

erence
Springer Reference

Günter W. Maier
Gregor Engels
Eckhard Steffen *Hrsg.*

Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten

Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten

Günter W. Maier • Gregor Engels
Eckhard Steffen
Hrsg.

Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten

mit 61 Abbildungen und 12 Tabellen

Hrsg.

Günter W. Maier
Arbeitseinheit Arbeits- und
Organisationspsychologie, Abteilung
Psychologie & Research Institute for
Cognition and Robotics (CoR-Lab)
Universität Bielefeld
Bielefeld, Deutschland

Gregor Engels
Universität Paderborn
Paderborn, Deutschland

Eckhard Steffen
Universität Paderborn
Paderborn, Deutschland

ISBN 978-3-662-52898-3 ISBN 978-3-662-52979-9 (eBook)
ISBN 978-3-662-52978-2 (print and electronic bundle)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-52979-9>

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

Springer

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2020

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 allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

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.

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Inhaltsverzeichnis

Teil I Einführung	1
Einleitung	3
Günter W. Maier, Gregor Engels und Eckhard Steffen	
Teil II Gestaltung der digitalisierten Arbeit	19
Sicherheit und Gesundheit in der digitalen Arbeitswelt	21
Lars Adolph, Britta Kirchhoff und Jan-Hendrik Geilen	
Strategische Planung	35
Jürgen Gausemeier, Daniel Eckelt und Christian Dülme	
Wie digitale Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle die Arbeitswelt verändern	59
Christoph Plass	
Psychologische Arbeitsgestaltung digitaler Arbeitswelten	87
Lisa Mlekus, Sonja K. Ötting und Günter W. Maier	
Digitalisierte Arbeit: Arbeitsrechtliche Aspekte	113
Oliver Ricken	
Industrial Security by Design	139
Christopher Gerking, Eric Bodden und Wilhelm Schäfer	
Technikgestaltung und Ethik für die Arbeitswelt 4.0	163
Klaus Mainzer	
Digitale Zukunft: ein inter- und transdisziplinäres Thema	189
Dagmar Simon und Eckhard Steffen	

Teil III Umsetzung der digitalisierten Arbeit	201
Vernetzte Arbeitsumgebungen	203
Timm Hörmann und Ulrich Rückert	
Flexible Arbeitsprozesse	223
Gregor Engels und Alexander Teetz	
Mitbestimmung 4.0: Die digitale Arbeit menschenwürdig gestalten	245
Wolfgang Nettelstroth und Gabi Schilling	
Wissensmanagement unter Bedingungen von Arbeit 4.0	267
Christian Harteis und Christoph Fischer	
Betriebsorganisation	285
Martin Schneider, Christian Manfred Wilke und Anja Iseke	
Personalwirtschaft	303
Martin Schneider und Simon Eisele	
Kollaborative Roboter: universale Werkzeuge in der digitalisierten und vernetzten Arbeitswelt	323
Jochen J. Steil und Günter W. Maier	
Change Management für die Einführung digitaler Arbeitswelten	347
Katharina D. Schlicher, Agnieszka Paruzel, Barbara Steinmann und Günter W. Maier	
Produktentstehung im Zeitalter von Industrie 4.0	383
Iris Gräßler und Alexander Pöhler	
Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung	405
Roman Dumitrescu, Christian Tschirner und Michael Bansmann	
Teil IV Folgen der digitalisierten Arbeit	433
Entwicklung der Beschäftigungsstruktur durch Digitalisierung von Arbeit	435
Martin Diewald, Björn Andernach und Eva Susanna Kunze	
Digitalisierte Arbeit und private Lebensführung	453
Martin Diewald, Eva Susanna Kunze und Björn Andernach	
Assistierende Technologie zur Förderung beruflichen Entwicklungspotenzials	471
Kai Essig, Benjamin Strenge und Thomas Schack	

Über die Herausgeber

Prof. Dr. Günter W. Maier leitet den Lehrstuhl für Arbeits- und Organisationspsychologie an der Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft der Universität Bielefeld. Er ist stellvertretender Sprecher des NRW Forschungskollegs „Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten – Menschenzentrierte Nutzung von Cyber-Physical Systems in Industrie 4.0“ und des NRW Forschungsschwerpunkts „Digitale Zukunft“. Er koordiniert das Themenfeld „Technik und Gesellschaft“ am CoR-Lab der Universität Bielefeld, einem führenden transdisziplinären Kompetenzzentrum für anwendungsorientierte Grundlagenforschung und industriellen Innovationstransfer in den Bereichen Kognition und Robotik.

Prof. Dr. Gregor Engels leitet den Lehrstuhl für Datenbanken und Informationssysteme am Institut für Informatik der Universität Paderborn. Er ist Vorstandsvorsitzender des Software Innovation Labs im Software Innovation Campus Paderborn (SICP), der zentralen Technologie-Transfereinrichtung der Universität Paderborn für software-getriebene Innovationen. Er ist Sprecher des NRW Forschungskollegs „Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten – Menschenzentrierte Nutzung von Cyber-Physical Systems in Industrie 4.0“ und des NRW Forschungsschwerpunkts „Digitale Zukunft“.

Prof. Dr. Eckhard Steffen ist Geschäftsführer des PACE (Paderborn Center for Advanced Studies) und leitet die Arbeitsgruppe für „Discrete Mathematics/Graph Theory“ am Institut für Mathematik der Universität Paderborn. Er koordiniert das NRW Forschungskolleg „Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten – Menschenzentrierte Nutzung von Cyber-Physical Systems in Industrie 4.0“ und ist Mitglied des NRW Forschungsschwerpunkts „Digitale Zukunft“.

Autorenverzeichnis

Lars Adolph Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, Deutschland

Björn Andernach Fakultät für Soziologie, Arbeitsbereich Sozialstruktur und soziale Ungleichheit, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Michael Bansmann Technischer Assistent Werkleitung Oelde, Miele Werk Oelde, Oelde, Deutschland

Eric Bodden Fachgruppe Softwaretechnik, Fraunhofer IEM & Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, Deutschland

Martin Diewald Fakultät für Soziologie, Arbeitsbereich Sozialstruktur und soziale Ungleichheit, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Christian Dülme Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Roman Dumitrescu Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn, Deutschland

Daniel Eckelt Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Simon Eisele Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Gregor Engels Fachgruppe Datenbank- und Informationssysteme, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Kai Essig Fakultät Kommunikation und Umwelt, Hochschule Rhein-Waal, Kamp-Lintfort, Deutschland

Christoph Fischer AG Erziehungswissenschaft mit dem Schwerpunkt Bildungsmanagement und Bildungsforschung in der Weiterbildung, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Jürgen Gausemeier Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Jan-Hendrik Geilen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, Deutschland

Christopher Gerking Institute for Program Structures and Data Organization, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Iris Gräßler Fachgruppe Produktentstehung, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Christian Harteis AG Erziehungswissenschaft mit dem Schwerpunkt Bildungsmanagement und Bildungsforschung in der Weiterbildung, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Timm Hörmann Technische Fakultät, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Anja Iseke Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo, Deutschland

Britta Kirchhoff Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, Deutschland

Eva Susanna Kunze Fakultät für Soziologie, Arbeitsbereich Sozialstruktur und soziale Ungleichheit, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Günter W. Maier Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie, Abteilung Psychologie & Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab), Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Klaus Mainzer Emeritus of Excellence, Technischen Universität München, München, Deutschland

Carl Friedrich von Weizsäcker-Center, Eberhard Karls Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

Lisa Mlekus Abteilung für Psychologie, Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie & Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab), Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Wolfgang Nettelstroth IG Metall Bezirksleitung Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Deutschland

Sonja K. Ötting Abteilung für Psychologie, Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie & Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab), Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Agnieszka Paruzel Abteilung für Psychologie, Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Christoph Plass Vorstand UNITY AG, Paderborn, Deutschland

Alexander Pöhler Fachgruppe Produktentstehung, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Oliver Ricken Fakultät für Rechtswissenschaften, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Ulrich Rückert Technische Fakultät, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Wilhelm Schäfer Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Thomas Schack Neurokognition und Bewegung - Biomechanik, Abteilung Sportwissenschaft, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Gabi Schilling IG Metall Bezirksleitung Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Deutschland

Katharina D. Schlicher Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie, Abteilung Psychologie & Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab), Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Martin Schneider Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Dagmar Simon Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH, Berlin, Deutschland

Eckhard Steffen Paderborn Center for Advanced Studies, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Jochen J. Steil Institute for Robotics and Process Control, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Barbara Steinmann Abteilung für Psychologie, Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Benjamin Streng Neurokognition und Bewegung - Biomechanik, Abteilung Sportwissenschaft, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Alexander Teetz Fachgruppe Datenbank- und Informationssysteme, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Christian Tschirner Geschäftsführer Two Pillars GmbH, Zukunftsmeile 1, Paderborn, Deutschland

Christian Manfred Wilke Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

Teil I

Einführung

Einleitung

Günter W. Maier, Gregor Engels und Eckhard Steffen

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Von technologischen und wirtschaftlichen Veränderungen zur Veränderung des Arbeitslebens	4
3	Interdisziplinäre Zugänge – Beiträge in diesem Band	9
4	Danksagung	16
	Literatur	16

Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden zunächst die zentralen Begriffe dieses Bandes (Industrie 4.0, Arbeit 4.0) eingeführt. Anschließend wird auf den Entstehungshintergrund dieses Handbuchs eingegangen, um dann einen kurzen Überblick über die Gliederung des Bandes und die einzelnen Beiträge zu liefern.

Schlüsselwörter

Industrie 4.0 · Arbeit 4.0 · Arbeitsgestaltung · Digitalisierung · NRW
Forschungskolleg

G. W. Maier (✉)

Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie, Abteilung Psychologie & Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab), Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

E-Mail: ao-psychologie@uni-bielefeld.de

G. Engels

Fachgruppe Datenbank- und Informationssysteme, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

E-Mail: engels@upb.de

E. Steffen

Paderborn Center for Advanced Studies, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

E-Mail: es@uni-paderborn.de

1 Einleitung

Advanced manufacturing technology, computer aided machinery, computer aided design, papierloses Büro . . . und jetzt seit wenigen Jahren das Zukunftsszenario von menscheeren Produktionshallen mit emsigen Roboterarmen im Zusammenhang mit „Industrie 4.0“: Handelt es sich hier wieder nur um eine Modeerscheinung oder wird dieser Trend gravierender unsere Arbeitswelt verändern als die Ahnungen aus frühen Entwicklungen? Was ursprünglich als Entwicklungsperspektive lediglich für die Industrie begann, ist in Deutschland zu einem allumfassenden Phänomen gewachsen, das alle Branchen betrifft – von Landwirtschaft, Medizin, Dienstleistung, Pflege oder Unterricht bis hin zu weiteren Lebensbereichen wie Freizeit, Erholung oder Partnerschaft – für all diese Bereiche gibt es „4.0“-Vorschläge. Fast schon vergessene oder totgegläubte Visionen einer besseren Zukunft der Arbeit scheinen mit „4.0“ auf einmal zum Greifen nah, wie etwa weniger Arbeitszeit für das gleiche Geld (Arbeitszeitkomprimierung), freie Wahl von Arbeitsort und -zeit oder das bedingungslose Grundeinkommen.

In dieser Einleitung zu unserem Band „Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten“ werden wir zunächst kurz auf den zentralen Begriff von „Industrie 4.0“ eingehen. Anschließend werden wir die Erweiterung dieser technischen Entwicklung hin zur Analyse und Gestaltung der Arbeit insgesamt – also Arbeit 4.0 – behandeln. Dabei versuchen wir zu klären, inwiefern Problemstellungen, die sich mit Arbeit 4.0 beschäftigen, stärker als manch andere Fragestellungen zur Gestaltung der Arbeit, nur aus interdisziplinären Forschungskontexten heraus, gut bearbeitet werden können. Wir gehen dann kurz auf den Hintergrund der Entstehung des Buchs ein, um danach die Abschnitte des Handbuchs und die Inhalte der jeweiligen Kapitel kurz vorzustellen. Wir schließen mit einem Ausblick und der Danksagung an die direkt und indirekt Beteiligten.

2 Von technologischen und wirtschaftlichen Veränderungen zur Veränderung des Arbeitslebens

Die Auseinandersetzung mit dem Phänomen „Industrie 4.0“ hat in den letzten Jahren immer weiter um sich gegriffen. Das ist sehr deutlich erkennbar an der Zunahme des Suchbegriffs „Industrie 4.0“ im Internet: Seit 2010 steigt die Trefferhäufigkeit exponentiell (Abb. 1a). Analog zum Verlauf, nur etwas zeitverzögert, verhält es sich mit dem daran angelehnten bzw. abgeleiteten Begriff „Arbeit 4.0“ (Abb. 1b). Mit dem Begriff „Industrie 4.0“ sollte zunächst metaphorisch ein Wandlungsphänomen umschrieben werden (Kagermann et al. 2013): Mit vielen Schaubildern wird illustriert und unterstrichen, dass die Wirtschaft vor allem in westlichen Ländern mittlerweile mehrere revolutionäre Veränderungen durchlaufen habe. Die erste industrielle Revolution enthalte die Einführung mechanischer Maschinen, die durch Wasserkraft oder Dampf betrieben wurden, als Voraussetzung für die industrielle Massenproduktion. Kennzeichen der zweiten industriellen Revolution sei die Nutzung elektrischer Energie für den Betrieb von Maschinen, die eine hoch

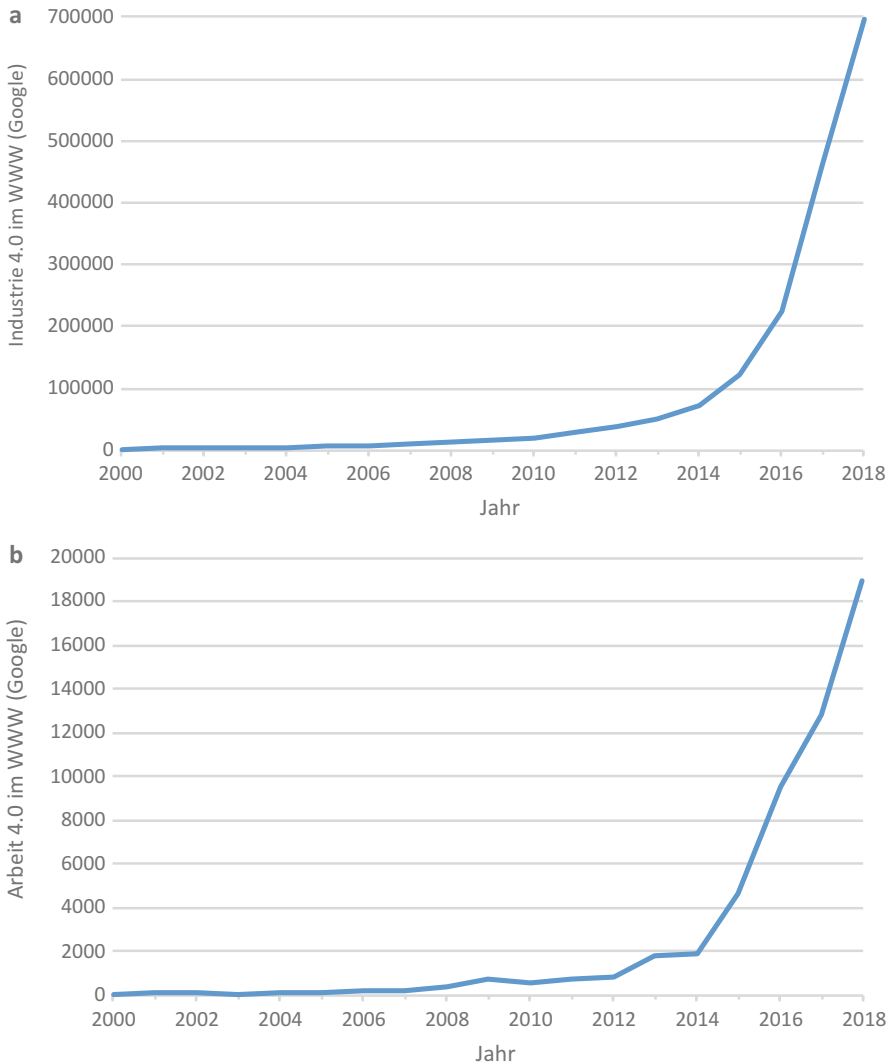


Abb. 1 a Trefferhäufigkeiten von „Industrie 4.0“ im Internet. b Trefferhäufigkeiten von „Arbeit 4.0“ im Internet

arbeitsteilige Massenproduktion erlaubt. Bei der dritten industriellen Revolution, deren Beginn etwa Anfang der 1970er-Jahre verortet wird, trage vor allem die IT zur Zunahme der Automatisierung in der Produktion bei. Die jetzt anstehende vierte industrielle Revolution sei gekennzeichnet durch die verbreitete Einführung und Nutzung von Cyber-Physical Systems in der Produktion, also mehr und mehr autonom agierender, miteinander vernetzter technischer Systeme. Auf der Grundlage einer umfassenden Literaturübersicht beschreiben Hermann et al. (2016) „Industrie

4.0“ durch die Merkmale Vernetzung, Virtualisierung, Dezentralisierung, Echtzeit-Fähigkeit, Individualisierung und Modularität (vgl. auch Kap. ► „[Psychologische Arbeitsgestaltung digitaler Arbeitswelten](#)“ in diesem Band). Der zunächst verwendete Begriff der Virtualisierung – die reale Produktionswelt wird in Echtzeit in einer virtuellen Kopie abgebildet – wird zunehmend durch den Begriff des digitalen Zwillings abgelöst. Der anstehende Einsatz dieser Systeme wird deshalb als „Revolution“ bezeichnet, weil viele sich davon gravierende Veränderungen versprechen, was und wie in Zukunft produziert werden kann. Die oft zitierte Produktion der Losgröße 1 unter industriellen Bedingungen und Qualitätsstandards verspricht einerseits eine unerhörte, bislang noch nie dagewesene Individualisierung von Produkten für die Kunden, bei gleichzeitig höchsten Qualitätsansprüchen. Andererseits wird die Besonderheit des Handwerks – nah am Kunden, um individuelle Lösungen zu entwickeln – stark in Frage gestellt (Maier et al. 2016). Trotz der häufigen Verwendung des Begriffs der „Industrie 4.0“ handelt es sich dabei nicht um einen wissenschaftlich eindeutig definierten Begriff, sondern eher um eine politische Vision (Hinrichsen und Jasperneite 2013).

Schon in ersten Positionspapieren und dann in den ersten nachfolgenden Experteneinschätzungen und Prognosen (z. B. Acatech 2016) wurde darauf verwiesen, dass die anstehenden technischen Veränderungen sich unmittelbar auch auf die Arbeitsprozesse sowie die Anforderungen und Kompetenzen der Beschäftigten auswirken werden, in positiver wie in negativer Hinsicht. Besonders intensiv wurden die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt durch die Digitalisierung und Automatisierung diskutiert, angestoßen durch die Prognosen von Frey und Osborne (2017) für den US-amerikanischen Arbeitsmarkt und längst auch angewandt auf den deutschen Arbeitsmarkt (z. B. Dengler und Matthes 2018). Die Veränderung bisheriger Stressoren, wie etwa die Intensivierung von Arbeit (Paškván und Kubicek 2017) oder die Zunahme der Anforderungen an die Beschäftigten durch Ausweitung der Digitalisierung, wird diskutiert (z. B. Mlekus und Maier 2017), aber auch das Auftauchen neuer, bis dahin nicht erlebter Stressoren, wie etwa „workplace telepressure“ (Grawitch et al. 2018) wird thematisiert. Oder es wird empirisch gezeigt (z. B. Ötting und Maier 2018) und darauf aufmerksam gemacht, dass mit Einführung intelligenter technischer Systeme mit weitreichenderen Entscheidungsmöglichkeiten auch neue Kriterien für eine humanorientierte Mensch-Maschine-Schnittstelle beachtet werden sollten, wie etwa die Berücksichtigung der Gerechtigkeitswahrnehmung bei technischen Entscheidungen (z. B. Engels et al. 2018; Ötting und Maier 2016; Töniges et al. 2017). Die vielfältigen Chancen zur zukünftigen Gestaltung der Arbeit wurden schließlich auch vom Bundesarbeitsministerium aufgegriffen, um einen breiten Dialog über erstrebenswerte Arten des Arbeitens mit Vertretern der Zivilgesellschaft in Gang zu setzen. Die Fragen, die am Anfang dieses Dialogs standen, wurden im Grünbuch (BMAS 2015), die Antworten und Schlussfolgerungen im Weißbuch (BMAS 2016) formuliert. In der öffentlichen Diskussion wird beides – Folgenabschätzung der und Chancennutzung durch die Digitalisierung des Arbeitslebens – verkürzt und plakativ als Arbeit 4.0 bezeichnet.

Die Diskussion um die sog. „Arbeit 4.0“ ist häufig geprägt von unterschiedlichen Prämissen, was die Vergleichbarkeit von Ansätzen, Abschätzungen und

Prognosen deutlich erschwert. Die unterschiedlichen Grundannahmen wurden beispielsweise von Brödner (1985) beim Blick in die Zukunft der Fabrik als „anthropozentrischer“ vs. „technozentrierter“ Entwicklungsweg beschrieben. Beim technozentrierten Entwicklungsweg steht die Entwicklung der Technik und des technisch Möglichen im Mittelpunkt, die Belange der Beschäftigten werden hinten angestellt. Maximale Automatisierung und die strikte Ausrichtung der Beschäftigten auf die technische Entwicklung sind hier oft zentrale Orientierungspunkte. Bei der anthropozentrischen Orientierung wird davon ausgegangen, dass Menschen im Mittelpunkt der (technischen) Entwicklung stehen, somit die Technik als Werkzeug aufgefasst wird, die Beschäftigte bei der Erledigung ihrer Arbeitsaufgaben optimal unterstützen soll. Je nachdem, von welchem Punkt des Kontinuums zwischen beiden Positionen ausgegangen wird, werden ganz unterschiedliche Zukunftsszenarien beschrieben und Prognosen, z. B. über zukünftige Qualifikationsanforderungen, Wegfall oder Schaffung von Arbeitsplätzen, getroffen. Vermutlich wird die weitere wirtschaftliche und technische Entwicklung aber nicht deterministisch erfolgen, sondern wird dynamisch ablaufen mit konkurrierenden Modellen und Ansätzen. Erfahrungen und Befunde werden die weitere Entwicklung über das Zusammenspiel von Mensch und Maschine beeinflussen. Wenn beispielsweise zunehmend Berichte über den Rückbau von Robotern in der Produktion zugunsten von manuellen Arbeitsplätzen wie bei Toyota öffentlich werden (vgl. Wischmann 2015), kann dies die weitere Verbreitung voll automatisierter Arbeitsplätze mindern. So sind die ebenfalls vermehrt vorgebrachten optimistischen Aussagen wie „Die Arbeitswelt der Zukunft unter den Bedingungen von Industrie 4.0 ist gestaltbar“ (Botthof und Hartmann 2015, S. 161) oder Buchtitel wie „Arbeit 4.0 aktiv gestalten“ (Werther und Bruckner 2018) zur weiteren Verbesserung der Qualität der Arbeit zu verstehen. Schließlich weisen auch Befunde unterschiedlicher Disziplinen darauf hin, dass es auf die jeweils spezifischen Entscheidungen der Stakeholder ankommt, wie sich die Einführung neuer Technologien auf die Gestaltung der Arbeit auswirkt (Parker et al. 2017). Beschreibungen über die partizipative Einführung neuer Technologien wie etwa AR-Brillen veranschaulichen ebenfalls, dass auch im Einführungsprozess auf die Interessen bestimmter Gruppen – wie die der Beschäftigten – durchaus noch eingegangen werden kann (z. B. Paruzel et al. 2020; Bentler et al. [im Druck](#)).

Wie kommt es zu der Verknüpfung von technischen Entwicklungen mit Fragen nach der Arbeitsgestaltung, Arbeitszeiten, Anforderungen und Kompetenzen der Beschäftigten? Vielfach beruhen diese Überlegungen auf dem soziotechnischen Systemansatz aus den 1950er-Jahren, der von Eberhard Ulich zu dem Mensch-Technik-Organisation Konzept weiterentwickelt wurde (vgl. z. B. Ulich 2010). Demzufolge können Arbeitsaufgaben verstanden werden durch das Zusammenspiel der drei Komponenten Mensch, Technik und (Arbeits-)Organisation. Veränderungen in einem Teil des Systems, wie etwa die Einführung von intelligenten Assistenzsystemen in der Montage, haben Folgen für andere Teile des Systems. In diesem Beispiel könnte das etwa zu verminderten Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten führen, weil für die Erledigung der Montagetätigkeit nur eine geringe fachliche Qualifikation erforderlich ist, da das technische Assistenzsystem detailliert

bei der Montage unterstützt. Das könnte auch für die Arbeitsorganisation bedeuten, dass die Beschäftigten noch flexibler bei den Montagetätigkeiten eingesetzt werden können, da wegen der technischen Unterstützung kaum mehr Anlernzeit für die Erledigung der unterschiedlichen Aufgaben erforderlich ist. Dieser Systemansatz (vgl. z. B. Löhner et al. 2018; Mlekus et al. 2018) oder angepasste Varianten davon (vgl. z. B. Hobscheidt et al. 2017) werden aktuell vielfach als handlungsleitendes heuristisches Modell bei aktueller Technikgestaltung und -einführung herangezogen. Forschung, die sich tatsächlich mit den Schnittstellen aus den drei Komponenten beschäftigt, wird oft noch eingefordert (vgl. z. B. Cascio und Montealegre 2016). So beklagten beispielsweise auch Orlikowski und Scott (2008) schon, dass bis 2008 95 % der Artikel im Managementbereich (noch) nicht die Rolle der Technik im organisationalen Leben berücksichtigten.

Folgt man der Idee, dass die Digitalisierung des Arbeitslebens systemtheoretisch durch das Zusammenspiel aus Mensch, Technik und Organisation verstanden wird, dann wird offensichtlich, dass die erfolgreiche Gestaltung dieser Elemente nur dann gelingen kann, wenn mehrere Disziplinen gemeinsam die zukunftssträchtigen Fragen beantworten. So geht es beispielsweise darum, dass bei der Gestaltung eines intelligenten Assistenzsystems Mechatroniker zusammenarbeiten mit Experten für Datensicherheit, künstliche Intelligenz, Sensorik, Geschäftsprozesse, Change Management und Mitarbeiterbeteiligung oder Arbeitsgestaltung. Genau dieser Idee der interdisziplinären Betrachtung und Erforschung von Fragen im Zusammenhang mit der Digitalisierung des Arbeitslebens folgt das seit 2014 geförderte NRW Fortschrittskolleg, mittlerweile in der Verlängerungsphase als NRW Forschungskolleg „Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten – Menschen-zentrierte Nutzung von Cyber-Physical Systems in Industrie 4.0“ oder kurz Forschungskolleg Arbeit 4.0. Insgesamt werden in dem NRW Forschungskolleg folgende Themenfelder bearbeitet:

1. flexible Arbeitsprozesse,
2. menschen-zentrierte Cyber-Physical Devices,
3. anforderungsorientiertes Systems Engineering,
4. Konzepte der Aus- und Weiterbildung.

Das NRW Forschungskolleg setzt sich aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universitäten Paderborn und Bielefeld zusammen. Die beteiligten Fachrichtungen sind Informatik, Soziologie, Pädagogik, Elektrotechnik, Mathematik, Maschinenbau, Wirtschaftswissenschaften und Psychologie. Die im Rahmen von mittlerweile mehr als 20 Promotionsprojekten durchgeführten Forschungsarbeiten sind eingebettet in ein inter- und transdisziplinäres Umfeld. Die Forschungsprojekte werden von der Initiierung bis hin zur abschließenden Evaluation von den Partnern des transdisziplinären Umfelds begleitet; dies sind der Spitzencluster it's OWL, die Technologieberatungsstelle beim DGB NRW e.V., die IG Metall NRW, das Innovationsnetzwerk Energie Impuls OWL e.V. sowie die Smart Factory OWL. Näheres zum Forschungskolleg findet man unter www.arbeit40.de.

3 Interdisziplinäre Zugänge – Beiträge in diesem Band

In unserem Band haben wir eine Reihe von Beiträgen zur Digitalisierung des Arbeitslebens versammelt, die sich mit den drei Bereichen Kriterien der Gestaltung, der Umsetzung und der Analyse bzw. Beurteilung der Folgen der digitalisierten Arbeit beschäftigen. Die Beiträge stammen aus ganz unterschiedlichen fachlichen Disziplinen (Tab. 1).

Im Zusammenhang mit den *Gestaltungskriterien* geht es darum, *woran* sich die Gestaltung der digitalen Arbeitswelt orientieren kann oder, z. B. aus rechtlicher Sicht, soll. Die Ableitung der Gestaltungskriterien ist bereits interdisziplinär, weil hier arbeitswissenschaftliche Rahmenbedingungen für Gesundheit und Arbeitssicherheit, betriebswirtschaftliche Planung, juristische Rahmenbedingungen, psychologische Arbeitsgestaltung und soziologische Auffassungen über inter- und transdisziplinäre Kooperation einfließen.

In dem Kap. ► „[Sicherheit und Gesundheit in der digitalen Arbeitswelt](#)“ von Adolph, Kirchhoff und Geilen wird zunächst auf zwei Perspektiven der Arbeitsgestaltung hingewiesen und zwar die Ausrichtung auf Sicherheit und Gesundheit auf der einen und Wettbewerbsfähigkeit auf der anderen Seite. Danach werden Ansatzpunkte im Zusammenhang mit der Digitalisierung identifiziert, die bei den Sicherheits- und Gesundheitsaspekten besonders beachtet werden sollten, weil beispielsweise die Technologie besonders typisch für die Digitalisierung ist.

In dem Kap. ► „[Strategische Planung](#)“ von Gausemeier, Eckelt und Dülme wird dargelegt, dass mit der Digitalisierung der Arbeit große Herausforderungen – als Chancen aber auch Bedrohungen – anstehen. Zur besseren Bewältigung dieser Herausforderungen ist eine Planung erforderlich, die Umfeldszenarien und Gestaltungsoptionen transparent macht. Dazu wird in diesem Beitrag die Szenario-Technik vorgestellt. Schließlich werden Aspekte der Arbeitswelt 2030 für einige Bereiche vorgestellt.

In dem Kap. ► „[Wie digitale Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle die Arbeitswelt verändern](#)“ von Plass wird zunächst erläutert, dass die Digitalisierung des Arbeitslebens sich vor allem auf digitale Geschäftsprozesse und -modelle bezieht. Anschließend werden die Folgen digitaler Geschäftsprozesse und -modelle auf die Arbeitswelt sowie die Aus- und Weiterbildung erläutert.

In dem Kap. ► „[Psychologische Arbeitsgestaltung digitaler Arbeitswelten](#)“ von Mlekus, Ötting und Maier wird gezeigt, wie die psychologische Arbeitsgestaltung bei der Einführung von Industrie 4.0 Technologien nutzen kann, um die Arbeit nicht nur effizient, sondern auch menschengerecht zu gestalten. Sie zielt darauf ab, bei den Beschäftigten Leistung, Motivation und Kompetenzentwicklung anzuregen. Dies kann z. B. durch intelligente Assistenzsysteme gefördert werden, wenn durch sie der Handlungsspielraum des Menschen erweitert wird.

In dem Kap. ► „[Digitalisierte Arbeit: Arbeitsrechtliche Aspekte](#)“ von Ricken werden tradierte Grundannahmen des Arbeitsrechts dargestellt und anschließend kontrastiert mit sich verändernden Arbeitsbedingungen im Zusammenhang mit der Digitalisierung des Arbeitslebens. Die sich daraus teilweise ergebenden Konfliktbereiche

Tab. 1 (Fortsetzung)

	Mechatronik	Informatik	BWL	Maschinenbau	Sport- wissenschaft	Erziehungs- wissenschaft	Psychologie	Soziologie	Transdisziplinäre Perspektive	Rechts- wissenschaft
Folgen der digitalisierten Arbeit										
Entwicklung der Beschäftigungsstruktur durch Digitalisierung von Arbeit								x		
Digitalisierte Arbeit und private Lebensführung								x		
Assistierende Technologie zur Förderung beruflichen Entwicklungspotenzials		x			x					

werden herausgearbeitet. Anschließend werden für einige dieser Konfliktbereiche arbeitsrechtliche Lösungen vorgeschlagen.

In dem Kap. ► „[Industrial Security by Design](#)“ von Gerking, Bodden und Schäfer wird dargelegt, dass die Digitalisierung des Arbeitslebens notwendigerweise verknüpft ist mit zunehmender Vernetzung. Es werden verschiedene Bedrohungsszenarien beschrieben, die Nachverfolgbarkeit der Informationssicherheit erläutert und der Stand der Technik der Datensicherheit bei Cyber-Physischen Produktionssystemen beschrieben.

In dem Kap. ► „[Technikgestaltung und Ethik für die Arbeitswelt 4.0](#)“ von Klaus Mainzer wird dargestellt, dass eine Sensibilisierung für Ethik und Verantwortung viele Innovationsvorteile wie z. B. größere Rechtssicherheit und soziale Akzeptanz insbesondere von KI (künstlicher Intelligenz)-basierten Assistenzsystemen am Arbeitsplatz der Zukunft und in der Gesellschaft ermöglicht. Es wird betont, dass der Schutz von individuellen Freiheitsrechten und sicheren Sozialsystemen in einer Marktwirtschaft auch im Zeitalter von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz hohe Güter bleiben, die von allen Menschen weltweit erkannt und wertgeschätzt werden.

In dem Kap. ► „[Digitale Zukunft: ein inter- und transdisziplinäres Thema](#)“ von Simon und Steffen wird gezielt herausgearbeitet, warum gerade die Lösung von Herausforderungen der digitalen Transformation mit disziplinspezifischen Herangehensweisen allein nicht wirklich zielführend ist. Vielmehr, so wird in diesem Beitrag dargelegt, sind nun interdisziplinäre Lösungsansätze erforderlich. Als ein solcher Ansatz wird exemplarisch das Graduiertenprogramm „NRW Forschungskolleg Arbeit 4.0“ beschrieben und es wird auf Herausforderungen inter- und transdisziplinärer Forschung im Kontext von universitären Qualifizierungsprogrammen eingegangen.

Im Zusammenhang mit der *Umsetzung* geht es um die Frage, wie die Gestaltung der digitalen Arbeitswelt erfolgen kann. Hier geht es beispielsweise darum, wie flexible, digitale Arbeitswelten modelliert werden können, wie die Mitbestimmung zur Realisierung der digitalen Arbeitswelt beitragen kann oder wie das Wissens- und Kompetenzmanagement in digitalen Arbeitswelten erfolgreich gestaltet werden kann.

In dem Kap. ► „[Vernetzte Arbeitsumgebungen](#)“ arbeiten Hörmann und Rückert die zentralen Herausforderungen der Wearable Devices heraus. Der Anwender ist gleichzeitig Quelle und Empfänger von Informationen. Einerseits bietet körpernahe Sensorik durch die Bereitstellung kontextsensitiver Informationen enorme Potenziale zur Arbeitsunterstützung, Verbesserung der Arbeitssicherheit und dem Schutz der Gesundheit, andererseits entstehen umfangreiche Möglichkeiten zur Überwachung des Menschen. Die Frage ist, wie diese enormen technischen Möglichkeiten zur Gestaltung Menschen-zentrierter Arbeitswelten genutzt werden.

In dem Kap. ► „[Flexible Arbeitsprozesse](#)“ von Engels und Teetz werden zunächst die Besonderheiten der zukünftigen Arbeits- und Produktionsprozesse beschrieben. Daraus werden die Anforderungen an die Gestaltung zukünftiger flexibler Produktionsumgebungen abgeleitet, um danach einen Überblick über Methoden des Geschäftsprozessmanagements zu geben, mit denen in der Regel flexible Prozesse beschrieben werden können.

In dem Kap. ► „[Mitbestimmung 4.0: Die digitale Arbeit menschenwürdig gestalten](#)“ von Nettelstroth und Schilling wird die Rolle der Mitbestimmung bei der Gestaltung des Transformationsprozesses in den Betrieben betrachtet. Sich ändernde Rahmenbedingungen und die zunehmende Globalisierung der Wertschöpfungsketten erfordern einen Wandel in der Organisation der betrieblichen Mitbestimmung, den es vorzubereiten und zu gestalten gilt. Hierzu wird ein kurzer Rückblick auf das gewerkschaftliche Vorgehen bei technologischen Umbrüchen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gegeben, um daraus die für die digitale Transformation spezifischen Handlungsfelder auszuarbeiten. Der Schwerpunkt liegt darin, die betriebliche Mitbestimmung dahingehend zu verändern, dass sie nicht mehr nur auf Veränderungen reagiert bzw. reagieren muss, sondern vielmehr proaktiv und gestalterisch an dem Veränderungsprozess beteiligt ist. Es wird ein Einblick in die betriebliche Praxis, die bisherigen Erfahrungen und den derzeitigen Entwicklungsstand betrieblicher Digitalisierungsprojekte gegeben. Der Ansatz, den betrieblichen Digitalisierungsprozess zu gestalten, führt zur Zusammenarbeit der Gewerkschaften mit wissenschaftlichen Einrichtungen, die in inter- und transdisziplinären Forschungsprojekten einerseits die technologische Entwicklung vorantreiben und andererseits die Konsequenzen dieser Technologien für die Organisation von Arbeit und den Menschen analysieren und somit wichtige Erkenntnisse für die Gestaltung des Transformationsprozesses liefern.

In dem Kap. ► „[Wissensmanagement unter Bedingungen von Arbeit 4.0](#)“ diskutieren Harteis und Fischer, wie Wissensmanagement die Entwicklung eines Unternehmens zu einer lernenden Organisation durch Implementierung einer starken Lernkultur realisieren kann, um den Bedingungen von Arbeit 4.0 gerecht zu werden.

In dem Kap. ► „[Betriebsorganisation](#)“ von Schneider, Wilke und Iseke wird die Zukunftsvision der Smart Factory aus organisationstheoretischer Sicht mit idealtypischen und historischen Produktionsmodellen verglichen. Demnach verspricht die Vision der Smart Factory einerseits zentrale Ziele von Organisationen zu vereinbaren, und zwar Kostenreduzierung und Produktvariation. Andererseits ergeben sich neue widersprüchliche Herausforderungen, und zwar eine Abnahme von individuellem Handlungsspielraum vs. der Erwartung, dass Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer technische Probleme selbstständig lösen.

In dem Kap. ► „[Personalwirtschaft](#)“ von Schneider und Eisele wird die Ausgangslage für Unternehmen bei der Digitalisierung der Arbeitswelt beschrieben. Daraus werden die personalwirtschaftlichen Aufgabenfelder abgeleitet, wie beispielsweise nach Gruppen differenzierte Personalarchitekturen. Schließlich werden einige Vorschläge für die Anpassung des Betriebsverfassungs- und Tarifrechts vorgeschlagen.

Im Kap. ► „[Kollaborative Roboter: universale Werkzeuge in der digitalisierten und vernetzten Arbeitswelt](#)“ von Steil und Maier werden die Chancen und Risiken der Robotertechnologie für die weitere Digitalisierung der Arbeitswelt diskutiert. Zwei Perspektiven stehen dabei im Mittelpunkt: die Perspektive der Nutzerinnen und Nutzer und die der Integration von Robotern. Aus Nutzerperspektive werden Themen wie etwa die Usability angesprochen, aus der Integrationsperspektive etwa die erforderliche digitale Integration. Schließlich werden Auswirkungen über die immer enger werdende Kooperation zwischen Beschäftigten und Robotern erörtert.

Im Kap. ► „[Change Management für die Einführung digitaler Arbeitswelten](#)“ von Schlicher, Paruzel, Steinmann und Maier werden auf Basis der Erfahrungen bei der „Computerisierung“ des Arbeitslebens ein Modell und Handlungsempfehlungen für Change-Management-Projekte bei der Einführung von Industrie 4.0 Technologien entwickelt.

Im Kap. ► „[Produktentstehung im Zeitalter von Industrie 4.0](#)“ von Gräßler und Pöhler wird zunächst erläutert, dass die Digitalisierung auch erhebliche Auswirkungen auf den Produktentstehungsprozess haben wird. Um das zu ermöglichen, werden anschließend die Phasen der Produktentstehung beschrieben und insbesondere die im Hinblick auf die Digitalisierung des Arbeitslebens wichtige Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produkten genauer betrachtet sowie auch die Auswirkungen auf die Beschäftigten beschrieben.

Im Kap. ► „[Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung](#)“ von Dumitrescu, Tschirner und Bansmann wird dargestellt, dass die anstehende digitale Transformation eine fundamentale Veränderung im Wirtschaftsleben bedeutet. Bezogen auf die Produktentstehung wird erläutert, wie in diesem Zusammenhang das Systems Engineering ein entscheidendes Hilfsmittel zur erfolgreichen Gestaltung von Prozessen zur Verfügung stellt.

Im letzten Abschnitt des Buches behandeln die Kapitel *Konsequenzen der Digitalisierung* auf das Arbeitsleben. Dabei wird deutlich, dass die anstehenden Veränderungen sich nicht nur auf unterschiedliche Aspekte des Arbeitslebens auswirken, sondern auch darüber hinaus, beispielsweise auf das Familienleben.

Das Kap. ► „[Entwicklung der Beschäftigungsstruktur durch Digitalisierung von Arbeit](#)“ von Diwald, Andernach und Kunze beschäftigt sich mit Prognosen zu Auswirkungen der Digitalisierung auf bestehende Beschäftigungsstrukturen. Damit verbunden ist die Frage nach den methodischen Grundlagen derartiger Analysen und Prognosen. Die bisher gebräuchlichen Ansatzpunkte wie die Ersetzung von Berufen oder Tätigkeitskomplexen erweisen sich als nicht zielführend, da durch die Digitalisierung vielmehr Veränderungen im Aufgabenzuschnitt, der Arbeitsteilung und der Arbeitsabläufe in Arbeitsorganisationen zu erwarten sind, was vermutlich zu sehr heterogenen Auswirkungen auf Berufe zur Folge haben wird.

Das Kap. ► „[Digitalisierte Arbeit und private Lebensführung](#)“ von Diwald, Kunze und Andernach beschäftigt sich mit den mutmaßlichen Auswirkungen von Arbeitsbedingungen auf das Privatleben. Da es (noch) kaum direkte Befunde dazu gibt, wird die Empirie dargestellt, die im Zusammenhang mit der Digitalisierung bedeutungsvoll werden wird, wie beispielsweise der wahrgenommene Konflikt zwischen Berufs- und Privatleben. Neu auftauchende Themen digitaler Arbeitsbedingungen, wie etwa Algorithmen als neue Entscheidungsinstanzen, werden abschließend diskutiert.

Das Kap. ► „[Assistierende Technologie zur Förderung beruflichen Entwicklungspotenzials](#)“ von Essig, Strenge und Schack stellt Gestaltungskonzepte für assistierende Technologie dar. Anhand eines aktuellen Forschungssystems wird exemplarisch demonstriert, welche Möglichkeiten diese Technologien bieten und welche positiven Folgen sich auch im Hinblick auf die Inklusion älterer Menschen und Menschen mit Behinderung ergeben können. Abschließend werden Chancen, Grenzen und Risiken assistierender Technologien diskutiert.

4 Danksagung

Ein Werk wie dieses kann nur mit der Unterstützung vieler gelingen. Abschließend bedanken wir uns daher bei denen, die nicht hier in diesem Band als Autoren auftauchen. Ruth Moradbakhti vom Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab) der Universität Bielefeld hat uns sehr zuverlässig bei der Durchführung von Veranstaltungen des NRW Forschungskollegs Arbeit 4.0 und den vielfältig anfallenden Verwaltungsaufgaben geholfen. Nina Dragon hat uns bei der Erstellung des Herausgeberbandes aufmerksam und mit viel Übersicht unterstützt. Und schließlich danken wir Jennifer Ott, Marion Krämer und Joachim Coch vom Springer Verlag für ihre hilfreiche Beratung bei der Konzeption des Bandes, ihr Vertrauen in die Fertigstellung und nützliche Tipps für alles im Umfeld der Bucherstellung.

Literatur

- Acatech. (Hrsg.). (2016). *Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0: Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen*. München: Deutsche Akademie der Technikwissenschaft.
- Bentler, D., Paruzel, A., Schlicher, K., & Maier, G. W. (im Druck). Pilotprojekt 5: Wissenstransfer und Industrial Connectivity bei Weidmüller. In R. Dumitrescu (Hrsg.), *Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten: Handlungsfelder und Praxisbeispiele zur Umsetzung digitalisierter Arbeit*. Berlin: Springer.
- BMAS. (Hrsg.). (2015). *Grünbuch Arbeiten 4.0*. Bonn: Bundesministerium für Arbeit und Soziales.
- BMAS. (Hrsg.). (2016). *Weißbuch Arbeiten 4.0*. Bonn: Bundesministerium für Arbeit und Soziales.
- Bothhof, A., & Hartmann, E. A. (2015). Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0: Neue Perspektiven und offene Fragen. In A. Bothhof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 161–163). Berlin: Springer.
- Brödner, P. (1985). *Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik*. Berlin: Edition Sigma.
- Cascio, W. F., & Montealegre, R. (2016). How technology is changing work and organizations. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 3, 349–375.
- Dengler, K., & Matthes, B. (2018). *Substituierbarkeitspotenziale von Berufen: Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt. IAB Kurzbericht, 4/2018*. Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) der Bundesagentur für Arbeit.
- Engels, G., Maier, G. W., Ötting, S. K., Steffen, E., & Teetz, A. (2018). Gerechtigkeit in flexiblen Arbeits- und Managementprozessen. In S. Wischmann & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit. Eine praxisnahe Betrachtung* (S. 221–231). Berlin: Springer.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerization? *Technological Forecasting & Social Change*, 114, 254–280.
- Grawitch, M. J., Werth, P. M., Palmer, S. N., Erb, K. R., & Lavigne, K. N. (2018). Self-imposed pressure or organizational norms? Further examination of the construct of workplace telepressure. *Stress and Health: Journal of the International Society for the Investigation of Stress*, 34, 306–319.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios. A literature review. In T. X. Bui & R. H. Sprague, Jr. (Hrsg.), *Proceedings of the 49th annual Hawaii international conference on system sciences (HICSS 2016)* (S. 3928–3937).
- Hinrichsen, S., & Jasperneite, J. (2013). Industrie 4.0: Begriff, Stand der Umsetzung und kritische Würdigung. *Betriebspraxis & Arbeitsforschung*, 2, 45–47.
- Hobscheidt, D., Westermann, T., Dumitrescu, R., Dülme, C., Gausemeier, J., Heppner, H., & Maier, G. W. (2017). Soziotechnische Leistungsbewertung von Unternehmen im Kontext Industrie 4.0.

- In E. Bodden, F. Dressler, R. Dumitrescu, J. Gausemeier, F. Meyer auf der Heide, C. Scheytt & A. Trächtler (Hrsg.), *Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017* (S. 11–24). Paderborn: Heinz Nixdorf Institut.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. München: Deutsche Akademie der Technikwissenschaft.
- Löhner, M., Lemm, J., Kerpen, D., Saggiomo, M., & Gloy, Y. S. (2018). Soziotechnische Assistenzsysteme für die Produktionsarbeit in der Textilbranche. In S. Wischmann & E. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit: Eine praxisnahe Betrachtung* (S. 73–85). Berlin: Springer.
- Maier, G. W., Ötting, S. K., & Steinmann, B. (2016). Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung der Enquetekommission VI Zukunft von Handwerk und Mittelstand in Nordrhein-Westfalen zum Thema „Chancen und Risiken der Digitalisierung für das Handwerk: Kundenkommunikation, Arbeitsprozesse, Technik-Trends und Innovationsfähigkeit“. *Landtag Nordrhein-Westfalen, Drs. 16/3586*. <http://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument?Id=MMS T16/3586>. Zugegriffen am 05.05.2019.
- Mlekus, L., & Maier, G. W. (2017). Digitalisierung der Arbeitswelt: Ergebnisse einer Unternehmensumfrage zum Stand der Transformation. In E. Bodden, F. Dressler, R. Dumitrescu, J. Gausemeier, F. Meyer auf der Heide, C. Scheytt & A. Trächtler (Hrsg.), *Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017* (S. 141–153). Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe.
- Mlekus, L., Paruzel, A., Bentler, D., Jenderny, S., Foullois, M., Bansmann, M., ... Maier, G. W. (2018). Development of a change management instrument for the implementation of technologies. *Technologies*, 6(4), 120.
- Orlikowski, W. J., & Scott, S. V. (2008). Sociomateriality: Challenging the separation of technology, work and organization. *Annual Academy of Management*, 2, 433–474.
- Ötting, S. K., & Maier, G. W. (2016). Arbeit 4.0: Faire Gestaltung der digitalen Arbeitswelt. *supervision*, 34(4), 19–24.
- Ötting, S. K., & Maier, G. W. (2018). The importance of procedural justice in human-machine interactions: Intelligent systems as new decision agents in organizations. *Computers in Human Behavior*, 89, 27–39.
- Parker, S. K., van den Broeck, A., & Holman, D. (2017). Work design influences. A synthesis of multilevel factors that affect the design of jobs. *Academy of Management Annals*, 11, 267–308.
- Paruzel, A., Bentler, D., Schlicher, K., Nettelstroth, W., & Maier, G. W. (2020). Employee first, technology second: Implementation of smart glasses in a manufacturing company. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 64, 46–57.
- Paškvan, M., & Kubicek, B. (2017). The intensification of work. In C. Korunka & B. Kubicek (Hrsg.), *Job demands in a changing world of work. Impact on workers' health and performance and implications for research and practice* (S. 25–43). Cham: Springer.
- Töniges, T., Ötting, S. K., Wrede, B., Maier, G. W., & Sagerer, G. (2017). An emerging decision authority: Adaptive cyber-physical system design for fair human-machine interaction and decision processes. In H. Song, D. B. Rawat, S. Jeschke & C. Brecher (Hrsg.), *Intelligent data-centric systems: Sensor collected intelligence. Cyber-physical systems: Foundations, principles, and applications* (S. 419–430). Amsterdam: Elsevier.
- Ulrich, E. (2010). Aufgabengestaltung. In U. Kleinbeck & K.-H. Schmidt (Hrsg.), *Arbeitspsychologie (Enzyklopädie der Psychologie)* (S. 582–622). Göttingen: Hogrefe.
- Werther, S., & Bruckner, L. (Hrsg.). (2018). *Arbeit 4.0 aktiv gestalten: Die Zukunft der Arbeit zwischen Agilität, People Analytics und Digitalisierung*. Berlin: Springer.
- Wischmann, S. (2015). Arbeitssystemgestaltung im Spannungsfeld zwischen Organisation und Mensch-Technik-Interaktion: Das Beispiel Robotik. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 149–160). Berlin: Springer.

Teil II

Gestaltung der digitalisierten Arbeit

Sicherheit und Gesundheit in der digitalen Arbeitswelt

Lars Adolph, Britta Kirchhoff und Jan-Hendrik Geilen

Inhalt

1	Einleitung	22
2	Strukturierung des Feldes: Ansatzpunkte für die sichere und gesunde Gestaltung	23
3	Aktuelle Forschungsthemen	26
4	Implikationen für Arbeitsschutzmaßnahmen	33
	Literatur	34

Zusammenfassung

Der Gleichklang von Sicherheit, Gesundheit und Wettbewerbsfähigkeit ist eine Herausforderung in Zeiten des digitalen Wandels – ist dieser doch größtenteils durch das Streben nach Effizienz getrieben. Durch eine systematische Identifizierung von Ansatzpunkten werden Möglichkeiten für eine menschengerechte Arbeitsgestaltung bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung aufgezeigt. Darüber hinaus ist es Aufgabe des Arbeitsschutzes Risiken für Beschäftigte zu minimieren. Ausgewählte Forschungsarbeiten der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin werden in diesem Kontext dargestellt und Implikationen für Arbeitsschutzmaßnahmen abgeleitet.

Schlüsselwörter

Arbeitsschutz · Sicherheit · Gesundheit · Menschengerechte Arbeit · Arbeitsgestaltung · Organisationsgestaltung

L. Adolph (✉) · B. Kirchhoff · J.-H. Geilen
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, Deutschland
E-Mail: adolph.lars@baua.bund.de; kirchhoff.britta@baua.bund.de;
geilen.jan-hendrik@baua.bund.de

1 Einleitung

Die Digitalisierung der Arbeitswelt nimmt branchenübergreifend zu. Bereits in naher Zukunft könnte dies zu teilweise tiefgreifenden Veränderungen für Beschäftigte führen. Die Foresight Studie „Digitale Arbeitswelt“ des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (Apt et al. 2016) skizziert als kurzfristige Perspektive unter anderem eine „smarte Automatisierung“ auf Grundlage kooperativer Systeme bestehend aus Mensch und Technik. Ermöglicht wird dies beispielsweise durch den Einsatz kollaborativer Roboter. Diese können mit Menschen in gemischten Räumen zusammenarbeiten, sind flexibel einsetzbar und können auch durch Produktionsmitarbeiter ohne großen Aufwand umprogrammiert werden. Sie können auch gezielt eingesetzt werden, um gesundheitliche Beeinträchtigungen eines Nutzers zu kompensieren.

Ein wesentlicher Treiber der Digitalisierung der Arbeitswelt ist das Streben nach Erhalt und Steigerung von Wettbewerbsfähigkeit unter wechselnden Rahmenbedingungen. Ein tiefgreifendes Verständnis möglicher Auswirkungen digitaler Arbeit auf die Beschäftigten ist notwendig, um mögliche Risiken zu minimieren, die Potenziale für eine menschengerechte Gestaltung von Arbeit zu nutzen und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu stärken. Mögliche Wechselwirkungen und Belastungskonstellationen sind dabei zu berücksichtigen. So kann beispielsweise die Verwendung kollaborativer Roboter einerseits zu einer Entlastung von nicht ergonomischen Tätigkeiten führen, auf der anderen Seite jedoch auch eine mentale Überforderung bei der Steuerung und Überwachung dieser Roboter bewirken. Die Auseinandersetzung mit möglichen nicht intendierten Folgen im Vorfeld kann hier Abhilfe schaffen. Eine Gefahr der beschriebenen smarten Automatisierung ist der bloße Verbleib von Resttätigkeiten für den Menschen, welcher sich ungünstig auf die Entwicklung von Kompetenzen und die psychische Gesundheit auswirken kann. Bei guter Gestaltung kann jedoch das Aufgabenspektrum der Beschäftigten sogar erweitert werden. Daraus entstehende Qualifikationsanreize können im Sinne der lernförderlichen Arbeitsgestaltung als positiv gesehen werden, es darf jedoch andererseits nicht zu unerfüllbaren Qualifikationsanforderungen kommen. Die Beispiele verdeutlichen, dass ein und dieselbe Veränderung sowohl positive als auch negative Auswirkungen haben kann.

Die konkrete Ausgestaltung der digitalen Arbeit ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht vollständig absehbar. Ansatzpunkte der Arbeitsgestaltung lassen sich allerdings bereits jetzt systematisch identifizieren und erforschen. Dies gilt zum Beispiel für die Verminderung von Sicherheitsrisiken für die Beschäftigten oder auch für das Aufzeigen positiver Gestaltungsmöglichkeiten beispielsweise durch die beanspruchungsoptimierende Verwendung von Assistenztechnologien.

Ziel des folgenden Kapitels ist daher zunächst die Einordnung der Auswirkungen digitaler Arbeit in Wirkebenen von Organisationen und die Beurteilung anhand Kriterien menschengerechter Arbeitsgestaltung. Im Anschluss werden exemplarisch aktuelle Forschungsthemen der BAuA anhand der zuvor beschriebenen theoretischen Einordnung präsentiert. Daraus abgeleitet werden abschließend Implikationen für Arbeitsschutzmaßnahmen diskutiert.

2 Strukturierung des Feldes: Ansatzpunkte für die sichere und gesunde Gestaltung

In Folge der Diversität zukünftiger Entwicklungen sowie der zum jetzigen Zeitpunkt noch unbestimmten konkreten Ausgestaltung der zukünftigen Arbeitswelt entsteht der Bedarf, die Herausforderungen zu strukturieren. Eine Systematisierung ist daher sinnvoll, um relevante Ansatzpunkte für eine gute Arbeitsgestaltung identifizieren zu können. Die Elemente von Arbeitssystemen können aus vier Wirkebenen beeinflusst werden – der Mikro-, der Meso- und der Makro-Ebene von Organisationen. Die Mikro-Ebene repräsentiert dabei den einzelnen Arbeitsplatz oder auch spezifische Arbeitsmittel. Die Meso-Ebene betrachtet komplette Arbeitssysteme und Prozesse zwischen Struktureinheiten eines Unternehmens. Die Makro-Ebene umfasst Gesamtunternehmen und unternehmensübergreifende Prozesse. Neben diesen Ebenen einer systemischen Betrachtung von Organisationen – Mikro, Meso und Makro – erscheint die Einbettung in eine Meta-Ebene sinnvoll, welche unter anderem politische und rechtliche Rahmenbedingungen sowie Wertewelten umfasst (s. Abb. 1).

Unmittelbar betroffen sind Beschäftigte durch Veränderungen auf der Mikro-Ebene ihres Arbeitssystems. Der neue Computer oder ein Roboter, mit dem während eines Großteils der Arbeitszeit interagiert wird, kann das Erleben des Arbeitstages, das Wohlbefinden sowie Sicherheit und Gesundheit wesentlich beeinflussen. Aber auch die Veränderung der Zusammenarbeit sowie der Organisation im operativen Geschäft auf der Meso-Ebene beeinflussen das Verhalten und Erleben der Beschäftigten direkt. Beispielsweise können Kommunikationsmöglichkeiten wegfallen, oder

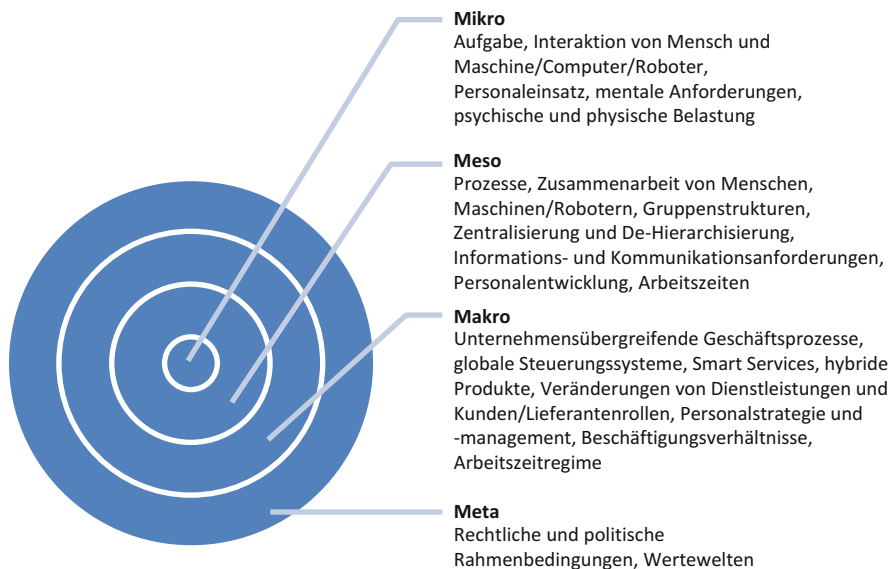


Abb. 1 Systemebenen der Digitalen Arbeitswelt

die mangelnde Transparenz oder Verständlichkeit von Abläufen führt zu Entfremdung und Stresserleben. Veränderungsaspekte auf der Makro-Ebene finden aus Sicht der Beschäftigten im Hintergrund statt und haben in der Regel eine vermittelnde Wirkung auf das Erleben einer konkreten Arbeitstätigkeit. Diese Aspekte können jedoch hoch bedeutsam sein, wenn für die Beschäftigten z. B. mögliche Veränderungen der Beschäftigungsform oder umfassende Weiterbildungserfordernisse im Raum stehen. Die Meta-Ebene geht über die Organisation hinaus. Rechtliche Rahmenbedingungen, zum Beispiel in Bezug auf den Schutz persönlicher Daten der Beschäftigten, wirken sich auf die Gestaltung von Arbeitssystemen aus. Die Zwecke und Verwendungen der Informationen aus individuell-adaptiven Arbeitssystemen, bspw. Head Mounted Displays, sind unter Umständen nicht für alle Beteiligten transparent. Gleichwohl besteht gerade in der Verwendung individuumsbezogener Informationen eine Grundlage für die anforderungsadäquate oder beanspruchungsoptimale Gestaltung und Steuerung von Tätigkeiten. Die rechtliche Klärung der Restriktionen des Datenschutzes und der Persönlichkeitsrechte ist somit eine Bedingung, um letztlich auch das ergonomische Gestaltungs- und Prozessführungspotenzial der neuen Technologien nutzen zu können. Neben rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen sind Wertewelten der Beschäftigten von Bedeutung für die individuelle Wahrnehmung und Beurteilung gut gestalteter Arbeit. Die Studie „Wertewelten Arbeiten 4.0“ des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales verdeutlicht, dass die Ansprüche an Arbeit und Leben sowie die individuellen Bedürfnisse sich ebenso im Wandel befinden wie die technologische Entwicklung (Greve et al. 2016). Die Kenntnis von veränderten Wünschen und Bedürfnissen ist daher eine Voraussetzung für eine gute Gestaltung von Arbeitssystemen im Sinne der Menschen.

Die vier Betrachtungsebenen können helfen, Themen und Objekte der Forschung und Gestaltung zu identifizieren, sie bieten aber keine inhaltliche oder zielbezogene Orientierung. Hierzu können die generischen Bewertungskriterien zur Gestaltung menschengerechter Arbeit nach Hacker und Sachse (2014) herangezogen werden (s. Tab. 1).

Bei der Gestaltung von Arbeitssystemen sind das physische und mentale Leistungsvermögen zwingend zu berücksichtigen, um sicherzustellen, dass Aufgaben ausführbar und generell zu bewältigen sind. Die Schädigungslosigkeit von Tätigkeiten ist zudem zu gewährleisten. Unfälle und Schädigungen der Gesundheit sind durch

Tab. 1 Bewertung einer menschengerechten Arbeitsgestaltung in Anlehnung an Hacker und Sachse (2014)

Bewertungsebenen	Kernmerkmale
Ausführbarkeit	Anthropometrische und sinnesphysiologische Normwerte einhalten
Schädigungslosigkeit	Gesundheitsschäden ausschließen
Beeinträchtigungsfreiheit	Arbeiten ohne Beeinträchtigungserleben, keine Befindensminderung
Persönlichkeitsförderlichkeit	Lernen und Kompetenzentwicklung

sichere Gestaltung zu verhindern. Weitergehend ist die Beeinträchtigungsfreiheit oder auch Zumutbarkeit einer Tätigkeit zu betrachten. Dies bedeutet, dass im besten Fall ein Beanspruchungsoptimum hergestellt werden kann: körperliche und geistige Unterforderung wie Überforderung werden vermieden.

Lernförderlich gestaltete Arbeitssysteme können darüber hinaus die Gesundheit der Beschäftigten fördern und ihre Kompetenzen weiterentwickeln. Bei erfolgreicher Umsetzung verbessern sich in der Folge Zufriedenheit, Motivation und Leistungsfähigkeit der Beschäftigten.

Übertragen auf zukünftige Arbeitssysteme wird deutlich, dass neue Technologien Chancen und Risiken in Bezug auf die menschengerechte Gestaltung von Arbeit bieten. So können adaptive Systeme Beschäftigte individuell unterstützen, Lernprozesse befördern und auch körperliche Einschränkungen kompensieren. Möglicherweise kann aber bei nicht optimaler Verwendung auch eine gegenteilige Wirkung erzielt werden und die Technologien wirken sich ungünstig auf die mentale Beanspruchung der Beschäftigten aus oder verursachen durch nicht ergonomisches Design sogar körperliche Beschwerden. Die Interaktion mit Robotern ermöglicht auf der einen Seite die Entlastung von Beschäftigten, in einem schlechten Fall können aber Merkmale der Automation dazu führen, dass Aufgaben der Beschäftigten aus Resttätigkeiten bestehen, die zu Monotonie und Dequalifizierung führen. Auch kann die Komplexität und Dynamik der cyberphysischen Systeme und ihrer Prozesse aufgrund der eingebetteten Software und Vernetzung untereinander und mit dem Internet unter Umständen nicht hinreichend verstanden werden. Dies kann unmittelbar zu Stress und Sicherheitsrisiken führen. Es wird deutlich, dass die Gestaltung von Arbeitssystemen bzw. der Einsatz neuer Technologien einer Analyse von Chancen und Risiken bedarf.

Anzusetzen ist dabei bei der Arbeitsaufgabe als Kern des soziotechnischen Systems (Ulich 2011). Wechselwirkungen zwischen Technik, Organisation und Personal lassen sich anhand der Verknüpfung durch die Aufgabe beschreiben. Für die menschengerechte Arbeits- und Aufgabengestaltung leitet sich daraus das „TOP-Prinzip“ (Technik, Organisation, Personal) ab. Die Buchstabenreihenfolge verdeutlicht dabei die arbeitswissenschaftliche Maßnahmenhierarchie. Für die Gestaltung guter, sicherer und gesunder Arbeitsaufgaben sind zunächst technische Maßnahmen zu prüfen z. B. mit dem Ziel eines Belastungsoptimums oder der Minimierung des Unfallrisikos. Soweit dies nicht möglich ist, sind organisatorische, regulierende Maßnahmen zu ergreifen, etwa durch eine zeitliche Begrenzung von Belastungen. Erst wenn die technischen und organisatorischen Möglichkeiten zur Optimierung der Aufgabengestaltung ausgeschöpft sind, sollten verhaltens- bzw. personenorientierte Maßnahmen zum Einsatz kommen, die Gestaltungsdefizite dann kompensieren können. Letztere Maßnahmen sind allerdings nicht zu verwechseln mit grundsätzlich fähigkeitserweiternden Ansätzen und mit Kompetenzentwicklung durch eine Aufgabe selbst. Für gut befähigte Menschen kann die Bewältigung komplexer Aufgaben ein Beanspruchungsoptimum darstellen, das zum Lernen und zur Weiterentwicklung beiträgt. Dies findet aber nicht durch ständige Kompensationsanstrengungen bei Defiziten der Technik oder der Arbeitsbedingungen statt.

3 Aktuelle Forschungsthemen

Im Folgenden sollen ausgewählte relevante Veränderungsaspekte der verschiedenen Ebenen anhand von Beispielen (s. Tab. 2) hinsichtlich ihrer Chancen und Risiken für die Gestaltung menschengerechter Arbeit betrachtet werden.

3.1 Mikro-Ebene

Bereits seit einigen Jahren forscht die BAuA im Bereich *Ambient Intelligence* (AmI). AmI beschreibt Konzepte, die darauf abzielen, mithilfe von Sensoren, Aktoren und Computerprozessoren die Lebens- und Arbeitsumgebung um intelligente Funktionen zu erweitern und somit Gesundheit und Wohlbefinden im Arbeits- und Privatleben zu fördern. Dazu passen sich diese Umgebungen situationsspezifisch und nahezu autonom an äußerliche Voraussetzungen und/oder Bedürfnisse und Ziele der Nutzer an. Ein gesonderter Bereich der AmI befasst sich mit *Adaptiven Arbeits-assistenzsystemen* (AAS). Der Einsatz von AAS bietet grundsätzlich neue Chancen für menschengerechte Arbeitsgestaltung, bringt jedoch – bspw. bei einer ergonomisch fehlerhaften Gestaltung – auch Risiken für die Nutzer mit sich. Die gezielte Betrachtung der Auswirkungen des Einsatzes von AAS auf den einzelnen Beschäftigten findet auf der Mikro-Ebene eines Arbeitssystems statt. Am Beispiel von Head-Mounted Displays zur Unterstützung von Beschäftigten sowie der Umgebungsgestaltung durch biologisch wirksames Licht werden Chancen und Risiken von Veränderungen auf Mikro-Ebene beispielhaft beschrieben.

Head Mounted Displays (HMDs) – oder auch Datenbrillen – sind kleine Monitore, die der Nutzer direkt vor dem Auge trägt. Ihre Entwicklung wird in den vergangenen Jahren immer stärker betrieben und auch auf den Consumer Bereich ausgeweitet (z. B. Virtual-Reality-Brillen). Im industriellen Bereich sollen HMDs den Beschäftigten kontextsensitive Informationen bereitstellen und sie somit unmittelbar bei der Arbeit unterstützen. Um die genauen Einflüsse von monokularen HMDs auf Mitarbeiter zu untersuchen, ging die BAuA zunächst drei expliziten Fragestellungen nach:

Tab. 2 Betrachtung von ausgewählten Veränderungsaspekten anhand der Ebenen der Systemgestaltung

Betrachtungsebene	Veränderungsaspekt	Forschungsfragen
Mikro-Ebene	• Head-Mounted Displays • Umgebungsgestaltung, biologisch wirksame Beleuchtung	• Geeignete Anwendungsfälle • Ergonomische Gestaltung • Auswirkungen auf die Beschäftigten
Meso-Ebene	• Mensch-Roboter-Kollaboration	• Formen der Zusammenarbeit und Auswirkungen
Makro- und Meta-Ebene	• 3D-Druck • Intelligente Schutzkleidung	• Rechtliche Rahmenbedingungen

1. Für welche Tätigkeiten ergibt die Anwendung von monokularen Datenbrillen Sinn?
2. Worauf ist bei der Gestaltung von monokularen Datenbrillen zu achten?
3. Mit welchen physischen und psychischen Beanspruchungen der Nutzer ist bei längeren Einsatzzeiten zu rechnen?

Bezüglich der ersten Frage ergab ein Expertenworkshop, dass der Einsatz von HMDs besonders dann sinnvoll ist, wenn Beschäftigte zur Ausführung einer Arbeitsaufgabe beide Hände benutzen müssen oder die Aufgabenerfüllung einen gewissen Grad an Mobilität voraussetzt – bspw. bei der Instandhaltung (Grauel et al. 2015). Einfache Routinetätigkeiten oder solche, die ein volles Sichtfeld erfordern, sollten nicht mit einer Datenbrille durchgeführt werden. Die technische Entwicklung auf dem Gebiet der Datenbrillen führt jedoch zu immer neuen sinnvollen Einsatzgebieten.

Bezüglich der zweiten Frage hat sich unter anderem in Feldversuchen in der Instandhaltung gezeigt, dass insbesondere die ergonomischen Eigenschaften und der Tragekomfort von HMDs sehr wichtig sind. Sie sollten stabil sein, allerdings auch gleichzeitig handlich und bequem. Außerdem darf das Sichtfeld nicht zu stark eingeschränkt werden. Die Softwareergonomie ist darüber hinaus ebenfalls von Bedeutung für Einkodierung und Bedienung. Im Sinne einer guten Arbeitsgestaltung ist die Hardwareergonomie (z. B. Gewichtsverteilung) jedoch unbedingt sicherzustellen, um somit schädigungs- und beeinträchtigungsfreie Arbeit zu ermöglichen.

Um die dritte Frage zu beantworten, wurden Laboruntersuchungen mit Probanden über die Dauer einer halben Schicht (vier Stunden) durchgeführt. Dabei wurden mithilfe von subjektiven und objektiven Methoden der Messung der mentalen Beanspruchung (Fragebögen zur Beanspruchungsbewertung, z. B. NASA Task Load Index, Herzfrequenz, Elektromyografie etc.) sowie durch die Erhebung von Leistungsparametern die Unterschiede bei einer Aufgabenbearbeitung mit HMDs bzw. mit Tablet-PCs als Referenz erfasst:

- Die Arbeit mit dem HMD hat keinen messbaren objektiven Einfluss auf das visuelle System, d. h. sie schadet den Augen nicht.
- Die subjektiv empfundene visuelle Ermüdung ist bei Nutzung des HMD höher als bei der alternativen Verwendung eines Tablet-PC.
- Der Einfluss auf die Beanspruchung der Nackenmuskulatur ist beim HMD eher gering.
- Die objektiv messbare, physiologische Beanspruchung ist zwischen Datenbrille und der Alternative Tablet-PC ähnlich.
- Die subjektive Beanspruchung der Nutzer ist beim HMD höher.
- Die Arbeitsleistung mit dem HMD ist geringer.
- Das Alter der Probanden führt bei der Beurteilung der beiden Arbeitsmittel zu keinen wesentlichen Unterschieden.
- Der Tragekomfort industrieller HMDs ist verbesserungswürdig.

Insgesamt zeigen sich die potentiellen Vorteile einer Datenbrille nur bei spezifisch geeigneten Aufgaben, z. B. solchen die „freie Hände“ erfordern. Sie erscheint nicht

als leicht einsetzbare „Allzweckwaffe“ zur Informationsunterstützung. Um die Vorteile der Technik ergonomisch und nutzbringend einzusetzen, sind folglich vorlaufende systematische Analysen von Aufgaben und Tätigkeiten sowie der Einbezug der Nutzer wesentlich (Theis et al. 2016; Wille 2016).

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt im Zusammenhang mit neuen Technologien ist bei der BAuA die innovative Beleuchtungstechnologie. Heutzutage wird zur Beleuchtung von Arbeitsplätzen immer häufiger die LED-Technik eingesetzt, da sie kompakt und energieeffizient und zudem gut dynamisch an verschiedene Lichtverhältnisse und Arbeitsaufgaben anpassbar ist. Vielen LED-Leuchten ist immanent, dass sie neben der visuellen auch eine sogenannte biologische Wirkung hervorrufen. Denn LED-Leuchten haben technisch-konstruktiv bedingt im blauen Spektralbereich oftmals einen Peak. Licht dieses Spektralbereiches unterdrückt die Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin und führt damit zu einem Zustand höherer Wachheit (Cajochen et al. 2005; Lockley et al. 2006). Tatsächlich wird LED-Licht bereits gezielt eingesetzt, um Müdigkeit zu unterdrücken – etwa bei der Arbeit in der Nachtschicht.

In Forschungsarbeiten im Auftrag der BAuA wurde untersucht, welche Auswirkungen diese Lichtexpositionen auf den circadianen Rhythmus (Schlaf-Wach-Rhythmus) haben, also inwieweit sie die „innere Uhr“ aus dem Takt bringen. Nicht zuletzt kann eine circadiane Desynchronisation substantielle negative Folgen mit sich bringen – z. B. Müdigkeit am Tag, Schlafstörungen in der Nacht, Depressionen etc. (Krüger 2014). Dazu wurde untersucht, wie sich verschiedene Kombinationen von Lichtexpositionen (Glühlampe, blau angereichertes Licht, gedimmtes Licht) jeweils am Abend und am Morgen kurz- und mittelfristig auf den Menschen auswirken.

Für kurzfristige Wirkungen bei einem Reaktionszeit-Test ergab die Studie folgende Ergebnisse:

- Gedimmtes Licht am Abend in Kombination mit blau angereichertem Licht am Morgen ergab beste Reaktionszeiten am Tag.
- Schlechte Reaktionszeiten resultierten nach blau angereichertem Licht am Abend in Kombination mit Lichtmangel am darauffolgenden Morgen.
- Blau angereichertes Licht am Morgen kann den negativen Effekt von eben solchem am Vorabend kompensieren.

Mittelfristig führt Lichtmangel am Morgen tendenziell zu einem oberflächlicheren Schlaf in der folgenden Nacht. Bei blau angereicherter Beleuchtung am Abend (z. B. durch LED-Fernseher) ist außerdem die Schlafdauer kürzer. Morgendliche Lichtexposition hingegen erhöht die Resistenz der inneren Uhr gegen Störungen durch Licht am Abend.

Es lässt sich festhalten, dass grundsätzlich jede Beleuchtung biologisch, konkret hormonell, wirksam ist. Ein erhöhter spektraler Anteil blauen Lichts am Morgen kann zusätzlich den circadianen Rhythmus in gewissen Grenzen den natürlichen Tageslichtverhältnissen anpassen (Kunz 2015). Vor dem Hintergrund, dass LED-Lampen in Privatleben und Beruf eingesetzt werden können, um Wachheit am

Abend und in der Nacht zu befördern, muss zukünftig erforscht werden, welche Langzeitwirkungen bei wiederkehrendem Gebrauch von biologisch wirksamer Beleuchtung entstehen. Darüber hinaus ist der Bedarf an Normen oder Regeln für die Beleuchtung am Arbeitsplatz zu prüfen.

3.2 Meso-Ebene

Kooperative Roboter können, wie eingangs beschrieben, zu einer flexiblen Gestaltung von Produktionssystemen beitragen. In bisherigen Produktionssystemen wurden Roboter meist räumlich – vorwiegend durch Sicherheitszäune – vom Menschen getrennt, um diesen zu schützen und Sicherheitsanforderungen zu genügen. Die Vernetzung und Echtzeitfähigkeit von Sensorik sowie die zunehmende „Intelligenz“ von Robotersteuerungen erlauben allerdings neue Interaktionsmuster. Menschen und Roboter können sich dann nicht nur einen Arbeitsraum teilen, sondern sogar direkt miteinander „Hand-in-Hand“ arbeiten.

Die Vorteile einer solchen Mensch-Roboter-Zusammenarbeit werden darin gesehen, dass der Mensch seine Erfahrung und seine Fähigkeiten der Kognition und Wahrnehmung, der Sensomotorik sowie der spontanen Situationseinschätzung in das Arbeitssystem einbringen kann und somit den Robotereinsatz flexibilisiert. Gleichzeitig kann der Roboter seine Vorteile, wie bspw. Reproduzierbarkeit, Bewegungsgeschwindigkeit, Qualität oder etwa Lastenhandhabung einbringen und den Menschen bei gefährlichen, physisch anspruchsvollen oder monotonen Arbeiten entlasten. Menschen können so von Robotern unterstützt und Produktionssysteme noch flexibler gestaltet werden (Krieger et al. 2008; Spillner 2015).

Viele Fragen des Einsatzes von kollaborativen Robotern betreffen die Mikro-Ebene der Gestaltung (z. B. Aspekte der Ergonomie). Mögliche Änderungen hinsichtlich der Aufgabenteilung, der Gestaltung von Prozessen und Formen der Arbeitsorganisation beziehen sich auf die Meso-Ebene. Darüber hinaus verändern sich durch die Zusammenarbeit von einem oder mehreren Beschäftigten mit Robotern auch Gruppenstrukturen.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes der BAuA wurde eine Taxonomie der Interaktion von Mensch und Roboter (Onnasch et al. 2016) entwickelt, auf deren Basis eine systematische Betrachtung der Auswirkungen derzeitiger und zukünftiger Formen der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit erfolgen kann. Die Taxonomie wurde anhand von Leitfragen entwickelt, aus denen sich die drei Klassifikationscluster (1) Interaktion, (2) Roboter und (3) Team ergeben.

- (1) Menschen können bei der Interaktion mit Robotern verschiedene Rollen einnehmen. Als Supervisor gibt der Mensch beispielsweise Anweisungen und überwacht den Roboter. In der Rolle des Kollaborateurs arbeitet er hingegen direkt mit dem Roboter zusammen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen.
- (2) Als Interaktionspartner des Menschen haben Aufgaben und Gestaltung des Roboters einen großen Einfluss. Mögliche Aufgaben eines kollaborativen Roboters sind die Entlastung des Menschen durch die Handhabung von Objekten oder

die Durchführung von repetitiven Aufgaben. Ein weiteres Beispiel ist der Einsatz von Robotern für Tätigkeiten, die ein Mindestmaß an Präzision erfordern, etwa im medizinischen Kontext. Die Gestaltung des Roboters (z. B. humanoid oder funktional) wirkt sich unter anderem auf die Beurteilung der Interaktion durch den Menschen aus. Durch visuelle Hinweisreize des Roboters kann beispielsweise die Antizipation der Roboteraktion durch den Menschen erleichtert werden.

- (3) Die Art der Zusammenarbeit oder auch Mensch-Roboter-Teamarbeit wird in der Taxonomie unter anderem durch die räumliche Nähe zwischen Mensch und Roboter sowie den Kommunikationskanal beschrieben. Bei einer engen Kollaboration zwischen Mensch und Roboter kann ein physischer Kontakt auftreten. Eine große räumliche Distanz ist gegeben, wenn Roboter (z. B. Drohnen) ferngesteuert werden. Roboter können Informationen von Menschen auf verschiedenen Kanälen (z. B. elektronisch oder mechanisch) aufnehmen und an diese ebenso auf verschiedenen Kanälen weitergeben (z. B. akustisch oder visuell).

Die Aufgabenallokation zwischen Mensch und Roboter ist für die menschenge-rechte Arbeitsgestaltung zentral. Welche Aufgaben innerhalb eines Prozesses oder einer Aufgabe sollten vom Menschen und welche vom kollaborierenden Roboter ausgeführt werden? Übernimmt der Roboter einen Großteil der Aufgaben, besteht die Gefahr, dass der Mensch nur noch Resttätigkeiten ausübt, was zu Monotonie und Dequalifizierung führen kann. Übernimmt der Roboter jedoch nur die einfachen repetitiven Aufgaben und überlässt dem Menschen die anspruchsvollen, dann sieht dieser sich schnell mit einer hohen Komplexität konfrontiert, hat weniger mentale Ruhephasen und damit einhergehend eine kognitiv sehr intensive Belastung. Hinzu kommt, dass das Erleben diesbezüglich zwischen verschiedenen Mitarbeitern inter- und intraindividuell sehr unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Aufgrund der Adaptivität intelligenter Roboter kann die Aufgabenallokation allerdings in Zukunft an äußere Gegebenheiten sowie individuelle Eigenschaften von Beschäftigten(-gruppen) angepasst werden.

Unabhängig von ihrer Qualifikation oder anderen Merkmalen, wie etwa Geschlecht oder körperlicher Konstitution, können Mitarbeiter so in die Lage versetzt werden, die Arbeitsaufgabe in einer Roboterzelle gemeinsam mit den Robotern durchzuführen. Besonders vor dem Hintergrund des demographischen Wandels und des erwarteten Fachkräftemangels sollten diese Aspekte berücksichtigt werden. Um dies im Rahmen der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit gewährleisten zu können, werden verschiedene Ausprägungen der Aufgabenteilung, bzw. Automatisierungsgrade untersucht und es wird erforscht, inwiefern ein gleitender Automatisierungsgrad darstellbar ist (Krieger et al. 2008). Hier liegt wiederum ein Fokus auf der Frage, ob die Aufgabenteilung mitarbeiterspezifisch und kontextsensitiv gestaltet werden soll. Eine Annahme ist, dass die nutzerindividuelle Anpassung der Arbeit großes Potenzial besitzt, Beschäftigte bestmöglich zu unterstützen und zudem zur Lernförderlichkeit beiträgt. In diesem Zuge wird darüber hinaus analysiert, welche Instanz für eine mitarbeiterbezogene Allokation verantwortlich sein sollte – der Mitarbeiter selber, ein Vorgesetzter oder vielleicht sogar der Roboter: Gombolay et al.

(2014) zeigen, dass die Verantwortung und Durchführung der Arbeitsplanung durch einen Roboter eine ernstzunehmende Gestaltungsoption sein kann. Insbesondere für Mensch-Roboter-Teams entstehen neue organisatorische Möglichkeiten, die es wissenschaftlich zu prüfen gilt.

