arbeitskräfteanzahl ... 479
Abb. 10-25 Histogramm der Kranbelegungszeit – Schalung ... 480
Abb. 10-26 Histogramm der Kranbelegungszeit – Bewehrung ... 481
Abb. 10-27 Histogramm der Betriebsmittelgrundzeit ... 482
Abb. 10-28 Histogramm der Betriebsmittelzeit ... 483
Abb. 10-29 Histogramm der Anzahl an erforderlichen Kranen ... 484
Abb. 10-30 Balkendiagramm für die erforderliche Anzahl an Kranen – Bestimmt mittels Kranbelegungswerten ... 484
Abb. 10-31 Vergleich der Balkendiagramme für die Anzahl der Krane – Oben: Bestimmung aus der maximalen Arbeitskräfteanzahl – Unten: Bestimmung mittels Kranbelegungswerten ... 485
Abb. 10-32 Histogramm der Anzahl an erforderlichen Kranen – Chancen- und Risikoverhältnis für vier Krane – Bestimmung mittels Kranbelegungswerten ... 486
Abb. 10-33 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 488
Abb. 10-34 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs – Chancen- und Risikoregister ... 490
Abb. 10-35 Eintrittswahrscheinlichkeit – Risiko 1 – Bernoulli-Verteilung ... 492
Abb. 10-36 Histogramm – Summe der Chancenwerte – Unterschiedliche Einstellungen der Gleitbegrenzer ... 493
Abb. 10-37 Histogramm – Summe der Risikowerte – Unterschiedliche Einstellungen der Gleitbegrenzer ... 494
Abb. 10-38 Anzahl gleichzeitig auftretender Chancen (oben) und Risiken (unten) ... 495
Abb. 10-39 Differenz aus Chancen- und Risikowerten ... 496
Abb. 10-40 Differenz aus Chancen- und Risikowerten – Risikopuffer für 80 % der Fälle ... 496
Abb. 10-41 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 498

Abb. 10-42 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs – Berechnung der normalen Bauzeit (Arbeitstage) ... 499
Abb. 10-43 Histogramm – Normale Bauzeit ... 500
Abb. 10-44 Histogramm – Normale Bauzeit ... 501
Abb. 10-45 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 503
Abb. 10-46 Schematische Darstellung der herzustellenden Decken (sechs Geschosse mit jeweils drei Fertigungsabschnitten) ... 504
Abb. 10-47 Schematischer Berechnungsablauf – Einzelkostenberechnung ... 505
Abb. 10-48 Histogramm – Einzelkosten – Trägerschalung ... 507
Abb. 10-49 Histogramm – Einzelkosten – Deckentische ... 509
Abb. 10-50 Histogramme – Einzelkosten – Vergleich ... 509
Abb. 10-51 Vergleich der Kostenentwicklung – Trägerschalung vs. Deckentische ... 510
Abb. 10-52 Histogramm – Grenzschalfläche ... 511
Abb. 10-53 Gegenüberstellung – Diagramm und Histogramm der Grenzschalfläche ... 512
Abb. 10-54 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 513
Abb. 10-55 Prozentuelle Vorhaltemenge in Bezug auf die vorgegebene Bauzeit – Ergebnis einer Expertenbefragung – M-Schätzer und exponentielle Trendanpassung ... 516
Abb. 10-56 Begrenzte Normalverteilung für die prozentuelle Vorhaltemenge bei einer kurzen Bauzeit (BZ = 2,5) – Wandschalung ... 519
Abb. 10-57 Begrenzte Normalverteilung für die prozentuelle Vorhaltemenge bei einer kurzen Bauzeit (BZ = 2,5) – Deckenschalung ... 520
Abb. 10-58 Prozentuelle Vorhaltemenge – Wandschalung ... 522
Abb. 10-59 Vorhaltemenge – Wandschalung ... 522
Abb. 10-60 Prozentuelle Vorhaltemenge – Deckenschalung ... 524
Abb. 10-61 Vorhaltemenge – Deckenschalung ... 524
Abb. 10-62 Vorhaltemenge – Vergleich zwischen kurzer und langer Bauzeit – Wandschalung ... 525
Abb. 10-63 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 526
Abb. 10-64 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs ... 527
Abb. 10-65 Histogramm – Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ... 528
Abb. 10-66 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 529
Abb. 10-67 Chancen-Risikoverhältnisse – Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ... 530
Abb. 10-68 Chancen-Risikoverhältnisse – Nachlass auf die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ... 531
Abb. 10-69 Chancen-Risikoverhältnisse – Maximaler Nachlass auf die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ... 532
Abb. 10-70 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 533
Abb. 10-71 Baupreisrisiko ... 534

Abb. 10-72 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs ... 536
Abb. 10-73 Gerätekosten – Normalverteilung ... 537
Abb. 10-74 Histogramm – Gesamtkosten ... 538
Abb. 10-75 Histogramm – Gesamtkosten – Simulation 2 ... 540
Abb. 10-76 Vergleich – Gesamtkosten – +/- 3 % um den Mittelwert ... 540
Abb. 10-77 Vergleich – Gesamtkosten – Chancen-Risikoverhältnis von 90 % zu 10 % ... 541
Abb. 10-78 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 543
Abb. 10-79 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs ... 545
Abb. 10-80 Histogramme für die Anzahl der Transporte – Schalung, Bewehrung und Beton ... 549
Abb. 10-81 Histogramm für die Gesamtanzahl der Transporte ... 550
Abb. 10-82 Histogramm für die mittlere Transportdichte pro Tag ... 550
Abb. 10-83 Histogramm für die maximale Transportdichte pro Tag ... 551
Abb. 10-84 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 552
Abb. 10-85 Schematischer Beschickungsvorgang mittels Kipplaster ... 553
Abb. 10-86 Zusammenhang – Geplante Bauzeit, tägliche Arbeitszeit und erforderliche stündliche Leistung ... 556
Abb. 10-87 Schematischer Berechnungsablauf – Technische Nutzleistung des Asphaltfertigers ... 558
Abb. 10-88 Schematischer Berechnungsablauf – Transportleistung der LKW-Flotte ... 559
Abb. 10-89 Histogramm – Technische Grundleistung des Asphaltfertigers ... 560
Abb. 10-90 Histogramm – Technische Nutzleistung des Asphaltfertigers ... 561
Abb. 10-91 Histogramm – Transportleistung eines LKWs ... 562
Abb. 10-92 Histogramm – Transportleistung der LKW-Flotte ... 563
Abb. 10-93 Histogramme – Vergleich der Leistungen ... 563
Abb. 10-94 Histogramm – Differenz der Leistungen ... 564
Abb. 10-95 Histogramme – Vergleich der Leistungen ... 565
Abb. 10-96 Histogramm – Leistung des Asphaltfertigers – Chancen-Risikoverhältnis: 80 % zu 20 % ... 565
Abb. 10-97 Zusammenhang – Geplante Bauzeit, tägliche Arbeitszeit und erforderliche stündliche Leistung – Chance und Risiko ... 566
Abb. 10-98 Histogramme – Vergleich der Leistungen – Erhöhte Anzahl der Transporter ... 567
Abb. 10-99 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf ... 568
Abb. 10-100 Profil des Schüttdamms – Qualitative Darstellung ... 569
Abb. 10-101 Schematischer Ablauf der Herstellung des Schüttdamms ... 569
Abb. 10-102 Zeitlicher Ablauf der Herstellung des Schüttdamms – Darstellung eines durchschnittlichen Arbeitstags ... 570
Abb. 10-103 Schematischer Berechnungsablauf – Transportleistung ... 571