3.3 Makro- und Meta-Ebene

Interventionen auf Mikro- und Meso-Ebene sind für Beschäftigte in Organisationen unmittelbar erlebbar. Dahingegen finden Veränderungen auf der Makro- und Meta-Ebene aus Sicht der Beschäftigten im Hintergrund statt und haben eine vermittelte Wirkung auf das Erleben. Makro- und Meta-Ebene sind in vielen Bereichen eng miteinander verwoben. Rechtliche Rahmenbedingungen steuern beispielsweise die organisationale Einbindung neuer Technologien. Sie geben den Handlungsrahmen für Gestaltungsmöglichkeiten auf Mikro-, Meso- und Makro-Ebene vor und sind daher im Kontext der Digitalisierung von besonderer Bedeutung. Zum einen sind bestehende gesetzliche Bedingungen zu erfassen, um aktuelle Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Zum anderen sind mögliche Aktualisierungsbedarfe aufzuzeigen, die notwendig sind, um Industrie 4.0 realisieren zu können. Dies wird an den Beispielen „3D-Druck“ und „intelligente Schutzkleidung“ deutlich.

Mit dem Stichwort „3D-Druck“ wird oft ein großer Bereich von additiven Fertigungsverfahren umrissen, der das Potential hat, Produktionsprozesse und -prinzipien grundlegend zu verändern. Zu unterscheiden sind einerseits die additiven Fertigungsverfahren im industriellen Bereich, z. B. zur Herstellung von Prototypen, aber auch als etablierte Fertigungsmethode in Produktionsprozessen und andererseits die Fertigung von individuellen Bauteilen für den privaten Bereich. Der letzte Bereich umfasst auch kommerzielle Dienstleistungen, die über das Internet abgewickelt werden können. Zudem entstehen hier Möglichkeiten private und kommerzielle 3D-Drucker für Produktionsziele von Unternehmen zu vernetzen und somit neuartige und flexible Produktions- und Logistikprozesse zu gestalten. Forschungsfragen der BAuA beziehen sich auf potentielle Risiken und Gestaltungsmöglichkeiten dieser neuartigen Prozesse.

Im industriellen Kontext sind eine Vielzahl von Verfahren und der Einsatz verschiedenster, auch neuer innovativer Materialien möglich. Es können z. B. Pulver, Feststoffe und Flüssigkeiten unterschiedlichster Zusammensetzung sowie physikalischer oder chemischer Eigenschaften verarbeitet werden. Somit werden additive Fertigungsverfahren durch ihre Vielfalt und Variabilität in verschiedensten Bereichen eingesetzt. Die Fotopolymerisationsverfahren (stereolithography) und verschiedene Pulverbettverfahren (selective laser sintering, selective laser melting) erscheinen als am weitesten verbreitet. Insbesondere Pulverbettverfahren können mit Risiken verschiedener Staubexpositionen (z. B. Kunststoffe, Metalle, Keramiken) von Beschäftigten einhergehen, diese gilt es zu kontrollieren. Es besteht ein Entwicklungsbedarf an Standards für sichere Produktionsprozesse.

Im privaten Bereich und bei Dienstleistungen entstehen immer neue Anwendungsszenarien für 3D-Drucker. Es lassen sich Ersatzteile für den Heim- und

Profibereich, Waffenteile, Tragwerke, Kleidungssteile (Schuhe) etc. von den verschiedensten Herstellern beziehen oder es kann entsprechende Software für einen in eigener Verfügung stehenden 3D-Drucker erworben werden. Die vielfältige Verwendung der Geräte bildet eine Herausforderung für staatliche Stellen, wie Justiz, Zoll und Marktüberwachung. Die Trennung der Rechtsinhaber von Software und Hardware sowie beliebige Aufstellorte der Geräte machen etwaige Kontrollen entsprechend komplex. Zudem lassen sich 3D-Drucker vermieten, es können Geräte im öffentlichen Raum zur sporadischen Nutzung aufgestellt oder Heimgeräte zur Lohnarbeit vernetzt und nach Erledigung des Auftrages wieder aus einem Verbund entlassen werden. Der 3D-Druck wird folglich auch in diesem Kontext hinsichtlich des Arbeits- und Verbraucherschutzes und verbundener Rechtsfragen (z. B. Produktsicherheitsrecht, Urheberrecht, Haftung) durch die BAuA betrachtet.

Ein weiteres Beispiel für Produkte, welche großen Einfluss auf die Arbeitswelt von morgen haben werden, sind tragbare Computertechnologien, sogenannte „Wearables“. Dazu zählen neben den bereits diskutierten Datenbrillen aus dem industriellen Kontext auch Virtual-Reality-Brillen für die private Nutzung oder Kleidung, die mit Informations- und Kommunikationstechnologien ausgestattet ist. Die Integration derartiger Informations- und Kommunikationstechnologien in persönliche Schutzausrüstung („intelligente Schutzkleidung“) eröffnet beispielsweise viele Möglichkeiten der sicheren und gesunden Arbeitsgestaltung. Über Sensoren in der Schutzkleidung werden verschiedene Daten des Trägers erhoben und so können beispielsweise Einsatzkräfte der Feuerwehr vor Gefahren gewarnt werden (Skistims et al. 2012). Mithilfe eines Rechtsgutachtens (Roßnagel et al. 2012) wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes der BAuA zu den Chancen und Risiken intelligenter Schutzkleidung zunächst geklärt, inwieweit und unter welchen Bedingungen der Einsatz solcher Sensoren, das Messen, Weiterleiten und Auswerten der Daten überhaupt zulässig sind.

Eine kontinuierliche, systematische Überwachung der Beschäftigten mithilfe intelligenter Sensoren ist beispielsweise bedenklich, da Persönlichkeitsrechte der Einsatzkräfte (z. B. informationelle Selbstbestimmung) eingeschränkt werden und Rückschlüsse auf die Arbeitsweise möglich sind. Grundlage für die Bewertung der Zulässigkeit sind bspw. die Besonderheiten des deutschen Feuerwehrwesens sowie Chancen und Risiken der Technologie für den Gesundheitsschutz und die Aufgabenerfüllung. Fazit des Rechtsgutachtens ist, dass die Erfassung von Vitalparametern im Einsatz grundsätzlich möglich ist, wenn die Grundprinzipien des Datenschutzes eingehalten werden. Beim Einsatz intelligenter Schutzkleidung sind dies unter anderem die Datenschutzprinzipien der Zweckfeststellung bzw. Zweckbindung, Erforderlichkeit, Transparenz, Datenvermeidung und Datensparsamkeit.

Da konkrete Regelungskonzepte für den Umgang mit personenbezogenen Daten, welche im Beschäftigungsverhältnis erhoben wurden, bisher in den Datenschutzgesetzen fehlen, können Betriebs- und Dienstvereinbarungen sinnvoll sein. Somit haben beim Einsatz intelligenter Schutzkleidung Aspekte der Meta-Ebene Einfluss auf die Makro-Ebene der Organisationsgestaltung.

4 Implikationen für Arbeitsschutzmaßnahmen

Die genannten Beispiele haben gezeigt, dass die Digitalisierung der Arbeit Aufgaben und Tätigkeiten weitreichend verändern wird. Die Vielfalt der Arbeitsformen und Arbeitssysteme nimmt zwar zu, eine systematische Betrachtung der jeweiligen Auswirkungen auf den verschiedenen Betrachtungsebenen ermöglicht jedoch trotz dieser Vielfalt die Ableitung von Implikationen für Arbeitsschutzmaßnahmen. Die Entwicklung von Systematiken wie die Taxonomie der Mensch-Roboter-Interaktion von Onnasch et al. (2016) erleichtert zudem die Analyse von sozio-technischen Arbeitssystemen.

Auf der Meta-Ebene ist jedoch darüber hinaus zu prüfen, ob das heutige System des Arbeitsschutzes sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen den neuen Anforderungen des Arbeitens in der digitalen Welt gerecht werden oder einer Anpassung bedürfen. Ist die Passung zwischen bestehenden Arbeitsschutzmaßnahmen und der Qualifikation der Akteure des Gesundheits- und Arbeitsschutzes mit den Anforderungen durch die Einführung neuer Technologien gegeben? Ist das gegenwärtige Rechtssystem beispielsweise im Bereich des Datenschutzes geeignet, um den Einsatz neuer Technologien zu bewerten und die spezifischen Chancen des Einsatzes von Sensorik zu nutzen?

Aufgrund der zunehmenden Diversität wird es schwieriger, pauschale Gestaltungsempfehlungen zu geben. Daraus folgt, dass Implikationen für Arbeitsschutzmaßnahmen auf Mikro-, Meso- und Makro-Ebene mittels bestmöglicher Methoden der Analyse und Bewertung menschengerechter Arbeitsgestaltung abgeleitet werden müssen. Zwar gilt dieses derzeit bereits für die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz, welche auf das Erkennen und Abwenden von potentiellen Gefahren im konkreten Betrieb abzielt, statt Standardlösungen zu propagieren. Die Analyse und Bewertung von Veränderungsmaßnahmen bekommt jedoch in Zukunft aufgrund veränderter und stärker miteinander verflochtener Gefährdungen und Belastungen einen größeren Stellenwert. Werden beispielsweise kollaborative Roboter eingesetzt, um Beschäftigte von physisch beanspruchenden Tätigkeiten zu entlasten, können gleichzeitig durch die engere Interaktion mit Robotern neue Belastungen entstehen. Etwa dann, wenn der Mensch seine Arbeitsweise an den Roboter anpassen muss und in seinem Tätigkeitsspielraum eingeschränkt wird. Datenbrillen können situationsangepasst Informationen bereitstellen und Beschäftigte somit bei ihren Tätigkeiten unterstützen. Durch bestimmte Umgebungsfaktoren können jedoch auch hier neue Belastungen auftreten, so können beispielsweise Gefahrenbereiche übersehen werden. Es ist also zu erwarten, dass auch die Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen komplexer wird. Derartige Wechselwirkungen und Belastungskombinationen müssen bei der Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden und dies erfordert in den Unternehmen Ressourcen und Kompetenzen.

Auch bei der Methodenentwicklung zur Erfassung und Bewertung von Gefährdungen beim Gebrauch im Betrieb entsteht dort Handlungsbedarf, wo Verfahren zu grob oder ungenau sind, aber auch da, wo sie durch wissenschaftlich begründete Genauigkeit nicht hinreichend praxistauglich sind. Übergeordnete Taxonomien un-

terstützen dabei, ebenso können praxistaugliche Risikobewertungsmodelle hilfreich sein. Risikobewertungen von „smarten“ Arbeitsmitteln werden auch deren Hersteller, die dazu verpflichtet sind, vor neue Herausforderungen stellen. Auf der Meta-Ebene des Arbeitsschutzes wird die Passung bestehender Methoden und Maßnahmen zu den Veränderungen der Arbeitswelt kontinuierlich zu hinterfragen sein.

Literatur

- Apt, W., Bovenschulte, M., Hartmann, E. A., & Wischmann, S. (2016). *Foresight-Studie „Digitale Arbeitswelt“*. Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Forschungsbericht, 463. Berlin: BMAS.
- Cajochen, C., Münch, M., Kobińska, S., Kräuchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., . . . Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation and heart rate to short wavelength light. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 90, 1311–1316.
- Gombolay, M. C., Gutierrez, R. A., Sturla, G. F., & Shah, J. A. (2014). Decision-making authority, team efficiency, and human worker satisfaction in mixed human-robot teams. In *Proceeding of the Robotics: Science and Systems (RSS)*.
- Grauel, B., Terhoeven, J. N., & Wischniewski, S. (2015). Beanspruchungsoptimaler Einsatz von Head-Mounted Displays als Arbeitsassistent. *Technische Sicherheit*, 5(1–2), 39–42.
- Greve, A., Freytag, V., & Katterbach, S. (2016). Ergebnisse aktueller Kulturstudien zu Führung und Arbeit. In A. Greve, V. Freytag & S. Katterbach (Hrsg.), *Unternehmensführung und Wandel aus Sicht der Wirtschaftsförderung. Grundlagen für die Praxis Wirtschaftsförderung in Lehre und Praxis* (S. 57–68). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Hacker, W., & Sachse, P. (2014). *Allgemeine Arbeitspsychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Krieger, R., Matthias, B., Behnisch, K., Kühlenkötter, B., & Garcia, A. A. (2008). Industrieroboter als Produktionsassistenten für die Automobilmontage. In *Fachtagung Robotik 5-2008 München*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Krüger, J. (2014). Anwendung biologisch wirksamer Beleuchtung am Tag. Tageslichtmangel durch künstliches Licht ausgleichen? *baua: Aktuell*, 2, 8.
- Kunz, D. (2015). *Circadiane Wirksamkeit Aml-basierter Beleuchtungssysteme: Wirkungsfragen circadianer Desynchronisation* (1. Aufl.). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Lockley, S., Evans, E., Scheer, F., Brainard, G., Czeisler, C., & Aeschbach, D. (2006). Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. *Sleep*, 29, 161–168.
- Onnasch, L., Maier, X., & Jürgensohn, T. (2016). *Mensch-Roboter-Interaktion. Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle* (1. Aufl.). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Roßnagel, A., Jandt, S., Skistims, H., & Zirfas, J. (2012). *Zulässigkeit von Feuerwehr-Schutzanzügen mit Sensoren und Anforderungen an den Umgang mit personenbezogenen Daten* (1. Aufl.). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Skistims, H., Zirfas, J., & Pendzich, M. (2012). „Intelligente“ Schutzausrüstung: Persönliche Sicherheit und Datenschutz. *sicher ist sicher*, Ausgabe 9, 376–379.
- Spillner, R. (2015). *Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion*. München: Herbert Utz Verlag.
- Theis, S., Pfendler, C., Alexander, T., Mertens, A., Brandl, C., & Schlick, C. M. (2016). *Head-Mounted Displays – Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes. Physische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Ulich, E. (2011). *Arbeitspsychologie*. Zürich: Schäffer-Poeschel.
- Wille, M. (2016). *Head-Mounted Displays – Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes. Psychische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Strategische Planung

Jürgen Gausemeier, Daniel Eckelt und Christian Dülme

Inhalt

1	Einleitung	36
2	Vorausschau	38
3	Konsequenzen für die Arbeitswelt	49
4	Resümee	55
	Literatur	56

Zusammenfassung

Industrie 4.0 führt zu einer tief greifenden Veränderung der Arbeitswelt. Damit verbunden sind vielfältige Chancen für Arbeitnehmer, aber auch Bedrohungen für die etablierte Arbeitswelt. Um diese zu erkennen, sind die Grenzen des gewohnten Denkens zu überwinden. Die Szenario-Technik ist das dafür geeignete Denkzeug. Anhand von Umfeldszenarien und Gestaltungsoptionen wird ein Zielbild für Deutschland im Kontext Industrie 4.0 ermittelt. Davon ausgehend werden Stoßrichtungen und Auswirkungen für die Arbeitswelt 2030 in den Bereichen Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktion identifiziert und erläutert.

Schlüsselwörter

Strategische Planung · Zukunftsszenarien · Gestaltungsoptionen ·
Produktentwicklung · Dienstleistungsentwicklung ·
Produktionssystementwicklung

J. Gausemeier (✉) · D. Eckelt · C. Dülme
Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland
E-Mail: juergen.gausemeier@hni.uni-paderborn.de; daniel.eckelt@hni.uni-paderborn.de;
christian.duelme@hni.uni-paderborn.de

1 Einleitung

Industrie 4.0 eröffnet neue Möglichkeiten für Marktleistungsinnovationen. Der Begriff Marktleistung umfasst Produkte (Sachleistungen) und Dienstleistungen sowie hybride Leistungsbündel, die geschickte und von Beginn an aufeinander abgestimmte Kombinationen von Sach- und Dienstleistungen sind.

Der Prozess der Marktleistungsentstehung erstreckt sich von der Produkt- bzw. Geschäftsidee bis zum Serienanlauf (Start of Production – SOP) und weist die Aufgabenbereiche Strategische Produktplanung, Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktionssystementwicklung auf (Abb. 1). Die Produktionssystementwicklung beinhaltet im Prinzip die Fertigungsplanung bzw. Arbeitsplanung ergänzt um die Materialflussplanung. Unserer Erfahrung nach kann der Prozess der Marktleistungsentstehung nicht als stringente Folge von Phasen und Meilensteinen verstanden werden. Vielmehr handelt es sich um ein Wechselspiel von Aufgaben, die sich in vier Zyklen gliedern lassen.

Erster Zyklus: Strategische Produktplanung

Dieser Zyklus charakterisiert das Vorgehen vom Finden der Erfolgspotenziale der Zukunft bis zur erfolgsversprechenden Produktkonzeption – der sog. prinzipiellen Lösung. Er umfasst die Aufgabenbereiche Potenzialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung und Produktkonzipierung. Das Ziel der Potenzialfindung ist

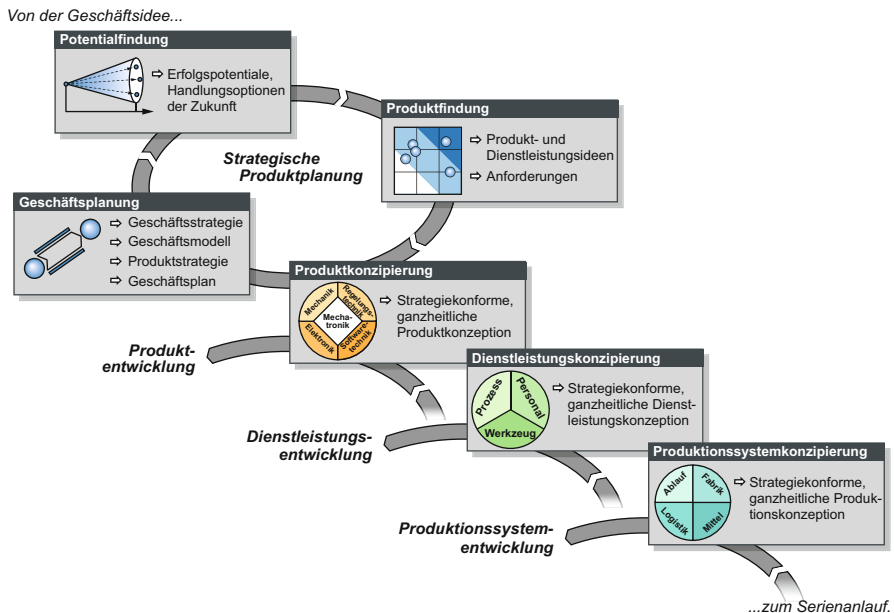


Abb. 1 Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen

das Erkennen der Erfolgspotenziale der Zukunft sowie die Ermittlung entsprechender Handlungsoptionen. Es werden Methoden wie die Szenario-Technik, Delphi-Studien oder Trendanalysen eingesetzt. Basierend auf den erkannten Erfolgspotenzialen befasst sich die Produktfindung mit der Suche und der Auswahl neuer Produkt- und Dienstleistungsideen zu deren Erschließung. Wesentliches Hilfsmittel zur Ideenfindung sind Kreativitätstechniken wie das laterale Denken nach De Bono (1996) oder Triz (Terninko et al. 1998) und Technologie-Roadmaps. In der Geschäftsplanung geht es um die Erstellung einer Geschäftsstrategie und damit verbunden um die Entwicklung eines Geschäftsmodells sowie um die Produktstrategie. Letztere enthält Aussagen zur Gestaltung des Produktprogramms, zur wirtschaftlichen Bewältigung der vom Markt geforderten Variantenvielfalt, zu eingesetzten Technologien, zur Programmpflege über den Produktlebenszyklus etc. Die Produktstrategie mündet in einen Geschäftsplan, der den Nachweis erbringt, ob mit dem neuen Produkt bzw. mit einer neuen Produktoption ein attraktiver Return on Investment zu erzielen ist.

Zweiter Zyklus: Produktentwicklung

Dieser Zyklus umfasst die fachgebietsübergreifende Produktkonzipierung, den fachgebietsspezifischen Entwurf und die entsprechende Ausarbeitung sowie die Integration der Ergebnisse der einzelnen Fachgebiete zu einer Gesamtlösung. Da in diesem Zusammenhang die Bildung und Analyse von rechnerinternen Modellen eine wichtige Rolle spielt, hat sich der Begriff Virtuelles Produkt bzw. Virtual Prototyping verbreitet (Spur und Krause 1997).

Dritter Zyklus: Dienstleistungsentwicklung

Ziel dieses Zyklus ist die Umsetzung einer Dienstleistungsidee in eine Marktleistung (Bullinger und Scheer 2006). Empirische Feldstudien haben gezeigt, dass auch die Dienstleistungsentwicklung nicht als stringente Folge von Phasen und Meilensteinen verstanden werden kann (Schneider und Daun 2006). Auch hier handelt es sich um ein Wechselspiel von Aufgaben, und zwar der Dienstleistungskonzipierung, der Dienstleistungsplanung und der Dienstleistungsintegration.

Vierter Zyklus: Produktionssystementwicklung

Die Basis bildet die fachgebietsübergreifende Konzipierung des Produktionssystems, die im Wechselspiel mit der Produktkonzipierung zu erfolgen hat. Dabei sind die vier Aspekte Arbeitsablaufplanung, Arbeitsmittelplanung, Arbeitsstättenplanung und Produktionslogistik (Schwerpunkt: Materialflussplanung) integrativ zu betrachten. Diese vier Aspekte sind im Verlauf dieses vierten Zyklus weiter zu konkretisieren. Die Begriffe Virtuelle Produktion bzw. Digitale Fabrik drücken aus, dass in diesem Zyklus ebenfalls rechnerinterne Modelle gebildet und analysiert werden – Modelle von den geplanten Produktionssystemen bzw. von Subsystemen wie Fertigungslinien und Arbeitsplätzen.

Den Ausgangspunkt auf dem Weg zu einer erfolgreichen Marktleistung bildet die strategisch begründete fachgebietsübergreifende Spezifikation der Produktkonzept-

tion und damit eng verknüpft die Spezifikationen der Dienstleistungs- und der Produktionssystemkonzeption. Auch in diesen beiden Fällen sind die unterschiedlichen Sichten von mehreren Fachdisziplinen zu integrieren. Die weitere Konkretisierung von Produkt, Dienstleistung und Produktionssystem erfolgt jeweils in dem entsprechenden Entwicklungszyklus. Produkt-, Dienstleistungs- und Produktionssystementwicklung sind dabei parallel und eng aufeinander abgestimmt voranzutreiben. Nur so wird sichergestellt, dass auch alle Möglichkeiten der Gestaltung einer leistungsfähigen und innovativen Marktleistung ausgeschöpft werden.

Im vorliegenden Beitrag fokussieren wir den ersten Zyklus strategische Produktplanung, der den drei Entwicklungszyklen vorangestellt ist. Wir zeigen anhand von Industrie 4.0 auf, wie sich die Erfolgspotenziale der Arbeitswelt in der Zukunft systematisch identifizieren und unternehmerisch erschließen lassen. Weiterhin zeigen wir Konsequenzen für die Arbeitswelt, Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktion auf.

2 Vorausschau

Industrie 4.0 führt zu einer tief greifenden Veränderung der Arbeitswelt. Damit verbunden sind vielfältige Chancen für Arbeitnehmer, aber auch Bedrohungen für die etablierte Arbeitswelt. Um diese zu erkennen, sind die Grenzen des gewohnten Denkens zu überwinden. Die Szenario-Technik ist das dafür geeignete Denkzeug. Ein Szenario ist eine allgemein verständliche und nachvollziehbare Beschreibung einer möglichen Situation in der Zukunft, die auf einem komplexen Netz von Ausprägungen (Projektionen) von Einflussfaktoren beruht (Gausemeier und Plass 2014). Bei der Vorausschau ist zwischen dem Szenariofeld und dem Gestaltungsfeld zu unterscheiden (vgl. Abb. 2). Das Szenariofeld umfasst das zukünftige Umfeld für Industrie 4.0 in Deutschland. Es enthält ausschließlich externe, von einzelnen Unternehmen nicht lenkbare Umfeldgrößen. Das Gestaltungsfeld dient der Vorausschau alternativer Gestaltungsmöglichkeiten von Industrie 4.0; Basis sind von Politik, Verbänden und Unternehmen beeinflussbare Lenkungsgrößen.

Das Vorgehen bei der Szenario-Erstellung umfasst fünf Schritte, die im Folgenden anhand des Beispiels Industrie 4.0 erläutert werden.

Einflussfaktoren identifizieren (Schritt 1): Hierzu wird das Szenariofeld in die Einflussbereiche Rahmenbedingungen, Technologie, Mensch und Organisation unterteilt. Die Einflussbereiche dienen als Suchfelder zur Identifikation von Einflussfaktoren. Dies führt zu 61 Einflussfaktoren. Beispiele für Einflussfaktoren sind Selbstbestimmung, Struktur der Arbeit oder Durchdringung mit IKT:

- **Selbstbestimmung:** Selbstbestimmung bedeutet nach freiem Willen über sein Leben entscheiden zu können und setzt daher voraus, dass der Mensch sich über seine eigenen Ziele im Klaren ist. Es gibt zwei psychologische Ausprägungen: Der Mensch ist mit festen Vorgaben und damit einhergehender Entbindung von Entscheidungen zufrieden (z. B. aufgrund von Überforderung). Oder er will

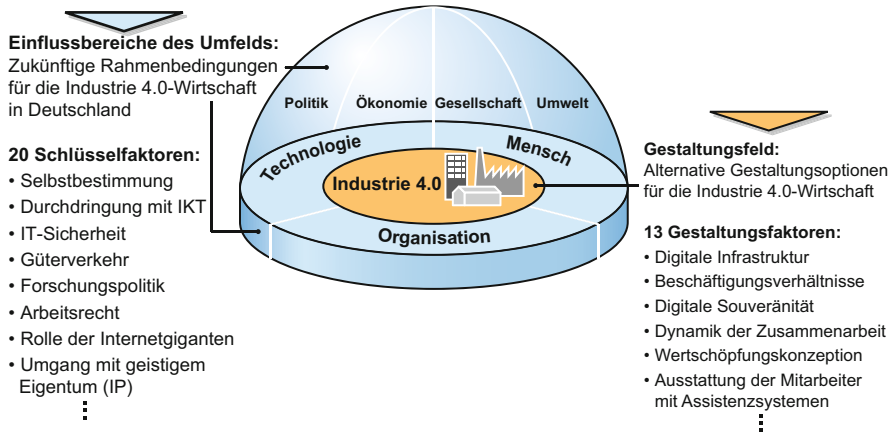


Abb. 2 Umfeld Deutschland und Gestaltungsfeld Industrie 4.0

selbst entscheiden wann, wo und wie er arbeiten möchte. Im zweiten Fall erhöht selbstbestimmtes Arbeiten die Motivation und somit auch die Leistung.

- **Struktur der Arbeit:** Hierunter wird die Verteilung von hoch und gering qualifizierten Tätigkeiten verstanden. Nach Hirsch-Kreinsen kann Industrie 4.0 zu einer ausgeprägten Polarisierung der Arbeit führen. Viele Tätigkeiten würden demnach anspruchsvoller, zugleich würde es dort, wo sich Automatisierung nicht lohnt, einen hohen Anteil manueller Arbeit geben (Hirsch-Kreinsen 2014).
- **Durchdringung mit IKT:** Die Durchdringung der Arbeits- und Lebenswelt mit Informations- und Kommunikationstechnik wird zum einen durch die technische Entwicklung in diesem Bereich beeinflusst. Diese Entwicklungen stoßen oft weitere Innovationen in anderen Industriezweigen an und wirken daher als Befähiger (Enabler). Zum anderen spielen die Bereitschaft bzw. die Möglichkeit der Menschen, neue Informations- und Kommunikationstechnologien in ihren Alltag zu integrieren, eine große Rolle für deren Verbreitung. So kann die zunehmende Durchdringung mit Informations- und Kommunikationstechnik „als Segen“ oder „als Fluch“ empfunden werden.

Schlüsselfaktoren ermitteln (Schritt 2): Aus der relativ großen Anzahl von Einflussfaktoren sind diejenigen zu ermitteln, die das Szenariofeld besonders prägen und einen besonders hohen Einfluss auf den Untersuchungsgegenstand ausüben. Dazu wird auf eine *Einflussanalyse* zur Betrachtung der direkten und indirekten Beziehung der Einflussfaktoren und eine *Relevanzanalyse* zur Ermittlung der Bedeutung der Einflussfaktoren für das Gestaltungsfeld zurückgegriffen. Hierdurch ergeben sich 20 Schlüsselfaktoren.

Entwicklungsmöglichkeiten beschreiben (Schritt 3): Je Schlüsselfaktor werden mit einem vorgegebenen Zeithorizont (wie 2030) mehrere Entwicklungsmöglich-

1A Autonomie zählt



Die Menschen in Deutschland haben nahezu in allen Bereichen des Erwerbslebens so viele Möglichkeiten, ihr Leben zu gestalten, wie nie zuvor. Bildung, Wohnort, Beruf u.v.m. sind variable Größen, die nicht länger durch die Herkunft determiniert sind. Die neuen Freiheiten haben gravierende Auswirkungen auf die Lebensentwürfe der Menschen. Arbeitnehmer verlangen Verantwortung und Entscheidungsspielräume. Industrie 4.0 hat hier neue Perspektiven eröffnet. Der Umfang der Entfaltungsmöglichkeiten bestimmt die Auswahl des Arbeitsverhältnisses.

1B Stress vermeiden



Die psychische Belastung der Beschäftigten steigt kontinuierlich. Neue Entscheidungsfreiräume sind Fluch und Segen zugleich. Sie ermöglichen den Menschen sich selbst zu verwirklichen, führen oftmals aber auch zur Überlastung. Die Zahl der Burn-out-Erkrankten in Deutschland steigt seit Jahren. Arbeitsverhältnisse, die mit weniger Engagement und Verantwortung verbunden sind, finden hohen Zuspruch. Viele trennen strikt Arbeit und Freizeit. Es herrscht die Haltung vor, andere unternehmen zu lassen und sich darauf zu beschränken, zu definieren, wie das für einen selbst eingerichtet sein muss, um angenehm zu sein.

1C Trügerisches Bild der Selbstbestimmung



Leistungsfähige Assistenzsysteme unterstützen die Beschäftigten in nahezu allen Bereichen der Wirtschaft. Sie liefern vielfältige Informationen, nehmen Diagnosen vor und unterbreiten Vorschläge für Handlungen. Auf den ersten Blick sind die Benutzer der Assistenzsysteme Entscheider. Bei näherem Hinsehen sind es Getriebene; gut organisierte Leistungserstellungsprozesse und die damit verbundenen Assistenzsysteme geben den Takt vor. Die Beschäftigten sind häufig Marionetten der Algorithmen.

Abb. 3 Projektionen für den Schlüsselfaktor „Selbstbestimmung“. Bildquellen – Fotolia: Thomas Reimer, AA+W

keiten (Projektionen) beschrieben. Die Erarbeitung von solchen alternativen Zukunftsbildern je Schlüsselfaktor ist der entscheidende Schritt der Szenario-Technik, weil damit die Bausteine für die späteren Szenarien geschaffen werden. Es gilt sowohl aus heutiger Sicht plausible, als auch extreme, aber vorstellbare Entwicklungen in Betracht zu ziehen. Bezogen auf den Schlüsselfaktor „Selbstbestimmung“ können drei Projektionen ermittelt werden (vgl. Abb. 3). Zum einen ist denkbar, dass die Menschen in Deutschland nahezu in allen Bereichen des Erwerbslebens so viele Möglichkeiten haben, ihr Leben zu gestalten, wie nie zuvor. Der Umfang der Entfaltungsmöglichkeiten bestimmt in der Folge auch die Auswahl des Arbeitsverhältnisses (Projektion A: Autonomie zählt). Andererseits könnten Menschen auch die neuen Entscheidungsspielräume zugleich als Fluch und Segen empfinden. Sie ermöglichen den Menschen sich selbst zu verwirklichen, führen oftmals aber auch zur Überlastung. Es herrscht die Haltung vor, andere unternehmen zu lassen und sich darauf zu beschränken, zu definieren, wie das für einen selbst eingerichtet sein muss, um angenehm zu sein (Projektion B: Stress vermeiden). Daneben können die neuen leistungsfähigen Assistenzsysteme aber auch zu einem trügerischen Bild der Selbstbestimmung führen (Projektion C: Trügerisches Bild der Selbstbestimmung). Für den Schlüsselfaktor „Durchdringung mit IKT“ (vgl. Abb. 4) ist denkbar, dass die rapide Durchdringung der Arbeits- und Freizeitwelt mit Informations- und Kommunikationstechnik weiter zunimmt. Die neuen Möglichkeiten intuitiv zu bedienender Systeme blenden aber

8A Maximal vernetzte Welt

Die rapide Durchdringung der Arbeits- und Freizeitwelt mit Informations- und Kommunikationstechnik hat in den vergangenen Jahren weiter zugenommen. Jeder hat immer und überall Zugriff auf Informationen und Dienste. Der Einsatz semantischer Technologien ermöglicht eine effiziente Bewältigung der Fülle von verfügbaren Informationen. Durchgesetzt haben sich vor allem intuitiv zu bedienende Systeme. Die Faszination der neuen Möglichkeiten blendet die Menschen: Sicherheitsrisiken, wie die Weitergabe sensibler Daten, werden verdrängt. Es herrscht ein Widerspruch zwischen der theoretischen Wertschätzung und der gelebten Achtlosigkeit im Umgang mit der eigenen Privatsphäre.

8B Informationseliten

Die täglich produzierte Datenmenge erlangt neue Ausmaße. Viele sehen darin ungeahnte Möglichkeiten. Die ungeheure Fülle an Daten erweist sich wie von vielen vorhergesagt als das Gold des 21. Jahrhunderts. Doch die freie Verfügbarkeit von Daten ist trügerisch. Nur wenigen gelingt es, die technologischen Möglichkeiten zu nutzen und aus Daten Informationen zu generieren: Es bilden sich Informationseliten. Diese beherrschen die Algorithmen und ziehen consequent Nutzen aus den Daten. Offensichtlich herrscht kein Mangel an Informationen; aber die Menschen fühlen sich nicht immer informiert.

8C IT-Frustration

Der IKT-Hype der Freizeitwelt hat keinen Einzug in die Produktion gefunden. Die notwendigen hohen Anforderungen an die Verlässlichkeit der IT-Systeme werden nicht erfüllt. Die erwarteten Effizienzsteigerungen sind ausgeblieben. Auch im Privatleben ändert sich der Umgang mit IKT. Die Skepsis gegenüber IKT nimmt stark zu, weil die Folgen des „lockeren“ Umgangs nun allmählich sichtbar werden. Menschen sehen sich mit der totalen Transparenz konfrontiert und streben nach Privatheit. Privatheit bedeutet die Fähigkeit, seine Sichtbarkeit im Netz selbst definieren und regulieren zu können.

Abb. 4 Projektionen für den Schlüsselfaktor „Durchdringung mit IKT“. Bildquellen – Fotolia; Cybrain, freshidea, olly

auch die Menschen, Sicherheitsrisiken werden verdrängt. Die maximal vernetzte Welt schreitet voran (Projektion A: Maximal vernetzte Welt). Andererseits ist es auch vorstellbar, dass es nur wenigen gelingt, die technologischen Möglichkeiten zu nutzen und aus Daten Informationen zu generieren. Es bilden sich Informationseliten (Projektion B: Informationseliten). Eine dritte mögliche Projektion ist, dass die Skepsis gegenüber IKT stark zunimmt, weil die Folgen des „lockeren“ Umgangs nun allmählich sichtbar werden (Projektion C: IT-Frustration).

Konsistente Zukunftsbilder (Szenarien) ermitteln (Schritt 4): Entscheidend für die Glaubwürdigkeit von Zukunftsbildern ist die Konsistenz, d. h. die Widerspruchsfreiheit der einzelnen Projektionen zueinander. Basis dafür ist eine paarweise Konsistenzbewertung. Der Bewertungsbereich erstreckt sich von einer *starken gegenseitigen Unterstützung* (5) bis zur *totalen Inkonsistenz* (1). Abb. 5 zeigt das Beispiel einer Konsistenzbewertung der Faktoren „Durchdringung mit IKT“ und „Selbstbestimmung“. Die Projektionen „Informationseliten“ und „Autonomie zählt“ sind inkonsistent und können daher nicht gemeinsam in einem Szenario vorkommen. Dagegen begünstigen sich die Projektionen „Informationseliten“ und „Trügerisches Bild der Selbstbestimmung“ stark; sie können gut in einem in sich schlüssigen Szenario vorkommen.

Konsistenzmatrix		SF	Durchdringung mit IKT			
Fragestellung: „Wie verträgt sich Zukunftsprojektion i (Zeile) mit Zukunftsprojektion j (Spalte)?“		Zukunftsprojektion	Maximal vernetzte Welt	Informations-eliten	IT-Frust-ration	
Bewertungsskala: 1 = totale Inkonsistenz 2 = partielle Inkonsistenz 3 = neutral oder voneinander unabhängig 4 = gegenseitiges Begünstigen 5 = starke gegenseitige Unterstützung						
			Nr.	8A	8B	8C
Selbstbestimmung	Autonomie zählt		1A	4	1	4
	Stress vermeiden	1B	2	4	2	
	Trügerisches Bild der Selbstbestimmung	1C	4	5	2	

Dass in einer Welt der Informationseliten die Autonomie aller zählt, ist inkonsistent.

Ein trügerisches Bild des Selbstbestimmung geht einher mit Informationseliten.

Abb. 5 Paarweise Bewertung der Konsistenz von Zukunftsprojektionen. Bildquellen – Fotolia: Thomas Reimer, AA+W, Cybrain, freshidea, olly

Auf Basis der ausgefüllten Konsistenzmatrix werden mithilfe der Szenario-Software konsistente Zukunftsbilder ermittelt. Das Ergebnis sind vier Umfeldszenarien: Szenario 1) „Balance von Mensch, Technik und Staat als Basis für den Erfolg“, Szenario 2) „Konsequente Digitalisierung, technikzentrierte Arbeitswelt“, Szenario 3) „Die Digitalisierung bleibt in vielen Barrieren stecken“ und Szenario 4) „Digitalisierung global und fremdbestimmt“.

Szenarien „in Prosa“ beschreiben (Schritt 5): Entscheidend für den Erfolg der Szenarien ist, dass sie nachvollziehbar, verständlich und leicht kommunizierbar sind. Bei der Beschreibung der Szenarien „in Prosa“ wird auf die Textbausteine zurückgegriffen, die im Zuge der Bildung der Zukunftsprojektionen formuliert worden sind. Im Folgenden charakterisieren wir die Umfeldszenarien 1 und 4 mit einigen wenigen Sätzen; diese wurden von einem Expertenkreis als besonders wahrscheinlich bewertet (vgl. Abb. 6).

Szenario 1: „Balance von Mensch, Technik und Staat als Basis für den Erfolg“

Die digitale Vernetzung der Welt ist hoch. Die Informationstechnik entlastet und unterstützt die Menschen. Neue Möglichkeiten der IKT für Lernen und Lehre werden genutzt, z. B. „Teaching & Learning Factory“. Im Fokus steht die Unterstützung der Tätigkeiten durch Assistenzsysteme. Es ist eine De-Polarisierung der Struktur der Arbeit zu verzeichnen. Die Löhne gleichen sich global tendenziell an. Die soziale Ungleichheit hat abgenommen. Lehre und Lernen erfolgt überwiegend orts- und zeitungebunden; Massive Open Online Courses setzen sich durch.

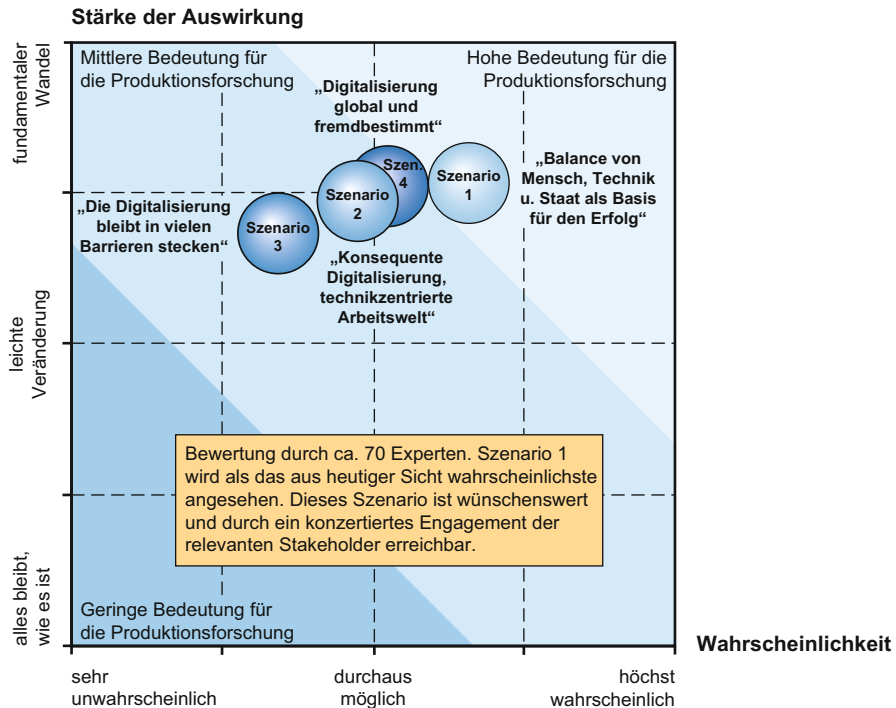


Abb. 6 Auswahl des Referenzumfeldszenarios

Die Zahl der Lehrenden ist erheblich gesunken. IT-Sicherheit ist gewährleistet. Der Staat schafft gute Rahmenbedingungen. Die Innovationsdynamik ist hoch: Open Source ist weit verbreitet; offene Standards setzen sich durch; agile Allianzen prägen Wertschöpfungsnetzwerke.

Szenario 4: „Digitalisierung global und fremdbestimmt“

Die Arbeitswelt ist technikzentriert; die Maschinen geben den Takt vor; die Menschen sind teils Marionetten der Algorithmen. Hochflexible Automatisierung ist gang und gäbe. Nur ein relativ kleiner Teil an Aufgaben ist anspruchsvoller geworden; hier wurde der Bediener zum Entscheider. Einfache Tätigkeiten in der Produktion sind teilweise entfallen. Die Löhne gleichen sich auf eher niedrigem Niveau global tendenziell an. Es haben sich zwei Klassen von Kooperationspartnern gebildet: Wenige kreative Gestalter und viele austauschbare Ausführer. Diese Entwicklung wird durch die Bildung von Informationseliten forciert. Der Staat hat sich aus vielen Bereichen zurückgezogen. Die Internetgiganten dominieren viele Bereiche der Wirtschaft.

Die entwickelten Umfeldszenarien enthalten Erfolgspotenziale von morgen, aber auch mögliche Bedrohungen der etablierten Arbeitswelt von heute. Bei der Auswahl eines Referenzszenarios ist es im Allgemeinen sinnvoll, sich auf das Szenario zu konzentrieren, das als das Wahrscheinlichste eingestuft wird. Selbstredend kann man

sich auch auf alle Eventualitäten einrichten. Das wäre ein zukunftsrobuster Ansatz, der aber zur Vergeudung von Ressourcen führen würde, da nur eine der vier Zukünfte eintreten wird. Es ist Aufgabe des Prämissen-Controllings jährlich zu überprüfen, ob das ausgewählte Umfeldszenario auch tatsächlich eintritt. Die Bewertung der Umfeldszenarien erfolgte im Rahmen eines Workshops mit dem erweiterten Kernteam sowie durch Vertreter des wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0 und des acatech-Themennetzwerkes Produktentwicklung und Produktion. Das Ergebnis zeigt Abb. 6.

Szenario 1 „Balance von Mensch, Technik und Staat als Basis für den Erfolg“ weist, gemäß der Meinung der befragten Experten, die höchste Eintrittswahrscheinlichkeit und eine hohe Auswirkung auf und wird daher als Referenzszenario ausgewählt. Dieses Umfeldszenario ist sehr vorteilhaft und auch erreichbar, wenn die relevanten Stakeholder ihre Einflussmöglichkeiten nutzen und die entsprechenden Aktionen konzentrieren. Die drei anderen Umfeldszenarien sind für den Industrie 4.0-Standort und insbesondere die Arbeitswelt in Deutschland nachteilig und daher nicht erstrebenswert.

Den Ausgangspunkt für die Ermittlung der Gestaltungsoptionen bilden die in Abb. 2 aufgelisteten 13 Gestaltungsfaktoren. Beispiele für Gestaltungsfaktoren sind Beschäftigungsverhältnisse, Digitale Souveränität und Ausstattung der Mitarbeiter mit Assistenzsystemen:

- **Beschäftigungsverhältnisse:** Ein Beschäftigungsverhältnis besteht regelmäßig bei Personen, die gegen Arbeitsentgelt oder zu ihrer Berufsausbildung beschäftigt sind (§ 2 SGB IV), wobei unter Beschäftigung die nichtselbstständige Arbeit insbesondere in einem Arbeitsverhältnis verstanden wird (§ 7 SGB IV). Der durch Industrie 4.0 hervorgerufene Wandel kann vermehrt zu atypischen Beschäftigungsverhältnissen wie Body Leasing führen. Derzeit ist das Normalarbeitsverhältnis der Standard (Schickert 2014).
- **Digitale Souveränität:** Souveräne Systeme sind zu selbstbestimmtem Handeln und Entscheiden befähigt, ohne ausschließlich auf eigene Ressourcen zurückzugreifen. Digitale Souveränität bezeichnet in diesem Sinne die Fähigkeit zu selbstbestimmtem Handeln und Entscheiden im digitalen Raum (Bitkom 2015).
- **Ausstattung der Mitarbeiter mit Assistenzsystemen:** Assistenzsysteme in der Produktion reichen von Kraftunterstützung bis zu mobilen Expertensystemen. Im Folgenden stehen IT-Systeme im Vordergrund. Diese Systeme sind mit Menschen, Maschinen und weiteren Betriebsmitteln vernetzt, stellen den Produktionsmitarbeitern Informationen in Echtzeit zur Verfügung und tragen zur Entscheidungsfindung bei (Zäpfel 2000).

Für jeden Gestaltungsfaktor wurden im Rahmen eines Workshops mit dem erweiterten Kernteam alternative Ausprägungen erarbeitet (analog zu den Projektionen im Umfeld) und anschließend detailliert beschrieben. Beispielsweise ist für den Gestaltungsfaktor „Digitale Souveränität“ (vgl. Abb. 7) denkbar, dass Deutschland im Jahr 2030 in zentralen Schlüsseltechnologien über keine eigene Kompetenz

4A Fremdbestimmung



„Andere entscheiden, was wir tun.“ [*] Deutschland verfügt in digitalen Schlüsseltechnologien über keine eigene Kompetenz. Es fehlt die Fähigkeit, Technologien z. B. in puncto Sicherheit zuverlässig zu bewerten und sie im Bedarfsfall zu härten.

4B Souveränität



„Wir sind handlungsfähig und entscheiden selbst, was wir tun.“ [*] Deutschland verfügt in zentralen Technologiefeldern, Diensten und Plattformen über eigene Fähigkeiten auf weltweitem Spitzenniveau (Anbietersouveränität). Die Wirtschaft und die Zivilgesellschaft sind in der Lage, selbstbestimmt und selbstbewusst zwischen Alternativen leistungsfähiger und vertrauenswürdiger Partner zu entscheiden (Anwendersouveränität).

4C Autarkie



„Wir machen alles selbst.“ [*] Deutschland entwickelt und fertigt Schlüsseltechnologien mit eigenen Ressourcen. Die Gesellschaft zieht Technologien aus eigener Fertigung Technologien Dritter auch dann vor, wenn sie weniger leistungsfähig sind.

[*] BITKOM, 2015

Abb. 7 Ausprägungen für den Gestaltungsfaktor „Digitale Souveränität“. Bildquellen – Fotolia: imageteam, sellingpix, Chaotic_PhotographY

verfügt. Andere entscheiden, was wir tun (Ausprägung A: Fremdbestimmung). Andererseits ist es auch vorstellbar, dass Deutschland in zentralen Technologiefeldern, Diensten und Plattformen über eigene Fähigkeiten auf weltweitem Spitzenniveau verfügt und selbstbestimmt zwischen Alternativen leistungsfähiger Partner entscheiden kann, also Anbieter- und Anwendersouveränität gegeben sind (Ausprägung B: Souveränität). Eine dritte mögliche Ausprägung ist, dass Deutschland eigene Technologien entwickelt und diese stets vorzieht, auch wenn sie weniger leistungsfähig sind (Ausprägung C: Autarkie). Bei der „Ausstattung der Mitarbeiter mit Assistenzsystemen (vgl. Abb. 8) sind die Weiterentwicklung der Mitarbeiter durch Ubiquitous Computing zu Augmented Operatoren (Ausprägung A: Voller Einsatz), ein pragmatischer Einsatz von Ubiquitous Computing dort, wo der Nutzen gegenüber Datenschutz- und Sicherheitsrisiken überwiegt (Ausprägung B: Abwägung), und ein Verzicht von Ubiquitous Computing im industriellen Kontext aufgrund zu großer Risiken (Ausprägung C: Abschottung) denkbar.

Die erarbeiteten Ausprägungen wurden in einem nächsten Schritt zu konsistenten Gestaltungsoptionen zusammengeführt. Das beruht auch hier auf einer paarweisen Konsistenzbewertung und einer daraus folgenden Konsistenzanalyse. Das Ergebnis sind vier Gestaltungsoptionen: Option 1) „Smart Economy“, Option 2) „Verhaltene Digitalisierung“, Option 3) „Global Sourcing“ und Option 4) „Souveräner Global Player“. Im Folgenden werden die Optionen 3 und 4 mit einigen wenigen Sätzen charakterisiert, da diese aus deutscher Sicht mehr oder weniger vorteilhaft sind.

11A Voller Einsatz



Durch Ubiquitous Computing (kontextsensitive und allgegenwärtige Informationsverarbeitung) werden Beschäftigte zum Augmented Operator. Ein Augmented Operator verbessert seine Entscheidungsgrundlage durch eine virtuell erweiterte Sicht auf die reale Fabrik (aca13). Die Voraussetzung für den Erfolg von Ubiquitous Computing, wie die Sicherheit der Daten sowie das Vertrauen in die Technologien, sind gegeben. Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter in der Nutzung von Assistenzsystemen hat für die Unternehmen einen hohen Stellenwert.

11B Abwägung



Der Umgang mit Ubiquitous Computing (kontextsensitive und allgegenwärtige Informationsverarbeitung) ist pragmatisch. Neue Technologien werden nur dort eingesetzt, wo der Nutzen offensichtlich ist und mögliche Datenschutz- und Sicherheitsrisiken tragbar sind. Es findet eine Abwägung von Risikoauswirkung und Aufwand für die Risikovermeidung statt.

11C Abschottung



Ubiquitous Computing (kontextsensitive und allgegenwärtige Informationsverarbeitung) findet im industriellen Kontext keinen Anklang; zu groß sind die Datenschutz- und Sicherheitsrisiken für die Unternehmen im Vergleich zu den absehbaren Chancen. Schwerwiegende Industriespionage- und Sabotageangriffe auf international operierende Konzerne, aber auch auf Mittelständler, haben diese Haltung verstärkt. Der Einsatz von Assistenzsystemen erfolgt nur innerbetrieblich punktuell.

Abb. 8 Ausprägungen für den Gestaltungsfaktor „Ausstattung der Mitarbeiter mit Assistenzsystemen“. Bildquellen – Fotolia: Rawpixel.com, Syda Productions, babimu

Option 3: „Global Sourcing“

Deutschland bietet eine flächendeckende Informations- und Kommunikationsinfrastruktur sowie günstige Rahmenbedingungen zur konsequenten Digitalisierung. Der Staat konzentriert sich auf harte Faktoren wie Steuern, Gesetzgebung und Infrastrukturprojekte. Die erforderlichen Schlüsseltechnologien kommen von außerhalb und werden adaptiert. Klassische Normalarbeitsverhältnisse sind nach wie vor sehr verbreitet. Es sind aber auch zunehmend neue Formen von Arbeitsverhältnissen anzutreffen, die primär den hohen Anforderungen an die Flexibilität der industriellen Produktion gerecht werden. Ubiquitous Computing (kontextsensitive und allgegenwärtige Informationsverarbeitung) ermöglicht die breite Verwirklichung des Konzepts Augmented Operator. Die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter in der Nutzung solcher Assistenzsysteme hat für die Unternehmen einen hohen Stellenwert. Die in Wertschöpfungsk Kooperationen tonangebenden Unternehmen verfolgen eine Systemkopfstrategie. Andere, sehr leistungsfähige Unternehmen positionieren sich als intelligente Produktionsdienstleister. Die zunehmend anzutreffende Bildung von Ad-hoc-Allianzen auf Basis von Service-Plattformen geht einher mit der Entwicklung, dass mehr und mehr Produktionsunternehmen zu austauschbaren Ausführe rn werden.

Option 4: „Souveräner Global Player“

Deutschland ist auf dem Weg zu einer flächendeckenden Informations- und Kommunikationsinfrastruktur. Die zusätzliche Betonung sogenannter weicher Faktoren, welche die Vereinbarkeit von Familie, Freizeit und Beruf ermöglichen, machen

Deutschland zu einem attraktiven Ort für Leben und Arbeit. Deutschland verfügt in zentralen Technologiefeldern, Diensten und Plattformen über eigene Fähigkeiten auf weltweitem Spitzenniveau. Wirtschaft und Zivilgesellschaft sind in der Lage, sich für Angebotsalternativen zu entscheiden. Klassische Normalarbeitsverhältnisse sind die Regel. Es sind aber auch mehr und mehr neue Formen von Arbeitsverhältnissen anzutreffen, die primär den hohen Anforderungen an die Flexibilität der industriellen Produktion gerecht werden. Der Umgang mit Ubiquitous Computing (kontextsensitive und allgegenwärtige Informationsverarbeitung) ist pragmatisch. Neue Technologien werden nur dort eingesetzt, wo der Nutzen offensichtlich ist und mögliche Datenschutz- und Sicherheitsrisiken tragbar sind. Es findet eine Abwägung von Risikoauswirkung und Aufwand für die Risikovermeidung statt. Basierend auf der Fähigkeit, Sach- und Dienstleistungen geschickt zu verbinden, entsprechende Geschäftsmodelle zu kreieren und in globalen Wertschöpfungsnetzwerken konsequent umzusetzen, verfolgen deutsche Unternehmen vorrangig eine ganzheitliche Wertschöpfungskonzeption.

Vor dem Hintergrund von Umfeldszenarien und Gestaltungsoptionen stellt sich die Frage nach der für Deutschland vorteilhaften Positionierung im Kontext Industrie 4.0. Das entsprechende Zielbild wird mit Hilfe der in Abb. 9 dargestellten Matrix ermittelt. Hier führt die Beantwortung der Frage, welche Gestaltungsoption passt besonders gut zu dem wahrscheinlichsten Umfeldszenario, zum Zielbild. Damit ergibt sich die anzustrebende Position Deutschlands; diese weist Chancen, aber auch Gefahren auf, die in Abb. 10 kurz umrissen werden.

Im Bereich der **Arbeitswelt** führen Vereinbarkeit von Familie und Beruf sowie eine ausgeprägte Work-Life-Balance zu hoher Arbeitszufriedenheit und entsprechender Leistungsbereitschaft. Dabei gilt es jedoch zu bedenken, dass die Zahlungsbereitschaft für Leistungen Made in Germany gegebenenfalls nicht die vergleichsweise

 Aus heutiger Sicht wahrscheinliche Umfeldszenarien.
 Kombination eines wahrscheinlichen Umfeldszenarios mit einer dazu gut passenden Option zur Gestaltung von Industrie 4.0 in Deutschland.

		Gestaltungsoptionen			
		Option 1: „Smart Economy“	Option 2: „Verhaltene Digitalisierung“	Option 3: „Global Sourcing“	Option 4: „Souveräner Global Player“
Umfeldszenarien	Szenario 1: „Balance von Mensch, Technik und Staat als Basis für den Erfolg“	+	- -	+	++ Zielbild
	Szenario 2: „Konsequente Digitalisierung, technikzentrierte Arbeitswelt“	++	- -	+	+
	Szenario 3: „Die Digitalisierung bleibt in vielen Barrieren stecken“	- -	++	-	- -
	Szenario 4: „Digitalisierung global und fremdbestimmt“	+	-	++	- -

  Sehr hohe Konsistenz
   Totale Inkonsistenz

Abb. 9 Zielbild Industrie 4.0 im Jahr 2030. Bildquellen – Fotolia: Kadmy, rcx, Nmedia, Sonar, Andrea Danti, Photobank, Stefan Schurr, Victoria, Nikolai Sorokin

		
Arbeitswelt	▪ Chancengleichheit, hohe Investition in Aus- und Weiterbildung, Vereinbarkeit von Familie und Beruf, Work-Life-Balance führen zu hoher Arbeitszufriedenheit und hoher Leistungsbereitschaft.	▪ Zahlungsbereitschaft für die Leistungen Made in Germany rechtfertigt nicht die vergleichsweise hohen Arbeitskosten.
Technologieposition und IKT-Infrastruktur	▪ Exzellentes Forschungssystem, wirkungsvolles staatliches Engagement, ausgeprägte Interaktion von Wirtschaft und Wissenschaft ergeben eine digitale Souveränität. ▪ Sehr gute IKT-Infrastruktur, hohe Vielfalt von Internet-Dienstleistungen und hohe Sicherheitsstandards sind ein Katalysator.	▪ Digitale Souveränität kann dazu führen von der dynamischen globalen Entwicklung abgehängt zu werden. ▪ Sicherheits- und Datenschutzrisiken durch gelebte Achtlosigkeit im Umgang mit sensiblen Daten.
Duale Strategie	▪ Deutschland ist ein hochentwickelter Leitmarkt, der den auf den Weltmärkten operierenden heimischen Ausrüstern ein Höchstmaß an Reputation verleiht und sie in die Poleposition bringt.	▪ Die in Deutschland bewährten Lösungen sind over engineered; die hier eingeführten Maßnahmen in der Arbeitswelt entsprechen nicht den Prioritäten der potentiellen Kunden auf den globalen Märkten.

Abb. 10 Chancen und Gefahren für Deutschland

hohen Arbeitskosten rechtfertigt. **Technologieposition und IKT-Infrastruktur:** Durch ein exzellentes Forschungssystem, wirkungsvolles staatliches Engagement und ausgeprägte Interaktion von Wirtschaft und Wissenschaft kann digitale Souveränität im Bereich der Technologieposition erzielt werden. Diese kann aber auch dazu führen, dass Deutschland von der dynamischen globalen Entwicklung abgehängt wird. Die sehr leistungsfähige IKT-Infrastruktur ist ein weiterer Pluspunkt. Allerdings ergeben sich Risiken aus der gelebten Achtlosigkeit im Umgang mit sensiblen Daten. Bezüglich der Verwirklichung der sogenannten **Dualen Strategie** profitieren die deutschen Anbieter von Industrie 4.0-Ausrüstung entscheidend von dem hoch entwickelten heimischen Markt. Gefahren ergeben sich aus der aufwendigen Technik und weiteren kostentreibenden Konzepten zur Produktionsgestaltung, die auf den globalen Märkten nicht auf die erhoffte Zahlungsbereitschaft stoßen. Aus derartigen Chancen und Gefahren resultieren fünf **Stoßrichtungen** für die strategische Entwicklung der Industrie 4.0-Wirtschaft in Deutschland:

- 1) **Akzeptanz fördern:** Industrie 4.0 führt zu einer tief greifenden Veränderung der Arbeitswelt. Um diese zum Wohle aller Beteiligten zu gestalten, muss ein gemeinsames Verständnis über die Ziele und Möglichkeiten von Industrie 4.0 und den Weg zu Industrie 4.0 vorliegen.
- 2) **Kompetenzen ausbauen:** Industrie 4.0 beruht auf der evolutionären Weiterentwicklung von Technologie, Organisation und Arbeit in Hinblick auf eine grundlegende neue Gestaltung der industriellen Wertschöpfung. Hierzu sind bestehende Kompetenzen aus- und neue Kompetenzen zeitgerecht aufzubauen.
- 3) **Innovationssystem verbessern:** Das Innovationssystem umfasst alle Akteure, Organisationen und Techniken, die am Zustandekommen von Innovationen beteiligt sind. Industrie 4.0 stellt vielfältige und hohe Anforderungen an das Innovationssystem.
- 4) **Kollaboration ermöglichen, Geschäftsmodelle gestalten:** Industrie 4.0 und die damit einhergehende dynamische Entwicklung der globalen Wettbewerbsarena

verlangt neue Formen der Zusammenarbeit, der Wertschaffung und der Wertaneignung.

- 5) **Kompetenzen vermarkten, Marke pflegen:** Mit Industrie 4.0 ist es Deutschland gelungen, insbesondere im asiatischen Markt eine Marke verbunden mit einer hohen Kompetenzerwartung zu etablieren. Diese insbesondere für die Ausrüsterindustrie sehr günstige Positionierung muss ausgebaut werden.

Diese Stoßrichtungen stehen für die Konsequenzen zur Gestaltung des Industrie 4.0-Standortes und der Arbeitswelt in Deutschland und geben Impulse zur Erarbeitung von Visionen im Sinne von Zukunftsentwürfen. Des Weiteren stellen diese Stoßrichtungen die Suchfelder für die Handlungsempfehlungen dar. Im Rahmen des Projekts INBENZHAP wurden insgesamt 44 Handlungsempfehlungen erarbeitet (Gausemeier und Klocke 2016).

3 Konsequenzen für die Arbeitswelt

Zur Genese der Handlungsempfehlungen wurden zunächst 15 Fokusthemenfelder mit einer hohen Bedeutung für Industrie 4.0 ermittelt. Die Fokusthemenfelder gliedern sich in die vier Dimensionen Technologie, Mensch, Organisation und Rahmenbedingungen (vgl. Abb. 11).

Anschließend wurden die Fokusthemenfelder hinsichtlich der Leistungsposition Deutschlands im internationalen Vergleich (Benchmark, nicht Bestandteil dieses Beitrags) sowie der zukünftigen Bedeutung (Vorausschau) bewertet. Das Ergebnis der Bewertung durch 50 Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Verbänden und Politik ist in Abb. 12 dargestellt.

Der Bereich oben links kennzeichnet Fokusthemenfelder, die eine hohe Bedeutung aufweisen und Deutschland nicht stark genug ist. Daraus ergibt sich ein Handlungsbedarf. Im mittleren, ausgeglichenen Bereich entspricht die Position Deutschlands hinsichtlich Stärke/Schwäche der Bedeutung des Fokusthemenfeldes.

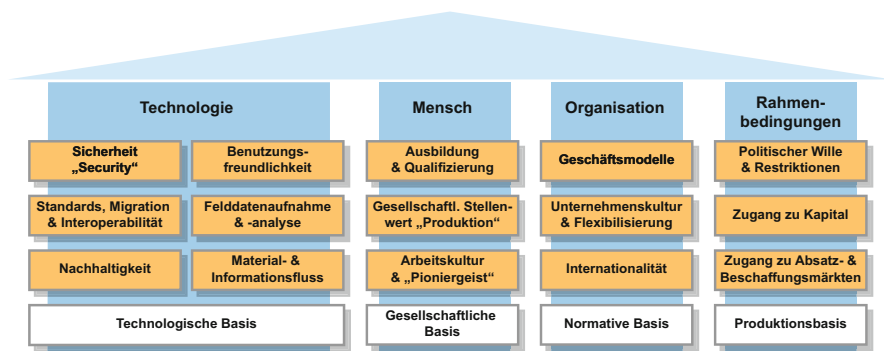


Abb. 11 Fokusthemenfelder

Zukünftige Bedeutung des Fokusthemenfeldes

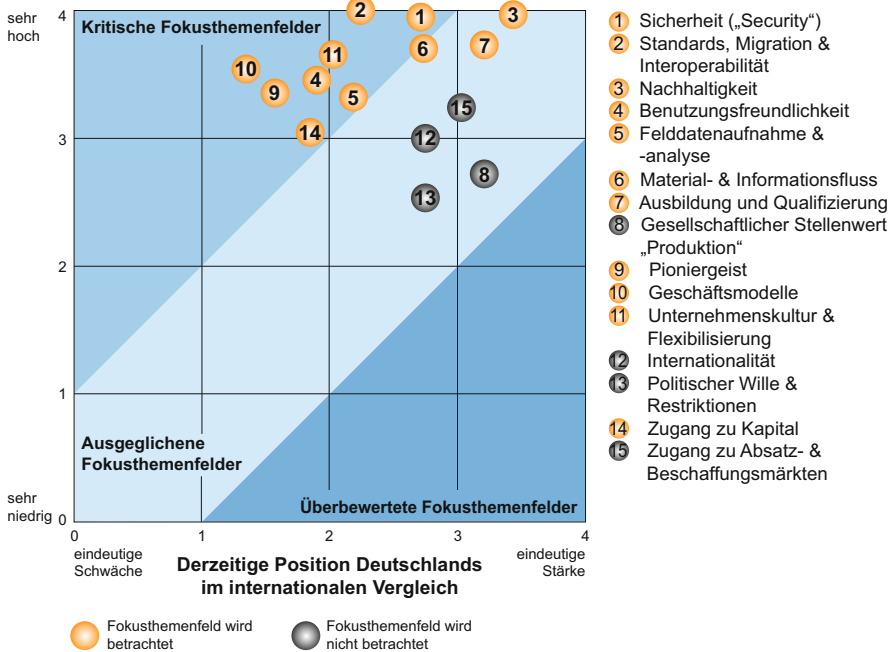


Abb. 12 Ermittlung von kritischen Fokusthemenfeldern

Liegen Fokusthemenfelder im Bereich unten rechts hat Deutschland zwar eine starke Position, die Bedeutung der Fokusthemenfelder im Wettbewerb ist jedoch zweitrangig. Für die Formulierung von Handlungsempfehlungen wurden die hell markierten Fokusthemenfelder ausgewählt (vgl. Abb. 13 links). Diese bilden das erste Suchfeld für Handlungsempfehlungen. Ein zweites Suchfeld resultiert aus den Ergebnissen der Vorausschau (vgl. Abb. 13 rechts). Die Stoßrichtungen aus dem Zielbild 2030 werden ebenfalls für die Formulierung von Handlungsempfehlungen herangezogen.

Mit Bezug auf die Arbeitswelt 2030 werden im Folgenden zehn Handlungsempfehlungen mit Konsequenzen für die Arbeitswelt Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktion vorgestellt.

Konsequenzen für die Arbeitswelt Produktentwicklung

Gemäß Abb. 12 zählen die Themenfelder „Ausbildung und Qualifizierung“ (Fokusthemenfeld 6) und Sicherheit (Fokusthemenfeld 1) eher zu den Stärken Deutschlands. Aufgrund der besonders hohen zukünftigen Bedeutung wurden diese Themenfelder dennoch für die Formulierung von Handlungsempfehlungen ausgewählt. In Kombination mit der Stoßrichtung „Kompetenzen ausbauen“ und der ausgewählten Gestaltungsoption „Souveräner Global Player“ drängt sich die

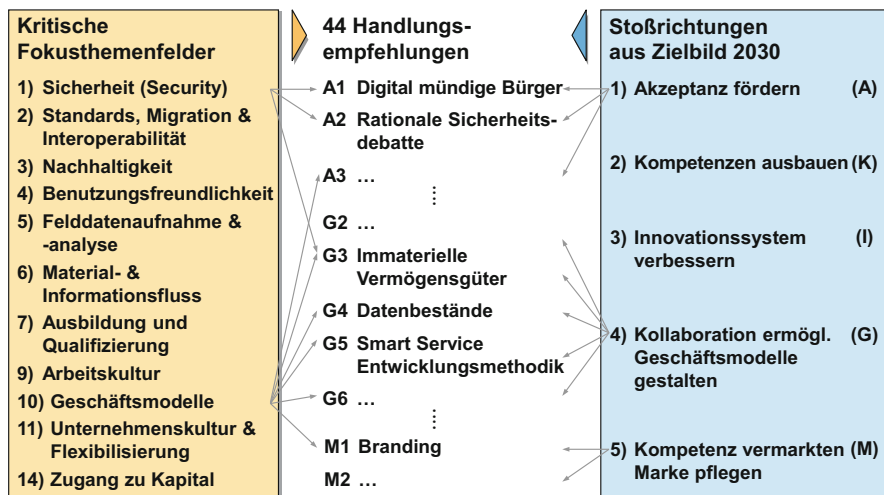


Abb. 13 Genese Handlungsempfehlungen

Handlungsempfehlung **Qualifikation Industrial Security** auf. Die Handlungsempfehlung ist im Folgenden erläutert:

„Industrial Security“ ist weltweit Differenzierungsfaktor für Industrie 4.0-Lösungen. Derzeit mangelt es aber an entsprechend ausgebildeten Experten. Daher sollten Kompetenzzentren für „Industrial Security“ forciert werden, die neben der Forschung insbesondere die Aus- und Weiterbildung in den Bereichen Anlagensicherheit (z. B. Verhinderung des physischen Zugangs zu kritischen Anlagenkomponenten), Netzwerksicherheit (z. B. kontrollierte Schnittstellen zwischen Office- und Anlagennetzwerk) und Systemintegrität (z. B. in Automatisierungskomponenten integrierte Zugriffsschutzmechanismen) vereinen. Des Weiteren ist die Fähigkeit zu fördern, Bedrohungsanalysen durchzuführen und adäquate Schutzkonzeptionen zu erarbeiten. Basis dafür könnten Reifegradmodelle und Verfahren des Risikomanagements bilden, die auf den Aspekt „Industrial Security“ ausprägen wären.

Neben dem Aspekt Sicherheit ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit entscheidend für die erfolgreiche digitale Transformation. Das strikte Denken in Disziplinen, welches bereits in der Ausbildung durch die strikte Trennung der Fakultäten beginnt und sich in der Arbeitswelt durch getrennte Organisationen fortsetzt, hemmt die deutsche Wirtschaft bei der Entwicklung erfolgreicher digitaler Produkte und Services. Die Handlungsempfehlung **Interdisziplinäre Zusammenarbeit** bringt dies zum Ausdruck:

Die im Zuge der Digitalisierung entstehenden intelligenten technischen und soziotechnischen Systeme beruhen auf dem symbiotischen Zusammenwirken mehrerer Fachdisziplinen – Ingenieurwissenschaften, Informatik, angewandte Naturwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und Sozialwissenschaften. Mehr denn je kommt es auf die Kommunikation und Kooperation der involvierten Fachleute auf dem Weg zum Innovationserfolg an. Ziel ist, die entsprechenden Mechanismen und Hebel erfolgreicher Zusammenarbeit zu erkennen und

Instrumente zur Verstärkung der Kollaborationsproduktivität zu erarbeiten und zu validieren. Die Bandbreite erstreckt sich dabei von Ausdrucksmitteln für die interdisziplinäre Zusammenarbeit (fachgebietsübergreifende Spezifikationstechniken), über Reformen und Innovationen der Aus- und Weiterbildung bis zu Modellen zur Überwindung von Defiziten in der Sozialkompetenz und des häufig anzutreffenden Widerwillens strukturiert zu arbeiten.

Eine ganze Reihe moderner Design-Prinzipien, wie *Security by Design*, *Resilience by Design*, *Usability by Design* und *Sustainability by Design*, münden in der Handlungsempfehlung **Advanced Systems Engineering**. Diese Handlungsempfehlung greift verschiedene Aspekte der kritischen Fokusthemenfelder, wie Benutzungsfreundlichkeit, Nachhaltigkeit und Sicherheit auf und integriert diese zu einem neuen Entwicklungsparadigma, welches im Folgenden erläutert wird:

Ziel ist eine neue Schule des Entwurfs multidisziplinärer komplexer technischer und auch soziotechnischer Systeme. Beispiele sind Geschäftsmodelle, die beispielsweise auf Kombinationen von Sach- (Smart Products) und Dienstleistungen (Smart Services) beruhen, und Wertschöpfungsnetzwerke. Dies erfordert neue Ausdrucksmittel (Beschreibungstechniken), Modellierungstechniken, Vorgehensmodelle sowie entsprechende Programme für Aus- und Weiterbildung. Eine wichtige Rolle spielen dabei Lösungsmuster, deren Mächtigkeit für die Systemgestaltung in unterschiedlichen Anwendungen, wie Softwareentwicklung, Entwicklung maschinenbaulicher Erzeugnisse und Entwicklung von Geschäftsmodellen deutlich wird. Die angestrebte Entwurfsschule soll dedizierte Entwicklungsmethodiken für die Aspekte Security, Sustainability, Usability und Resilience integrieren.

Fazit: Die Produktentwicklung wird interdisziplinärer, neue Anforderungen an Sicherheit, Nachhaltigkeit, Benutzungsfreundlichkeit und Resilienz müssen bei der Produktentwicklung berücksichtigt werden. Hierfür sind spezielle Kompetenzen aufzubauen; erfahrene Mitarbeiter müssen an die veränderten Rahmenbedingungen und Zielsetzungen herangeführt werden. Da ein Mangel an Hochqualifizierten in diesen Bereichen zu erwarten ist, können sich diejenigen mit einer entsprechenden Ausbildung ihre Arbeitgeber frei wählen; die Bezahlung ist entsprechend gut. Im Bereich der Produktentwicklung gewinnen externe Dienstleister an Bedeutung.

Konsequenzen für die Dienstleistungsentwicklung

Die Dienstleistungsentwicklung findet in der Aufbauorganisation deutscher Unternehmen nur selten ihren Niederschlag. Dies äußert sich auch in der Positionierung des Themenfelds „Geschäftsmodelle“, welches derzeit eine Schwäche von Deutschland darstellt. Gleichzeitig weist es jedoch eine hohe zukünftige Bedeutung auf. Ursachen für diese Bewertung sind u. a. eine fehlende Nutzen- und Serviceorientierung. An dieser Stelle setzen die Handlungsempfehlungen **Nutzenorientierung** und **Smart Service Entwicklungsmethodik** an:

Industrie 4.0-Lösungen werden sich nur dann im Markt durchsetzen, wenn der angebotene Technologievorteil Nutzen stiftet und dieser vom Nachfrager auch wahrgenommen wird. In diesem Sinne ist in Innovationsprojekten die Nutzenorientierung zu stärken. Ansatzpunkte dafür sind das frühzeitige Erkennen von bislang unerkannten Kundenbedürfnissen bzw. Marktanforderungen sowie die daraus resultierende Definition des sog. Nutzenversprechens im Rahmen der Geschäftsmodellentwicklung. Es ist sicherzustellen, dass die grundsätz-

lichen Partialmodelle eines Geschäftsmodells (Wertschöpfungsmodell, Kundenmodell und Finanzmodell) auf die Erfüllung des Nutzenversprechens und auf die Erzielung eines Gewinns ausgerichtet werden. Diese Denkweise ist insbesondere in kleine und mittlere Unternehmen zu transferieren.

Nachfolgend die Handlungsempfehlung Smart Service Entwicklungsmethodik:

Heute ist weithin anerkannt, dass sog. Smart Services erhebliche Geschäftspotenziale aufweisen. Wie solche Dienste konkret zu ermitteln und auszugestalten sind, ist insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen nicht bekannt. Ziel ist eine Entwicklungsmethodik für Smart Services, die im Kern aus einem ausprägbaren Vorgehensmodell sowie aus Service- und Gestaltungsmustern besteht. Ausgangspunkt sollten die zurückliegenden Forschungsarbeiten in den Bereichen Service-Engineering und Entwicklung von hybriden Leistungsbindeln sowie die musterbasierte Geschäftsmodellentwicklung bilden. Diese Entwicklungsmethodik ist als integraler Teil der propagierten Forschungsaktivität Advanced Systems Engineering zu verstehen.

Um die vorhandenen Nutzenpotenziale zu erschließen, sind ein Umdenken und eine Weiterentwicklung der Unternehmenskultur erforderlich; Ausgründungen aus dem Unternehmen sind durch das Unternehmen zu fördern. Hier setzt die Handlungsempfehlung **Spin-Offs aus Unternehmen** an:

Ziel ist, dass technologieorientierte Unternehmen Geschäftsgründungen ihrer Mitarbeiter unterstützen. Dadurch würde die Konsequenz einer gescheiterten Ausgründung für den Entrepreneur reduziert. Gleichzeitig partizipiert das Ursprungsunternehmen an einer erfolgreichen Geschäftsgründung ohne sein Stammgeschäft zu vernachlässigen. Unternehmen sollten systematisch Potenziale für Geschäftsgründungen von Mitarbeitern analysieren und ggf. aktiv als Kapitalgeber im Sinne einer Beteiligung fungieren. Ferner sind von Unternehmen den Geschäftsgründern Rückkehroptionen zu ermöglichen. Außerdem sollten Unternehmen für Entrepreneure flexible Arbeits- und Gehaltsmodelle entwickeln, um u. a. eine Grundsicherung für die Transformation vom Angestellten zum Unternehmer zu ermöglichen.

Fazit: Es wird eine stärkere Nutzen- und Service-Sichtweise angestrebt. Eine größere Gründungsbereitschaft und -unterstützung soll vielversprechenden Ideen zum Markterfolg verhelfen. Dies hat Auswirkungen auf die Arbeitsstrukturen in der Marktleistungsentwicklung: Das Ideenmanagement wird sich vom starren Stage-Gate-Prozess hin zu einem interaktiven Netzwerk-Management mit internen und externen Ideengebern weiterentwickeln. Das Rechtssystem rund um geistiges Eigentum ist zu reformieren; neue Schutzmechanismen für Marktleistungen, welche aus Sach- und Dienstleistungen bestehen, sind zu erwarten. Kleine Unternehmen mit einem Start-up-Charakter werden sich bei der Dienstleistungsentwicklung vermehrt etablieren. Diese Unternehmen zeichnen sich sowohl durch eine hohe Kreativität und moderne Arbeitswelten aus, sind ortsungebunden und verbinden Fachexperten der jeweiligen Branche mit Experten aus der Informatik. Auf der anderen Seite sind die zu erwartende Mitarbeiterfluktuation und das Unternehmensrisiko als hoch einzuschätzen. Unterm Strich werden viele Mitarbeiter mit einem guten Verständnis für den Kundennutzen und einer hohen Risikoaffinität zu erfolgreichen Unternehmerpersönlichkeiten von morgen avancieren.

Konsequenzen für die Arbeitswelt Produktion

Gemäß Abb. 12 resultiert aus der Positionierung des Themenfelds „Unternehmenskultur und Flexibilisierung“ ein Handlungsbedarf. Dieses Themenfeld beschreibt u. a. dynamische Organisationsstrukturen und die flexible Arbeitsgestaltung im Produktionsbetrieb. Der Handlungsbedarf ist neben den Anforderungen an eine flexible, auf den Bedarf des Kunden ausgerichtete Produktion mit dem zunehmenden Wunsch der Arbeitnehmer nach einer besseren Vereinbarkeit von Familie und Beruf zu begründen. Dies wird insbesondere mit der Stoßrichtung „Akzeptanz fördern“ adressiert. Die Handlungsempfehlung **Flexibilisierungsausgleich Arbeitgeber- und Arbeitnehmerinteressen** zeigt eine Lösung für die genannten Herausforderungen auf:

Im Zuge der Flexibilisierungsmöglichkeiten durch Digitalisierung sind Modelle des Ausgleichs von Arbeitgeber- und Arbeitnehmerinteressen zu erarbeiten. Neue Flexibilisierungsformen wie der „Individual Availability Calendar“ sollten systematisch eruiert, anhand von Fallbeispielen überzeugend verdeutlicht und zu übertragbaren Modellen aufbereitet werden.

Mit die höchste zukünftige Bedeutung erhielt das Themenfeld „Security“. Dies ist insbesondere auf die steigende Relevanz von Daten und Datenanalysen zurückzuführen. Sowohl maschinengebundene Daten als auch personengebundene Daten und deren Auswertung werden für den Unternehmenserfolg eine entscheidende Stellung einnehmen. Gemeinsam mit der Stoßrichtung „Akzeptanz fördern“ und Zukunftsprojektionen wie *Partizipative Arbeitsgestaltung* (Schlüsselfaktor: Arbeitsgestaltung) und *Assistenzfunktionen für Routinefunktionen* (Schlüsselfaktor: Technikbeherrschung) drängt sich die Frage nach der „digitalen“ Privatsphäre der Mitarbeiter auf. Die Handlungsempfehlung **Datentreuhänder** setzt hier an:

Zur Erfassung, Speicherung und Weitergabe von sensiblen Betriebsdaten, wie ergonomie- und arbeitschutzbezogene Daten, ist die Funktion Datentreuhänder zu schaffen. Die Daten dienen primär der Optimierung der Betriebsabläufe und der Harmonisierung der Arbeitswelt unter Aufsicht der Sozialpartner.

Das kritische Fokusthemenfeld „Ausbildung und Qualifizierung“ wurde oben bereits genannt. In dieselbe Kerbe stößt auch die Handlungsempfehlung **Facharbeiterprofile**, welche bei der Ausbildung im Produktionsbetrieb ansetzt. Es ist davon auszugehen, dass Facharbeiterprofile veränderten Anforderungen durch die digitale Transformation ausgesetzt sind:

Die Digitalisierung der industriellen Wertschöpfung verändert die Kompetenzprofile der Facharbeiter. Für die gängigen Ausbildungsberufe, wie z. B. Mechatroniker, sind die bestehenden Kompetenzprofile mit den künftig relevanten abzugleichen. Ggf. sind auf der Grundlage des bewährten dualen Systems die Kompetenzprofile für diese Ausbildungsberufe weiterzuentwickeln, bzw. sind in Ergänzung neue Ausbildungsberufe zu kreieren.

Fazit: Im Vordergrund steht eine hohe Flexibilität sowohl für den Arbeitnehmer als auch für den Arbeitgeber; dies wird beispielsweise durch individuelle Verfügbarkeitskalender realisiert. Um weitere Nutzenpotenziale von Industrie 4.0 zu erschlie-

ßen, werden vermehrt Datenanalysen eingesetzt. Zum Schutz der personenbezogenen Daten drängen sich unabhängige Instanzen, sog. Datentreuhänder auf. Weiterhin sind die Kompetenzprofile der Facharbeiter im Produktionsbetrieb an die veränderten Anforderungen anzupassen. Unternehmen, die diesen Wandel verpassen, werden entscheidende Produktivitätseinbußen verbuchen müssen. Einfache Tätigkeiten in der Produktion werden vermehrt automatisiert; Produktionsmitarbeiter werden sich stetig weiterbilden und einen stärkeren Anteil an Wissensarbeit übernehmen müssen. Dort, wo Werker nach wie vor handwerkliche Tätigkeiten ausüben, werden sie von Assistenzsystemen unterstützt; die Benutzungsfreundlichkeit der Maschinen und Anlagen wird durch ausgeklügelte Mensch-Maschine-Schnittstellen deutlich verbessert. Dies steigert die Flexibilität und darüber hinaus die Produktivität (Davenport und Kirby 2015).

4 Resümee

Bei aller Euphorie für Industrie 4.0 darf nicht übersehen werden, dass die Einführung und Nutzung von IT-Systemen am Ende einer gut überlegten Handlungskette steht, bei der der Mensch nicht außer Acht gelassen werden darf, und nicht am Anfang; „das Pferd darf nicht von hinten aufgezäumt werden“. Abb. 14 verdeutlicht die vier Stufen einer idealtypischen Handlungskette.

- 1) Vorausschau: Hier geht es um das Antizipieren der Entwicklungen von Märkten, Technologien und Geschäftsumfeldern, um die Chancen von morgen, aber auch die Bedrohungen für das etablierte Geschäft von heute frühzeitig zu erkennen.
- 2) Strategien: Hier sind Geschäfts-, Produkt- und Technologiestrategien zu entwickeln, um die erkannten Chancen von morgen rechtzeitig zu nutzen.
- 3) Prozesse: Getreu dem Motto „structure follows strategy“ sind auf dieser Ebene die Geschäftsprozesse so zu gestalten, dass sie die gewählten Strategien optimal unterstützen.
- 4) Systeme: Auf dieser Ebene sind die wohlstrukturierten Geschäftsprozesse durch IT-Systeme zu unterstützen.