Abb. 10-104 Schematischer Berechnungsablauf – Baggerleistung 573
Abb. 10-105 Schematischer Berechnungsablauf – Walzleistung 575
Abb. 10-106 Histogramm – Mittlere Ladungsmenge je Fahrt 576
Abb. 10-107 Histogramm – Schüttmenge pro Stunde (fest) 577
Abb. 10-108 Histogramm – Schüttmenge pro Tag (fest) 577
Abb. 10-109 Histogramm – Technische Grundleistung – Bagger 580
Abb. 10-110 Histogramm – Technische Nutzleistung – Bagger 580
Abb. 10-111 Histogramm – Dauer für das Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials 581
Abb. 10-112 Histogramm – Stündliche Leistung der Bagger für das Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials 581
Abb. 10-113 Histogramm – Durchschnittliche Geschwindigkeit der Bagger für das Verteilen und Vorverdichten 582
Abb. 10-114 Schematische Darstellung – Verteilen und Vorverdichten mit drei Baggern 583
Abb. 10-115 Histogramme – Vergleich – Stündliche Leistung der Bagger für das Verteilen und Vorverdichten des Schüttmaterials – Mit und ohne GPS Unterstützung 583
Abb. 10-116 Diskrete Verteilung des Inputparameters – Anzahl der Übergänge 585
Abb. 10-117 Histogramm – Technische Grundleistung der Walze 585
Abb. 10-118 Histogramm – Technische Nutzleistung der Walze 586
Abb. 10-119 Histogramm – Erforderliche Zeit für das Walzen von 1.000 m³ 587
Abb. 10-120 Histogramm – Vergleich der Leistungen – Transportleistung (8 h/d) – Baggerleistung mit und ohne GPS Unterstützung (1 h/d) – Walzleistung (1 h/d) 588
Abb. 10-121 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 590
Abb. 10-122 Ablaufdiagramm für den differenzierten Verfahrensvergleich 592
Abb. 10-123 Schnitt – Fachmarktzentrum 593
Abb. 10-124 Vergleich der Punktebewertungen für die drei Verfahren 597
Abb. 10-125 Balkendiagramm – Rang des Verfahrens C 598
Abb. 10-126 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 599
Abb. 10-127 Schematische Darstellung der herzustellenden Decken 599
Abb. 10-128 Schematischer Berechnungsablauf – Fließfertigung – Fertigungsabschnitt einer Decke 600
Abb. 10-129 Vernetzter Balkenplan – Fertigungsabschnitt einer Decke 602
Abb. 10-130 Vernetzter Balkenplan inkl. Histogramme – Fertigungsabschnitt einer Decke 603
Abb. 10-131 Histogramm – Dauer je Fertigungsabschnitt 604
Abb. 10-132 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 605
Abb. 10-133 Schematischer Berechnungsablauf – Lagerhaltung von Baustoffen 608
Abb. 10-134 Histogramm – Bestellintervall 609

Abb. 10-135 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 610
Abb. 10-136 Addition (links) und Aggregation (rechts) von Produktivitätsverlusten 611
Abb. 10-137 Verlauf der Aufwandswerterhöhungen – Verringerte Krankapazität – Stahlbetonarbeiten 613
Abb. 10-138 Verlauf der Aufwandswerterhöhungen – Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche – Stahlbetonarbeiten – Flächige Bauteile 614
Abb. 10-139 Histogramm – Erhöhter (neuer) Aufwandswert – Addition 618
Abb. 10-140 Histogramm – Erhöhter (neuer) Aufwandswert – Vergleich – Addition/Aggregation 619
Abb. 10-141 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 621
Abb. 10-142 Stahlbetonarbeiten für die Decken – Fließfertigung bei Schalarbeiten 622
Abb. 10-143 Versetzte Ende-Anfangsbeziehung zwischen Schalen und Bewehren 622
Abb. 10-144 Schematischer Berechnungsablauf – Ermittlung der Vorhaltemenge 624
Abb. 10-145 Histogramm – Bewehrungsmenge je Fertigungsabschnitt 625
Abb. 10-146 Histogramme – Leistung für das Einschalen und Bewehren 626
Abb. 10-147 Histogramm – Dauer für das Bewehren 627
Abb. 10-148 Histogramm – Standzeit der Schalung 628
Abb. 10-149 Histogramm – Vorhaltemenge der Deckenschalung 628
Abb. 10-150 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 629
Abb. 10-151 Qualitative Darstellung für die Ermittlung eines globalen Optimums für zwei zu optimierende Größen inkl. nicht vermeidbarer Streuungen 630
Abb. 10-152 Aufgabenstellung – Beschaffungsoptimierung 632
Abb. 10-153 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs 633
Abb. 10-154 Optimierungsfortschritt 637
Abb. 10-155 Vergleich der Gesamtkosten vor und nach der Optimierung 638
Abb. 10-156 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 639
Abb. 10-157 Trapezverteilung der Arbeitskräfte über die Bauzeit – Qualitative Darstellung 640
Abb. 10-158 Geplanter Baufortschritt 642
Abb. 10-159 Vergleich – Soll- und Ist-Baufortschritt 643
Abb. 10-160 Ablaufdiagramm – Trendanalysen und Prognosen auf Basis historischer Daten 644
Abb. 10-161 Vergleich – Soll- und Ist-Baufortschritt – Lineare Regressionen 645
Abb. 10-162 Vergleich – Soll- und Ist-Baufortschritt – Nichtlineare Regressionen 646
Abb. 10-163 Datenfitting des prozentuellen Fortschrittszuwachses der Stahlbetonarbeiten auf Basis historischer Daten 647
Abb. 10-164 Ist-Baufortschritt inkl. Prognose für den weiteren Baufortschritt 649
Abb. 10-165 Ist-Baufortschritt inkl. Prognose für den weiteren Baufortschritt – Histogramm für die Bauzeit bei Erreichen des Vertragsziels 650

Abb. 10-166 Histogramm für die Bauzeit bei Erreichen des Vertragsziels (= 100 % Baufortschritt) 650
Abb. 10-167 Ist-Baufortschritt inkl. Prognose für den weiteren Baufortschritt – Histogramm für den Baufortschritt für eine spezifische Bauzeit (= 290 d) 651
Abb. 10-168 Histogramm für den Baufortschritt für eine spezifische Bauzeit (= 290 d) 652
Abb. 10-169 Datenfitting des prozentuellen Fortschrittszuwachses der Stahlbetonarbeiten auf Basis historischer Daten der Anlaufphase (0 bis 120 d) 652
Abb. 10-170 Datenfitting des prozentuellen Fortschrittszuwachses der Stahlbetonarbeiten auf Basis historischer Daten der Hauptbauzeit (120 bis 240 d) 653
Abb. 10-171 Ist-Baufortschritt inkl. Prognose für den weiteren Baufortschritt – Histogramm für die Bauzeit bei Erreichen des Vertragsziels – Differenziertes Prognoseverfahren 654
Abb. 10-172 Vergleich der Histogramme für die Bauzeit bei Erreichen des Vertragsziels (= 100 % Baufortschritt) 655
Abb. 10-173 Nutzen von Trendanalysen und Prognosen auf Basis historischer Daten 656
Abb. 10-174 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 657
Abb. 10-175 Darstellung der Aufwandswerterhöhungen in Abhängigkeit der mittleren Tagestemperatur – Stahlbetonarbeiten 660
Abb. 10-176 Temperaturverlauf für die Messstation Linz-Stadt 661
Abb. 10-177 Aufwandswerterhöhungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Tagestemperaturen 662
Abb. 10-178 Erstreckung der Bauzeit über die Monate bei unterschiedlichem Baubeginn 663
Abb. 10-179 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs 664
Abb. 10-180 Lohnstundensumme in Abhängigkeit des Baubeginns 665
Abb. 10-181 Chancen-Risikoverhältnisse für die Lohnstundensumme in Abhängigkeit des Baubeginns 666
Abb. 10-182 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 667
Abb. 10-183 Histogramm für den Anteil Lohn – Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses für das Angebot 668
Abb. 10-184 Schematische Darstellung des Berechnungsablaufs 670
Abb. 10-185 Vergleich – Histogramme der Mischaufwandswerte 671
Abb. 10-186 Vergleich – Histogramme des Anteils Lohn 672
Abb. 10-187 Einordnung des Beispiels in den Projektverlauf 674
Abb. 10-188 Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses für neue Projekte 675
Abb. 10-189 Ablaufdiagramm – Chancen-Risikoverhältnis – Projektportfolio 677
Abb. 10-190 Kostenverteilung – Projekt C 679
Abb. 10-191 Histogramm – Summe der Kostenverteilungen (Projekte A bis E) 680
Abb. 10-192 Histogramm – Gewinn-Verlust-Betrachtung 680
Abb. 10-193 Histogramm – Neue Summe der Kostenverteilungen – Inkl. Projekt NEU 682

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1 Tuningkonstante k für die M-Schätzer nach Huber (‚Huber Proposal 2') 60

Tab. 2-2 Standardabweichungen der Summe mehrerer Variablen – Vergleich der Ergebnisse aus der mathematischen Berechnung und der Monte-Carlo-Simulation 64

Tab. 2-3 Bivariate Korrelationsarten 66

Tab. 4-1 Unterschiede zwischen Chancen und Risiken 124

Tab. 4-2 Übersicht der Methoden im Chancen- und Risikomanagementprozess 130

Tab. 6-1 Deterministische Berechnung der Einzelkosten für Stahlbetonarbeiten 207

Tab. 6-2 Probabilistische Berechnung der Einzelkosten für Stahlbetonarbeiten 207

Tab. 6-3 Auswertung ausgewählter Literaturansätze für Verteilungsfunktionen unterschiedlicher Parameter – Teil 1 215

Tab. 6-4 Auswertung ausgewählter Literaturansätze für Verteilungsfunktionen unterschiedlicher Parameter – Teil 2 216

Tab. 6-5 Auswertung ausgewählter Literaturansätze für Verteilungsfunktionen unterschiedlicher Parameter – Teil 3 217

Tab. 6-6 Beispielhafte deterministische Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten 218

Tab. 6-7 Beispielhafte Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts für Stahlbetonarbeiten – Dreiecksverteilungen 219

Tab. 6-8 Vergleich ausgewählter Literaturansätze zu Korrelationen – Teil 1 226

Tab. 6-9 Vergleich ausgewählter Literaturansätze zu Korrelationen – Teil 2 227

Tab. 6-10 Einfluss von Korrelationen auf die Streuung und den Mittelwert getrennt nach den vier Grundrechnungsarten 234

Tab. 6-11 Ansatz einer Korrelationsmatrix für den Fall, dass die Korrelationen zwischen der ersten und den nachfolgenden Variablen jeweils +0,9 entspricht 235