Im Prinzip zielen die beiden oberen Ebenen auf die unternehmerische Effektivität – also das „Richtige“ tun – und die beiden unteren Ebenen auf die strategisch begründete Effizienz – also es „richtig“ tun – ab. Wie in Abb. 14 angedeutet adressiert Industrie 4.0 in erster Linie die Systemebene. Bevor es hier zu Aktivitäten und Investitionen kommt, sind mit Bezug auf die drei übergeordneten Ebenen die in der Abbildung wiedergegebenen Fragen zu stellen. Erst wenn diese beantwortet sind, haben Industrie 4.0-Lösungen eine Aussicht auf Erfolg.

Förderhinweis

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungsvorhabens „Industrie 4.0 – Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung“, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung

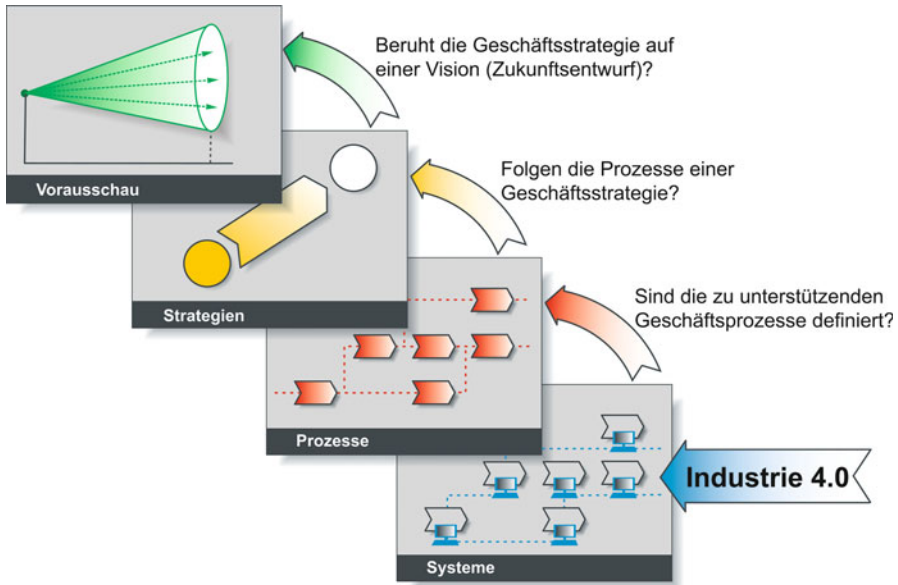


Abb. 14 4-Ebenen-Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung

(BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe – Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT) betreut wurde. Der Abschlussbericht wurde am 23./24. Juni 2016 auf dem BMBF-Kongress Produktionsforschung veröffentlicht (Gausemeier und Klocke 2016).

Literatur

- Bitkom. (2015). *Digitale Souveränität – Positionsbestimmung und erste Handlungsempfehlungen für Deutschland und Europa*. Berlin: BITKOM.
- Bullinger, H.-J., & Scheer, A.-W. (2006). *Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*. Heidelberg: Springer.
- Davenport, T. H. & Kirby, J. (2015). Dein Freund, der Roboter. *Harvard Business Manager*, 93, 22–31.
- De Bono, E. (1996). *Serious Creativity: Die Entwicklung neuer Ideen durch die Kraft lateralen Denkens*. Stuttgart: Schaeffer-Poeschel.
- Gausemeier, J., & Klocke, F. (2016). *Industrie 4.0 – Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung*. Paderborn/Aachen/München: Heinz Nixdorf Institut (Universität Paderborn), WZL (RWTH Aachen), acatech.
- Gausemeier, J., & Plass, C. (2014). *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen*. München: Hanser.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Eine rein technologische Sicht führt in die Sackgasse. In *VDI Nachrichten*, Heft Nr. 5, Düsseldorf, 31. Januar 2014.
- Schickert, D. (2014). Die Wende zur Industrie 4.0 – sechs Vorschläge für ihr Gelingen. <http://www.cartainfo/74773/industriewende>. Zugegriffen am 10.10.2014.

- Schneider, K., & Daun, C. (2006). Vorgehensmodelle und Standards zur systematischen Entwicklung von Dienstleistungen. In H.-J. Bullinger & A.-W. Scheer (Hrsg.), *Service engineering*. Berlin: Springer.
- Spur, G., & Krause, F.-L. (1997). *Das virtuelle Produkt*. München: Hanser.
- Terninko, J., Zusman, A., & Zlotin, B. (1998). TRIZ – Der Weg zum konkurrenzlosen Erfolgsprodukt. Ideen produzieren, Nischen besetzen, Märkte gewinnen. Originaltitel: Herb, R. (Hrsg. und Übersetzer), *Step-by-step TRIZ creating innovative solution concepts*. Landsber/Lech: Verlag Moderne Industrie AG.
- Zäpfel, G. (2000). *Strategisches Produktions-Management* (2. Aufl.). München: Oldenbourg.

Wie digitale Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle die Arbeitswelt verändern

Christoph Plass

Inhalt

1	Einleitung	60
2	Was sind digitale Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle?	63
3	Die Auswirkungen digitaler Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle auf die Arbeitswelt	73
4	Auswirkungen digitaler Geschäftsmodelle auf die Aus- und Weiterbildung	79
5	Fazit	82
	Literatur	84

Zusammenfassung

Industrie 4.0 führt nicht nur zu technischen Veränderungen, sondern insbesondere zu digitalen Geschäftsmodellen und -prozessen. Vor dem Hintergrund dieser digitalen Revolution muss Arbeit neu definiert werden. Eine Voraussetzung für die Umsetzung von Industrie 4.0 in Unternehmen ist die Etablierung von „vernetztem Denken, Arbeiten und Führen“. Erforderlich sind „frei denkende“ Mitarbeiter und eine Start-up-Mentalität, die kreatives Arbeiten ermöglicht. Auch Aus- und Weiterbildung werden sich inhaltlich verändern. Hier wird z. B. die Software-Entwicklungskompetenz zu einer Grundfähigkeit von Arbeitnehmern.

Schlüsselwörter

Digitale Geschäftsprozesse · Digitale Geschäftsmodelle · Führung und Kultur · Vernetztes Denken · Transformationsprozess

C. Plass (✉)
Vorstand UNITYAG, Paderborn, Deutschland
E-Mail: christoph.plass@unity.de

1 Einleitung

Es ist keine Frage mehr, ob und wann die Digitalisierung, und damit auch Industrie 4.0, in der Fertigungsindustrie ankommen – sie sind längst da. Derzeit wird man auf diversen Messen mit zahlreichen Lösungen konfrontiert, die zeigen sollen: Industrie 4.0 kann jeder. Bei der Vielzahl von Lösungen ist so mancher am Ende allerdings wieder verwirrt und fragt sich: Was steckt denn nun wirklich hinter Industrie 4.0? Der Begriff wird durchaus auch inflationär verwendet und scheint die Losformel für Innovation zu sein. Alle reden also von Industrie 4.0. Was hinter der sogenannten 4. Industriellen Revolution steckt, lässt sich ganz einfach herleiten: Auf den Punkt gebracht war die wesentliche Technologie der 1. Industriellen Revolution die Dampfmaschine, die der 2. Industriellen Revolution die elektrische Energie und die der 3. die Automatisierung durch den Computer. Dass der Computer in der Produktion – auf dem Shop Floor – das wesentliche Merkmal der 3. Revolution war, wird häufig vergessen. Viele zu Industrie 4.0 veröffentlichte Beispiele stellen eher einen Beitrag für die Industrialisierung auf dem Stand 3.x dar. Die Digitalisierung hat daher schon mit der 3. Industriellen Revolution begonnen. Kern der 4. Industriellen Revolution ist nun der Einzug des Internets auf dem Shop Floor! Ermöglicht wird dies durch Werkstücke und Produktionsmittel, die digital verknüpft sind, also IP-Adressen haben und damit Kommunikationsfähigkeit besitzen. Die vernetzten Produkte und Entscheidungsprozesse – sie werden auch als Cyber-Physical Systems bezeichnet – können Wertschöpfungsnetzwerke nahezu in Echtzeit steuern. Jedoch werden nicht nur Produkte und Produktionsmittel miteinander vernetzt. Grundsätzlich können alle vorstellbaren Dinge mit Kommunikationstechnik ausgestattet und über das „Internet der Dinge“ (IoT: Internet of Things) vernetzt werden. Durch diese Vernetzung und Kommunikation entstehen bereits seit vielen Jahren im Netz riesige Datenmengen (Jung und Zimmermann 2016), mit denen ganz neue Dienste erbracht werden können. Die Anzahl der mit dem Internet verbundenen Dinge wird rasant ansteigen (Abb. 1).

Die Folgen dieser „Internetbewegung“ werden für die Unternehmen erheblich sein und große Veränderungen hervorrufen. „Wir sind überzeugt, dass wir in Deutschland vor dem Hintergrund der digitalen Revolution Arbeit neu definieren müssen“, stellt der Human-Resources-Kreis, ein Forum für Personalvorstände von acatech, in seinem Diskussionspapier 2016 (acatech Impuls 2016) fest.

Es gibt bereits Branchen, an denen man sich orientieren kann: Vergleichbar ist die Situation in der Industrie heute mit der im Handel vor 15 Jahren. Auch hier bedrohte das Internet die etablierten Geschäftsmodelle der Unternehmen. Heute kauft mehr als jeder zweite Deutsche online ein (Studie zum E-Commerce-Markt Deutschland und Europa 2014/2015). Das Internet hat die gesamte Branche durch E-Commerce disruptiv verändert. Die Gewinner heißen heute eBay, Amazon und Zalando. Das Handelsbeispiel sollten Industrieunternehmen als Warnung verstehen: Wer die aktuelle Entwicklung als vorübergehenden Hype abtut, läuft Gefahr, genau wie Quelle, Karstadt und Co. zu enden. Auch sie hat den Einzug des Internets in ihr Geschäft zunächst nicht ernst genommen. Die Industrie sollte diesen Fehler nicht wiederholen.

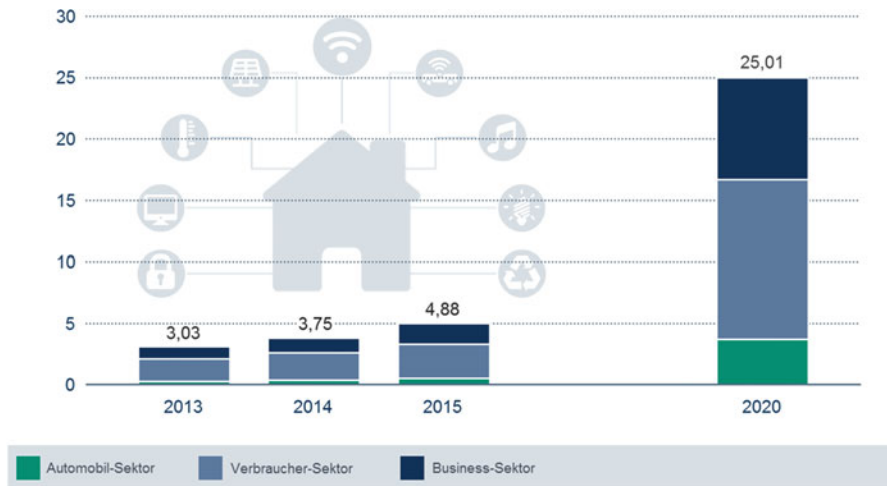


Abb. 1 Geschätzte Anzahl der weltweit mit dem Internet verbundenen Geräte (ohne PCs, Tablets und Smartphones) in Milliarden. (Quelle: Brand 2014)

Die Herausforderungen und Chancen werden daher nicht nur im Hinblick auf die Technik gesehen. Die Perspektive hat sich geweitet: In den Unternehmen ist man sich bewusst, dass die Digitalisierung von Menschen für Menschen gemacht wird. Der Kunde (Anwender) und vor allem der Kundennutzen stehen im Vordergrund. An ihm werden Prozesse und Geschäftsmodelle ausgerichtet. Im Gegensatz zur CIM-Bewegung in den 1980er-Jahren, bei der man über die menschenleere Fabrik nachdachte, spricht man bei Industrie 4.0 nicht mehr von diesem Ansatz, sondern von der Mensch-Maschine-Interaktion (Plass 2016).

Insbesondere im Hinblick auf das Thema Arbeit und Beschäftigung gilt es, Industrie 4.0 als Chance zu begreifen und die Herausforderungen anzunehmen. Zahlreiche Studien, darunter „Arbeit 4.0: Megatrends Digitaler Arbeit der Zukunft“ (Telekom und Universität St. Gallen 2015) und „The Future of Jobs“ (World Economic Forum 2016), prophezeien, dass Industrie 4.0, genau wie die bisherigen industriellen Revolutionen, die tägliche Arbeit jedes Einzelnen beeinflussen und verändern wird. Die Ängste, die durch Digitalisierung und Industrie 4.0 aufkommen, müssen ernst genommen werden. Die Rationalisierung nur als Gefahr wahrzunehmen, wäre ein Fehler. Stattdessen sollten die Chancen erkannt und genutzt werden. Die Auswirkungen von Industrie 4.0 werden bis in den gesellschaftspolitischen Bereich hinein reichen. Durch neue Konzepte soll z. B. die Vereinbarkeit von Familie und Beruf gefördert werden.

Auf dem Weltwirtschaftsgipfel in Davos wurden Anfang 2016 Studien zitiert, die einen Verlust von Arbeitsplätzen in Höhe von netto 5 Mio. Beschäftigten ausmachen („Fünf Millionen Jobs gehen verloren“ 2016). Dass diese Zahlen in der Bevölkerung Unruhe stiften, ist verständlich. Es gibt neben der Entwicklung der Digitalisierung allerdings auch die Herausforderungen durch die Demographie. Studien zeigen, dass ohne Zuwanderung aufgrund unserer demografischen

Entwicklung bis 2030 ca. 7 Mio. und bis 2050 sogar 20 Mio. Menschen weniger erwerbstätig sein werden – und das allein in Deutschland. Die Nettosumme zeigt, dass Rationalisierungspotenziale absolut notwendig sind, um das notwendige Bruttosozialprodukt in Deutschland halten zu können. Umfragen der Bertelsmann-Stiftung (Kober 2015) haben allerdings gezeigt, dass 50 % der Bevölkerung diesen mathematisch zu berechnenden Effekt unterschätzen und 20 % dieses Problem für aufgebauscht halten. Da die Babyboomer in den nächsten zehn bis 15 Jahren sicher noch in der Beschäftigung stehen und die Unternehmen gleichzeitig immer noch teure Vorruhestandsregelungen durchführen, wird diese Wahrnehmung sicher noch anhalten. Der demografische Effekt nimmt allerdings ab 2020 deutlicher zu und dann konstant ein immer größeres Ausmaß an. Die Industrie muss nun handeln, da sie nicht in der Lage sein wird, innerhalb kürzester Zeit diese Effekte zu kompensieren. Neben dem Rückgang der Erwerbstätigen wird die Anzahl der Transferempfänger, also der Empfänger staatlicher Leistungen ohne ökonomische Gegenleistung, dementsprechend steigen. Wenn der produktive Teil der Bevölkerung nicht in der Lage sein wird, die höhere Leistung zu erwirtschaften, wird die Staatsverschuldung deutlich ansteigen. Digitalisierung ist hier ein vielversprechender Lösungsansatz. Um die Finanzierung sicherzustellen und den Lebensstandard in Deutschland zu halten, sind Innovationskraft und die „Lust an Arbeit“ absolut notwendig (Plass 2016).

So stellen die Personalverantwortlichen der deutschen Konzerne weiter fest: *„Ein neues Verständnis von Arbeit beinhaltet dabei zunächst die Offenheit, die ganz verschiedenen Arten und Weisen, auf die Menschen „tätig“ werden können, gleichermaßen zu akzeptieren. Die Digitalisierung wird alle Formen der Arbeit verändern – vom Angestelltenverhältnis über die Selbstständigkeit und das Freelancertum bis hin zur Freiwilligen- und Familienarbeit. Wir werden sowohl Verschiebungen in der Bedeutung zwischen diesen Formen erleben als auch Veränderungen in Organisation und Führung sowie mit Blick auf Hierarchien.“* (acatech Impuls 2016)

Industrie 4.0 und Digitalisierung sind daher notwendige Programme, um den vorgenannten Effekten entgegenzuwirken. IT bietet unendlich viele Möglichkeiten zur Unterstützung am Arbeitsplatz, bspw. durch Assistenzsysteme. Es gilt also insbesondere beim Thema Arbeit, die Veränderungen aktiv mitzugestalten, anstatt sich dem Neuen von vornherein zu verschließen und so den Anschluss zu verlieren. Unternehmen müssen offen sein und Freiräume für Experimente schaffen. Flexibilität wird bei der Digitalisierung benötigt, nur dann wird Deutschland auch weiterhin zu den Spitzenreitern im internationalen Innovationswettbewerb gehören (Plass 2016).

In diesem Beitrag erläutern wir zunächst in Abschn. 2, wie Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle im Industrie 4.0-Zeitalter aussehen. Anschließend beschreiben wir, welche Auswirkungen diese auf die Arbeitswelt (Abschn. 3) und die Aus- und Weiterbildung (Abschn. 4) haben. Unsere Ausführungen basieren zum einen auf Erfahrungen aus unseren Projekten und zum anderen auf den Ergebnissen führender Forschungsprojekte von acatech. Beides haben wir im Folgenden zu einem übersichtlichen Fachbeitrag zusammengebracht.

2 Was sind digitale Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle?

Digitalisierung ist grundsätzlich nicht neu. Das Modell der zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung (Gausemeier und Plass 2014) zeigt, dass Unternehmen dann erfolgreich sind, wenn sie die Herausforderungen der Zukunft antizipieren, auf dieser Basis Strategien entwickeln, daraus effiziente Prozesse gestalten und diese schließlich durch IT unterstützen. Die IT-Unterstützung und die angestrebte Automatisierung sind damit schon lange ein Thema in den Unternehmen. Allerdings wurden die Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Systemen bisher nur mit hohem Aufwand derart programmiert, dass Daten von System A in System B übertragen werden konnten – und somit ein durchgängiger Datenfluss ermöglicht wurde. Das Credo „Vernetzte Systeme realisieren“ ist nun ein Paradigmenwechsel und bedeutet, dass die Systeme nun einfach über Standardschnittstellen vernetzt werden sollen und damit auch kommunizieren können. Des Weiteren haben Techniken, wie die Virtualisierung beim Cloud Computing, die Grundlage für Managed und Shared Services geschaffen. Die Nutzung von Daten und Services, verteilt auf die Ressourcen im Netz, ermöglicht On-Demand-Dienste, die zu deutlich höherer Effizienz führen. „Überkapazitäten“ lassen sich nun wesentlich besser und flexibler nutzen (Plass et al. 2013).

Komplexe IT-Architekturen und die damit verbundenen komplexen IT-Einführungsprojekte sollen der Vergangenheit angehören. Dieser neue Impuls der Vernetzung ist technologisch getrieben, er setzt also auf der 4. Ebene, der Systemebene, an. Somit könnte man sich die Frage stellen, ob durch Digitalisierung und Industrie 4.0 das Modell der zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung (Gausemeier und Plass 2014) noch seine Gültigkeit hat, da das Modell nun „rückwärts gedacht“ werden muss.

Grundsätzlich ist der Einsatz von Technologien nur dann sinnvoll, wenn dadurch ein Nutzen bei den unterstützenden Prozessen entsteht und die Prozesse somit einer Strategie und Vision folgen (Abb. 2). Zu erkennen ist diese Logik vor allem in der Start-up-Szene, also bei denjenigen Unternehmensgründern, die aufgrund einer Technologie ein neues Geschäftsmodell schaffen wollen. Insbesondere den jungen Start-up-Unternehmern wird von potenziellen Investoren die Frage nach dem Geschäftsmodell gestellt, das sie aufgrund der Digitalisierung realisieren wollen. Nur wer zeigen kann, dass sein Geschäftsmodell andere disruptiv angreift, erkennbaren Kundennutzen schafft und so ein signifikantes Marktpotenzial zu erschließen vermag, kann sich Investoren sicher sein. Das 4-Ebenen-Modell hat damit also weiterhin seine Berechtigung.

Hinzu kommt, dass die IT jahrelang ausschließlich als Kostenfaktor im Unternehmen angesehen wurde. Die Geschäftsführung hatte oftmals kein Verständnis für die hohen Investitionen. Mit dem Nutzen wurde allerdings selten argumentiert, es war eher ein „Muss-Thema“. Im Rahmen der 4. Industriellen Revolution stehen IT und Digitalisierung für Innovation sowie für Produktivität und Prozesseffizienz.

Wir betrachten daher zwei wesentliche Handlungsfelder für Unternehmen auf dem Weg zu Industrie 4.0 sowie zur Digitalisierung. Zum einen müssen die Un-

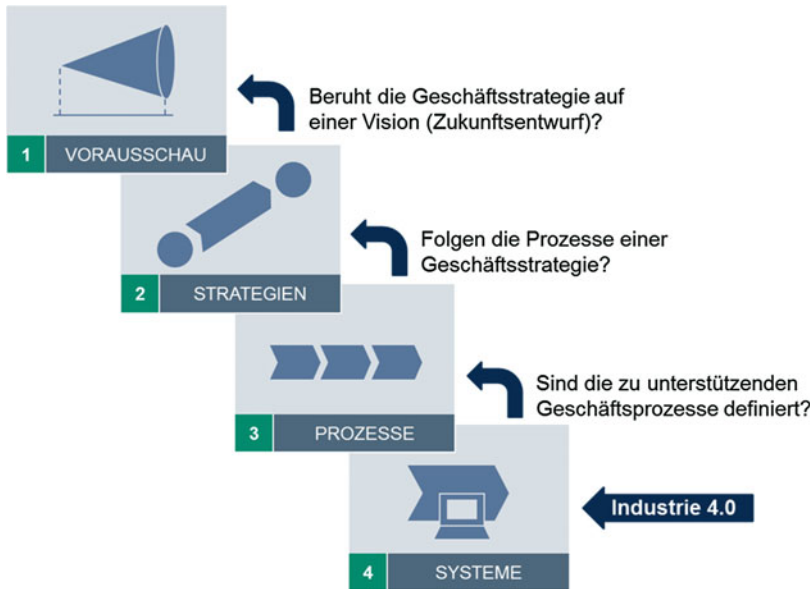


Abb. 2 Industrie 4.0 als technologiegetriebener Impuls im 4-Ebenen-Modell der zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung. (Quelle: UNITY)

ternehmen den Automatisierungsgrad erhöhen und so die Produktivität konsequent steigern (siehe Abschn. 2.1). Der zweite wichtige Aspekt ist die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle zur Generierung von neuen Diensten/Services und damit neuen Geschäftsfeldern und Umsätzen (siehe Abschn. 2.2).

2.1 Neue Architekturen ermöglichen digitale Geschäftsprozesse

Das Gabler Wirtschaftslexikon definiert den Begriff Geschäftsprozess als „Folge von Wertschöpfungsaktivitäten mit einem oder mehreren Inputs und einem Kundennutzen stiftenden Output“ (Gabler Wirtschaftslexikon 2017). Unter digitalen Geschäftsprozessen verstehen wir Geschäftsprozesse, die im Unternehmen eine durchgängige digitale Vernetzung – sowohl horizontal als auch vertikal – vorweisen können. Digital steht im Kontext Industrie 4.0 also nicht bloß für den längst üblichen Einsatz von IT, sondern für Vernetzung – ermöglicht insbesondere durch die Internettechnologie.

Jedes Unternehmen kann, bevor es die Einführung einer vernetzten Produktion im Sinne von Industrie 4.0 in Angriff nimmt, die Produktion auf den Stand von Industrie 3.x vorantreiben, indem eine IT-Durchdringung geschaffen und der Automatisierungsgrad erhöht wird. Dies steigert die Produktivität und stellt die operative Exzellenz der Prozesse im Unternehmen sicher.

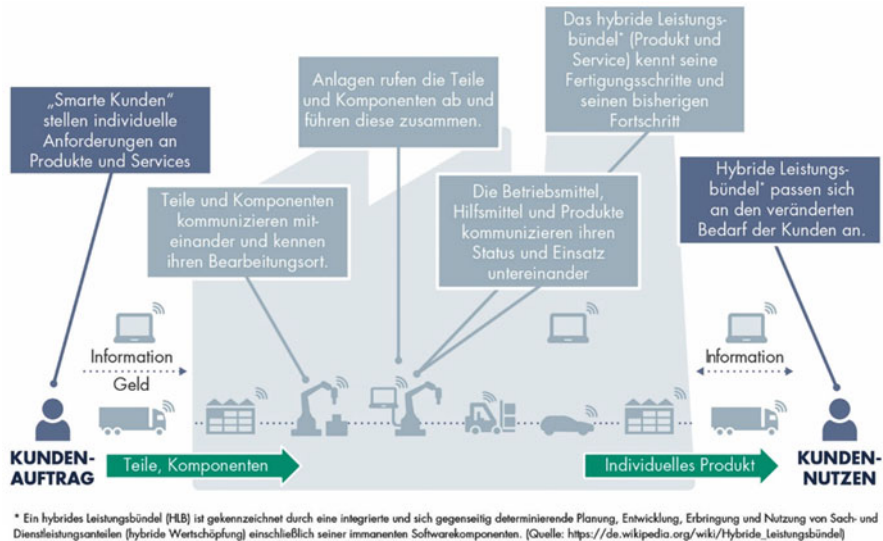


Abb. 3 Industrie 4.0: Definition und Ausprägungen. (Quelle: UNITY und Heinz Nixdorf Institut)

Ziel von Industrie 4.0 ist, Produktions- bzw. Wertschöpfungsketten/-netzwerke – wie in Abb. 3 dargestellt – derart zu vernetzen, dass sie individualisierte Produkte (Losgröße 1) zu den ökonomischen Konditionen eines Massenherstellers realisieren können. Die Produktion soll hochflexibel, hochproduktiv, ressourcenschonend und urbanverträglich sein. Wertschöpfungsprozesse sollen bedarfsorientiert in Echtzeit optimiert werden. Kunden und Lieferanten sollen durch den Einsatz von Internet-technologien und die dadurch entstehende Vernetzung in die Wertschöpfungsprozesse eingebunden werden können.

Um derartig vernetzte Produktionen realisieren zu können – und so wichtige Wettbewerbsvorteile zu sichern – bedarf es also spezieller Strukturen in den Unternehmen (Plass 2015):

a) Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme

Betrachten wir den Status quo der Automatisierungspyramide: Trotz jahrelanger Bestrebungen, eine digital vernetzte Systemlandschaft zu realisieren (vgl. CIM etc.), ist die Pyramide in den meisten Unternehmen immer noch dadurch gekennzeichnet, dass streng hierarchische Kommunikationsstrukturen und abgegrenzte Ebenen vorliegen.

Die durchgängige Vernetzung von der Unternehmensleitebene bis hin zur Feldebene (Abb. 4) ist bisher nur mit sehr hohem Aufwand herzustellen und weist kaum Standardisierung auf. Die Vernetzung über die Unternehmensgrenzen hinweg ist mit den herkömmlichen Ansätzen nur eingeschränkt möglich gewesen. Mit dem Gedanken von Industrie 4.0 fangen die IT-Hersteller an, die bisher favorisierten Abgrenzungen ihrer Geschäftsmodelle in Form von proprietärer Software zu verlassen.

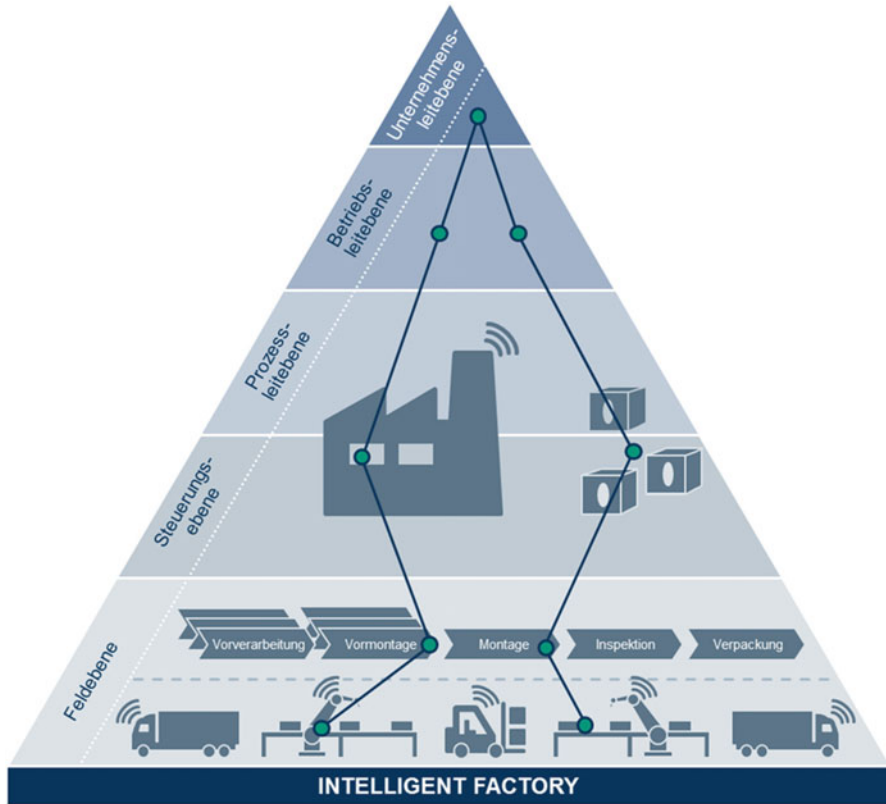


Abb. 4 Die intelligente Fabrik ist durchgängig vernetzt – von der Unternehmensleitebene bis hin zur Feldebene. (Quelle: UNITY)

Vernetzung und Standards sind die Leitgedanken für den Aufbau neuer Architekturen. Nur dann sind Verknüpfungen von der Unternehmensleitebene (Office Floor) über die Betriebs-, Prozess- und Steuerungsleitebene bis hin zur Feldebene (Systeme der Produktion auf dem Shop Floor) mit einem angemessenen Aufwand realisierbar. Sie sind die Voraussetzung für eine variantenreiche, kundenspezifische und individualisierte Produktion.

b) Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke

Die Produktion im Sinne von Industrie 4.0 (Abb. 5) ist bedarfsorientiert und zeichnet sich folglich durch eine hochgradige Flexibilität und Vernetzung der einzelnen Produktionsstätten aus. In ihr gibt es einen optimierten Material- und Informationsfluss entlang der Wertschöpfungskette. Der Kunde ist in die Wertschöpfungskette eingebunden. Die bestandsgeführte Versorgung wird von einer durchgängigen und bedarfsgesteuerten Versorgung (Smart Sourcing) abgelöst. Produktion und Produktionsversorgung (Smart Planning) werden durch intelligent automatisiertes Equipment selbst gesteu-

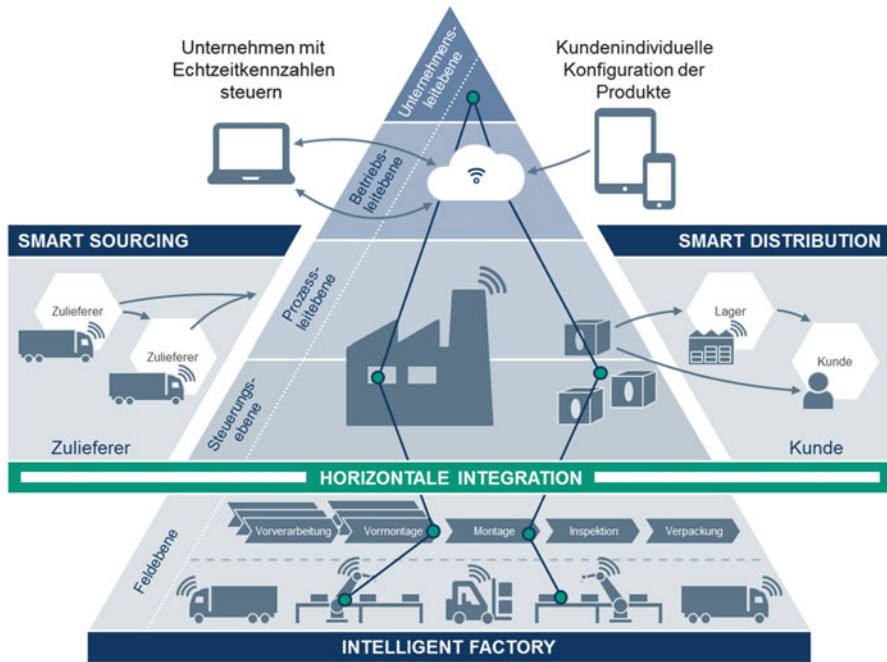


Abb. 5 Horizontale Vernetzung über die gesamte Supply Chain, im Produktionsverbund und mit dem Kunden. (Quelle: UNITY)

ert. Die Durchgängigkeit der Prozesse, einschließlich der Logistik zum Kunden (Smart Distribution), ist sichergestellt.

Für die horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke müssen also folgende drei Anwendungsfelder betrachtet werden:

- die Vernetzung von Produktionssystemen zu einem Produktionsverbund,
- die Vernetzung im Rahmen der Lieferkette (Supply Chain) und insbesondere
- die Vernetzung und Einbeziehung des Kunden in Bezug auf seinen Kundenwunsch sowie die Versorgung mit Informationen über den Auftrags- und Lieferstatus.

c) Neue Architekturmodelle und Prozesse durch Internettechnologien

Durch das Internet wird die Anbindung und Vernetzung von Maschinen allerdings auch direkt möglich sein (Abb. 6). Der strikte, lineare Weg über alle Ebenen der Automatisierungspyramide ist nicht mehr notwendig. Die Anbindung von einzelnen Sensoren oder Maschinen direkt an Plattformen in der Cloud ermöglicht Prozesse, die bisher nicht denkbar waren. Daten sind jederzeit im Zugriff, können in der Cloud ausgewertet, verglichen und bearbeitet werden. Das Ergebnis kann als Information oder auch als Steuerungsfunktion direkt wieder an den Sensor

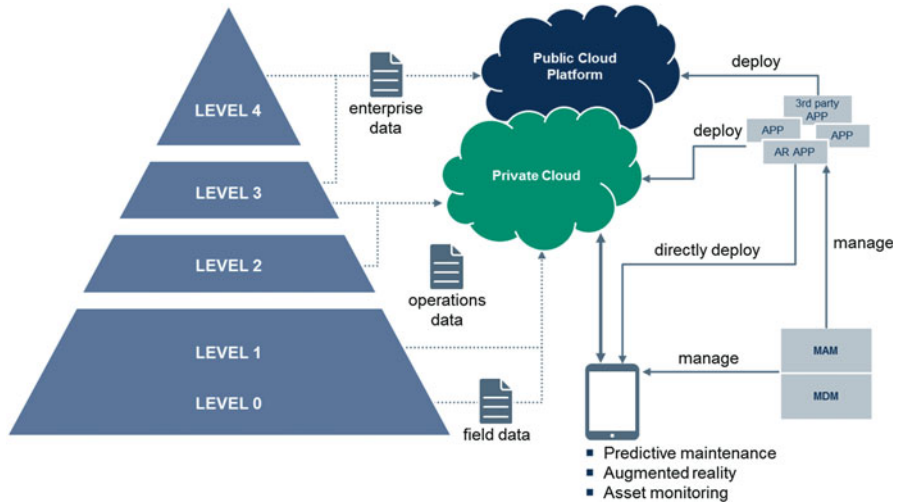


Abb. 6 Datenflüsse in IoT-Plattform. (Quelle: UNITY)

bzw. die Maschine zurückgesendet werden und dies in wenigen Millisekunden, also in Echtzeit. Dieser Ansatz ist neu. Damit diese Anbindungen effizient ermöglicht werden können, ist ein Ziel von Industrie 4.0, keine proprietären Insellösungen zu schaffen, sondern sich international auf Standards zu einigen. Durch diesen technischen Ansatz sind die Herausforderung und die Möglichkeiten, denen die Mitarbeiter gegenüberstehen, neu. Sie kennen aus ihrer Erfahrung eher die Barrieren und sind in Standardabläufen geschult worden. Nun heißt es, kreativ zu sein und die Problemlösung direkt dort zu realisieren, wo das Problem entsteht, oder sogar vorbeugende Ansätze zu entwickeln, so dass ein Problem erst gar nicht auftritt. In der weitesten Ausprägung lösen die Maschinen direkt ihr eigenes Problem, ohne dass ein Mensch eingreifen muss.

Die folgenden Anwendungsfälle digitaler Technologien basieren auf digitalen Geschäftsprozessen, welche eine durchgängige Vernetzung, auch über Unternehmensgrenzen hinweg, ermöglichen:

- Condition Monitoring

Condition Monitoring beschreibt die regelmäßige oder permanente Erfassung eines Maschinen- oder Systemzustands anhand definierter Größen (Temperatur, Lage, Neigung etc.). Durch Zustandsvergleiche und definierte Grenzwerte wird eine frühzeitige Diagnose ermöglicht.

- Echtzeitdatenverarbeitung

Echtzeitdatenverarbeitung beschreibt die Verarbeitung von Daten unter genauer Einhaltung vorgegebener zeitlicher Bedingungen. Zur Anwendung kommt diese beispielsweise bei Greifbewegungen von Roboterarmen, da hier sowohl eine verfrühte als auch eine verspätete Aktion Schäden verursachen kann.

- Diagnose

Eine Fehlerdiagnose ist die konkrete Bestimmung von Ursache und Ort eines Fehlers. Diagnosetechniken entstammen dem medizinischen Bereich und wurden auf technische Anwendungen übertragen (Frank 1994).

- Algorithmen des maschinellen Lernens für cyber-physische Systeme und Industrie 4.0

Algorithmen zu maschinellem Lernen analysieren ihre Umgebung und lernen auf Basis ihrer Beobachtungen Muster, Zusammenhänge und prognosefähige Modelle. Das maschinelle Lernen gilt als Schlüsseltechnologie für Anwendungsszenarien im Industrie 4.0-Umfeld.

- Predictive Maintenance

Predictive Maintenance, also vorausschauende Instandhaltung, beschreibt die vorbeugende Ergreifung von Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen an einem technischen System. Mit Hilfe von Echtzeitdaten und Lernalgorithmen werden dabei Wartungs- und Ersatzteilkosten minimiert. Hierzu werden Daten gesammelt und umfassend mittels Software-Algorithmen analysiert, sodass relevante Datenmuster erkannt werden, die wiederum durch weitere Algorithmen Entscheidungen berechnen und Aktionen veranlassen.

- Energiemanagement

Energiemanagement beschreibt die Gesamtheit aller Planungs- und Durchführungsmaßnahmen zur Umwandlung, Verteilung und Nutzung von Energie für eine Organisationseinheit (Unternehmen, Region). Ziel ist die kontinuierliche Reduktion des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Energiekosten.

- Auslastungsmanagement

Auslastungsmanagement beschreibt eine Reihe von Techniken zur Verwaltung und Optimierung von Ressourcen. Primär findet es Anwendung in Produktions- und Logistikumgebungen, es lässt sich jedoch auch auf andere Bereiche wie Klinikmanagement/Belegungsmanagement übertragen.

d) Durchgängigkeit des Engineerings über den gesamten Lebenszyklus

Zur Realisierung derart horizontal und vertikal vernetzter Architekturen sind Fähigkeiten unterschiedlicher Ingenieurs- und Informatik-Disziplinen erforderlich. Dieser Komplexität kann mit Systems Engineering (SE) (siehe auch Kap. ► „Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung“ in diesem Handbuch) begegnet werden (Abb. 7). SE liefert grundlegende Methoden, um die Integration von Produkt- und Produktionsmittelplanung in einem Gesamtsystem beschreiben und planen zu können. Allerdings sind diese Fähigkeiten in vielen Unternehmen noch nicht ausgeprägt. Hinzu kommt, dass in den Unternehmen das Engineering aus zwei Sichten betrieben wird: zum einen aus der Ingenieurssicht, zum anderen aus der Hard- und Software-Entwicklungssicht der Informatik.

Aufgrund der Möglichkeiten des Internet of Things and Services (IoTS) müssen diese Sichten technologisch zusammengebracht werden. Das Engineering muss durchgängig über den gesamten Lebenszyklus verstanden werden. Verknüpfungspunkte zwischen Produkt und Produktionssystem sowie die Verschmelzung zwischen realer und digitaler Welt sind Kernkompetenzen zur Realisierung von Industrie 4.0. Die Bedeutung der Software-Entwicklungskompetenz steigt folglich deutlich an.

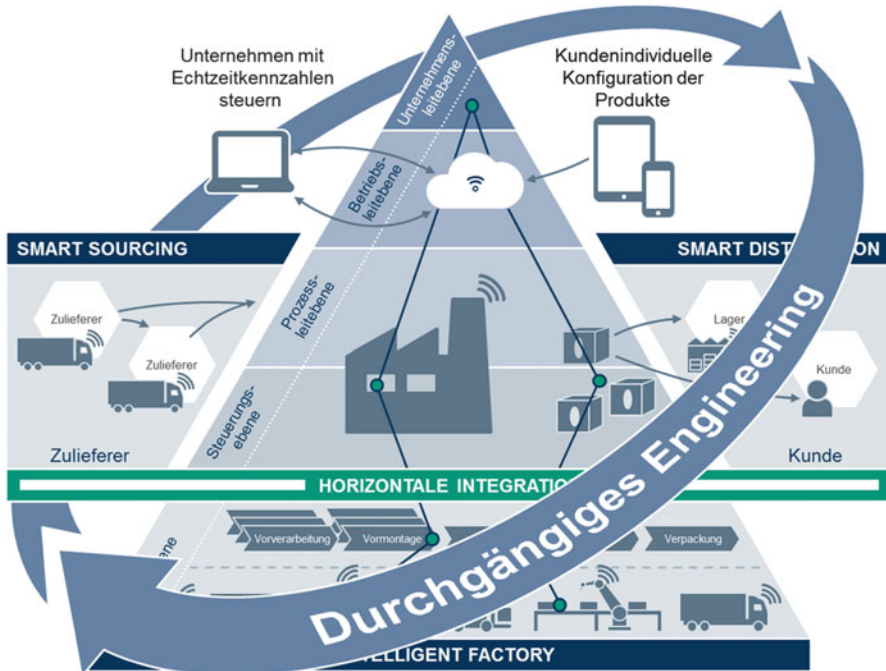


Abb. 7 Es bedarf eines durchgängigen Engineerings, das Ingenieure sowie Hard- und Software-Entwickler vereint. (Quelle: UNITY)

2.2 Digitale Geschäftsmodelle

Ein Geschäftsmodell ist laut Gabler Wirtschaftslexikon „eine modellhafte Repräsentation der logischen Zusammenhänge, wie eine Organisation bzw. Unternehmen Mehrwert für Kunden erzeugt und einen Ertrag für die Organisation sichern kann“ (Gabler Wirtschaftslexikon 2017). Auf Basis der digital vernetzten Geschäftsprozesse und der direkten Einbindung des Endkunden entstehen völlig neue – „digitale“ – Geschäftsmodelle.

„Die Digitalisierung kommt so oder so. Die Frage ist nur, wer sie macht.“ (acatech Impuls 2016, S. 35)

Wie wichtig dieser Aspekt für bestehende und neue Geschäftsmodelle ist, zeigt der eingangs bereits geworfene Blick auf den Handel: Im Jahr 2000 wurde im Handel noch von der Internetblase gesprochen. 15 Jahre später bezeichnet man das Vorgehen der großen neuen, internationalen Player als Disruption des Geschäftsmodells der Branche.

Die Veränderung des Nutzerverhaltens disruptiert die Geschäftsmodelle grundlegend:

- Vom *Buchladen* zum *eBook*
- Vom *Plattenladen* zum *Streaming*
- Von den *Gelben Seiten* zum *Marketplace*
- Vom *Taxi* zum *Ride Sharing*

Es sind aber vor allem Plattformen entstanden, die keine eigenen Assets haben, wie z. B.

- Google, 1998 gegründet, weltweit dominierende Suchmaschine ohne eigenen Content,
- Instagram, 2008 gegründet, die Bilderplattform ohne eigene Fotografen,
- Twitter, 2006 gegründet, der News-Dienst ohne eigene Nachrichtenredakteure
- Facebook, 2004 als soziales Netzwerk gegründet, ist heute das größte Medienunternehmen ohne selbst produzierte Medien,
- YouTube, 2005 gegründet, ist heute das erfolgreichste Videoportal weltweit, ohne dabei selbst Videos zu produzieren,
- Airbnb, ein 2008 im kalifornischen Silicon Valley gegründeter Community-Marktplatz für Buchung und Vermietung, ist heute der größte Vermittler von Unterkünften ohne eigene Immobilien,
- Uber, 2009 ursprünglich als Limousinenservice gegründet, ist heute das größte Taxiunternehmen ohne Taxen,
- Bitcoin, 2008 gegründet, eine Währung ohne Staat, Münzprägestalt und Zentralbank.

Wenn nun das Internet auf den Shop Floor in die Fabrik gelangt, so kann von einer ähnlichen Disruption in den kommenden Jahren ausgegangen werden. Die Aufgabe ist sicher komplexer als im Handel, dafür ist die technologische Basis

deutlich fortgeschrittener als vor 15 Jahren. Welche konkreten Auswirkungen dies hat, können wir uns teilweise noch nicht vorstellen. Die aufgezählten Erfolge zeigen, wie sich die Märkte bereits verändert haben und auch noch weiter verändern können. Der Einsatz des Internets hat keine Grenzen. So kann auch bei Industrie 4.0 nicht an den Werks- oder Unternehmensgrenzen Halt gemacht werden.

Neben den smarten Produkten sind Gebäude, Logistikketten, aber auch ganze Branchen wie z. B. die Gesundheits- und Energiewirtschaft mit einzubeziehen. Das Beispiel der Smart Mobility zeigt, dass es neben den Internettechnologien weitere Technologien, wie z. B. die Elektromobilität oder den 3D-Druck, gibt, die sich gegenseitig sehr gut ergänzen und bestehende Geschäftsmodelle revolutionieren können.

„Diese Veränderung bildet den Kern eines Transformationsprozesses, von dem aus alles andere gedacht werden muss“ (acatech Impuls 2016, S. 11). Die nächsten fünf Jahre werden in einigen Wirtschaftssektoren darüber entscheiden, ob Unternehmen der disruptive Teil der Transformation gelingt.

Die Chance, einfachen Service mit erfolgreichen Geschäftsmodellen durch die Basistechnologie Internet zu entwickeln, ist groß. Um also auch zukünftig wettbewerbsfähig zu sein und damit Arbeitsplätze zu sichern, müssen Unternehmen:

- das aktuelle Geschäftsmodell optimieren, verfeinern und effizienter gestalten,
- prüfen, welche neuen Geschäftsmodelle kurz-, mittel- und langfristig möglich sind,
- antizipieren, welche fremden Player das eigene bestehende Geschäftsmodell disruptieren können und somit die eigene Existenz gefährden.

Naheliegende Geschäftsmodelle, wie z. B. Service-Optimierungen, können schnell umgesetzt werden. Disruptive Geschäftsmodelle basieren hingegen auf völlig neuen Services und werden auf Plattformen realisiert, welche zu Netzwerkeffekten führen. Plattformen sind die Vermittler zwischen Angebot und Nachfrage und besitzen die Daten beider Marktseiten: die Parameter des Anbieters und alle Kontakt-, Konsum- und Bezahlzeiten des Kunden. Unternehmen sollten daher die Kompetenz zur Beurteilung der Plattformökonomie aufbauen. So betonte auch Wirtschaftsminister Sigmar Gabriel im September 2015: „[...] nicht alle [...] Unternehmen sehen, dass sich Innovation nicht nur vom Produkt her entwickelt, sondern dass sich dazwischen – zwischen das Produkt und den Kunden – immer stärker Plattformökonomien schieben“ (Gabriel 2015).

Die Geschäftspraktiken internationaler Internetunternehmen unterscheiden sich durchaus von den hiesigen, sind aber eine gute Orientierungshilfe und stellen Chancen und Gefahren dar. So wird z. B. sehr unterschiedlich mit dem Thema Sicherheit umgegangen. Das in der privaten Nutzung häufig anzutreffende Gefühl der Ohnmacht gegenüber den AGB der Anbieter führt dazu, dass hier unkritische Handlungen aufgrund diffuser Ängste unterlassen, aber kritische Handlungen angesichts der Auffassung „doch nichts anderes tun zu können“ ohne Sicherheitsvorkehrungen durchgeführt werden. Dieses Verhalten ist im industriellen Bereich bei kritischen Systemen und Prozessen undenkbar. Der Industrie ist die Problematik

der Sicherheit durchaus bewusst. Die Risikoabwägung zwischen Know-how-Schutz auf der einen Seite und der Gefahr von disruptiven Geschäftsmodellen auf der anderen Seite ist im Einzelfall zu betrachten und genau abzuwägen. Es empfiehlt sich auf keinen Fall, nur abzuwarten. Mindestens sollte die vertikale und horizontale Vernetzung innerhalb der Fabrik bzw. im eigenen Unternehmensverbund vorangetrieben werden (Private Cloud). Zahlreiche Potenziale können in dieser Stufe bereits ausgeschöpft werden. Mit erfahrenen Partnern können auch heute schon Daten über etablierte Sicherheitstechnologien mit externen Netzen gekoppelt werden. So können bereits jetzt Erfahrungen gesammelt werden. Wenn wir davon ausgehen, dass im Zeitalter der Digitalisierung Daten und Informationen die neue Währung sind (Keese 2014), so muss ein Unternehmen bereits heute dafür sorgen, diese Währung entstehen zu lassen. Ohne Währung kein Handel und damit kein Geschäft. Kurzfristig lässt sich die Expertise mit Daten sicher nicht aufbauen.

3 Die Auswirkungen digitaler Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle auf die Arbeitswelt

3.1 Führung und Kultur

Neben vielen technologischen Neuerungen ist eine zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0 in Unternehmen ein Wandel in „Führung und Kultur“.

„Nur noch den vermeintlich besten Managern aus dem Silicon Valley hinterherzurennen, kann für deutsche Unternehmen nicht die Lösung sein. Die Abstoßungsreaktionen im Unternehmen wären viel zu groß“ stellen die schon zitierten Personalverantwortlichen der deutschen Konzerne und acatech fest (acatech Impuls 2016, S. 33). Eine Orientierung gerade an branchenfremden Entwicklungen ist allerdings absolut notwendig.

Die bisher üblichen starren Führungslinien und die strikte Aufgaben- und Zuständigkeitstrennung in einzelnen Abteilungen ist im Kontext von Industrie 4.0 nicht mehr zeitgemäß.

Schauen wir auf die herkömmlichen Führungsstrukturen, so ist in den meisten Fällen der CIO (Chief Information Officer) nicht auf Top-Managementebene. Der CIO ist sehr häufig dem CFO (Chief Financial Officer) unterstellt; der CISO (Chief Information Security Officer) wiederum dem CIO.

Der Anstoß zur Digitalisierung durch Industrie 4.0-Aktivitäten kommt zum einen aus der Produktion, wo der COO (Chief Operation Officer) oder auch der CTO (Chief Technology Officer) die Verantwortung tragen. Die IT-Kompetenz wird beim CTO immer wichtiger und es stellt sich die Frage, wie CIO und CTO zusammenarbeiten. Informatiker erobern die Stellen des CTO, die bisher eher Ingenieur-geprägt waren. Der CIO wird für die IT auf dem Shop Floor zuständig, welche bislang oft nicht zu seinem Verantwortungsbereich zählte.

Zum anderen kommt der Anstoß zur Digitalisierung vom Markt oder aus der Innovationsabteilung. In diesen Unternehmen wird der Prozess von den Innovations-

verantwortlichen, also dem Business Development und/oder den Strategieverantwortlichen, vorangetrieben. Teilweise sind es auch die Marketingverantwortlichen, schließlich soll ja der Kunde von nun an konsequent im Mittelpunkt der Betrachtung stehen. Auch hier stellt sich die Frage, wie IT- und Produktionsverantwortliche mit eingebunden werden. Der Produktentwicklung kommt ebenfalls eine wichtige Rolle zu. Gerade bei neuen Geschäftsmodellen und Services steht der Leitsatz „Design to Order“ (Fertigung nach individuellem Auftrag) mehr denn je im Vordergrund. Dieser ist nur zu realisieren, wenn Produkt-, Produktionsmittel- und Dienstleistungsentwicklung in frühen Phasen zusammenarbeiten (Gausemeier und Plass 2014).

Zurzeit entsteht ein neuer Verantwortungsbereich in den Unternehmen: Der Chief Digital Officer (König 2014). Dieser hat die Aufgabe, die Digitalisierungsstrategie zu entwickeln und dann auch umzusetzen. Genau wie der CIO und der CTO steht er meist auf der zweiten Führungsebene (vgl. Abb. 8). Digitalisierung kann nicht durch einen Verantwortlichen oder einen Verantwortungsbereich realisiert werden. Sie betrifft das gesamte Unternehmen. Daher müssen die Abteilungsgrenzen überwunden und neue Zusammenarbeitsmodelle etabliert werden. Es gilt, das traditionelle „Brockhausdenken“ (Weinberg 2015) – Verantwortlichkeiten in Linien – durch eine vernetzte Zusammenarbeit im Team abzulösen. Benötigt wird der Grundgedanke eines Chief Digital Boards (CDB) mit einer Governance für Digitalisierung. Begrifflichkeiten, Zuständigkeiten, Rollen und Zusammenarbeitsmodell müssen geklärt werden.

„Vernetztes Denken, Arbeiten und Führen“ muss sich auch in den Köpfen und im Handeln der Akteure widerspiegeln. Es gilt, vernetzt transdisziplinär zusammenzuarbeiten – sowohl intern als auch über die Unternehmensgrenzen hinweg. Dann können durch Kooperation schneller und nachhaltiger zukunftsfähige Lösungen

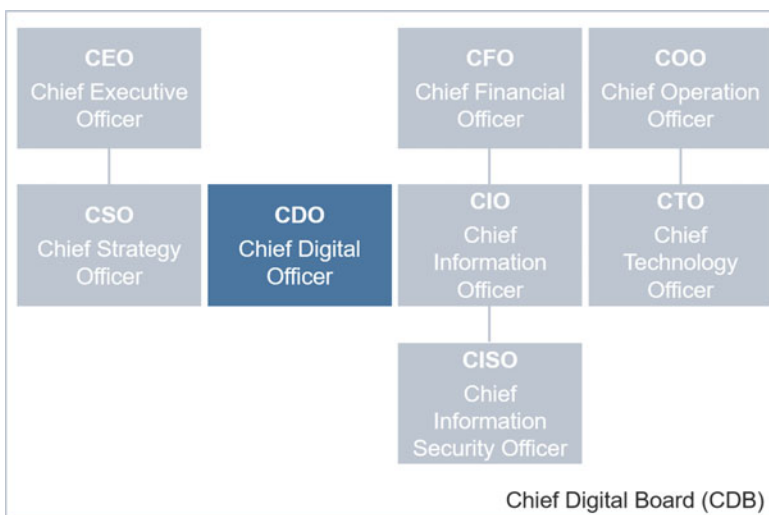


Abb. 8 Führungsstrukturen. (Quelle: UNITY)

erzielt werden. Die Zusammenarbeit findet quer zu Fachdisziplinen, Aufgabengebieten, Standorten und über Organisationsgrenzen hinweg statt.

Wenn Organisationen in Zukunft auch stärker in Netzwerken arbeiten, werden auch dezentral Entscheidungen getroffen (Active Ownership, also aktive Beteiligung, mit regionaler Verantwortung und unterstützt/herausgefordert vom Corporate Center, also der Abteilung, die den Vorstand bei der Führung unterstützt). Statt alle Funktionen an einem Ort zu zentralisieren, können dabei auch regionale Einheiten gegebenenfalls eine zentrale Unternehmensfunktion übernehmen, wenn sie dafür besonders geeignet sind.

Durch vernetztes Führen werden schon heute bei erfolgreichen Industrieunternehmen Experten in gewissen Bereichen zusammengeführt, die global in verschiedenen Entwicklungszentren verteilt sind. Damit sind in Zukunft vor allem „neu und frei denkende“ Mitarbeiter gefragt. Agile Methoden sind notwendig, um innovative Ideen auch kurzfristig umsetzen zu können. Die Industrie stellt fest, dass man im globalisierten Markt mit so vielfältigen Produkten und Kunden anders gar nicht bestehen und erfolgreich sein kann (Quinkert 2015).

So ist vor allem die Entwicklung von Geschäftsmodellen nur dann erfolgreich, wenn die Führung und die Kultur im Unternehmen hierauf abgestimmt und damit die Rahmenbedingungen für Kreativität, Innovationskraft und die Fähigkeit zum disruptiven Denken gegeben sind. *„Früher hat der Arbeitgeber dem Mitarbeiter gesagt, was er zu tun hat; der Mitarbeiter wiederum hat dem Kunden gesagt, was er braucht beziehungsweise bekommt. Jetzt müssen wir vom Kunden ausgehen und uns fragen: Wie weit ist das Geschäft des Kunden bereits digitalisiert und wie können wir uns vernetzen?“* (acatech Impuls 2016, S. 11).

Einige unserer Kunden haben diesen Trend erkannt und richten ihre Unternehmen ganzheitlich an dieser strategischen Maxime aus.

3.2 Start-ups

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob eine bestehende Organisation diese Kulturveränderung schaffen wird, insbesondere in der knappen Zeit, die den Unternehmen aktuell noch zu bleiben scheint. Für derartig notwendige Transformationsprozesse lauert der Feind im Innern eines Unternehmens, da etablierte Strukturen zu Konservatismus neigen. So gibt es bereits viele Verfechter, die den Aufbau derartiger Strukturen konsequent nach außen in neue Start-up-Unternehmen verlagern. Dieser Ansatz wurde beispielsweise vom Springer Verlag in den vergangenen Jahren konsequent verfolgt. Hier hat man 2006 bei den internen Strukturen begonnen und war aufgrund der kulturellen Probleme im Unternehmen nicht erfolgreich. Es folgte ein Strategiewechsel, indem konsequent auf kleine externe Einheiten gesetzt wurde. 2016 ist der Springer Verlag ein erfolgreicher Unternehmensverbund, der unter allen DAX30- und MDAX-Unternehmen den höchsten Digitalisierungsgrad und signifikante Umsätze sowie Erträge in diesen Bereichen vorweisen kann.

Gerade bei größeren Unternehmen sind der Recruiting-Erfolg und Output dieser kleineren Einheiten größer. Der gewisse Abstand dieser agileren Einheiten von den

potenziell erstickenden Strukturen der Mutter wirkt sich positiv auf das Geschäftsmodell und vor allem den Geschäftserfolg aus.

Die Eintrittsbarrieren von Start-ups in kostenintensive Bereiche wie die Produktion sind deutlich höher als in Bereichen wie E-Commerce, wo Infrastruktur günstiger ist und gegebenenfalls gemietet werden kann. Zu einem Industrie 4.0-Start-up gehören nicht nur Bürogebäude mit Zugang zu Servern und dem Internet. Industrie 4.0-Start-ups benötigen ein Ökosystem mit Produktionsumgebungen, an denen z. B. innovative Datenanalysetechniken pilotiert werden können. Entsprechende Einrichtungen könnten von etablierten Unternehmen für Start-ups kostengünstig zur Verfügung gestellt werden.

Innovative Start-ups haben z. B. mit Datenanalysetechnologien schon in mehreren Ländern (insb. in Skandinavien und in den USA) Mehrwert für etablierte Firmen geschaffen. Kooperationen zwischen großen Unternehmen auf der einen Seite und Start-ups auf der anderen Seite können sinnvolle Synergien schaffen.

In etablierten Unternehmen ist oftmals die Fähigkeit, neue Internettechnologien zu nutzen, nicht vorhanden. Kleine Start-ups, die sich z. B. auf den Aufbau von Plattformen spezialisiert haben, können auf Basis von kostenlosen und frei zugänglichen Software-Bausteinen aus Open Source Netzwerken (Free and Open Source Software, FOSS) schnelle und kostengünstige Plattformen schaffen. In der Form von Open Innovation, also der Öffnung des Innovationsprozesses für andere Stakeholder, können zwischen den etablierten und den neuen Unternehmen entsprechende Kooperationen gestaltet werden und schon kurzfristig zu Piloten und Proof of Concepts für neue Geschäftsmodelle in der Cloud führen. Insbesondere im Mittelstand kann diese Form der Zusammenarbeit sinnvoll eingesetzt werden.

Wenn wir hier von Start-ups sprechen, so sind zum einen Firmen von Absolventen der Hochschulen bzw. jungen Unternehmern gemeint. Ziel sollte es aber auch sein, dass technologieorientierte Unternehmen Geschäftsgründungen ihrer Mitarbeiter unterstützen. Derzeitige Anreizsysteme in der Arbeitswelt sind allerdings überwiegend risikoavers ausgelegt; Wagnisse werden wesentlich weniger honoriert als überschaubare konventionelle Ziele und deren sichere Erreichung. Durch Anreizsysteme, die vertretbare Wagnisse honorieren, kann der Pioniergeist der Arbeitnehmer gestärkt werden. Wenn ein Vorhaben scheitert, könnte in diesem Fall eine „Rückfahrkarte“ in die alte Unternehmensposition gegeben werden, um die Konsequenzen einer gescheiterten Ausgründung für den Entrepreneur zu reduzieren. Gleichzeitig partizipiert das Ursprungsunternehmen an einer erfolgreichen Geschäftsgründung, ohne sein Stammgeschäft zu vernachlässigen. Unternehmen sollten systematisch Potenziale für Geschäftsgründungen von Mitarbeitern analysieren und ggf. aktiv als Kapitalgeber im Sinne einer Beteiligung fungieren. Ferner sollten sie Geschäftsgründern Rückkehroptionen ermöglichen und flexible Arbeits- und Gehaltsmodelle für Entrepreneure entwickeln, um u. a. eine Grundsicherung für die Transformation vom Angestellten zum Unternehmer zu ermöglichen.

Ein etabliertes Unternehmen kann aber nicht ausschließlich auf den Zukauf von Start-ups zur digitalen Vitalisierung setzen. Den bestehenden Ressourcen sollte ebenfalls eine Chance auf Veränderung gegeben werden, z. B. indem den eigenen Mitarbeitern im Unternehmen Ressourcen für die Realisierung neuer Ideen zur

Verfügung gestellt werden. Diese Mitarbeiter können Erfahrungen und Vertrauensverhältnisse aufweisen, die den jungen Mitarbeitern oft noch fehlen, da sie nicht so stark im Unternehmen sozialisiert sind. Es geht darum, Beschäftigte etwas mit eigenem Budget machen zu lassen und sie nicht nur „mitzunehmen“. Dabei ergibt sich für die Unternehmen allerdings ein Dilemma: Sie müssen die besten digitalen Talente für Innovationsthemen abstellen und dabei konsequent von anderen Aufgaben befreien. Diese Strategie sorgt für Knappheit in anderen Unternehmensbereichen. „Ambidextre“, also beidhändige Strukturen, sind Organisationsstrukturen, die Unternehmen helfen, bestehende Stärken weiter zu nutzen („Exploitation“) und gleichzeitig ganz neue Strukturen zu erkunden („Exploration“) (Burr 2014), die sie in die Lage versetzen, den disruptiven Teil der digitalen Transformation zu gestalten. Unternehmen müssen sich zunehmend mit diesem Konzept auseinandersetzen – auch wenn der Prozess erhebliche Veränderungen in einer Organisation mit sich bringt. Die konkrete Realisierung und Steuerung ambidextrer Strukturen stellt das Management vor große Herausforderungen. Jedes Unternehmen muss hier seine eigenen Erfahrungen machen und entsprechende Experimente zulassen.

Folglich bedarf es vor allem in den Führungsetagen wesentlicher Veränderungen. Hier ist eine neue Risikobereitschaft erforderlich. Das Eingehen von unternehmerischen Wagnissen muss Anerkennung finden und ein Scheitern akzeptiert werden. Gute unternehmerische Leistungen müssen gewürdigt und entsprechend kommuniziert und vermarktet werden. Missgunst und Neid sind hier die falschen Signale.

In der Gaming Industrie erleben wir diesen anderen Korpsgeist in den Unternehmen bereits. Dort besteht eine Kultur des Gewinnens. Diese Kultur ist für die beschriebenen Modelle ein wesentlicher Faktor für den Erfolg und sollte in jedem Industrieunternehmen gelebt werden.

3.3 Arbeitnehmer der Zukunft

„Es geht bei der Digitalisierung nicht nur um Work-Life-Balance. Wir werden uns in einem immer härteren Wettbewerb eher noch mehr anstrengen müssen. Die anderen sind hungrig und motiviert – dieser Tatsache können wir uns in Deutschland nicht entziehen“ (acatech Impuls 2016, S. 35).

Die Fragestellungen, die die notwendige Reorganisation von Arbeit und Betrieb aufwirft, sind hochkomplex. „Nicht alle Verantwortlichen sind bereit, ‚die Augen zu öffnen‘ und die neuen Herausforderungen zu sehen. Hier gibt es sehr unterschiedlichen ‚Appetit‘, die Transformation anzugehen.

Die Transformation darf jedoch keinesfalls bei der Digitalisierung der Kundenschnittstelle enden; Unternehmen müssen sich vor allem auch im Inneren selbst transformieren. Die These von der zukünftigen Polarisierung auf dem Arbeitsmarkt ist aus heutiger Sicht nicht von der Hand zu weisen. Danach werden vor allem Arbeitsplätze mit mittlerem Qualifikationsniveau, die von Routineprozessen geprägt sind, automatisiert, weniger dagegen Arbeitsplätze im Hochlohnsektor der Wissensarbeit und einfache manuelle Tätigkeiten im Niedriglohnsektor. Wir werden nicht alle Mitarbeiter mitnehmen können. Dennoch steht der Mensch in der Arbeitswelt

der Zukunft auch bei Industrie 4.0 weiter im Vordergrund. Der Mittelbau der Belegschaften wird sich stark verändern: Der Einsatz von vergleichsweise immer billigeren Robotern und die zunehmende Vernetzung von Maschinen werden dazu führen, dass in Zukunft deutlich weniger Menschen in klassischen Berufen der Fertigung arbeiten werden. Im Dienstleistungsbereich werden Algorithmen Arbeitsplätze ersetzen. Aus gesellschaftlicher Sicht wird die entscheidende Frage sein, wie viele Mitarbeiter mit niedriger Qualifikation langfristig eine Beschäftigungsperspektive haben“ (acatech Impuls 2016, S. 12).

„Führungskräfte müssen Vertrauen für die neuen Technologien schaffen. Pilotprojekte helfen dabei. Führung/Leadership, beziehungsweise Glaubwürdigkeit und Vertrauenswürdigkeit, entscheiden darüber, wann die Belegschaft und externe Partner davon überzeugt sind, dass die Transformation tatsächlich stattfindet, so dass sie sich darauf einstellen können.

Bei der Gestaltung der neuen Arbeitswelt für die digitale Transformation bewegen sich Unternehmen immer an Vertrauensgrenzen. Sie müssen eine produktive Balance zwischen Transparenz und Kontrolle finden. In der digitalen Arbeitswelt werden die Beschäftigten für ihren Arbeitgeber ein Stück weit transparent. Eine gute Führungskultur zeichnet sich dann durch Fairness im Umgang mit Fehlern aus, die in der digitalen Welt schneller und öfter erkannt und stärker individuell zurechenbar sein werden. Diese für den Fortschritt sehr wichtige Diskussion muss vor allem von den Arbeitgebern aktiv geführt werden. Für Gewerkschaften wird die Vertrauensgrenze ein Schlüsselthema sein: Wie stark werden Beschäftigte tatsächlich kontrolliert und an welchen Stellen wird ihnen Vertrauen ausgesprochen, obwohl Kontrolle möglich wäre? Trade-offs müssen offen angesprochen werden“ (acatech Impuls 2016, S. 33).

Wie sieht also das Arbeitsumfeld der Arbeitnehmer der Zukunft aus?

„Beschäftigte werden in Zukunft autonomer arbeiten können. Diese größere Autonomie wird nicht mehr nur von Akademikern, sondern mit steigender Tendenz auch von Fachleuten eingefordert (beispielsweise in Form von selbst gestalteten Arbeits- oder Schichtplänen). Mehr Autonomie fördert Selbstständigkeit und Flexibilität zugunsten der Beschäftigten. Digitale Plattformen können schnellere Entscheidungsfindungen bei Gruppenentscheidungen (Crowd Intelligence) unterstützen“ (acatech Impuls 2016, S. 30). Mitarbeiter im Shop Floor entwickeln sich – mit Hilfe der bereits beschriebenen Assistenzsysteme – „von Maschinenbedienern zu kreativen Dirigenten und Entscheidern in der Smart Factory“ (acatech Abschlussbericht 2015, S. 11). Schwere körperliche Arbeit wird so deutlich abnehmen, kreative geistige Arbeit ist hingegen mehr denn je gefragt.

Der Einsatz von Standardkomponenten bei der Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) in Industrie 4.0-Lösungen kann erheblich Zeit und Geld sparen und gleichzeitig einen hohen Grad an Usability ermöglichen. Notwendig sind leistungsfähige und zukunftsrobuste Standardkomponenten der MMI, wie Tablets, Datenbrillen etc., sowie entsprechende Dienste, die die Anforderungen der industriellen Produktion erfüllen (INBENZHAP 2015, S. 29).

Systeme, die zur Mensch-Maschine-Interaktion entwickelt werden, müssen sich durch einfache Erlernbarkeit (intuitive Verständlichkeit), Aufgabenangemessenheit,

Berücksichtigung von Vorwissen oder Stereotypen des Verhaltens (Erwartungskonformität) sowie Fehlerrobustheit auszeichnen. Wenn sie diese Eigenschaften vorweisen, wird sichergestellt, dass die Mitarbeiter mit den Systemen umgehen können, diese ihren Arbeitsalltag erleichtern und somit schnell akzeptiert werden (INBENZHAP 2015, S. 7).

Der acatech-Abschlussbericht „Smart Service Welt“ beschreibt die Arbeitnehmer der Zukunft als „Smart Talents“. Sie nutzen konsequent die Möglichkeiten, die ihnen die Digitalisierung eröffnet und beherrschen die zunehmende Komplexität mit Hilfe von Smart Services (acatech Abschlussbericht 2015). Es wird Situationen geben, in denen die Jungen teilweise mehr wissen als die Alten. Das wird massiv auf die Arbeitswelt und die Arbeitsorganisation durchschlagen. Dieses Phänomen kennen wir bereits seit der 3. Industriellen Revolution: Schon Mitte der 90er standen Lehrer vor der Herausforderung, mit ihren Schülern am Computer mitzuhalten. Dieser Effekt wird aufgrund der vorhandenen Technologien, mit denen die neue Generation aufwächst, verstärkt werden.

„Der Einsatz digitaler Technologien verschafft aber auch der Belegschaft im Unternehmen neue Freiheitsgrade bei der Leistungserbringung, die aktiv gestaltet werden können:

Virtuelles Arbeiten gewinnt an Bedeutung, wenn Telepräsenz durch neue Technologien unterstützt wird. Digitalisierung und Vernetzung ermöglichen eine flexiblere Arbeitszeitgestaltung. Arbeit ist in Zukunft von jedem Ort zu jeder Zeit zu leisten. Die gewonnene Flexibilität erfordert praktische Modelle des Ausgleichs von Arbeitgeber- und Arbeitnehmerinteressen. Hier könnten sich neue Potenziale ergeben und flexiblere, oftmals stark projektbezogene Beschäftigungsmöglichkeiten entstehen, die die Vereinbarkeit von Familie und Beruf unterstützen (Kinderbetreuung und arbeiten von zu Hause aus, Arbeiten auch abends möglich). Die Entwicklung setzt die Unterstützung des Betriebsrats voraus sowie die Überarbeitung klassischer Arbeitszeitmodelle, die nicht mehr zeitgemäß sind (beispielsweise die Regel: ‚Wer von 19.00 bis 23.00 Uhr arbeitet, darf am nächsten Tag nicht wieder um 7.00 Uhr beginnen‘).“ (acatech Impuls 2016, S. 30)

4 Auswirkungen digitaler Geschäftsmodelle auf die Aus- und Weiterbildung

Wenn die Unternehmen ihre Arbeitnehmer nicht mit in den Veränderungs- und Transformationsprozess einbeziehen, ist das Szenario für Deutschland „Wir bleiben in den Barrieren der Digitalisierung stecken“ realistisch. „Wohlstand braucht Beschäftigung, Beschäftigung braucht Innovation, Innovation braucht Bildung“ (Gausemeier et al. 2019, S. 3). Dem Thema Bildung kommt in dem bevorstehenden Wandel folglich eine zentrale Bedeutung zu.

Oberstes Bildungsziel ist der digital mündige Bürger, „der die Vorteile und die Risiken der Digitalisierung erkennt, bewertet und entscheidet, welche Möglichkeiten und Dienste er nutzt“ (Gausemeier et al. 2016b, S. 73).

Dafür müssen Kinder frühzeitig mit den Möglichkeiten digitaler Systeme vertraut und für deren Chancen und Gefahren sensibilisiert werden. Die „digitale Ausbildung“ beginnt also bereits im Vorschulalter. Die Generationen, deren Sozialisation nicht in einer digitalisierten und vernetzten Welt stattgefunden hat, gilt es mit Aufklärungskampagnen und Weiterbildungsmaßnahmen „abzuholen“. Lebenslanges Lernen muss zur Selbstverständlichkeit für alle werden.

Insbesondere den sogenannten „Best Agers“, die aufgrund der demografischen Entwicklung länger als bisher im Arbeitsleben stehen werden, muss der persönliche Nutzen von digitalen Systemen verdeutlicht werden (Gausemeier et al. 2016b, S. 19). Nur so kann die für die Nutzung notwendige Akzeptanz geschaffen werden. Durch Weiterbildung muss zudem der Gefahr einer Polarisierung zwischen hochqualifizierten Beschäftigten, die die Systeme steuern, und wenig qualifizierten Beschäftigten, die nur ausführende Funktionen erfüllen, entgegengewirkt werden (acatech Abschlussbericht 2015).

Die Kompetenzbereiche werden unterteilt in fachlich, methodisch und sozial (Meyer et al. 2004). Die fachliche Kompetenz erstreckt sich auf Wissen zu Branchen-, Unternehmens- und Berufsbild. Unter methodischen Kompetenzen werden insbesondere die analytischen und konzeptionellen Fähigkeiten verstanden. Die sozialen Kompetenzen unterteilen sich in persönliche Kompetenzen (z. B. Selbstorganisation, Kommunikationsfähigkeit, Kreativität) sowie Kompetenzen im Umgang mit Menschen (z. B. Umgang mit Gruppendynamik, Teamfähigkeit). Im Bereich der Digitalisierung kommen nun weitere Fähigkeiten hinzu bzw. neue Ausprägungen der aufgezählten Kompetenzen. Insbesondere die Fähigkeiten im Umgang mit digitalen Technologien werden immer wichtiger. Die MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik) bilden hier die Grundlage. Aus- und Weiterbildung werden sich im Zuge von Industrie 4.0 zunächst inhaltlich verändern. Die Herausforderung ist, die schnelle Technologieentwicklung in die Lehrpläne zu integrieren. Neue Berufsbilder, die auf „Advanced Systems Engineering“, „Industrial Security“ (siehe auch Kap. ► „Industrial Security by Design“ in diesem Handbuch) und „Data Analytics“-Kompetenzen aufbauen, müssen schnell etabliert werden.

Die benötigten Kompetenzen eines Facharbeiters, beispielsweise im Bereich Mechatronik, müssen entsprechend erweitert bzw. verändert werden (Gausemeier et al. 2016b). Laut einer Studie des Baden-Württembergischen Industrie- und Handelskammertags (BWIHK) zu den Folgen von Industrie 4.0 auf die Aus- und Weiterbildung werden vor allem fächerübergreifende Kompetenzen, wie logisches Denken, strukturiertes Arbeiten und IT-Kenntnisse, immer wichtiger (Friess 2016). Die Software-Entwicklungskompetenz wird eine neue Grundfähigkeit vieler Arbeitnehmer werden.

Insbesondere das Thema „Vernetztes Denken“ ist berufsübergreifend zu fördern. Diese Fähigkeit ist Grundvoraussetzung für erfolgreiche Arbeit in der digitalisierten Welt. Die im Zuge der Digitalisierung entstehenden intelligenten technischen und sozio-technischen Systeme beruhen auf dem symbiotischen Zusammenwirken mehrerer Fachdisziplinen – Ingenieurwissenschaften, Informatik, angewandte Naturwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und Sozialwissenschaften. „Mehr denn

je kommt es auf die Kommunikation und Kooperation der involvierten Fachleute auf dem Weg zum Innovationserfolg an. Ziel ist, die entsprechenden Mechanismen und Hebel erfolgreicher Zusammenarbeit zu erkennen und Instrumente zur Verstärkung der Kollaborationsproduktivität zu erarbeiten und zu validieren“ (Gausemeier et al. 2016a, S. 17). Die Bandbreite an solchen Instrumenten ist dabei sehr groß: Sie reicht von Ausdrucksmitteln für die interdisziplinäre Zusammenarbeit (fachgebietsübergreifende Spezifikationstechniken) über Reformen und Innovationen der Aus- und Weiterbildung bis hin zu Modellen zur Überwindung von Defiziten in der Sozialkompetenz und zur Förderung von strukturiertem Arbeiten.

Ziel ist eine neue Schule des Entwurfs für multidisziplinäre, komplexe, technische und soziotechnische Systeme, um Geschäftsmodelle, die beispielsweise auf Kombinationen von smarten Produkten und Dienstleistungen beruhen, effizient entwickeln zu können. Dies erfordert neue Ausdrucksmittel (Beschreibungstechniken), Modellierungstechniken, Vorgehensmodelle sowie entsprechende Programme für Aus- und Weiterbildung, die die Schule des Systems Engineerings im Ansatz schon liefert, aktuell allerdings aufgrund dieser neuen Einflüsse und Anforderungen durch Industrie 4.0 zum Advanced Systems Engineering weiterentwickelt werden (siehe auch Kap. ► „Strategische Planung“ in diesem Handbuch).

Des Weiteren ist die Kompetenz der „Industrial Security“ ein weltweiter Differenzierungsfaktor für Industrie 4.0-Lösungen. Derzeit mangelt es aber an entsprechend ausgebildeten Experten. In Kompetenzzentren für „Industrial Security“ müssen neben der Forschung insbesondere Aus- und Weiterbildung in den Bereichen Anlagensicherheit (z. B. Verhinderung des physischen Zugangs zu kritischen Anlagenkomponenten), Netzwerksicherheit (z. B. kontrollierte Schnittstellen zwischen Office- und Anlagennetzwerk) und Systemintegrität (z. B. in Automatisierungskomponenten integrierte Zugriffsschutzmechanismen) vereint werden. Die Fähigkeit, Bedrohungsanalysen durchzuführen und adäquate Schutzkonzeptionen zu erarbeiten, ist hier ebenfalls zu fördern. Basis dafür könnten Reifegradmodelle und Verfahren des Risikomanagements bilden, die auf den Aspekt „Industrial Security“ auszuprägen sind (Gausemeier et al. 2016b, S. 74).

Das vernetzte Denken und das Arbeiten im Team muss durch Projektarbeiten trainiert werden. Die Kompetenz für den Umgang und das richtige Verhalten in und mit gruppendynamischen Prozessen kann nur durch Erfahrung aufgebaut werden. Aufgrund der Interdisziplinarität und des aktuell stark ausgeprägten fachspezifischen Wissens der einzelnen Akteure wird es vor allem in der Anfangszeit der nun startenden Projekte Verständigungsprobleme geben. Wenn die Projekte gelingen sollen, muss Transformations- und Change-Management-Kompetenz aufgebaut werden. Jedes Unternehmen muss hier selbst prüfen, inwieweit das bestehende Personalentwicklungs- und Weiterbildungssystem auf diese neuen Herausforderungen ausgerichtet ist und welche Kompetenzen besser schnell zugekauft werden, damit keine Zeit verloren geht und das notwendige Lehrgeld nicht zu groß wird.

Kooperationsfähigkeit und Kooperationswille müssen zum einen im Unternehmen ausgebaut werden. Entwicklung, Produktion, Vertrieb etc. werden in Zukunft nur erfolgreich sein, wenn sie noch vernetzter zusammenarbeiten und die Hindernisse der Abteilungsgrenzen überwinden. Zum anderen müssen Unternehmen

zusätzlich lernen, dass die klassischen Kunden-Lieferanten-Beziehungen als Wertschöpfungsketten den dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken in Form von Eco-Systemen weichen werden. Die Fähigkeiten und Prozesse für eine derartige Zusammenarbeit sind ebenfalls aufzubauen. Die Generierung von IP (Intellectual Property), die Entwicklung von Produkten und Services sowie die Produktion und Lieferung dieser Services werden in Zukunft durch derartig vernetzte Partner, die mit sich ergänzenden unterschiedlichen Leistungen zusammenarbeiten, realisiert.

Die Kompetenz, Geschäftsmodelle zu entwickeln, ist bisher nur in wenigen Lehrplänen oder Trainings zu finden. Dies liegt daran, dass die Herausforderungen durchaus neu sind. Erste Ergebnisse von spezialisierten Akteuren und Forschungsprojekten können hier hilfreich sein. Insbesondere bei den Geschäftsmodellen wird schnell klar, dass es auf verschiedene fachliche Kompetenzen und auch die richtigen Methoden (Vorgehensweisen und Techniken) ankommt. Unternehmenskulturen, die nicht auf Teamarbeit und Kooperation ausgerichtet sind, tun sich aus unserer Erfahrung mit den aktuellen Herausforderungen schwer.

5 Fazit

Was bedeuten die beschriebenen anstehenden Veränderungen jetzt konkret für Unternehmen? Wie kann ein Unternehmen die digitale Transformation erfolgreich für sich umsetzen? Dazu empfehlen wir ein Vorgehen in vier Schritten (Abb. 9):

Jedes Unternehmen sollte eine Standort- und Zielbestimmung durchführen, z. B. mit Industrie 4.0-Reifegrad- und Capability-Modellen. Dann gilt es, die Unternehmens- und Digitalisierungsstrategie zu entwickeln. Sie enthält neue Geschäftsmodelle sowie Architekturen und Technologien zur Erhöhung des Automatisierungsgrads. Die Strategie muss Antworten für die aufgeführten Handlungsfelder beinhalten. So ist zu beantworten, welche Aktivitäten sich auf Optimierung beziehen und welche den möglichen disruptiven Gefahren begegnen. Es ist zu klären, welche Aspekte im Unternehmen transformiert werden können (Business Transformation) und welche eher in Start-ups auszulagern sind. Die Kultur für Agilität und Geschwindigkeit sollte in der Strategie verankert werden. Erfolgreiche Unternehmen sind nicht nur Leitanbieter, sondern auch Leitanwender. Die eigenen Erfahrungen können als Leitanwender in neue Services eingebracht werden. Der Aus- und Aufbau fehlender Kompetenzen muss ebenfalls im strategischen Programm aufgeführt sein.

Ganz entscheidend für die Digitale Transformation ist die Einführung entsprechender Governance-Strukturen. Projekteffektivität und -effizienz gehen sonst verloren. Es sollte ein „Digital Corporate Framework“ erarbeitet werden, das den Rahmen und das gemeinsame Verständnis für die Governance-Strukturen beinhaltet. Ein zentrales Digital Governance Board ist für die Initiierung, Förderung und Abstimmung von Digitalisierungsinitiativen im Sinne der Entwicklung einer organisationsübergreifenden Plattform verantwortlich.