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1

Tab. 6-12 Automatisch von @Risk angepasste Korrelationsmatrix – Bezogen auf die Matrix in Tab. 6-11 235
Tab. 6-13 Anpassungsfaktor-Matrix – Bezogen auf die Matrix in Tab. 6-11 237
Tab. 6-14 Angepasste Korrelationsmatrix unter Berücksichtigung der Anpassungsfaktor-Matrix in Tab. 6-13 – Bezogen auf die Korrelationsmatrix in Tab. 6-11 237
Tab. 7-1 Datensätze aus der Expertenbefragung für die Grundrisse G_3, G_4 und G_5 263
Tab. 7-2 Skalierte Datensätze für die Grundrisse G_3, G_4 und G_5 265
Tab. 7-3 Koordinaten der polygonal approximierten LogLogistic-Verteilung (für die Klasse K_1) 269
Tab. 7-4 Neue Koordinaten der polygonal approximierten LogLogistic-Verteilung (für die Klasse K_1) 270
Tab. 7-5 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Schalarbeiten 273
Tab. 7-6 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Bewehrungsarbeiten – Stabstahl 275
Tab. 7-7 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Bewehrungsarbeiten – Mattenstahl 277
Tab. 7-8 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Betonierarbeiten 279
Tab. 7-9 Deskriptive Darstellung der Daten zur Mengenabweichung bei Mauerarbeiten 281
Tab. 7-10 Deskriptive Darstellung zu den Angaben der Korrelationen zwischen Parametern zur Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten – Teil 1 290
Tab. 7-11 Deskriptive Darstellung zu den Angaben der Korrelationen zwischen Parametern zur Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten – Teil 2 290
Tab. 7-12 Korrelationsmatrix mit den M-Schätzern der Expertenbefragung 292
Tab. 7-13 Eingabedaten für die Berechnung des Gesamt-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten 292
Tab. 8-1 Kranproportionalitätsfaktoren – Maximale Anzahl an Arbeitskräften, die je Kran ohne Produktivitätsverluste eingesetzt werden können – Einsatz eines Obendreher-Krans 336
Tab. 8-2 Deskriptive Darstellung der Daten zur Anzahl an Produktivitätsverlusten bei zu kurzer und zu langer Bauzeit im Hochbau 343
Tab. 8-3 Deskriptive Darstellung der Daten für den Zusammenhang zwischen Baukosten und Bauzeit – Zu kurze Bauzeit 348
Tab. 8-4 Deskriptive Darstellung der Daten für den Zusammenhang zwischen Baukosten und Bauzeit – Zu lange Bauzeit 348
Tab. 9-1 Berechnungstabelle – Grunderwerbskosten 360
Tab. 9-2 Berechnungstabelle – Grundstücksaufbereitung 362
Tab. 9-3 Berechnungstabelle – Direkte Baukosten 363
Tab. 9-4 Berechnungstabelle – Summe Baunebenkosten und Summe Baukosten 364

Tab. 9-5 Berechnungstabelle – Projektmanagement-Honorar ... 366
Tab. 9-6 Berechnungstabelle – Finanzierungskosten ... 367
Tab. 9-7 Berechnungstabelle – Summe Gesamtinvestitionskosten ... 368
Tab. 9-8 Berechnungstabelle – Summe Gesamtinvestitionskosten ... 375
Tab. 9-9 Berechnungstabelle – Kapitalwert ... 376
Tab. 9-10 Erwartete Eingangswerte zur Lebenszykluskostenberechnung ... 381
Tab. 9-11 Eingabewerte – Baukosten und Lebenserwartung ... 381
Tab. 9-12 Eingabewerte – Instandhaltungskosten ... 382
Tab. 9-13 Preise der Bodenerkundung ... 388
Tab. 9-14 Mengenabweichungen ... 388
Tab. 9-15 Grunddaten und Erhöhungsprozentsätze der Einheitspreise je Boden- und Kontaminierungsklasse bzw. betrachteten Fall ... 389
Tab. 9-16 Berechnungstabelle – Fall 1 ... 391
Tab. 9-17 Berechnungstabelle – Fall 2 ... 391
Tab. 9-18 Berechnungstabelle – Fall 3 ... 392
Tab. 9-19 Kostenkennwerte für Leistungsbereiche nach StLB (Kosten des Bauwerks nach DIN 276) – Mehrfamilienhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten, mittlerer Standard ... 398
Tab. 9-20 Berechnungstabelle – Kostenschätzung – Grobbetrachtung ... 404
Tab. 9-21 Berechnungstabelle – Kostenberechnung – Detailbetrachtung ... 405
Tab. 9-22 Berechnungstabelle – Bauzeitermittlung ... 413
Tab. 9-23 Berechnung des Vergleichs-Mischaufwandswerts ... 427
Tab. 9-24 Preisspiegel – LG 07 ... 435
Tab. 9-25 Berechnungstabelle – Angebotspreise bei unsicheren Mengen ... 438
Tab. 10-1 Kaliberverteilung – Ingenieurbau lt. VÖBV ... 458
Tab. 10-2 Biegeformverteilung – Ingenieurbau lt. VÖBV ... 458
Tab. 10-3 Kaliberverteilung – Ingenieurbau – Bandbreiten ... 459
Tab. 10-4 Biegeformverteilung – Ingenieurbau – Bandbreiten ... 459
Tab. 10-5 Aufwandswerte für das Verlegen von Stabstahl – Unterscheidung nach Biegeformen und Kaliber ... 460
Tab. 10-6 Ermittlung des Mischaufwandswerts ... 463
Tab. 10-7 Berechnungsparameter ... 467
Tab. 10-8 Maximale Anzahl an Arbeitskräften je Kran ... 471
Tab. 10-9 Ober- und Untergrenzen für die Kranbelegungswerte bei Stahlbetonarbeiten ... 472
Tab. 10-10 Mengenangaben – Schalung ... 475
Tab. 10-11 Mengenangaben – Bewehrung ... 476
Tab. 10-12 Mengenangaben – Beton ... 476

Tab. 10-13 Berechnung der Kranbelegungszeit – Schalung 479
Tab. 10-14 Berechnung der Kranbelegungszeit – Bewehrung 480
Tab. 10-15 Berechnung der Kranbelegungszeit – Beton 481
Tab. 10-16 Berechnung der Betriebsmittelzeit 482
Tab. 10-17 Berechnung der Anzahl an erforderlichen Kranen 483
Tab. 10-18 Chancenregister 491
Tab. 10-19 Risikoregister 491
Tab. 10-20 Berechnungstabelle – Normale Bauzeit 500
Tab. 10-21 Berechnungstabelle – Einzelkostenberechnung – Schalsystem A (Trägerschalung) 506
Tab. 10-22 Berechnungstabelle – Einzelkostenberechnung – Schalsystem B (Deckentische) .. 508
Tab. 10-23 Deskriptive Statistik – Vorhaltemenge – Wandschalung 515
Tab. 10-24 Deskriptive Statistik – Vorhaltemenge – Deckenschalung 516
Tab. 10-25 Berechnungstabelle – Vorhaltemenge – Wandschalung 521
Tab. 10-26 Berechnungstabelle – Vorhaltemenge – Deckenschalung 523
Tab. 10-27 Unvorhersehbare Einflüsse auf unterschiedliche Kostengruppen – Marktbezogen und leistungsbezogen 534
Tab. 10-28 Berechnungsansätze des AN 536
Tab. 10-29 Einflussnahme auf die Streuung – Marktbezogen und leistungsbezogen 539
Tab. 10-30 Berechnungsansätze des AN nach Wahrnehmung der Einflussmöglichkeiten 539
Tab. 10-31 Eingabewerte für die Transportgrade – Schalung, Bewehrung und Beton 546
Tab. 10-32 Berechnung der Anzahl an Transporten – Schalung 546
Tab. 10-33 Berechnung der Anzahl an Transporten – Bewehrung 547
Tab. 10-34 Berechnung der Anzahl an Transporten – Beton 547
Tab. 10-35 Berechnungstabelle – Erforderliche Leistung 554
Tab. 10-36 Erforderliche Leistung je Stunde in Abhängigkeit der täglichen Arbeitszeit und der geplanten Bauzeit 555
Tab. 10-37 Betriebsfaktor 557
Tab. 10-38 Berechnungstabelle – Leistung des Asphaltfertigers 560
Tab. 10-39 Berechnungstabelle – Transportleistung der LKW-Flotte 562
Tab. 10-40 Berechnungstabelle – Transportleistung 576
Tab. 10-41 Berechnungstabelle – Leistung der Bagger 578
Tab. 10-42 Spielzahl [1/h] 579
Tab. 10-43 Schildfaktor 579
Tab. 10-44 Berechnungstabelle – Leistung der Walze 584
Tab. 10-45 Entscheidungsmatrix – Teil 1 595
Tab. 10-46 Entscheidungsmatrix – Teil 2 596

Tab. 10-47 Berechnungstabelle – Dauer für das Schalen, Bewehren und Betonieren eines Fertigungsabschnitts ... 602
Tab. 10-48 Berechnungstabelle – Bestellintervall ... 609
Tab. 10-49 Eingangsparameter der probabilistischen Berechnung ... 615
Tab. 10-50 Berechnungstabelle für die Ermittlung der addierten (Spalte C) und aggregierten (Spalte D) Produktivitätsverluste ... 616
Tab. 10-51 Inputparameter zur Berechnung der Vorhaltemenge der Deckenschalung ... 625
Tab. 10-52 Entfernungen zwischen Mischwerken und Baustellen ... 633
Tab. 10-53 Betonkosten – Dreiecksverteilungen ... 634
Tab. 10-54 Kapazitäten der Mischwerke ... 634
Tab. 10-55 Betonbedarf der Baustellen ... 634
Tab. 10-56 Bestellmatrix ... 635
Tab. 10-57 Anzahl der Transporte ... 635
Tab. 10-58 Transportkosten je Distanz – Deterministische Berechnung ... 635
Tab. 10-59 Bestellmatrix – Ergebnis der probabilistischen Optimierung ... 637
Tab. 10-60 Anzahl der Transporte – Ergebnis der probabilistischen Optimierung ... 638
Tab. 10-61 Ist-Baufortschritt ... 642
Tab. 10-62 Ist-Baufortschritt inkl. Differenzen ... 647
Tab. 10-63 Deterministische Inputparameter ... 660
Tab. 10-64 Kaliberverteilung – Ist ... 669
Tab. 10-65 Biegeformverteilung – Ist ... 669
Tab. 10-66 Ermittlung des Ist-Mischaufwandswerts ... 671
Tab. 10-67 Berechnungstabelle – Projektportfolio ... 679
Tab. 10-68 Berechnungstabelle – Projektportfolio mit neuem Projekt ... 681

Sachverzeichnis

A

Abbruchkriterium 199, 618
Adverse Selektion 91
Aggregation 182, 199, 610
Angebotsanalyse 171, 415
Angebotsbearbeitung 176
Angebotskalkulation 325
Angebotspreis 301
Angebotsprüfung 170, 324, 411, 416, 419, 430, 431
Angebotssumme 677
Anlaufphase 171, 333, 641
Anpassungsfaktor-Matrix 237, 243
Anzahl der Übergänge 574
Arbeitsflächenreduktion 614
Arbeitskräfteanzahl 173, 175, 335, 413, 465, 467, 471, 641
Arbeitskräfteverhältnisfaktor 337, 466, 640
Arbeitsproduktivität 612, 661
Asphaltfertigung 552
Aufklärungsgespräch 420
Auflockerungsfaktor 572
Aufschaukelung 182, 611
Auftragsvergabe 159
Aufwandswert 38, 173, 176, 261, 286, 324, 341
Aufwandswerterhöhung 342, 614, 659
Ausführungsplanung 159
Ausführungsvorbereitung 159
Auslaufphase 171, 333, 641
Ausreißer 59, 212
Ausreißerbereinigung 58
Ausschalfrist 623
Ausscheidungskriterien 590
Ausschreibungsmenge 433
Ausschreibungsqualität 118
Ausschreibungsunterlagen 415

B

Backtracking-Verfahren 631
Bandbreite 62
Bauausführung 161
baubegleitende Planung 159
Baugrund 168, 384
Baugrundanalyse 168, 384
Baugrunderkundung 168, 384
Baugrundrisiko 168, 384
Baukosten 84, 169, 318, 326, 356, 362
Baulogistik 179
Baunebenkosten 357, 364
Baupreisrisiko 533
Baustellenbeobachtung 254
Baustelleneinrichtung 330
Baustellenfaktor 557, 572
Baustellenlogistik 470
Bauverfahren 181
Bauzeit 84, 171, 174, 326, 329, 335, 341
Bauzeitermittlung 171, 174, 411, 497

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Hofstadler und M. Kummer, *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*, DOI 10.1007/978-3-662-54319-1