Die einzelnen Aktivitäten müssen schließlich über Roadmapping geplant werden, damit die Umsetzung gelingt (Plass 2016). In dieser Roadmap sollten dann die

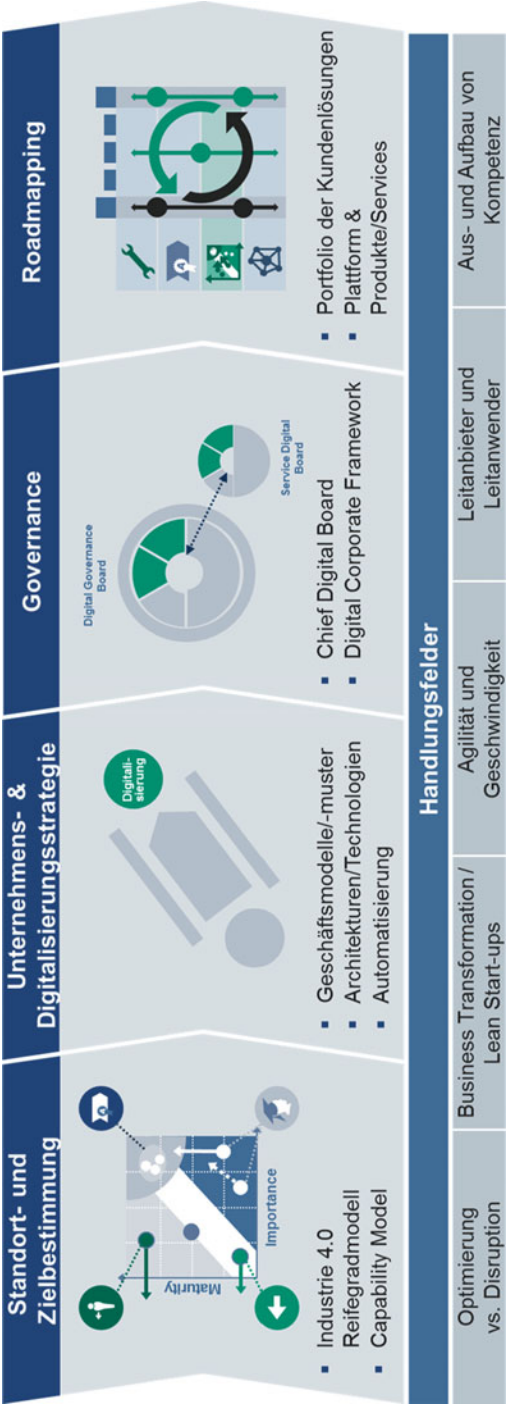


Abb. 9 Digitale Transformation – von der Planung bis zur Umsetzung. (Quelle: UNITY)

einzelnen Initiativen sein, für die es eine klare Value Proposition, also einen Nutzen aus Kundensicht, gibt und für die es sich lohnt, Prototypen zu entwickeln und damit einen Proof of Concept (PoC), also eine Prüfung der grundsätzlichen Umsetzbarkeit, durchzuführen. Zur Umsetzung sind hier agile Vorgehensweisen sinnvoll, wie sie schon seit einigen Jahren in der Software-Industrie eingesetzt werden. Das agile Vorgehen ermöglicht durch kurze Sprints, dass nicht nur schnell angefangen wird, sondern auch, dass die gesammelten Erfahrungen schnell wieder in den Prozess fließen und die Stoßrichtung kurzfristig korrigieren. Dies ist notwendig, da bisher noch keine Erfahrungswerte vorliegen. Die agile Vorgehensweise bietet sich daher auch im Innovationsprozess und bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen aufgrund von neuen IT-Architekturen an. Wir nennen dies „Innovation Scrum“. Dieses Vorgehen minimiert die Gefahr, dass große Pläne zur Digitalisierung erstellt werden, die aber schon in einem frühen Stadium stecken bleiben und die Umsetzung nicht schaffen.

Literatur

- acatech Abschlussbericht. (2015). „*Smart Service Welt*“. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (März 2015).
- acatech Impuls. (2016). „*Die digitale Transformation gestalten*“. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (April 2016).
- Brand, M. (2014). *Internet of Things wird bis 2020 alltäglich*. <https://de.statista.com/infografik/2937/mit-dem-internet-of-things-verbundenen-geraete/>. Zugegriffen am 12.09.2014.
- Burr, W. (Hrsg.). (2014). *Innovation. Theorien, Konzepte und Methoden der Innovationsforschung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Frank, P. M. (1994). Diagnoseverfahren in der Automatisierungstechnik. *Automatisierungstechnik*, 42, 47–64.
- Friess, B. (2016). Industrie 4.0 nimmt Einfluss auf Ausbildung. Südwest Presse. <http://www.swp.de/ulm/nachrichten/wirtschaft/industrie-4.0-nimmt-einfluss-auf-ausbildung-12287144.html>. Zugegriffen am 30.03.2016.
- Fünf Millionen Jobs gehen verloren. (2016). *Die Presse*. <http://diepresse.com/home/wirtschaft/international/4906389/Funf-Millionen-Jobs-gehen-verloren>. Zugegriffen am 19.10.2017.
- Gabler Wirtschaftslexikon. (2017). <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>. Zugegriffen am 18.10.2017.
- Gabriel, S. (2015). Rede auf der Konferenz zur digitalen Transformation in Kreativwirtschaft, Handel und Mobilität. <http://www.bmwi.de/DE/Presse/reden,did=726646.html>. Zugegriffen am 18.09.2015.
- Gausemeier, J., & Plass, C. (2014). *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung*. München: Carl Hanser.
- Gausemeier, J., Ovtcharova, J., Amshoff, B., Eckelt, D., Elstermann, M., Placzek, M., & Wiederkehr, O. (2016a). *Strategische Produktplanung – Adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleistungen von morgen*. Paderborn: Heinz Nixdorf Institut. https://www.hni.uni-paderborn.de/fileadmin/Fachgruppen/Seniorprofessur_Gausemeier/adistrastudie/Studie_ADISTRA_web.pdf. Zugegriffen am 17.02.2020.
- Gausemeier, J., Klocke, F., Dülme, C., Eckelt, D., Kabasci, P., Kohlhuber, M., ... Schröder, S. (2016b). *Industrie 4.0 – Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung*. Paderborn: Heinz Nixdorf Institut. https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/INBENZHAP_dt_web_verlinkt.pdf. Zugegriffen am 17.02.2020.

- Gausemeier, J., Dumitrescu, R., Echterfeld, J., Pfänder, T., Steffen, D., & Thielemann, F. (2019). *Innovationen für die Märkte von morgen: Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen*. München: Carl Hanser.
- IHK Nord Westfalen. (2016). *Fachkräftereport 2016 für Nord-Westfalen, Ergebnis der IHK-Konjunkturumfragen und Prognose aus dem Fachkräftemonitor NRW* (April 2016).
- INBENZHAP. (2015). *Handlungsempfehlungen Zukünftige Rahmenbedingungen für die Industrie 4.0-Wirtschaft in Deutschland*. https://www.inbenzhap.de/Handlungsempfehlungen/QR27_Handlungsempfehlungen.pdf. Zugegriffen am 17.02.2020.
- Jung, H. H., & Zimmermann, V. (2016). OPPORTUNITY – Marketing, Sales & Services im Zeitalter der digitalen Transformation. *UNITY AG*.
- Keese, C. (2014). *Silicon Valley: Was aus dem mächtigsten Tal der Welt auf uns zukommt*. München: Knaus.
- Kober, U. (2015, Februar). *Zukunft zählt – nicht Herkunft – Einwanderung und Vielfalt in Deutschland* [Vortrag]. Bertelsmann-Stiftung.
- König, A. (2014). Brückenbauer und Störenfried – Was macht ein Chief Digital Officer? <http://www.cio.de/a/was-macht-ein-chief-digital-officer,2974360>. Zugegriffen am 29.10.2014.
- Meyer, R., Dehnpostel, P., Harder, D., & Schröder, T. (Hrsg.). (2004). *Kompetenzen entwickeln und moderne Weiterbildungsstrukturen*. Münster: Waxmann Verlag.
- Plass, C. (2015). OPPORTUNITY – „Industrie 4.0 als Chance begreifen“. *UNITY AG*.
- Plass, C. (2016). OPPORTUNITY – „Digitale Geschäftsprozesse und -modelle verändern die Arbeitswelt“. *UNITY AG*.
- Plass, C., Rehmann, F. J., Zimmermann, A., Janssen, H., & Wibbing, P. (2013). *Chefsache IT – Wie Sie Cloud Computing und Social Media zum Treiber ihres Geschäfts machen* (S. 34). Berlin: Springer Gabler.
- Quinkert, A. (2015). Agilität ist eine Einstellung – wie Unternehmen heute ticken müssen. Zielbar.de. <http://www.zielbar.de/agilitaet-unternehmen-agile-fuehrungskultur-6101/>. Zugegriffen am 19.10.2017.
- Studie zum E-Commerce-Markt Deutschland und Europa 2014/2015. (2015). <http://www.esales4u.de/2015/studie-umsatz-online-handel-deutschland-2015.php>. Zugegriffen am 19.10.2017.
- Telekom und Universität St. Gallen. (2015). *Arbeit 4.0 – Megatrends digitaler Arbeit der Zukunft – 25 Thesen*. <https://www.telekom.com/medien/konzern/285970>. Zugegriffen am 02.09.2015.
- Weinberg, U. (2015). *Network Thinking – Was kommt nach dem Brockhaus-Denken?* Hamburg: Murmann.
- World Economic Forum. (2016). *The future of jobs – Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution*. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs>. Zugegriffen am 23.01.2017.

Psychologische Arbeitsgestaltung digitaler Arbeitswelten

Lisa Mlekus, Sonja K. Ötting und Günter W. Maier

Inhalt

1	Einleitung	88
2	Ziele einer humanen Arbeitsgestaltung im Kontext der Digitalisierung	90
3	Konzepte und Instrumente der Arbeitsanalyse	92
4	Umsetzung psychologischer Arbeitsgestaltung bei der Technikeinführung	100
5	Offene Fragen für die Forschung	104
6	Fazit	106
	Literatur	107

Zusammenfassung

Die fortschreitende Digitalisierung der Arbeitswelt führt, neben der Einführung neuer technologischer Systeme, auch zu erheblichen Veränderungen für die Beschäftigten, die mit ihnen arbeiten. Im Folgenden wird daher beschrieben, wie psychologische Arbeitsgestaltung bei der Technikeinführung eingesetzt werden kann, um die Arbeit nicht nur effizient, sondern auch menschengerecht zu gestalten. Dazu werden Ziele psychologischer Arbeitsgestaltung, Verfahren zur

Dieses Kapitel ist im Rahmen des NRW Fortschrittskolleg „Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten“ und des Projekts „Arbeit 4.0 – Lösungen für die Arbeitswelt der Zukunft“ entstanden, das vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung NRW gefördert wird.

L. Mlekus (✉) · S. K. Ötting

Abteilung für Psychologie, Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie & Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab), Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland
E-Mail: lisa.mlekus@uni-bielefeld.de; soetting@uni-bielefeld.de

G. W. Maier

Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie, Abteilung Psychologie & Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab), Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland
E-Mail: ao-psychologie@uni-bielefeld.de

Analyse von Arbeit und schließlich Methoden zur Umsetzung vorgestellt. Abschließend werden die im Zuge der technologischen Entwicklung auftauchenden weiterführenden wissenschaftlichen Fragestellungen diskutiert.

Schlüsselwörter

Arbeitsgestaltung · Digitalisierung · Arbeitsanalyse ·
Persönlichkeitsförderlichkeit · Arbeitszufriedenheit

1 Einleitung

Die Digitalisierung von Geschäftsprozessen (z. B. Produktions- und Arbeitsprozessen; siehe auch Kap. ► „[Wie digitale Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle die Arbeitswelt verändern](#)“ in diesem Handbuch) beschäftigt viele Unternehmen weltweit. Insbesondere im Bereich der verarbeitenden Industrie ist mit gravierenden Veränderungen zu rechnen (Bley und Leyh 2016; Malanowski und Brandt 2014; Wegener 2019): Die technologischen Entwicklungen erlauben eine weitgehende Vernetzung intelligenter technischer Systeme, die reale Prozesse virtuell abbilden und dadurch in Echtzeit auf Probleme sowie individuelle Kundenwünsche reagieren können (Hermann et al. 2016). Solche Systeme können sowohl Geräte als auch Anlagen oder Fahrzeuge sein.

Die bisherigen Überlegungen haben sich insbesondere mit der Gestaltung der Technologien befasst. Produktionssysteme, die so variabel sind, dass die Losgröße 1 (die Fertigung von Einzelstücken zu relativ niedrigen Preisen) erreicht wird (z. B. Hackmann 2014), Roboter, die für den Einsatz außerhalb eines Sicherheitskäfigs weiterentwickelt werden (z. B. Wrede et al. 2013; Steil und Maier 2017) und Assistenzsysteme, die nachfolgende Arbeitsschritte in das Sichtfeld der Beschäftigten projizieren (z. B. Paruzel et al. 2020) sind nur einige Beispiele für die derzeitigen Entwicklungen. Unternehmen streben dadurch unter anderem kürzere Fertigungs- und Lieferzeiten, eine höhere Produktvielfalt und langfristig eine höhere Wettbewerbsfähigkeit an (Spath 2013, S. 2).

Mit den technischen Innovationen ergeben sich auch veränderte Arbeitsbedingungen für die Beschäftigten. Verfahren der psychologischen Arbeitsgestaltung können dabei helfen, diese Veränderungen nachzuvollziehen und die Arbeitsbedingungen an Bedürfnisse der Beschäftigten anzupassen (daher im weiteren Verlauf auch „menschenzentrierte Arbeitsgestaltung“ oder „humane Arbeitsgestaltung“). Mit psychologischer Arbeitsgestaltung bezeichnet man im Allgemeinen den Inhalt und die Organisation von Arbeitsaufgaben, Handlungen, Beziehungen und Verantwortlichkeiten (Parker 2014). Sie zielt darauf ab, bei den Beschäftigten Leistung, Motivation und Kompetenzentwicklung anzuregen (Oldham und Fried 2016). Erreicht wird dies durch die Reduzierung einseitiger körperlicher und psychischer Belastungen sowie das Schaffen von Ressourcen. Mit Ressourcen sind Aspekte der Tätigkeit gemeint, die einem das Erreichen von Arbeitszielen ermöglichen, die Belastungen reduzieren oder die persönliches Wachstum bzw. Lernen befördern (Bakker und Demerouti 2007). Dies sind beispielsweise eine unterstützende Führungskraft, vielfältige Möglichkeiten zur Qualifikation oder Gelegenheiten zur Mit-

sprache bei Veränderungsprozessen. Belastende Tätigkeiten zeichnen sich hingegen z. B. durch ein hohes Maß an monotonen Abläufen und geringe Möglichkeiten zu eigenständigen Entscheidungen aus. Auch unnatürliche Körperhaltungen oder Umgebungseinflüsse wie Lärm und Staub können Belastungen für die Arbeitsausführenden darstellen.

Zur Reduzierung von Belastungen und Steigerung von Ressourcen bietet die Digitalisierung der Arbeitswelt sowohl Chancen als auch Herausforderungen. Ein Beispiel ist der Umgang mit intelligenten Assistenzsystemen: Diese unterstützen Arbeitsvorgänge, indem z. B. folgende Arbeitsschritte angezeigt oder Fehler analysiert und Lösungsvorschläge gemacht werden. Für die Tätigkeit mit solchen Systemen wird aber auch ein gewisses Maß an digitaler Kompetenz (z. B. Kultusministerkonferenz 2016, S. 15–18) vorausgesetzt, um eine korrekte Bedienung und Interpretation der dargebotenen Informationen zu gewährleisten. Beispielsweise enthalten viele technische Systeme Sensoren, die Informationen wie Temperatur, Position oder Gewicht messen und entsprechend nur auf die jeweiligen physikalischen Größen reagieren. Die Beschäftigten müssen in diesem Fall wissen, dass die Systeme nicht auf andere Dinge, wie z. B. Sprachbefehle reagieren, wenn dafür kein Sensor vorgesehen ist. Des Weiteren ist es denkbar, dass einigen Beschäftigten im Zuge der Digitalisierung größere Verantwortungsbereiche zugewiesen werden. Da die Geräte weitestgehend eigenständig arbeiten können, sind die Beschäftigten für die Überwachung einer Vielzahl dieser Geräte verantwortlich statt für die Bedienung eines einzelnen. Eine Erweiterung des Handlungsspielraums wird im Allgemeinen als positiv wahrgenommen (Humphrey et al. 2007). In einem anderen Szenario kann der Einsatz von digitalen Assistenzsystemen für die einzelnen Beschäftigten aber auch monotone und unterfordernde Tätigkeiten bedeuten, weil ein Großteil der Tätigkeiten von dem System übernommen wird. Hier sollte das Ziel sein, anderweitig Ressourcen zu schaffen. Diese Beispiele verdeutlichen die enge Verknüpfung von technischen Entwicklungen und ihren Auswirkungen auf die Beschäftigten.

Nicht nur zum Wohl der Beschäftigten, auch zur Sicherung des langfristigen Erfolgs ist es für Unternehmen ratsam, sich mit diesen Auswirkungen zu beschäftigen. Eine mangelhafte Berücksichtigung der Belegschaft (z. B. durch mangelhafte Beteiligung am Veränderungsprozess oder fehlende Weiterbildung) ist ein häufiger Grund für den Misserfolg einer neuen Technologie (Rizzuto und Reeves 2007). Eine unterstützende und lernförderliche Arbeitsgestaltung hängt hingegen mit hoher Arbeitsleistung, Arbeitszufriedenheit, organisationaler Bindung und Arbeitsmotivation zusammen. Bei negativen Arbeitsbedingungen konnten höhere Ausprägungen von Absentismus, Kündigungsabsicht, wahrgenommenem Stress, Überlastung und Burnout nachgewiesen werden (Humphrey et al. 2007). Es ist also anzunehmen, dass Unternehmen davon profitieren, die Arbeitsgestaltung an den Bedürfnissen der Beschäftigten auszurichten.

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels wird zunächst die psychologische Arbeitsgestaltung in der digitalen Arbeitswelt näher beleuchtet. Dazu werden zuerst die Ziele psychologischer Arbeitsgestaltung beschrieben und Möglichkeiten zur Technikgestaltung aufgezeigt. Im Anschluss werden Verfahren vorgestellt, die eine Analyse der Arbeitsbedingungen ermöglichen. Diese können beispielsweise eingesetzt werden, um Belastungen oder Ressourcen aufzudecken und bilden somit die

Grundlage der humanen Arbeitsgestaltung. Schließlich werden einige konkrete Strategien und Maßnahmen dargestellt, die bei der psychologischen Arbeitsgestaltung eingesetzt werden. Es wird unter anderem erläutert, warum diese bereits im Planungsprozess, vor der Einführung einer neuen Technologie, Berücksichtigung finden sollten. Abschließend wird auf Aufgaben für die Forschung sowie die Nutzung in der Praxis eingegangen.

2 Ziele einer humanen Arbeitsgestaltung im Kontext der Digitalisierung

In der psychologischen Literatur gibt es, unabhängig von verschiedenen theoretischen Ansätzen (siehe Abschn. 3), übergeordnete Ziele einer humanen Arbeitsgestaltung. Diese heißen Ausführbarkeit, Beeinträchtigungsfreiheit, Schädigungslosigkeit und Persönlichkeitsförderlichkeit und sind hierarchisch angeordnet (im Überblick: Dunkel und Resch 2010, S. 1120–1123.). Das heißt, dass zunächst die Kriterien auf den unteren Stufen sichergestellt sein müssen, bevor sich die Arbeitsgestaltung mit persönlichkeitsförderlichen Aspekten beschäftigen sollte. In Kasten 1 sind Beispiele dargestellt, wie man die Ziele bei der Gestaltung digitaler Assistenzsysteme berücksichtigen könnte.

Die Grundvoraussetzung für Arbeit ist ihre *Ausführbarkeit*. Das bedeutet, dass die Voraussetzungen für ein zuverlässiges, forderungsgerechtes und langfristiges Ausführen der Tätigkeit gegeben sind, z. B. durch das Bereitstellen aller benötigten Informationen. Zur Beurteilung der Ausführbarkeit werden die Aufgabenstellung, die Arbeitsmittel und die Arbeitsbedingungen analysiert.

Wenn die Ausführbarkeit gewährleistet ist, wird im nächsten Schritt überprüft, ob bei der Tätigkeit körperliche und psychische Gesundheitsschäden ausgeschlossen sind. Zur Beurteilung der *Schädigungslosigkeit* wird unter anderem die Gefährdung durch Umweltfaktoren wie z. B. Lärm, Staub oder Beleuchtung anhand von Grenzwerten eingeschätzt. Darüber hinaus werden körperliche Belastungen im Sinne der Ergonomie und psychische Belastungen – z. B. durch Zeitdruck, hohe Verantwortung, Konflikte, Wunsch nach Abwechslung – beurteilt. Die Schädigungslosigkeit kann also eingeschränkt sein, selbst wenn arbeitsrechtliche Gesetze und technische Normen eingehalten werden. Für weitere Hinweise zu Arbeitsschutz und Gesundheit am Arbeitsplatz siehe auch Kap. ► „Sicherheit und Gesundheit in der digitalen Arbeitswelt“ in diesem Handbuch.

Wenn die Ausführung der Tätigkeit erschwert oder behindert wird, ohne dass daraus gesundheitliche Schäden entstehen, sprechen wir von Beeinträchtigungen. Auf der nächsthöheren Stufe gilt es daher, die *Beeinträchtigungsfreiheit* der Arbeitstätigkeit zu beurteilen. Diese liegt dann vor, wenn die Leistungsvoraussetzungen einer Person optimal beansprucht werden, das heißt, die Person ist weder überfordert noch unterfordert. Auch sollte die Arbeit einen ausreichenden zeitlichen Spielraum sowie abwechslungsreiche Tätigkeiten ermöglichen. Eine Methode, um dies zu

erreichen, ist der systematische Arbeitsplatzwechsel, siehe auch Job Rotation in Abschn. 4.2.

Der höchste Grad der Humanisierung ist gegeben, wenn eine Tätigkeit *persönlichkeitsförderlich* ist. Damit ist die Möglichkeit zum Lernen im Sinne einer Weiterentwicklung der eigenen Fähigkeiten durch die Arbeitstätigkeit gemeint. Förderliche Faktoren sind beispielsweise große Handlungsspielräume, verschiedenartige Aufgaben, Kommunikations- und Kooperationsmöglichkeiten. Eine Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen, ist eine Erweiterung der Tätigkeiten um vor- oder nachgelagerte Prozesse oder um verantwortungsvollere Tätigkeiten. Dies nennt man auch Job Enlargement bzw. Job Enrichment; beides wird in Abschn. 4.2 näher erläutert.

Kasten 1. Beispiele für die Berücksichtigung humaner Arbeitsgestaltung bei der Gestaltung digitaler Assistenzsysteme

Ausführbarkeit

- Das digitale Assistenzsystem stellt alle zur Arbeitsausführung benötigten Informationen dar
- Das digitale Assistenzsystem sendet eindeutig interpretierbare Signale
- Die Helligkeit eingeblendeter Anweisungen passt sich an die Umgebungshelligkeit an

Schädigungslosigkeit

- Flexible Anbringung des digitalen Assistenzsystems, um eine dynamische Körperhaltung zu ermöglichen
- Steigerung der Eigenständigkeit des technischen Systems, um die belastende Verantwortung für die Beschäftigten zu reduzieren

Beeinträchtigungsfreiheit

- Adaptive Gestaltung des digitalen Assistenzsystems im Hinblick auf Menge der Arbeitsanweisungen und Schwierigkeit, abhängig von den Fähigkeiten der ausführenden Person
- Beschäftigte können in dem digitalen Assistenzsystem auswählen, wann sie welche Aufgabe bearbeiten möchten

Persönlichkeitsförderlichkeit

- Das digitale Assistenzsystem reagiert auf Fehler mit einer Darstellung der korrekten Ausführung in Form einer Grafik oder eines Videos
- Das digitale Assistenzsystem zeigt bei geringem Arbeitsanfall Lernaufgaben an, die regelmäßig bearbeitet werden

3 Konzepte und Instrumente der Arbeitsanalyse

Arbeitsanalysen sind Verfahren, bei denen einzelne Tätigkeiten, ganze Arbeitsplätze oder die Arbeitsbedingungen in Bezug auf Schwachstellen in der Arbeitsgestaltung untersucht werden. Diese Schwachstellen können dann bei Veränderungsprozessen durch die Einführung einer neuen Technologie oder auch durch andere Gestaltungsmaßnahmen reduziert werden. Sollte eine Arbeitsanalyse beispielsweise aufdecken, dass eine Mitarbeiterin ihre Arbeit häufig unterbrechen muss, um neues Material anzufordern, kann zur Erleichterung des Arbeitsflusses ein technisches System die Materialanforderung übernehmen. Eine Arbeitsanalyse kann auch ergeben, dass aufgrund missverständlicher Anweisungen Fehler gemacht werden. Eine Veränderungsmaßnahme kann z. B. in detaillierteren Arbeitsaufträgen oder einem digitalen Kommunikationssystem für Rücksprachen bestehen.

Da es in der Psychologie mehrere theoretische Konzepte gibt, wie Arbeit optimal gestaltet sein sollte, gibt es eine entsprechende Vielzahl an Herangehensweisen und Instrumenten zur Arbeitsanalyse. Der folgende Abschnitt gibt daher einen Überblick über zentrale theoretische Konzepte und zeigt auf, wie die digitale Arbeitswelt in Abhängigkeit der einzelnen Ansätze gestalten werden könnte. Je nachdem, welches Ziel mit der Arbeitsanalyse verfolgt wird, eignen sich die Herangehensweisen möglicherweise unterschiedlich gut. In Tab. 1 sind daher die wichtigsten Informationen zu den vorgestellten Konzepten zusammengefasst. Zu diesen Konzepten gibt es bisher keine tiefergehenden vergleichenden Untersuchungen. Eine allgemeine Bevorzugung eines bestimmten Ansatzes ist daher nicht sinnvoll. Im Anschluss werden konkrete Instrumente vorgestellt, die bei der Arbeitsanalyse eingesetzt werden können.

3.1 Theoretische Konzepte der Arbeitsanalyse

Vertreterinnen und Vertreter des *handlungsregulatorischen Ansatzes* haben die Auffassung, dass menschliches Handeln bewusst und zielorientiert erfolgt. Das heißt, Personen entwickeln bereits vor dem eigentlichen Handeln ein Ziel und einen geeigneten Plan, um dieses zu erreichen. Voraussetzung dafür sind entsprechende Erfahrungen oder Fachkenntnisse und die Fähigkeit, diese auf neue Situationen zu übertragen. Bei Nichterreichen des Ziels oder bei veränderten Gegebenheiten können Handlungen außerdem weiter angepasst werden, um sich dem Ziel zu nähern (im Überblick: Hacker 2010).

Eine Arbeitsanalyse, die auf dem handlungsregulatorischen Konzept basiert, untersucht demnach, ob die Arbeitsbedingungen ein zielorientiertes und eigenverantwortliches sowie ganzheitliches Handeln ermöglichen. Dafür werden die Ressourcen zur Regulation, die Regulationserfordernisse und die Regulationshindernisse betrachtet. Als zentrale Ressource für die Planung und Umsetzung von Arbeitshandlungen gilt ein großer Handlungsspielraum. Voraussetzung hierfür ist z. B. bei der Arbeit mit technischen Systemen deren Funktionalität, Verständlichkeit und Vorhersehbarkeit (Frese und Zapf 1994). Ein großer Handlungsspielraum ist

Tab. 1 Übersicht über Konzepte der Arbeitsanalyse

	Grundidee	Exemplarische Auswirkungen	Zentrale Gestaltungselemente
Handlungsregulatorischer Ansatz	Eine Arbeitstätigkeit, die bewusstes und zielorientiertes sowie ganzheitliches Handeln ermöglicht, trägt zur <i>Weiterentwicklung von Fähigkeiten</i> bei.	• Höher: Kenntnisse über Fehlerursachen, kooperative Einstellungen in autonomen Arbeitsgruppen (Hacker 1983; Weber und Lampert 2010) • Niedriger: sicherheitskritische Arbeitssituationen (Hemmann et al. 2001)	• Handlungsspielräume • Zeitspielräume • Verfügbarkeit von Informationen • Transparenz und Verständlichkeit von Arbeitsanweisungen
Motivationspsychologischer Ansatz	Eine Vielzahl an Aufgaben- und Wissensmerkmalen sowie sozialen und kontextuellen Faktoren gehen mit einer hohen <i>Motivation</i> einher und regen die <i>Leistung</i> an.	• Höher: Leistung, Arbeitszufriedenheit, organisationale Bindung, Arbeitsmotivation (Humphrey et al. 2007; Allan et al. 2019) • Niedriger: Erschöpfung, Anspannung, Absentismus (Humphrey et al. 2007)	• Ganzheitliche und bedeutsame Aufgaben • Verschiedene Anforderungen • Handlungsspielräume • Rückmeldung durch die Tätigkeit und durch Andere • Soziale Unterstützung • Umgebungsbedingungen, die die Gesundheit nicht gefährden
Gestaltungsansatz des soziotechnischen Systems	Eine Berücksichtigung des gesamten <i>soziotechnischen Systems</i> (bestehend aus Menschen, Organisation und Technologie) ist notwendig, damit technische Veränderungen akzeptiert werden und die Einführung erfolgreich ist.	• Höher: Akzeptanz der Technologie (Holden und Karsh 2010) • Niedriger: Scheitern einer Technologieeinführung (Rizzuto und Reeves 2007)	• Benutzerfreundlichkeit des technischen Systems (Mensch) • Funktionalität des technischen Systems (Technik) • Mehrwert des technischen Systems für die unternehmerischen Ziele (Organisation)
Mechanistischer Ansatz	Durch die Abschaffung unnötiger Arbeitsabläufe kann die <i>Effizienz</i> der Beschäftigten gesteigert werden.	• Höher: Effizienz und Qualität der Produktion (Oliver et al. 1994), Depressionswerte der Beschäftigten (Parker 2003) • Niedriger: organisationale Bindung, Selbstwirksamkeit (Parker 2003)	• Arbeitsabläufe zeitlich optimieren • Arbeitsunterbrechungen reduzieren

auch bei der Arbeit in Arbeitsgruppen sinnvoll. In einer Studie hatten Mehr Beschäftigte in autonomen Arbeitsgruppen mehr kooperative Einstellungen, wie z. B. ein höheres Kostenbewusstsein (Weber und Lampert 2010). Regulationserfordernisse sind

Merkmale der Tätigkeit, die von den Beschäftigten verlangen, ihre Handlungen zielgerichtet zu planen und umzusetzen. Dies ist insbesondere bei komplexen und ganzheitlichen Tätigkeiten mit vielen unterschiedlichen Aufgaben der Fall. Mit Regulationshindernissen sind wiederum Merkmale der Tätigkeit gemeint, die ein zielgerichtetes Handeln erschweren oder unmöglich machen. Beispiele hierfür sind fehlende Informationen, Arbeitsunterbrechungen durch andere Personen, Zeitdruck und Unsicherheit über den Arbeitsablauf (Frese und Zapf 1994). Bei Aufgaben mit hohen Regulationshindernissen können beispielsweise vermehrt sicherheitskritische Arbeitssituationen auftreten (Hemmann et al. 2001). Ein Beispiel für ein Arbeitsanalyse-Verfahren, das auf dem handlungsregulatorischen Ansatz basiert, ist das Instrument zur stressbezogenen Arbeitsanalyse (siehe Abschn. 3.2).

Intelligente technische Systeme können die Beschäftigten in der zielgerichteten Planung ihrer Handlungen unterstützen, unter anderem weil Informationen zur Aufgabebearbeitung schnell und für die Interpretation aufbereitet zur Verfügung stehen. Darüber hinaus bieten sie die Möglichkeit zu umfassendem und jederzeit verfügbarem Feedback, was bei der Handlungsplanung hilft. Andererseits ist auch eine Einschränkung der Handlungsmöglichkeiten der Beschäftigten denkbar. So werden durch die Technologie unter Umständen bestimmte Arten der Arbeitsausführung vorgegeben und auch zeitlich müssen sich die Beschäftigten an den optimalen Betrieb der Systeme anpassen. Es ist daher sinnvoll, die betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den Planungsprozess einzubeziehen um Möglichkeiten zum zielorientierten Handeln zu identifizieren. Zusätzlich stehen die Beschäftigten in der ersten Zeit nach Einführung einer neuen Technik vor der Herausforderung, zielgerichtete Handlungspläne zu entwickeln, ohne auf spezifische Erfahrungen zurückgreifen zu können. Eine frühzeitige Information und Schulung über das technische System und seine Bedienung kann in diesem Fall unterstützen.

Dem *motivationspsychologischen Ansatz* folgend sollte Arbeitsgestaltung darauf abzielen, motivierende und leistungsanregende Arbeitsbedingungen zu schaffen. Die aktuellsten Vertreter dieses Ansatzes sehen eine Reihe von Aufgaben- und Wissensmerkmalen eines Arbeitsplatzes, aber auch dessen Einbettung in den organisationalen Kontext als verantwortlich für Zufriedenheit, Motivation und Leistung bei den Beschäftigten (Morgeson und Humphrey 2006).

Im Rahmen einer Arbeitsanalyse wird daher untersucht, in welchem Ausmaß diese Merkmale ausgeprägt sind. Es wird beispielsweise analysiert, wie frei über den Arbeitsablauf entschieden werden kann, inwiefern die Tätigkeit die Entwicklung neuartiger Ideen beinhaltet, wie viele Möglichkeiten es zum Austausch mit anderen Personen gibt und wie stark die Umgebungsbelastungen ausfallen (Stegmann et al. 2010). Zahlreiche Untersuchungen konnten unter anderem Zusammenhänge zwischen den Arbeitsgestaltungskriterien und Arbeitszufriedenheit, intrinsischer Arbeitsmotivation und organisationaler Bindung aufzeigen (Humphrey et al. 2007). Das Arbeitsanalyse-Instrument, das sich an diesem Ansatz orientiert, ist der Work Design Questionnaire (siehe Abschn. 3.2).

Neue Technologien können einerseits zur Steigerung des Motivationspotentials einer Tätigkeit beitragen, wenn z. B. eine Tätigkeit, die bisher die reine Bedienung einer Maschine beinhaltete, in Zukunft auch die Überwachung des Maschinenzu-

stands sowie kleinere Instandhaltungsmaßnahmen umfasst (siehe Job Enrichment, Abschn. 4.2). Auch könnte die Rückmeldung zur Arbeitsleistung verbessert werden, indem ein digitales Assistenzsystem nicht nur Fehler registriert und an die Beschäftigten zurückmeldet, sondern zusätzlich Hilfestellung zur Behebung des Fehlers anbietet. Andererseits ergeben sich auch diverse Herausforderungen, die es zu beachten gilt. Dezentral organisierte, eigenständige Systeme werden es in Zukunft erschweren, eine vollständige Aufgabe von Anfang bis Ende selbstständig auszuführen. Für die Beschäftigten verbleiben möglicherweise nur einzelne Teilschritte einer größeren Aufgabe. Hier ist es ratsam, bei der Ausgestaltung der Systembedienung darauf zu achten, dass die Arbeitsausführenden zumindest digital den Arbeitsfortschritt verfolgen können. Bei der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine sollte außerdem berücksichtigt werden, dass simple, repetitive Tätigkeiten vom System übernommen werden, während komplexere, sinnstiftende Tätigkeiten bei den Beschäftigten verbleiben. Um die Eigenständigkeit zu erhalten, sollten innerhalb der durch das System vorgegebenen Arbeitsstruktur verschiedene Wege der Arbeitsausführung angeboten werden. So können die Arbeitsausführenden die Methode auswählen, die ihnen am besten liegt.

Der *Gestaltungsansatz des soziotechnischen Systems* macht die Annahme, dass Veränderungen in der Produktionstechnik nicht für sich stehen, sondern in ein schon bestehendes Umfeld eines Unternehmens eingebracht werden, dieses beeinflussen und von diesem beeinflusst werden (Davis et al. 2014; Winter et al. 2014).

In der Arbeitsanalyse werden hier, statt einer am Individuum orientierten Sichtweise, die Organisation als soziales Gebilde und die Technologie gemeinsam betrachtet und gleich stark gewichtet. Für den Planungsprozess bei der Technikeinführung bedeutet dies, dass der Einsatz neuer Technologien nicht unabhängig von den Auswirkungen auf Organisation und Beschäftigte gestaltet werden sollte. Die Komponenten eines soziotechnischen Systems sollten gemeinsam verändert werden, damit das System zufriedenstellend funktioniert (Winter et al. 2014). Zum Beispiel ist es ratsam, vor der Einführung von Tablet PCs im Produktionsprozess zu überlegen, ob sich dadurch die Anforderungen und Rollen für die Beschäftigten ändern und wie sich die neue Technik möglicherweise auf Schnittstellen zwischen Abteilungen auswirkt. Bei diesen Überlegungen sollten möglichst viele verschiedene Perspektiven (u. a. betroffene Beschäftigte, Abteilungsleitung, IT-Abteilung, strategisches Management, Schnittstellenabteilungen) einbezogen werden, um alle denkbaren Szenarien zu berücksichtigen. Erst wenn alle Punkte geklärt sind, kann eine Technik angeschafft oder abgeändert werden, so dass sie exakt zu den organisationalen Zielen und den personalen Gegebenheiten sowie Bedürfnissen passt.

Die Anwendung des soziotechnischen Ansatzes gestaltet sich in der Praxis oft als relativ kompliziert (Baxter und Sommerville 2011). Ein Grund ist die Schwierigkeit, Zusammenhänge zwischen Technik, Organisation und Beschäftigten in einem Umfeld vorherzusehen, das noch gar nicht existiert. Zusätzlich wird der Prozess durch die Einbindung verschiedener Fachabteilungen mit unterschiedlichen Vorstellungen über eine optimale Gestaltung erschwert. Baxter und Sommerville (2011) geben in ihrem Überblicksartikel einige Hinweise, wie sich der Ansatz in der Praxis anwenden lässt. Grundsätzlich sei es wichtig, alle Fachabteilungen dafür zu sensibilisieren, die Sicht-

weisen der anderen in die Gestaltung einzubeziehen und sich im Laufe eines Veränderungsprojekts regelmäßig abzustimmen. Als eine Möglichkeit zur Perspektivübernahme schlagen die Autoren vor, dass die Beschäftigten aus der Software-Entwicklung den betroffenen Arbeitsplatz begehen, um sich ein Bild von der Komplexität der Tätigkeit zu machen. Ein Artikel zu personenbezogenen Gründen für das Scheitern einer Technologieeinführung gibt einen Hinweis darauf, dass dieses Vorgehen sehr sinnvoll ist, da ein fehlerhaftes Management der Veränderung die häufigste Problemquelle ist, gefolgt von einer mangelhaften Beteiligung der Beschäftigten (Rizzuto und Reeves 2007). Ein Arbeitsanalyse-Verfahren, das auf dem Ansatz des soziotechnischen Systems basiert, ist die MTO-Analyse (siehe Abschn. 3.2).

Mit dem *mechanistischen Ansatz der Arbeitsgestaltung* (im Überblick: Campion 1988; Campion et al. 2005) wird versucht, die Effizienz des Unternehmens zu steigern und den Trainingsaufwand bei den Beschäftigten zu minimieren. Erreicht werden soll das in diesem Ansatz durch Spezialisierung und Vereinfachung der Tätigkeiten sowie eine Erhöhung der Wiederholungsraten.

In der Arbeitsanalyse wird der von außen beobachtbare Bewegungsablauf der arbeitenden Person betrachtet, in einzelne Arbeitselemente zergliedert (siehe Fragebogen zur Arbeitsanalyse in Abschn. 3.2) und die Zeit für die jeweiligen Arbeitsschritte gemessen. Dadurch lassen sich verschiedene Arbeitstätigkeiten einfach vergleichen und die Verteilung der Arbeitselemente unter den Beschäftigten oder zwischen Mensch und Maschine wird erleichtert.

Zentrale Annahmen dieses Ansatzes finden sich beispielsweise in der Lean Production („Schlanke Produktion“) wieder. Ziel ist hier unter anderem die Reduktion unnötiger Lagerbestände und ungenutzter Personalkapazitäten, um eine möglichst hohe Effizienz der Produktion zu erreichen (Shah und Ward 2007). Unter anderem durch die exakte Spezifizierung einer Arbeitstätigkeit können ungewünschte Schwankungen im Produktionsprozess vermieden werden.

Der Einsatz intelligenter technischer Systeme könnte dabei helfen, die Tätigkeiten der Beschäftigten auf das Wesentliche zu reduzieren und die Abläufe der Resttätigkeiten zu beschleunigen. Studien konnten beispielsweise positive Zusammenhänge zwischen Lean Production und Effizienz sowie Qualität feststellen (Oliver et al. 1994), allerdings zeigten sich auch in einer Studie nach Einführung einiger Lean Production-Maßnahmen eine geringere organisationale Bindung und Selbstwirksamkeit sowie gesteigerte Depressionswerte bei den Beschäftigten (Parker 2003).

In Deutschland hat der REFA-Verband einige Methoden entwickelt, die eine Analyse nach Kriterien des mechanistischen Ansatzes erlauben und vermittelt diese an interessierte Unternehmen (REFA Bundesverband e.V.).

3.2 Ausgewählte Arbeitsanalyseinstrumente

Innerhalb der theoretischen Konzepte der Arbeitsanalyse wurden an den jeweiligen Ansatz angelehnte Instrumente der Arbeitsanalyse entwickelt. Im folgenden Abschnitt soll beispielhaft jeweils ein häufig verwendetes Instrument vorgestellt werden.

ISTA – Instrument zur stressbezogenen Arbeitsanalyse

Bei dem Instrument zur stressbezogenen Arbeitsanalyse (ISTA; Semmer et al. 1999) werden handlungsregulatorische Aspekte erfasst, die entweder zu Stressentstehung oder Stressvermeidung am Arbeitsplatz beitragen können. Betrachtet werden hierbei Anforderungen an die Handlungsregulation sowie Bedingungen, die die Handlungsregulation stören oder unterstützen können:

- Regulationserfordernisse sind z. B. Qualifikationserfordernisse, Komplexität der Tätigkeit und Erfordernisse zur Kooperation mit Kolleginnen oder Kollegen
- Regulationshindernisse können beispielsweise durch arbeitsorganisatorische Probleme, Arbeitsunterbrechungen und Unsicherheit entstehen
- Ressourcen der Regulation sind z. B. Handlungsspielraum, Zeitspielraum, Kooperationspielraum und Partizipation

Das ISTA kann bei der Arbeitsgestaltung also insbesondere zur Belastungsoptimierung eingesetzt werden. Ursprünglich wurde das Instrument für Produktionstätigkeiten entwickelt, mittlerweile existieren aber auch Module zur Erweiterung, z. B. für die Arbeit im Büro (Zapf 1991) oder für freie Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (Clasen 2012). Die Erhebung erfolgt entweder durch einen Fragebogen, der durch die Stelleninhaberinnen und Stelleninhaber selbstständig ausgefüllt wird oder in Form einer Beobachtung durch eine Arbeitsanalytikerin oder einen Arbeitsanalytiker. Die Fragebogenversion dauert ca. 1,5 Stunden, die Beobachtung mindestens zwei Stunden, die sich auf mehrere Beobachtungszeitpunkte verteilen sollten. Damit ist das ISTA ein sehr kompaktes Arbeitsanalyseinstrument. Für ergänzende Detailanalysen und Konkretisierung von Gestaltungsmaßnahmen ist die KABA (kontrastive Aufgabenanalyse) zu empfehlen (Dunckel et al., 1993). Diese weist eine große Nähe zum ISTA auf, ist aber detaillierter und damit zeitintensiver angelegt und beinhaltet zusätzlich Teilverfahren zur Analyse von Kommunikationstechnologien in der Arbeitsgestaltung.

Das ISTA kam z. B. zum Einsatz, um den Zusammenhang zwischen Zeitdruck und Erschöpfung sowie Work-Life-Balance bei Beschäftigten aus dem IT-Bereich (Syrek et al. 2013) oder die Arbeitsplatzmerkmale in einem großen Produktionsunternehmen im Zusammenhang mit kreativem und proaktivem Verhalten (Ohly et al. 2006) zu untersuchen (vgl. im Überblick Irmer et al. 2019).

WDQ – Work Design Questionnaire

Der Work Design Questionnaire (WDQ; Morgeson und Humphrey 2006) liefert einen motivationspsychologischen Rahmen zur Gestaltung von Arbeitsplätzen, der nicht nur die Charakteristiken der Tätigkeit (*job design*), sondern auch die Einbettung dieser Tätigkeit in die organisationale Umgebung, also das *work design* (Stegmann et al. 2010), umfasst. Der WDQ wurde entwickelt, um eine größere Bandbreite der Merkmale der Arbeitsgestaltung einzubeziehen, die bisher wenig systematische Beachtung fanden oder durch die fortschreitende Weiterentwicklung der Arbeitswelt größere Bedeutung gewonnen haben (Morgeson und Humphrey 2006; Parker et al. 2001).

Es werden vier Merkmalsdimensionen beschrieben, wie Arbeit gestaltet sein sollte:

- Merkmale, die die auszuübenden Aufgaben selbst betreffen (Aufgabenmerkmale wie Autonomie bei der Arbeitsplanung, Autonomie bei Entscheidungen, Autonomie hinsichtlich der Arbeitsmethoden, Aufgabenvielfalt, Bedeutsamkeit der Aufgabe, Feedback durch die Aufgabe)
- Merkmale, die sich auf das erforderliche Wissen, die notwendigen Kompetenzen und vorhandenen Fertigkeiten seitens der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei der Ausübung der Tätigkeit beziehen (Wissensmerkmale wie die Komplexität der Tätigkeit, erforderliche Informationsverarbeitung, Problemlösekompetenz, Vielfalt erforderlicher Fertigkeiten, Spezialisierung)
- Merkmale, die sich auf Möglichkeiten und Notwendigkeiten zur Interaktion mit anderen beziehen (soziale Merkmale wie soziale Unterstützung, Abhängigkeiten zwischen Kolleginnen und Kollegen bei der Aufgabenbearbeitung, Interaktionen mit relevanten Dritten außerhalb der Organisation, Feedback durch Andere)
- Merkmale, die sich auf die Gestaltung und die Bedingungen der unmittelbaren Arbeitsumgebung beziehen (kontextuelle Merkmale wie Ergonomie, physische Anforderungen, Arbeitsbedingungen und (technische) Ausstattung)

Der WDQ kann in allen Branchen und Positionen eingesetzt werden. Die Durchführung erfolgt in Form eines Fragebogens, den die Stelleninhaberinnen und Stelleninhaber selbstständig ausfüllen und dauert etwa 15 Minuten.

Der WDQ wurde z. B. eingesetzt, um motivierende Faktoren einer Crowdsourcing-Plattform (Martinez 2017) oder die Gestaltung der Arbeitsplätze eines großen Bau-Unternehmens und deren Zusammenhang mit Arbeitsengagement (Shantz et al. 2013) zu untersuchen.

MTO-Analyse – Mensch, Technik, Organisation

Die Basis der MTO-Analyse (im Überblick: Ulich 2013) bilden der Ansatz des soziotechnischen Systems und die Handlungsregulationstheorie. Sie wird als ganzheitliche Analyse und Bewertung eines Unternehmens eingesetzt und umfasst dabei die Ebenen Unternehmen, Organisationseinheit, Gruppe und Individuum. Die folgenden sieben Schritte werden durchlaufen:

- Analyse auf der Ebene des Unternehmens (z. B. Produkte und Produktionsbedingungen, Unternehmensziele, Technikeinsatz)
- Analyse von Auftragsdurchläufen
- Analyse von Arbeitssystemen (z. B. Inputs, Transformationsprozesse, Outputs, soziales und technisches Teilsystem)
- Analyse von Arbeitsgruppen (z. B. Gruppenzusammensetzung, Aus- und Weiterbildung, interne und externe Koordination)
- Bedingungsbezogene Analyse von Schlüsseltätigkeiten (z. B. Mensch-Maschine-Funktionsteilung, Kommunikations- und Kooperationserfordernisse)

- Personenbezogene Arbeitsanalysen (z. B. Erwartungen der Beschäftigten an ihre Arbeit, Wahrnehmung der Arbeitssituation durch die Beschäftigten)
- Analyse der soziotechnischen Geschichte (z. B. Strategien und Vorgehen bei der technisch-organisatorischen Entwicklung des Betriebs)

Die MTO-Analyse ist für Industrieunternehmen entwickelt und eine Durchführung dauert bei einem mittelständischen Unternehmen mit ca. 150 Beschäftigten etwa 30 Werktage. Sie besteht aus Experteninterviews, Dokumentenanalysen, Beobachtungen, Beobachtungsinterviews und schriftlichen Befragungen. Die MTO-Analyse wurde bisher z. B. in Teilen in einem Projekt zur Untersuchung von Umgestaltungsprojekten in Unternehmen eingesetzt (Latniak 1999).

FAA – Fragebogen zur Arbeitsanalyse

Bei dem Fragebogen zur Arbeitsanalyse (FAA; Frieling und Hoyos 1978) handelt es sich um die deutsche Version des Position Analysis Questionnaire (McCormick et al. 1969). Er wird eingesetzt, um Arbeitstätigkeiten zu klassifizieren und zu vergleichen und kann daher für eine mechanistische Arbeitsanalyse verwendet werden. Dabei ist das Verfahren auf keine bestimmte Branche oder hierarchische Position beschränkt. Es hat sich aber gezeigt, dass insbesondere für den Produktionsbereich zuverlässige Aussagen getroffen werden können (Frieling et al. 1979). Inhalte des FAA sind beobachtbare bzw. abfragbare Elemente einer Arbeitstätigkeit zu den Themenbereichen:

- Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung (z. B. Quellen der Arbeitsinformation, Denk- und Entscheidungsprozesse)
- Arbeitsausführung (z. B. manuelle Tätigkeiten, Grad der körperlichen Anstrengung),
- Arbeitsrelevante Beziehungen (z. B. Umfang persönlicher Kontakte, Belastungen und Konflikte)
- Umgebungseinflüsse und besondere Arbeitsbedingungen (z. B. Unfallgefährdung und Arbeitssicherheit, Verantwortung)

Die Durchführung erfolgt in Form einer Beobachtung der Arbeitstätigkeit und anschließender Befragung der ausführenden Person, was insgesamt etwa ein bis zwei Stunden dauert (Frieling 1999). Dabei folgt die Arbeitsanalytikerin oder der Arbeitsanalytiker einem voll standardisierten Leitfaden: Die Fragen sind vorgegeben und es gibt konkrete Hinweise zur Einstufung der Antworten.

Der FAA wurde unter anderem zur Analyse der Arbeitstätigkeit 12 verschiedener Tätigkeiten in Versorgungsunternehmen (Hoffman et al. 2009) oder von Drehbuchautoren (Bourgeois-Bougrine et al. 2014) eingesetzt.

Für eine umfassende Übersicht über diese und weitere arbeitsanalytische Instrumente gibt es in der Datenbank des Instituts für Qualitätssicherung in Prävention und Rehabilitation (2010) weiterführende Informationen.

4 Umsetzung psychologischer Arbeitsgestaltung bei der Technikeinführung

Bei der Einführung von Technik ist es ratsam, die psychologische Arbeitsgestaltung bereits im Planungsprozess zu berücksichtigen. In manchen Fällen wird eine Arbeitsanalyse erst durchgeführt, wenn die neue Technologie bereits angeschafft und in Betrieb genommen wurde. Die Behebung von Mängeln in der Arbeitsgestaltung ist zu diesem Zeitpunkt mit einem erheblichen ökonomischen Aufwand verbunden. Auch ist es möglich, dass die neue Technologie weniger akzeptiert wird, wenn in der Planung die Bedürfnisse der Beschäftigten nicht berücksichtigt wurden (siehe auch Kap. ► „[Change Management für die Einführung digitaler Arbeitswelten](#)“ in diesem Handbuch). Daher wird im folgenden Abschnitt zunächst aufgezeigt, welche Auswirkungen technologische Veränderungen auf die Beschäftigten haben können. Anschließend werden Methoden der psychologischen Arbeitsgestaltung vorgestellt, die eingesetzt werden können, um die digitale Arbeitswelt menschenzentriert zu gestalten.

4.1 Planung der psychologischen Arbeitsgestaltung

Insbesondere bei der Einführung digitaler Technologien bietet sich eine Arbeitsgestaltung an, die im Sinne einer Technikfolgenabschätzung (Grunwald 2010) bereits im Vorfeld mögliche Auswirkungen der einzuführenden Technik auf die Arbeitsplätze berücksichtigt, da hier ohnehin auch Arbeitsplätze umgestaltet werden (müssen).

Die Ausgestaltung der digitalen Technologien lässt sich mit sechs Designprinzipien beschreiben (Hermann et al. 2016), wobei diese jeweils Belastungen oder Ressourcen für die Beschäftigten bewirken können. Im Rahmen einer prospektiven, d. h. zukunftsgerichteten, Arbeitsgestaltung ist es daher sinnvoll, diese informationstechnischen Informationen einzubeziehen – auch wenn sie kein arbeitspsychologisches Konzept darstellen – um die Konsequenzen für die Beschäftigten antizipieren zu können. Im Folgenden werden die Designprinzipien kurz vorgestellt:

- *Vernetzung*: Die intelligenten technischen Systeme können Arbeitsschritte in Abhängigkeit voneinander durchführen und selbstständig miteinander kommunizieren.
- *Virtualisierung*: Intelligente technische Systeme erstellen eine virtuelle Kopie der realen Welt, in der alle Prozesse überwacht werden sowie der Zustand aller technischen Systeme abgebildet wird. Die oder der Arbeitsausführende kann bei Fehlermeldungen informiert werden. Zusätzlich werden alle wichtigen Informationen bereitgestellt, z. B. zu nächsten Arbeitsschritten oder zu Sicherheitsvorkehrungen.

- *Dezentralisierung*: Die intelligenten technischen Systeme werden nicht mehr zentral gesteuert, sondern sind jeweils mit einem Computer ausgestattet und handeln dadurch autonom. In der Produktion können beispielsweise Einzelteile den Maschinen durch RFID-Tags oder Strichcodes „mitteilen“, welche Arbeitsschritte folgen. Die Beschäftigten müssen nur bei Störungen der Systeme Entscheidungen treffen.
- *Echtzeit-Fähigkeit*: Der Status des Arbeitsprozesses wird jederzeit durch die technischen Systeme verfolgt und analysiert. Auf Störungen kann sofort reagiert werden, z. B. indem Produkte zu einer anderen Maschine umgeleitet werden.
- *Individualisierung*: Dieses Designprinzip bezieht sich auf die Anpassung der Produkte oder Dienstleistungen nach Kundenwünschen über das Internet.
- *Modularität*: Technische Systeme können flexibel an veränderte Bedarfe angepasst werden, indem individuelle Module ersetzt oder erweitert werden. Auslöser können z. B. saisonale Fluktuationen oder veränderte Produktcharakteristika sein.

Im Planungsprozess einer Technikeinführung kann Checkliste 1 genutzt werden um festzustellen, in welchen der oben genannten Digitalisierungsprinzipien große Veränderungen zu erwarten sind. Insbesondere dort ist es ratsam, die resultierenden Belastungen und Ressourcen für die Beschäftigten zu bedenken. Einige davon sind in Tab. 2 exemplarisch dargestellt.

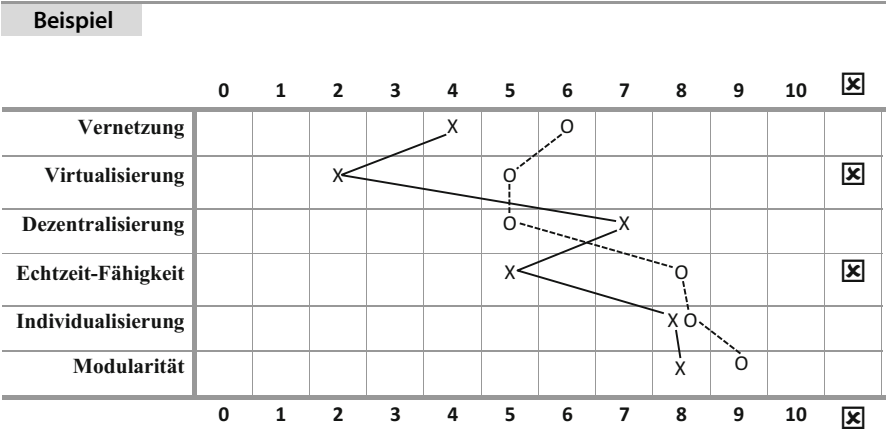
Checkliste 1 Industrie 4.0-Designprinzipien

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	☒
Vernetzung												
Virtualisierung												
Dezentralisierung												
Echtzeit-Fähigkeit												
Individualisierung												
Modularität												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	☒

Schritt 1: Für jedes Designprinzip die aktuelle Ausprägung ankreuzen. Eine „0“ bedeutet, dass die derzeitige Technologie das Designprinzip überhaupt nicht erfüllt. Eine „10“ steht für die vollkommene Erfüllung des Designprinzips.

Schritt 2: Auf der Grundlage der geplanten technologischen Veränderungen für jedes Designprinzip die zukünftige Ausprägung in einer anderen Farbe oder mit einem anderen Symbol markieren.

Schritt 3: In der letzten Spalte markieren, bei welchen Designprinzipien mit einer Veränderung von 3 Punkten oder mehr zu rechnen ist.



Anmerkung: Designprinzipien übernommen aus Hermann et al. (2016).

Tab. 2 Mögliche Belastungen und Ressourcen durch Veränderungen der Technologie

Designprinzipien	Mögliche Belastungen	Mögliche Ressourcen
Vernetzung	• Höhere Abhängigkeit von technischen Einrichtungen	• Weniger Störungen und Wartezeiten
Virtualisierung	• Höhere Fremdkontrolle	• Weniger Unsicherheit über Arbeitsablauf • Weniger arbeitsorganisatorische Probleme • Weniger Bürokratisierung
Dezentralisierung	• Weniger Klarheit über die eigenen Verantwortlichkeitsbereiche • Weniger Handlungsspielraum • Weniger Zeitspielraum • Weniger Bedeutsamkeit der Arbeit • Höhere Unsicherheit des Arbeitsplatzes	• Weniger Abhängigkeit von Kolleginnen und Kollegen
Echtzeit-Fähigkeit	• Höherer Zeitdruck • Höhere Konzentrationsanforderungen	• Bessere und schnellere Rückmeldung durch die Tätigkeit
Individualisierung	• Kognitive Überforderung wegen zunehmender kundenspezifischer Produktvielfalt	• Höhere Aufgabenvielfalt
Modularität	• Weniger Ganzheitlichkeit der Tätigkeit • Höhere Komplexität der Tätigkeit	• Höheres Qualifikationspotential der Tätigkeit • Höhere Vielfalt der Anforderungen an die Beschäftigten

Anmerkung: Höher = positiver Zusammenhang, niedriger = negativer Zusammenhang.

4.2 Methoden der psychologischen Arbeitsgestaltung

In der Psychologie wurden in der Vergangenheit insbesondere drei Maßnahmen der Arbeitsgestaltung häufig untersucht: die Erweiterung von Arbeitstätigkeiten (Job Enlargement), die Erhöhung der Verantwortung durch komplexere Aufgaben (Job Enrichment) und der systematische Arbeitsplatzwechsel (Job Rotation).

Bei *Job Enlargement* wird eine Tätigkeit um weitere vor- oder nachgelagerte Aufgaben erweitert. Für die Ausführung dieser Tätigkeiten sind keine weiteren Qualifikationen notwendig, so dass man hier auch von horizontaler Aufgabenerweiterung spricht (z. B. Parker 2014). Das Unternehmen muss also hier, im Gegensatz zum Job Enrichment (siehe nächster Abschnitt) nur wenig in eine Qualifizierung der Beschäftigten investieren und die Beschäftigten bleiben normalerweise auf ihrem ursprünglichen Gehaltsniveau. Für die Beschäftigten liegt der Vorteil darin, dass vielfältigere Aufgaben entstehen, so dass Monotonie aufgrund sich wiederholender Tätigkeiten vorgebeugt werden kann. Das stetige Wiederholen einer Tätigkeit führt zwar zu einer höheren Produktivität, wirkt sich jedoch negativ auf das Wohlbefinden der Beschäftigten aus (Häusser et al. 2014).

Bei *Job Enrichment* wird der Verantwortungsbereich einer Person ausgeweitet und es werden schwierigere Aufgaben eingeführt. Da es hier nicht um die Menge der Aufgaben, sondern deren Qualität geht, spricht man in diesem Fall von einer vertikalen Aufgabenerweiterung (z. B. Parker 2014). Bei der Einführung computergestützter Produktionsverfahren gegen Ende des 20. Jahrhunderts (z. B. CAD, CAM) entstanden durch die Automatisierung von Routinetätigkeiten komplexere Tätigkeiten für die Beschäftigten (Zammuto und O'Connor 1992). Im Rahmen der aktuellen technischen Entwicklungen ist es denkbar, dass die Komplexität der Tätigkeiten noch stärker zunimmt, da stetig mehr Aufgaben von digitalen Systemen übernommen werden können und die Beschäftigten sich durch ihre Denkleistung und Kreativität von Robotern und anderen Maschinen abheben. Das Anreichern der Maschinenbedienung durch beispielsweise Reparaturtätigkeiten und Treffen von Entscheidungen kann außerdem Ausfallzeiten in der Produktion reduzieren (Wall et al. 1990). Für die Beschäftigten ergeben sich durch Job Enrichment eine höhere Zufriedenheit, größere Handlungs- und Entscheidungsspielräume sowie die Möglichkeit, Kompetenzen weiterzuentwickeln (Mohr und Zoghi 2006; Parker 1998). Außerdem konnte eine Fallstudie zeigen, dass in einem Unternehmen, in dem Stellen abgebaut wurden, Job Enrichment dazu beitrug, die Loyalität der Beschäftigten zu steigern (Niehoff et al. 2001).

Bei der Einführung neuer Technologien müssen gegebenenfalls in kurzer Zeit und mit möglichst wenig Arbeitsausfall neue Fertigkeiten bei den Beschäftigten aufgebaut werden, die für den Umgang mit den neuen Systemen benötigt werden. In diesem Fall kann die Methode *Job Rotation* eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um den systematischen Wechsel des Arbeitsplatzes oder des Aufgabenfeldes einer Mitarbeiterin oder eines Mitarbeiters. Das Qualifikationsniveau der einzelnen Arbeitsplätze kann dabei entweder gleich oder unterschiedlich sein (Eriksson und Ortega 2006). Auch bei der Einführung von CAD/CAM-Systemen zeigte sich der Bedarf, möglichst schnell eine große Menge an Wissen aufzubauen, da die Techno-

logien so komplex waren (Lei et al. 1996). Es ist anzunehmen, dass sich die Notwendigkeit, schnell Wissen aufzubauen und langfristig zu erhalten seitdem noch gesteigert hat, da die technischen Systeme noch komplexer geworden sind. Durch den regelmäßigen Wechsel und den Austausch mit Kolleginnen und Kollegen können schnell benötigte Kompetenzen erworben werden (Baro 2012; Eriksson und Ortega 2006). Wenn ein Teammitglied ausfällt, sind dann alle anderen in der Lage, die Tätigkeit zu übernehmen. Neben dem Aufbau und Erhalt von Fertigkeiten eignet sich Job Rotation auch, um Monotonie vorzubeugen und einseitige körperliche Belastungen zu vermeiden (Hanse und Winkel 2008; Jeon et al. 2016). Es sollte jedoch bedacht werden, dass der regelmäßige Wechsel zwischen Arbeitsplätzen von einigen Personen als belastend wahrgenommen werden kann (Bao et al. 2016).

Der Einsatz von Job Enlargement, Job Enrichment und Job Rotation erzeugt nicht nur für die Beschäftigten Vorteile. Forscher und Anwender aus dem Personalbereich ordnen diese Maßnahmen den sogenannten *High Performance Work Practices* (HPWP) zu. HPWP sollen dazu beitragen, die organisationale Leistung zu steigern, indem das Wissen, die Fertigkeiten und Fähigkeiten der Beschäftigten verbessert werden. Außerdem sollen die Beschäftigten befähigt und motiviert werden, ihr Wissen, ihre Fertigkeiten und ihre Fähigkeiten zum Wohl der Organisation einzusetzen (Posthuma et al. 2013). Weitere Arbeitsgestaltungsmaßnahmen, die den HPWP zugeordnet werden, sind z. B. der Einsatz von Projektteams sowie eigenverantwortlichen Teams (Qualitätszirkel), flexible Arbeitszeitmodelle und die Einbindung der Beschäftigten in Entscheidungsprozesse (Posthuma et al. 2013). Es hat sich gezeigt, dass der Einsatz von HPWP tatsächlich zur Leistungsfähigkeit eines Unternehmens beiträgt. In mehreren Studien konnten Zusammenhänge mit höherer Produktivität der Beschäftigten sowie geringerer Fluktuation in der Belegschaft gefunden werden (Huselid 1995; Combs et al. 2006).

5 Offene Fragen für die Forschung

Für die Forschung ergeben sich durch den digitalen Wandel der Arbeitswelt zahlreiche Fragestellungen, wovon wir die drängendsten vier kurz näher beschreiben möchten:

Wie können Unternehmen weiterhin funktionieren, wenn die eigenständig handelnden technischen Systeme die Handlungsspielräume der Beschäftigten erheblich einschränken?

In den letzten Jahren hat sich die psychologische Forschung zunehmend mit proaktiven, autonomen und gestaltenden Verhaltensweisen der Beschäftigten befasst. Eine notwendige Voraussetzung für diese Verhaltensweisen ist eine Arbeitsumgebung, die das Zeigen des Verhaltens überhaupt ermöglicht. Als proaktive Verhaltensweisen wurden vornehmlich untersucht:

- **Eigeninitiative:** eine Verhaltensweise, bei der Individuen ihre Arbeitsziele und Aufgaben proaktiv angehen und auch bei Hindernissen und Rückschlägen nicht

aufgeben. Darüber hinaus entwickeln Individuen zum Teil eigene Ziele und Aufgaben, die aber stets den Zielen des Unternehmens zuträglich sind (Fay und Frese 2001)

- Organizational Citizenship Behavior: Verhalten, das durch Altruismus, Gewissenhaftigkeit, Fairness und Höflichkeit geprägt ist, für das es keine formale Belohnung gibt und das in der Summe zur Effektivität des Unternehmens beiträgt (Dalal 2005)
- Proaktive Persönlichkeit: die Tendenz, Veränderungen in seiner (sozialen) Umwelt zu bewirken (Bakker et al. 2012). Individuen zeigen sogenannte „primäre Kontrolle“, das heißt, sie versuchen, objektive Gegebenheiten zu verändern anstatt sich an Gegebenheiten anzupassen („sekundäre Kontrolle“; Griffin et al. 2010)
- Job Crafting: das Umgestalten der Tätigkeit nach eigenen Vorstellungen in Bezug auf auszuführende Aktivitäten und Interaktionspartner sowie die eigene Sichtweise auf die Tätigkeit (Wrzesniewski und Dutton 2001)
- Befähigung (*empowerment*): eine aktive Orientierung gegenüber der eigenen Rolle am Arbeitsplatz, die durch (1) eine Passung zwischen Arbeitszielen und eigenen Idealen und Standards, (2) ein Gefühl der eigenen Kompetenz und Selbstwirksamkeit, (3) Eigenständigkeit bezüglich Arbeitsverhalten und -prozessen und (4) Einfluss auf Arbeitsergebnisse gekennzeichnet ist (Spreitzer 1995)

Vielfach konnte gezeigt werden, dass diese Verhaltensweisen in erheblichem Maß zum Erfolg eines Unternehmens beitragen. In bisherigen Studien zeigten sich z. B. Zusammenhänge mit dem Gewinn des Unternehmens (Koys 2001; Zempel 1999), der Arbeitsleistung (Chiang und Hsieh 2012; Thompson 2005) sowie dem Arbeitsengagement der Beschäftigten (Bakker et al. 2012). Die derzeitige Entwicklung der Technologie geht jedoch tendenziell in eine Richtung, bei der die Beschäftigten in ihrem Handeln zunehmend angeleitet und dadurch Handlungsalternativen eingeschränkt werden, was das Ausüben proaktiver Verhaltensweisen erschwert oder sogar vollkommen unterbindet. Es gilt also herauszufinden, wie sich diese Situation auf die Leistungsfähigkeit eines Unternehmens auswirkt bzw. welche Arbeitsgestaltungsmaßnahmen einer negativen Entwicklung entgegenwirken können.

Wie können zuverlässige Aussagen über die Folgen der Technikeinführung getroffen werden?

Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen gehen ein großes finanzielles Risiko ein, wenn sie neue Technologien anschaffen. Sie benötigen daher zunächst Informationen, welche Veränderungen sinnvoll sind. Hilfestellung hierzu bieten Verfahren wie der Quick-Check des Instrumentariums INLUMIA (Hobscheidt et al. 2017), der eine Einschätzung des Reifegrads von Unternehmen bietet und dabei nicht nur technische Aspekte sondern auch z. B. Geschäftsmodelle oder Arbeitsgestaltung berücksichtigt. Es ist bedeutsam, die Konsequenzen, die die ausgewählten Technologien für die Beschäftigten haben, vorauszusehen, um gegebenenfalls noch Änderungen an dem technischen System vorzunehmen oder die Arbeitsgestaltung anzupassen.

Es ist daher sinnvoll, Methoden zu entwickeln, die eine Einschätzung der Technikfolgen ohne übermäßigen zeitlichen oder finanziellen Aufwand erlauben. Denkbar wäre hier der Einsatz von Pilotstudien oder Szenarien. Bei Szenarien wird der geplante zukünftige Arbeitsplatz in Text- oder Videoform dargestellt und die betroffenen Beschäftigten werden gebeten, diesen zu beurteilen, z. B. im Hinblick auf Arbeitszufriedenheit oder Motivation. Dies ermöglicht eine Anpassung der Technik- sowie Arbeitsgestaltung, bevor die Technik tatsächlich eingeführt wird.

Welche Auswirkungen auf die Arbeitsbedingungen hat die Einführung der neuen digitalen Technologien?

Auf der derzeitigen Erkenntnislage können lediglich Prognosen für die Zukunft getroffen werden, die es zu bestätigen oder zu widerlegen gilt. Durch eine systematische Herleitung der Prognosen und anschließende Überprüfung werden Vorhersagen für zukünftige Veränderungen (z. B. Industrie 5.0) vermutlich genauer. Einen Ansatzpunkt für die Vorhersage der aktuellen Veränderungen können daher Erkenntnisse aus der dritten industriellen Revolution liefern.

Wie können technische Systeme eingesetzt werden, um psychologische Arbeitsgestaltung zu verbessern?

Bei Job Rotation-Maßnahmen (siehe Abschn. 4.2) ist es notwendig, einen Arbeits-einsatzplan zu entwickeln, der für die einzelnen Beschäftigten möglichst wenige Belastungen erzeugt. Es sollte untersucht werden, ob die Einsatzplanung optimiert werden kann, wenn die Führungskraft dabei durch ein intelligentes technisches System unterstützt wird. Darüber hinaus sollten zukünftige Studien zu Job Enlargement untersuchen, ob die Erweiterung der Arbeit um Tätigkeiten mit einem digitalen System andere Auswirkungen hat, als die Erweiterung um „analoge“ Tätigkeiten. Hier wäre es denkbar, dass sich die positiven Effekte der Maßnahme verstärken, da die Erweiterung um digitale Tätigkeiten eine stärkere Aufgabenvielfalt erzeugt, als wenn eine zusätzliche „analoge“ Tätigkeit hinzukommt.

6 Fazit

Die digitale Transformation mit der aktuellen Technik bzw. den zurzeit stattfindenden technischen Entwicklungen erlaubt ungeahnte Gestaltungsmöglichkeiten in der Arbeitswelt – im guten wie im schlechten Sinn. Digitale Assistenzsysteme können die Beschäftigten in komplexen Tätigkeiten entlasten, Roboter können als Werkzeug direkt am Arbeitsplatz eingesetzt werden und eigenständig handelnde technische Systeme können Arbeitsabläufe optimieren. Zu den negativen Seiten der technischen Entwicklungen gehört jedoch, dass sie eine höhere Überwachung und Fremdkontrolle der Beschäftigten ermöglichen und Arbeitsplätze gegebenenfalls geringere Handlungsspielräume bieten sowie weniger ganzheitlich gestaltet sind. Das heißt, dass die Beschäftigten möglicherweise nur noch einzelne Abschnitte einer Tätigkeit übernehmen und keinen Überblick mehr über das „große Ganze“ haben. Die Tatsache, dass die digitale Transformation genau jetzt stattfindet, gibt uns die Möglich-

keit, diese aktiv zu begleiten und dabei die Spielräume in der Technikgestaltung zu nutzen, um die technischen Systeme an die Bedürfnisse der Beschäftigten anzupassen. Eine nachträgliche Anpassung der Arbeitsgestaltung an eine bereits eingeführte Technologie kann hohe Kosten verursachen. Daher ist es ratsam, die Auswirkungen der Technologie auf die Beschäftigten bereits vor der Anschaffung zu kennen. Für diesen Zweck kann eine Arbeitsanalyse durchgeführt werden, die nicht nur den derzeitigen Stand der Arbeitsbedingungen und Tätigkeiten erfasst, sondern auch die erwarteten Veränderungen bei Einführung einer bestimmten Technologie berücksichtigt. Im Planungsprozess können dann psychologische Gestaltungsprinzipien genutzt werden, um die Arbeit gesundheits- und persönlichkeitsfördernd sowie motivierend auszurichten. Vergangene Vorhaben zur Technikeinführung haben gezeigt, dass ein Vernachlässigen personenbezogener Faktoren die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Technikeinführung scheitert (Birdi et al. 2008; Rizzuto und Reeves 2007). Die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Bereiche Mensch, Technik und Organisation ist in Forschung sowie Praxis daher unumgänglich.

Bei der Einführung neuer Technologien in einem Unternehmen ist es daher zu empfehlen, das Planungsteam aus Mitgliedern verschiedener Abteilungen zusammenzusetzen: Personen aus den Bereichen Technik und Informatik beschäftigen sich mit der technischen Umsetzung der neuen Technologie, Beschäftigte aus der Personalabteilung und dem betrieblichen Gesundheitsmanagement gewährleisten eine menschenzentrierte Gestaltung der Technologie und Vertreterinnen oder Vertreter des strategischen Managements behalten bei dem Prozess die Geschäftsziele im Auge. Durch eine frühzeitige Einbindung der betroffenen Beschäftigten bzw. deren Interessenvertretungen ist darüber hinaus sichergestellt, dass ihre Bedürfnisse und Rechte bei der Umgestaltung berücksichtigt werden.

Literatur

- Allan, B. A., Batz-Barbarich, C., Sterling, H. M., & Tay, L. (2019). Outcomes of meaningful work: A meta-analysis. *Journal of Management Studies*, 56, 500–528.
- Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2007). The Job Demands-Resources model. State of the art. *Journal of Managerial Psychology*, 22, 309–328.
- Bakker, A. B., Tims, M., & Derks, D. (2012). Proactive personality and job performance. The role of job crafting and work engagement. *Human Relations*, 65, 1359–1378.
- Bao, S. S., Kapellusch, J. M., Merryweather, A. S., Thiese, M. S., Garg, A., Hegmann, K. T., & Silverstein, B. A. (2016). Relationships between job organisational factors, biomechanical and psychosocial exposures. *Ergonomics*, 59, 179–194.
- Baro, E. E. (2012). Job rotation program evaluation. The Niger Delta University library. *Aslib Proceedings*, 64, 388–404.
- Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems. From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*, 23(1), 4–17.
- Birdi, K., Clegg, C., Patterson, M., Robinson, A., Stride, C. B., Wall, T. D., & Wood, S. J. (2008). The impact of human resource and operational management practices on company productivity. A longitudinal study. *Personnel Psychology*, 61, 467–501.
- Bley, K., & Leyh, C. (2016). Status Quo der Digitalisierung deutscher Industrieunternehmen – Eine Studie ausgewählter Unternehmen. In V. Nissen, D. Stelzer, S. Straßburger & D. Fischer (Hrsg.),

- Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2016. Technische Universität Ilmenau, 09.–11. März 2016* (S. 1651–1662). Ilmenau: Universitätsverlag Ilmenau.
- Bourgeois-Bougrine, S., Glaveanu, V., Botella, M., Guillou, K., de Biasi, P. M., & Lubart, T. (2014). The creativity maze. Exploring creativity in screenplay writing. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 8, 384–399.
- Campion, M. A. (1988). Interdisciplinary approaches to job design: A constructive replication with extensions. *Journal of Applied Psychology*, 73, 467–481.
- Campion, M. A., Mumford, T. V., Morgeson, F. P., & Nahrgang, J. D. (2005). Work redesign: Eight obstacles and opportunities. *Human Resource Management*, 44, 367–390.
- Chiang, C.-F., & Hsieh, T.-S. (2012). The impacts of perceived organizational support and psychological empowerment on job performance. The mediating effects of organizational citizenship behavior. *International Journal of Hospitality Management*, 31, 180–190.
- Clasen, J. (2012). Instrument zur stressbezogenen Tätigkeitsanalyse bei Freelancern auf Basis des ISTA von Semmer, Zapf und Dunckel. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 56, 123–142.
- Combs, J., Liu, Y., Hall, A., & Ketchen, D. (2006). How much do high-performance work practices matter? A meta-analysis of their effects on organizational performance. *Personnel Psychology*, 59, 501–528.
- Dalal, R. S. (2005). A meta-analysis of the relationship between organizational citizenship behavior and counterproductive work behavior. *Journal of Applied Psychology*, 90, 1241–1255.
- Davis, M. C., Challenger, R., Jayewardene, D. N. W., & Clegg, C. W. (2014). Advancing socio-technical systems thinking: A call for bravery. *Applied Ergonomics*, 45, 171–180.
- Dunckel, H., & Resch, M.G. (2010). Arbeitsanalyse. In U. Kleinbeck (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich D, Praxisgebiete: Serie 3, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie: Band 1. Arbeitspsychologie* (S. 1111–1158). Göttingen: Hogrefe.
- Dunckel, H., Volpert, W., Zölch, M., Kreutner, U., Pleiss, C., & Hennes, K. (1993). *Kontrastive Aufgabenanalyse im Büro. Der KABA-Leitfaden* (Mensch, Technik, Organisation, 5a). Grundlagen und Manual. Zürich: Verlag der Fachvereine.
- Eriksson, T., & Ortega, J. (2006). The adoption of job rotation. Testing the theories. *Industrial and Labor Relations Review*, 59, 653–666.
- Fay, D., & Frese, M. (2001). The concept of personal initiative. An overview of validity studies. *Human Performance*, 14, 97–124.
- Frese, M., & Zapf, D. (1994). Action as the core of work psychology. A German approach. In H. C. Triandis, M. D. Dunnette & L. M. Hough (Hrsg.), *Handbook of industrial and organizational psychology* (2. Aufl., S. 271–340). Palo Alto: Consulting Psychologists Press.
- Frieling, E. (1999). Fragebogen zur Arbeitsanalyse (FAA). In H. Dunckel (Hrsg.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren* (Mensch, Technik, Organisation, Bd. 14, S. 113–124). Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Frieling, E., & Hoyos, G. C. (1978). *Fragebogen zur Arbeitsanalyse (FAA). Deutsche Bearbeitung des Position Analysis Questionnaire (PAQ)*. Bern/Stuttgart/Wien: Verlag Hans Huber.
- Frieling, E., Maier, W., Michallik, U., & Schwan, R. (1979). Belastung, Beanspruchung und Zufriedenheit bei unterschiedlich organisierten Schreibtätigkeiten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 33, 216–223.
- Griffin, M. A., Parker, S. K., & Mason, C. M. (2010). Leader vision and the development of adaptive and proactive performance: A longitudinal study. *Journal of Applied Psychology*, 95, 174–182.
- Grunwald, A. (2010). *Technikfolgenabschätzung – eine Einführung* (Gesellschaft – Technik – Umwelt, Neue Folge 1, 2. Aufl.). Berlin: Edition Sigma.
- Hacker, W. (1983). Handlungsregulation. Zur aufgabenabhängigen Struktur handlungsregulieren-der mentaler Repräsentationen. In W. Hacker, W. Volpert, M. Cranach & W. Hacker (Hrsg.), *Kognitive und motivationale Aspekte der Handlung* (S. 152–174). Bern: Huber.

- Hacker, W. (2010). Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. In U. Kleinbeck (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich D, Praxisgebiete: Serie 3, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie: Band 1. Arbeitspsychologie* (S. 3–38). Göttingen: Hogrefe.
- Hackmann, J. (18. Juni 2014). *Industrie 4.0 schafft ein unvorhersehbares Umfeld. Massenfertigung mit Losgröße eins ist das Ziel*. <http://www.computerwoche.de/a/industrie-4-0-schafft-ein-unvorhersehbares-umfeld,3062768,5>. Zugegriffen am 10.02.2020.
- Hanse, J. J., & Winkel, J. (2008). Work organisation constructs and ergonomic outcomes among European forest machine operators. *Ergonomics*, 51, 968–981.
- Häusser, J. A., Schulz-Hardt, S., Schultze, T., Tomaschek, A., & Mojzisch, A. (2014). Experimental evidence for the effects of task repetitiveness on mental strain and objective work performance. *Journal of Organizational Behavior*, 35, 705–721.
- Hemmann, E., Merboth, H., & Richter, P. (2001). Handlungsregulation und sicherheitskritische Arbeitssituationen in der Instandhaltung (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht Fb 930). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios. A literature review. In *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (S. 3928–3937).
- Hobscheidt, D., Westermann, T., Dumitrescu, R., Dülme, C., Gausemeier, J., Heppner, H., & Maier, G. W. (2017). Soziotechnische Leistungsbewertung von Unternehmen im Kontext Industrie 4.0. In E. Bodden, F. Dressler, R. Dumitrescu, J. Gausemeier, F. Meyer auf der Heide, C. Scheytt & A. Trächtler (Hrsg.), *Band 369: Wissenschafts- und IndustrieForum 2017: Intelligente technische Systeme* (S. 11–24). Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe.
- Hoffman, C. C., Morris, D., & Luck, G. (2009). A test of a proposed method for estimating validity of a multivariate composite predictor. Extending the job component validity model. *Psychological Reports*, 105, 900–916.
- Holden, R. J., & Karsh, B.-T. (2010). The technology acceptance model. Its past and its future in health care. *Journal of Biomedical Informatics*, 43, 159–172.
- Humphrey, S. E., Nahrgang, J. D., & Morgeson, F. P. (2007). Integrating motivational, social, and contextual work design features. A meta-analytic summary and theoretical extension of the work design literature. *Journal of Applied Psychology*, 92, 1332–1356.
- Huselid, M. A. (1995). The impact of human resource management practices on turnover, productivity, and corporate financial performance. *Academy of Management Journal*, 38, 635–672.
- Institut für Qualitätssicherung in Prävention und Rehabilitation. (2010). *Gesamtliste der Verfahren*. <http://www.assessment-info.de/assessment/seiten/datenbank/gesamtliste/gesamtliste-de.asp>. Zugegriffen am 10.02.2020.
- Irmer, J. P., Kern, M., Schermelleh-Engel, K., Semmer, N. K., & Zapf, D. (2019). The Instrument for Stress-Oriented Task Analysis (ISTA). A meta-analysis. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 63, 217–237.
- Jeon, I. S., Jeong, B. Y., & Jeong, J. H. (2016). Preferred 11 different job rotation types in automotive company and their effects on productivity, quality and musculoskeletal disorders: Comparison between subjective and actual scores by workers' age. *Ergonomics*, 59, 1318–1326.
- Koys, D. J. (2001). The effects of employee satisfaction, organizational citizenship behavior, and turnover on organizational effectiveness. A unit-level, longitudinal study. *Personnel Psychology*, 54, 101–114.
- Kultusministerkonferenz. (2016). *Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2016/2016_12_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf. Zugegriffen am 10.02.2020.
- Latniak, E. (1999). Erfahrungen mit dem betrieblichen Einsatz arbeitswissenschaftlicher Analyseinstrumente. *Arbeit*, 8, 179–196.
- Lei, D., Hitt, M. A., & Goldhar, J. D. (1996). Advanced manufacturing technology: Organizational design and strategic flexibility. *Organization Studies*, 17, 501–523.