Bauzeitüberschreitung 656
Bauzeitveränderung 342
Bauzeitverlängerung 340
Bauzeitvorgabe 415
Bedarfsanmeldung 158
Bedarfsplanung 158
Beeinflussbarkeit der Kosten 161
begrenzte Normalverteilung 520
Bernoulli-Verteilung 54, 489
Beschaffungslogistik 183
Beschaffungsoptimierung 183, 629
Beschaffungsvorrat 606
Beschaffungszeit 606
Bestbieterprinzip 441
Bestellintervall 607
Bestellkombination 636
Bestellrhythmusverfahren 605
BetaGeneral-Verteilung 402
Betonierverfahren 498
Betonlieferungen 631
Betrachtungszeitraum 382
Betriebsfaktor 557, 572, 574, 585
Betriebsmittelgrundzeit 472
Betriebsmittelzeit 472
Betriebsumfeld 122
Bewehrungsarbeiten 424, 454, 668
Bewehrungsgrad 286
Bezugsbasis 38, 40
Bezugskosten 630
Bezugszeitpunkt 46
Biegeformverteilung 455, 668
Bieterreihenfolge 171, 434
Bietersturz 165, 172, 434
Billigstbieter 439
BIM 96
BIM 3D-Modell 100
BIM 4D-Modell 101
BIM 5D-Modell 101
BIM 6D-Modell 101
BIM 7D-Modell 102
BIM 8D-Modell 103
BIM 9D-Modell 103
BIM-Modell 256
Binomialverteilung 295, 489
Black Box 243
Black Swan 135
Bodenklasse 168, 203, 386
Boxplot 283, 341
Budgetsicherheit 496

C

Cash-Flow 372
Chance 21, 24, 32, 34, 39, 488
Chancen- und Risikobewertung 140
Chancen- und Risikodokumentation 152
Chancen- und Risikoeinschätzung 136
Chancen- und Risikoerkennung 129
Chancen- und Risikoidentifikation 128
Chancen- und Risikomanagement 109
Chancen- und Risikomanagementprozess 127
Chancen- und Risikomanagementsystem 125
Chancen- und Risikomonitoring 151
Chancen- und Risikooptimierung 139
Chancen- und Risikopolitik 120
Chancen- und Risikoreflexion 152
Chancen- und Risikosynthese 128
Chancenakzeptanz 147
Chancendiversifikation 147
Chancenerhöhung 147
Chancenkreierung 146
Chancenpotenzial 529
Chancen-Risikoaffinität 119
Chancen-Risikoanalyse 139
Chancen-Risikocheckliste 134
Chancen-Risikoregister 174, 487
Chancen-Risikoverhältnis 5, 40, 81, 103, 109, 117, 149, 161, 239, 243, 294, 299, 530, 535, 677
Chancentransfer 147
Chancenverstärkung 145
Chaoskegel 43

D

Daten 31, 46, 48, 69, 79
Datenerhebung 249, 256, 272
Datenfitting 69, 255, 258, 260, 273
Datenqualität 84, 87

Debriefing 152
Deckenschaltisch 593
Deckenschalung 515
Deckenschalungssystem 175, 593
Deckentisch 175, 503
Delphi-Methode 254, 258
Determinismus 49
Developer-Rechnung 166, 353
Dichtefunktion 52
differenzierter Verfahrensvergleich 593
Digitalisierung 95
Diskontierung 167
Dispositionszeit 606
Dokumentation 45, 81
Dreiecksverteilung 54, 207, 218
Durchsatz 605

E

Effektivität 4
Effizienz 4
Eigenwert 234, 236
Einschalleistung 623
Eintrittswahrscheinlichkeit 23, 26, 36, 174, 488
Einzelkosten 527, 529
Einzelkostenberechnung 206
Einzelproduktivitätsverlust 613
Einzelrisiken 174
Empfindlichkeitsanalyse 243, 305
Ende-Anfangsbeziehung 602
Endwert 168, 380
Engpassleistung 180, 552, 589
Entscheidungsfindung 23, 102, 129, 139, 151, 177, 294, 303, 592
Entscheidungsmatrix 181, 509, 593
Entscheidungstheorie 27
Entwurf 158
Erdbau 180, 567
Erhebungsmethode 250, 259
Erklärbarkeit der Preise 431
erwarteter Wert 58
Erwartungsstruktur 27
Erwartungswert 58
Expertenbefragung 113, 249, 257, 262, 272, 285, 341, 343, 514, 613, 659
Expertenwert 58
exponentielle Trendlinie 518
Extremwert 59, 212

F

Facility-Management 102
Fertigstellungstermin 603
Fertigungsablauf 621
Fertigungsablaufplanung 181, 598
Fertigungsabschnitt 503, 599
Fertigungsrhythmus 603
Filter 205
Finanzierungskosten 359, 366
Fitting 255, 261, 266
Forcierung 340
Forcierungsmaßnahme 612
Formparameter 266, 401
Fortschrittsdaten 445
Frequenz 27
Führungsglied 132, 136, 141
Füllungsfaktor 572, 579

G

Galtonbrett 294
Gauß‘sches Fehlerfortpflanzungsgesetz 63
Gebäudedokumentation 102
Gebäudemanagement 102
Gefahr 21, 23, 24, 32, 34
Genehmigungsplanung 158
Geradengleichung 645
Geräteanzahl 173, 470
Gerätekette 180, 552, 568
Gerätekosten 506, 537
Gerätepreis 422
Gesamt-Aufwandswert 206, 218, 285, 292
Gesamt-Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten 466
Gesamtinvestitionskosten 354, 359, 368
Gesamtproduktivität 2, 3, 319
Gesetz der großen Zahlen 194
Gewährleistungsfrist 160

Gleitbegrenzer 202, 298
GPS 571, 573, 578, 583
Grenzschalfläche 504, 510
Grund- und Demontage 504
Grunderwerbskosten 356, 359
Grundgesamtheit 48
Grundrissklasse 262
Grundstücksaufbereitung 356, 361

H

Hauptbauphase 333
Hauptbauzeit 171, 333, 546, 641
Hauptsystem 6
Hidden action 89
Hidden characteristics 89
Hidden information 89
Hidden intention 89
Hidden property 89
Histogramm 40, 57, 207, 212, 298, 302
historische Daten 30, 42, 69, 86, 163, 254
Höchstbestand 606

I

Indifferenzkurve 303
Information 79
Informationsasymmetrie 89
Informationsbenutzer 82, 94
Informationsbeschaffung 87
Informationserzeuger 82, 94
Informationsfluss 82
Informationsgenerierung 93
Informationsknappheit 23
Infrastrukturbau 378
Ingenieurbau 426
Instandhaltung 168
Instandhaltungskosten 381
integrale Planung 162
Intersubjektivität 250
Investitionsentscheidung 166
Investitionskosten 166
Investitionsrechnung 372
Iteration 44, 199, 212