- Malanowski, N., & Brandt, J. C. (2014). *Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co.* Düsseldorf: VDI Technologiezentrum GmbH. <https://www.vditz.de/publikation/innovations-und-effizienzspruenge-in-der-chemischen-industrie/>. Zugegriffen am 10.02.2020.
- Martinez, M. G. (2017). Inspiring crowdsourcing communities to create novel solutions: Competition design and the mediating role of trust. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 296–304.
- McCormick, E. J., Jeanneret, P. R., & Mecham, R. C. (1969). *The development and background of the Position Analysis Questionnaire (PAQ)*. West Lafayette: Occupational Research Center, Purdue University.
- Mohr, R. D., & Zoghi, C. (2006). *Is job enrichment really enriching?* (BLS working papers Nr. 389). U.S. Bureau of Labor Statistics.
- Morgeson, F. P., & Humphrey, S. E. (2006). The Work Design Questionnaire (WDQ). Developing and validating a comprehensive measure for assessing job design and the nature of work. *Journal of Applied Psychology*, 91, 1321–1339.
- Niehoff, B. P., Moorman, R. H., Blakely, G., & Fuller, J. (2001). The influence of empowerment and job enrichment on employee loyalty in a downsizing environment. *Group & Organization Management*, 26, 93–113.
- Ohly, S., Sonnentag, S., & Pluntke, F. (2006). Routinization, work characteristics and their relationships with creative and proactive behaviors. *Journal of Organizational Behavior*, 27, 257–279.
- Oldham, G. R., & Fried, Y. (2016). Job design research and theory: Past, present and future. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 136, 20–35.
- Oliver, N., Delbridge, R., Jones, D., & Lowe, J. (1994). World class manufacturing: Further evidence in the lean production debate. *British Journal of Management*, 5, 53–63.
- Parker, S. K. (1998). Enhancing role breadth self-efficacy. The roles of job enrichment and other organizational interventions. *Journal of Applied Psychology*, 83, 835–852.
- Parker, S. K. (2003). Longitudinal effects of lean production on employee outcomes and the mediating role of work characteristics. *Journal of Applied Psychology*, 88, 620–634.
- Parker, S. K. (2014). Beyond motivation: Job and work design for development, health, ambidexterity, and more. *Annual Review of Psychology*, 65, 661–691.
- Parker, S. K., Wall, T. D., & Cordery, J. L. (2001). Future work design research and practice. Towards an elaborated model of work design. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 74, 413–440.
- Paruzel, A., Bentler, D., Schlicher, K., Nettelstroth, W., & Maier, G. W. (2020). Employees first, technology second: Implementation of smart glasses in a manufacturing company. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 64, 46–57.
- Posthuma, R. A., Campion, M. C., Masimova, M., & Campion, M. A. (2013). A high performance work practices taxonomy. Integrating the literature and directing future research. *Journal of Management*, 39, 1184–1220.
- REFA Bundesverband e.V. www.refa.de/home. Zugegriffen am 10.02.2020.
- Rizzuto, T. E., & Reeves, J. (2007). A multidisciplinary meta-analysis of human barriers to technology implementation. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 59, 226–240.
- Semmer, N. K., Zapf, D., & Dunckel, H. (1999). Instrument zur streßbezogenen Tätigkeitsanalyse ISTA. In H. Dunckel (Hrsg.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren* (Mensch, Technik, Organisation, Bd. 14, S. 179–204). Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25, 785–805.
- Shantz, A., Alfes, K., Truss, C., & Soane, E. (2013). The role of employee engagement in the relationship between job design and task performance, citizenship and deviant behaviours. *The International Journal of Human Resource Management*, 24, 2608–2627.
- Spath, D. (Hrsg.). (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

- Spreitzer, G. M. (1995). Psychological empowerment in the workplace. Dimensions, measurement, and validation. *Academy of Management Journal*, 38, 1442–1465.
- Stegmann, S., van Dick, R., Ullrich, J., Charalambous, J., Menzel, B., Egold, N., & Wu, T. T.-C. (2010). Der Work Design Questionnaire. Vorstellung und erste Validierung einer deutschen Version. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 54, 1–28.
- Steil, J. J., & Maier, G. W. (2017). Robots in the digitalized workplace. In G. Hertel, D. Stone, R. Johnson & J. Passmore (Hrsg.), *The Wiley Blackwell handbook of the psychology of the internet at work*. (S. 403–422). Chichester: Wiley-Blackwell.
- Syrek, C. J., Apostel, E., & Antoni, C. H. (2013). Stress in highly demanding IT jobs: Transformational leadership moderates the impact of time pressure on exhaustion and work-life balance. *Journal of Occupational Health Psychology*, 18, 252–261.
- Thompson, J. A. (2005). Proactive personality and job performance. A social capital perspective. *Journal of Applied Psychology*, 90, 1011–1017.
- Ulich, E. (2013). Arbeitssysteme als soziotechnische Systeme – eine Erinnerung. *Journal Psychologie des Alltagshandelns/Psychology of Everyday Activity*, 6(1), 4–12.
- Wall, T. D., Corbett, J. M., Martin, R., Clegg, C. W., & Jackson, P. R. (1990). Advanced manufacturing technology, work design, and performance: A change study. *Journal of Applied Psychology*, 75, 691–697.
- Weber, W. G., & Lampert, B. (2010). Analysis of collective action regulation and cooperation-relevant attitudes in industrial group work. *Journal Psychologie des Alltagshandelns/Psychology of Everyday Activity*, 3(1), 19–38.
- Wegener, D. (2019). Industrie 4.0 – wie die Digitalisierung die Produktionskette revolutioniert. In R. Obermaier (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation* (S. 73–89). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Winter, S., Berente, N., Howison, J., & Butler, B. (2014). Beyond the organizational ‘container’: Conceptualizing 21st century sociotechnical work. *Information and Organization*, 24, 250–269.
- Wrede, S., Emmerich, C., Grünberg, R., Nordmann, A., Swadzba, A., & Steil, J. (2013). A user study on kinesthetic teaching of redundant robots in task and configuration space. *Journal of Human-Robot Interaction*, 2(1), 56–81.
- Wrzesniewski, A., & Dutton, J. E. (2001). Crafting a job. Revisioning employees as active crafters of their work. *Academy of Management Review*, 26, 179–201.
- Zammuto, R. F., & O'Connor, E. J. (1992). Gaining advanced manufacturing technologies' benefits: The roles of organization design and culture. *Academy of Management Review*, 17, 701–728.
- Zapf, D. (1991). Streßbezogene Arbeitsanalyse bei der Arbeit mit unterschiedlichen Bürosoftwaresystemen. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 35, 2–14.
- Zempel, J. (1999). Selbständigkeit in den neuen Bundesländern. Prädiktoren, Erfolgsfaktoren und Folgen-Ergebnisse einer Längsschnittuntersuchung. In K. Moser, B. Batinic & J. Zempel (Hrsg.), *Unternehmerisch erfolgreiches Handeln* (S. 69–91). Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie.



Digitalisierte Arbeit: Arbeitsrechtliche Aspekte

Oliver Ricken

Inhalt

1	Einleitung	114
2	Grundannahmen des Arbeitsrechts	115
3	Allgemeine Herausforderungen durch die Digitalisierung der Arbeit	117
4	Besondere arbeitsrechtliche Einzelfragen	121
5	Fazit	133
	Literatur	134

Zusammenfassung

Die Digitalisierung der Arbeitswelten bringt es mit sich, dass tradierte Grundannahmen des Arbeitsrechts auf neue Entwicklungen treffen, die häufig mit dem Stichwort Industrie 4.0 umschrieben werden. Es zeigt sich, dass in Teilbereichen das geltende Arbeitsrecht nicht immer den neuen Anforderungen, wie sie von Arbeitnehmern und Arbeitgebern artikuliert werden, gewachsen ist. Für einige Teilbereiche, wie etwa das Arbeitszeitrecht, den Betriebsbegriff oder auch das kollektive Arbeitsrecht will der Beitrag aufzeigen, dass an diesen Stellen moderate Anpassungen der rechtlichen Regelungen erforderlich sind.

Schlüsselwörter

Arbeiten 4.0 · Arbeitszeit · Matrixstrukturen · Crowdfunding · BYOD

O. Ricken (✉)

Fakultät für Rechtswissenschaften, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

E-Mail: oliver.ricken@uni-bielefeld.de

1 Einleitung

Die zunehmende Digitalisierung von Produktions- und Arbeitsbedingungen bedeutet einen tief greifenden Wandel für Betriebe und Verwaltungen. Zunehmend verschmelzen technische und menschliche Faktoren des Wertschöpfungsprozesses und es entstehen cyber-physische Produktionssysteme, die ein nahtloses Ineinandergreifen der einzelnen Produktionsfaktoren und damit auch der menschlichen Arbeitskraft kennzeichnen (Keller und Eisler 2014, S. 26; Grimm 2015, S. 336; Siepmann 2016, S. 29).

Dies hat bereits zu Veränderungen in der Arbeitswelt geführt und lässt weitere erwarten. Die Erkenntnis, dass Arbeit in Zukunft vernetzter, digitaler und flexibler sein wird, hat das BMAS zum Anlass genommen im Jahr 2015 das Grünbuch sowie im November 2016 das Weißbuch Arbeiten 4.0 zu veröffentlichen. In Anlehnung an den Begriff Industrie 4.0 geht es dem BMAS darum, eine zukunftsorientierte Diskussion zur Weiterentwicklung und Gestaltung der deutschen Arbeitswelt anzustoßen (Bissels und Meyer-Michaelis 2015, S. 2331). Arbeit 4.0 beschreibt dabei die Anforderungen, denen sich Arbeitnehmer stellen müssen, die in einer Umgebung der Industrie 4.0 tätig werden. Die durch gesellschaftspolitische Vorstellungen geprägte Sichtweise auf die Entwicklungsbedürftigkeit der Arbeitsbedingungen wird in diesem Beitrag auf die Frage zugespitzt, inwieweit Digitalisierung, Vernetzung und cyber-physische Produktion noch mit dem geltenden Arbeitsrecht zu bewältigen sind und welche Problemstellungen Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen, innerhalb derer Arbeit in der Industrie 4.0 geleistet wird, erforderlich machen. Bereits das Anforderungsprofil vieler Arbeitnehmer wird sich tief greifend verändern. Von den Arbeitnehmern wird eine größere Kompetenz in den Bereichen Planung und Organisation verlangt werden. Zentral werden digitale Kompetenzen sein, die neben EDV-spezifischen Kenntnissen auch die Bereitschaft zur Einbindung in vernetzte Strukturen umfassen. Dies verlangt hohe Weiterbildungsanstrengungen der Arbeitgeber sowie der Arbeitnehmer (Günther und Böglmüller 2015, S. 1026).

Die Digitalisierung der Arbeitsverhältnisse führt zu erheblichem Flexibilisierungsbedarf bei Arbeitnehmern und Arbeitgebern. Economy on demand sowie die Vernetzung von Zulieferern, Produzenten und Abnehmern erfordern anpassungsfähige Produktionsabläufe, die im Hinblick auf den Personaleinsatz zu kurzen Reaktionszeiten führen (Günther und Böglmüller 2015, S. 1026; Grimm 2015, S. 336). Die bisherigen Flexibilisierungsinstrumentarien der vielfach sozialpolitisch geächteten industriellen Dienstleistungen oder Leiharbeit werden den Anforderungen häufig nicht mehr gerecht. Auch bei den Kernbelegschaften wird es zu einem größeren Flexibilisierungsdruck kommen.

Dies betrifft sowohl den Komplex der Arbeitszeiten als auch die konkreten Tätigkeitsaufgaben der Arbeitnehmer. Diese Flexibilität ist nur zu erzielen, wenn sie auch mit den Interessen der Arbeitnehmer in Einklang zu bringen ist. Gerade der Wunsch vieler Arbeitnehmer nach einer ausgewogenen Work-Life-Balance und der konkreten Erwartung, Beruf und Familie vereinbaren zu können, wird von den Unternehmen ihrerseits Flexibilisierung einfordern. Diejenigen, die durch das Herausbeschwören entgrenzter Arbeitswelten das kompromisslose Aufrechterhalten

des bisherigen Arbeitsrechtssystems rechtfertigen, müssen sich fragen lassen, ob die häufig gegebene Begrenztheit des Arbeitsrechts noch den Belangen von Arbeitnehmern und Arbeitgebern gerecht wird, die in vernetzten Arbeitswelten zusammenarbeiten müssen. Im Folgenden sollen einige Grundannahmen des geltenden Arbeitsrechts den Herausforderungen, die mit der Digitalisierung der Arbeitswelt verbunden sind, gegenübergestellt werden, um anschließend ausgewählte besondere arbeitsrechtliche Einzelfragen, die im Zusammenhang mit der Digitalisierung stehen, zu beleuchten.

2 Grundannahmen des Arbeitsrechts

2.1 Statusbezug des Arbeitsrechts

Während die Digitalisierung unter den Stichworten Freelancer, Crowdfunding, working on demand immer neue Formen der Zusammenarbeit hervorbringt, beschränkt sich das Arbeitsrecht als Rechtsdisziplin traditionell auf das Recht der Arbeitnehmer (Sinzheimer 1927, S. 4). Der Arbeitnehmerbegriff spiegelt den Anwendungsbereich des Arbeitsrechts (Schneider 2018, § 18 Rn. 2; Preis 2019, § 611a BGB Rn. 3). So versteht man unter Arbeitsrecht das Recht der abhängigen Arbeit, was der geschichtlichen Entwicklung entspricht, die an die Arbeiterbewegung anknüpft und aufgreift, dass sich die sozialen Tatbestände der abhängigen von denen der nichtabhängigen Arbeit unterscheiden (Sinzheimer 1927, S. 4). Spätestens seit den 1920er-Jahren wird der Arbeitnehmer als Person definiert, die aufgrund eines privatrechtlichen Vertrages im Dienste eines anderen zur Arbeit verpflichtet ist (Schneider 2018, § 18 Rn. 8; Hueck und Nipperdey 1928, S. 33; BAG 1978, 2014a). Wichtigstes Kriterium zur Unterscheidung von Arbeits- zu sonstigen Rechtsverhältnissen ist die persönliche Abhängigkeit des zur Dienstleistung Verpflichteten, die sich in der Unselbstständigkeit der Dienstleistung ausdrückt (Junker 2019, § 2 Rn. 96). Kriterien für die fehlende Unselbstständigkeit sind insbes. die Weisungsunterworfenheit und die Eingliederung in den Betrieb (Zöllner et al. 2015, S. 39 Rn. 7; Vogelsang 2017, Rn. 22 ff.). Das Merkmal der Weisungsgebundenheit bezieht sich auf das Weisungsrecht hinsichtlich Inhalt, Durchführung, Zeit, Dauer und Ort der Tätigkeit (BAG 2008). Arbeitnehmer ist damit jemand, der nicht eigenverantwortlich mit Gestaltungsoptionen, sondern fremdbestimmt tätig wird. Darüber hinaus wird durch die Eingliederung in eine Arbeitsorganisation aus einem Dienstleister ein Arbeitnehmer. Beide Annahmen sind in den Arbeits- und Produktionsbedingungen der Industrialisierung angelegt und haben nicht denjenigen im Blick, der mit Gestaltungsfreiheit in Projekten tätig wird, sich aber trotzdem als Arbeitnehmer versteht.

2.2 Bipolarität des Arbeitsverhältnisses

Das Arbeitsverhältnis ist ein Rechtsverhältnis zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer. Wer Arbeitgeber ist, bestimmt sich aufgrund des Rechtsverhältnisses und nicht

aufgrund des Umstandes, wem die Tätigkeit zugutekommt. So wird ein Unternehmen nicht zum Arbeitgeber, weil es Fremdfirmen beauftragt und diese ihrerseits Arbeitnehmer für die Erfüllung des Fremdfirmeneinsatzes einsetzen. Arbeitgeber ist allein das Fremdunternehmen. Auch i. R. e. Konzerns ist nicht etwa die Gesamtheit der Konzernunternehmen Arbeitgeber, sondern das einzelne Unternehmen ist der jeweilige Vertragspartner des Arbeitnehmers. Die Ausnahme einer Aufspaltung der Arbeitgeberereignis liegt in nennenswertem Umfang lediglich bei der Arbeitnehmerüberlassung vor. Diese grundsätzliche Bipolarität des Arbeitsverhältnisses lässt sich aber nicht als Strukturprinzip durchhalten, wenn die Vernetzung der Arbeitswelten, wie etwa bei Matrixstrukturen, mehrdimensionale Arbeitsrechtsbeziehungen entstehen lässt.

2.3 Betriebsbezogenheit des Arbeitsverhältnisses

Ursprünglich gelangte der Betrieb als Organisation in das Arbeitsrecht, um den Tätigkeitsbereich einer institutionalisierten Arbeitnehmervertretung festzulegen (Richter 2018, § 24 Rn. 2 und 3). Seit den 1920er-Jahren wird er als eine Vereinigung von persönlichen, sächlichen und immateriellen Mitteln zur fortgesetzten Verfolgung eines von einem oder mehreren Rechtssubjekten gemeinsam gesetzten technischen Zweckes beschrieben (Jacobi 1926, S. 9, 1927, S. 286). In unterschiedlichen Schattierungen wird auf diesen Betriebsbegriff zurückgegriffen, wenn es um die Anwendbarkeit von arbeitsrechtlichen Vorschriften geht. So knüpft das Betriebsverfassungsrecht an den Betrieb als den Ort an, in dem ein Betriebsrat zu bilden ist (§ 1 BetrVG), und das Tarifvertragsrecht nutzt den Begriff, um bspw. Tarifkollisionen zu lösen (§ 4 Abs. 2 S. 2 TVG). Auch der Kündigungsschutz ist betriebsbezogen. So hängt die Anwendbarkeit zentraler Vorschriften des Kündigungsschutzgesetzes von der Betriebsgröße ab. Ob ein Arbeitnehmer betriebszugehörig ist, entscheidet sich nicht allein danach, ob er im Betrieb tätig ist (Richter 2018, § 24 Rn. 55; Preis 2019, § 613a BGB Rn. 9). Entscheidend ist die Eingliederung in den Betrieb. Nicht der Abschluss des Arbeitsvertrages begründet die Betriebszugehörigkeit, sondern erst die Zuweisung eines Arbeitsplatzes innerhalb der betrieblichen Organisation. Hierbei ist insbes. darauf abzustellen, ob sich der Arbeitnehmer dem Weisungsrecht der Betriebsleitung unterwirft. Zwar ist es denkbar, dass bei einem Arbeitnehmer, der sich mit seinen Tätigkeiten in mehrere Betriebe eingliedert, eine mehrfache Betriebszugehörigkeit besteht. Voraussetzung ist aber, dass die jeweiligen Arbeitsaufgaben einem Betrieb zuzuordnen sind (Richter 2018, § 24 Rn. 57).

2.4 Abgrenzbarkeit der Arbeit von sonstigen Lebensbereichen

Die Arbeit wird etwa im Arbeitszeitrecht als ausschließlich fremdnützige Tätigkeit gesehen. Insofern beginnt Arbeit und damit das Arbeitsrecht allgemein am Werkstor bzw. am Arbeitsplatz. Anfahrtszeiten sind dem Privatbereich zuzuordnen und keine Arbeitszeit i. S. d. Arbeitszeitrechts (BAG 1960). Dies mag in Ausnahmefällen

anders sein, etwa bei Außendienstmitarbeitern, die von zu Hause ihren ersten Kunden anfahren (EuGH 2015).

Das Arbeitsrecht erkennt ausdrücklich an, dass es eine Individualsphäre gibt, auf die mit arbeitsrechtlichen Mittel nicht eingewirkt werden kann. Die Gestaltung des privaten Lebensbereichs steht außerhalb der Einflussosphäre des Arbeitgebers und kann durch arbeitsvertragliche Vorgaben nur soweit eingeschränkt werden, wie sich privates Verhalten auf den betrieblichen Bereich auswirken und zu Störungen führen könnte (BAG 1994). Eine Beeinträchtigung betrieblicher Interessen durch außerdienstliches Verhalten bejaht die Rechtsprechung u. a. bei Tätlichkeiten unter Arbeitskollegen außerhalb der Dienstzeit und des Betriebes (LAG Schleswig-Holstein 2009), bei Straftaten, die die Eignung des Arbeitnehmers für die Erbringung seiner Arbeitsleistung entfallen lassen (zum Entzug der Fahrerlaubnis aufgrund privater Trunkenheitsfahrt: BAG 2009a) oder beim Verbot bestimmter Verhaltensweisen in der Freizeit (Alkoholgenuss), um die Erbringung der Arbeitsleistung (z. B. Fahrer oder Pilot) am nächsten Tag zu gewährleisten (Dörner und Vossen 2017, § 1 KSchG Rn. 329).

2.5 Zwischenergebnis

Das Arbeitsrecht bezieht sich auf einen bestimmten Typ des Leistungserbringers, den Arbeitnehmer. Gegenüber anderen Leistungserbringern ist das Arbeitsrecht eher misstrauisch, da es als Arbeitnehmerschutzrecht ein Schutzniveau bietet, das bei alternativen Rechtsverhältnissen von der Rechtsordnung nicht vorgehalten wird. Die Rechte und Pflichten im Arbeitsverhältnis sind grds. bipolar ausgestaltet. Die Begründung von Verpflichtungen außerhalb des bipolaren Arbeitsverhältnisses ist prinzipiell nicht vorgesehen. Geradezu regelhaft knüpft das Arbeitsrecht an den Betrieb als Einheit an, in der Arbeitsrecht zur Anwendung gelangt. Ausgehend vom Schutzgedanken geht das Arbeitsrecht von verschiedenen Sphären aus. Ein Eingreifen in die Privatsphäre wird nur ausnahmsweise akzeptiert, wenn sich privates Handeln reflexhaft auf das Arbeitsverhältnis auswirkt.

3 Allgemeine Herausforderungen durch die Digitalisierung der Arbeit

3.1 Änderungen betrieblicher Organisationsstrukturen zugunsten von Matrixstrukturen

Im Zuge von Industrie 4.0 und der digitalen Vernetzung festigt sich eine Entwicklung, die nicht neu ist, aber aufgrund zunehmend vernetzter Wertschöpfungsketten zentrale Bedeutung erlangen wird. Arbeitsprozesse werden im Produktions- und Dienstleistungsbereich in Richtung sog. Matrixstrukturen gestaltet. Darunter versteht man eine Arbeitsorganisation in Form eines Mehrliniensystems, das sich von den arbeitsvertraglichen Verbindungen löst (Neufeld 2012, S. 219). Im Gegensatz zum klassischen Einliniensystem mit seiner typischen Gliederung in Produktion,

Beschaffung, Vertrieb, Forschung etc., bei dem sich die Linien erst auf einer Führungsebene wieder treffen, wird beim Matrixsystem eine weitere Organisationsstruktur eingeführt, die häufig nach Produktparten gegliedert ist. Arbeitnehmer i. R. e. Matrixorganisation zählen sowohl zu einer klassischen Linie, wie etwa Produktion, aber auch zu einer Produktparte (Neufeld 2012, S. 219). Während das Einliniensystem v. a. durch die Singularität der Auftragserteilung gekennzeichnet ist, liegt die Besonderheit einer Matrixorganisation darin, dass zwei oder mehr Instanzen gleichzeitig Zugriff auf die betrieblichen Ressourcen haben, was eine Abstimmung hinsichtlich des Einsatzes erforderlich macht (Thommen und Richter 2004, Stichwort: Matrix-Organisationen). Die Aufteilung des Ressourcenzugriffs auf mehrere Instanzen betrifft auch den Faktor Arbeit. Denn die fachliche Leitungsfunktion im Hinblick auf einen Arbeitnehmer wird auf mindestens zwei voneinander unabhängige Einheiten verteilt, was dazu führen kann, dass fachliche und disziplinarische Zuständigkeiten auseinanderfallen können (Henning 2015, S. 646; Henssler 2014, S. 101). Insofern lösen sich die klassischen Hierarchieebenen zunehmend auf und das Weisungsrecht wird auf mehrere Instanzen verteilt. Dies ist nur möglich, weil eine räumliche Nähe des jeweiligen Vorgesetzten zu den betreffenden Arbeitsplätzen aufgrund der Digitalisierung und ausgebauter Kommunikationswege nicht mehr erforderlich ist. So ist es denkbar, dass ein Arbeitnehmer mit einem Konzerntochterunternehmen einen Arbeitsvertrag abschließt, die Personalabteilung sich am Standort der Konzernmutter befindet und der Arbeitnehmer wegen seiner Einbindung in die Matrixstruktur auch Weisungen eines Projektmanagers erhält, der in einem außereuropäischen Land seinen Dienstsitz hat (Henning 2015, S. 647). Das Weisungsrecht bleibt also bei einem derartigen Organisationsmodell weder im Betrieb noch im Unternehmen angesiedelt, sondern weisungsberechtigt ist jemand, der allein aufgrund eines Organisationsmodells mit dem Arbeitnehmer verbunden ist. Die Zuordnung des Weisungsrechts i. R. v. Matrixstrukturen wird zusätzlich dadurch erschwert, dass in der Praxis permanente Organisationsstrukturen allzu häufig durch temporäre Strukturen abgelöst und Arbeitnehmer zur Realisierung eines bestimmten Projekts zu Teams zusammengefasst werden. Hier spricht man teilweise von Projektifizierung (Sydow und Braun 2015, S. 232), was bedeutet, dass eine vorhandene Matrixstruktur nicht fix sein muss, sondern einem projektbedingten Wandel unterliegen kann.

3.2 Einsatz intelligenter, cyber-physischer Systeme

Die zunehmende Digitalisierung bringt es mit sich, dass die Arbeitsabläufe weitgehend durch den Einsatz intelligenter Systeme gesteuert werden. Dies führt zu einer Entkonkretisierung klassischer Arbeitgeberentscheidungen, da konkrete Personalentscheidungen, wie etwa das Festlegen von Pausenzeiten, durch intelligente Systeme vorbestimmt werden. Insofern findet eine Vorverlagerung der Arbeitgeber- auf die unternehmerische Entscheidung statt, bestimmte intelligente Systeme zum Einsatz zu bringen. Wenn Maschinen, Produkte und Werkzeuge selbstständig mitei-

einander kommunizieren und in einem cyber-physischen Umfeld eigenständig Informationen austauschen, Aktionen auslösen und sich gegenseitig selbstständig steuern (Tschohl 2014, S. 219; Neufeld 2015, S. 504), ist die Entscheidung über einen Personaleinsatz letztlich nicht mehr bei einem menschlichen Entscheidungsträger zu verorten, sondern bei dem cyber-physischen System. Dies ist das Bild der sog. Smart Factory, die auf ein selbstkonfigurierendes oder -organisierendes Produktionssystem ausgerichtet ist. Bei einem solchen Loslösen von Entscheidungsprozessen von einzelnen Entscheidungsträgern stellt sich die Frage, was noch von der betrieblichen Mitbestimmung bleibt, wenn es zu derart automatisierten, selbststeuernden Prozessen kommt. Jedenfalls wird die Einführung derartiger Technologien nur unter Wahrung der Mitbestimmungsrechte der betrieblichen Interessenvertretungen erfolgen können.

3.3 Auflösung starrer Arbeitszeiten

Die Digitalisierung der Arbeitsverhältnisse wird dazu führen, dass Arbeitsleistungen zunehmend orts- und zeitflexibel erbracht werden können und auch müssen. Wo der Arbeitnehmer seinen konkreten Arbeitsplatz hat, ist angesichts moderner Kommunikationsmittel vielfach zweitrangig. Dies betrifft insbes. Arbeitnehmer in Spezialistenberufen (Steffan 2015, S. 1412). Zudem sind tradierte Arbeitszeitmodelle mit Industrie 4.0 kaum noch in Einklang zu bringen. Gerade bei Produktionen, die auf eine enge Verzahnung zwischen Lieferanten, Produzenten und Abnehmern sowie die Produktion kleiner Stückzahlen ausgerichtet sind, sollten Arbeitszeiten flexibel an die Erfüllung des Arbeitsauftrags angepasst werden (Zander 2015, S. 24–25). Es besteht weitgehende Einigkeit, dass die digitalisierte Arbeit unter den Bedingungen von Industrie 4.0 zu kurzfristigeren Arbeitseinsätzen führen wird. Beispiele sind die Fernwartung von Rechnern und Produktionsmaschinen zu jeder Zeit oder die Teilnahme an Telefonkonferenzen mit internationalen Partnern, die sich nicht in ein klassisches, durch den Schichtbetrieb vorgegebenes Zeitkorsett einfügen lassen. Gerade die Zusammenarbeit in Projekten, bei denen die Mitarbeiter nicht auf einen Standort konzentriert sind, erfordert flexible Arbeitszeiten. Dass dies auch für Arbeitnehmer Chancen zur individuellen Gestaltung ihrer Arbeitszeit birgt, wird im Grünbuch des BMAS hervorgehoben (BMAS 2015, S. 48) und erscheint als unabdingbar für die sozial verträgliche Einführung derartiger flexibler Arbeitszeitmodelle. Für die rechtliche Umsetzung solcher Modelle finden sich bisher Vorschläge, die von der klassischen Arbeit auf Abruf, also der kapazitätsorientierten, variablen Arbeitszeit i. S. d. § 12 TzBfG (Ludwig 2012, S. 514), über den Einsatz von schon gebräuchlichen Rahmenverträgen, bei denen die konkrete Arbeitsverpflichtung erst aufgrund eines weiteren befristeten Arbeitsvertrages entsteht (BAG 2012; Preis 2019, § 611a BGB Rn. 21), bis hin zu sog. Null-Stunden-Verträgen reichen, bei denen versucht wird, den konkreten Arbeitseinsatz allein dem Weisungsrecht des Arbeitsgebers zu unterstellen (Preis 2015, S. 244; Forst 2014, S. 999; hierzu auch: BAG 2014b).

3.4 Vermischung des Privat- und Dienstbereichs

Flexibilität bei der Arbeitszeit bedeutet auch, dass das, was noch heute als alternierende Telearbeit bezeichnet wird (Ricken 2018, § 7 Rn. 9), zunehmend Bestandteil normaler Arbeitsverhältnisse wird. Wenn aufgrund der Digitalisierung und moderner Kommunikationsmittel der Arbeitsort des Arbeitnehmers letztlich keine Rolle spielt, besteht kein Grund, die Arbeitsleistung nur an einem bestimmten betrieblichen Standort erfüllen zu können. Daher ist es, wie heute schon vielfach in der Praxis gelebt, erforderlich, dass Arbeitnehmer Arbeitszeitkontingente haben, innerhalb derer sie etwa von zu Hause ihre Arbeitsleistung erbringen können. Nur so erscheint es überhaupt denkbar, den Anforderungen der Smart-Factory zu begegnen. Mit der Telearbeit ist auch der Trend des Einsatzes privater Informationstechnologie für betriebliche Zwecke (Stichwort: bring your own device) verbunden, der sich aufgrund der Arbeitsbedingungen von Industrie 4.0 verstärken wird. Die Harmonisierung von privatem Lebensbereich und Arbeit kann nur gelingen, wenn die Trennung zwischen privater und dienstlicher Hardware relativiert wird. Dies wirft rechtliche Probleme auf, z. B. wie weit der Arbeitgeber auf private Kommunikationsmittel des Arbeitnehmers Zugriff nehmen kann (Wisskirchen und Schiller 2015, S. 1163; Göpfert und Wilke 2012, S. 765).

3.5 Zwischenergebnis

Die Arbeitsbedingungen unter Industrie 4.0 geraten in einen Konflikt zu traditionellen arbeitsrechtlichen Vorstellungen. Arbeitsrecht ist Arbeitsschutzrecht und soll diese Funktion auch unter den Nutzungsbedingungen von Industrie 4.0 wahren. Auf der anderen Seite tragen die Produktionsbedingungen einen enormen Flexibilisierungsbedarf an das Arbeitsrecht heran. Dieser Bedarf ist aber nicht als Bedrohung für arbeitsrechtliche Errungenschaften zu verstehen, sondern vielmehr als Chance, um auch dem gewachsenen Flexibilisierungsbedarf der Arbeitnehmer im Hinblick auf eine Stärkung der Work-Life-Balance und der besseren Vereinbarkeit von Familie und Beruf gerecht zu werden. Angesichts der Herausforderungen kristallisiert sich eine ganze Reihe von Problemfeldern heraus, für die zu prüfen ist, ob das geltende Arbeitsrecht mit weiteren Flexibilisierungsmöglichkeiten auszustatten ist, ohne die notwendige Schutzfunktion aufzugeben. Dies betrifft die Frage, ob der Arbeitnehmerbegriff und seine Ausrichtung auf einen konkreten Arbeitgeber in den Arbeitswelten von Industrie 4.0 Bestand haben kann. Weiter stellt sich das Problem, ob das geltende Arbeitszeitrecht noch zeitgemäß ist und wie die Individualsphäre von Arbeitnehmern in einer digitalisierten Arbeitswelt, die auf eine stärkere Verfügbarkeit der Arbeitnehmer ausgerichtet ist, gewahrt werden kann. Letztlich ist der Umgang des Kollektivarbeitsrechts, also des Tarifvertrags- und Betriebsverfassungsrechts, mit den veränderten Rahmenbedingungen zu klären.

4 Besondere arbeitsrechtliche Einzelfragen

Im Zusammenhang mit der Digitalisierung und der Entwicklung zu Industrie 4.0 stellt sich eine Vielzahl von Einzelfragen. Hier sollen nur einige ausgewählte Problemfelder aufgegriffen werden, um einzuschätzen, inwiefern das geltende Arbeitsrecht den neuen Herausforderungen gewachsen ist. Dies betrifft neben der Frage, ob der bipolare Ansatz des Arbeitsrechts mit seinem traditionellen Arbeitnehmerbegriff noch zeitgemäß ist, die Problembereiche des Arbeitszeitrechts, des Schutzes der Individualsphäre sowie des Tarif- und Betriebsverfassungsrechts.

4.1 Arbeitnehmer 4.0

4.1.1 Arbeitnehmerüberlassung und Matrixstrukturen

Grundlegend ist in diesem Zusammenhang die Frage, ob sich die Rechtsverhältnisse der unter Industrie 4.0 Tätigen noch mit dem sog. Normalarbeitsverhältnis erfassen lassen, das maßgeblich auf die Weisungsabhängigkeit gegenüber einem Arbeitgeber abstellt. Wird das Weisungsrecht aufgespalten, ist schnell der Bereich der Arbeitnehmerüberlassung betroffen. Eine Aufspaltung findet man insbes. bei Projektarbeiten und der Einbindung in Matrixstrukturen. Insofern ist fraglich, ob die durch Industrie 4.0 bedingte Organisation in den Betrieben dazu führen kann, dass rechtlich Arbeitnehmerüberlassungsverhältnisse begründet werden, die nur unter engen Voraussetzungen von der Rechtsordnung akzeptiert werden. Bei der Abgrenzung von Arbeitnehmerüberlassung und Arbeiten in Matrixstrukturen bestehen erhebliche rechtliche Unsicherheiten (Henning 2015, S. 646), die daraus resultieren, dass ggf. Personen weisungsberechtigt sind, die innerhalb der Matrix stehen, aber nicht Vertragsarbeitnehmer des Unternehmens des Arbeitnehmers sind. Die Regelungen zur Arbeitnehmerüberlassung finden sich weitgehend im AÜG. Grundsätzlich bedarf die Arbeitnehmerüberlassung durch ein Unternehmen einer staatlichen Erlaubnis (§ 1 AÜG). Bei Arbeitnehmerüberlassung innerhalb konzernangehöriger Unternehmen sind aber Privilegierungen vorgesehen. Dies gilt jedoch nur, wenn die Arbeitnehmer, die einem anderen Unternehmen innerhalb des Konzerns überlassen werden sollen, nicht zum Zweck der Überlassung eingestellt und beschäftigt werden. Entscheidend ist also, ob man in der Beschäftigung in Matrixstrukturen eine Spielart der Arbeitnehmerüberlassung sieht, was im Schrifttum zum Teil verneint wird (Kort 2013, S. 1320; Henning 2015, S. 646; Neufeld und Michels 2012, S. 54). Es wird argumentiert, dass sich die Übertragung des fachlichen Weisungsrechts bei Matrixstrukturen von der Arbeitnehmerüberlassung schon dadurch unterscheidet, dass der Verleiher bei der Arbeitnehmerüberlassung ausschließlich die Betriebszwecke des Entleihers fördern wolle. Verfolge der Vertragsarbeitgeber bei der Etablierung von Matrixstrukturen auch eigene Betriebszwecke, liege keine Arbeitnehmerüberlassung vor (Kort 2013, S. 1320). Diese Differenzierung nach Fremd- und Eigennützigkeit der Überlassung findet jedoch in den gesetzlichen Regelungen keine Rechtfertigung. Bestätigt wird dies durch die zum 01.04.2017 neu eingefügte Legaldefinition der

Arbeitnehmerüberlassung. Demnach werden Arbeitnehmer zur Arbeitsleistung überlassen, wenn sie in die Arbeitsorganisation des Entleihers eingegliedert sind und seinen Weisungen unterliegen. Zwar hatte der Gesetzgeber bei seiner restriktiven Ausgestaltung der Arbeitnehmerüberlassung ursprünglich keine Matrixstrukturen vor Augen. Die Tätigkeit in Matrixstrukturen erfüllt aber – wenn damit eine Aufspaltung des Weisungsrechts dergestalt verbunden ist, dass dem Arbeitnehmer auch außerhalb des Vertragsarbeitgebers Weisungen erteilt werden können – den Tatbestand des AÜG. Hier ist zu überlegen, ob i. R. e. zukünftigen weiteren Novellierung eine Ausnahmegvorschrift aufgenommen wird, wonach Arbeiten in Matrixstrukturen und Projekten vom Anwendungsbereich des AÜG ausgenommen werden, sofern der Vertragsarbeitgeber des Arbeitnehmers nicht vollständig auf sein Weisungsrecht in disziplinarischer und fachlicher Hinsicht verzichtet.

4.1.2 Arbeitnehmer und Crowdfunding

Auch unter den Arbeitsbedingungen von Industrie 4.0 stellt sich das Problem der Abgrenzbarkeit von Arbeitnehmern und freiberuflichen Dienstleistern. Gerade in der jüngsten Diskussion im Zusammenhang mit dem Gesetzgebungsverfahren zur Neufassung des AÜG hat sich nochmals gezeigt, wie schwierig dies ist. Ursprünglich hatte das BMAS vorgeschlagen, einen Kriterienkatalog ins Gesetz aufzunehmen, um so Scheinselbstständigkeit besser erfassen zu können. Dies wurde stark kritisiert. Denn IT-Fachkräften, selbstständigen Trainern, Ingenieuren, die als externe Experten Produktionsabläufe korrigieren, oder auch Interimsmanagern drohte, gegen ihren Willen nur noch als Arbeitnehmer tätig werden zu dürfen (Gertz 2016, S. 16). In der nun vorliegenden Gesetzesfassung wird auf einen Kriterienkatalog verzichtet und stattdessen der durch die Rechtsprechung entwickelte Arbeitnehmerbegriff zum Bestandteil der gesetzlichen Regelung gemacht. Auf dieser Grundlage ist in jedem Einzelfall zu klären, ob bestimmte Aufgaben, etwa IT-Leistungen, auf werkvertraglicher Ebene ausgegliedert werden können. Hier wird es darauf ankommen, ob die Voraussetzungen eines Arbeitsverhältnisses, freien Dienstvertrages oder Werkvertrages vorliegen. Entscheidend wird sein, was geschuldet ist und ob die Ausführenden einem qualifizierten Weisungsrecht unterliegen. Diese Problematik stellt sich in der vernetzten Wirtschaft auch für das sog. Crowdfunding (Däubler und Klebe 2015, S. 1032 ff.). Dabei schreiben Unternehmen einzelne Projekte über webbasierte Plattformen aus und eingetragene Nutzer der Plattform können ihre Arbeitskraft anbieten, um die Arbeitsaufgabe ortsunabhängig zu erledigen (Günther und Böglmüller 2015, S. 1029; Däubler 2015, S. 31). Eine „Eingliederung“ in den Betrieb findet nur insoweit statt, als Crowdforkern die Möglichkeit eingeräumt wird, auf Datenbestände zuzugreifen. Wie und wann diese Dienstleister oder Werkunternehmer tätig werden, ist ihnen überlassen. Insofern spricht viel dafür, dass es sich bei einem externen Crowdfunding (Däubler und Klebe 2015, S. 1034; Neufeld 2015, S. 506) nicht um Arbeitsverhältnisse oder arbeitnehmerähnliche Verhältnisse handelt (Röller 2019, Rn. 2; Günther und Böglmüller 2015, S. 1030), wobei dies von den konkreten Arbeitsbedingungen abhängt. Sofern von Seiten der Unternehmen Crowdforkern Vorgaben gemacht werden, die mit denen von Arbeitsverhältnissen vergleichbar sind, kann der Crowdforker u. U. als Arbeitnehmer einzuordnen sein.

Dies ist aber kein Spezifikum des Crowdfunding, sondern entspricht der üblichen Problematik der Einordnung eines Dienstleisters als Arbeitnehmer. Welches Recht auf das Verhältnis anzuwenden ist, richtet sich nach dem internationalen und europäischen Privatrecht und der Einordnung des Crowdworkers als Arbeitnehmer oder Dienstleister. In Betracht kommt etwa eine Rechtswahl in den AGB der Plattform oder des Unternehmens oder der Anwendung des Rechts des Arbeitsortes bzw. des gewöhnlichen Aufenthaltsortes des Crowdworkers (Däubler und Klebe 2015, S. 1038–1039). Inwieweit aber derartige Gestaltungen zulässig sind, muss für den jeweiligen Einzelfall geklärt werden.

4.2 Arbeitszeitrechtliche Rahmenbedingungen

Im Bereich der Arbeitszeit sind im Hinblick auf Industrie 4.0 vor allem die Vorgaben des öffentlich-rechtlichen Arbeitszeitschutzes, wie er insbesondere im Arbeitszeitgesetz (ArbZG) kodifiziert ist, zu überdenken.

4.2.1 Arbeitszeit (Was ist „Arbeit?“)

Zunächst stellt sich die Frage, wie Arbeit i. S. d. ArbZG unter Berücksichtigung der Arbeitsbedingungen unter Industrie 4.0 zu fassen ist.

Ausgerichtet ist das Arbeitszeitrecht, insbes. unter Rückgriff auf die europäische Arbeitszeitrichtlinie (RL 2003/88/EG), auf eine Verbesserung des Schutzes der Sicherheit und der Gesundheit der Arbeitnehmer, vgl. § 1 Nr. 1 ArbZG. Vor diesem Hintergrund dient das Arbeitszeitrecht nicht so sehr der Sicherung von Freizeit-Autonomie, sondern dem Schutz von Arbeitssicherheit und Gesundheit. Insofern soll auch das Arbeitszeitrecht gegenüber Selbstüberforderung oder auch Selbstausbeutung schützen, selbst wenn diese sich für den Einzelnen als Ausgestaltung seines privaten Lebensplans darstellt (Neumann und Biebl 2012, § 1 Rn. 3). In diesem Zusammenhang geht es insbes. darum, ob auch kurze, häufig selbstbestimmte Unterbrechungen der Freizeit, um kurzzeitig berufliche Dinge zu erledigen (Führen von Telefonaten oder E-Mail-Verkehr außerhalb der gewöhnlichen Arbeitszeit mit Vorgesetzten, Arbeitskollegen oder Kunden), als Arbeit i. S. d. Arbeitszeitrechtes zu werten sind. Dies ist nach wohl herrschender Auffassung des Schrifttums der Fall. Begründet wird dies damit, dass es nur zwei Kategorien, Arbeitszeit und Ruhezeit, und kein Dazwischen gebe, sodass eine solche Freizeitarbeit als Arbeitszeit eingeordnet werden müsse (Anzinger und Koberski 2014, § 5 Rn. 3a, 3b, 13–14; Baeck und Deutsch 2014, § 2 Rn. 14; Bissels und Wisskirchen 2010, S. 2053–2054; Neumann und Biebl 2012, § 7 Rn. 13b; Schlegel 2014, S. 18).

4.2.2 Höchstarbeitszeiten

Probleme ergeben sich etwa bei der Höchstarbeitszeit. § 3 ArbZG bestimmt eine arbeitstagbezogene Höchstarbeitszeit. Nach § 3 Satz 1 ArbZG darf die tägliche Arbeitszeit der Arbeitnehmer 8 Stunden nicht überschreiten. Allerdings kann sie gemäß § 3 Satz 2 ArbZG auf bis zu 10 Stunden verlängert werden, sofern innerhalb von 6 Kalendermonaten bzw. 24 Wochen die Arbeitszeit im Durchschnitt 8 Stunden

werktäglich nicht überschreitet. Ob diese Ausnahmen im Vorhinein festgelegt werden müssen, ist bisher nicht hinreichend geklärt (Wank 2019, § 3 ArbZG Rn. 9 m. w. N.). Schon der Gesetzeswortlaut spricht allerdings dafür, dass der Ausgleich nicht vorher bestimmt werden muss. Es kommt lediglich darauf an, dass innerhalb des Zeitraumes von einem halben Jahr der Durchschnitt von 8 Stunden pro Arbeitstag nicht überschritten werden darf (Neumann und Biebl 2012, § 3 Rn. 9; Baeck und Deutsch 2014, § 3 Rn. 34 ff.). Insofern bietet bereits das geltende Arbeitszeitrecht ein gewisses Flexibilisierungspotenzial (Witschen 2018, S. 144). Man kann aber zu Recht fragen, ob dieses angesichts der Herausforderungen, die die zunehmende Vernetzung der Arbeitswelt stellt, noch ausreichend ist. So ist es im Falle eines Arbeitnehmers, der bereits 9 Stunden gearbeitet hat und in den Abendstunden noch an einer Telefonkonferenz mit ausländischen Partnern teilnehmen muss, einerlei, welchen Flexibilisierungsbedarf das Arbeitszeitgesetz vorsieht. Dauert die Telefonkonferenz länger als 60 Minuten, muss sich der deutsche Arbeitnehmer aus dieser Telefonkonferenz verabschieden. Schließlich beträgt die maximale Höchstarbeitszeit nach dem ArbZG abgesehen von den Ausnahmen für wenige Branchen maximal 10 Stunden. Der Arbeitgeber, der auch nur fahrlässig seinen Arbeitnehmer über diese Höchstgrenze arbeiten lässt, handelt ordnungswidrig, was wiederum bedeutet, dass der Arbeitgeber von seinen Arbeitnehmern die Aufzeichnung solcher „Arbeitszeiten“ verlangen muss, wenn er dem Fahrlässigkeitsvorwurf entgehen will.

Die Arbeitszeitrichtlinie sieht weit größere Flexibilisierungsspielräume für die Höchstarbeitszeit vor als das deutsche Arbeitszeitrecht. In Art. 3 RL 2003/88/EG wird die tägliche Höchstarbeitszeit lediglich dadurch bestimmt, dass jedem Arbeitnehmer pro 24-Stunden-Zeitraum eine Mindestruhezeit von 11 zusammenhängenden Stunden zustehen muss. Eine darüber hinausgehende tägliche Höchstarbeitszeit ist nicht festgelegt. Vielmehr enthält die Richtlinie Vorgaben für die wöchentliche Höchstarbeitszeit (für die Einführung einer wöchentlichen Höchstarbeitszeit: BDA 2015, S. 3). Gemäß Art. 6 RL 2003/88/EG haben die Mitgliedstaaten Maßnahmen zu treffen, nach denen die durchschnittliche Arbeitszeit pro Siebentageszeitraum 48 Stunden einschließlich der Überstunden nicht überschreitet. Das heißt, nach den Vorgaben der Arbeitszeitrichtlinie kann Mehrarbeit an einem Tag durch eine Arbeitszeitreduzierung an einem anderen Tag der Woche wieder ausgeglichen werden. Ob und inwieweit die Mitgliedstaaten von dieser Ermächtigung Gebrauch machen, bedarf allerdings der Regelung durch Rechtsnormen (BVerwG 2015, Rn. 59). Jeder Mitgliedstaat kann innerhalb der Rahmenvorgaben der Richtlinie eigene Arbeitszeitregelungen schaffen. Wenn Ziel der Richtlinie und des deutschen ArbZG die Sicherheit und der Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer ist, liegt bei Vergleich der Höchstarbeitszeiten die Frage nahe, ob die Gesundheit von Arbeitnehmern und die Arbeitssicherheit in Zusammenhang mit der Begrenzung von Arbeitszeit signifikant anders ist als in anderen europäischen Ländern. Der deutsche Gesetzgeber hat ausdrücklich geregelt, dass mit dem ArbZG die Rahmenbedingungen für flexible Arbeitszeiten verbessert werden sollten. Bei Arbeitsplätzen, bei denen eine Flexibilisierung sowohl im Interesse der Arbeitgeber als auch gerade im Interesse der Arbeitnehmer notwendig ist, ist der Gesetzgeber aufgerufen, seine Zielvorgabe, die er in § 1 ArbZG vor mehr als 20 Jahren niedergelegt hat, ernst zu

nehmen und Flexibilisierungsmöglichkeiten zu schaffen. Hierbei dürfte es angezeigt sein, es im Wesentlichen den Tarifvertrags-, v. a. aber den Betriebspartnern zu ermöglichen, Arbeitszeiten zu flexibilisieren, um dort, wo es sozial vertretbar und insbes. auch Wunsch der Arbeitnehmer ist, von dieser Option Gebrauch zu machen (Steffan 2015, S. 1415).

4.2.3 Ruhezeiten/-pausen

Eine weitere Hausforderung besteht darin, dass Arbeitnehmer nach Beendigung der täglichen Arbeitszeit eine ununterbrochene Ruhezeit von mindestens 11 Stunden haben müssen (§ 5 Abs. 1 ArbZG). Wird die Ruhezeit durch Arbeit unterbrochen, muss nach Beendigung der Arbeit eine weitere Ruhezeit von 11 Stunden eingehalten werden (Wank 2019, § 5 ArbZG Rn. 4; Schliemann 2013, § 5 Rn. 10). Nimmt man den Wortlaut der Vorschrift ernst, bedeutet dies, dass nur eine kurzzeitige Unterbrechung der Ruhezeit durch Arbeit eine neue Ruhezeit beginnen lässt. Der Arbeitnehmer, der um 22:00 Uhr noch kurz sein dienstliches E-Mail-Postfach durchsieht, dürfte also vor 9:00 Uhr morgens nicht mit weiteren Arbeitsleistungen betraut werden. Im Schrifttum finden sich hier Ansätze, wonach eine allenfalls geringfügige Unterbrechung der Ruhezeit durch eine nicht nennenswerte Arbeitsleistung nicht als Arbeit anzusehen sei (Anzinger und Koberski 2014, § 5 Rn. 13; Baeck und Deutsch 2014, § 5 Rn. 14; Bissels und Wisskirchen 2010, S. 2054; Wirtz 2014, S. 1401). Der EuGH hat allerdings immer wieder erkennen lassen, dass er die Vorgaben der Richtlinie eng versteht. Insofern wird die Vorgabe von 11 zusammenhängenden Stunden für eine Ruhezeit wohl so ausgelegt werden müssen, dass ein zeitlicher Zusammenhang zwischen den 11 Stunden, die die Ruhezeit umfasst, vorhanden sein muss und selbst geringfügige Arbeit diesen Zusammenhang durchbrechen würde (so im Ergebnis auch Wank 2014, S. 289; Kohte 2015, S. 1423; Witschen 2018, S. 197). Es stellt sich dann wieder die Frage, ob es sich bei den Inanspruchnahmen außerhalb der eigentlichen Arbeitszeit um Arbeit handelt. Letztlich hilft an dieser Stelle nur, die nationalen und europarechtlichen Regelungen an die Wirklichkeit anzupassen. Es geht gerade nicht darum, eine Verfügbarkeit der Arbeitnehmer allein im Interesse der Arbeitgeberseite zu befördern, sondern auch darum, die autonome Entscheidung des Arbeitnehmers, ob er während seiner Ruhezeit tätig wird, anzuerkennen.

Probleme ergeben sich auch im Hinblick auf Ruhepausen. Ein Szenario der Arbeitsbedingungen unter Industrie 4.0 ist, dass die Produktionsvorgänge teilweise fremd gesteuert werden, indem die Produktion automatisiert vom Abnehmer beim Zulieferer angestoßen wird. Hier mag es sein, dass zeitliche Rahmenbedingungen den automatisierten Prozessen vorgegeben werden können. Innerhalb dieser Rahmenbedingungen werden jedoch die Abnehmer von ihren Zulieferern berechtigterweise eine gewisse Flexibilität fordern. Das deutsche Arbeitszeitrecht verlangt nach § 4 Satz 1 ArbZG im Voraus feststehende Ruhepausen. Auch hier ist der deutsche Gesetzgeber über die europarechtliche Vorgabe des Art. 4 RL 2003/88/EG hinausgegangen, der lediglich vorsieht, dass jedem Arbeitnehmer während einer täglichen Arbeitszeit von mehr als 6 Stunden eine Ruhepause zu gewähren ist. Kennzeichnend für die Ruhepause ist, dass der Arbeitnehmer sich nicht zur Arbeitsleistung bereit-

zuhalten hat, sondern frei verfügen kann, wie und wo er die Pause verbringen will (BAG 1992; Neumann und Biebl 2012, § 4 Rn. 2). Liegt eine nach der nationalen Regelung erforderliche Festlegung im Voraus nicht vor, handelt es sich schon begrifflich nicht um eine Ruhepause, da der Arbeitnehmer jederzeit damit rechnen muss, durch den Arbeitgeber zur Arbeit und damit zur Beendigung seiner Ruhepause aufgefordert zu werden. Im Hinblick auf den Zeitpunkt, wann eine Festlegung der Ruhepausen spätestens zu erfolgen hat, hat das BAG klargestellt, dass keine Festlegung von Lage und Dauer der gesetzlichen Pause vor Beginn der täglichen Arbeitszeit notwendig sei (BAG 2015a, Rn. 27; so auch schon BAG 2009b, Rn. 47, 2003, zu II. 3. c); Baeck und Deutsch 2014, § 4 Rn. 24; Schliemann 2013, § 4 Rn. 19), da sich dies weder aus dem Gesetz noch aus der Gesetzesbegründung (BT-Drs. 12/5888, S. 24) ergebe (BAG 2015a). Gleichwohl bedeutet die Vorgabe von im Voraus feststehenden Ruhepausen, dass es nach dem deutschen Arbeitszeitrecht keine spontan gewährten Ruhepausen geben kann (offen gelassen in BAG 2015b). Im Hinblick auf den Zweck der Ruhepause wird man verlangen müssen, dass diese so rechtzeitig bestimmt wird, dass sich der Arbeitnehmer darauf einstellen kann (Kock 2019, § 4 ArbZG Rn. 4).

4.3 Schutz der Individualsphäre

4.3.1 Beschäftigtendatenschutz

Ein wichtiger Punkt bei der Digitalisierung der Arbeitswelt ist der Datenschutz. Zentrale Regelungen fanden sich nach alter Rechtslage in § 4 Bundesdatenschutzgesetz (BDSG). Dort war vorgesehen, dass die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten nur zulässig ist, soweit die Normen des BDSG oder andere Rechtsvorschriften dies erlauben oder anordnen oder der Betroffene einwilligt. Somit galt ein Verbot mit Erlaubnisvorbehalt (Gola und Heckmann 2019, §. 26 Rn. 3). Dieser Grundsatz gilt nach neuer Rechtslage fort. Nachdem Ende 2015 die politische Entscheidung über die inhaltliche Ausgestaltung der EU-Datenschutz-Grundverordnung gefallen ist (Gola und Kluge 2016, S. 691), gilt diese seit dem 25.05.2018 verbindlich, insbesondere gem. Art. 288 Abs. 2 AEUV unmittelbar, also ohne vorherigen Umsetzungsakt. Damit unterscheidet sie sich in ihrer Wirkungsweise ganz fundamental von der bisherigen, gem. Art. 94 Abs. 1 DS-GVO zum 25.05.2018 aufgehobenen Datenschutz-RL 95/46/EG. Insbesondere werden durch die unmittelbare Geltung der DS-GVO Umsetzungsdivergenzen, wie sie bisher bestanden (vgl. insoweit Erwägungsgrund 9 der DS-GVO), vermieden, so dass die DS-GVO zu einer weitgehenden Harmonisierung des Datenschutzes in der EU führt.

Die DS-GVO ist ähnlich strukturiert wie das BDSG (Sörup und Marquardt 2016, S. 103), dessen Neufassung ebenfalls im Mai 2018 in Kraft trat. Auch die DS-GVO ist als Verbot mit Erlaubnisvorbehalt ausgestaltet und sieht in Art. 6 generalklauselartige Erlaubnistatbestände vor, die zu einer gewissen Rechtsunsicherheit führen können (Franzen 2014, S. 200; Lembke 2018, Art. 88 DS-GVO, Rn. 1). Hervorzuheben ist auch Art. 5 DS-GVO, der die „fundamentalen Grundsätze für die Verarbeitung personenbezogener Daten“ aufstellt (Plath 2018a, Rn. 1). So hat etwa das

bisher ungeschriebene Transparenzprinzip in Art. 5 Abs. 1 Buchst. a) DS-GVO Aufnahme gefunden (Jaspers et al. 2018, Art. 5 DS-GVO Rn. 8). Die DS-GVO unterscheidet im Unterschied zum BDSG a.F. nicht länger nach Erhebung, Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten, sondern fasst in Art. 4 Nr. 2 DS-GVO sämtliche Vorgänge im Zusammenhang mit personenbezogenen Daten unter den einheitlichen Begriff der Verarbeitung. An diese Terminologie wurde auch das neue BDSG angepasst. Personenbezogene Daten sind nach Art. 4 Nr. 1 1. Hs. DS-GVO „alle Informationen, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person [...] beziehen“. Als identifizierbar wird nach Halbsatz 2 dieser Vorschrift eine natürliche Person angesehen, die direkt oder indirekt – d. h. durch Zuordnung von Merkmalen (wie etwa dem Namen), die Ausdruck der jeweiligen Identität dieser natürlichen Person sind – identifiziert werden kann. Damit unterfallen eine Vielzahl vernetzter Produktionsprozesse dem Datenschutzrecht.

Für die Datenverarbeitung im Zusammenhang mit abzuschließenden, bestehenden oder zu beendenden Beschäftigungsverhältnissen wird allerdings in Art. 88 DS-GVO den Mitgliedsstaaten das Recht eingeräumt, spezifischere Vorschriften zu erlassen. Diese Öffnungsklausel hat der deutsche Gesetzgeber mit § 26 BDSG genutzt, wenngleich überwiegend davon ausgegangen wurde, dass es keines neuen nationalen Rechts bedurfte (Plath 2018b, Rn. 3a m. w. N.). Tatsächlich hat der Gesetzgeber die Vorgängervorschrift § 32 BDSG a.F. nahezu vollständig übernommen und inhaltlich ergänzt, ohne ihn jedoch grundlegend zu überarbeiten – so sollte die bisherige Rechtslage beibehalten werden (Thüsing und Schmidt 2018, § 26 BDSG Rn. 1 f.). Beabsichtigt war, die durch § 32 BDSG a.F. erfolgte Konkretisierung und Kodifizierung der richterrechtlichen Grundsätze fortzuführen (Franzen 2019b, Rn. 1 f. m. w. N.).

Nach § 26 Abs. 1 S. 1 BDSG dürfen personenbezogene Daten eines Beschäftigten für Zwecke des Beschäftigungsverhältnisses verarbeitet werden, wenn dies für die Entscheidung über die Begründung oder nach Begründung des Beschäftigungsverhältnisses für dessen Durchführung oder Beendigung oder zur Ausübung oder Erfüllung der sich aus einem Gesetz oder einem Tarifvertrag oder einer Kollektivvereinbarung ergebenden Rechte und Pflichten der Interessenvertretung der Beschäftigten erforderlich ist. Wer Beschäftigter i. S. d. BDSG ist, regelt Abs. 8.

Die Voraussetzung der Erforderlichkeit bringt zum Ausdruck, dass das Informationsinteresse des Arbeitgebers und das Persönlichkeitsrecht des Beschäftigten im Wege der praktischen Konkordanz schonend auszugleichen sind. Erforderlich ist die Verarbeitung nur dann, wenn seitens des Arbeitgebers ein berechtigtes, billigeswertes und schutzwürdiges Interesse besteht, welches das Persönlichkeitsrecht des Arbeitnehmers überwiegt (Stamer und Kuhnke 2018, Rn. 16 f.). Allerdings sind die Anforderungen an die Erforderlichkeit nicht hoch anzusetzen, denn nach der Rechtsprechung des BAG zu § 32 BDSG a.F., die ebenso für § 26 BDSG gilt, genügt es, wenn die Daten im Verlauf des Arbeitsverhältnisses erforderlich werden können (Franzen 2019b, Rn. 9).

Im Sinne des Datenschutzrechts bleibt ein Arbeitgeber Verantwortlicher, wenn ein Arbeitnehmer, etwa an seinem mobilen Arbeitsplatz, personenbezogene Daten dienstlich nutzt (Kort 2018, S. 31). Bearbeitet ein Arbeitnehmer von zu Hause oder

unterwegs personenbezogene Daten, ist dies Datenverarbeitung, für die aber keine besonderen Erlaubnistatbestände vorliegen müssen, soweit diese im Unternehmen nach der DS-GVO oder dem BDSG erlaubt ist (Polenz 2017, Teil 13 Individueller Arbeitnehmerdatenschutz Rn. 28; ebenso (zum BDSG a.F.): Bissels und Meyer-Michaelis 2015, S. 2335). Indes hat der Arbeitgeber als Verantwortlicher den Arbeitnehmer zu verpflichten, bei der Verarbeitung den Datenschutz zu beachten, und entsprechende Maßnahmen zu treffen (näher Ricken 2018, Rn. 55). Zur Verarbeitung von Daten im Sinne des Datenschutzrechts zählt auch schon die Offenlegung durch Übermittlung, also die gezielte Weitergabe von Daten an einen Empfänger, der kein Dritter sein muss (BAG 2019). Erst Recht sind die datenschutzrechtlichen Vorgaben einschlägig, wenn personenbezogene Daten an unternehmensfremde Personen weitergegeben werden. Dies gilt grundsätzlich auch bei Weitergabe innerhalb von Konzernunternehmen (Polenz 2017, Teil 13 Individueller Arbeitnehmerdatenschutz Rn. 31). Weder die DS-GVO noch das BDSG enthalten ein ausdrückliches Konzernprivileg (Däubler 2018, § 7 Rn. 20; zum BDSG a. F. Granetzny 2014, § 16 Rn. 7). Dies ist für Arbeiten in vernetzten Systemen und bei rechtsträgerübergreifenden Arbeiten äußerst problematisch. Insofern wurde kritisiert, dass auch in der DS-GVO eine eindeutige gesetzliche Regelung fehle und man darauf angewiesen sei, aus den Erwägungsgründen ein Konzernprivileg herzuleiten (Sörup und Marquardt 2016, S. 105). Auf der anderen Seite sieht Erwägungsgrund 48 der DS-GVO ausdrücklich vor, dass Verantwortliche, die Teil einer Unternehmensgruppe sind und einer zentralen Stelle zugeordnet sind, ein berechtigtes Interesse haben können, personenbezogene Daten innerhalb der Unternehmensgruppe für interne Verwaltungszwecke, einschließlich der Verarbeitung personenbezogener Daten von Kunden und Beschäftigten, zu übermitteln. Insofern hat der Ordnungsgeber für eine Weitergabe von Daten im Konzern ein berechtigtes Interesse durchaus anerkannt (Lembke 2018, Art. 88 DS-GVO, Rn. 24; Kort 2016, S. 715).

Die Verarbeitung personenbezogener Daten ist indes auch zulässig, soweit andere Rechtsvorschriften dies erlauben. Dies ist arbeitsrechtlich von Bedeutung, da davon nach Auffassung des BAG auch (Konzern-)Betriebsvereinbarungen umfasst sind (BAG 1986, 1996; Wisskirchen und Schiller 2015, S. 1165). Dies ist in Erwägungsgrund 155, der ausdrücklich Betriebsvereinbarungen nennt, und Art. 88 Abs. 1 DS-GVO sowie § 26 Abs. 4 BDSG, der wiederum auf Art. 88 Abs. 2 DS-GVO verweist, nunmehr auch festgeschrieben. Wie schon nach alter Rechtslage können somit Betriebsvereinbarungen einen datenschutzrechtlichen Erlaubnistatbestand für die Verarbeitung von Beschäftigungsdaten bilden und i.R.d. Mindestvorgaben eigenständige Regelungen treffen (Franzen 2014, S. 201). Eine Abweichung von diesen Mindestvorgaben nach unten, also zulasten der Arbeitnehmer, ist dabei allerdings nicht zulässig (Schrey und Kielkowski 2018, S. 632).

4.3.2 Bring your own device

Ein weiterer Aspekt des Arbeitszeitrechts hängt mit einer Entwicklung zusammen, die mit dem Stichwort „bring your own device“ (BYOD) überschrieben ist. Hierunter versteht man den Einsatz privater IT des Arbeitnehmers, wie etwa Smartphone, Notebook etc., zu betrieblichen Zwecken im Unternehmen (Bussche und Schelinski

2013, Rn. 468). Ein solcher Einsatz stellt einen Trend dar, der insbes. auf den Wunsch jüngerer Arbeitnehmer zurückgeht. Viele Arbeitnehmer präferieren private und dienstliche Kommunikation einheitlich über ihr eigenes Gerät zu führen (Steffan 2015, S. 1414). Hier verschmelzen Arbeit und Freizeit und es ist zu klären, ob bereits die Nutzung eines BYOD-Gerätes Arbeitszeit ist. Dabei stellt sich die Frage, ob es ausreichend sein kann, dass allein die Nutzung des BYOD-Gerätes während der Freizeit mit der Nutzung des Gerätes während der regulären Arbeitszeit vergleichbar ist. Unter Rückgriff auf das nationale deutsche Arbeitszeitrecht wird man das verneinen können.

Das BAG hat sich bislang nur am Rande in einer Entscheidung mit der Verwendung von Dual-Use-Gegenständen beschäftigt (BAG 2013a). Dabei ging es um ein dienstliches Mobiltelefon, bei dem die Möglichkeit der privaten Nutzung durch Einsatz einer 2. SIM Karte bestand. Wegen dieser Option liege die Verwendung des Mobiltelefons auch im eigenen Interesse des Arbeitnehmers, was die ausschließliche Fremdnützigkeit und damit die Zuordnung zur Arbeitszeit ausschließe. Folglich kann von Arbeitszeit nur bei ausschließlich dienstlicher Nutzung ausgegangen werden. Diese ist nicht schon anzunehmen, wenn der Arbeitnehmer über das Gerät lediglich erreichbar ist (Wisskirchen und Schiller 2015, S. 1167). Die allein fremdnützige Tätigkeit beginnt allerdings dann, wenn der Arbeitnehmer bei der sog. Container-Lösung (dazu: Pollert 2014, S. 153) einer BYOD-Anwendung sich im dienstlichen „Bereich“ seines Mobiltelefons aufhält oder dienstliche E-Mails verarbeitet. Im Hinblick auf die arbeitszeitrechtlichen Probleme (Höchstarbeitszeit bzw. das Einhalten von Ruhezeiten) wird zwar vorgeschlagen, Nutzungs- oder Betriebsvereinbarungen abzuschließen, aus der sich die Pflicht zur Einhaltung der für das Arbeitsverhältnis geltenden gesetzlichen Arbeitszeitregelungen ergibt (Pollert 2014, S. 154; Zöll und Kielkowski 2012, S. 2630) oder technische Vorkehrungen zu treffen, die eine dienstliche Aktivität in der Freizeit verhindern (Göpfert und Wilke 2012, S. 767). Will man dem geltenden Arbeitszeitrecht gerecht werden, bleibt aber dem Arbeitgeber nichts anderes übrig, als ausdrücklich die Arbeitnehmer anzuweisen, außerhalb der eigentlichen Arbeitszeit keine dienstlichen Tätigkeiten mit dem BYOD-Gerät auszuüben. Dass dies vielfach den Wünschen von Arbeitgebern und Arbeitnehmern nicht entspricht, liegt auf der Hand. In § 7 Abs. 2 Nr. 1 ArbZG ist vorgesehen, dass – sofern der Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer durch einen entsprechenden Zeitausgleich gewährleistet wird – in einem Tarifvertrag oder aufgrund eines Tarifvertrages in einer Betriebs- oder Dienstvereinbarung eine Anpassung der Ruhezeiten bei Rufbereitschaft im Hinblick auf die Besonderheiten dieses Dienstes erfolgen kann. Kürzungen der Ruhezeit infolge von Inanspruchnahmen während dieses Dienstes können also insbes. zu anderen Zeiten ausgeglichen werden (Beispiel für eine solche Regelung: Kürzungen der Ruhezeit durch Inanspruchnahmen während der Rufbereitschaft, die mindestens die Hälfte der Ruhezeit betragen, sind unmittelbar anschließend auszugleichen. Beträgt die Inanspruchnahme während der Rufbereitschaft weniger als die Hälfte der Ruhezeit, ist ein Ausgleich zu anderer Zeit möglich, sofern dieser innerhalb der laufenden Arbeitswoche erfolgt). Die Vorschrift des § 7 Abs. 2 ArbZG könnte aber auch Vorbild für eine Regelung sein, wonach dienstliche Tätigkeiten außerhalb der sonst üblichen Arbeitszeit, die

eine zu bestimmende Bagatellgrenze nicht überschreiten, nicht als Arbeitszeit gewertet werden, sofern dies auf eine Regelung durch einen Kollektivvertrag zurückgeht.

4.3.3 Tarifrecht

Die digitale Vernetzung der Arbeitsbedingungen wird auch für das Tarifrecht eine Herausforderung darstellen. Dies gilt nicht nur, weil angesichts der häufig spärlichen arbeitsrechtlichen Regelungen und Gesetze die Tarifvertragsparteien erst die rechtlichen Bedingungen dafür schaffen, dass Arbeitsverhältnisse funktionieren. Durch die Digitalisierung und die damit einhergehenden Umstrukturierungen in den Betrieben wird die Zuordnung eines Arbeitnehmers zu einem Betrieb schwieriger. Insofern ist bereits vor Jahren kritisiert worden, dass die neuen Formen der Zusammenarbeit unter Nutzung moderner Kommunikationsmittel bisweilen nur schwer mit dem klassischen Betrieb in Einklang zu bringen sind (Reinhard 2014, S. 6). Die Betriebszugehörigkeit bestimmt häufig die Anwendbarkeit bestimmter Tarifverträge, da die Tarifvertragsparteien regelmäßig den Betrieb als die Einheit wählen, für den der jeweilige Tarifvertrag Geltung beanspruchen soll (Löwisch und Rieble 2017, § 4 Rn. 195; Franzen 2019a, § 4 TVG Rn. 11). Ob aber ein Arbeitnehmer, der zwar seinen Arbeitsplatz auf einem Betriebsgelände hat, jedoch aufgrund der digitalen Vernetzung weisungsabhängig für einen anderen Betrieb tätig wird und in diesen eingegliedert ist, unter den Geltungsbereich des Tarifvertrages fällt, der für den Betrieb gilt, wo sein Arbeitsplatz angesiedelt ist, dürfte fraglich sein. Bleibt man bei der Betriebsanknüpfung für die Bestimmung des Geltungsbereichs eines Tarifvertrages, kann das für den Arbeitnehmer zu instabilen tariflichen Verhältnissen führen, da sich seine tarifliche Anbindung mit der Veränderung der jeweiligen Arbeitsaufgabe ändern könnte. Hier könnten die Tarifvertragspartner zumindest i. R. ihrer Tarifizuständigkeit Regelungen treffen, die auch für Arbeitnehmer in vernetzten Strukturen eindeutige Zuordnungsregeln von gewisser Dauer vorsehen.

Nicht so einfach ist das Problem von Tarifikollisionen zu lösen, die der Gesetzgeber in § 4a TVG geregelt hat. Auch hier wird an den Betrieb und die Betriebszugehörigkeit angeknüpft, wenn es darum geht, bei kollidierenden Tarifverträgen innerhalb eines Betriebes festzustellen, welcher Tarifvertrag den anderen verdrängt. Dabei kommt es darauf an, welche Gewerkschaft, die einen Tarifvertrag für einen Betrieb abgeschlossen hat, die meisten in einem Arbeitsverhältnis stehenden Mitglieder im Betrieb hat. Zum Stichzeitpunkt muss nach § 4a Abs. 2 S. 2 TVG feststehen, ob ein Arbeitnehmer noch dem Betrieb zuzuordnen ist, in dem er seinem Arbeitsplatz hat, oder einem anderen Betrieb zugehörig ist. In der Praxis müsste geklärt werden, welche Aufgaben der Arbeitnehmer schwerpunktmäßig bei der Vereinbarung des letzten kollidierenden Tarifvertrags wahrgenommen hat.

4.4 Betriebsverfassung

Bereits jetzt ist abzusehen, dass die Digitalisierung und Vernetzung der Arbeit zu einer großen Herausforderung für die betriebliche Mitbestimmung wird. Hier sind es

insbes. zwei Aspekte, die für den Bereich der Betriebsverfassung m. E. Relevanz erhalten.

4.4.1 Mitbestimmung durch Betriebsvereinbarung

Dies betrifft einmal die Indienstnahme des betriebsverfassungsrechtlichen Regulationssystems zur Gestaltung von betriebs- und unternehmensindividuellen Regelungen, die erst ein vernetztes, digitalisiertes Arbeiten ermöglichen. Durch Betriebsvereinbarungen können mit verbindlicher Wirkung Fragen geregelt werden, die der zwingenden oder freiwilligen Mitbestimmung des Betriebsrats unterliegen. Im Hinblick auf die zwingende Mitbestimmung nimmt das BetrVG dem Arbeitgeber die Möglichkeit, im Wege des Weisungsrechts einseitig die Arbeitsbedingungen zu gestalten. Dies betrifft etwa Fragen der Gestaltung der Arbeitszeit, wie z. B. die Einführung variabler Arbeitszeitmodelle (BAG 2010; Salamon und Gatz 2016, S. 198), aber insbes. auch Fragen der Arbeitnehmerüberwachung (§ 87 Abs. 1 Nr. 6 BetrVG). Durch den mit der Digitalisierung und Vernetzung einhergehenden Einsatz von IT nehmen die Möglichkeiten der technischen Überwachung zu. Mitbestimmungsauslösend ist schon allein die Eignung der technischen Instrumente, Überwachungsaufgaben zu leisten (BAG 1975). Werden Werkzeuge z. B. mit RFID-Technik ausgerüstet, welche die Arbeitsabläufe effizienter macht (Anwendungsfälle beschreiben: Schmid et al. 2014, S. 547), gleichzeitig aber auch zur Messung der Arbeitsgeschwindigkeit der Arbeitnehmer eingesetzt werden kann, ist der Betriebsrat zwingend zu beteiligen (zur Überwachungseignung von RFID-Systemen: Thüsing und Forst 2014, § 12 Rn. 7 ff.). Voraussetzung ist allerdings, dass aufgrund dieser technischen Komponenten einzelne Arbeitnehmer oder eine abgrenzbare Gruppe identifizierbar sind (Clemenz 2018, § 87 BetrVG Rn. 118). Gleiches gilt auch für Werkzeug- und Warensysteme mit GPS-Ortung (Stümper 2018, § 5 Rn. 37).

Zumindest nach Auffassung der Rechtsprechung besteht auch in sozialen Angelegenheiten, die nicht der zwingenden Mitbestimmung unterfallen, eine umfassende Regelungskompetenz des Betriebsrates (BAG GS 1989), die es ermöglicht, für alle Arbeitnehmer des Betriebs verbindliche Regelungen zu schaffen. M. E. ist es unumgänglich, bei Einführung neuer Arbeitsstrukturen den Konsens mit der Arbeitnehmervertretung zu suchen, auch wenn dies aus Arbeitgebersicht bedeutet, bisweilen Kompromisse zu schließen. Schließlich ist es nur schwer vorstellbar, Arbeitsbedingungen der Industrie 4.0 ohne Beteiligung der Arbeitnehmer einführen zu wollen, da deren Qualifikation und Motivation der Industrie 4.0 geradezu systemimmanent sind.

4.4.2 Mitbestimmung und Strukturfrage

Auf der anderen Seite ist fraglich, ob das Regelungsgerüst des BetrVG für die Industrie 4.0 noch ausreichend ist, da dieses an den Betrieb anknüpft. Betrieb im betriebsverfassungsrechtlichen Sinne ist eine organisatorische Einheit, innerhalb derer der Arbeitgeber zusammen mit den von ihm beschäftigten Arbeitnehmern bestimmte arbeitstechnische Zwecke fortgesetzt verfolgt und die in der Betriebsstätte vorhandenen Betriebsmittel von einem einheitlichen Leitungsapparat gesteuert werden müssen (BAG 2009c). Dort aber, wo es an einem einheitlichen Leitungsapparat fehlt, wie das bei vernetzten Strukturen der Fall sein kann, fehlt im rechtli-

chen Sinne der Betrieb als Anknüpfungspunkt für die Betriebsverfassung (Reinhard und Kettering 2014, S. 88–89). Nicht aber jede Vernetzung löst schon den Betrieb auf. Soweit in einer organisatorischen Einheit im Hinblick auf die Leitungsmacht die wesentlichen Arbeitgeberfunktionen in sozialen und personellen Angelegenheiten konzentriert sind, ist dies für den vernetzt tätigen Arbeitnehmer der Betrieb (Witschen 2016, S. 44). Wenn aber die Leitungsmacht aufgespalten ist, ist entscheidend, ob sich die beteiligten Unternehmen zumindest stillschweigend zu einer gemeinsamen Führung hinsichtlich der wesentlichen Arbeitgeberfunktionen rechtlich verbunden haben. Hier wird es darauf ankommen, ob die Rechtsprechung bei aufgeteilten Arbeitgeberbefugnissen bereits in der Vernetzungs- bzw. Matrixabrede eine solche Führungsvereinbarung sieht (vgl. etwa für Matrixstrukturen: Witschen 2016, S. 44). Die betriebsverfassungsrechtliche Erfassung vernetzter Strukturen hängt damit nach dem geltenden Recht häufig vom jeweiligen Einzelfall ab (Henssler 2014, S. 102; Witschen 2016, S. 43).

Die unbefriedigende betriebsverfassungsrechtliche Erfassung von vernetzten Strukturen ließe sich lösen, wenn man den Betriebsparteien entsprechende Instrumente an die Hand gibt. Vorbild könnte hier die Regelung des § 3 BetrVG sein, die es unter eingeschränkten Voraussetzungen erlaubt, durch Betriebsvereinbarungen betriebsverfassungsrechtliche Strukturen zu bilden. Für die Anpassung der Betriebsratsstrukturen sieht § 3 BetrVG allerdings als vorrangiges Regelungsinstrument den Tarifvertrag vor. Der Tarifvertrag ist für diesen Zweck aber ein nicht hinreichend flexibles Instrumentarium (vgl. dazu: Rieble 2014, S. 30). Hier scheint es lohnend, entsprechend der Intention des Gesetzgebers, moderne und anpassungsfähige Betriebsratsstrukturen zu schaffen (BT-Drs. 14/5741, S. 26), diesen Tarifvorbehalt aufzuweichen (Günther und Böglmüller 2015, S. 1027) und die Tatbestände des § 3 BetrVG offener zu gestalten, um vernetzte Strukturen bzw. Matrixstrukturen betriebsverfassungsrechtlich besser und rechtssicher erfassen zu können (Grimm 2015, S. 338–339). Insofern gilt es, die Selbstorganisationsfähigkeit der Mitbestimmung auf Betriebsebene zu stärken (Ricken 2000, S. 878).

Dass die Zuordnung zu einem Betrieb im Rahmen einer Matrixstruktur auf Schwierigkeiten stößt, zeigt sich etwa im Zusammenhang mit Mitbestimmung in personellen Angelegenheiten (§ 99 BetrVG). Bei der Frage der mitbestimmungsrechtlichen Einordnung, wenn innerhalb einer Matrixstruktur ein Unternehmensexterner, der seinerseits Mitarbeiter eines Partnerunternehmens ist, innerhalb der Matrixstruktur zum Vorgesetzten unternehmensinterner Arbeitnehmer bestellt wird, führt aus Sicht der Rechtsprechung bereits die Übertragung der Personalverantwortung auf einen solchen Mitarbeiter zur Eingliederung dieses Mitarbeiters in den Betrieb, deren Belegschaft er zumindest teilweise führen soll (LAG Berlin-Brandenburg 2015). Damit tritt die Situation ein, dass die Führungskraft in ihren Stamm- sowie in den Betrieb eingegliedert ist, in dem sie i.R.d. Matrix Weisungsbefugnisse ausübt. Zumindest bei drittbezogenen Personaleinsätzen lässt die höchstgerichtliche Rechtsprechung mittlerweile für eine Einstellung i. S. d. BetrVG, die der Zustimmung des Betriebsrates des einstellenden Betriebes bedarf (§ 99 BetrVG), zu Recht eine Eingliederung in den Betrieb ausreichen (BAG 2013b). Das bedeutet aber auch, dass die Bildung von Matrixstrukturen, in denen Weisungsbeziehungen

betriebs- oder unternehmensübergreifend angelegt sind, Regelungsgegenstand der personellen Mitbestimmung sein kann. Darüber hinaus stellt sich eine Reihe von weiteren Fragen, wie z. B. die Geltung von betriebsverfassungsrechtlichen Arbeitszeitregelungen für die Führungskraft, obwohl diese ihren Arbeitsplatz nicht in dem Betrieb hat, für den die Arbeitszeitregelungen gelten. Diese Problematik erhält aufgrund der Digitalisierung der Arbeitswelt ein besonderes Konfliktpotenzial, da von einem Arbeitsplatz aus in zwei oder mehr Betrieben gearbeitet wird und letztlich Betriebsvereinbarungen mehrerer Betriebe gleichzeitig gelten (Kort 2013, S. 1324).

4.4.3 Zwischenergebnis

Angesichts der Vielgestaltigkeit der Probleme, die die Digitalisierung und Vernetzung der Produktionsbedingungen in der Industrie 4.0 mit sich bringen, erscheint es fraglich, ob die Betriebsverfassung in ihrer derzeitigen Ausgestaltung rechtssicher und praxisgerecht die vielfältigen Ausgestaltungen in den Betrieben erfassen kann (so aber grds. Witschen 2016, S. 49). Sicherlich kann die Rechtsprechung einiges bewirken, indem sie den typologischen Betriebsbegriff der Betriebsverfassung den neuen Erscheinungsformen anpasst. Grundsätzlich sollten jedoch die Möglichkeiten der Betriebsparteien gestärkt werden, da diese in der Lage wären, auf neue Herausforderungen flexibel zu reagieren, um die betriebliche Mitbestimmung zu einem zentralen Baustein bei der Einführung von Arbeitsbedingungen der Industrie 4.0 zu machen. Hierfür muss allerdings der Gesetzgeber die Weichen stellen.

5 Fazit

Die Digitalisierung der Arbeitswelt dürfte für das Arbeitsrecht sicherlich eine Herausforderung, aber keine Revolution darstellen, die das bestehende Arbeitsrecht umfassend in seinen Grundzügen in Frage stellt. Allerdings zeigt sich in einem ersten Befund, dass das arbeitsrechtliche Regelungssystem bisher wenig Anpassungspotenzial für die Anforderungen enthält, die sowohl Arbeitgeber als auch Arbeitnehmer an ein modernes Arbeitsrecht stellen, welches den Arbeitsbedingungen in einer digitalisierten Arbeitswelt und den Beschäftigungsbedingungen der Industrie 4.0 gerecht wird. An manchen Stellen wird es genügen, wenn sich das geltende Arbeitsrecht in der Ausgestaltung, die es durch die Rechtsprechung und die Rechtswissenschaft erhalten hat, im Hinblick auf die Veränderungen von Produktionsbedingungen weiterentwickelt. Dies betrifft etwa den allgemeinen Betriebsbegriff. In anderen Bereichen müssen neue Regelungen geschaffen werden, damit das Arbeitsrecht in den digitalisierten Arbeitsbedingungen kein Fremdkörper bleibt. Hier ist sicherlich auch der Gesetzgeber aufgerufen, für eine gewisse Flexibilisierungsmöglichkeit zu sorgen, indem er nicht etwa versucht, starre arbeitsrechtliche Regelungen zu schaffen, sondern den Kollektivparteien ein entsprechendes Regelungsinstrumentarium an die Hand gibt. Ein derartiger Flexibilisierungsbedarf besteht insbesondere im Bereich der Arbeitszeit. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass die Digitalisierung der Arbeitswelt nicht alle Arbeitsverhältnisse erfasst. Insofern erscheint es sinnvoll, dass der Gesetzgeber den Sozialpartnern, insbesondere den Betriebsparteien, die Aufgabe

zuweist, für eine wie auch immer zugeschnittene Produktionseinheit flexible und rechtssichere Lösungen im Interesse beider Seiten des Arbeitsverhältnisses zu schaffen.

Literatur

- Anzinger, R., & Koberski, W. (2014). *Kommentar ArbZG* (4. Aufl.). Frankfurt a. M.: Deutscher Fachverlag, Fachmedien Recht und Wirtschaft. ISBN 978-3-8005-3274-2.
- Baeck, U., & Deutsch, M. (Hrsg.). (2014). *Arbeitszeitgesetz* (3. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-63656-1.
- BAG. (1960). Urt. v. 26.08.1960 – 1 AZR 421/58. *Arbeitsrechtliche Praxis* § 611 BGB Wegezeit Nr. 2.
- BAG. (1975). Beschl. v. 09.09.1975 – 1 ABR 20/74. *Neue Juristische Wochenschrift* 1976, 261–262.
- BAG. (1978). Urt. v. 15.03.1978 – 5 AZR 819/76. *Arbeitsrechtliche Praxis* § 611 BGB Abhängigkeit Nr. 26.
- BAG. (1986). Beschl. v. 27.05.1986 – 1 ABR 48/84. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 1986, 643–650.
- BAG. (1992). Urt. v. 23.09.1992 – 4 AZR 562/91. *Der Betrieb* 1993, 1194–1195.
- BAG. (1994). Urt. v. 02.06.1994 – 2 AZR 617/93. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 1994, 1080–1083.
- BAG. (1996). Beschl. v. 20.12.1995 – 7 ABR 8/95. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 1996, 945–948.
- BAG. (2003). Beschl. v. 22.07.2003 – 1 ABR 28/02. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2004, 507–511.
- BAG. (2008). Urt. v. 13.03.2008 – 2 AZR 1037/06. *Neue juristische Wochenschrift* 2008, 2872–2874.
- BAG. (2009a). Urt. v. 10.09.2009 – 2 AZR 257/08. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2010, 220–222.
- BAG. (2009b). Urt. v. 13.10.2009 – 9 AZR 139/08. *Arbeitsrechtliche Praxis* § 2 ArbZG Nr. 4.
- BAG. (2009c). Beschl. v. 09.12.2009 – 7 ABR 38/08. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2010, 906–909.
- BAG. (2010). Beschl. v. 09. 11. 2010 – 1 ABR 75/09. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht – Rechtsprechungsreport Arbeitsrecht* 2011, 354–359.
- BAG. (2012). Urt. v. 15. 02.2012 – 10 AZR 111/11. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2012, 733–737.
- BAG. (2013a). Beschl. v. 12.11.2013 – 1 ABR 59/12. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2014, 557–561.
- BAG. (2013b). Beschl. v. 13.3.2013 – 7 ABR 69/11. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2013, 789–792.
- BAG. (2014a). Urt. v. 18.03.2014 – 9 AZR 694/12. *Arbeitsrechtliche Praxis* § 4 TzBfG Nr. 25.
- BAG. (2014b). Urt. v. 24.09.2014 – 5 AZR 1024/12. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2014, 1328–1330.
- BAG. (2015a). Urt. v. 25.02.2015 – 1 AZR 642/13. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2015, 442–446.
- BAG. (2015b). Urt. v. 25.02.2015 – 5 AZR 886/12. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2015, 494–497.
- BAG. (2019). Beschl. v. 09.04.2019 – 1 ABR 51/17. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 2015, 1055–1061.
- BAG GS. (1989). Beschl. v. 07.11.1989 – GS 3/85. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht* 1990, 816–820.
- Bissels, A., & Meyer-Michaelis, I. (2015). Arbeiten 4.0 – Arbeitsrechtliche Aspekte einer zeitlich-örtlichen Entgrenzung der Tätigkeit. *Der Betrieb*, 68, 2331–2336.
- Bissels, A., & Wisskirchen, G. (2010). BlackBerry & Co.: Was ist heute Arbeitszeit? *Der Betrieb*, 63, 2052–2055.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS). (2015). Grünbuch Arbeiten 4.0. http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen-DinA4/gruenbuch-arbeiten-vier-null.pdf?__blob=publicationFile. Zugriffen am 26.11.2019.

- Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (BDA). (2015). *Chancen der Digitalisierung nutzen – Positionspapier zur Digitalisierung von Wirtschaft und Arbeitswelt*. Berlin: BDA.
- Bussche, A. F. von dem, & Schelinski, T. (2013). In A. Leupold & S. Glossner (Hrsg.), *Münchener Anwaltshandbuch IT-Recht* (3. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-64845-8.
- BVerwG. (2015). Urt. v. 17.09.2015 – 2 C 26/14.
- Clemenz, S. (2018). § 87 BetrVG. In M. Henssler, H. J. Willemsen & H.-J. Kalb (Hrsg.), *Arbeitsrecht-Kommentar* (8. Aufl.). Köln: Schmidt. ISBN 978-3-504-42692-7.
- Däubler, W. (2015). Internet und Arbeitnehmerdatenschutz. *Arbeitsrecht im Betrieb extra*, 36, 29–32.
- Däubler, W. (2018). *Digitalisierung und Arbeitsrecht* (6. Aufl.). Frankfurt a. M.: Bund. ISBN 978-3-7663-6690-0.
- Däubler, W., & Klebe, T. (2015). Crowdwork: Die neue Form der Arbeit – Arbeitgeber auf der Flucht? *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht*, 32, 1032–1041.
- Dörner, K., & Vossen, R. (2017). § 1 KSchG. In R. Ascheid, U. Preis & I. Schmidt (Hrsg.), *Kündigungsrecht* (5. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-69613-8.
- EuGH. (2015). Urt. v. 10.09.2015 – C-266/14, NZA 2015, 1177.
- Forst, G. (2014). Null-Stunden-Verträge. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht*, 31, 998–1002.
- Franzen, M. (2014). Beschäftigtendatenschutz: Was wäre besser als der Status quo? *Recht der Datenverarbeitung*, 30, 200–202.
- Franzen, M. (2019a). § 4 TVG. In R. Müller-Glöge, U. Preis & I. Schmidt (Hrsg.), *Erfurter Kommentar zum Arbeitsrecht* (19. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-72471-8.
- Franzen, M. (2019b). § 26 BDSG. In R. Müller-Glöge, U. Preis & I. Schmidt (Hrsg.), *Erfurter Kommentar zum Arbeitsrecht* (19. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-72471-8.
- Gertz, W. (2016). Freiberufler unter Verdacht. *Personalwirtschaft*, 43, 14–16.
- Gola, P., & Heckmann, D. (Hrsg.). (2019). *Bundesdatenschutzgesetz* (13. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-72878-05.
- Gola, P., & Kluge, C. (2016). Die Entwicklung des Datenschutzrechts im zweiten Halbjahr 2015. *Neue Juristische Wochenschrift*, 2016, 691–694.
- Göpfert, B., & Wilke, E. (2012). Nutzung privater Smartphones für dienstliche Zwecke. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht*, 29, 765–771.
- Granetzny, T. (2014). In G. Thüsing (Hrsg.), *Beschäftigtendatenschutz und Compliance* (2. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-62820-7.
- Grimm, D. (2015). Arbeitsrecht 4.0 Industrie 4.0 – Arbeiten 4.0 – Arbeitsrecht 4.0? *Der Arbeits-Rechtsberater*, 15, 336–339.
- Günther, J., & Böglmüller, M. (2015). Arbeitsrecht 4.0 – Arbeitsrechtliche Herausforderungen in der vierten industriellen Revolution. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht*, 32, 1025–1031.
- Henning, J. (2015). Fremdpersonal in Matrixstrukturen. *Arbeit und Arbeitsrecht*, 70, 646–648.
- Henssler, M. (2014). 1. Deutscher Arbeitsrechtstag – Generalbericht. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht-Beilage*, 31, 95–104.
- Hueck, A., & Nipperdey, H. C. (1928). *Lehrbuch des Arbeitsrechts*, Erster Band (1. Aufl.). Mannheim: J. Bensheimer.
- Jacobi, E. (1926). *Betrieb und Unternehmen als Rechtsbegriffe*. Leipzig: Weicher.
- Jacobi, E. (1927). *Grundlehren des Arbeitsrechts*. Leipzig: Deichert.
- Jaspers, A., Schwartmann, R., & Hermann, M. (2018). Art 5 DS-GVO. In R. Schwartmann et al. (Hrsg.), *Datenschutzgrundverordnung Bundesdatenschutzgesetz*. Heidelberg: C. F. Müller. ISBN 978-3-8114-4664-9.
- Junker, A. (2019). *Arbeitsrecht* (18. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-73476-2.
- Keller, A., & Eisler, M. (2014). Industrie 4.0: Die vierte industrielle Revolution – oder nur CIM reloaded? Mensch im Mittelpunkt. *Maschinen Anlagen Verfahren*, 3, 26.
- Kock, M. (2019). § 4 ArbZG. In C. Rölfs, R. Giesen, R. Kreikebohm & P. Udsching (Hrsg.), *Beck'scher Online Kommentar Arbeitsrecht* (52. Aufl.). München: Beck. Stand: 01.06.2019.
- Kohte, W. (2015). Arbeitsschutz in der digitalen Arbeitswelt. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht*, 32, 1417–1424.
- Kort, M. (2013). Matrix-Strukturen und Betriebsverfassungsrecht. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht*, 30, 1318–1326.

- Kort, M. (2016). Arbeitnehmerdatenschutz gemäß der EU-Datenschutz-Grundverordnung. *Der Betrieb*, 69, 711–716.
- Kort, M. (2018). Neuer Beschäftigtendatenschutz und Industrie 4.0 – Grenzen einer „Rundumüberwachung“ angesichts der Rechtsprechung, der DSGVO und des BDSG n. F. *Recht der Arbeit*, 71, 24–33.
- LAG Berlin-Brandenburg. (2015). Beschl. v. 17.6.2015 – 17 TaBV 277/15.
- LAG Schleswig-Holstein. (2009). Urt. v. 6.1.2009 – 5 SA 313/08.
- Lembke, M. (2018). Art 88 DS-GVO. In M. Henssler, J. Willemsen & H.-J. Kalb (Hrsg.), *Arbeitsrecht Kommentar* (8. Aufl.). Köln: Dr. Otto Schmidt. ISBN 978-3-504-42692-7.
- Löwisch, M., & Rieble, V. (2017). *Tarifvertragsgesetz* (4. Aufl.). München: Vahlen. ISBN 978-3-8006-3700-3.
- Ludwig, G. (2012). Arbeit auf Abruf. *Arbeit und Arbeitsrecht*, 67, 514–517.
- Neufeld, T. (2012). Arbeitsrechtliche Fragen bei Mehrliniensystemen – Einsatz in Matrixstrukturen. *Arbeit und Arbeitsrecht*, 67, 219–222.
- Neufeld, T. (2015). „Arbeiten 4.0“ und neue Formen der Arbeit – Herausforderung Digitalisierung. *Arbeit und Arbeitsrecht*, 70, 504–506.
- Neufeld, T., & Michels, J. (2012). Arbeitsrechtliche Fragen des Einsatzes von Arbeitnehmern in Matrixstrukturen. *Kölner Schrift zum Wirtschaftsrecht*, 3, 49–57.
- Neumann, D., & Biebl, J. (2012). *Arbeitszeitgesetz* (16. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-63405-5.
- Plath, K.-U. (Hrsg.). (2018a). Art. 5 DS-GVO. In *DSGVO/BDSG – Kommentar zu DSGVO, BDSG und den Datenschutzbestimmungen des TMG und TKG* (3. Aufl.). Köln: Dr. Otto Schmidt. ISBN 978-3-504-56075-1.
- Plath, K.-U. (Hrsg.). (2018b). § 26 BDSG. In *DSGVO/BDSG – Kommentar zu DSGVO, BDSG und den Datenschutzbestimmungen des TMG und TKG* (3. Aufl.). Köln: Dr. Otto Schmidt. ISBN 978-3-504-56075-1.
- Polenz, S. (2017). *Computerrecht* (W. Kilian & B. Heussen (Hrsg.)), 34. Erg. Lfg. München: Beck.
- Pollert, D. (2014). Arbeitnehmer-Smartphone als Betriebsmittel – ein kostensparendes Modell? *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht-Beilage*, 31, 152–154.
- Preis, U. (2015). Flexicurity und Abrufarbeit – Flexible Arbeitsvertragsgestaltung zwischen 0 und 260 Stunden? *Recht der Arbeit*, 68, 244–248.
- Preis, U. (2019). § 611a und § 613a BGB. In R. Müller-Glöge, U. Preis & I. Schmidt (Hrsg.), *Erfurter Kommentar zum Arbeitsrecht* (19. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-72471-8.
- Reinhard, B. (2014). Matrix contra Arbeitsrecht. *Personalmagazin – Praxisratgeber* (Sonderveröffentlichung), 16, 6–7.
- Reinhard, B., & Kettering, L. (2014). Die schwierige Einordnung von Matrixstrukturen in das System des BetrVG – Neue Fragen erfordern neue Lösungsansätze. *Der Arbeits-Rechtsberater*, 14, 87–90.
- Richter, M. (2018). § 24. In R. Richardi, H. Kiel, S. Lunk & H. Oetker (Hrsg.), *Münchener Handbuch zum Arbeitsrecht* (4. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-71801-4.
- Ricken, O. (2000). Der Soziale Dialog im EG-Vertrag als Zielvorgabe für die deutsche Betriebsverfassung. *Der Betrieb*, 53, 874–878.
- Ricken, O. (2018). In N. Besgen & T. Prinz (Hrsg.) § 7. *Arbeiten 4.0 – Arbeitsrecht und Datenschutz in der digitalisierten Arbeitswelt*, 4. Bonn: Deutscher Anwaltverlag. ISBN 978-3-8240-1559-7.
- Rieble, V. (2014). Mitbestimmung in komplexen Betriebs- und Unternehmensstrukturen. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht-Beilage*, 31, 28–30.
- Röllner, J. (2019). Stichwort: Crowdsourcing. In W. Küttner (Hrsg.), *Personallbuch* (26. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-73300-0.
- Salamon, E., & Gatz, S. (2016). Arbeitgeberseitige Gestaltungsspielräume im Rahmen der mitbestimmten Personaleinsatzplanung. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht*, 33, 197–203.
- Schlegel, R. (2014). Grenzenlose Arbeit. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht-Beilage*, 31, 16–22.
- Schliemann, H. (2013). *ArbZG* (2. Aufl.). Köln: Luchterhand. ISBN 978-3-472-08414-3.
- Schmid, M., Berger, S., Rinck, P., & Fischbach, C. (2014). Smarter statt schneller. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 109, 546–548.

- Schneider, A. (2018). § 18. In R. Richardi, H. Kiel, S. Lunk & H. Oetker (Hrsg.), *Münchener Handbuch zum Arbeitsrecht* (4. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-71801-4.
- Schrey, J., & Kielkowski, J. (2018). Die datenschutzrechtliche Betriebsvereinbarung in DS-GVO und BDSG 2018 – Viel Lärm um Nichts? *Betriebs-Berater*, 73, 629–635.
- Siepmann, D. (2016). Industrie 4.0 – Struktur und Historie. In A. Roth (Hrsg.), *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0* (S. 19–31). Berlin: Springer Gabler. ISBN 978-3-662-48504-0.
- Sinzheimer, H. (1927). *Grundzüge des Arbeitsrechts* (2. Aufl.). Jena: Fischer.
- Sörup, T., & Marquardt, S. (2016). Auswirkungen der EU-Datenschutzgrundverordnung auf die Datenverarbeitung im Beschäftigungskontext. *Arbeitsrecht Aktuell*, 8, 103–106.
- Stamer, K., & Kuhnke, M. (2018). § 26 BDSG. In K.-J. Plath (Hrsg.), *DSGVO/BDSG – Kommentar zu DSGVO, BDSG und den Datenschutzbestimmungen des TMG und TKG* (3. Aufl.). Köln: Dr. Otto Schmidt. ISBN 978-3-504-56075-1.
- Steffan, R. (2015). Arbeitszeit(recht) auf dem Weg zu 4.0. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht*, 32, 1409–1417.
- Stümper, A. (2018). In N. Besgen & T. Prinz (Hrsg.), § 5. *Arbeiten 4.0 – Arbeitsrecht und Datenschutz in der digitalisierten Arbeitswelt*. Arbeitsrecht (4. Aufl.). Bonn: Deutscher Anwaltverlag. ISBN 978-3-8240-1559-7.
- Sydow, J., & Braun, T. (2015). Von Projekten zu temporären Organisationen. *Zeitschrift Führung + Organisation*, 84, 232–237.
- Thommen, J. P., & Richter, A. (2004). Matrix-Organisationen. In G. Schreyögg & A. von Werder (Hrsg.), *Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre*, Band: Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation, Stichwort: Matrix-Organisationen (4. Aufl.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel. ISBN 978-3-7910-8050-5.
- Thüsing, G., & Forst, G. (2014). In G. Thüsing (Hrsg.), *Beschäftigtendatenschutz und Compliance* (2. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-62820-7.
- Thüsing, G., & Schmidt, M. (2018). § 26 BDSG. In R. Schwartmann, A. Jaspers, G. Thüsing & D. Kugelmann (Hrsg.), *Datenschutzgrundverordnung Bundesdatenschutzgesetz*. Heidelberg: C. F. Müller. ISBN 978-3-8114-4664-9.
- Tschohl, C. (2014). Industrie 4.0 aus rechtlicher Perspektive. *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 131, 219–222.
- Vogelsang, H. (2017). In G. Schaub (Hrsg.) § 8. *Arbeitsrecht-Handbuch* (17. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-67349-8.
- Wank, R. (2014). Facetten der Arbeitszeit. *Recht der Arbeit*, 67, 285–290.
- Wank, R. (2019). § 3 und § 5 ArbZG. In R. Müller-Glöge, U. Preis & I. Schmidt (Hrsg.), *Erfurter Kommentar zum Arbeitsrecht* (19. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-72471-8.
- Wirtz, A. (2014). Gestaltungsmöglichkeiten bei der Verlängerung der täglichen Arbeitszeit nach dem ArbZG. *Betriebs-Berater*, 69, 1397–1401.
- Wisskirchen, G., & Schiller, J. P. (2015). Aktuelle Problemstellungen im Zusammenhang mit „Bring Your Own Device“. *Der Betrieb*, 68, 1163–1168.
- Witschen, S. (2016). Matrixorganisationen und Betriebsverfassung. *Recht der Arbeit*, 69, 38–49.
- Witschen, A. (2018). *Rahmenvorgaben und Flexibilisierungsspielräume im Arbeitszeitrecht vor dem Hintergrund einer digitalisierten Arbeitswelt*. München: Logos. ISBN 978-3-8325-4822-3.
- Zander, G. (2015). Arbeitszeit 4.0. *Personalmagazin*, 17, 24–26.
- Zöll, O. W., & Kielkowski, J. B. (2012). Arbeitsrechtliche Umsetzung von „Bring Your Own Device“ (BYOD). *Betriebs-Berater*, 67, 2625–2630.
- Zöllner, W., Loritz, K., & Hergenröder, C. W. (2015). *Arbeitsrecht* (7. Aufl.). München: Beck. ISBN 978-3-406-64624-9.

Industrial Security by Design

Nachverfolgbare Informationssicherheit für Cyber-Physische Produktionssysteme

Christopher Gerking, Eric Bodden und Wilhelm Schäfer

Inhalt

1	Einleitung	140
2	Bedrohungsszenarien	142
3	Nachverfolgung der Informationssicherheit	145
4	Stand der Technik	152
5	Fazit	157
	Literatur	158

Zusammenfassung

Das Zukunftsszenario der Industrie 4.0 ist geprägt durch einen massiven Anstieg der unternehmensübergreifenden Vernetzung. Um einer Bedrohung durch unautorisierte Weitergabe oder Sabotage vertraulicher Daten entgegenzuwirken, muss der Informationssicherheit bereits im Entwurf der cyber-physischen Produktionssysteme ein hoher Stellenwert eingeräumt werden. Dieses Paradigma wird als *Security by Design* bezeichnet. Über den gesamten Entstehungsprozess hinweg muss nachverfolgt werden können, ob die Systeme spezifische Anforderungen an die Informationssicherheit erfüllen und damit die Eigenschaft der *Industrial Security* gewährleisten. Dieser Beitrag stellt einen Entwurfsansatz zur Nachver-

C. Gerking (✉)

Institute for Program Structures and Data Organization, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: christopher.gerking@kit.edu

E. Bodden

Fachgruppe Softwaretechnik, Fraunhofer IEM & Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, Deutschland

E-Mail: eric.bodden@upb.de

W. Schäfer

Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

E-Mail: wilhelm@upb.de

folgung der Informationssicherheit vor, der durch Integration softwaretechnischer Methoden in das Systems Engineering eine Entwicklung nach dem Paradigma *Security by Design* ermöglicht.

Schlüsselwörter

Nachverfolgbarkeit · Industrial Security · Security by Design · Systems Engineering · Cyber-Physical Systems

1 Einleitung

Die Industrie 4.0 verspricht massive Fortschritte bei der Individualisierung industrieller Produktionsprozesse. Diese Individualisierung ermöglicht es, die Prozesse vollautomatisch und in Echtzeit an äußere Umstände anzupassen. Produktionssysteme werden den Einsatz von Personal und Produktionsmitteln vollautomatisch an Faktoren wie etwa der aktuellen Auftragslage oder der preislichen bzw. zeitlichen Verfügbarkeit von Ressourcen ausrichten. Während die durchgängige Automatisierung den Unternehmen eine massive Effizienzsteigerung bei der Produktionsplanung und -steuerung in Aussicht stellt, ergeben sich auch aus Kundensicht neuartige Zukunftschancen. So ermöglicht die Individualisierung auch eine Berücksichtigung von spezifischen Kundenwünschen als zusätzlichen individuellen Parameter der Produktion, und ebnet so den Weg für eine preiswerte Fertigung von Endprodukten in kleiner Stückzahl bis hin zur Losgröße 1.

Voraussetzung für diesen hohen Grad der Individualisierung ist eine stark zunehmende Digitalisierung und ein massiver Austausch von Informationen. Dieser muss Produktionsanlagen, Produktionsmittel, sowie die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit einbeziehen, um eine Zugänglichkeit der relevanten Informationen sowie die darauf aufbauende Koordination der Produktionsverfahren sicherzustellen. Die auszutauschenden Informationen umfassen beispielsweise die aktuelle Auftragslage, die Verfügbarkeit von Materialien und Personal, oder den Status von Produktionsanlagen. Wird zudem der Rohling des zu fertigenden Produktes selbst mit den für die Produktion relevanten Informationen ausgestattet, so kann das Produkt in den Informationsaustausch mit einbezogen werden und dadurch seine eigene Fertigung steuern (Kagermann et al. 2011). Durch diese Dezentralität der Produktion kann eine Nachvollziehbarkeit der gesamten Produktionshistorie für jedes individuelle Produkt begünstigt werden, und damit die Qualitätssicherung und Fehlerverfolgung auch ohne eine zentrale Datenhaltung gewährleistet werden.

1.1 Vernetzung

Sollen die oben genannten Vorteile entlang der gesamten Wertschöpfungskette des produzierenden Gewerbes zur Entfaltung kommen, so darf der Informationsaustausch keinen Halt vor den Grenzen eines einzelnen Unternehmens machen

(Bachlechner et al. 2016). Vielmehr muss die Vernetzung auf ganze Lieferketten ausgedehnt werden, um die Auslagerung bestimmter Prozessschritte in externe Unternehmen, bis hin zur Fertigung und Zulieferung ganzer Teilprodukte, ebenfalls flexibel und vollautomatisch koordinieren zu können. Im Zuge dieser *horizontalen Integration* zu globalen Wertschöpfungsnetzwerken sind die Produktionsanlagen der Zukunft unternehmensübergreifend in Form von sogenannten *Cyber-Physical Systems* verbunden. Wie im Fall traditioneller Produktionsanlagen sind solche Systeme mit Aktorik und Sensorik ausgestattet, um einzelne Schritte des Produktionsvorgangs auszuführen und auf diese Weise mit der physikalischen Umgebung zu interagieren. Über diese physikalische Wechselwirkung hinausgehend sind cyber-physische Produktionssysteme durch Kommunikationstechnik miteinander vernetzt und so in der Lage, die Ausführung von Prozessschritten flexibel untereinander und ggf. auch unternehmensübergreifend koordinieren zu können. Cyber-Physical Systems verschmelzen somit die physikalische mit der virtuellen Welt (acatech 2011).

Die unternehmensübergreifende Interaktion, z. B. um eine Zulieferung von Teilprodukten zu koordinieren, ist in der Industrie 4.0 nicht an eine feste Struktur gebunden. Vielmehr ermöglicht die Vernetzung einen jederzeitigen dynamischen Aufbau von Geschäftsbeziehungen (Bachlechner et al. 2016) in Abhängigkeit von individuellen kundenspezifischen Kriterien für das Produkt und seine Fertigung. Solche Kriterien können beispielsweise die garantierte Lieferzeit, die anfallenden Produktionskosten, oder die Umweltverträglichkeit des Produktionsvorgangs umfassen. Voraussetzung für eine vollautomatische Aushandlung solcher Geschäftsbeziehungen ist die Bildung von Dienstmärkten, auf denen konkurrierende Zulieferer ihre Produktionsdienste global und unter Angabe der von ihnen garantierten Qualitätskriterien anbieten (Diedrich et al. 2014; Kagermann et al. 2014). Zulieferer werden somit vermehrt zu Dienstleistern. Auf Seiten der Endhersteller kann daraufhin ein automatischer Abgleich der angebotenen Qualitätskriterien mit den spezifischen Kundenwünschen durchgeführt werden. Ein Dienstleistungsgesuch für die Fertigung eines bestimmten Teilproduktes kann somit global ausgeschrieben und je nach aktueller Marktsituation an genau den Dienstleister übergeben werden, der die Kundenanforderungen unter allen Wettbewerbern optimal erfüllt. Durch eine bestmögliche Abstimmung von Produktangebot und -nachfrage kann so ein Beitrag zu einer globalen Optimierung von Geschäftsbeziehungen geleistet werden.

1.2 Angriffsrisiko

Beteiligt sich ein produzierendes Unternehmen an den Dienstmärkten der Zukunft, so führt die dynamische Aushandlung der Geschäftsbeziehungen zu einem massiven Anstieg des unternehmensübergreifenden Datenaustausches (Bachlechner et al. 2016). Zunächst steigt das Kommunikationsvolumen selbst stark an, da potenziell jede Geschäftsbeziehung nach Bedarf ausgehandelt wird. Darüber hinaus ist auch die Anzahl der potenziellen Geschäftspartner, mit denen ein Unternehmen sensitive Informationen austauscht, wesentlich höher als im Fall von traditionellen, im Vorhinein festgelegten Zulieferbeziehungen. Aufgrund der Globalität und Flexibilität

der Märkte sind die Dienstleister, mit denen Informationen ausgetauscht werden, dem Endhersteller nicht mehr notwendigerweise bekannt. Die Industrie 4.0 wirft daher Fragen nach der Vertrauenswürdigkeit von Geschäftsbeziehungen auf. Die unternehmensübergreifende Vernetzung stellt einen neuartigen Angriffsvektor auf sensitive Unternehmensdaten dar, die potenziell eingesehen oder manipuliert werden könnten.

Um dem stark erhöhten Angriffsrisiko entgegen zu wirken, kommt der IT-Sicherheit die Rolle eines kritischen Erfolgsfaktors für die Einführung der Industrie 4.0 zu. Eine Vielzahl an Veröffentlichungen belegt die Relevanz des Themas aus industrieller Sicht sowie die sich bietenden Forschungspotenziale (Eckert und Fallenbeck 2015; Lass und Kotarski 2014; Junker 2015; Hänisch und Rogge 2017). *Industrial Security* wird als eine Schlüsselqualifikation angesehen und stellt Unternehmen vor die Herausforderung, neue Kompetenzen auf diesem Gebiet zu schaffen (Gausemeier et al. 2016; Kobes 2016). In einer durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in Auftrag gegebenen Studie widmet sich ein Expertenbeirat dem Thema der IT-Sicherheit für die Industrie 4.0 und zeigt entsprechende Handlungsfelder auf (Bachlechner et al. 2016).

1.3 Beitrag und Struktur

Dieser Beitrag nimmt den Standpunkt ein, dass Maßnahmen zum Schutz vor Angriffen bereits im Entwurfs- und Entwicklungsprozess neuartiger Systeme ansetzen müssen, um *Industrial Security* effektiv zu gewährleisten. Entsprechend dem Paradigma *Security by Design* (Bodden et al. 2013a) wird das Ziel verfolgt, Anforderungen an die Informationssicherheit eines Systems zu Beginn des Entstehungsprozesses zu erfassen und ihre Erfüllung bis über die Inbetriebnahme hinaus nachzuverfolgen. Übergeordnete Zielstellung des Beitrages ist somit die Erkennung einer Vielzahl von Schwachstellen bereits vor Inbetriebnahme eines Systems, ohne dass kostspielige Gegenmaßnahmen im laufenden Betrieb ergriffen werden müssen. Dazu beleuchtet Abschn. 2 die neuartigen Bedrohungsszenarien aus Sicht von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, sowie die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Informationssicherheit. Abschn. 3 stellt einen Ansatz zur *Nachverfolgbarkeit* solcher Anforderungen vor. In Abschn. 4 werden existierende Methoden hinsichtlich der Integrierbarkeit in unseren Ansatz bewertet, bevor in Abschn. 5 ein Fazit der ausstehenden Forschungsarbeiten gezogen wird.

2 Bedrohungsszenarien

Das erhöhte Ausmaß der unternehmensübergreifenden Vernetzung zieht auch eine erhöhte Anzahl an Kommunikationsschnittstellen nach sich, über die ein Unternehmen Informationen mit anderen Unternehmen austauscht. Jede dieser Schnittstellen ermöglicht potenziell den Zugriff auf sensitive Daten eines Unternehmens. An dieser Stelle wirkt sich die Offenheit und Globalität der Dienstmärkte in der Industrie 4.0

nachteilig aus. So ist nicht auszuschließen, dass einzelne Marktteilnehmer nur zum Vorwand bestimmte Produktionsdienstleistungen anbieten, in Wahrheit jedoch ausschließlich verbrecherische Absichten verfolgen, indem sensitive Daten abgegriffen werden. Dass ein Missbrauch von Marktstrukturen ein realitätsnahes Szenario darstellen kann, wurde in der Vergangenheit bereits durch den automatisierten *Hochfrequenzhandel* mit Wertpapieren belegt. Dieser Abschnitt thematisiert im Folgenden neuartige Bedrohungsszenarien für Unternehmensdaten (Abschn. 2.1) sowie auch für Mitarbeiterdaten (Abschn. 2.2).

2.1 Unternehmensdaten

Zum Ziel von Cyberattacken können in erster Linie solche Informationen werden, die einem Unternehmen bestimmte Wettbewerbsvorteile gegenüber der Konkurrenz verschaffen. Solche Informationen umfassen geistiges Eigentum wie beispielsweise Know-How in Bezug auf die Produktionsprozesse, oder sonstige Geschäftsgeheimnisse wie Konstruktionspläne, Patente, oder Produktstrategien. Ein unautorisierter Zugriff auf solche Daten befähigt Wettbewerber dazu, sich diese Informationen zunutze zu machen, indem beispielsweise Produktpiraterie betrieben wird.

Betroffen von einer solchen Entwicklung wären wiederum auch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, deren Arbeitsplätze und Lohngefüge essenziell an die Wirtschaftlichkeit ihrer arbeitgebenden Unternehmen gekoppelt sind. Während die Industrie 4.0 einer Verlagerung der Produktion in Niedriglohnländer grundsätzlich entgegen wirken kann und damit nicht zuletzt auch eine Erhaltung des Hochlohnstandortes suggeriert, werden diese wirtschaftlichen Fortschritte durch eine mangelnde Informationssicherheit wiederum in Frage gestellt.

Besonders kritisch stellt sich aus Sicht von Unternehmen sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern das Zusammenspiel der Informationssicherheit mit Aspekten der funktionalen Sicherheit (*Safety*) dar (Bachlechner et al. 2016). So könnte durch das Eindringen in ein System bewusst ein Fehlverhalten bei der Steuerung physikalischer Prozesse hervorgerufen werden. Schwachstellen der Informationssicherheit können sich somit zu einer Gefährdung der funktionalen Sicherheit ausdehnen, die im schlimmsten Fall ein Gesundheitsrisiko bzw. eine Lebensgefahr für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter darstellen kann.

2.2 Mitarbeiterdaten

Mit der steigenden Digitalisierung in der Industrie 4.0 ändert sich auch die Rolle von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Routinemäßige Arbeitsschritte fallen oftmals nicht mehr in den menschlichen Aufgabenbereich, sondern werden größtmöglich autonom durch das Produktionssystem selbst ausgeführt. Dem Menschen kommt daher zunehmend die Rolle einer „Steuerungsinstanz“ (Gorecky et al. 2014) zu. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bringen ihre Kompetenzen verstärkt zur Überwachung und Bewertung der Funktionsweise ein und greifen auf dieser Basis vor allem in Störfällen

aktiv in den Produktionsprozess ein. Eine Anpassung von Produktionssystemen an menschliche Belange ist daher von großer Wichtigkeit, um einer steigenden menschlichen Verantwortung gerecht werden zu können.

Essenziell für eine adäquate Involvierung des Menschen sind Systeme, die eine Adaptivität der Benutzerschnittstelle zugunsten der persönlichen Bedürfnisse oder Vorlieben der einzelnen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vorsehen (Paelke und Röcker 2015). Eine Adaption der Schnittstellen eröffnet die Möglichkeit der Rücksichtnahme auf Altersunterschiede, kulturelle bzw. sprachliche Disparitäten, oder körperliche Einschränkungen. Solche Systeme sind daher Grundvoraussetzung für „demografie-sensible“ Arbeitswelten (Kagermann et al. 2013). Die Basis einer solchen Anpassung sind individuelle Systemeinstellungen, die jedoch potenziell auch Rückschlüsse auf personenbezogene Daten (z. B. Alter, Sehstärke, oder Rechts- bzw. Linkshänder) zulassen. Hierdurch sind personenbezogene Daten genauso der Bedrohung durch Cyberattacken ausgesetzt, wie es bei Unternehmensdaten der Fall ist. In Abb. 1 ist ein solches Bedrohungsszenario exemplarisch dargestellt. Ein Mitarbeiter eines Produktionsunternehmens interagiert mit einem Produktionssystem, dessen adaptive Benutzerschnittstelle durch ein Tablet gegeben ist. Das Unternehmen ist gleichzeitig vernetzt mit einem Cloud-basierten Dienstmarkt für Produktionsdienstleistungen. Auf diesem offenen Markt agiert ein Dienstleister mit verbrecherischen Absichten, der wie im Szenario dargestellt, Rückschlüsse auf personenbezogene Daten des Mitarbeiters ziehen kann.

Dabei kann das Datenaufkommen noch viel größere Dimensionen annehmen, als es bei Systemen mit adaptiven Benutzerschnittstellen der Fall ist. Solche Systeme bieten zunächst lediglich alternative Formen der Ein- bzw. Ausgabe von Informationen an, während der Produktionsprozess selber unberührt bleibt. Soll jedoch menschlichen Faktoren eine erhöhte Geltung eingeräumt werden, so sind Systeme vorausgesetzt, die eine Adaption der Produktionsprozesse zugunsten menschlicher Belange zulassen. Beispiele für diese Art der Adaption sind flexible Taktzeiten, die individuell auf die jeweilige Verfassung und Leistungsfähigkeit von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern abgestimmt sind, oder eine vielfältige Aufgabenverteilung

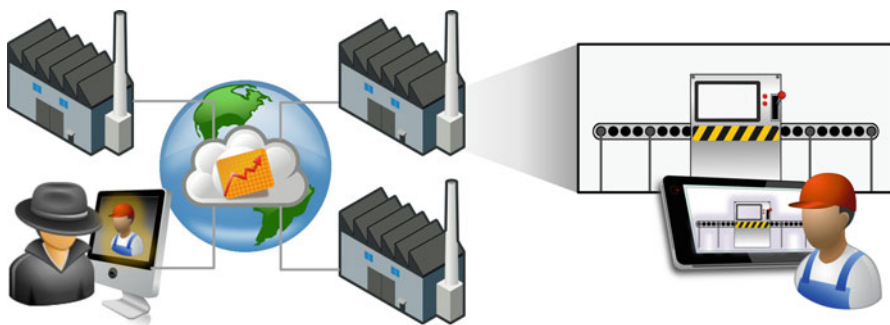


Abb. 1 Bedrohung durch Weitergabe von Mitarbeiterdaten an einen Cloud-basierten Dienstmarkt

durch *Job Rotation*, um dem Aufkommen von Monotonie im Arbeitsalltag gezielt entgegen zu wirken. Um diese Form der Adaption zu ermöglichen, benötigen Systeme allerdings Zugriff auf wesentlich weitreichendere Informationen wie beispielsweise Leistungsdaten.

Ein weitere Steigerung des Datenaufkommens ist dann zu erwarten, wenn die ausgetauschten Informationen nicht mehr durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter selbstbestimmt werden können, sondern von Systemen automatisch erfasst werden. Solche Systeme sind im Zeitalter der Industrie 4.0 besonders naheliegend, da Cyber-Physical Systems durch Aktorik und Sensorik bereits über eine inhärente Wechselwirkung mit ihrer Umwelt verfügen und diese ohne Weiteres auf den Menschen ausdehnen können (Gorecky et al. 2014). Solche Systeme interagieren also nicht nur mit physikalischen Prozessen, sondern müssen auch Bedürfnisse und Verfassung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verarbeiten sowie vollautomatisch eine Anpassung der Produktionsprozesse anstoßen. Unerlässlich für die Automatisierung der Adaption ist dabei die Erfassung physiologischer Daten durch den Einsatz von Körpersensorik. Darauf aufbauend kann eine Verarbeitung der Daten in Form einer Emotionserkennung oder der Feststellung von Ermüdungserscheinungen erfolgen.

Wie die obigen Bedrohungsszenarien zeigen, können Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Mängeln im Bereich der Informationssicherheit nicht nur indirekt, d. h. durch Weitergabe oder Manipulation von Unternehmensdaten betroffen sein. Ebenfalls unmittelbar gefährdet sind personenbezogene Mitarbeiterdaten, die in die Systeme eingespeist werden. Ein Unternehmen, das sich zur Industrie 4.0 öffnet, ist damit der Gefahr eines Missbrauchs sensibler Daten ausgesetzt. Die von der Industrie 4.0 suggerierte Chance auf menschenzentrierte Arbeitsbedingungen steht dabei in massivem Kontrast zu einer möglichen Verletzung der Persönlichkeitsrechte von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern durch den unkontrollierten Missbrauch ihrer personenbezogenen Daten.

3 Nachverfolgung der Informationssicherheit

Vor dem sicherheitskritischen Hintergrund unterliegen industrielle Produktionsanlagen bestimmten Richtlinien und Standards, aus denen Vorgaben an die funktionale Sicherheit hervorgehen. Diese beschreiben den Einsatz gefahrensenkender Maßnahmen und ziehen dabei den gesamten Lebenszyklus der Systeme mit ein. Insbesondere umfassen sie Maßnahmen, die bereits im Entwicklungsstadium ansetzen. Sicherheitsaspekte fungieren somit als Kriterien für die Konformität zu den relevanten Normen. Nur Systeme, die einen Nachweis über die im Entwicklungsstadium getroffenen Sicherheitsvorkehrungen erbringen können, werden mit dem entsprechenden Zertifikat bedacht.

Heutige Forschungsansätze gehen dabei von engen Wechselwirkungen zwischen funktionaler Sicherheit und Informationssicherheit aus und treiben einen einheitlichen Umgang der beiden Aspekte voran (Winzer et al. 2010). Beispielsweise stellen die in Abschn. 2 geschilderten Bedrohungen durch Sabotageakte eine Gefährdung

von Menschenleben dar, die durch Schwachstellen im Umgang mit der Informationssicherheit ausgelöst werden können. Die Informationssicherheit gehört dabei aktuell noch zu den „deregulierten“ Bereichen (Bachlechner et al. 2016), für die kaum verbindliche und präzise Standards existieren. Existierende Prüfstandards (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2016) lassen jedoch bereits erahnen, dass in der Zukunft verpflichtende Regularien auch im Bereich der Informationssicherheit aufgestellt werden.

3.1 Nachverfolgbarkeit

Essenziell für eine Zertifizierung ist das Konzept der *Nachverfolgbarkeit* (engl. *Traceability*) von Anforderungen, die zu Beginn der Systementwicklung als Vorgaben für das System aufgestellt werden. Anforderungen können funktionaler Natur sein, allerdings auch nichtfunktionale Aspekte wie zum Beispiel die Informationssicherheit betreffen. Die Nachverfolgbarkeit beschreibt dabei die Fähigkeit, den Lebenslauf einer Anforderung in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung über alle Phasen des Lebenszyklus eines Systems hinweg zu verfolgen (Cleland-Huang et al. 2012), einschließlich der Anforderungsspezifikation und der Entwurfs-, Entwicklungs- und Testphasen, sowie letztendlich bis über die Inbetriebnahme hinaus. Basis der Nachverfolgbarkeit ist somit eine präzise und explizite Verknüpfung von Artefakten, die in den verschiedenen Lebenszyklusphasen entstehen. Darunter fallen zum Beispiel Anforderungsspezifikationen, Entwurfselemente, Entwicklungserzeugnisse wie etwa Programmcode, oder Testfälle. Die Verknüpfung der Artefakte muss dabei durch eine entsprechende technische Infrastruktur im Entwicklungsprozess ermöglicht und durch eine geeignete Organisation des Prozesses sichergestellt werden (Sünnecioglu et al. 2014). Sind diese Voraussetzungen gegeben, kann die Nachverfolgbarkeit vielfältige Nutzen bringen:

- Ändern sich die Anforderungen an ein System während des Entwicklungsprozesses, können die Folgen einer solchen Änderung im Vorhinein abgeschätzt werden, indem die betroffenen Entwurfs- oder Entwicklungsartefakte direkt nachverfolgt werden können. Aus einer automatisierten *Change Impact Analysis* (Bohner 2002) ergeben sich so Vorteile bei der Abschätzung von Änderungsaufwänden, sowie eine erhöhte Planungssicherheit im Entwicklungsprozess.
- Ausgehend von einer spezifizierten Anforderung kann durch eine Nachverfolgung der hierzu in Bezug stehenden Entwurfs- oder Entwicklungsartefakte die Erfüllung der Anforderung unmittelbar belegt werden. Durch die Ausführung von Testfällen oder alternativer Analyseverfahren, die mit der Anforderung verknüpft sind, wird die Erfüllung automatisch nachweisbar.
- Umgekehrt kann ausgehend von einem Entwurfs- oder Entwicklungsartefakt eine konkrete Daseinsberechtigung abgeleitet werden, indem die dazu in Bezug stehenden Anforderungen nachverfolgt werden. Es kann so sichergestellt werden, dass alle vorhandenen Artefakte einen belegbaren Nutzen haben und keine Artefakte vorhanden sind, die aufgrund einer fehlenden Daseinsberechtigung

die Qualität eines Systems in Frage stellen. Gerade im Bereich der Informationssicherheit können solche Artefakte als Angriffsvektoren für Schadsoftware fungieren. Weiterhin kann durch die Nachverfolgbarkeit ein unbeabsichtigtes Entfernen von Artefakten ausgeschlossen werden, indem die zugeordneten Anforderungen unmittelbar erkennbar werden.

Die oben genannten Nutzungsmöglichkeiten machen die Nachverfolgbarkeit von Anforderungen zu einem essenziellen Bestandteil des Entwurfs- und Entwicklungsprozesses von Produktionsanlagen. Im Kontext der Industrie 4.0 ist zu erwarten, dass sich auch die neu auftkommenden Anforderungen im Bereich der Informationssicherheit diesen rigorosen Regularien unterziehen müssen. Beginnend mit der Anforderungsspezifikation muss die Informationssicherheit über den kompletten Lebenszyklus der Systeme hinweg betrachtet werden, damit spezifische Anforderungen aus diesem Bereich nachverfolgbar sind (Breu et al. 2016).

3.2 Informationssicherheit im Systems Engineering

Bei der Sicherstellung der Nachverfolgbarkeit gilt es jedoch, spezifischen Eigenschaften von cyber-physischen Produktionssystemen in der Industrie 4.0 Rechnung zu tragen. Als mechatronische Produkte setzen sich die Systeme aus Erzeugnissen verschiedener Fachdisziplinen zusammen, wie etwa der Mechanik, der Elektrotechnik, der Regelungstechnik, oder auch der Softwaretechnik. Im Zusammenspiel dieser Disziplinen fungiert die Softwaretechnik zunehmend als Innovationstreiber (Gausemeier et al. 2013a) und verleiht den Systemen die nötige künstliche Intelligenz, die ein Einsatz im Umfeld der Industrie 4.0 voraussetzt.

Um die steigende Komplexität an den Schnittstellen zwischen den beteiligten Fachdisziplinen zu bewältigen, werden Methoden des *Systems Engineerings* herangezogen (Gausemeier et al. 2013b). Dieser Ansatz trägt dem interdisziplinären Charakter der heutigen Systementwicklung Rechnung, indem die Spezifikation nicht aus Sichtweise einer einzelnen Fachdisziplin heraus angegangen wird. Stattdessen wird eine disziplinübergreifende Herangehensweise praktiziert, die die einzelnen Disziplinen im Rahmen einer ganzheitlichen Methodik integriert, jedoch gleichzeitig einen nahtlosen Übergang hin zu den fachspezifischen Entwurfs- und Entwicklungsmethoden für die verschiedenartigen Erzeugnisse ermöglicht. Prädestiniert für die Integration der Fachdisziplinen ist ein virtueller, rechnergestützter Entwurf im Rahmen eines modellbasierten Systems Engineerings (Dumitrescu et al. 2015). Nicht umsonst wird das modellbasierte Systems Engineering als ein „Schlüssel für Industrie 4.0“ (Alt 2014) betrachtet.

Die Spezifikationstechnik Consens¹ greift dieses Paradigma auf und stellt eine disziplinübergreifende Entwurfsmethodik für das modellbasierte Systems Engineering

¹CONceptual design Specification technique for the ENgineering of complex Systems.

ring intelligenter technischer Systeme zur Verfügung (Gausemeier et al. 2008). Dadurch ist die Spezifikationstechnik speziell geeignet für die Systeme der Industrie 4.0, die ihre inhärente Teilintelligenz in die globalen Wertschöpfungsnetzwerke einbringen. Im Kern der Spezifikationstechnik steht die Modellierung einer *Prinziplösung*. Diese umfasst die grundlegenden Systemelemente und ihre Wechselwirkungen sowohl untereinander, als auch mit externen Elementen des Systemumfelds. Dazu beschreibt die Prinziplösung die Flussbeziehungen zwischen den Elementen in Form von Material-, Energie- oder Informationsfluss. Abb. 2 greift das Beispiel aus Abschn. 2.2 auf und stellt die Wechselwirkungen eines vernetzten Produktionssystems mit seinem Umfeld dar. Diese Wechselwirkungen umfassen zunächst den Informationsaustausch zwischen System und Produktionsarbeiter. Für Bestellungen von Teilprodukten besteht ein Informationsfluss zwischen dem System und dem Dienstmarkt, aus dem wiederum ein Materialfluss zurück zum System vorliegt, der die Zulieferung der Teilprodukte darstellt. Zusätzlich greift das System lesend auf einen Fertigungsplan zu, dargestellt als einseitiger Informationsfluss.

Der Informationsfluss beschreibt dabei den für die Funktionsweise des Systems essenziellen Austausch von Daten. Ein solcher Datenaustausch legt allerdings ein besonderes Augenmerk auf den Umgang mit der Informationssicherheit. Vorschriften für diesen Umgang werden in Form einer Sicherheitsrichtlinie oder *Security Policy* (Schneider 2000) spezifiziert. Anhand unterschiedlicher *Schutzziele* (Bedner und Ackermann 2010) können Sicherheitsrichtlinien wie folgt klassifiziert werden (Schneider 2012):

- Vertraulichkeit betrifft den Schutz vor unautorisierter Einsicht in Daten.
- Integrität bezieht sich auf den Schutz vor unautorisierter Datenmanipulation.
- Verfügbarkeit beschreibt den Schutz vor mutwilligen Systemausfällen.

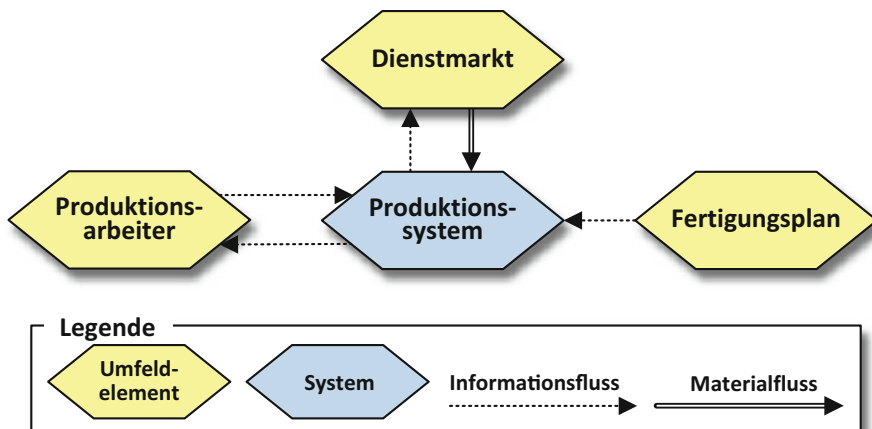


Abb. 2 Modellierung der Wechselwirkungen zwischen Produktionssystem und Umfeldelementen

Im Beispiel könnte die Sicherheitsrichtlinie vorschreiben, dass die Schutzziele Vertraulichkeit und Integrität durch Ausschluss unerwünschter Informationsflüsse sichergestellt werden müssen. Beispielsweise ist für das in Abb. 2 spezifizierte System ein Informationsfluss zwischen dem Produktionsarbeiter und dem Dienstmarkt unerwünscht, da personenbezogene Mitarbeiterdaten als vertraulich gelten und gleichzeitig der Umgang mit Daten durch die Teilnehmer des Dienstmarktes nicht kontrolliert werden kann. Im vorliegenden Fall muss daher das Produktionssystem das Schutzziel der Vertraulichkeit sicherstellen, indem ein Informationsfluss zwischen Produktionsarbeiter und Dienstmarkt ausgeschlossen wird. Gleichzeitig dürfen keine Informationen vom Dienstmarkt oder dem Mitarbeiter zum Fertigungsplan fließen, um dessen Integrität zu gewährleisten. In den nachgelagerten Phasen der Systementwicklung müssen also entsprechende Maßnahmen ergriffen werden, um eine *Informationsflusskontrolle* (Hedin und Sabelfeld 2012) zu gewährleisten und so die spezifizierte Sicherheitsrichtlinie zu erfüllen.

3.3 Entwurfsmethodik

Aufgrund der Abstraktheit der Prinzipiöfung ist die Einhaltung der Sicherheitsrichtlinie natürlich abhängig von der Verfeinerung des disziplinübergreifenden Entwurfs innerhalb der einzelnen Fachdisziplinen. Die Softwaretechnik ist hierbei diejenige Disziplin, in der die Informationsverarbeitung des Systems implementiert wird und die somit einen inhärenten Umgang mit der Informationssicherheit pflegt. Gleichzeitig stellt die Softwaretechnik bereits konkrete Methoden und Werkzeuge bereit, mit Hilfe derer sich die Informationssicherheit bereits ab dem Entwurfsstadium von Softwaresystemen berücksichtigen lässt. Dieses Paradigma wird als *Security by Design* bezeichnet (Bodden et al. 2013a) und ermöglicht es, bereits im Entwicklungsprozess eines Softwaresystems verlässliche Aussagen über die Informationssicherheit zu treffen.

Jedoch operieren existierende Methoden naturgemäß auf disziplinspezifischen Artefakten der Softwaretechnik wie zum Beispiel dem Programmcode. Ein Bezug zu den abstrakten, disziplinübergreifenden Methoden des Systems Engineerings besteht nicht. Die Nachverfolgbarkeit der Informationssicherheit ist somit nicht gegeben, da kein Bezug zwischen der abstrakten Sicherheitsrichtlinie und konkreten, softwaretechnisch analysierbaren Eigenschaften besteht. Eine Integration dieser softwaretechnischen Methoden mit der Ebene des modellbasierten Systems Engineerings ist somit unerlässlich, um analysierbare Eigenschaften aus den abstrakten Informationsflussanforderungen ableiten zu können, sowie aus den Analyseergebnissen wiederum Rückschlüsse über die Erfüllung der abstrakten Anforderungen ziehen zu können. Dem Paradigma *Security by Design* entsprechend stellen wir im Folgenden eine schrittweise Methodik für die Nachverfolgung der Informationssicherheit cyber-physischer Systeme mit Mitteln der Softwaretechnik vor.

3.3.1 Identifikation von Bedrohungen

Um die Spezifikation von Anforderungen an die Informationssicherheit zu begünstigen, muss zunächst ein Bewusstsein für schutzbedürftige Informationen sowie relevante Gefahren, Schwachpunkte und mögliche Angriffsvektoren geschaffen werden. Nur unter dieser Voraussetzung können in den nachgelagerten Phasen des Systems Engineerings effektive Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Die modellbasierte Herangehensweise legt dabei die Möglichkeit einer *Bedrohungsmodellierung* (Shostack 2014) nahe, die, wie in Abb. 3 dargestellt, dem disziplinübergreifenden Systementwurf vorgeschaltet werden muss. Die Bedrohungsmodellierung verfolgt das Ziel, relevante Angriffsszenarien frühzeitig und strukturiert zu identifizieren und in Form eines Bedrohungsmodells zu erfassen. Beispielsweise könnten an dieser Stelle die Mitarbeiterdaten oder der Fertigungsplan als schutzbedürftige Informationen definiert werden, sowie die Identifizierung des offen zugänglichen Dienstmarktes als eine potenzielle Gefahrenquelle erfolgen.

Aus den erfassten Bedrohungen können wichtige Bestandteile einer Sicherheitsrichtlinie abgeleitet werden, die im Folgenden auf Ebene der Prinzipiellösung spezifiziert werden muss, zum Beispiel in Form von unzulässigen Informationsflüssen. Im Beispiel könnte ein Informationsfluss zwischen Mitarbeiter (bzw. Fertigungsplan) und Dienstmarkt als unzulässig spezifiziert werden. Wie in Abb. 3 dargestellt, muss im Sinne der Nachverfolgbarkeit eine explizite Verknüpfung zwischen Bedrohungsmodell und Prinzipiellösung erreicht werden, aus der detailliert hervorgeht, inwiefern die relevanten Bedrohungen durch die spezifizierten Anforderungen abgedeckt werden.

Einer effektiven Spezifikation der Anforderungen steht jedoch die Tatsache entgegen, dass der Informationssicherheit im disziplinübergreifenden Entwurf bislang nicht hinreichend Rechnung getragen wird. Einerseits wird Security mit dem Ausbleiben erfolgreicher Angriffe assoziiert (Haley et al. 2008). Formulierungen wie beispielsweise „personenbezogene Mitarbeiterdaten können *niemals* durch Teilnehmer des Dienstmarktes eingesehen werden“ sind typische Nutzeranforderungen. Da Security

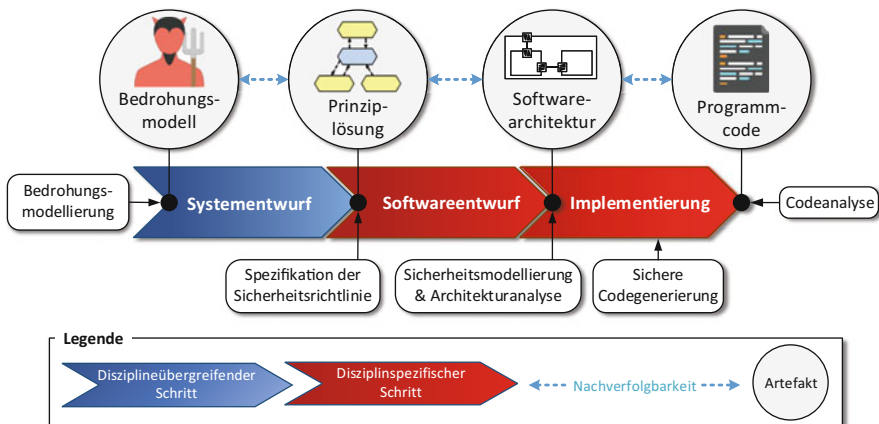


Abb. 3 Nachverfolgbarkeit in den Entwurfs- und Entwicklungsphasen des Systems Engineerings

demnach durch „negative Eigenschaften charakterisiert wird“ (Breu et al. 2016), sind alternative Formen der Anforderungsspezifikation notwendig. Andererseits muss im disziplinübergreifenden Sinne des Systems Engineerings eine Integration inkompatibler Fachsprachen aus einzelnen Disziplinen erfolgen (Bodden et al. 2013a), um Anforderungen an die Informationssicherheit effektiv spezifizieren zu können.

3.3.2 Formalisierung und Analyse von Sicherheitsrichtlinien

Nach dem Übergang vom disziplinübergreifenden in den disziplinspezifischen Entwurf ist die *Softwarearchitektur* (Garlan 2014) das früheste Stadium, in dem Aussagen über die Informationssicherheit getroffen werden können. Die Softwarearchitektur modelliert den strukturellen Aufbau des Softwareanteils eines Systems, sowie Bezüge zwischen verschiedenen Elementen innerhalb dieser Struktur. Das modellbasierte Vorgehen legt nahe, die Softwarearchitektur mit einem *Sicherheitsmodell* (McLean et al. 2002) zu integrieren. Ein solches Modell ermöglicht die Formalisierung von Sicherheitsrichtlinien. Es kann so formal analysiert werden, ob die Softwarearchitektur den Anforderungen der Sicherheitsrichtlinie genügt. Durch eine wie in Abb. 3 dargestellte *Architekturanalyse* (Dobrica und Niemelä 2002) kann dann bereits vor der realen Implementierung des Systems eine Aussage darüber getroffen werden, ob die Softwarearchitektur bestimmte Eigenschaften der Informationssicherheit erfüllt. Sieht die Sicherheitsrichtlinie beispielsweise vor, dass keine Informationen vom Produktionsarbeiter zum Dienstmarkt fließen dürfen, so kann diese Eigenschaft durch ein geeignetes Sicherheitsmodell formalisiert und die Softwarearchitektur auf einen unzulässigen Informationsfluss hin untersucht werden. Um Architekturanalysen im Kontext sicherheitskritischer Systeme auszuführen, bieten Methoden der *formalen Verifikation* (Gabmeyer et al. 2017) gewisse Vorzüge gegenüber einer *Simulation*. Während in der Simulation nur ausgewählte Ausführungsszenarien eines Softwaresystems untersucht werden, beziehen formale Verifikationstechniken immer alle möglichen Systemzustände in die Analyse mit ein und können so umfassendere, fundierte Sicherheitsgarantien geben.

Um eine zielgenaue Analyse zu ermöglichen, muss jedoch nachverfolgbar sein, wie sich die Sicherheitsmodellierung zu der Sicherheitsrichtlinie verhält, die auf Ebene der Prinzipiellösung spezifiziert wurde. Durch die in Abb. 3 dargestellte Nachverfolgbarkeit zwischen Modellelementen der Prinzipiellösung sowie der Softwarearchitektur, können die Ergebnisse der Architekturanalyse in einen unmittelbaren Bezug zu den Anforderungen der Sicherheitsrichtlinie gesetzt werden. Somit können konkrete Aussagen darüber getroffen werden, ob die spezifizierten Anforderungen durch die Softwarearchitektur erfüllt oder verletzt werden.

3.3.3 Enforcing von Sicherheitsrichtlinien

Die Implementierung auf Codeebene muss sicherstellen, dass die spezifizierte Sicherheitsrichtlinie durch das finale Softwaresystem nicht außer Kraft gesetzt wird. Maßnahmen mit diesem Ziel werden als *Enforcing* der Sicherheitsrichtlinie bezeichnet (Schneider 2000). Hierbei ist der Einsatz einer Laufzeitüberwachung (*Runtime Monitoring*) möglich (Delgado et al. 2004), um das System während seiner Ausführung zu beobachten sowie Verletzungen der Sicherheitsrichtlinie zu identifizieren

und zu verhindern. Als komplementärer Ansatz, der zudem dem Paradigma *Security by Design* entspricht, ist auch der Einsatz einer *Codeanalyse* (Binkley 2007) denkbar. Wie in Abb. 3 dargestellt, kann so der implementierte Code bereits vor seiner Ausführung auf Inkonsistenzen zur Sicherheitsrichtlinie hin untersucht und gegebenenfalls mit Hinweisen zur Fehlerbehebung ausgestattet werden. Im Sinne der Nachverfolgbarkeit muss an dieser Stelle erneut eine enge Kopplung mit der vorgelagerten Entwurfsebene ermöglicht werden. So müssen Ergebnisse der Codeanalyse in direkten Bezug zum Sicherheitsmodell auf Ebene der Softwarearchitektur gesetzt werden, sodass die Analyseergebnisse unmittelbare Erkenntnisse über die Erfüllung bzw. Verletzung der modellierten Sicherheitseigenschaften liefern können. Schließt die Softwarearchitektur beispielsweise einen Informationsfluss zwischen bestimmten Strukturelementen aus, so kann eine Verletzung dieser Eigenschaft durch einen unzulässigen Datenfluss auf Codeebene identifiziert werden.

Ebenfalls denkbar ist eine Automatisierung der manuellen Entwicklungsarbeiten durch eine automatische *Codegenerierung* (Czarnecki 2005). Wie in Abb. 3 dargestellt, kann so Programmcode erzeugt werden, der dem zuvor analysierten Sicherheitsmodell per Konstruktion genügt. Hierzu kann der Code einerseits so generiert werden, dass Unzulänglichkeiten (die andernfalls durch eine Codeanalyse aufgedeckt werden müssten) von vornherein ausgeschlossen sind. Andererseits kann der Programmcode durch die Generierung auch mit Codenanteilen angereichert werden, die eine Laufzeitüberwachung implementieren und so unsicheres Verhalten während der Ausführung identifizieren und verhindern.

4 Stand der Technik

In diesem Abschnitt werden vorhandene Methoden beleuchtet, die nach dem Paradigma *Security by Design* zu einer Nachverfolgbarkeit der Informationssicherheit beitragen können. Dazu erfolgt eine Bewertung der Anwendbarkeit im Umfeld der Industrie 4.0, sowie die Benennung offener Problemstellungen.

4.1 Bedrohungsmodellierung

Ein prominenter Vertreter im Kontext der Bedrohungsmodellierung ist der Ansatz STRIDE von Microsoft (Shostack 2014). Dieser umfasst eine Klassifizierung typischer Bedrohungssituationen in Form von sechs Kategorien:

- *Spoofing* umfasst Bedrohungen, die durch Vortäuschung einer falschen Identität entstehen. Im Kontext der Industrie 4.0 besteht diese Art der Bedrohung beispielsweise dann, wenn die Identität eines vertrauenswürdigen Unternehmens vorgetäuscht wird, um sich an dessen Daten zu bereichern.

- *Tampering* ist eine Bedrohung durch unautorisierte Manipulation von Daten. Diese Form der Bedrohung ist im industriellen Kontext relevant, zum Beispiel wenn Unternehmensdaten zu Sabotagezwecken gezielt verfälscht werden.
- *Repudiation* umschließt Bedrohungen, bei denen Akteure die Ausführung bestimmter Operationen im Nachhinein abstreiten können, da keine Möglichkeit des Nachweises besteht. Solche Szenarien sind aus dem Blickwinkel industrieller Unternehmen als besonders kritisch zu bewerten, da die Nachvollziehbarkeit der Entstehungshistorie jedes einzelnen Produktes (inklusive seiner einzelnen Produktionsschritte) ein zentrales Merkmal der Industrie 4.0 darstellt. Können jedoch Marktteilnehmer ihre Beteiligung an verteilten Produktionsprozessen erfolgreich verleugnen, um sich beispielsweise einer Regresspflicht zu entziehen, so wird die Nachweisbarkeit massiv in Frage gestellt.
- *Information Disclosure* stellt eine Bedrohungssituation durch unautorisierten Zugriff auf bestimmte Informationsbereiche dar. Betroffen von solchen Bedrohungen können beispielsweise personenbezogene Mitarbeiterdaten oder Geschäftsgeheimnisse sein, die nicht von anderen Marktteilnehmern einsehbar sein sollen.
- *Denial of Service* beschreibt Bedrohungsszenarien, in denen eine nach außen angebotene Funktionalität eines Systems außer Kraft gesetzt wird. Einer solchen Bedrohung können beispielsweise die nach außen hin angebotenen Produktiondienste eines Unternehmens ausgesetzt sein, etwa in Form mutwilliger Sabotageakte, um den Marktzugang eines Wettbewerbers einzuschränken.
- *Elevation of Privilege* bezieht sich schließlich auf die Ausweitung von Zugriffsrechten auf unzugängliche Systembereiche. Gerade der Aspekt der Zugriffsrechte und ihrer Einhaltung muss im Zuge der verstärkten Vernetzung industrieller Produktionsanlagen und der daraus resultierenden Vielzahl an zusätzlichen Kommunikationsschnittstellen völlig neu bewertet werden.

Gemessen an typischen, im Umfeld der Industrie 4.0 als kritisch aufgefassten Bedrohungsszenarien (Hertel 2015), weisen die Kategorien allesamt eine industrielle Relevanz auf. Die Klassifizierung ist so in der Lage, ein initiales Bewusstsein für die Bedrohungslage eines Systems zu schaffen. Dabei können das zu entwickelnde System bzw. einzelne Systemteile einer Beurteilung anhand der einzelnen Bedrohungskategorien unterzogen werden und so ein Prozess zum Schutz vor den identifizierten Bedrohungen angestoßen werden.

Aufgrund ihrer Abstraktheit und Allgemeinheit sind existierende Methoden der Bedrohungsmodellierung im Umfeld der Industrie 4.0 bereits grundsätzlich anwendbar. Gleichzeitig stellt sich der Stand der Technik als noch nicht ausgereift genug dar, um erprobte Lösungswege für konkrete, wiederkehrende Problemstellungen der Bedrohungsmodellierung aufzuzeigen. Da „keine allgemein anerkannte Herangehensweise“ (Bodden et al. 2013a) vorliegt, ist eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Ansätze nicht gegeben. Dies führt zu der Situation, dass „intersubjektiv nachvollziehbare Ergebnisse“ (Bodden et al. 2013a) nicht erzielt werden können und somit ein erheblicher Forschungsbedarf besteht.

4.2 Sicherheitsmodellierung & Architekturanalyse

Als Grobstrukturierung eines Softwaresystems stellt die Softwarearchitektur einen ersten Ansatzpunkt für eine frühzeitige Analyse der Informationssicherheit dar. Mit der Unified Modeling Language (UML) existiert dabei ein De-facto-Standard für den modellbasierten Entwurf von Softwaresystemen und ihrer Architekturen (Object Management Group 2015). Jedoch verfügen oft weder Architekten noch Entwickler über die nötige Expertise, um der Informationssicherheit unter Einsatz der UML hinreichend Rechnung zu tragen. Selbst bei vorhandenem Expertenwissen wird Informationssicherheit oftmals als nachträglicher „Nebengedanke“ abgetan (Devanbu und Stubblebine 2000), da sie aufgrund ihres nichtfunktionalen Charakters als sekundär für die Nutzerakzeptanz gilt und sich daher vermeintlich Zeit und Kosten einsparen lassen.

Der Unzulänglichkeit der UML ungeachtet existiert ein großer Wissensbestand an formalen Sicherheitsmodellen (McLean et al. 2002). Diese zielen auf unterschiedliche Sicherheitseigenschaften wie zum Beispiel Zugriffskontrolle (Bell und LaPadula 1996; Biba 1975) oder Informationsflusskontrolle durch *Noninterference* (Goguen und Meseguer 1982) ab. Um Softwarearchitekturen hinsichtlich solcher Eigenschaften analysierbar zu machen, müssen praxisrelevante Modellierungssprachen wie die UML mit der theorielastigen Sicherheitsmodellierung zusammengeführt werden. Mit *UMLsec* existiert eine Erweiterung der UML als Ansatz in diese Richtung (Jürjens 2005). *UMLsec* befähigt Softwarearchitekten, sicherheitsrelevante Aspekte in die Modellierung eines Systems zu integrieren. Darunter fallen zum Beispiel die Geheimhaltungsstufen bestimmter Informationen, eine Klassifizierung von Kommunikationsverbindungen anhand von Sicherheitsaspekten (z. B. lokale Netzwerke im Gegensatz zu öffentlichen Internetverbindungen), wie auch Sicherheitseigenschaften, die das modellierte Softwaresystem einhalten muss. Um Aussagen über diese Eigenschaften treffen zu können, ermöglicht *UMLsec* auch die Modellierung etwaiger Angreifer. Diese Angreiferinformationen können in eine automatische Analyse der Modelle einfließen. Diese liefert Aussagen darüber, ob die modellierten Sicherheitsannahmen ausreichend sind, um die geforderten Sicherheitseigenschaften zu erfüllen.

Der Einsatz modellbasierter Methoden stellt sich als äußerst hilfreich dar, um den steigenden Anforderungen an die Informationssicherheit cyber-physischer Systeme nachzukommen (Nguyen et al. 2017). Jedoch hat *UMLsec* den Charakter einer Allzwecksprache, die nicht auf die spezifischen Eigenschaften einer bestimmten Anwendungsdomäne, wie z. B. der Industrie 4.0, zugeschnitten ist. Die Sicherheitsmodellierung muss diesem Aspekt jedoch Rechnung tragen und die spezifischen Eigenschaften cyber-physischer Produktionssysteme betrachten, damit die Analyse das reale System adäquat widerspiegelt. Eigene Forschungsarbeiten haben den Ansatz der *MECHATRONICUML* hervorgebracht (Schäfer und Wehrheim 2010), die eine Adaption der UML für den Einsatz im Umfeld cyber-physischer Systeme darstellt. Der Ansatz sieht jedoch keine spezifische Betrachtung der Informationssicherheit vor. Um im Kontext der Industrie 4.0 wahrheitsgetreue Architekturanalysen durchführen zu können, muss demnach eine Integration der Sicherheitsmodellierung

(nach dem Vorbild von UMLsec) mit der domänenspezifischen Modellierung (nach dem Vorbild von MECHATRONICUML) erfolgen. Zur Nachverfolgung der Informationssicherheit muss außerdem eine Integration der softwaretechnischen Architekturanalyse mit der Sicherheitsrichtlinie gewährleistet sein, die auf Ebene des disziplinübergreifenden Systementwurfs spezifiziert wurde. Aus Anforderungen der Sicherheitsrichtlinie müssen konkrete Sicherheitseigenschaften abgeleitet werden, die auf Ebene der Softwarearchitektur analysierbar sind. Andererseits müssen die Analyseergebnisse wiederum Rückschlüsse darüber zulassen, ob die analysierte Softwarearchitektur die Anforderungen der Sicherheitsrichtlinie erfüllt, oder aber Schwachstellen offeriert. Vorstöße in diese Richtung sind bereits Gegenstand eigener Forschungsarbeiten (Gerking 2016).

4.3 Codegenerierung

Eine Codegenerierung muss sicherstellen, dass Annahmen der Sicherheitsmodellierung durch den erzeugten Programmcode nicht verletzt werden. Nur unter dieser Voraussetzung können sich Eigenschaften, die auf Modellebene nachgewiesen wurden, während der Ausführung des realen Systems bewahrheiten. Für das *Enforcing* der Sicherheitsrichtlinie ist diese Eigenschaft daher von essenzieller Wichtigkeit. Nicht umsonst unterliegen Codegeneratoren einer rigorosen Zertifizierung, um im Umfeld sicherheitskritischer Systeme zum Einsatz kommen zu können (Bärwald und Beine 2010).

Die Abstraktion der Modellierung (d. h. die Auslassung bestimmter Aspekte im Vergleich zum realen System) lässt jedoch einen Spielraum bei der Erzeugung des Programmcodes zu. Für Aspekte, die nicht Gegenstand der expliziten Modellierung sind, liegen dem Codegenerator keine unmittelbaren Vorgaben für die Umsetzung auf Codeebene vor. Existierende Verfahren beschränken sich so oftmals auf funktionale Aspekte, d. h. die Erhaltung der modellierten Systemfunktionalität. Nichtfunktionale Eigenschaften wie die Informationssicherheit sind oftmals nicht Teil der Modellierung und finden daher auch keine Berücksichtigung im erzeugten Code, der somit im Regelfall inhärent unsicher ist. Der vorgestellte Ansatz UMLsec schafft hier Abhilfe, indem die Informationssicherheit zum Gegenstand der Modellierung erhoben wird und entsprechende Codegenerierungsverfahren für sicherheitsrelevante Aspekte existieren, wie zum Beispiel die Zugriffskontrolle auf schutzbedürftige Ressourcen (Montrieux et al. 2010). Mit *SecureUML* (Basin et al. 2006) und *ModelSec* (Sánchez et al. 2009) liegen weitere Ansätze zur Modellierung sicherheitskritischer Systeme vor, die ebenfalls über Generierungsverfahren verfügen.

Andere Verfahren zur Absicherung von Programmcode setzen oft erst zu einem späteren Zeitpunkt des Entwicklungsprozesses an und zielen nicht auf die Generierung, sondern auf die *Härtung* des bereits vorliegenden Programmcodes ab. Damit kann beispielsweise ein Schutz vor bewusst hervorgerufenen Pufferüberläufen (*Stack Smashing*) in den Code integriert werden (Pincus und Baker 2004). Angriffe mit dem Ziel des Einschleusens von Schadcode können so automatisch erkannt und durch das Ergreifen entsprechender Gegenmaßnahmen verhindert werden.

Unter Umständen kann der generierte Programmcode jedoch das *Enforcing* komplexer Sicherheitsrichtlinien nicht gewährleisten. Dies ist der Fall, wenn unsicheres Ausführungsverhalten nicht gänzlich verhindert werden kann. An dieser Stelle kommen Maßnahmen zur Laufzeitüberwachung des Systems zum Tragen, deren theoretische Grundlagen in ausgereifter Form vorliegen (Schneider 2000; Gay et al. 2012). Einen fortschrittlichen Ansatz zur Laufzeitüberwachung stellt die Auswertung von Prozessdaten dar, die eine automatisierte Anomalieerkennung (Chandola et al. 2009) nahelegen. Diese kann in Form von Angriffserkennungssystemen (*Intrusion Detection Systems*) genutzt werden, um Angriffe zur Laufzeit zu erkennen und abzuwehren (Lunt 1993). Da Prozessdaten im digitalisierten Kontext der Industrie 4.0 massiv anfallen, könnte erfolgreichen Angriffen auf dieser Basis noch effektiver entgegen gewirkt werden (Bachlechner et al. 2016; Niggemann und Frey 2015).

Jedoch fordern die oben genannten Maßnahmen zur Laufzeitüberwachung den Softwareentwicklern ein erhöhtes Maß an Expertise ab, wenn sie in gängigen Programmiersprachen manuell implementiert werden müssen. Wie in eigenen Forschungsarbeiten untersucht (Bodden et al. 2013b), weisen die Sicherheitsmechanismen dieser Sprachen oft eine hohe Komplexität auf, die zu Überforderung und Scheitern seitens der Softwareentwickler führen kann. Um auch weniger geschulte Entwickler zu unterstützen, muss die korrekte Implementierung von Schutzmaßnahmen daher verstärkt durch Codegenerierungen unterstützt werden. Entwickler könnten so automatisch Programmcode erzeugen, der die Umsetzung der Sicherheitsrichtlinie sicherstellt.

Dabei stellt eine Codegenerierung grundsätzlich eine *Verfeinerung* des Systems gegenüber der Softwarearchitektur dar. Existierende Sicherheitsmodelle können jedoch in der Regel nicht garantieren, dass Sicherheitseigenschaften durch eine Verfeinerung des Systemverhaltens erhalten werden (Mantel 2001). Dieses offene Grundsatzproblem wird als *Refinement Paradox* bezeichnet und stellt eine inhärente Herausforderung für die Generierung sicheren Programmcodes dar.

4.4 Codeanalyse

Statische Codeanalysen (Zheng et al. 2006) bieten die Möglichkeit, vorliegenden Programmcode auf Defizite im Umgang mit der Informationssicherheit zu überprüfen. Dabei bezieht die Analyse alle möglichen Ausführungspfade eines Programms mit ein und abstrahiert somit auch von den konkreten Nutzereingaben. Dadurch wird auch ein eventuelles Angreiferverhalten umfasst und kann durch die Analyse aufgedeckt werden. Codeanalysen liegen bereits in einer ausgereiften Form vor (Bodden et al. 2013a) und stellen somit ein mächtiges Instrument dar, um Verletzungen von Sicherheitsrichtlinien aufzudecken und Konsistenz zwischen Programmcode und Sicherheitsmodellierung zu gewährleisten.

In der industriellen Praxis stehen dennoch einzelne Aspekte einer Anwendung von statischen Codeanalysen entgegen. Da der Informationssicherheit im industriellen Umfeld lange keine hohe Priorität beigemessen wurde, zielen vorhandene

Ansätze überwiegend auf Programmiersprachen ab, die für die Steuerung von Industrieanlagen nicht eingesetzt werden. Erste Ansätze existieren jedoch auch für die Codeanalyse von Sprachen, die im industriellen Kontext relevant sind (Prähofer et al. 2017). Außerdem ziehen die Systeme der Industrie 4.0 ein neues Ausmaß an Komplexität und Umfang des Programmcodes nach sich. Die Skalierbarkeit der Analysemethoden für reale Systemgrößen steht somit in Frage, sodass ein zusätzlicher Forschungsaufwand geleistet werden muss, um Codeanalysen effizient anwenden zu können. Eine zusätzliche Problemstellung ergibt sich durch die Vernetzung der Systeme und die daraus resultierende Verteilung des relevanten Programmcodes. Erste Lösungsideen zur Bewältigung dieser Herausforderung existieren (Ghassemi et al. 2017), während eine Umsetzung in Form industriell einsetzbarer Softwarewerkzeuge noch aussteht. Darüber hinaus erwächst aus der Verteilung des Programmcodes zusätzlich die Fragestellung, ob überhaupt alle Teile des Codes für die Analyse zugänglich sind. Kompositionale Methoden der Codeanalyse werden erforderlich sein, um das Verhalten eines Gesamtsystems zu analysieren, auch ohne auf alle Teile des Codes unmittelbar zugreifen zu können.

Im Zuge der Nachverfolgung der Informationssicherheit müssen Codeanalysen zudem stärker mit einer vorangehenden Sicherheitsmodellierung integriert werden. Vorliegende Regelsätze stellen oftmals allgemeingültige, jedoch unpräzise Anforderungen dar und stehen in keinem Zusammenhang zu konkreten Annahmen an die Informationssicherheit, die während der Sicherheitsmodellierung getroffen wurden. Erstrebenswert ist vielmehr eine Ableitung der auf Codeebene zu überprüfenden Anforderungen aus den zuvor modellierten Sicherheitseigenschaften, um Abweichungen zwischen Programmcode und Modellierung durch den Einsatz der Codeanalyse aufdecken zu können. Nur wenn der Programmcode frei von solchen Abweichungen ist, können sich die während der Architekturanalyse prognostizierten Sicherheitseigenschaften für das reale System bewahrheiten.

5 Fazit

Die unternehmensübergreifende Vernetzung von Produktionsanlagen in der Industrie 4.0 steht im Kontrast zur Wahrung der Sicherheit sensibler Informationen und insbesondere personenbezogener Mitarbeiterdaten. Konzepte der IT-Sicherheit gelten daher als kritischer Erfolgsfaktor für Unternehmen, die sich der industriellen Vernetzung öffnen. Dieser Beitrag nimmt den Blickwinkel der Systementwicklung ein und beschreibt einen Entwurfsansatz für cyber-physische Produktionssysteme gemäß dem modellbasierten Systems Engineering. Mit dem Ziel einer nachverfolgbaren Informationssicherheit werden gezielt softwaretechnische Methoden in die unterschiedlichen Entwurfs- und Entwicklungsphasen des Systems Engineerings integriert und zueinander in Bezug gesetzt. Diese Integration zielt auf eine effektive Spezifikation zielgerichteter Anforderungen, sowie auf eine durchgängige Nachverfolgung entsprechender Schutzmaßnahmen in den nachgelagerten Modellierungs- und Implementierungsschritten ab. Gemäß dem Paradigma *Security by Design* kann so ein Beitrag zu einer frühzeitigen Identifikation von Schwachstellen sowie der

Einleitung adäquater Gegenmaßnahmen noch vor Inbetriebnahme eines Systems geleistet werden. Unternehmen sowie ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter profitieren gleichermaßen von einer frühzeitigen Fehlerbehandlung, indem Schwachstellen nicht erst im kritischen Fehlerfall während des laufenden Betriebes erkannt werden.