K

Kaliber 457, 668
Kalkulation 176, 526
Kalkulationsannahmen 415, 456
Kalkulationsformblätter 418
Kalkulationsrisiko 177, 528
Kalkulationszinssatz 374
Kapitalreserve 494
Kapitalwert 166, 168, 306, 376, 380
Kapitalwertmethode 374
K-Blätter 418
Klassenhäufigkeiten 57
Know-how 80
Know-why 82
Kombinatorik 8, 50, 51
Komplexität 8, 9, 323
Kompliziertheit 262
Konsequenz 23, 174, 488
Kontaminierungsklasse 386
Konvergenzkriterium 266
Korrelation 66, 208, 224, 285, 287
Korrelationskoeffizient 68, 224, 285, 308
Korrelationsmatrix 234, 243
Kostenanschlag 170, 408
Kostenberechnung 169, 394
kostendeckende Preise 526
Kostendeckung 430
Kostenermittlung 187, 526
Kostengruppe 168, 534
Kostenkennwerte 169, 395
Kostenminimum 339
Kostenprognose 186
Kostenschätzung 169, 394
Kostentrichter 162, 186
Kovarianz 67, 230, 444
Kranart 471
Kranbelegungswert 174, 471
Krankapazität 613
Kran-Kapazitätsreduktion 613
Kranproportionalitätsfaktor 335, 471, 498
Krantyp 498

L

Ladefaktor 572
Lageparameter 58, 59
Lagerbestand 607
Lagerhaltung von Baustoffen 181, 605
Latin Hypercube Probenerhebungsverfahren 203, 210
Lebenserwartung 381
Lebenszyklusbetrachtung 371
Lebenszykluskosten 102, 166, 167, 317, 373
Lebenszykluskostenberechnung 167, 378
Lebenszykluskostenbetrachtung 166
Lebenszykluskostenmodell 379
Lebenszyklusproduktivität 102
Leistungsberechnung 180, 567
Leistungsbereich 405
Leistungserbringung 409
Leistungsfortschritt 605, 640
Leistungsphase 161, 186
Leistungsverzeichnis 159, 171, 409, 415, 433
Leitgerät 173, 411
Leitmenge 165, 173
linksschief 57, 221
LKW-Flotte 552
Logistik 179, 542
Logistikkonzept 542
LogLogistic-ähnliche Verteilung 218, 271, 460
LogLogistic-Verteilung 266
LogTriangular-Verteilung 218
Lohn- und/oder Sozialdumping 331, 420
Lohnstundensumme 664
lückenlose Dokumentation 78, 95

M

Management Science 51
Managementinstrument 449
Marktpreisniveau 177, 300, 682
Marktversagen 91
Materialpreise 423
Median 58
Mehrkosten 667
Mehrkostenermittlung 184, 666
Meldebestand 606
Mengenabweichung 272
Mengenangaben 172
Mengenanteile 386, 670
Mengenmehrung 272
Mengenminderung 272
Mengenüberschreitung 283
Mengenunsicherheiten 172, 434, 454
Mengenunterschreitung 283
Mengenverteilung 455
Messbarkeit 25, 30
Messglied 134, 138, 144
Mindestarbeitsfläche 613
Mindestaufwandswert 429
Mindestbestand 606
Minimalprinzip 55, 162, 165
Mischaufwandswert 424, 457, 670
Mischpreiskalkulation 172, 184, 454
Mischpreisposition 172, 394, 667
Mischwerke 631
Mittelwert 58, 300
Modalwert 58
Modellbildung 213
Modus 58
Monte-Carlo-Methode 191
Monte-Carlo-Probenerhebungsverfahren 210
Monte-Carlo-Simulation 51, 63, 197, 242, 249
M-Schätzer 58, 59, 291, 341, 514, 613, 659
Multimodalität 56
Multimomentaufnahme 78

N

Nachhaltigkeitsbewertung 101
Nachkalkulation 254
Nachlass 40, 530
nichtlineare Regressionsanalyse 645
Nichtlinearität 103
Normalaufwandswert 324
normale Bauzeit 117, 334, 336, 339, 498
Normalleistung 324
Normal-Produktivität 319, 611, 658
Normalverteilung 61, 62, 218, 295, 300,

518, 535
Normierung 205
Nullkalkulation 117, 172, 176, 526
Numerik 52, 198
Nutzungsdauer 168, 372, 380
Nutzungszeit 472
Nutzwertanalyse 590

O

Operations Research 51, 243, 620
optimale Tagestemperatur 658
Optimierung 51, 183, 196, 243, 629
Optimierungsalgorithmus 630
Optimierungsfortschritt 636
Organisationsebene 124

P

Pauschalpreisvertrag 431
Performance 33
PERT-Verteilung 55, 218, 401, 676
Planung 42, 158
Planungsprozess 327
Plausibilitätsprüfung 224
Portfolio 185
Portfoliomanagement 185, 446
Portfoliotheorie 447
Praktikermethode 174, 488
Präzision 5
Preisbildung 532
Preisermittlung 177, 532
Preisgrenze 530
Preisgrundlagen 417
Preiskomponenten 417
Preisspiegel 434
Prinzipal-Agent-Theorie 90
Probabilismus 50
Probabilistik 47, 50, 197, 198
probabilistische Trendanalyse 657
Probenerhebungsverfahren 210
Produktionsfaktor 1, 3, 78, 83, 86, 92, 101, 117, 163, 171, 319
Produktionssystem 2, 10, 320
Produktivität 2, 39, 174, 319, 341, 610, 659
Produktivitätsverlust 117, 182, 321, 342, 347, 610
Produkt-Moment-Korrelation 67
Prognose 5, 42, 240, 444, 646
Prognosehorizont 45
Projektabschluss 160
Projektbewertung 160
Projektebene 126
Projektentwicklung 158
Projektentwicklungsrechnung 166, 353
Projektmanagement-Honorar 358, 366
Projektphase 4, 86, 98, 99, 115, 126, 158, 164, 320
Projektportfolio 673
Projektportfoliomanagement 185, 186, 673
Projektumfeld 122, 321
Projektvorbereitung 158, 161
Projektvorlaufzeit 318
Prophezeiung 42
Pseudozufallszahl 209
Punktdiagramm 309
Punktwolke 310

Q

Qualität 322
Quality Gate 158
Quantil 61
Quantität 322
Quartile 62

R

Randstunde 327
Rangkorrelation 68, 308
Rangreihenfolge 437
Raupenfertiger 552
Realisierungsbeschluss 158
Rechteckverteilung 55, 218
rechtsschief 57, 221
REFA 78
REFA-Methodenlehre 7
REFA-Systematik 257

Regelgeschoss 601
Regelkreis 131, 137, 141
Regelstrecke 133, 138, 144
Regelwerke 110
Regionalfaktor 399
Regression 442, 644
Regressionskoeffizient 307
Resilienz 186, 674
Ressourceneinsatz 411
Richtigkeit 5
Risiko 21, 23, 26, 32, 34, 39, 174, 488
Risikoaffinität 251, 304
Risikoakzeptanz 151
Risikoaversion 251, 303
Risikobereitschaft 300
Risikobewältigung 145
Risikocontrolling 151
Risikodiversifikation 150, 677
Risikoeinstellung 251
Risikofelder 114
Risikogleichung 24
Risikokultur 121
Risikomanagement 109
Risikomanagementansätze 113
Risikoneigung 116
Risikoneutralität 251
Risikopolitik 147
Risikopotenzial 116, 118, 529
Risikopräferenz 251
Risikopuffer 496
Risikoquelle 115
Risikostrategie 149
Risikotransfer 150
Risikoverfolgung 151
Risikovermeidung 149
Risikoverminderung 149
Risikovorsorge 151
Rohbauarbeiten 413

S

Schaden 23
Schalsystem 504
Schalungsfläche 176, 183
Schalungsgrad 286
Schalungsleistung 621
Schalungsverhältnisgrad 522
Schalungsvorhaltemenge 514
Schaufelraddiagramm 310
Schiefe 56, 221, 252
Schildfaktor 572, 579
Schildfüllung 572
Schlüsselgerät 173
Schüttdamm 567
Schüttmaterial 567
Sensitivitätsanalyse 227, 240, 593
Sicherheit 24, 36, 49
Sicherheitsbestand 606
Sicherheitsniveau 62, 566
Sicherheitstechnik 503
Simulation 195
Simulationsmodell 195
Simulationswürdigkeit 241
Soll-Ist-Vergleich 165, 170, 178, 639
Spannweite 62
Spekulation 172
Spiderdiagramm 310
Spieltheorie 51, 198
Spielzahl 572, 578
Stahlbetonarbeiten 206, 218, 285, 292, 527, 529, 612
Standardabweichung 61, 300, 303
Standzeit der Schalung 623
Statistik 48, 50, 197
Steuerglied 133, 136, 142
Steuerungsinstrument 683
Stichprobe 48
Stochastik 47, 50, 51, 197
Straffunktion 103
Streuung 60, 233, 241
Summenkurve 53, 210, 298
SWOT-Analyse 147, 241
Syntax 80
System 6, 8, 174, 195
Szenario 199, 338

T

technische Grundleistung 557, 572, 574, 585
technische Nutzleistung 557, 572, 585

Temperatur 184
Temperaturdaten 660
theoretische Überlegungen 249
Toleranzrahmen 162
Tornadodiagramm 305, 369
Trägerschalung 175, 503, 593
Transportanzahl 179, 542
Transportdichte 179
Transportgrad 543
Transportintensität 330
Transportkette 180
Transportkosten 630
Transportleistung 556, 571
Transportzeit 606
Trapezmodell 171, 173, 333, 466, 474, 640
Trendanalyse 69, 178, 183, 442
Trendanpassung 516
Trendaussage 42
Trichterexperiment 10
Tuningkonstante 60

U

Übergabe 160
Übernahme 160
Überschreitungswahrscheinlichkeit 298
Ungewissheit 21, 23, 26, 37
Unsicherheit 5, 9, 11, 21, 28, 36, 117, 206, 239, 261, 296, 347
Unter-Aufwandswert 171, 324
Unterpreis 431
Unterschreitungswahrscheinlichkeit 298
Untersystem 6
Unwissen 28, 37
Utopie 42

V

Varianz 60, 229, 303
Variationskoeffizient 64, 65
Verdichtungsleistung 180, 567
Verfahrensauswahl 181, 589
Verfahrensvergleich 175, 502
Verfahrenswahl 175
Vergabeentscheidung 171, 433, 440
Verteilung 214, 253
Verteilungsart 249
Verteilungstyp 249
vertiefte Angebotsprüfung 415, 432
Vertragsbauzeit 654
Violinplot 283, 291
Vision 42
Vorbereitung der Vergabe 161
Vorentwurf 158
Vorhaltemenge 175, 183, 513, 546, 620
Vorhaltemengenermittlung 175, 513
Vorratsmenge 181, 605
Vorratssicherung 605
Vorratszeit 606
Vorverdichtung 567

W

Wagnis 34, 40
Wagniszuschlag 41, 535
Wahl des Baubeginns 658
Wahrscheinlichkeit 9, 23, 48
Wahrscheinlichkeitsrechnung 47, 197
Walze 567
Walzleistung 574
Wandschalung 514
Werthaltigkeit 672
Wettbewerb 532
Wettbewerbsintensität 118
Wettbewerbssituation 117
Wettbewerbsvorteil 81
Wettervorhersage 45
Wissen 76, 79
Wissensarbeit 45
Wissensmanagement 93
Wissensmanagementsystem 81
Wissensspeicher 78, 133, 138, 141
Wissensträger 77
Wissenstreppe 79
Witterung 184, 322, 657

Z

Zahlungsströme 167
Zeitfaktor 572, 579
Zeitreihenanalyse 443
zentraler Grenzwertsatz 62
Zielabweichung 36
Zielsystem 317
Zinssatz 168
Zirkelbezug 618
Zufallsexperiment 48, 59
Zufallsgenerator 192, 209
Zufallsstichprobe 255
Zufallsvariable 52, 197, 201, 210
Zufallszahl 194

Lizenz zum Wissen.

Sichern Sie sich umfassendes Technikwissen mit Sofortzugriff auf tausende Fachbücher und Fachzeitschriften aus den Bereichen: Automobiltechnik, Maschinenbau, Energie + Umwelt, E-Technik, Informatik + IT und Bauwesen.

Exklusiv für Leser von Springer-Fachbüchern: Testen Sie Springer für Professionals 30 Tage unverbindlich. Nutzen Sie dazu im Bestellverlauf Ihren persönlichen Aktionscode **C0005406** auf *www.springerprofessional.de/buchaktion/*



Jetzt 30 Tage testen!

Springer für Professionals.
Digitale Fachbibliothek. Themen-Scout. Knowledge-Manager.

- Zugriff auf tausende von Fachbüchern und Fachzeitschriften
- Selektion, Komprimierung und Verknüpfung relevanter Themen durch Fachredaktionen
- Tools zur persönlichen Wissensorganisation und Vernetzung

www.entschieden-intelligenter.de

Springer für Professionals

Springer