Zukünftige Forschungsarbeiten müssen sich mit der Integration der vorgeschlagenen Entwurfsmethodik in praxisrelevante Entwicklungsprozesse befassen, zum Beispiel aus dem Kontext der agilen Softwareentwicklung. Insbesondere muss die Nachverfolgbarkeit zwischen den verschiedenen Entwicklungsphasen durch geeignete Werkzeugintegrationen sichergestellt werden, um die Hemmschwelle für die Einführung in der industriellen Praxis zu senken.

Weiterhin stellt sich der Themenkomplex der Informationssicherheit für die Systeme der Industrie 4.0 als zu vielschichtig dar, um alleine durch Maßnahmen während des Entwurfs nachhaltig gelöst zu werden. So greifen die Maßnahmen nach dem Paradigma *Security by Design* nur dann, wenn Systeme im Anwendungsfeld so konfiguriert werden, dass die tatsächliche Ausführungsumgebung der zuvor in Betracht gezogenen Bedrohungslage entspricht. Nur unter dieser Voraussetzung bieten die im Entwurf getroffenen Vorkehrungen einen effektiven Schutz über den kompletten Lebenszyklus eines Systems. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die Evolution der Ausführungsumgebung von Systemen (Seifermann et al. 2016) dar. Solche Fälle müssen erkannt werden und eine erneute Beurteilung der Bedrohungslage nach sich ziehen, um den Systemschutz zu erhalten.

Ebenso müssen Forschungsarbeiten verstärkt eine Integration von Schutzmaßnahmen verschiedener Disziplinen fokussieren. Beispielsweise müssen auch physikalische Angriffe sowie entsprechende mechanische Schutzmaßnahmen ins Auge gefasst werden, um im Zusammenspiel mit softwaretechnischen Maßnahmen einen ganzheitlichen Systemschutz zu gewährleisten. Die Betrachtung der Informationssicherheit über den gesamten Lebenszyklus hinweg, unter Einbeziehung aller beteiligter Fachdisziplinen, ist unerlässliche Voraussetzung für eine sichere Beteiligung an den erfolversprechenden Wertschöpfungsnetzwerken der Industrie 4.0.

Literatur

- acatech. (Hrsg.). (2011). *Cyber-Physical Systems. Innovationsmotoren für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion*. (acatech POSITION 11). Berlin: Springer. ISBN : 978-3-642-27566-1.
- Alt, O. (2014). Modellbasiertes Systems Engineering und seine Technologien als Schlüssel für Industrie 4.0. In M. Maurer & S.-O. Schulze (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering*, Bremen, 12.–14. Nov. 2014 (S. 1–9). München: Hanser. ISBN: 978-3-446-44357-0.
- Bachlechner, D., Behling, T., Bollhöfer, E., Dexheimer, T., Borges, G., Gröne, M., . . . Wigger, A. (Hrsg.). (2016). *IT-Sicherheit für die Industrie 4.0. Produktion, Produkte, Dienste von morgen im Zeichen globalisierter Wertschöpfungsketten*. Abschlussbericht. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Bärwald, A., & Beine, M. (2010). Sichere Codegenerierung. Modellbasierte Entwicklung sicherheitskritischer Systeme. *Hanser Automotive*, 2(1–2), 30–33.
- Basin, D. A., Doser, J., & Lodderstedt, T. (2006). Model driven security. From UML models to access control infrastructures. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 15(1), 39–91.

- Bedner, M., & Ackermann, T. (2010). Schutzziele der IT-Sicherheit. *Datenschutz und Datensicherheit – DuD*, 34(5), 323–328.
- Bell, D. E., & LaPadula, L. J. (1996). Secure computer systems. A mathematical model. *Journal of Computer Security*, 4(2–3), 229–263.
- Biba, K. J. (1975). *Integrity considerations for secure computer systems*. Techn. Ber. MTR-3153. MITRE Corporation.
- Binkley, D. (2007). Source code analysis: A road map. In L. C. Briand & A. L. Wolf (Hrsg.), *Future of software engineering*, FOSE 2007, Minneapolis, 23.–25. Mai 2007 (S. 104–119). Los Alamitos: IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2829-5.
- Bodden, E., Schneider, M., Kreutzer, M., Mezini, M., Hammer, C., Zeller, A., . . . Kraschewski, D. (2013a). In M. Waidner, M. Backes & J. Müller-Quade (Hrsg.), *Entwicklung sicherer Software durch Security by Design. Trend- und Strategiebericht* (SIT Technical Reports SIT-TR-2013-01). Stuttgart: Fraunhofer. ISBN: 978-3-8396-0567-7.
- Bodden, E., Hermann, B., Lerch, J., & Mezini, M. (2013b). Reducing human factors in software security architectures. In M. Lauster (Hrsg.), *8th future security. Security research conference. Proceedings*, Berlin, 17.–19. Sep. 2013 (S. 275–285). Stuttgart: Fraunhofer. ISBN: 978-3-8396-0604-9.
- Bohner, S. A. (2002). Software change impacts. An evolving perspective. In *International conference on software maintenance*. Proceedings, ICSM 2002. Maintaining Distributed Heterogeneous Systems, Montreal, 3.–6. Okt. 2002 (S. 263–272). Los Alamitos: IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-1819-2.
- Breu, R., Sillaber, C., & Brunner, M. (2016). Security im Produkt-Lifecycle. Lästige Pflicht oder Chance? *Informatik-Spektrum*, 39(5), 353–361.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. (2016). *Zertifizierte IT-Sicherheit. Prüfstandards für IT-Sicherheit, Technische Richtlinien und Schutzprofile*. Konformitätsbewertung, Zertifizierung und Anerkennung. Bonn.
- Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection. A survey. *ACM Computing Surveys*, 41(3), 15.1–15.8.
- Cleland-Huang, J., Gotel, O., & Zisman, A. (Hrsg.). (2012). *Software and systems traceability*. Mit einem Vorw. von A. Finkelstein. London: Springer. ISBN: 978-1-4471-2238-8.
- Czarnecki, K. (2005). Overview of generative software development. In J. Banâtre, P. Fradet, J. Giavitto & O. Michel (Hrsg.), *Unconventional programming paradigms*. Revised selected and invited papers, International workshop UPP 2004, Le Mont Saint Michel, 15.–17. Sep. 2004. (Lecture notes in computer science, Bd. 3566, S. 326–341). Berlin: Springer. ISBN: 3-540-27884-2.
- Delgado, N., Gates, A. Q., & Roach, S. (2004). A taxonomy and catalog of runtime software-fault monitoring tools. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 30(12), 859–872.
- Devanbu, P. T., & Stubblebine, S. G. (2000). Software engineering for security. A roadmap. In A. Finkelstein (Hrsg.), *The future of software engineering*, 22nd international conference on software engineering, Limerick, 4.–11. Juni 2000 (S. 227–239). New York: ACM. ISBN: 1-58113-253-0.
- Diedrich, C., Meyer, M., Evertz, L., & Schäfer, W. (2014). Dienste in der Automatisierungstechnik. *atp edition – Automatisierungstechnische Praxis*, 56(12), 24–35.
- Dobrica, L., & Niemelä, E. (2002). A survey on software architecture analysis methods. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 28(7), 638–653.
- Dumitrescu, R., Bremer, C., Kühn, A., Trächtler, A., & Friebe, T. (2015). Modellbasierte Entwicklung von Produkten, Prozessen und Produktionsressourcen. Ein zustandsorientierter Ansatz für ein integriertes Systemmodell von Objekten, Prozessen und Systemen. *at – Automatisierungstechnik. Methoden und Anwendungen der Steuerungs-, Regelungs und Informationstechnik*, 63(10), 844–857.
- Eckert, C., & Fallenbeck, N. (2015). Industrie 4.0 meets IT-Sicherheit. Eine Herausforderung! *Informatik-Spektrum*, 38(3), 217–223.
- Gabmeyer, S., Kaufmann, P., Seidl, M., Gogolla, M., & Kappel, G. (2017). A feature-based classification of formal verification techniques for software models. *Software & Systems Modeling*. <https://doi.org/10.1007/s10270-017-0591-z>.

- Garlan, D. (2014). Software architecture. A travelogue. In J. D. Herbsleb & M. B. Dwyer (Hrsg.), *Future of software engineering*. Proceedings, FOSE 2014, Hyderabad, 31. Mai–7. Juni 2014 (S. 29–39). New York: ACM. ISBN: 978-1-4503-2865-4.
- Gausemeier, J., Frank, U., Donoth, J., & Kahl, S. (2008). Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus (Teil 2). *Konstruktion – Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe*, 9, 4.
- Gausemeier, J., Dumitrescu, R., Steffen, D., Czaja, A. M., Tschirner, C., & Wiederkehr, O. (2013a). Systems Engineering in der industriellen Praxis. In *Tag des Systems Engineering*, 7.–9. Nov. 2013. München: Carl Hanser. ISBN: 978-3-446-43946-7.
- Gausemeier, J., Tschirner, C., & Dumitrescu, R. (2013b). Der Weg zu Intelligenten Technischen Systemen. *Industrie Management*, 29(1), 49.
- Gausemeier, J., Klocke, F., Dülme, C., Eckelt, D., Kabasci, P., Kohlhuber, M., ... Schröder, S. (2016). *Industrie 4.0. Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung*. Paderborn und Aachen: Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn und Werkzeugmaschinenlabor WZL der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. ISBN: 978-3-942044-87-5.
- Gay, R., Mantel, H., & Sprick, B. (2012). Service automata. In G. Barthe, A. Datta & S. Etalle (Hrsg.), *Formal aspects of security and trust*. Revised selected papers, 8th international workshop, FAST 2011, Leuven, 12.–14. Sep. 2011. (Lecture notes in computer science, Bd. 7140, S. 148–163). Berlin: Springer. ISBN: 978-3-642-29419-8.
- Gerking, C. (2016). Traceability of information flow requirements in cyber-physical systems engineering. In S. Nejati & R. Salay (Hrsg.), *MoDELS-DS 2016. Doctoral symposium at MoDELS 2016*. Proceedings of the Doctoral symposium at the 19th ACM/IEEE international conference of model-driven engineering languages and systems 2016 (MoDELS 2016), Saint Malo, 2. Okt. 2016. CEUR workshop proceedings 1735.
- Ghassemi, F., Meyer, M., Pohlmann, U., & Priesterjahn, C. (2017). Verteilte statische Analyse zur Identifikation von kritischen Datenflüssen für vernetzte Automatisierungs- und Produktionssysteme. In E. Bodden, F. Dressler, R. Dumitrescu, J. Gausemeier, F. Meyer auf der Heide, C. Scheytt & A. Trächtler (Hrsg.), *Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017*, Paderborn, 11.–12. Mai 2017. (Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Bd. 369, S. 373–384). Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn. ISBN: 978-3-942-647-88-5.
- Goguen, J. A., & Meseguer, J. (1982). Security policies and security models. In *IEEE. symposium on security and privacy*, Oakland, 26.–28. Apr. 1982 (S. 11–20). Los Alamitos: IEEE Computer Society. ISBN: 0-8186-0410-7.
- Gorecky, D., Schmitt, M., & Loskyll, M. (2014). Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung · Technologien · Migration* (S. 525–542). Springer Vieweg: Wiesbaden. ISBN: 978-3-658-04681-1.
- Haley, C. B., Laney, R. C., Moffett, J. D., & Nuseibeh, B. (2008). Security requirements engineering. A framework for representation and analysis. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 34(1), 133–153.
- Hänisch, T., & Rogge, S. (2017). IT-Sicherheit in der Industrie 4.0. In V. P. Andelfinger & T. Hänisch (Hrsg.), *Industrie 4.0. Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern* (S. 91–98). Springer Fachmedien: Wiesbaden. ISBN: 978-3-658-15557-5.
- Hedin, D., & Sabelfeld, A. (2012). A perspective on information-flow control. In T. Nipkow, O. Grumberg & B. Hauptmann (Hrsg.), *Software safety and security. Tools for analysis and verification* (NATO science for peace and security series D: Information and communication security, Bd. 33, S. 319–347). Washington, DC: IOS Press. ISBN: 978-1-61499-027-7.
- Hertel, M. (2015). Risiken der Industrie 4.0. Eine Strukturierung von Bedrohungsszenarien der Smart Factory. *HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 52(5), 724–738.
- Junker, H. (2015). IT-Sicherheit für Industrie 4.0 und IoT. *Datenschutz und Datensicherheit – DuD*, 39(10), 647–651.
- Jürjens, J. (2005). *Secure systems development with UML*. Berlin: Springer. ISBN: 978-3-540-00701-2.

- Kagermann, H., Lukas, W.-D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0. Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI nachrichten*, 2011(13), 2.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern*. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft und acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Kagermann, H., Riemensperger, F., Hoke, D., Helbig, J., Stocksmeier, D., Wahlster, W., ... Schweer, D. (2014). *Smart Service Welt. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft*. Arbeitskreis Smart Service Welt und acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Kobes, P. (2016). *Leitfaden Industrial Security. IEC 62443 einfach erklärt*. Berlin: VDE Verlag. ISBN: 978-3-8007-4165-6.
- Lass, S., & Kotarski, D. (2014). IT-Sicherheit als besondere Herausforderung von Industrie 4.0. In W. Kersten, H. Koller & H. Lödding (Hrsg.), *Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern*. Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB) (S. 397–419). Berlin: GITO.
- Lunt, T. F. (1993). A survey of intrusion detection techniques. *Computers & Security*, 12(4), 405–418.
- Mantel, H. (2001). Preserving information flow properties under refinement. In 2001 IEEE. *symposium on security and privacy*, Oakland, 14.–16. Mai 2001 (S. 78–91). Los Alamitos: IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-1046-9.
- McLean, J., Schell, R. R., & Brinkley, D. L. (2002). Security Models. In J. J. Marciniak (Hrsg.), *Encyclopedia of Software Engineering*. New York: Wiley. ISBN: 978-0-471-37737-5.
- Montrieux, L., Jürjens, J., Haley, C. B., Yu, Y., Schobbens, P., & Toussaint, H. (2010). Tool support for code generation from a UMLsec property. In C. Pecheur, J. Andrews & E. D. Nitto (Hrsg.), *ASE 2010*, 25th IEEE/ACM international conference on automated software engineering, Antwerpen, 20.–24. Sep. 2010 (S. 357–358). New York: ACM. ISBN: 978-1-4503-0116-9.
- Nguyen, P.H., Ali, S., & Yue, T. (2017). Model-based security engineering for cyber-physical systems. A systematic mapping study. *Information & Software Technology*, 83, 116–135.
- Niggemann, O., & Frey, C. (2015). Datengetriebene Anomalieerkennung in Cyber-Physischen Produktionssystemen. at – Automatisierungstechnik. *Methoden und Anwendungen der Steuerungs-, Regelung und Informationstechnik*, 63(10), 821–832.
- Object Management Group. (2015). *OMG Unified Modeling Language (OMG UML)*. formal/März 2015. Version 2.5.
- Paelke, V., & Röcker, C. (2015). User Interfaces for cyber-physical systems. Challenges and possible approaches. In A. Marcus (Hrsg.), *Design, user experience, and usability. Design discourse*, 4th international conference, DUXU 2015. Proceedings, Part I, Los Angeles, 2.–7. Aug. 2015. (Lecture notes in computer science, Bd. 9186, S. 75–85). Cham: Springer. ISBN: 978-3-319-20885-5.
- Pincus, J. D., & Baker, B. (2004). Beyond stack smashing. Recent advances in exploiting buffer overruns. *IEEE Security and Privacy*, 2(4), 20–27.
- Prähofer, H., Angerer, F., Ramler, R., & Grillenberger, F. (2017). Static code analysis of IEC 61131-3 programs. Comprehensive tool support and experiences from large-scale industrial application. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(1), 37–47.
- Sánchez, Ó., Molina, F., García-Molina, J., & Toval, A. (2009). ModelSec. A generative Architecture for model-driven security. *Journal of Universal Computer Science*, 15(15), 2957–2980.
- Schäfer, W., & Wehrheim, H. (2010). Model-driven development with MECHATRONICUML. In G. Engels, C. Lewerentz, W. Schäfer, A. Schürr & B. Westfechtel (Hrsg.), *Graph transformations and model-driven engineering* (Lecture notes in computer science, Bd. 5765, S. 533–554). Berlin: Springer. ISBN: 978-3-642-17321-9.
- Schneider, F. B. (2000). Enforceable security policies. *ACM Transactions on Information and System Security*, 3(1), 30–50.
- Schneider, F. B. (2012). Blueprint for a science of cybersecurity. *The Next Wave*, 19(2), 47–57.

- Seifermann, S., Taspolatoglu, E., Reussner, R. H., & Heinrich, R. (2016). Challenges in secure software evolution. The role of software architecture. *Softwaretechnik-Trends*, 36(1), 8–11.
- Shostack, A. (2014). *Threat Modeling. Designing for Security*. Indianapolis: Wiley. ISBN: 978-1-118-80999-0.
- Sünnetcioglu, A., Brandenburg, E., Auricht, M. & Stark, R. (2014). Durchgängiger Traceability-Prozess im Systems Engineering. In M. Maurer & S.-O. Schulze (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering*, Bremen, 12.–14. Nov. 2014 (S. 133–142). München: Hanser. ISBN: 978-3-446-44357-0.
- Winzer, P., Schnieder, E., & Bach, F.-W. (Hrsg.). (2010). *Sicherheitsforschung. Chancen und Perspektiven* (acatech DISKUTIERT). Berlin: Springer. ISBN: 978-3-642-04980-4.
- Zheng, J., Williams, L. A., Nagappan, N., Snipes, W., Hudepohl, J. P., & Vouk, M. A. (2006). On the value of static analysis for fault detection in software. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 32(4), 240–253.

Technikgestaltung und Ethik für die Arbeitswelt 4.0

Klaus Mainzer

Inhalt

1	Einleitung	164
2	Grundsätze der Arbeitsethik	164
3	Arbeitsethik in Industrie 4.0	167
4	Plädoyer für Technikgestaltung im Zeitalter von Digitalisierung und künstlicher Intelligenz	179
	Literatur	185

Zusammenfassung

Gesellschaftliche Infrastrukturen verschmelzen mit IT- und Sensortechnik zu sich selbst regulierenden sozialen Systemen (Cyberphysical Systems). Damit sind klassische und neue Fragen ethisch-rechtlicher Selbstbestimmung des Menschen verbunden. Im Zentrum steht dabei Industrie 4.0. Wie lässt sich der Wert von Arbeit in Industrie 4.0 bestimmen? Die Beantwortung dieser Frage führt zur Technikgestaltung, in der die Rahmenbedingungen für Digitalisierung und künstliche Intelligenz der Arbeitswelt gesetzt werden.

Schlüsselwörter

Arbeitsethik · Digitale Selbstbestimmung · Cyberphysical Systems · Industrie 4.0 · Arbeit 4.0 · Künstliche Intelligenz · Social Score

K. Mainzer (✉)

Emeritus of Excellence, Technischen Universität München, München, Deutschland

Carl Friedrich von Weizsäcker-Center, Eberhard Karls Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

E-Mail: mainzer@tum.de

1 Einleitung

Im Zeitalter von Digitalisierung und künstlicher Intelligenz wird Technikgestaltung zur zentralen Herausforderung der Zukunft. Gesellschaftliche Infrastrukturen verschmelzen mit IT- und Sensortechnik zu sich selbst regulierenden sozialen Systemen (Cyberphysical Systems). Damit sind klassische und neue Fragen ethisch-rechtlicher Selbstbestimmung des Menschen verbunden. Da verschiedene technische Entwicklungen möglich sind, müssen wir uns rechtzeitig über die Ziele und Maßstäbe klar sein, an denen wir uns in Zukunft orientieren wollen.

In diesem Beitrag wird in einem ersten Abschnitt zunächst an grundlegende Entwicklungen der Ethik erinnert, die in den modernen Demokratieverfassungen und Menschenrechtserklärungen gipfeln. Es wird gezeigt, wie sich diese Richtungen in unterschiedlichen Auffassungen der Arbeitsethik niedergeschlagen haben und Entwicklungstendenzen von Industrie und Wirtschaft beeinflussten. Im zweiten Abschnitt wird ausführlich auf die Herausforderungen der Arbeitsethik in Industrie 4.0 eingegangen. In verschiedenen Cyberphysical Systems erweisen sich ethische Fragen als integraler Bestandteil einer gesellschaftlichen Herausforderung, ohne deren Beantwortung diese Technik keine Chancen auf Realisation hätte (Abschn. 3.1). Im Zentrum steht dabei Industrie 4.0, die sich aus Vorstufen der Industrialisierung entwickelt hat. Es wird gezeigt, wie bereits frühere Industrialisierungsphasen mit Veränderungen der Arbeitsethik verbunden waren (Abschn. 3.2 und 3.3). Wie lässt sich der Wert von Arbeit in Industrie 4.0 bestimmen? (Abschn. 3.4) als zentrales Kennzeichen wird individuelle und flexible Gestaltung von Arbeit und Leben in Industrie 4.0 herausgestellt (Abschn. 3.5). Ethik bleibt aber unverbindlich, wenn sie nicht zur politischen Gestaltung führt (Abschn. 3.6).

Die Analysen des zweiten Abschnitts leiten im dritten und letzten Abschnitt zu einem Plädoyer für Technikgestaltung im globalen Maßstab. Welche Perspektiven ergeben sich für Recht und Ethik im Zeitalter von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz im Wettstreit internationaler Gesellschaftssysteme? Am Beispiel des Social Core wird die internationale Herausforderung des europäischen Arbeitsmarkts deutlich (Abschn. 4.1). Der dritte Abschnitt endet mit einem Plädoyer für Verantwortungsethik im Zeitalter der künstlichen Intelligenz (Abschn. 4.2).

2 Grundsätze der Arbeitsethik

Ethik ist ein Teilgebiet der praktischen Philosophie. Sie fragt nach allgemein verbindlichen Regeln des menschlichen Handelns und ihren Begründungen. Demgegenüber bezieht sich Moral nur auf die Sitten (lat. mores) und Gebräuche, die z. B. kulturell, ethnisch oder religiös durch unterschiedliche Traditionen geprägt sein können.

Ein erster Höhepunkt der Ethik in der Antike war die Nikomachische Ethik des Aristoteles (384–322 v. Chr.), in der begründetes Handeln gefordert wurde (Bien 1985). Nach Aristoteles bewährt sich das Gute und Gerechte in der Praxis menschlichen Handelns auf Grund von Erfahrung. Sitten und Tugenden sichern das mensch-

liche Zusammenleben in der griechischen Polis. Das höchste Gut ist das Glück, das der Mensch in einer wohl gelungenen Praxis gemäß solcher Sitten und Tugenden erreicht. Im Zentrum stehen also Tugenden, die sich in der damaligen Gesellschaftsform eines Stadtstaates (Polis) wie Athen bewähren sollten. Auch die Ökonomie wird von Aristoteles als gerechte und ausgeglichene Haushaltsführung in der Polis begründet. Diese Form der Ethik wird daher auch als Tugendethik bezeichnet.

In den Religionskriegen am Ende des Mittelalters brechen gewachsene Traditionen als verlässliche Grundlagen des menschlichen Zusammenlebens auseinander. An die Stelle einer allgemein geglaubten göttlichen Ordnung sollten allgemein verbindliche Regeln treten, die in Verträgen und Konstitutionen beschlossen werden. Wie aber können diese Regeln begründet und durchgesetzt werden, wenn die religiöse Tradition zerstritten ist? Die Neuzeit beruft sich dazu in unterschiedlicher Weise auf die menschliche Vernunft.

Ein markanter Prototyp einer Vernunftethik ist die Ethik Kants (1724–1804). Die zentrale Frage in Kants Ethik lautet: Wie muss eine subjektive Handlungsmaxime beschaffen sein, damit sie ein praktisches Gesetz (allgemeine Maxime mit universeller Geltung) für alle Menschen werden kann? „Handle nur nach derjenigen Maxime, durch die Du zugleich wollen kannst, dass sie ein allgemeines Gesetz werde.“ (Kant 1913, AA IV, 421) Das Vorbild eines demokratischen Gesetzgebungsverfahrens wird zum Maßstab jeder Handlung. Das allgemeine Gesetz und die Pflicht seiner Achtung stehen also über dem individuellen Glück und Nutzen des einzelnen, da nach Kant nur so vernünftiges Handeln im Gemeinwesen möglich ist. Dieser Prototyp der Ethik wird als „deontologisch“ bezeichnet (griechisch: *δέον* (*deon*) das Erforderliche, das Gesollte, die Pflicht, daher auch Pflichtethik).

Der große Gegenentwurf zur deontologischen Ethik in der Neuzeit ist der Utilitarismus anglo-amerikanischer Prägung, der die Bewertung von Nutzen und Folgen einer Handlung in den Mittelpunkt rückt. Nach Bentham (1748–1832) zielt menschliches Verhalten auf die Maximierung von Lust und die Minimalisierung von Unlust ab. Lust und Unlust lassen sich durch individuelle Präferenzen (preferences) und Nutzen (utilities) ordnen und messen. Das Gemeinwohl wird durch Maximierung des größten Glücks für eine möglichst große Zahl an Bürgern einer Gesellschaft erreicht (Bentham 1780). Benthams Utilitarismus wurde grundlegend für ökonomische Werttheorien (z. B. J. St. Mill, D. Ricardo, O. Morgenstern), die auch in der mathematischen Spieltheorie Anwendung fanden. Das utilitaristische Prinzip des größten Glücks der Mehrheit ist Teil der amerikanischen Verfassung.

Die Unterscheidung von Ethik und Moral hat Folgen für die Bewertung und Einstellung zur Arbeit. Arbeitsmoral bezeichnet demnach nur die Einstellung zur Arbeit, die sich in verschiedenen Gruppen unterschiedlich entwickelt hat. Auch hier sind unterschiedliche kulturelle und ethnische Einflüsse zu berücksichtigen. Mittlerweile sprechen wir von der Arbeitsmoral in einem Büro oder Betrieb, die von „Psychologie“ und „Stimmung“ am Arbeitsplatz abhängt. Demgegenüber fragt die Arbeitsethik nach allgemein verbindlichen Regeln, an denen die Arbeitsmoral in einer Gruppe oder einem Betrieb gemessen werden kann. In der Tradition der Tugendethik haben verschiedene Berufszweige spezifische Tugendlehren ausgebil-

det (z. B. die Tugenden des ehrbaren Kaufmanns im Unterschied zum Zocker und Spekulant).

Neben der Vernunftethik spielen unterschiedliche religiöse Traditionen nach wie vor eine große Rolle. Das lässt sich an ihrem Einfluss auf die Arbeitsmoral in der europäischen Industrie- und Wirtschaftsgeschichte zeigen. So wird Arbeit in der protestantische Arbeitsethik vor allem als Pflicht verstanden und theologisch begründet. Arbeit bildet den Mittelpunkt des Lebens, in dem ein gottgefälliges Leben zum Ausdruck kommt. Im schweizerischen Calvinismus wird der wirtschaftliche Erfolg sogar als göttliche Auszeichnung auf Erden herausgestellt. Diese Einstellung zur Arbeit hat nach Max Weber die Entstehung der kapitalistischen Wirtschaftsordnung und des Unternehmertums maßgeblich beeinflusst (Weber 1904/2015). Sie unterscheidet sich vollständig von vorreformatorischen Einstellungen. In der Antike verrichteten Sklaven die „niederer“ Arbeiten. Im Mittelalter galt Arbeit als „Mühsal“ des irdischen Daseins, die im Feudalsystem den niederen Ständen der Bauern und Handwerkern überlassen wurde.

Im 19. Jahrhundert reagierte auch die katholischen Berufs- und Arbeitsethik auf die Veränderungen in der Industriegesellschaft (Nell-Breuning 1985). Beruf wird als Berufung (durch Gott) verstanden. Der Berufserfolg wird aber nicht wie im Calvinismus als Erwählungszeichen herausgestellt. Der Beruf wird vielmehr als personale Selbstverwirklichung und sozialer Dienst am Mitmenschen (*caritas*) gewertet. Zudem muss der Beruf durch Muße (z. B. Sonntagsruhe und Gottesdienst) ausgeglichen sein und darf nicht absolut gesetzt werden.

In der Arbeiterbewegung des 19. Jahrhunderts entwickelt sich eine Arbeitsethik, die ihre philosophischen Ursprünge in der Aufklärung unabhängig von religiösen Traditionen sieht. Aus dem freien und selbstbestimmten Subjekt, das sich seine Gesetze selber (unabhängig von einer göttlichen Ordnung) gibt, wird der Arbeiter (und die Arbeiterin), die ihre Arbeitsverhältnisse selber bestimmen wollen. In der Sozialdemokratie und Gewerkschaftsbewegung des 19. Jahrhunderts wurden erste Arbeiterbildungsvereine gegründet, um diese Arbeitsethik in breite Bevölkerungskreise zu vermitteln (Klönne 1989). Arbeit wird zum Gegenpol des Kapitals. Aus diesem Spannungsverhältnis entstehen unterschiedliche gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwürfe, die zu den Auseinandersetzungen über Arbeitsethik im 20. Jahrhundert führten. Im Zeitalter der Globalisierung werden die säkularisierten Gesellschaften Europas allerdings erneut mit den Weltreligionen konfrontiert. So ist für die heutige Arbeitsethik die Integration einer islamisch geprägten Arbeitnehmererschaft in Deutschland und Europa eine große Herausforderung.

Keine technische Entwicklung der Vergangenheit veränderte Wirtschaft und Gesellschaft derart dramatisch wie Digitalisierung und Automatisierung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Mit veränderten Arbeitsverhältnissen unter den Bedingungen der Digitalisierung entstehen neue Fragen der Arbeitsethik. Als Beispiel sei die „Hackerethik“ genannt, die bereits in den 1980er-Jahren, also während der Entstehung des Internets, diskutiert wurde (Levy 2002; Wieckmann 1989). Damals galt bereits das MIT als weltweit führendes Zentrum für Computer Science und künstliche Intelligenz. Die Arbeitsmoral der Entwickler und Programmierer ist durch Leidenschaft, Spaß und Freude an einer selbst gewählten Beschäftigung geprägt.

Entscheidend ist die freie Zeiteinteilung. Der amerikanische Computeringenieur und Unternehmer Steve Wozniak brachte diese Einstellung auf die Formel „Happiness = Food, Fun, and Friends“ ($H = F^3$) (Wozniak 2006). Offenbar ist diese Arbeitsmoral der protestantischen Pflichtethik vollständig entgegengesetzt (und die Pflicht zur Sonntagsruhe wird eher belächelt). Philosophisch ist diese Einstellung allerdings keineswegs neu. Während die Arbeitsmoral der Pflichtethik an antike Vorbilder der Stoa anschließt, stehen Lust und Freizügigkeit in der Tradition von Hedonismus und Epikureismus. Neu ist die Verbindung dieser Einstellung mit dem Ehrgeiz, die besten Innovationen und Geschäftsmodelle auf den digitalen Märkten zu entwickeln: Der Hedonismus im Dienst einer digitalen Erfolgsverpflichtung. Diese Arbeitsmoral lebt heute das Silicon Valley vor.

Mit der Entwicklung des Internets entstand die Internetethik als eine Bereichsethik, die zunächst der Informationsethik oder der Medienethik zugeordnet wurde. Mit dem Internet der Dinge zeichnen sich jedoch weitreichende Veränderungen der Arbeitswelt ab, die nicht mehr in einer herkömmlichen Informationsethik, Medienethik oder Arbeitsethik verstanden werden können (Capurro et al. 1995). Vielmehr kommt es zu Umwälzungen der Arbeitswelt und Gesellschaft, in denen fundamentale Grundannahmen der neuzeitlichen Ethik herausgefordert sind.

3 Arbeitsethik in Industrie 4.0

3.1 Cyberphysical Systems und Ethik

Im Mega-Trend der Digitalisierung lassen sich zwei Stufen unterscheiden. Die erste Stufe ist das klassische Internet, das Ende der 80er-Jahre aufkam und sich in den 90er-Jahren rasch verbreitete. Das war ein „Internet der Personen“, ein weltweites Computernetz, eine virtuelle Welt, in der Menschen miteinander kommunizieren.

Mit dem „Internet der Dinge“ zeichnet sich die zweite digitale Revolution ab. Mittlerweile wachsen nämlich die IT-Netzwerke mit den physischen Infrastrukturen unserer Gesellschaft zusammen. Grundlage ist neben der Rechner- vor allem die Sensortechnologie. Milliarden von Sensoren machen die Kommunikation und Selbststeuerung der Dinge erst möglich. Wir sprechen dann von Cyberphysical Systems (acatech 2011), soziotechnischen Systemen oder intelligenten Infrastrukturen. Milliarden von vernetzten Geräten prägen bereits die hoch entwickelten Industriestaaten. Es geht aber nicht nur um die ökonomische Effizienzsteigerung globaler Märkte. Cyberphysical Systems betreffen Infrastrukturen der Gesellschaft, die mit zentralen Bereichsethiken verbunden sind. Ein Beispiel einer solchen Infrastruktur ist ein großes Krankenhauszentrum, in dem Patienten, Ärzte, technische Geräte und Dienstleistungseinrichtungen durch Algorithmen, Daten und Sensoren aufeinander abgestimmt und koordiniert werden müssen. Ein solches Cyberphysical System betrifft die Bereichsethik der Gesundheit. Automatisierte Industrieanlagen sind Cyberphysical Systems, in denen sich Fragen der Sozial- und Arbeitsethik stellen. Auch in ökologischen Systemen werden mittlerweile z. B. Sensoren und Drohnen für Schutz und Überwachung eingesetzt. Diese Art von Cyberphysical Systems werfen

Fragen der Nachhaltigkeit auf, die sich an der Bereichsethik der Umwelt orientieren müssen.

In Cyberphysical Systems ist also Ethik kein nettes „Add-on“ für Sonntagsreden, sondern integraler Bestandteil. Wenn die betreffenden ethisch-gesellschaftlichen Fragen ausgeklammert werden, sind Cyberphysical Systems als gesellschaftliche Großprojekte nicht durchsetzbar, wie zahlreiche Beispiele der jüngsten Vergangenheit in Deutschland (Stuttgart 21, Großflughäfen, Stromtrassen u. a.) zeigen. In Infrastrukturprojekten sind unterschiedliche Interessen von BürgerInnen betroffen, die in einer Demokratie berücksichtigt werden müssen. Ökologische, ökonomische und soziale Aspekte müssen unter ethischen und rechtlichen Rahmenbedingungen abgestimmt werden.

Ein Beispiel für die Entwicklung eines Cyberphysical System ist Smart Mobility. Am Anfang stehen Automobile, die mit Software-Modulen ausgestattet schrittweise autonomer wurden – zunächst der Airbag mit seinen Sensoren. Heute sind Automobile „Computer auf Rädern“ bis hin zu autonomen Fahrzeugen, die technisch bereits möglich sind. In den Mobilitätsnetzen einer Cloud werden Automobile zu intelligenten Endgeräten mit Sensoren, die eine technische Schwarmintelligenz realisieren. Automobilfirmen beschäftigen sich längst nicht mehr nur mit Fahrzeugbau, sondern mit Mobilität, d. h. mit gesellschaftlicher Infrastruktur bzw. Cyberphysical Systems. Der Einsatz mehr oder weniger autonomer Fahrzeuge ist daher nicht nur ein technisches Problem, sondern eine Frage rechtlich-gesellschaftlicher Rahmenbedingungen. Betroffen sind ethische Fragen, wieviel Mobilität eine Gesellschaft, ihre Ressourcen und ihre Umwelt um welchen Preis verträgt. In der öffentlichen Mobilität geht es um soziale Verteilungsgerechtigkeit. Zudem zeichnet sich mit dem Car Sharing eine neue mobile Infrastruktur ab, die anstelle des Besitzes eines Wagens eine effiziente, preiswerte, umweltfreundliche und partizipative Fahrgelegenheit zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort bevorzugt. Aber auch Autonomie und Selbstbestimmung des Fahrers sind ein ethisches und rechtliches Thema. Die technische Gestaltung von Mobilität hängt letztlich von ethischen Haltungen und Einstellungen ab. Auch die Automobilindustrie beginnt zu verstehen, dass diese Fragen für zukünftige Innovationen und geschäftlichen Erfolg entscheidend sind.

Weiteres Beispiel sind die Energiesysteme nach der Energiewende, die zu „Smart Grids“ werden: Wir konnten uns bereits vor Jahren im Internet informieren, wann wir unsere stromfressenden Geräte zu welcher Zeit und zu welchem Tarif am besten einschalten sollten. Aber das war und ist vielen zu umständlich und zeitaufwendig. Daher wird in Zukunft intelligente Software diese Aufgabe übernehmen. Zudem werden sich die Netze dezentral organisieren können. Aufgrund der verbesserten Isolation der Gebäude und eigener Stromerzeugung mit z. B. Fotovoltaik, Brennstoffzellen oder Biogas wird nicht nur Energie für den eigenen Stromverbrauch erzeugt, sondern Energie ans Netz gegeben. Die Daten dieser Gesamtenergie werden dann im Netz verwaltet. Wir sprechen bereits von der „Cloud“, also Daten nicht mehr im häuslichen Rechner wie die Bücher in der Hausbibliothek, sondern öffentlich draußen im Netz. Die Technikgestaltung von intelligenten Energienetzen ist massiv mit Fragen der Umweltethik verbunden, wenn z. B. Stromtrassen durch ökologische Schutzgebiete führen sollen. Aber auch Fragen von Wirtschaftsethik,

Eigentumsrechten und der Lebensqualität stehen zur Debatte. Wird die technisch mögliche Dezentralisierung der Netze von den Stromkonzernen akzeptiert? Wieweit sind Bürger bereit, Windräder oder Stromtrassen zum Wohl von Umwelt und Allgemeinheit zu akzeptieren, wenn eigene Grundstücksrechte betroffen sind?

Der nächste Schritt sind „Smart Cities“, in denen das Energiesystem nur noch eine Teildomäne ist, die in einem urbanen System mit anderen Teildomänen wie z. B. Verkehrssystemen, Gesundheitsfürsorge, Verwaltung, Sicherheit, Logistik zu verbinden ist. Vom Standpunkt der Informatik müssen diese verschiedenen Domänen in intelligenter Software integriert werden. Für das Software-Engineering ist die Koordination von unterschiedlichen Domänen eine gewaltige technische Herausforderung. Das Software-Engineering befindet sich daher in einem Umbruch zum Systems-Engineering, da in Cyberphysical Systems unterschiedliche Domänen mit verschiedenen Semantiken auf gemeinsame Standards zurückgeführt werden müssen.

Zukünftige IngenieurInnen werden es also nicht nur mit einzelnen technischen Geräten zu tun haben, sondern mit soziotechnischen Systemen und intelligenten Infrastrukturen mit integrierten Geräten, IT-Netzen und Menschen (acatech 2012). Es reicht daher nicht aus, nur technisch hoch spezialisierte IngenieurInnen und InformatikerInnen auszubilden. Infrastrukturen erfordern auch human- und sozialwissenschaftliche Kenntnisse, die in die Ingenieurausbildung an den Hochschulen integriert werden müssen.

Warum rücken aber Cyberphysical Systems mit ihren ethischen Fragen in das Zentrum gesellschaftlicher Interessen? Handelt es sich nicht nur um eine Marktstrategie beteiligter Unternehmen, um ihre Technologien zu verkaufen? Die Antwort ist eindeutig: Die zunehmende Komplexität der Infrastrukturaufgaben ist heute so überwältigend, dass wir ohne Cyberphysical Systems nicht mehr auskommen. Wir brauchen ihre Selbstorganisation und Automatisierung, um die Aufgaben der Logistik, Versorgungssysteme, Gesundheitssysteme, Verkehrssysteme überhaupt im Griff behalten zu können.

Andererseits sind komplexe Systeme, in denen viele Komponenten miteinander rückgekoppelt („nicht-linear“) wechselwirken, empfindlich gegen lokale Störungen. Kleine Ursachen können sich zu globalen Effekten wie Destabilisierung und Chaos aufschaukeln (Mainzer 2014b). Manche Systeme sind resilient und stabilisieren sich nach einer gewissen Zeit wieder selber. Andere bleiben chaotisch, wenn kritische Parameter überschritten sind. Das trifft nicht nur für komplexe Klimasysteme zu, sondern z. B. auch für Verkehrs- und Logistiksysteme. Ethisches Ziel muss es daher sein, Cyberphysical Systems zu kontrollierbaren Dienstleistungssystemen an der Gesellschaft zu transformieren.

3.2 Von den Anfängen der Industrialisierung zu Industrie 4.0

Auf dem Hintergrund der Cyberphysical Systems und intelligenten Infrastrukturen verändert sich die Wirtschafts- und Industrielwelt grundlegend (Mainzer 2014a, Kap. 12). Im deutschen Sprachgebrauch werden Cyberphysical Systems der Indus-

trie- und Arbeitswelt als Industrie 4.0 bzw. Arbeit 4.0 bezeichnet. Im anglo-amerikanischen Sprachraum hat sich die Bezeichnung „Industrial Internet“ eingebürgert. Die Bezeichnung Industrie 4.0 (bzw. Arbeit 4.0) spielt auf historische Entwicklungsstufen von Industrie 1.0 über Industrie 2.0 bis Industrie 3.0 an, in denen sich ebenfalls charakteristische Formen von Arbeitsethik ausprägten.

Industrie 1.0 bezieht sich auf die Dampfmaschine und automatisierten Webstühle Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts in der ersten Industrialisierungsphase in Europa. In dieser Phase beobachten wir auch bereits Verwerfungen der Gesellschaft. Maschinen wie die automatisierten Webstühle verdrängten Menschen und lösten die Weberaufstände aus. Ausgerechnet im industriell hoch entwickelten England brachen Hungersnöte und Verelendung des neu entstandenen Proletariats aus. Mit der entsprechenden Periode von Arbeit 1.0 ist das Aufkommen von Arbeiterorganisationen verbunden. Erste Arbeitnehmerbewegungen entstanden. Erste Schritte der Sozialgesetzgebung (Krankenversicherung, Rentenkassen, Schutz am Arbeitsplatz) wurden unter dem Einfluss verschiedener Strömungen der Arbeits- und Sozialethik (vgl. Abschn. 2) eingeleitet.

Industrie 2.0 beginnt zunächst mit Henry Fords Fließband in der Automobilindustrie, wird dann aber auf Industrieproduktion überhaupt ausgeweitet. Schließlich wird sie auf nahezu alle Produktionszweige übertragen – von der Ernährungsindustrie (z. B. Schlachthöfe) bis zur Bekleidungsindustrie – und leitet damit die Massenfabrikation im 20. Jahrhundert ein. Typisch für Arbeit 2.0 ist die Zerlegung von Arbeit in Zeittakte auf dem Fließband, wobei ein Entwicklungsschritt mit dem nachfolgenden Entwicklungsschritt verbunden ist. Die Tätigkeit eines Facharbeiters reduziert sich auf wenige spezielle Handgriffe in einem bestimmten Zeitintervall. Die Parzellierung der Arbeit befördert die Austauschbarkeit des Arbeiters. Bezeichnend ist die Arbeitslehre von Frederick Taylor, nach der die Arbeitsabläufe in Industrie 2.0 geregelt werden (Taylor 2006). Die Stoppuhr, die das Einhalten der Zeitintervalle kontrolliert, wird zum Symbol einer Arbeitsmoral, in der Effizienzsteigerung menschlicher Leistung als Zielmarke gesetzt ist. Im Extremfall muss sich der Mensch bis an die Grenze seiner Leistungsfähigkeit dem Zeittakt der Maschinen anpassen, um maximale Auslastung zu erreichen. Akkordarbeit wird zum umstrittenen Thema der Arbeitsethik in Industrie 2.0.

Ende des 20. Jahrhunderts sind stationäre Industrieroboter soweit entwickelt, dass sie die Arbeit am Fließband unterstützen können. Die schwingenden Roboterarme entlang einer Produktionsstraße werden zum Symbol von Industrie 3.0. Dabei führen die stationären Roboter bestimmte Teiltätigkeiten nach determinierten Algorithmen eines Computerprogramms aus. Sie sind also nicht zu einem Kontakt mit Menschen fähig und müssen in Käfigen vor menschlichen MitarbeiterInnen geschützt werden. Sicherheit am Arbeitsplatz bleibt in Industrie 3.0 ein zentrales Thema. Die Periode von Arbeit 3.0 ist in den westlichen Demokratien mit einer Stärkung von Arbeitnehmerrechten verbunden. In Deutschland wird nach dem 2. Weltkrieg die soziale Marktwirtschaft eingeführt, in der Produktion und Arbeitsmärkte durch sozial- und arbeitsrechtliche Rahmenbedingungen bestimmt werden.

Schließlich erleben wir derzeit die vierte Stufe der Industrialisierung mit Industrie 4.0, worunter die Anwendung des „Internets der Dinge“ auf die Industrielwelt

verstanden wird. Internet der Dinge meint, dass Gebrauchsgegenstände mit Sensoren, RFID-Chips und Software-Funktionen ausgestattet sind und sich selber wahrnehmen und über Codes miteinander kommunizieren können. Jetzt kommunizieren also auch Objekte und Geräte miteinander: Das Werkstück kommuniziert über einen RFID-Chip mit der Werkbank und gibt ihr Auskunft über seinen Bearbeitungszustand, sodass gegebenenfalls automatisch ein Roboterfahrzeug angefordert werden kann, das ein Werkstück zur Weiterverarbeitung weitertransportiert.

Mit den Lernalgorithmen des Machine Learning können Roboter aus Erfahrung lernen: Aus der Lehrlingswerkstatt kennen wir den Vorgang, dass der Meister eine Tätigkeit vorführt, die von den beobachtenden Lehrlingen eingeübt und zu eigener Problemlösung angewendet wird. In diesem Sinn werden bereits kollektiv lernende Roboterassistenten eingesetzt (Technische Universität München 2018).

Industrie 4.0 betrifft nicht nur die Produktion, sondern auch den Vertrieb. Schon lange können in der Automobilindustrie Kunden online ihre Wünsche eingeben. Damit wird eine neue kundenorientierte Produktion möglich. Die verschiedenen Wünsche der Kunden lösen im Betrieb parallele Entwicklungsprozesse zu ihrer Realisierung aus. Das nennt man On-demand-Production oder Tailored-Production, also die maßgeschneiderte Produktion. Tailored-Production ist eine sehr geeignete Metapher, weil sie zum Ausdruck bringt: Der Maßanzug wird zum Standard, nicht mehr die Massenware. Früher konnten sich nur wenige Reiche maßgeschneiderte Anzüge, individuell für den eigenen Bedarf, leisten. In Industrie 4.0 wird on-demand produziert, nach dem individuellen und personalisierten Kundenwunsch. Ziel ist, dass der individuelle und personalisierte Produktionsprozess sich bis zu einem gewissen Grad selber organisieren kann. Auch in den Energiesystemen beobachten wir den Trend zu dezentraler und individueller Versorgung. Auf der ganzen Linie erleben wir also eine Abkehr von der Massen- und Standardproduktion à la Henry Ford – von der Industrie über die Ernährung bis zur personalisierten Medizin.

Hinzu kommen lernfähige und kognitive Roboter, die aus den Schutzkäfigen heraustreten und zu Partnern von Menschen in der Produktion werden (Mainzer 2019). Anders als in der Industrie 3.0 befinden sich die heutigen Roboter nicht mehr abgeschottet in Käfigen, sondern sind auf die Interaktion mit Menschen ausgelegt und gehen buchstäblich auf sie zu. Der mit Sensoren ausgestattete Roboter wird so zum Partner der Beschäftigten. Roboter werden mit hautähnlichen Materialien ausgestattet, deren Sensoren nicht nur Wärme, sondern auch Druck registrieren und verarbeiten können. Dabei muss es sich nicht unbedingt um humanoide Roboter mit menschlicher Gestalt handeln, wie wir sie vor allem aus Japan und Südkorea kennen. Es können durchaus klassisch aussehende Industrieroboter sein, ausgestattet etwa mit einem Arm, einer Kamera und Sensoren, mit denen sie ihre Umwelt wahrnehmen.

Welche IT- und KI-Infrastruktur für einen Betrieb angemessen ist, muss ein Unternehmen zunächst einmal selber herausfinden. Unterstützung findet das Unternehmen dabei bei Softwarefirmen, mit denen sie die mögliche Entwicklung diskutieren. In einem Geschäftsmodell „buy and build“ kooperiert ein Unternehmen über einen bestimmten Zeitraum mit einer Softwarefirma und entwickelt gemeinsam mit ihr das Geschäftsmodell. Hier gibt es keinen universellen Masterplan, der standar-

disiert jeder Firmen übergestülpt werden kann. Die Kunst wird darin bestehen, für eine individuelle Firma die passende Lösung sowie den Zeit- und Geschäftsplan zur schrittweisen Einführung zu finden. Industrie 4.0 steht für die fiktive Zielmarke einer nahezu vollständig automatisierten Industrieanlage. Im Einzelfall einer konkreten Firma können aber Zwischenschritte einer mehr oder weniger starken Automatisierung (z. B. Industrie 3.4 oder 3.6) angemessener sein als Industrie 4.0.

3.3 Ethische Herausforderungen von Industrie 4.0

Arbeit 4.0 bezieht sich auf die veränderten Arbeitsbedingungen in den Infrastrukturen von Cyberphysical Systems. Im Prinzip verbindet das Internet Menschen und Firmen weltweit. Produktion löst sich daher von Raum und Zeit: Während ArbeitnehmerInnen in Europa schlafen, kann das Zweigwerk in einem anderen Erdteil die Arbeit im 24-Stunden Takt fortsetzen. Starre Arbeitszeit- und Arbeitsortregulierungen lösen sich auf. Das kann zu sozialen Verbesserungen der Arbeitsbedingungen von Arbeitnehmern genutzt werden, aber auch zur Schwächung: Im weltweiten Arbeitsnetzwerk können Zweigwerke in totalitären Ländern oder solche mit niedrigeren Löhnen auch Arbeitnehmerinteressen schwächen. Hier zeigt sich, wie beschränkt die Regulierungsmöglichkeiten nationaler Ethikräte und Arbeitsgerichte sind.

Damit Maschinen sich im industriellen Internet selber steuern können, produziert die neue Industriegesellschaft mit ihren Kameras und Sensoren in den Betrieben eine ungeheure Menge an Daten, „Big Data“ genannt, und zwar nicht nur strukturierte Daten digitalisierter Dokumente, sondern auch unstrukturierte Daten aus der gesamten Signalwelt (Mayer-Schönberger und Cukier 2013). Das ist zunächst eine große technische Herausforderung, für die neuartige Algorithmen und veränderte Datenbanken benötigt werden, weil die alten das Datenvolumen nicht bewältigen können. Was die Datenbanken betrifft, sei hier an die In-Memory Technologie von SAP erinnert. Das ist eine Datenbank, die den Vorteil des Kurzzeitgedächtnisses eines Menschen, das sehr schnell auf eine eng begrenzte Zahl von Daten zugreifen kann, mit den großen Speicherkapazitäten eines Langzeitgedächtnisses verbindet, das in seiner technischen Fassung allerdings die Speichermöglichkeiten des menschlichen Gedächtnisses weit übertrifft.

Aus Arbeitnehmersicht stellt sich dabei die Frage der Datensicherheit, Intimität und Überwachung als ethisches und rechtliches Problem: Die Automatisierung ist nur möglich, weil viele Sensoren, Kameras, Lichtschranken etc. dauernd massenhaft Daten aufnehmen. Wer hat Zugriff auf diese Daten und wo werden sie wie lange für wen gespeichert? Zudem können Big-Data-Algorithmen nicht nur Produkt- und Kundenprofile erkennen. Im Prinzip lassen sie sich auch auf Mitarbeiterprofile ansetzen. Der Taylorismus mit seinen Arbeitstabellen und Arbeitszeitmessungen wirkt gegenüber diesen Überwachungs- und Kontrollmöglichkeiten geradezu harmlos.

Datensicherheit ist ein zentrales ethisches, rechtliches und technischen Problem der Unternehmen. Ein mittelständischer Unternehmer wird sich hüten, sein erfolg-

reiches Geschäftskonzept in die Cloud zu setzen. Hier liegt die Achillesferse des digitalisierten Unternehmens. Um Vertrauen in Industrie 4.0 zu erzeugen, muss die Sicherheitstechnologie funktionieren. Jeder Ingenieur weiß, dass es keine prinzipielle Sicherheit geben kann (Mainzer 2014b). Hier kommt es weniger auf ethisch prinzipielle Grundsatzfragen, sondern eine Güterabwägung an: Welche Daten sollen überhaupt in die Cloud? Patente und Firmengeheimnisse, also zentrale Kernanliegen der Firma, gehören natürlich nicht hinein, Informationen, die für die tägliche Kommunikation der Mitarbeitenden vonnöten sind, hingegen schon. Wenn sich Industriespione hier einhacken, kann das durchaus ärgerlich sein, ist aber verkraftbar und bedroht nicht gleich die Existenz der Firma. Die Sicherheitstechnologie wird entscheidend sein, wenn Vertrauen in Industrie 4.0 entstehen soll.

3.4 Vom Wert menschlicher Arbeitskraft in Industrie 4.0

Schließlich geht es um den Arbeitsmarkt selber (Benner 2016). Die Bezeichnung Arbeit 4.0 mit einer nahezu vollständigen Automatisierung muss allerdings als fiktiver Grenzbegriff verstanden werden. Nach mehrjähriger Erfahrung mit Automatisierungskonzepten in Industrieunternehmen ist klar, dass sich keine menschenleere Fabrik abzeichnet, wie zunächst prognostiziert. Diese Prognose war genauso falsch wie in den 1990er-Jahren die Voraussage des papierlosen Büros, als die ersten PCs in die Büros eingeführt wurden. Es werden Jobs verloren gehen, aber auch neue entstehen. Vor allem sehen wir aber viele der traditionellen Berufe auch unter den Bedingungen einer schrittweisen Automatisierung wieder – von FacharbeiterInnen über IngenieurInnen und InformatikerInnen bis zu ManagerInnen. Die Qualifikationsvoraussetzungen werden sich allerdings bei beschleunigten Innovationszyklen ständig ändern: Insbesondere wird es um IT- und KI-Kenntnisse gehen, auf die in einer permanenten Bildungs- und Ausbildungsbegleitung vorbereitet werden muss. Dabei handelt es sich um eine gesamtgesellschaftliche Herausforderung, die nicht nur nach technisch-ökonomischen Gesichtspunkten zu organisieren ist. Wie können wir ArbeitnehmerInnen bei veränderten Produktionsbedingungen im Unternehmen halten? Wie und wann können sie auf die Veränderungen vorbereitet und ausgebildet werden? Wer bezahlt ihre dazu notwendige Herausnahme aus dem Produktionsprozess?

Veränderung des Berufsmarkts gibt es seit Beginn der Industrialisierung, seit Industrie 1.0, und diese hat die Weberaufstände in Schlesien und die Maschinenstürmer in England hervorgebracht. Am Ende waren die Menschen aber froh über die mit der Industrialisierung einhergehende Entlastung und den steigenden Wohlstand. In der Ökonomie haben darüber bereits die großen Theoretiker gestritten. Ricardo und Marx kritisierten Arbeitslosigkeit durch Mechanisierung. Keynes sprach von der technologischen Arbeitslosigkeit. Dahinter stand die These, dass sich der Kapitalismus durch immer größeres Effizienzstreben entwickelt, durch Mechanisierung Arbeitskräfte „freisetzt“ und Massenarbeitslosigkeit produziert.

Der Philosoph und Mathematiker Leibniz (1646–1716), der mit seiner Rechenmaschine und seiner Erfindung der Bits die Lawine der Digitalisierung schon Ende

des 17. Jahrhunderts auslöste, prognostizierte bereits, dass die mechanische Arbeit von Maschinen übernommen würde, damit sich Menschen kreativer Arbeit widmen können. Das schien äußerst idealistisch gedacht. Richtig ist: Die routinierten Arbeiten wurden schrittweise aussortiert. Das betrifft nicht nur körperliche, sondern auch geistige Arbeiten wie buchhalterische Tätigkeit, die heute meist schon von einer Software übernommen werden kann.

Gleichzeitig sind aber auch neue Berufe entstanden und einige alte Berufe haben sich, auch schon in vorindustrieller Zeit, geschickt der neuen Entwicklung angepasst. Beispiel einer metallverarbeitenden Berufsgruppe, die sich in Richtung High Tech entwickelte, ist der Dreher. In vorindustrieller Zeit war das der Drechsler, der im Zeitalter der Elektromechanik die Drehbank bediente. Schließlich entstanden die CNC-Drehmaschinen, die mit dem Computer angesteuert wurden. Heute wird der metallverarbeitende Beruf der Dreher auf die Arbeit mit dem 3D-Drucker vorbereitet.

Neue Berufe entstehen auch in der Mensch-zu-Mensch Kommunikation, die nach wie vor eine Stärke von uns Menschen ist. Hier ist der Verkauf und Kundenservice hervorzuheben. Betriebswirtschaftler, Manager, Sozial- und Geisteswissenschaftler werden zukünftig gebraucht, weil deren Kompetenzen am wenigsten auf Maschinen übertragbar sind. Produkte müssen verkauft werden und sich auf dem Markt durchsetzen. Darauf sind EntwicklerInnen wie IngenieurInnen und InformatikerInnen angewiesen. Neue Berufe entstehen auch im Kernbereich der Technik wie vor allem der Robotik. Große Chancen haben also Berufsgruppen, die sich ähnlich wie der Dreher den sich verändernden Anforderungen anpassen, wie etwa der Automechaniker oder der Mechatroniker mit seiner Kombination aus Elektronik und Mechanik.

Zudem ist es eine technisch unbegründete Annahme, dass Industrie 4.0 nur noch hoch qualifizierte IngenieurInnen mit Universitätsdiplomen benötigt und der Rest von Maschinen (Brynjolfsson und McAfee 2014; Mainzer 2016) erledigt wird. Es kommt vielmehr auf das Know-how der Menschen an, die Industrie 4.0 ermöglichen. Ethikdebatten müssen mit klaren Analysen der Fakten und Möglichkeiten von Cyberphysical Systems verbunden werden. Ethik darf sich nicht als Innovationsbremse erweisen, die durch Verbote und Überregulierung auf falsche Ängste und Stimmungen reagieren will. Cyberphysical Systems müssen klar als Dienstleistungssysteme ausgewiesen werden. Dazu ist es notwendig, am konkreten Beispiel ihre Leistungen und Grenzen gleichermaßen herauszustellen. Erst auf dieser Grundlage lassen sich ethische und rechtliche Regulierungen begründen.

Die Erfahrungen früherer Industrialisierungsphasen zeigen, dass die Gefahren woanders lauern, wenn Menschen auf das Neue nicht vorbereitet sind. Die Innovationszyklen sind jetzt schon in vielen Bereichen schneller als unsere Ausbildungszyklen. Wir müssen uns also künftig überlegen, wozu wir die Menschen eigentlich ausbilden. Das ist eine Frage der Verantwortungsethik: Wenn wir jemandem heute in der Lehre ein bestimmtes Computerprogramm beibringen, ist das schon überholt, wenn er in den Betrieb kommt. Deswegen müssen wir die Fähigkeit des Menschen ausbilden, sich in neue Arbeitsprozesse einzuarbeiten und sich auf neue Situationen einzustellen. Es sollte in Zukunft zur Normalität gehören, dass ein Teil der Arbeitnehmerschaft in Lehrgängen und Fortbildungen sein wird, um sich auf neue Abläufe

vorzubereiten. Das kostet aber Geld. Und es ist eine Frage der gesellschaftlichen Solidarität, wie die Finanzierung solcher Vorbereitungskurse durch Unternehmen und Staat geregelt wird.

Unternehmen könnten den beschleunigten Innovationszyklen aber auch durch die Strategie „Hire and Fire“ begegnen: Wenn neue Technologien anstehen, wird die alte Belegschaft „freigestellt“, um auf dem (internationalen) Arbeitsmarkt die jeweils besten SpezialistInnen anzuwerben. Das entspricht einer utilitaristischen Ethik, die um des höheren Zwecks der Gewinnmaximierung des Unternehmens das Wohl bisheriger MitarbeiterInnen hintenanstellt. Eine deontologische Arbeitsethik hält demgegenüber die bisherige Arbeitnehmerschaft auch unter schwierigen Marktbedingungen, weil das Wohl der angestammten Belegschaft als prinzipieller Wert geschätzt wird. Tatsächlich kann diese Arbeitsethik auch zum unternehmerischen Erfolg führen: Das familiengeführte schwäbische Unternehmen Trumpf mit dem Firmeninhaber Berthold Leibinger hatte sich in der Weltwirtschaftskrise 2008 an der (protestantischen) Arbeitsethik orientiert und seine Belegschaft in schwieriger Zeit weiterbeschäftigt. Als die Marktbedingungen wieder günstiger wurden, konnte das Unternehmen mit der angestammten und eingearbeiteten Belegschaft gleich durchstarten und war schneller in der Erfolgsschiene als andere Unternehmen, die sich in ihrer Belegschaft erst wieder neu aufstellen mussten (Ev. Matthäusgemeinde Gerlingen 2017). Philosophisch hat sich in diesem Fall die deontologische Ethik als der bessere Utilitarismus erwiesen.

Auf Industrie 4.0 übertragen wäre es arbeitsethisch geboten, die angestammte Belegschaft ständig durch Bildung und Ausbildung auf die neuen Herausforderungen vorzubereiten und nicht „freizustellen“. Neben der arbeitsethischen Motivation dieser Entscheidung ergibt sich auch der unternehmerische Vorteil, sich dadurch eine effiziente und eingearbeitete Belegschaft zu sichern. Bei den hohen Qualifizierungsanforderungen, wie sie für das industrielle Internet notwendig sind, macht es sowieso keinen Sinn, auf niedrigere Löhne in Billiglohnländern mit geringem Ausbildungsniveau zu spekulieren. In diesem Sinn kann sich Industrie 4.0 auch im Hochlohnland Deutschland als arbeitsethische Unternehmensstrategie erweisen.

Neue Arbeitsformen im Zeitalter des Internets werfen neue Bewertungen der menschlichen Arbeitskraft auf. Die Rede ist von Crowdworkern, die Arbeitsaufträge annehmen und einer Masse (Crowd) zur Verfügung stellen. Die Aufträge werden meist über Internetplattformen (Crowdsourcing-Plattformen) angeboten und je nach Auftragslage von einem Crowdfworker bearbeitet. Die Crowdfworker arbeiten auf freiberuflicher Basis am PC oder einem Smartphone gegen ein Honorar. Vor Annahme eines Auftrags muss ein Crowdfworker in einem kurzen Online-Test oder mit einer Arbeitsprobe nachweisen, dass er dem Job gewachsen ist. Typische Beispiele für Jobs von Crowdworkern sind einfache Programmierungsaufgaben, Klassifizierungen von Webinhalten, Designaufträge, Foto- oder Texterstellungen.

Gewerkschaften kritisieren Crowdfworker als digitale Tagelöhner, da sich ihre Arbeit kaum durch das Arbeitsrecht erfassen lässt. Sofern künstlerische Aspekte betroffen sind, kann wenigstens ein Teil der Crowdfworker durch die Künstlersozialversicherung berücksichtigt werden. Mittlerweile gibt es auch Plattformen für andere gewerblich Tätige, die sich privat versichern müssen. Gegenüber finanzieller Absi-

cherung werden von Betroffenen Unabhängigkeit, Abwechslung und Kreativität positiv hervorgehoben. Internet und neue Medien eröffnen neue Lebensformen jenseits eines festen Arbeitsplatzes, die in bestimmten Lebensphasen (z. B. als SchülerInnen und Studierende) attraktiv sein können. Generell setzt die digitale Arbeitswelt auf Flexibilität und Mobilität. Minimale Entlohnungen werden für einzelne Tätigkeiten im Sekunden-, Minuten- und Stundentakt ausgezahlt. In diesem Fall werden aus den digitalen Tagelöhnern sogar Sekunden-, Minuten- und Stundenlöhner. Man spricht mittlerweile sogar von Clickworkern, deren Tätigkeiten massenhaft auf digitalen Plattformen koordiniert werden. Richtig bleibt die Befürchtung von Gewerkschaften, dass derart individualisierte ArbeitnehmerInnen wenig Motivation verspüren, sich zu organisieren, um ihre Interessen z. B. gegenüber den Eignern von digitalen Plattformen durchzusetzen.

Auf absehbare Zeit werden weiterhin Menschen die strategischen Entscheidungen eines Unternehmens treffen und Abläufe insgesamt überwachen müssen. Das Beispiel des Hochfrequenzhandels (Flash Trading) an den Börsen zeigt, was passieren kann, wenn Systeme allein Entscheidungen treffen: Beim Flashtading erkennen Algorithmen in Millisekunden Preisveränderungen der Börse und können ebenso schnell mit Ein- und Verkaufsentscheidungen reagieren. Doch die Algorithmen in Frankfurt, Zürich oder an der Wall Street verfolgen verschiedene Interessen von Unternehmen und Banken. Damit arbeiten sie gegeneinander, sodass Finanzkrisen unterhalb der langsamen und beschränkten menschlichen Wahrnehmungsmöglichkeiten ausgelöst werden können. Wir brauchen also auch weiterhin Menschen mit ihrer Urteilkraft, um ethisch gesprochen das Gesamtwohl nicht aus den Augen zu verlieren.

3.5 Individuelle und flexible Gestaltung von Arbeit und Leben in Industrie 4.0

Individualisierung und Flexibilisierung sind zentrale Voraussetzungen für das Gelingen von Industrie 4.0. Man spricht in der Soziologie von fluiden Gesellschaftsstrukturen, wie sie zum Beispiel in den sozialen Medien zum Ausdruck kommen. Ähnliches werden wir in der Berufswelt erleben. Für viele Beschäftigte in der Industrie gilt heute noch die Präsenzorientierung mit Stechuhren aus der überkommenen Henry-Ford-Welt. Doch der klassische Taylorismus, der nichts anderes als die Algorithmisierung der menschlichen Arbeit ist und die industrielle Arbeitswelt des 20. Jahrhunderts geprägt hat, wird verschwinden.

Wir werden von der Präsenzorientierung zur Leistungsorientierung kommen. Die alte Humboldt-Regel aus dem 19. Jahrhundert mit den Prinzipien Einsamkeit und Freiheit, um „die objective Wissenschaft mit der subjectiven Bildung unter eigener Leitung zu verknüpfen, oder vielmehr den Übergang von dem einen zum anderen zu bewirken“, war früher ausschließlich Professoren und Akademikern vorbehalten (Humboldt 1809/1810). In der Welt von Industrie 4.0 wird sie zum Standard, weil es zukünftig nur noch auf Effizienz und Leistung ankommt. Wann und wo jemand

seine Aufgaben erledigt, spielt keine Rolle. Dazu gehört auch die individuelle Gestaltung von Arbeitszeiten und Muße.

Das ist die Arbeitswelt, wie wir sie von Google, Apple und Co. kennen. Ein wachsender Anteil der Beschäftigten wird zukünftig also selbst seine Zeittaktierung bestimmen. Wie im ersten Abschnitt gezeigt wurde, benutzt das Silicon Valley zwar ein anderes „Wording“ als Humboldt, setzt aber im Kern auch auf individuelle und flexible Gestaltung von Arbeit und Leben. Dennoch wird es, in Abhängigkeit vom konkreten Arbeitsbereich, ArbeitnehmerInnen geben, die ohne Vorgaben von außen völlig überfordert wären. Es wird darauf ankommen, Menschen entsprechend ihrer Anlagen und Fähigkeiten richtig einzuschätzen und einzusetzen. Gleichzeitig werden die Hierarchien flacher, weil Maschinen die Kontrollfunktionen etwa von Vorarbeitern übernehmen. Die kreativen Bereiche werden zunehmen, sowohl in der Mensch-zu-Mensch- als auch in der Mensch-Maschine-Kommunikation. Insofern fördert die Digitalisierung die Flexibilisierung der Arbeitszeiten und der Arbeitsstrukturen.

Zudem müssen wir darauf achten, den hohen Standard unserer Arbeitskultur, unserer Wertvorstellungen und unseres Arbeitsschutzes in Deutschland zu erhalten. Die Zielmarke ist: Wenn es in Deutschland gelingt, Industrie 4.0 in Kombination mit diesen Lebensstandards und vergleichsweise hohem Niveau der Sozialsysteme zu realisieren, dann kann dieses Land international ein hochattraktiver Arbeitsmarkt werden. Arbeitsethik erweist sich damit als Standortvorteil und nicht als bremsende Regulierung.

3.6 Von der Ethik zur politischen Gestaltung

Algorithmen funktionieren nur unter klar definierten Voraussetzungen. Um die Leistungsfähigkeit eines Algorithmus richtig einzuschätzen, müssen seine Voraussetzungen und damit auch seine Grenzen erkannt werden. Um Algorithmen richtig zu interpretieren, zu bewerten und Zielvorgaben für sie festzulegen, bedarf es also am Ende technischer Kenntnisse und menschlicher Urteilskraft. Die Entwicklung der Technik hängt also am Ende vom Menschen ab. Verantwortung der Technikgestaltung lässt sich nicht auf Algorithmen delegieren. Daran wird sich auch in Zeiten des Internets der Dinge nichts ändern. Wir dürfen Effizienz nicht nur nach dem klassischen Bruttosozialprodukt berechnen, sondern brauchen eine ganzheitliche Sicht, und das ist die Aufgabe des Menschen. Dabei geht es nicht nur um Technik, um Effizienz oder nur um die Firma, sondern auch um die ökologische und soziale Umwelt, um die Gesellschaft und um Lebensqualität insgesamt.

Während all das in der klassischen Industriewelt kaum eine Rolle spielte, weil der Hochofen und die Drehbank den Takt vorgaben, eröffnet die Sensor-Technologie, richtig gestaltet, auch neue Freiheitsgrade für die Menschen. Die ersten Computerprogramme liefen noch über abstrakte Codes, die nur von Informatikern erkannt werden konnten. Dann kamen Bill Gates und andere und haben Icons, also einfache Symbole entwickelt, über die wir mit dem Finger wischen, die also geradezu sinnlich wahrnehmbar sind. Diese Technologie ist es, die zum Erfolg bei den Massen wurde,

weil es eine Technik ist, die ganz nah an uns Menschen herankommt und unser visuelles und haptisches Bedürfnis bedient. In der Robotik spricht man auch von „Embodiment“ und meint die Ausrichtung von Technik auf die sensorische Körperlichkeit des Menschen. Bei den Smartphones kommt unser Bedürfnis nach Kommunikation hinzu. Die Technik bedient also nur etwas, was in uns steckt und ist deswegen heute ein so großer Erfolg. Sollte sich die Technik tatsächlich vom Menschen entfremden, würde sie sich vermutlich nicht durchsetzen. Das heißt nicht, dass sich im Sinn einer Hegelschen Teleologie das „Vernünftige“ von selbst durchsetzt. Die Fragwürdigkeit von Smartphones und sozialen Medien ist bei unkritischem Gebrauch (bis hin zu Suchtsymptomen) offensichtlich. Der Punkt hier ist, dass sich diese Technologie durch ihre enge Verbindung zu menschlichen Veranlagungen und Bedürfnissen durchsetzte.

Mit den Programmen Industrie 4.0 und Arbeit 4.0 soll „Deutschlands Position als führende Wirtschafts- und Exportnation“ gestärkt werden (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2014a). Es gehört daher zur Vorsorgepflicht des Staates, diese Rahmenbedingungen zu realisieren. Mittlerweile veranstaltet die Bundesregierung „digitale Gipfeltreffen“ und auch die Bundesländer entwickeln eine „digitale Agenda“. Auch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) beschäftigt sich mit den Auswirkungen der Digitalisierung in dem „Grünbuch Arbeiten 4.0 – Arbeit weiter denken“. Die Plattform „Industrie 4.0“ wird getragen von einer Allianz aus Politik, Wirtschaft, Gewerkschaften und Forschung. Offensichtlich haben die beteiligten Akteure erkannt, wie wichtig es ist, die Digitalisierung aktiv zu gestalten.

Deutschland ist ein klassisches Industrieland, das noch immer zu einem beachtlichen Anteil von der klassischen, meist mittelständischen Industrie abhängt. Doch es ist absehbar und in einigen Branchen bereits Realität, dass die materiellen Bestandteile etwa eines Automobils durch 3D-Drucker billig hergestellt werden könnten. Letztlich kommt es dann nur noch auf die Daten an, die in diesen 3D-Drucker eingegeben werden. Diejenigen Unternehmen werden zukünftig die Richtung vorgeben, die über diese Patente und Datenmassen verfügen. Das heißt: Wenn es uns nicht gelingt, die klassische Industriekultur in Deutschland mit der IT-Welt zu verbinden, dann könnten wir am Ende nur noch Zulieferer für ausländische IT-Firmen mit allen Konsequenzen für den Arbeitsmarkt sein. Deshalb ist es eine strategische Schlüsselaufgabe, diese Industrie 4.0 zu realisieren und zu gestalten.

Mit der zunehmenden Digitalisierung wird in der Automobilindustrie auch die Umstellung vom Verbrennungsmotor auf Elektromobilität zu einer erheblichen Herausforderung für den Arbeitsmarkt. Die komplexe Architektur eines Verbrennungsmotors führte zu einem hochausdifferenzierten Produktionssystem von Fachkräften und einem komplexen logizistischen Netzwerk von Zulieferungsindustrie und Beschäftigungssystem. Da der Elektromotor deutlich weniger Komponenten benötigt, würde dieses Beschäftigungssystem implodieren und sich auf deutlich weniger Bereiche reduzieren. Der Batteriebau wird dabei ein Schlüsselanteil sein, der sich einfacher modularisieren und automatisieren lässt als die Konstruktion des Verbrennungsmotors.

Aufgabe des Staates ist es daher, nicht nur wirtschaftliche Anreize für Innovationen, Wachstum und Entwicklung zu fördern. Was nützt ein hocheffizientes Wirtschaftssystem, wenn große Teile der Arbeitnehmerschaft nicht integriert sind und ihr Lebensstandard nicht gesichert ist. Der Frust, der sich vom Wählerverhalten bis zur politischen Destabilisierung zeigt, war nach dem Zusammenbruch der amerikanischen Automobilindustrie in Detroit zu beobachten („Abgesang auf die Autokultur“ 2013). Daher ist es ethisch und politisch mit Blick auf das Gesamtwohl geboten, Rahmenbedingungen für die zukünftige Gestaltung des Arbeitsmarkts unter den zu erwartenden Umbrüchen im Zeitalter der Digitalisierung rechtzeitig vorzubereiten.

Eine langfristige Maßnahme ist die Förderung von Bildung und Ausbildung. Die bundesweite MINT-Initiative fordert eine besondere Förderung der Fachgebiete Mathematik (M), Informatik (I), Naturwissenschaft (N) und Technik (T), die den Schlüssel zur digitalisierten Innovationsgesellschaft darstellen (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2014b). Damit soll auf allen Stufen der Ausbildung ein Grundverständnis für eine technisch-naturwissenschaftlich geprägte Gesellschaft gefördert werden. Das gelingt aber nur, wenn MINT mit einer Reflexion auf ethische, rechtliche, soziale und ökologische Rahmenbedingungen der Gesellschaft verbunden wird. Wie bereits ausgeführt, reicht es im Internet der Dinge und in Cyberphysical Systems nicht aus, technisch-naturwissenschaftlich hoch spezialisiert zu sein. Der Faktor Mensch spielt in diesen Infrastrukturen ebenso eine zentrale Rolle wie die Umwelt. Von den sozialen Faktoren des Arbeitsmarkts war schon die Rede. Hinzu kommt die Erziehung zum kritischen Umgang mit den digitalen Medien. Zudem erfordern Elektromobilität und die mit dem autonomen Fahren verbundene Rechenpower eine erhebliche Energieproduktion, die ökologische Fragen aufwirft. Für diese ganzheitliche Sicht muss früh genug in Bildung und Ausbildung sensibilisiert werden.

4 Plädoyer für Technikgestaltung im Zeitalter von Digitalisierung und künstlicher Intelligenz

4.1 Social Score im Zeitalter von Digitalisierung und künstlicher Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein internationales Zukunftsthema in Forschung und Technik, Wirtschaft und Gesellschaft. Unter künstlicher Intelligenz wird derzeit vor allem machine learning verstanden, wonach Algorithmen aus Datensätzen mehr oder weniger selbstständig lernen und ihre Problemlösungen verbessern können. KI-Technologie verändert bereits unsere Lebens- und Arbeitswelt dramatisch. Ähnlich wie in der Psychologie wird z. B. überwachtes, nicht-überwachtes und verstärkendes Lernen unterschieden, das auf entsprechenden Algorithmen abgebildet wird. Auch Cyberphysical Systems können in diesem Sinn als mehr oder weniger intelligent bezeichnet werden, sofern sie mehr oder weniger selbstständig und effizient Probleme lösen. Beispiel ist das autonome Fahren, das derzeit schrittweise entwickelt

wird. Auch die bereits erwähnten Industrieroboter, die von anderen Robotern lernen, gehören hierher (Mainzer 2019).

Damit zeichnet sich eine neue Herausforderung von Arbeitsethik mit KI-Ethik ab. Der globale Wettstreit der Gesellschaftssysteme (z. B. Chinesischer Staatsmonopolismus, US-amerikanische IT-Giganten, europäische Marktwirtschaft mit individuellen Freiheitsrechten) wird entscheidend davon abhängen, wie wir unser europäisches Wertesystem in der KI-Welt positionieren. Supercomputer und machine learning werden in Ländern wie China bereits als Schlüssel zur Weltherrschaft betrachtet. Selbst der Einsatz von Kernwaffen wird nachrangig, da die Berechnung der dazu notwendigen Datenmengen und der strategischen Planung von starken Rechnern abhängig ist. Salopp formuliert: Das Atomzeitalter war gestern; heute und morgen geht es um Digitalisierung und künstliche Intelligenz. Carl Friedrich von Weizsäcker hatte die Verantwortung des Naturwissenschaftlers im Atomzeitalter herausgestellt (Weizsäcker 1978). Diese Frage verschärfte sich damals auf dem Hintergrund des Kalten Krieges zwischen West- und Ostblock. Heute geht es um Verantwortung im Zeitalter von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz.

Strategische Planung setzt den Einsatz leistungsfähiger Prognoseinstrumente in Politik, Wirtschaft und Militär voraus. Hier spielt das machine learning mittlerweile eine Schlüsselrolle. Prognose mit Big Data scheint sich zunächst harmlos und sogar nützlich anzulassen: Gesundheits- und Versicherungsunternehmen sammeln große Mengen von Daten über sportliche Betätigungen, Ernährung und Alkoholkonsum, um so wahrscheinliche Behandlungskosten oder sogar Todeszeitpunkte vorauszuberechnen. Auf dem Arbeitsmarkt werden Trends prognostiziert, um politisch frühzeitig reagieren zu können. Das Verhalten von ArbeitnehmerInnen in Industrie 4.0 muss genau registriert und ausgewertet werden, um eine abgestimmte Mensch-Maschine und Maschine-Maschine-Kommunikation zu realisieren. In den USA werden Prognosesysteme eingesetzt, um für Strafgefangene eine mehr oder weniger günstige Sozialprognose abzugeben, um sie auf Bewährung entlassen zu können. Dazu werden gewaltige Datenbanken mit den Daten auf Bewährung entlassener Gefangener angelegt, um mit Big-Data-Algorithmen statistische Muster und Korrelationen über sozial günstiges Verhalten zu extrahieren (Mainzer 2015).

Was in China unter dem Titel „Social Score“ ab 2020 realisiert sein soll, ist allerdings noch einmal von einer ganz anderen Dimension („Planning Outline“ 2014): Alle Bürgerinnen und Bürger sollen in einer totalen Bewertung ihres sozialen Verhaltens erfasst werden. Nun kennen wir in Deutschland bereits die berüchtigten „Punkte in Flensburg“, mit denen Verkehrssünden geahndet werden. Schriften und Leistungen von Hochschullehrern und Forschern werden international mit sogenannten Impact-Faktoren bewertet, die z. B. bei Berufungen herangezogen werden. Viele regen sich über Daten einer Gesundheitskarte auf. Aber Social Score à la Chinoise bewertet alles und jedes in einem öffentlichen Punktesystem, das über Kredite und Wohnungsvermietung ebenso entscheiden kann wie über berufliche Beförderungen oder staatliche Vergünstigungen. Leistung und Verhalten am Arbeitsplatz spielt eine Schlüsselrolle. Am Ende könnte man ein mehr oder weniger gesellschaftlich wertvoller Mensch sein, dessen Leben im Alter sich mehr oder weniger großer Pflegeunterstützung erfreuen dürfte.

Die National Security Agency (NSA) der USA möchte dem natürlich nicht nachstehen und versucht bereits das Verhalten eines Politikers in einer Krise mit Millionen von Gleichungen zu berechnen. Die einzelnen Gleichungen sind in der Regel keineswegs kompliziert, sondern linear und beziehen sich auf die einzelnen gemessenen Verhaltensparameter. Aber es ist die Masse dieser Daten, die Supercomputer stundenlang rechnen lässt. Hier setzt die chinesische Regierung an und will ihren Supercomputer Tianhe bis 2020 fertiggestellt haben, um die Rechenzeit des derzeit schnellsten Rechners Summit aus den USA mit 1,5 Trillionen Rechenschritten pro Sekunde auf 3 Trillionen zu verdoppeln (Lu 2010).

Mit dieser Technologie soll es dann möglich sein, das Verhalten einzelner Bürger auf der Grundlage ihres Social Score in wenigen Sekunden vorauszusagen. Die Effizienz soll noch dadurch gesteigert werden, dass die notwendigen linearen Gleichungen auf einen Umfang von weniger als eine Million gesenkt werden sollen. Der Ehrgeiz von politischer Führung, Militär und Nachrichtendiensten richtet sich nicht nur auf Wirtschaft, Arbeit und Gesellschaft, sondern auch auf die Außenpolitik: Am Ende möchte man künftige Krisen rechtzeitig erkennen und voraussagen, um den Staat innen- und außenpolitisch zu kontrollieren und stabilisieren. Dahinter stehen keineswegs die bekannten Horrorvorstellungen eines Big Brothers, der finstere Ausbeutungsstrategien der Masse zu Gunsten von wenigen anstrebt. Vielmehr geht es um das Ziel eines hoch entwickelten Wohlfahrtsstaats, der die Destabilisierung und Krisenanfälligkeit westlicher Demokratien vermeiden will (Bai 2014).

Was aus westlicher Perspektive schockieren mag und als technokratische Allmachtsphantasie (noch?) abgelehnt wird, fällt in Asien auf einen kulturell unterschiedlichen Resonanzboden. In einer über Jahrhunderte konfuzianisch geprägten Gesellschaft ist es keineswegs fremdartig, dass jedes Mitglied der Gesellschaft je nach Verdiensten und Verfehlungen einen Rang, also Social Score, nach allgemein anerkannten Tugenden einnimmt. Die konfuzianische Tugendethik setzt keineswegs individuelle Freiheitsrechte an die Spitze der Werthierarchie, sondern das Allgemeinwohl, dem alle nach ihren Verdiensten zu dienen haben (Konfuzius 2007; Huang 2009; Hayes 2012). Das wird als vernünftig angesehen und hat z. B. China im Unterschied zu seinen Nachbarvölkern über Jahrhunderte Stabilität garantiert. Machine learning, Big Data und Berechenbarkeit werden als Chancen moderner Technologie gesehen, um in dieser Tradition fortzufahren.

Die dazu notwendigen Prognosesysteme sind nicht nur für chinesische Softwarehäuser ein gutes Geschäft. Auch die großen amerikanischen Internet-Konzerne wie Google, Facebook und Amazon wittern ökonomisch lukrative Anwendungsmöglichkeiten für Gesundheitssysteme, Arbeitsmärkte, Regierungsbehörden und Unternehmen ihrer Länder. Das Silicon Valley wird zwar noch als Kadenschmiede der weltweiten künstlichen Intelligenz gehandelt. Es könnte sich aber ergeben, dass am Ende China das Rennen machen wird: Das Social Score Programm wird als strategisches Gesamtprojekt dieses riesigen Landes in einem straffen Zeitplan mit einem gewaltigen Kapitalaufwand durchgesetzt, dem sich alle unternehmerischen und technologischen Interessen unterzuordnen haben. Dabei wird aus chinesischer Sicht die zunehmende Unfähigkeit westlicher Demokratien berücksichtigt, große Infrastrukturprojekte durchzusetzen. Daher muss Europa zeigen, dass es selber eine

globale IT- und KI-Strategie hat und nicht im lokalen Parteien- und Ländergezänk verfällt. Einzelne europäische IT- und KI-Trendsetter wie z. B. das kleine Estland als Leuchtturm reichen dazu nicht aus.

Die Schlüsselfrage im globalen Wettstreit der künstlichen Intelligenz lautet, ob eine KI-Technokratie mit (z. B. chinesischem) Staatskapitalismus und konfuzianischer Ethik sich gegen westliche Marktwirtschaft und Demokratie durchsetzt, in der KI-Systeme als Dienstleistung individueller Freiheitsrechte verstanden werden.

Im Projekt der Neuen Seidenstraße sollen alte Handelsstraßen zwischen China und Europa zu Infrastrukturen mit Energie-, Kommunikations- und Informationsnetzen, Eisenbahnlinien, Häfen und Straßen ausgebaut werden (Hartmann et al. 2017). China investiert in diese Infrastrukturnetze, zu der die jeweiligen Anliegerstaaten nicht fähig wären. Das schafft zwar neue Arbeitsplätze für diese Länder, aber auch politische Abhängigkeiten. Infrastrukturen dieses Ausmaßes lassen sich nur durch Unterstützung mit Digitalisierung und künstlicher Intelligenz steuern. Güterverkehr und Logistik werden heute schon durch Robotik, Sensortechnik und Satellitenkommunikation unterstützt. Handels- und Kapitalströme der Neuen Seidenstraße werden wie früher auch den Transfer von Ideen, Innovation und Kultur befördern – nun mit den Mitteln der Informationstechnik und künstlichen Intelligenz.

Um im Wettbewerb mit China zu bestehen, muss Europa zunächst auf die Öffnung des chinesischen Markts für die eigenen Produkte dringen. Das gemeinsame Plädoyer für den freien Welthandel ist gut, muss aber in beiden Richtungen fair sein. China spricht selber offiziell von einer Win-Win-Situation. Nur so wird die Neue Seidenstraße auch den beiderseitigen Wohlstand sichern können.

4.2 Verantwortungsethik im Zeitalter der künstlichen Intelligenz

Der Social Score der chinesischen KI-Technokratie setzt eine totale Datenerfassung aller Bürgerinnen und Bürger voraus. In den westlichen Demokratien stehen die Freiheitsrechte des einzelnen Individuums im Zentrum des Wertesystems. Man spricht dann von der Autonomie der Person. In der KI-Forschung redet man zwar bereits z. B. vom „autonomen“ Fahren. Tatsächlich handelt es sich heute noch immer häufig nur um vorprogrammierte Fahrerassistenzsysteme. Auch im Fall des machine learning sind die Lernalgorithmen vom Programmierer vorgegeben, obwohl sich das System selber in gegebenen Situationen entscheiden und daraus lernen kann.

Daher ist ein technisches System, das sich an vorprogrammierte moralische Regeln hält, damit selber noch nicht „moralisch“. Auch im Fall von lernenden Robotern im Arbeitsprozess haben wir es bestenfalls mit KI-Systemen zu tun, die mit trainierten Tieren oder Kleinkindern verglichen werden können. Autonomie im Sinn politischer Freiheitsrechte meint aber eine höhere Stufe:

Nach Kant ist eine Handlung nur dann moralisch gerechtfertigt, wenn sie Grundlage einer allgemeinen Gesetzgebung sein kann (Kant 1913). Das ist der Kerngedanke seines Kategorischen Imperativs: Die Regel (Kant: „Maxime“) meiner Handlung muss verallgemeinerungsfähig sein. Mein Recht endet dort, wo das Recht des anderen beginnt. Dringe ich in den Freiraum des anderen ein, so ist diese Handlung

nicht verallgemeinerungsfähig: Sie würde unweigerlich den Krieg aller gegen alle nach sich ziehen. Die Maxime meiner Handlung müsste also im Prinzip die Grundlage eines allgemeinen Gesetzes sein können, das z. B. der Deutsche Bundestag beschließt. In diesem Sinn bedeutet Autonomie die Fähigkeit zur „Selbstgesetzgebung“.

Technisch lässt sich nicht ausschließen, dass eine Künstliche Intelligenz eines Tages auch zur „Selbstgesetzgebung“ fähig ist, d. h. sie gibt sich ihre Gesetze als Programme selber: Sie programmiert sich selbst! In der Gewaltenteilung westlicher Demokratien ist die Gesetzgebung das Recht des Parlaments (d. h. legislative Gewalt), das von der Bevölkerung eines Landes in freien Wahlen gewählt wurde. Denkbar wäre eine zukünftige Superintelligenz der KI, die mit schnellen lernfähigen Algorithmen und gigantischen Datenmengen den besseren Überblick über globale Situationen hat als der einzelne Mensch. In diesem Fall hätten wir allerdings unsere Autonomie aufgegeben. KI wäre nicht länger nur Dienstleistungssystem; mit den Worten von Hegel wäre KI nicht länger „Knecht“, sondern „Herr“.

Spätestens an dieser Stelle stellt sich die Frage nach der Verantwortung im Zeitalter der Digitalisierung und künstlicher Intelligenz grundsätzlich. Unter Verantwortung versteht man im Allgemeinen die Pflicht einer handelnden Person (bzw. Personengruppe) gegenüber einer anderen Person (bzw. Personengruppe) aufgrund eines Anspruchs, der durch eine Instanz (z. B. Institution, Staat, Gesellschaft) erhoben wird.

Erste Unterscheidungskriterien sind z. B. kausale Verantwortung mit Blick auf die Verursachung (z. B. Programmierfehler eines Programmierers), Rollenverantwortung mit Blick auf eine Aufgabe (z. B. Vorgesetzter im Unternehmen), Fähigkeitenverantwortung mit Blick auf die Erfüllbarkeit (z. B. ein Ingenieur bei einem Betriebsunfall) und Haftungsverantwortung, die von der Verursachung abweichen kann (z. B. leitendes Management) (Hart 1968). Die Feststellung der kausalen Verantwortung ist nicht normativ, sondern beruht auf empirischen Erkenntnissen. Sie ist das zentrale Problem bei z. B. Betriebsunfällen und technischen Fehlern.

In Haftungsfragen werden juristische Personen (z. B. Unternehmen) als verantwortliche Handlungssubjekte behandelt. Strafrechtliche Verantwortung für Institutionen gibt es jedoch nach deutschem Recht (im Unterschied z. B. zum US-amerikanischen Recht) nicht. Wenigstens moralisch wird aber Unternehmen auch Verantwortung zugeschrieben. Man spricht dann von Corporate Governance und Corporate Social Responsibility (CSR).

Juristisch wird Verantwortung als die Pflicht einer Person verstanden, für ihre Entscheidungen und Handlungen nach festgelegten Vorschriften Rechenschaft (engl.: accountability) ablegen zu müssen. Formal bezieht sich also Recht nicht auf moralische oder religiöse Verantwortung (z. B. Gewissen), sondern („positivistisch“) auf die Verletzung von Rechtsvorschriften, die durch ein Gericht festgestellt wird. Damit ist Verantwortung im juristischen Sinn immer an empirische Fakten gebunden. Deshalb ist die Forderung nach mehr Erklärbarkeit von kausalen Abläufen im machine learning von grundlegender Bedeutung für die Klärung rechtlicher Verantwortung.

Juristisch unterscheidet man bei der *Rechenschaftspflicht* (accountability) z. B. folgende Aspekte (Baumgartner und Eser 1983, S. 13):

- a) Mit *Handlungsverantwortung* wird die Rechenschaftspflicht hinsichtlich der Art der Aufgabendurchführung bezeichnet.
- b) Mit *Ergebnisverantwortung* wird die Rechenschaftspflicht hinsichtlich der Zielerreichung bezeichnet.
- c) Mit *Führungsverantwortung* wird die Rechenschaftspflicht hinsichtlich der wahrgenommenen Führungsaufgaben, auch bei der zugehörigen Fremdverantwortung, bezeichnet.

Im Recht bezieht sich Verantwortung nicht nur auf Personen, sondern auch auf Sachgüter (z. B. Computer) und auf Anforderungen eines Eigentümers, Treuhänders oder Mieters. Mit zunehmendem Grad von Autonomie intelligenter Systeme stellt sich die Frage, bis zu welchem Grad z. B. Roboter noch als Sachgüter behandelt werden können oder ob wir rechtlich bereits Zwischenbereiche zwischen Sachgütern und Personen berücksichtigen müssen. Das Tierrecht zeigt, wie wenig angebracht die traditionelle Unterscheidung von Sache und Person ist, wenn wir moderne Erkenntnisse der Evolutionsbiologie und Kognitionspsychologie zugrunde legen: Tiere sind leidensfähige Lebewesen und keine „Sachen“, andererseits aber noch keine „Personen“ (Zech 2012, S. 172).

Künstliche Intelligenz unterliegt ohne Zweifel dem Prinzip der Verantwortung: Erst der Mensch sollte bestimmen, wie sie eingesetzt wird. Spezialisierung und die damit wachsende Komplexität technischer, sozialer und ökologischer Zusammenhänge führen jedoch zu einer Diffusion von Verantwortung: Der Einzelne ist verstärkt auf die Informationen bzw. Einschätzungen anderer Experten angewiesen. Als Folge ergibt sich die Notwendigkeit der institutionellen Zuschreibung von Verantwortung durch gesetzliche oder vertragliche Bestimmungen, z. B. im Haftungsrecht, und/oder die Zuschreibung der Verantwortung auf kollektive Akteure wie z. B. Unternehmen und Verbände. Allerdings begünstigt die Diffusion von Verantwortung auch klare Rechtsverstöße und Missbrauch von Technik, die in der Öffentlichkeit zu Empörung und Verunsicherung führen. Sicherheit und Vertrauen in Technik sind aber Voraussetzung für die Zukunftsfähigkeit unseres Landes.

Mit Blick auf komplexe KI-Systeme und KI-Infrastrukturen ist der Verantwortungsbegriff zu erweitern. Systemtheoretisch muss neben individueller Verantwortung auch kollektive und kooperative Verantwortung analysiert werden. Dabei sollte Verantwortung auch denjenigen zugeschrieben werden können, die für das Design von KI-Systemen (z. B. Industrie 4.0), die Entstehung von Schnittstellen und den Einsatz der Infrastruktur zuständig sind. Hierbei sind die Grade der Einwirkungsmöglichkeit zu bemessen.

Die Verantwortung für die Zukunft erfordert es, Risiken frühzeitig zu erkennen und zu bewerten. In der Verantwortungsdebatte der Zukunft wurde insbesondere von Hans Jonas das Gebot herausgestellt, solche Handlungen zu unterlassen, die eine existenzielle Gefährdung der Umwelt oder künftiger Generationen nach sich ziehen könnten (Jonas 1979). Das trifft insbesondere für künstliche Intelligenz zu. Niemand

kann allerdings zukünftige Innovationen wie der Astronom die Stellung eines Planeten voraussagen. Daher wurde statt Technologiefolgenabschätzung in Abschn. 3 die Forderung der Technikgestaltung erhoben. Sie muss verbunden sein mit frühzeitiger Bildung und Ausbildung.

Dazu wird gefordert, das Thema von Ethik und Verantwortung in allen Studien-curricula einer Hochschule, die mit KI-Themen befasst sind, in passenden Lehr-formaten abzubilden. Erforderlich ist, den Studierenden aller Fakultäten, die sich mit KI-Themen beschäftigen, in ihren Studiencurricula Raum zu geben, um sich mit den ethischen Fragen der Verantwortung ihrer KI-Forschung beschäftigen zu können. Die Frage der ethischen Verantwortung muss bereits im Studium integriert sein, so wie später ethisch-gesellschaftliche Fragen bereits in der Forschung und Technik-entwicklung berücksichtigt werden sollten. Nur so gelingt nachhaltige Technikgestaltung. Die Inhalte müssen neben allgemeinen Grundsätzen an die konkreten ethischen Verantwortungsfragen der einzelnen KI-Studiengänge in Informatik, Ingenieur- und Naturwissenschaften, Medizin und Wirtschaftswissenschaften anschließen.

Fazit: Zunächst sollte Ethik nicht als Innovationsbremse missverstanden werden. Sensibilisierung für Ethik und Verantwortung fördern vielmehr Innovationsvorteile wie z. B. größere Rechtssicherheit und soziale Akzeptanz von KI-Forschung am Arbeitsplatz und in der Gesellschaft. Im Zentrum steht allerdings die internationale Herausforderung, wie KI-Systeme als Dienstleistung von demokratischen Gesellschaften verstanden werden können, die sich weiterhin auf ihre individuellen Freiheits- und Menschenrechte berufen. Freiheits- und Menschenrechte sind der Kernbestand deontologischer Ethik. Utilitaristische Erwägungen können aber durchaus prinzipielle Wertentscheidungen unterstützen: Deutschland sollte nicht nur in der KI-Innovation stark sein, sondern auch die Verantwortungsfragen am Arbeitsmarkt und in der Gesellschaft berücksichtigen, um damit die besseren und attraktiveren Lebensbedingungen zu realisieren. Schließlich muss Europa nicht nur führend in der KI-Innovation (z. B. an der Schnittstelle von machine learning und Industrie in Industrie 4.0) sein, sondern ein damit verbundenes attraktives soziales und ökologisch nachhaltiges Umfeld aufbauen. Schutz von individuellen Freiheitsrechten und sichere Sozialsysteme in einer Marktwirtschaft bleiben auch im Zeitalter von Digitalisierung und künstlicher Intelligenz hohe Güter, die von allen Menschen weltweit erkannt und wertgeschätzt werden.

Literatur

- Abgesang auf die Autokultur. Bankrott von Detroit. (19. Juli 2013). Spiegel online. <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/detroit-verliert-nach-der-pleite-an-bedeutung-fuer-die-autoindustrie-a-912090.html>. Zugegriffen am 22.08.2019.
- acatech. (Hrsg.). (2011). *Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion*. Berlin: Springer.
- acatech. (Hrsg.). (2012). *Technikzukünfte: Vorausdenken – Erstellen – Bewerten*. Berlin: Springer.
- Bai, C. (Hrsg.). (2014). Vision 2020: Emerging trends in science and technology and strategic option of China. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences (BCAS)*, 28(1).

- Baumgartner, H. M., & Eser, A. (Hrsg.). (1983). *Schuld und Verantwortung: philosophische und juristische Beiträge zur Zurechenbarkeit menschlichen Handelns*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Benner, C. (25. April 2016). Die Digitalisierung lässt uns wenig Zeit. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 96, 20.
- Bentham, J. (1780/1970). *An introduction to the principles of morals and legislation*. (J. H. von Burns & H. L. A. Hart (Hrsg.)) The collected works of Jeremy Bentham (1780, publiziert 1789). (London, 1970, 2. Aufl.). Oxford: Oxford University Press.
- Bien, G. (Hrsg.) (1985). *Aristoteles – Nikomachische Ethik*. (Übersetzer: E. Rolfes). Hamburg: Meiner.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird*. Plassen: Kulmbach.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2014a). Digitale Agenda. <https://www.bmbf.de/de/die-digitale-agenda-relevant-auch-fuer-bildung-wissenschaft-und-forschung-206.html>. Zugegriffen am 22.08.2019.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2014b). Perspektive MINT. https://www.bmbf.de/pub/perspektive_mint.pdf. Zugegriffen am 22.08.2019.
- Capurro, R., Wieglering, K., & Brellocks, A. R. (Hrsg.). (1995). *Informationsethik*. Konstanz: Universitätsverlag.
- Huang, C. (2009). *Konfuzianismus: Kontinuität und Entwicklung*. Bielefeld: transcript.
- Ev. Matthäusgemeinde Gerlingen. (Hrsg.). (2017). *Reformation heute. Kanzelreden von 1998 bis 2017*. Stuttgart: Evangelischer Verlag.
- Hart, H. L. (1968). *Punishment and responsibility. Essays in the philosophy of law*. Oxford: Oxford University Press.
- Hartmann, W. D., Maenning, W., & Wang, R. (2017). *Chinas Neue Seidenstraße. Kooperation statt Isolation – Der Rollentausch im Welthandel*. Frankfurt: Frankfurter Allgemeine Buch.
- Hayes, L. D. (2012). *Political systems of east Asia. China, Korea and Japan*. New York: Routledge.
- Humboldt, W. von (1809/1810). Über die innere und äussere Organisation der höheren wissenschaftlichen Anstalten in Berlin. In Präsident der Humboldt Universität zu Berlin (Hrsg.), *Gründungstexte: Johann Gottlieb Fichte, Friedrich Daniel Ernst Schleiermacher, Wilhelm von Humboldt. Mit einer editorischen Notiz von Rüdiger vom Bruch. Festgabe zum 200-jährigen Jubiläum der Humboldt-Universität zu Berlin*. Berlin: Humboldt Universität.
- Jonas, H. (1979). *Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Kant, I. (1913). *Kritik der praktischen Vernunft. Kants Gesammelte Schriften (Akademieausgabe) Band V, Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften*. Berlin: de Gruyter.
- Klönne, A. (1989). *Die deutsche Arbeiterbewegung, Geschichte – Ziele – Wirkungen*. München: dtv.
- Konfuzius, Das Große Lernen = Da Xue. Chinese Text Project, 2007. Web. 18. Januar 2016. <http://ctext.org/analects>. Zugegriffen am 22.08.2019.
- Levy, S. (2002). *Hackers: Heroes of the computer revolution*. New York: Penguin Books.
- Lu, Y. (Hrsg.). (2010). *Science & technology in China: A roadmap to 2050. Strategic general report of the Chinese Academy of Sciences*. Beijing/Heidelberg: Science Press/Springer.
- Mainzer, K. (2014a). *Die Berechnung der Welt: Von der Weltformel zu Big Data*. München: Beck.
- Mainzer, K. (2014b). The new role of mathematical risk modeling and its importance for society. In C. Klüppelberg, D. Straub & I. M. Welpel (Hrsg.), *Risk – A multidisciplinary introduction* (S. 95–132). Berlin: Springer.
- Mainzer, K. (2015). „Algorithms are powerful and useful. But by themselves they are blind.“ Interview mit Klaus Mainzer. *Faszination Forschung (Wissenschaftsmagazin der Technischen Universität München)*, 15, 64–75.
- Mainzer, K. (2016). *Information: Algorithmus – Wahrscheinlichkeit – Komplexität – Quantenwelt – Leben – Gehirn – Gesellschaft*. Berlin: Berlin University Press.
- Mainzer, K. (2019). *Künstliche Intelligenz. Wann übernehmen die Maschinen?* (2., erw. Aufl.). Berlin: Springer.
- Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2013). *Big data – A revolution that will transform how we live, work and think*. London: John Murray.

- Nell-Breuning, O. von (1985). *Gerechtigkeit und Freiheit: Grundzüge katholischer Soziallehre* (2. Aufl.). München: Günter Olzog.
- Planning Outline for the Construction of a Social Credit System (2014–2020) (14. Juni 2014). <https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2014/06/14/planning-outline-for-the-construction-of-a-social-credit-system-2014-2020/>. Zugegriffen am 22.08.2019.
- Taylor, F. W. (2006). *The principles of scientific management* (Nachdruck der Ausgabe: London: Harper & Brothers, 1911). New York: Cosimo.
- Technische Universität München. (11. April 2018). *Künstliche Intelligenz und Robotik unter einem Dach. Munich School of Robotics and Machine Intelligence (MSRM) der TUM am Start* [Pressemitteilung]. <https://www.tum.de/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/detail/article/34568/>. Zugegriffen am 22.08.2019.
- Weber, M. (2015). *Die protestantische Ethik und der „Geist“ des Kapitalismus. Neuauflage der ersten Fassung von 1904–05 mit einem Verzeichnis der wichtigsten Zusätze und Veränderungen aus der zweiten Fassung von 1920. Herausgegeben und eingeleitet von K. Lichtblau und J. Weiß*. Wiesbaden: Springer.
- Weizsäcker, C. F. von (1978). *Die Verantwortung der Wissenschaft im Atomzeitalter* (6. Aufl.). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Wieckmann, J. (1989). *Chaos Computer Club: Das Chaos Computer Buch. Hacking made in Germany*. Reinbeck: Wunderlich.
- Wozniak, S. (2006). *iWoz: Wie ich den Personal Computer erfand und Apple mitbegründete*. München: dtv.
- Zech, H. (2012). *Information als Schutzgegenstand*. Tübingen: Mohr Siebeck.



Digitale Zukunft: ein inter- und transdisziplinäres Thema

Dagmar Simon und Eckhard Steffen

Inhalt

1	Das Forschungsfeld Digitale Zukunft	190
2	Interdisziplinär und transdisziplinär forschen und ausbilden?	191
3	Das Fortschrittskolleg Arbeit 4.0: eine neue Form der Doktoranden/innen-Ausbildung?	197
4	Fazit	198
	Literatur	199

Zusammenfassung

Die komplexe Thematik der digitalen Zukunft erfordert eine interdisziplinäre wissenschaftliche Bearbeitung. Ist schon für das disziplinär organisierte Wissenschaftssystem Interdisziplinarität eine große Herausforderung in der Praxis und den zentralen Anerkennungsstrukturen, so erhöhen sich die Anforderungen noch einmal in der Verbindung mit wissenschaftlichen Qualifizierungsarbeiten. Wir geben aus Sicht der Wissenschaftsforschung einen kurzen Abriss des aktuellen Standes dieser Diskussion und stellen aktuelle Ansätze zur wissenschaftlichen Bearbeitung von Fragestellungen zur digitalen Transformation im Rahmen von Promotionsprogrammen vor.

Schlüsselwörter

Digitale transformation · Interdisziplinäre forschung · Interdisziplinäre wissenschaftliche qualifizierung · Promotionsprogramme · Transformation des wissenschaftssystems

D. Simon (✉)

Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH, Berlin, Deutschland

E-Mail: dagmar.simon@wzb.eu

E. Steffen

Paderborn Center for Advanced Studies, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

E-Mail: es@uni-paderborn.de

1 Das Forschungsfeld Digitale Zukunft

Seit einigen Jahren werden unter dem Begriff „Industrie 4.0“ vornehmlich technologische Entwicklungen verstanden, die intelligente, softwaregestützte Komponenten und die Beschäftigten (in Unternehmen) eng vernetzen, um komplexe Aufgaben im Arbeitsalltag erfüllen zu können. Ein wesentlicher Faktor dieser Technologien ist die Art und der Umfang des Einsatzes von informationstechnischen Unterstützungssystemen. Es werden weitreichende Veränderungen prognostiziert, z. B. im Bereich der ganzen Berufswelt (z. B. Dequalifizierung der Facharbeiter durch Einsatz von Assistenzsystemen; Substitution einfacher Tätigkeiten durch intelligente technische Systeme) (Hirsch-Kreinsen 2015), im Bereich der Beziehung zwischen Arbeit und Freizeit (z. B. Entgrenzung der Arbeit) (Itteringmann und Niehaus 2015), im Bereich des Führungsverhaltens (z. B. Möglichkeit zu stärkerer Selbststeuerung von Teams bei gleichzeitigem Wegfall der unteren Führungsebene) (Hirsch-Kreinsen 2015) oder im Bereich der medizinischen Versorgung (Rauch und Seidel 2012) bis hin zu einem radikalen Wandel des Wirtschaftens (z. B. dezentrale Produktion in regionalen 3D-Druckershops) (Botthof 2015) oder der vollständigen Überwachung der Mitarbeiter im Arbeitsumfeld (Hornung und Hofmann 2015).

In der wissenschaftlichen Analyse dieses Veränderungsprozesses greifen Hirsch-Kreinsen und ten Hompel (2015, S. 5 ff.) auf das Konzept des sozio-technischen Systems zurück, welches die Kombination und Wechselwirkung der technischen und nicht-technischen Elemente ins Zentrum der Analyse rückt. Unter technischen Elementen werden autonome technische Systeme, cyber-physical systems etc. verstanden und unter den nicht-technischen wird zwischen der Organisation der Arbeit (Arbeitsteilung, Hierarchie, Kommunikation etc.) und der Rolle des Menschen (Aufgabenstruktur, Qualifikation, Handlungsspielräume etc.) unterschieden (Hirsch-Kreinsen und ten Hompel 2015, S. 7, Abb. 1). Die durch diese Technologien mögliche Flexibilisierung von Arbeitsprozessen wird als so weitreichend eingeschätzt, dass sie als (zu erwartende) vierte industrielle Revolution bezeichnet wird. Die Digitalisierung von Prozessen ist nicht beschränkt auf produzierende Unternehmen. In allen Branchen und darüber hinaus in allen Bereichen des Lebens werden intelligente technische, vernetzte Systeme in Zukunft dafür sorgen, dass mit Hilfe von Sensoren vielerlei Informationen erfasst und ausgewertet werden, dass Systeme miteinander vernetzt sind und dadurch Informationen nahezu in Echtzeit ausgetauscht werden und dass Systeme sich an veränderte Umgebungen und Situationen anpassen können. Somit wird sich das Leben insgesamt verändern, sodass von einer digitalen Transformation der Gesellschaft gesprochen werden kann.

Es überrascht nicht, dass die digitale Transformation bzw. eine „digitale Zukunft“ sowohl als Verheißung als auch als Bedrohung erscheint. In der Arbeitswelt stehen Erwartungen einer Effizienzsteigerung und Erleichterung schwerer Arbeit, dem Verschwinden unerwünscht gefährlicher Arbeit und dafür Neuschaffung höherwertiger Arbeitsplätze Befürchtungen von Arbeitsplatzabbau, totaler Überwachung und Autonomieverlust bis hin zur Menschheitsbedrohung durch überlegene Künstliche Intelligenz und dem Menschen leistungsmäßig überlegene Maschinen gegenüber, siehe z. B. Pfeiffer und Suphan (2015) und Frey und Osborne (2013). Ähnlich in der

privaten Lebenswelt: Dem (zu erwartenden) Nutzen von mit dem Menschen interagierenden technischen Systemen stehen erhebliche Bedenken bzgl. der Überwachung des Menschen und der Verletzung seiner Privatsphäre gegenüber, siehe z. B. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2015).

Solche divergierenden Einschätzungen sind typischerweise mit disruptiven Veränderungen verbunden, da sie mit der bisherigen Erfahrungsaufschichtung nicht zuverlässig eingeordnet werden können. Andererseits verweisen sie darauf, dass der Wandel in seinen konkreten Ausformungen nicht quasi naturgesetzlich aus dem Bisherigen abgeleitet werden kann, sondern davon abhängig ist, wie er gestaltet wird und welche Perspektiven und Interessen sich dabei durchsetzen werden.

Die techniksoziologische Forschung (Hirsch-Kreinsen 2013) hat schon seit langem gezeigt, dass ein reines „Werkzeugszenario“ technischer Entwicklung naiv ist – so als ob Menschen vollständig kontrollieren könnten, was mit Technik passieren soll und was nicht –, so naiv oder auch resignativ ist andererseits auch die Vorstellung, dass Technik deterministisch in das Arbeiten und Leben eingreift mit auch nicht intendierten Folgen. Vielmehr sind die Realisierung technischer Möglichkeiten im Berufsleben, ihr Einfluss auf Beschäftigungsstrukturen und Arbeitsformen ebenso wie bei der Nutzung im Privatleben in hohem Maße gestaltbar.

Um diesen Veränderungsprozess aktiv zu gestalten ist es notwendig, die mit der digitalen Transformation verbundenen Gestaltungsmöglichkeiten umfassend zu erforschen und die Ergebnisse für den erfolgreichen gesellschaftlichen Wandel zu nutzen. Gemeinsam mit dieser (politischen) Orientierung der Fragestellungen und der damit verbundenen Forderung nach einem Beitrag der Wissenschaft zur Lösung gesellschaftlicher Probleme (Hollaender 2003, S. 2 ff.) ist häufig auch die Forderung nach der interdisziplinären Bearbeitung dieser Fragestellungen, da aus einer disziplinären Perspektive solche komplexen wissenschaftlichen Fragestellungen und gesellschaftlichen Problemlagen nicht erfolgreich zu bearbeiten sind (siehe z. B. Wissenschaftsrat 2015). Diese Forderung ist oft mit hohen Erwartungen verknüpft, die strukturellen und organisatorischen Rahmenbedingungen für interdisziplinäre Forschung sind dagegen häufig nicht gegeben.

Der Untersuchungsgegenstand der digitalen Transformation der Gesellschaft ist hochkomplex und er betrifft so gut wie alle Lebensbereiche. So natürlich und nachvollziehbar die Forderung nach der interdisziplinären wissenschaftlichen Bearbeitung der digitalen Transformation erscheint, so ist es doch nicht unmittelbar klar, wie bzw. unter welchen Bedingungen sie realisiert werden kann.

2 Interdisziplinär und transdisziplinär forschen und ausbilden?

Im Folgenden wird auf die Diskussion in der Wissenschaftsforschung über Trans- und Interdisziplinarität eingegangen und auf ihre unterschiedlichen konzeptuellen Zugänge verwiesen. Unter dem Konzept der „mode 2 – Wissensproduktion“ war damit auch die Frage verbunden, ob sich die Wissensproduktion in den letzten Dekaden signifikant verändert und die Bedeutung der Disziplinen relativiert hat.

Abschließend wird auf die Frage eingegangen, in welcher Weise Interdisziplinarität mit der Doktorandenausbildung vereinbar ist.

Wissenschaftspolitisch wird in den letzten Jahren verstärkt Inter- und Transdisziplinarität eingefordert, da die vor allem im Rahmen der europäischen Forschungsförderung ins Zentrum gerückten „Grand Challenges“ wie bspw. die Klima- und Energiewende, der demografische Wandel oder eben auch der hier uns interessierende Umbau der Arbeitswelten durch Industrie 4.0 eine Komplexität aufweisen, deren Bearbeitung durch eine Disziplin und ausschließlich durch die akademische Forschung als nicht Erfolg versprechend erscheint. Zunehmend werden Forschungs(förder)programme mit dem Anspruch zumindest eines interdisziplinären, wenn nicht sogar transdisziplinären Zugangs, also einer Koproduktion von Wissen zwischen Wissenschaft und anderen gesellschaftlichen Akteuren, aufgelegt. Weingart (2001) sieht in diesem Zusammenhang vor allem die symbolische Kraft von Interdisziplinarität als Signal für Innovationskraft, Reformfähigkeit und Modernisierung der Forschung. Interdisziplinarität findet zunehmend auch in der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses im deutschen Wissenschaftssystem Berücksichtigung wie bspw. in den NRW-Fortschrittkollegs. Im angloamerikanischen Raum hat die interdisziplinäre Forschung und Graduiertenausbildung (Hackett und Rothen 2009) schon länger Eingang in das Forschungsfördersystem gefunden. Empirische Studien zeigen insgesamt, dass in Deutschland weniger interdisziplinär gearbeitet wird als in den USA, in UK, Italien, China und Japan (Van Norden 2015; Bromham et al. 2016).

Interdisziplinäre Forschung ist alles andere als ein klar formuliertes Konzept, insbesondere die Wissenschaftsforschung befasst sich spätestens seit den 70er-Jahren damit. Unterschiedliche Begrifflichkeiten und theoretisch-konzeptionelle Zugänge prägen die Diskussion. Helga Nowotny (1997) geht von den Problemen der „wirklichen“ Welt aus, die sich in komplexen Forschungsfragen artikulieren und die Kooperation zwischen den Disziplinen erfordern, von anderer Seite ist Interdisziplinarität nur als Addition von Partialinteressen vorstellbar (Heckhausen 1987), oder entgegengesetzt bedeutet sie als wissenschaftstheoretisches Konzept mehr als die bloße Zusammenstellung von disziplinären Partikularitäten (Mittelstraß 1987).

Die Diskussion in der Wissenschaftsforschung fokussierte zunächst auf die disziplinär geprägten epistemischen Praktiken und es wurde konstatiert, dass mit dem Zerfall in Partialperspektiven die Wissenschaft unfähig werde, auf komplexe außerwissenschaftliche Probleme zu reagieren. Somit werden integrative Mechanismen durch Interdisziplinarität benötigt (Stichweh 1994). Trotz sehr unterschiedlicher Ansätze und Ansprüche ist man sich einig, Interdisziplinarität als „Reparaturinitiative“ (Mittelstraß 1987, S. 155) zu verstehen, die durch die Differenzierung der Wissenschaft notwendig geworden ist. Alle Arbeiten weisen auf die Schwierigkeiten hin, die durch die Differenzierung der Wissenschaft entstehen (können): Begriffs- und Kommunikationsprobleme zwischen Forschenden verschiedener Disziplinen, Beschränkung auf Spezialprobleme, Rückzug von oder Versagen vor außerwissenschaftlichen Problemfeldern (Röbbecke et al. 2004).

Trotz aller Unterschiede in der Beschreibung und Analyse interdisziplinärer Forschung finden sich jedoch zentrale gemeinsame Befunde, die anhand eines

Kontinuums der Synthese/Integration zwischen Disziplinen in einer Prozessperspektive verdeutlicht werden können. Diese Synthese reicht von einer einfachen Kommunikation über die gemeinsame Nutzung von Methoden und Konzepten bis hin zu einer vollständigen Integration über gemeinsame Theoriebildung. Alle Definitionen gehen zudem davon aus, dass ein Ziel immer angestrebt wird: komplexe Probleme zu lösen oder neue Forschungsfelder zu begründen (Aboeleia et al. 2007).

In Abgrenzung zu dem ambitionierten Konzept der interdisziplinären Zusammenarbeit wird in der wissenschaftlichen Praxis zumeist im Wesentlichen multidisziplinär gearbeitet, d. h. „isoliertes Vorgehen bei Abstimmung über gemeinsame Fragestellungen“ oder auch „Forscher aus verschiedenen Disziplinen untersuchen nebeneinander verschiedene Aspekte desselben Problems“ und „die Ergebnisse werden eklektisch kumuliert“ (Blaschke 1976). Bei dieser Art von gemeinsamer Forschung findet in der Regel kein Methodentransfer statt. Multidisziplinäre Arbeit wird durch das wissenschaftliche Anreizsystem (Publikationen in disziplinär akzeptierten Journals bzw. Proceedings) gedeckt und unterstützt, jedoch ist nicht immer erkennbar, was genau das Gesamtergebnis der Forschungsaktivitäten ist.

Auch die „mode 2“-Debatte ist als ein weiterer Diskursstrang für Inter- und auch Transdisziplinarität von Bedeutung. Es geht um Diagnosen, die in den 90er-Jahren federführend von Helga Nowotny veröffentlicht worden sind und die einen neuen Typus der Wissensproduktion beschrieben haben, der stärker an Bedeutung gewonnen hat (Nowotny et al. 2003). Jenseits der disziplinären Wissensproduktion vornehmlich an den Universitäten handelt es sich um eine interdisziplinär angelegte Forschung, in der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Praktikern direkt zusammenarbeiten und dies eher in temporären Arbeitszusammenhängen/Netzwerken statt an Universitäten bzw. außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Damit ist der Anspruch verbunden, dass die Wissenschaft sich in der gesellschaftlichen Agora zu bewähren habe, um in partizipativer Interaktion mit einer Vielzahl gesellschaftlicher Akteure zu „sozial robustem Wissen“ zu werden – also ein Wissen, das doppelt validiert wird, in der Wissenschaft auf seine „Exzellenz“ und darüber hinaus einen Praxistest besteht, das im weitesten Sinne für die Gesellschaft verwertbar ist (Gibbons et al. 1994; Nowotny et al. 2003). Dieser Wissenstypus soll eine dominante Stellung in einer enger gekoppelten Wissenschaft und Gesellschaft erreichen bzw. schon erreicht haben. Dieser Befund wird durchaus kontrovers diskutiert und andere Autoren (Weingart 2001; Simon und Knie 2010) weisen auf die nach wie vor markanten Position der Disziplinen¹ als Deutungsmacht und Deutungsquelle, als Orientierung für Karrieren in der Wissenschaft und als Kernelement des herrschenden Reputationsregimes hin. Im Vergleich dazu werden interdisziplinäre Leistungen im Wissenschaftssystem immer noch geringer anerkannt. In hochrangigen Journals

¹Die überzeugendste Definition von Disziplinen stammt von Stichweh: Disziplinen zeichnen sich aus durch einen homogenen Diskussionszusammenhang, einen akzeptierten Korpus wissenschaftlichen Wissens und als Set von Fragestellungen, Forschungsmethoden sowie paradigmatische Problemlösungen. Nicht zuletzt gibt es eine disziplinspezifische Karrierestruktur und institutionalisierte Sozialisationsprozesse, die der Selektion des wissenschaftlichen Nachwuchses dienen (Stichweh 1994).

sind interdisziplinäre Arbeiten schwerer zu platzieren (Rafols et al. 2012), sie werden seltener zitiert (Levitt und Thelwall 2008) und der akademische Rang korreliert positiv mit disziplinären, aber nicht mit interdisziplinären Kooperationen (Van Rijnsoever und Hessels 2011).

Neben Fragen der Wissensintegration auf der epistemischen Ebene wurden in den letzten Jahren den Fragen der Qualität von interdisziplinärer Forschung und ihrer Bewertung (Lamont et al. 2006) sowie den Verfahren von Begutachtungen in der Forschungsförderung durch interdisziplinär zusammengesetzte Gutachtertteams verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet. Lamont zeigt in ihren empirischen Studien, dass Prozesse der Urteilsbildung stark von der interdisziplinären Konstellation abhängen. Da Peer Review häufig eher zum Konservatismus neigt, sind Vorschläge entwickelt worden, wie in Bewertungsverfahren eine Balance zwischen disziplinären und interdisziplinären Kriterien erreicht werden kann (Rhoten et al. 2009).

Zu den institutionellen, organisatorischen und strukturellen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen von interdisziplinärer Forschung in Universitäten, Forschungseinrichtungen, temporären Netzwerken etc. sind bislang nicht sehr viele und aktuelle Studien verfügbar. Solche Arbeiten stellen weiterhin ein Desiderat dar; gerade auch in Bezug auf interdisziplinäre Nachwuchsförderung, die wissenschaftspolitisch eine immer größere Bedeutung erlangt (s. u.). Scheffler (2008) untersucht z. B. Handlungsstrategien interdisziplinärer Forschungsk Kooperation auf Basis von DFG-Sonderforschungsbereichen (siehe auch Laudel 1999). Bei der interdisziplinären Zusammenarbeit steht die Kooperationsform, d. h. die Organisation des Forschungsverbundes, im Vordergrund. Hollaender (2003) befasst sich mit den Merkmalen, Einflussfaktoren und Effekten interdisziplinärer Forschung. Ein wesentliches Hindernis für interdisziplinäre Zusammenarbeit ist die disziplinäre Struktur des Wissenschaftssystems und seiner Organisationen. Sie hält fest, dass die Interdisziplinarität der Verbünde sowohl eine organisatorische wie auch eine inhaltliche Dimension aufweist, die miteinander verschränkt sind. Hierbei bewertet sie die Managementfähigkeiten der Leitung als entscheidenden Faktor für den Erfolg interdisziplinärer Forschungsverbünde.

Inter- und Transdisziplinarität werden gerade im Zusammenhang der großen gesellschaftlichen Herausforderungen, die anders nicht mehr wissenschaftlich zu bearbeiten seien, in einem Atemzug benannt. Dabei kann eine problemorientierte Forschung durchaus ausschließlich durch eine Integration disziplinärer Ansätze bearbeitet werden, ohne mit außerwissenschaftlichen Vertretern gesellschaftlicher Gruppen zusammenzuarbeiten. Transdisziplinarität hat in den letzten Jahren insbesondere im Zusammenhang mit Innovationsmodellen und Wissenstransfer an Relevanz zugenommen. Die dominante Perspektive eines längst tot geglaubten, aber immer noch diskutierten linearen, unidirektionalen Modells von der Grundlagenforschung zur Anwendung wird durch neuere Ansätze der Innovationsforschung erweitert, die demgegenüber die Rekursivität des Transferprozesses betonen (Braun-Thürmann 2005), also auch ein Wissenstransfer aus der Praxis in die (Grundlagen-)Forschung; an den Schnittstellen und in der Kooperation heterogener Akteure werden insbesondere innovative Potenziale vermutet. Wissensgenerierung und Wissensnutzung stehen in einem engen Zusammenhang, denn Wissenstransfer

ist stark durch die generierten Fragestellungen, Methoden und Konzepte beeinflusst. Wichtig ist somit, wie Forschungsfragen entwickelt werden und inwieweit sie Problemstellungen aus der Praxis aufgreifen. Der Prozess des Wissenstransfers hat wiederum Einfluss auf die tatsächliche Nutzung (Bergmann 2010) und der Grad der Wissensnutzung hängt davon ab, ob das Wissen neben „epistemischer Robustheit“ auch „soziale“ Robustheit (Nowotny et al. 2003) erlangt. Mit Blick auf erfolgreiche transdisziplinär angelegte Forschungsprozesse ist entscheidend, ob und in welcher Weise zum Beginn des Forschungsvorhabens mit Praxisakteuren zusammengearbeitet wird bzw. Praxiswissen in den Forschungsprozess einfließen kann und Kooperation auf „Augenhöhe“ stattfindet (Defila und Di Giulio 2016; Bergmann 2010).

Ein bislang nicht stark beachtetes Feld im Kontext von Inter- und Transdisziplinarität ist die Nachwuchsförderung, vor allem die Doktoranden/innen-Ausbildung. Wissenschaftspolitisch sind in Deutschland in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren nicht zuletzt durch die Exzellenzinitiative etliche Initiativen unternommen worden, im Rahmen von strukturierten Promotionsprogrammen (Graduate Schools) Promovenden/innen interdisziplinäre Forschungskontexte oder zumindest Austausch- und Kooperationsmöglichkeiten zu bieten. Nach wie vor ist eine interdisziplinäre Ausbildung für den wissenschaftlichen Nachwuchs eine Gratwanderung, da die Qualifikationsarbeiten sich in der Regel in der Disziplin verorten und beweisen müssen. Diese Sicht bestätigt Hoellaender (2003). In den Gestaltungsempfehlungen hält sie fest: Für die wissenschaftliche Weiterqualifizierung bleibt der Nutzen aus der Mitarbeit im Programm [hier: Förderschwerpunkt Stadtökologie] hinter den Erwartungen zurück. In dieser Hinsicht ist beim wissenschaftlichen Nachwuchs von Unzufriedenheit mit den Möglichkeiten im Programm auszugehen. Für zukünftige Programme wäre deutlicher herauszuarbeiten, ob wissenschaftliche Weiterqualifizierung Teil der Programmziele ist oder nicht (Hollaender 2003, S. 241).

In einem Dialogforum stellen Rohlfing et al. (2014) die Frage nach der interdisziplinären Ausbildung im Kontext von „Cognitive Developmental Robotics“. In diesem Forschungsgebiet ist die fachübergreifende Zusammenarbeit notwendig und sie stellen die Frage, wie diese Fähigkeiten trainiert werden können, ohne dass die Studierenden/Nachwuchsforscherinnen und -forscher an der hohen Komplexität interdisziplinärer Fragestellungen verzweifeln. Sie stellen zwei Szenarien zur Diskussion: 1. interdisziplinäre Ausbildung von Doktorandinnen und Doktoranden und 2. interdisziplinäres Training für Postdoktorandinnen und Postdoktoranden. Sie fordern, dass für die Ausbildung interdisziplinärer Fähigkeiten – hier im Wesentlichen die Fähigkeit zur fächerübergreifenden Arbeit von der Problemstellung bis zum Ergebnis – ein entsprechender Raum für den Dialog geschaffen werden muss; sowohl inhaltlich als auch organisatorisch. Weiterhin geben sie zu Bedenken, dass die Fähigkeit zur Mediation essential für die interdisziplinäre Zusammenarbeit ist. Auf den Beitrag wird von verschiedenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern reagiert. Alle sind sich einig in der Einschätzung, dass fächerübergreifende Kompetenzen erworben und ausgebildet werden müssen. Einige fordern dies früher zu trainieren, z. B. in kleinen Projekten im Bachelor- oder Masterstudium, wo immer die Frage nach dem „Wie“ mit der nach dem „Warum“ kombiniert werden soll. Juyang Weng (Hollaender 2003, S. 9 ff.) betont in seinem Diskussionsbeitrag die

Notwendigkeit, auch für die etablierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler (senior researchers) ein systematisches Training zur interdisziplinären Zusammenarbeit zu entwickeln. Er weist auf die Vorbildfunktion der Betreuerinnen und Betreuer hin, die maßgeblich die wissenschaftliche Arbeit der Doktorandinnen und Doktoranden beeinflussen.

In ihrer Reaktion auf die Diskussionsbeiträge fassen Rohlfsing et al. (2014) zusammen, dass auch bereits etablierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler flexibel bleiben müssen („... keep moving“). Es werden aber auch immer wieder die Risiken interdisziplinärer Forschung für den wissenschaftlichen Nachwuchs betont, da wissenschaftliche Positionen nach wie vor häufig primär disziplinär besetzt werden.

Im US-amerikanischen Wissenschaftssystem wurden schon zu einem früheren Zeitpunkt Initiativen von der National Science Foundation und dem National Institute of Health mit einem erheblichen finanziellen Ressourceneinsatz unternommen, um die Graduiertenausbildung interdisziplinär zu organisieren. Ein prominentes Beispiel hierfür ist die Initiative „Integrative Graduate Education Research and Training“ (IGERT), die bereits 1997 ins Leben gerufen wurde. Mit IGERT war intendiert, „catalyze a cultural change in graduate education for students, faculty, and institutions by establishing innovative new models for graduate education and training in a fertile environment for collaborative research that transcends traditional disciplinary boundaries“ (National Science Foundation 2002). Das Programm wurde an den Universitäten von jeweils mehreren Fakultäten getragen, die sich auf ein Thema verständigt hatten, welches nur mit unterschiedlichen disziplinären Ansätzen zusammen bearbeitet werden konnte. Hackett und Rothen (2009) haben in einem experimentellen Design unterschiedliche Kohorten (1–2 Jahre und 3 plus weiteres Jahr) von IGERT-Doktoranden/innen und Doktoranden/innen disziplinärer Programme bezüglich unterschiedlicher Leistungsdimensionen verglichen, wie z. B. „Intellectual merit“, „broader impacts“, „disciplinary knowledge and methods“, „interdisciplinary quality“, „synthesis“, „integration“ etc. (Hackett und Rothen 2009, S. 418). In einem experimentellen Workshop sollten die Gruppen nach konkreten Vorgaben Vorschläge für ein Forschungsthema im Bereich der interdisziplinären Umweltforschung entwickeln und präsentieren. Die Erwartung war, dass die IGERT-Gruppe im Vergleich besser abschneiden würde, vor allem in der zweiten Kohorte, also der mit bereits erfahreneren Promovenden/innen. Das Resultat war jedoch ein anderes: „... for students in the first years of graduate study, IGERT groups outperformed their disciplinary counterparts on all but one of the criteria (synthesis), with differences as large as a half-point on scales with ranges of only four points. Among students in the latter years of graduate study, however, the pattern is reversed: groups formed of disciplinary students outperformed groups of IGERT students on 13 of the 15 measures“ (Hackett und Rothen 2009, S. 419). Eine Erklärung für diese Ergebnisse sehen die Initiatoren der Studie im Folgenden: „In the end, the senior IGERT groups appeared to be schooled in the rules of interdisciplinary collaboration but had not learned the roles of interdisciplinary collaboration. In fact, we found an inverse relationship between their use of social tactics and their ability to integrate or synthesize, leading us to argue that viable interdisciplinary

collaboration requires mechanisms that operate at the epistemological level, not merely at the social level“ (Hackett und Rothen 2009, S. 423).

Die Autoren verweisen in ihrer Analyse auf die Bedeutung der kognitiven Dimension von Interdisziplinarität, wenn eine Integration unterschiedlicher theoretischer und methodischer Zugänge tatsächlich erreicht werden soll. Sie charakterisieren das IGERT-Programm trotz aller Erfolge mehr als ein Disziplinen plus-Modell, „which is much more of an educational program than it is a new learning experience“ (Hackett und Rothen 2009, S. 426). Eine ganz spezifische Expertise werde für diese Art Ausbildung benötigt, die nicht bei den beteiligten Departments oder Fakultäten abgerufen werden kann und empfohlen wird zunächst eine sehr gute Ausbildung in der jeweiligen Disziplin: Konzepte, theoretische und methodische Zugänge, epistemische Standards, die die Doktoranden/innen in die Lage versetzen sollen, sie in interdisziplinären Projekten anzuwenden und mit anderen Disziplinen zu rekombinieren. Sie befürworten zudem ein Modell, das zwischen disziplinären und interdisziplinären Ausbildungsphasen oszilliert. Die Erfahrungen dieses Experiments mit disziplinär und interdisziplinär ausgerichteten Formaten der Promotionsförderung sind u. a. für die Diskussion und praktische Umsetzung interdisziplinärer Konzepte der Fortschrittskollegs von Bedeutung.

3 Das Fortschrittskolleg Arbeit 4.0: eine neue Form der Doktoranden/innen-Ausbildung?

Die NRW-Fortschrittskollegs sind eingerichtet worden, um Promovierenden einen Rahmen für eine inter- und transdisziplinäre Forschung zu bieten. Demensprechend war die Ausschreibung der Kollegs auf größere thematische Felder bezogen, deren Bearbeitung die Sichtweise mehrerer Disziplinen erfordert und die von einer engen Kooperation mit Partnern aus gesellschaftlichen Praxisfeldern profitieren. Inwieweit bzw. in welchem Ausmaß auch die Dissertationen interdisziplinär angelegt werden, blieb den Antragstellern überlassen. Zielsetzung war dennoch die Promotionen disziplinär und die Betreuung interdisziplinär in einem transdisziplinären Umfeld anzulegen. In dem Fortschrittskolleg „Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten – Menschenzentrierte Nutzung von Cyber-Physical Systems in Industrie 4.0“ (kurz: FK Arbeit 4.0) erarbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Betriebswirtschaftslehre (Personalwirtschaft), Elektrotechnik (Kognitronik, Sensorik), Informatik (Angewandte Informatik, Informationssysteme, Robotik, Softwaretechnik), Maschinenbau (Produktentstehung), Pädagogik (Bildungsmanagement in der Weiterbildung), Psychologie (Arbeits- und Organisationspsychologie) und der Soziologie (Sozialstruktur und soziale Ungleichheit), welche Gestaltungsoptionen mit der Digitalisierung von Prozessen verbunden sind. Von Beginn an, d. h. schon beim Design des Fortschrittskollegs und der Antragstellung, waren das regionale Innovationsnetzwerk „Energie Impuls OWL“, die IG Metall, der Spitzencluster „it's OWL“, die TBS (NRW) und der VDI NRW beteiligt und als Träger praktischen Wissens in das Fortschrittskolleg eingebunden. D. h. alle Partner wurden an der Definition der Forschungsfragen beteiligt und durch regelmäßige

Feedback-Runden in das FK integriert. Die konzeptionellen Vorstellungen und die Implementierung der Ergebnisse in der Praxis und der Wissenschaft erfolgen durch die kontinuierliche Einbindung der Partner aus dem inter- und transdisziplinären Umfeld in die individuellen Promotionsprojekte. Dadurch können Doktorandinnen und Doktoranden die Fähigkeit entwickeln, auf hohem Niveau wissenschaftliche und praktische Erkenntnisse zusammenzuführen und nachhaltige Lösungen für die menschenzentrierte Gestaltung der zukünftigen Arbeitswelt zu erarbeiten.

Folgende Themen stehen zunächst im Fokus der Untersuchungen:

- (1) Übergang zu menschenzentrierten, flexiblen und adaptiven Arbeitsprozessen unter Berücksichtigung ihrer gesellschaftlichen Einbettung und organisationaler Gerechtigkeit,
- (2) Einsatz von lernenden, intelligenten Assistenzsystemen in Form von Cyber-Physical Devices,
- (3) Entwicklung eines anforderungsorientierten Systems Engineering-Ansatzes als Grundlage für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit,
- (4) Untersuchung der daraus resultierenden Änderungen in den beruflichen Anforderungen mit Konsequenzen für die Aus- und Weiterbildung und das Lernen am Arbeitsplatz.

Die Erwartungen der Praxispartner sind z. B. die methodische Verallgemeinerung und wissenschaftliche Vertiefung praxisrelevanter Themen oder Impulse für die Qualifizierung von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern. Die Beiträge der Praxispartner bestehen im Wesentlichen aus dem Zugang zur außerwissenschaftlichen Fachöffentlichkeit und der regelmäßigen (gemeinsamen) Reflexion der Forschungsarbeiten. Die Dissertationen werden von drei Hochschullehrerinnen/Hochschullehrern verschiedener Fachrichtungen betreut und es werden Formate zum regelmäßigen Austausch über die Forschungsthemen angeboten. Hier sind insbesondere die selbst organisierten Treffen der Doktorandinnen und Doktoranden, Treffen des gesamten Konsortiums und wissenschaftliche Klausurtagungen zu nennen.

Der Transfer und die Umsetzung der Ergebnisse erfolgt in Workshops. Diese Workshops sind das zentrale Element des Qualifizierungskonzeptes des Fortschrittskollegs. Ziel dieses Vorgehens ist, die Doktorandinnen und Doktoranden so auszubilden, dass sie die wissenschaftlichen Ergebnisse – welche auch durch Problemstellungen aus dem inter- und transdisziplinären Forschungsumfeld initiiert wurden – wieder in den Anwendungskontext einordnen können, sodass sie aktiv den Transfer der wissenschaftlichen Ergebnisse in die praktische Anwendung gestalten können.

4 Fazit

Die Qualität der fächerübergreifenden Zusammenarbeit wird ein zentraler Parameter für die Bewältigung und Gestaltung der digitalen Transformation sein. Es gibt nicht den Königsweg oder das universelle Modell für die erfolgreiche Zusammenarbeit.

Das gleiche gilt für die Wahl der Ausbildungs- (Bachelor, Master) bzw. Berufstätigkeitsphase (Promotion oder Postdoktorat), in der interdisziplinäre Kompetenzen ausgebildet werden sollen. Während innerhalb der Wissenschaft tendenziell eine tiefe Spezialisierung – bis zur Promotion – in einem Fach favorisiert wird, könnte die frühe Kompetenzentwicklung in interdisziplinärer Zusammenarbeit, kombiniert mit entsprechenden Managementkompetenzen, die bessere Vorbereitung für eine Tätigkeit in der Industrie sein. Mit Blick auf die Nachwuchsförderung stehen die Hochschulen vor der Aufgabe, beide Aspekte zu bedienen.

Literatur

- Aboeleia, S. W., Larson, E., Bakken, S., Carrasquillo, O., Formicola, A., Glied, S. A., ... Gebbie, K. (2007). Defending interdisciplinary research: Conclusions from a critical review of the literature. *Health Services Research*, 42(1), 329–346.
- Bergmann, M. (2010). *Methoden transdisziplinärer Forschung. Ein Überblick mit Anwendungsbeispielen*. Frankfurt a. M.: Campus.
- Blaschke, D. (unter Mitarbeit von Ingrid Lukatis). (1976). Probleme interdisziplinärer Forschung. Organisations- und forschungssoziologische Untersuchung der Erfahrungen mit interdisziplinärer Zusammenarbeit im SFB 16 unter besonderer Betonung des Dhanbad-Projektes. In *Beiträge zur Südasiens-Forschung* (Bd. 18). Wiesbaden: Steiner.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (Hrsg.). (2015). Technik zum Menschen bringen. https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Technik_zum_Menschen_bringen_Forschungsprogramm.pdf. Zugegriffen am 15.03.2017.
- Bothhof, A. (2015). Zukunft der Arbeit im Kontext von Autonomik und Industrie 4.0. In A. von Bothhof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 3–8). Berlin: Springer Vieweg.
- Braun-Thürmann, H. (2005). *Innovation*. Bielefeld: transcript.
- Bromham, L., Dinnage, R., & Hua, X. (2016). Interdisciplinary research has consistently lower funding success. *Nature*, 534(7609), 684–687.
- Defila, R., & Di Giulio, A. (Hrsg.). (2016). *Transdisziplinär forschen – zwischen Ideal und gelebter Praxis*. Frankfurt a. M.: Campus.
- Frey, C., & Osborne, M. A. (2013). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf. Zugegriffen am 15.03.2017.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The new production of knowledge. The dynamics of science and research in contemporary societies*. London: Sage.
- Hackett, E. J., & Rothen, D. R. (2009). The Snowbird Charette: Integrative interdisciplinary collaboration in environmental research design. *Minerva*, 47(4), 407–440.
- Heckhausen, H. (1987). „Interdisziplinäre Forschung“ zwischen Intra-, Multi- und Chimären-Disziplinarität. In J. Kocka (Hrsg.), *Interdisziplinarität – Praxis, Herausforderung, Ideologie*. (S. 129–145). Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2013). Techniksoziologie. In H. von Hirsch-Kreinsen & H. Minssen (Hrsg.), *Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie* (S. 454–461). Berlin: Edition Sigma.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Einleitung: „Digitalisierung industrieller Arbeit“. In H. von Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 9–30). Baden-Baden: Nomos.
- Hirsch-Kreinsen, H., & ten Hompel, M. (2015). Digitalisierung industrieller Arbeit. Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0* (S. 1–20). Berlin: Springer.

- Hollaender, K. (2003). *Interdisziplinäre Forschung. Merkmale, Einflußfaktoren und Effekte*. Dissertation, Philosophischen Fakultät, Universität zu Köln, Köln.
- Hornung, G., & Hofmann, K. (2015). Datenschutz als Herausforderung der Arbeit in der Industrie 4.0. In H. von Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 165–182). Baden-Baden: Nomos.
- Itteringmann, P., & Niehaus, J. (2015). Industrie 4.0 und Wandel von Industriearbeit. In H. von Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 33–52). Baden-Baden: Nomos.
- Lamont, M., Mallard, G., & Guetzkow, J. (2006). Beyond blind faith. Overcoming the obstacles to interdisciplinary assessments. *Research Evaluation*, 15(1), 31–41.
- Laudel, G. (1999). *Interdisziplinäre Forschungskooperation: Erfolgsbedingungen der Institution ‚Sonderforschungsbereich‘*. Berlin: Edition Sigma.
- Levitt, J. M., & Thelwall, M. (2008). Is multidisciplinary research more highly cited? A macro level study. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59(2), 1973–1984.
- Mittelstraß, J. (1987). Die Stunde der Interdisziplinarität? In J. Kocka (Hrsg.), *Interdisziplinarität – Praxis, Herausforderung, Ideologie* (S. 152–158). Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Nowotny, H. (1997). Die Dynamik der Innovation. Über die Multiplizität des Neuen. In W. von Rammert (Hrsg.), *Innovation – Prozesse, Produkte, Politik. Jahrbuch für Technik und Gesellschaft* (Bd. 9, S. 33–54). Frankfurt a. M.: Campus.
- Nowotny, H., Scott, P., & Gibbons, M. (2003). ‚Mode 2‘ Revisited: The new production of knowledge. *Minerva*, 41, 179–194.
- Pfeiffer, S., & Suphan, A. (2015). Industrie 4.0 und Erfahrung – das Gestaltungspotenzial der beschäftigten anerkennen und nutzen. In H. von Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 33–52). Baden-Baden: Nomos.
- Rafols, I., Leydesdorff, L., O’Hare, A., Nightingale, P., & Stirling, A. (2012). How journal rankings can suppress interdisciplinary research: A comparison between innovation studies and business management. *Research Policy*, 41, 1262–1282.
- Rauch, C., & Seidel, A. (2012). Die Stadtwirtschaft und morgen. HEAG 2014. https://www.zukunftsinstitut.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Auftragsstudien/HEAG-2040-zukunftsstudie_2.pdf. Zugegriffen am 15.03.2017.
- Rhoten, D., O’Connor, E., & Hackett, E. J. (2009). The act of collaborative creation and the art of integrative creativity. Originality, disciplinarity and interdisciplinarity. *Thesis Eleven*, 96(1), 83–108.
- Röbbecke, M., Simon, D., Lengwiler, M., & Kraetsch, C. (Hrsg.). (2004). *Inter-Disziplinieren. Erfolgsbedingungen von Forschungskooperationen*. Berlin: Edition Sigma.
- Rohlfing, K. J., Wrede, B., & Sagerer, G. (2014). Training on everthing. *IEEE AMD Newsletter*, 11(2), 4–13.
- Scheffler, D. (2008). *Handlungsstrategien interdisziplinärer Forschungskooperation*. Dissertation, Fachbereich Psychologie, Universität Trier, Trier.
- Simon, D., & Knie, A. (2010). Stabilität und Wandel des deutschen Wissenschaftssystems. In D. von Simon, A. Knie & S. Hornbostel (Hrsg.), *Handbuch Wissenschaftspolitik* (S. 26–38). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Stichweh, R. (1994). Differenzierung der Wissenschaft. In R. Stichweh (Hrsg.), *Wissenschaft, Universität, Professionen. Soziologische Analysen* (S. 15–51). Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Van Norden, R. (2015). Interdisciplinary research by the numbers. *Nature*, 525(7569), 306–307.
- Van Rijnsvoort, F. J., & Hessels, L. K. (2011). Factors associated with disciplinary and interdisciplinary research collaboration. *Research Policy*, 40(3), 463–472.
- Weingart, P. (2001). *Die Stunde der Wahrheit? Weilerswist: Velbrück*.
- Wissenschaftsrat. (2015). Zum wissenschaftspolitischen Diskurs über Große gesellschaftliche Herausforderungen. Positionspapier, Drs. 4594–4615, verabschiedet in Stuttgart, April 2015.

Teil III

Umsetzung der digitalisierten Arbeit

Vernetzte Arbeitsumgebungen

Körpernahe und tragbare Sensorik in der Arbeitswelt

Timm Hörmann und Ulrich Rückert

Inhalt

1	Mensch-Maschine Interaktion in Industrie 4.0	204
2	Mitarbeitende als Teil des Cyber-Physikalischen Systems	205
3	Wearable Computing und Arbeit 4.0	210
4	Chancen und Risiken	217
5	Fazit	219
	Literatur	220

Zusammenfassung

Mit der fortschreitenden Miniaturisierung von elektronischen Geräten schwindet zunehmend die räumliche Distanz zwischen Mensch und Technik. Fitness-Armbänder oder elektronische Uhren sind zu dauerhaften Begleitern im Alltag gereift. Dadurch entstehen neue Zugänge zu persönlichen Daten, z. B. um den Kontext einer Handlung zu erfassen oder die Ergonomie einer Bewegung zu bewerten. Aus technischer Sicht ergeben sich so neue Potenziale zur Ausgestaltung von Mensch-Technik Interaktion.

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die Entwicklungen von körpernaher und tragbarer Sensorik in der Arbeitswelt. Dazu werden konkrete Projekte aus den Anwendungsfeldern Aufgabenerfüllung, Ergonomie, Arbeitsgesundheit und Schutzassistenten vorgestellt. Die entsprechenden Implikationen und resultierenden Chancen und Risiken werden am Ende dieses Kapitels diskutiert.

Schlüsselwörter

Körpernahe Sensorik · Wearable Computing · Intelligente Arbeitskleidung · Vernetzter Arbeitsplatz · Umgebungszintelligenz

T. Hörmann (✉) · U. Rückert

Technische Fakultät, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

E-Mail: timh.hoermann@gmx.de; rueckert@techfak.uni-bielefeld.de

1 Mensch-Maschine Interaktion in Industrie 4.0

Das Stichwort *Industrie 4.0* beschreibt den technologischen und strukturellen Wandel von einer automatisierten Massenproduktion hin zu einer digitalisierten, vernetzten und adaptiven Produktion individualisierter Waren und Güter. Treiber dieses Wandels sind sogenannte Cyber-Physikalische Systeme (CPS). Diese können als vernetzte, eingebettete (Steuerungs-)Systeme verstanden werden, durch deren Einsatz die virtuelle und die reale Welt verschmelzen sollen. Wolff und Schulze (2013, S. 5) fassen dazu zusammen: „[CPS] verarbeiten die ihnen zugeführten Informationen und sind in der Lage ihre physische Umwelt koordiniert zu beeinflussen und zu manipulieren“.

Dieser technischen Definition folgend sind auch die Mitarbeitenden als Teil der physischen Umwelt zu verstehen. Sie sind somit von der Manipulation oder Koordination durch CPS betroffen. Die Mitarbeitenden sind also integraler Teil der vernetzten Produktion. Rund um das Schlagwort *Arbeit 4.0* oder *Arbeiten 4.0* werden daher die Implikationen des fortschreitenden technologischen Wandels, den CPS in der Arbeitswelt mutmaßlich auslösen, diskutiert. Dabei stehen die sich verändernden Anforderungen und Bedürfnisse der Arbeitnehmenden auch in Bezug auf sich verändernde Arbeitsplätze im Mittelpunkt.

Wird diese Veränderung zynisch, aus einem technologiegetriebenem Blickwinkel heraus betrachtet, würden die Mitarbeitenden zur bloßen Eingabe-/Ausgabeeinheit des CPS bzw. der vernetzten Produktion. Diesem als Automatisierungsszenario bekannten Bild steht die Idee des Werkzeugenszenarios gegenüber: In diesem Szenario werden die Mitarbeitenden als Entscheider und Nutzer hochspezialisierter CPS beschrieben (Ganschar et al. 2013, S. 100–101).

Fest steht, dass unabhängig vom konkreten Szenario in Industrie 4.0 neue Daten häufig nicht nur für die Mitarbeitenden zugänglich gemacht werden, sondern auch vermehrt Daten über die Mitarbeitenden selbst anfallen bzw. gezielt gesammelt werden. Zum Stichwort *Arbeit 4.0* gehört daher notwendigerweise die Auseinandersetzung mit Industrie 4.0-Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine. Es stellen sich die Fragen, welche Möglichkeiten zur Vernetzung der Mitarbeitenden bestehen, welche Informationen dabei über die Mitarbeitenden anfallen, wie diese den Mitarbeitenden zugänglich gemacht werden und wie diese weiter verwertet werden können, sollen oder dürfen.

Die Aktualität dieses Themas wird z. B. anhand der geplanten Neuregelung des Bundesdatenschutzgesetzes deutlich. Nach aktuellem Planungsstand würde u. a. der Einsatz von Ortungssystemen zur Erfassung von Positionsdaten der Mitarbeitenden für Sicherheits- oder Koordinierungszwecke zulässig (Tinner und Schreier 2010). Solche Entwicklungen zeigen das Spannungsfeld, dem die Entwicklung neuartiger Sensorik in der Arbeitswelt ausgesetzt ist. Denn die erhofften Vorteile durch den Einsatz miniaturisierter und intelligenter Sensorik für Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz bieten fast immer auch weitreichende Potenziale für die Überwachung und Kontrolle der Mitarbeitenden.

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die Entwicklungen im Bereich körpernaher und tragbarer Sensorsysteme sowie deren Implikationen auf Arbeitsplatzge-

staltung in Industrie 4.0. Im Fokus steht die Frage nach der Verfügbarkeit und Verwertung teils sensibler personenbezogener Daten der Mitarbeitenden. Dabei wird exemplarisch aufgezeigt, welche Informationskanäle bestehen und welche personenbezogenen Daten heute bereits anfallen und zur Steuerung von Arbeitsprozessen eingesetzt werden (Abschn. 2). Anschließend werden historische und aktuelle Entwicklungen zu verschiedenen Anwendungsbereichen am Körper getragener Sensoren in der Arbeitswelt vorgestellt (Abschn. 2.1). Auf den Beispielen aufbauend werden prognostizierte Chancen und Risiken zum Einsatz körpernaher Sensorsysteme abschließend diskutiert und zusammengefasst (Abschn. 2.2).

2 Mitarbeitende als Teil des Cyber-Physikalischen Systems

Aus technologischer Sicht bestimmen Fortschritte bei der Entwicklung von vernetzten CPS den Übergang zu Industrie 4.0. Die Ziele und Potenziale dieser Technologie sind vielfältig. In aktuellen Studien wird die Effizienzsteigerung der Produktion durch den Einsatz von CPS betont. Diese resultierten aus der gesteigerten Auslastung von Industrieanlagen und anderen Optimierungen, etwa der Minimierung von Umrüstzeiten in einer hoch individualisierten Produktion. Durch den Einsatz von CPS und die dadurch mögliche kontinuierliche Zustandsüberwachung werden ebenso reduzierte Ausfallzeiten prognostiziert (Blanchet und Rinn 2016). Ferner werden in Kombination mit den Entwicklungen im Bereich *Big Data* Fortschritte für automatisiertes und adaptives Prozessdesign sowie minimierter Entwicklungsaufwand erwartet.

In der Diskussion um die erfolgreiche Einführung von Industrie 4.0 wird betont, Industrie 4.0 und CPS nicht isoliert aus einem technischem Blickwinkel zu betrachten, sondern soziale Aspekte von Beginn an mitzubedenken. Dieser Ansatz findet sich in der Betrachtung von Industrie 4.0 als sozio-technisches System, wobei abgebildet wird, dass technische und soziale (d. h. die Mitarbeitenden) Teilkomponenten miteinander in Wechselwirkung stehen (Bochum 2015).

Ein wichtiger Aspekt, um die Mitarbeitenden bei ihrer Arbeit zu unterstützen, ist die geeignete Präsentation der innerhalb eines CPS anfallenden Daten. Die dazu vorgestellten Technologien reichen von *Tablet*-Computern über *Smartwatches* bis hin zu *Augmented*- und *Virtual-Reality* Brillen als moderne Mensch-Maschine-Schnittstelle und Ersatz zu klassischen tragbareren Geräten (*Handhelds*).

Auf der anderen Seite stehen Technologien, die Informationen über die Mitarbeitenden aufzeichnen. Dies kann auch nebenläufig geschehen, d. h. ohne aktives Zutun der Mitarbeitenden und ohne, dass dies explizit als Funktion des technischen Geräts vorgesehen ist. Ein eingängiges Beispiel dafür ist die Identifizierung von Mitarbeitenden anhand ihrer individuellen Eigenheiten bei der Interaktionen mit einem technischen Gerät. So wurde in Experimenten mehrfach gezeigt, dass anhand des Eingabeverhaltens in Bezug auf die Benutzung eines *Touchscreen*, einer Computer-Tastatur oder -Maus der Benutzer eindeutig identifiziert werden kann (Seo et al. 2012).

Die Rolle des Menschen (bzw. des Mitarbeitenden) als Teil eines CPS kann also aus zweierlei Perspektive betrachtet werden: Einerseits ist er Produzent bzw. Quelle von Informationen, die vom CPS verarbeitet werden (z. B. Lokalisierung oder Gesundheitszustand). Andererseits ist der Mensch aber ebenfalls Empfänger der Informationen, die vom CPS erzeugt werden (Arbeitsauftrag oder Kontext). In Kombination liefern die anfallenden Daten einen bisher nicht da gewesenen Blick auf den Zustand der Mitarbeitenden.

Intensiv diskutiert wird in diesem Zusammenhang die Verwertung der anfallenden Daten. Werden die neuen Informationen in Zukunft dazu genutzt, die Mitarbeitenden in einer weitestgehend selbstgesteuerten Produktion zu kontrollieren (Automatisierungsszenario) und zu überwachen, oder sind es die Mitarbeitenden, welche die Industrie 4.0-Technologien als Werkzeuge nutzen und die Produktionsprozesse bestimmen (Werkzeugszenario)? Entwicklungen, die Antworten auf diese Fragen geben, werden im Folgenden vorgestellt.

2.1 Vernetzter Arbeitsplatz und gläserne Mitarbeitende

Technologie, die sich direkt am Menschen befindet, um Informationen bereitzustellen, existiert in verschiedenen Ausprägungen. Dabei gehören tragbare Geräte (also Computer, die in der Hand gehalten werden) bereits zum Stand der Technik in der modernen Arbeitswelt. Solche Geräte werden von den Mitarbeitenden während der Arbeit getragen oder gehalten, um die jeweilige Arbeitsaufgabe effizienter zu erfüllen. Häufigster Anwendungsfall ist die Bereitstellung von Informationen. Dazu werden u. a. Warens Scanner, *Tablet*-Computer und ähnliche Geräte verwendet. Diese Geräte, welche zur Aufgabenunterstützung konzipiert sind, ebnet zugleich den Weg in Richtung des gläsernen Mitarbeitenden.

Ein Beispiel für den Einsatz von vernetzten tragbaren Systemen, die implizit auch Daten über die Mitarbeitenden erfassen, kann in den Logistikzentren des Online-Versandhändlers Amazon gefunden werden: Um die Umschlagszahlen von bis zu 2,1 Millionen Bestellungen am Tag (Patalong 2011) zu bewältigen, setzt der Versandhändler auf ein chaotisches Lagersystem. Das heißt, ankommende Ware wird eben dort eingelagert, wo zum Zeitpunkt der Anlieferung ausreichend Platz verfügbar ist. Für den Umschlag von Waren mit inhomogenen Lagereigenschaften hat sich dieses System als besonders effizient erwiesen. Für den Mitarbeitenden allerdings ist aufgrund des chaotischen Lagerungsprinzips die Durchführung der Kommissioniertätigkeiten ohne Unterstützung durch ein technisches Hilfsmittel, den „Scanner“, unmöglich geworden. Der Scanner wird beim Ein- und Auslagern der Ware genutzt, um den Standort bzw. den Fortschritt der Packliste zu protokollieren. Gleichzeitig zeigt der Scanner den Weg zum nächstgelegenen Artikel an.

Die Digitalisierung dieses Arbeitsprozesses hat offensichtliche Vorteile: Die Wege für den Kommissionierenden verkürzen sich und die Effizienz steigt. Wie anhand dieses Beispiels ersichtlich, wird der Mitarbeitende samt Scanner zur ausführenden Einheit, sozusagen zum Akteur des CPS „Logistikzentrum“. Neben der genauen Kartierung des Lagerbestands eröffnet diese Technologie allerdings ebenso

die Speicherung exakter Leistungsprotokolle der Mitarbeitenden. Daten zur zurückgelegten Wegstrecke, Anzahl an kommissionierten Artikeln pro Stunde als auch Arbeits- und Pausenzeiten fallen implizit an und können minuziös gespeichert werden. Im konkreten Fall wurden diese Daten tatsächlich genutzt und den Mitarbeitenden in sogenannten „Feedbackgesprächen“ rückgemeldet. Dabei sei es darum gegangen, die Mitarbeitenden über ihre individuelle Leistung zu informieren. Die Reaktionen der Mitarbeitenden dazu seien geteilt. So würden einige Mitarbeitende durch die objektive Vermessung angespornt, ihre Leistung weiter zu optimieren. Der Einsatz des Scanners trüge somit positiv zur Motivation der Mitarbeitenden bei. In anderen Fällen jedoch habe die Nutzung des Scanners zu einem erhöhten Leistungsdruck und letztlich zu gesundheitlichen Problemen geführt (Budras 2014).

2.2 Von getragener und körpernaher Sensorik

Der Übergang von Geräten oder Computern, die in der Hand gehalten werden (*Handhelds*), zu Computern oder Sensorgeräten, welche direkt am Körper getragen werden (*Wearables* oder *Wearable Device*) ist fließend. Dabei ist die Grundfunktionalität beider Gerätekategorien oftmals nicht wesentlich voneinander zu unterscheiden. Ein eingängiges Beispiel sei mit dem Vergleich des *Smartphones* (als klassisches tragbares Gerät) zur *Smartwatch* gegeben.

Durch die permanente Anbringung tragbarer Geräte direkt am Körper eröffnen sich jedoch neue Möglichkeiten zur Interaktion. Dies ist gerade auch durch die zusätzliche Messung verschiedener Parameter aus der Umwelt des Trägers gegeben. Diese nämlich erlaubt tragbaren Geräten das Erkennen des situativen Kontextes.

Nach Schmidt und Gellersen (2000) ergeben sich dadurch neue Arten der Interaktion, die von ihnen als implizite Eingabe und Ausgabe bezeichnet werden. Im Gegensatz zur klassischen Mensch-Maschine Interaktion, welche explizit erfolgt (also bewusst und aktiv vom Benutzer vorgenommen), wird die Interaktion in Abhängigkeit des erkannten Kontextes durch das Gerät angestoßen. Als Beispiel nennen die Autoren intelligente Anzeigen in Besprechungsräumen. Diese würden anhand getragener Geräte die anwesenden Personen im Raum identifizieren können. Entsprechend könnte die Anzeige dann relevante Informationen einblenden, etwa das Protokoll der letzten Besprechung.

Die Vision *Wearable Computing* geht allerdings weiter. Es wird davon ausgegangen, dass eine „fast persönliche Beziehung“ (Rügge 2007, S. 34) zwischen Mensch und *Wearable* aufgebaut wird. Sensorik ist daher nicht länger isoliert in ein Gerät verbaut und wird als solche wahrgenommen, sondern ist integraler Bestandteil von Kleidung oder Schmuck (Armbänder, Armbanduhren etc.). Weitreichende Möglichkeiten zur Vermessung des Trägers und seiner Umwelt, aber auch zur Interaktion zwischen Mensch und Technik sind offensichtlich (Budras 2014).

Die Alleinstellungsmerkmale des *Wearable Computing* nach Rhodes (1997) sind demnach: mobile und handfreie Bedienung auch bei Bewegung, ständige Bereitschaft und drahtloser Netzzugang, sowie das Vorhandensein integrierter Sensorik zur

Kontexterkennung für „proaktive“, d. h. vom Gerät initiierte Kommunikation mit dem Nutzer.

Eine zentrale Besonderheit der *Wearables* ist, dass sie anders als in der Hand gehaltene Geräte eine unaufdringliche Technologie darstellen. Das heißt, sie begleiten ihren Träger permanent und werden nicht allein zur Erfüllung einer konkreten (Arbeits-)Aufgabe genutzt. Im Idealfall bemerkt der Anwender das Vorhandensein des Gerätes im Alltag nicht oder ist sich dessen nicht fortwährend bewusst, partizipiert aber trotzdem an Vorteilen durch die Nutzung der Technologie.

2.3 Umgebungsintelligenz: Körpernahe Sensorik und Umwelt

Forschung und Entwicklung im Bereich der körpernahen oder am Körper getragenen Sensorik, dem *Wearable Computing*, stehen in enger Beziehung zu dem Paradigma des *Ubiquitous Computing* (Allgegenwärtige Datenverarbeitung) (Rügge 2007, S. 37). Andere verwandte Paradigmen sind unter den Stichworten *Pervasive Computing* (durchdringende Datenverarbeitung), *Ambient Intelligence* (Umgebungsintelligenz), *Internet of Things* (Internet der Dinge) oder *Mobile Computing* (mobile Datenverarbeitung) bekannt. Gemeinsamkeiten und Abgrenzungspunkte dieser Paradigmen werden nachfolgend erläutert.

Der Begriff *Ubiquitous Computing* wird erstmals von Weiser (1991) verwendet. In seinem Aufsatz beschreibt er die Idee allgegenwärtiger Technologie (Computer), die sich unaufdringlich, d. h. im Idealfall für die Nutzer völlig transparent, in den Alltag integriert. Weiser prognostizierte, dass die fortwährende Miniaturisierung digitaler Schaltung dazu führen werde, dass im 21. Jahrhundert eingebettete Systeme z. B. in Kugelschreibern oder anderen Gegenständen integriert werden, was deren ursprünglichen Gebrauchswert steigern werde. Der Vision folgend würden im 21. Jahrhundert klassische Computer von ubiquitären Systemen abgelöst. Laptops oder Ähnliches seien dagegen nur Vorstufen dieser Entwicklung (Friedewald 2008). Dieser Auffassung folgend gilt Gleiches für heute moderne Technologien wie Smartphone oder Tablet-Computer.

Weiser (1991) hebt im Weiteren die Potenziale und Herausforderungen der Vernetzung ubiquitärer Systeme seiner Zeit hervor. Aufbauend auf diesem Teilaspekt des *Ubiquitous Computing* formulierte die Industrie in den 90er-Jahren unter dem Stichwort *Pervasive Computing* eine „pragmatischere Variante“ (Friedewald 2008, S. 267) des von Weiser vorgestellten Paradigmas. Bezugnehmend auf die verfügbaren Technologien der Zeit stand dabei zunächst die Konzeption neuer Geschäftsmodelle für webbasierte und mobile Anwendungen im Vordergrund (Mattern 2003).

Aus technologischer Perspektive wird dazu auch der Begriff *Mobile Computing* verwendet (Forman und Zahorjan 1994). Unter diesem Begriff wurden und werden im Wesentlichen technologische Konzepte zur drahtlosen Kommunikation subsumiert.

Mit der Jahrtausendwende fand schließlich eine teilweise Rückbesinnung auf das ursprünglich von Weiser aufgezeigte Szenario von intelligenten und vernetzten Alltagsgegenständen statt. Das dazu im Jahr 1999 von Ashton (2009) geprägte

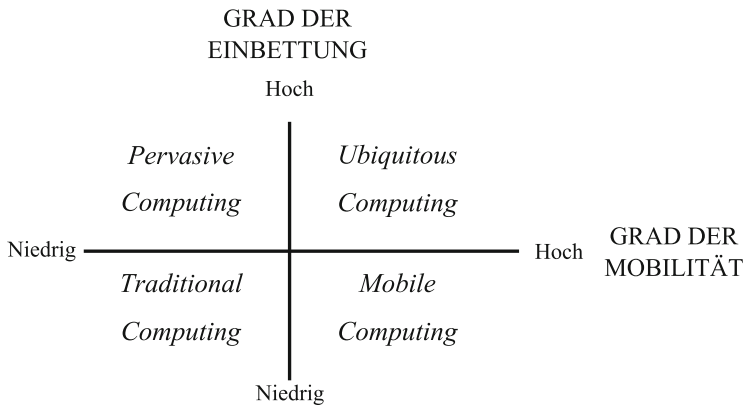


Abb. 1 Kategorisierung des *Ubiquitous Computing* und verwandter Paradigmen nach Lytinen und Yoo (2002) basierend auf dem Grad der Mobilität und der Einbettung

Schlagwort ist: „*Internet der Dinge*“ (engl. *Internet of Things*). Vor dem Hintergrund der massiven Zunahme an Daten- und Rechnerkapazität stellt Ashton fest, dass das volle Potenzial des Internets noch nicht ausgereizt werde. Dies könne erst erreicht werden, wenn die Informationslücke zwischen realer und virtueller Welt geschlossen wird (Fleisch und Mattern 2005, S. 3). Dazu allerdings müssten die „Dinge“ (also Waren und Maschinen) technologisch so ausgestattet sein, dass sie autonom untereinander und mit informationsverarbeitenden Systemen kommunizieren können.

Die bisher referenzierten Ableger des Paradigmas *Ubiquitous Computing* sind vorwiegend technologiegetrieben und konzentrieren sich auf Themen der Miniaturisierung oder Mobilität (Abb. 1).

Im Kontrast dazu fokussiert die Forschung im Feld *Ambient Intelligence* weder direkt Miniaturisierung noch Mobilität, sondern soziale Implikationen, also die Rolle des Menschen (Wiegerling 2015, S. 39). Es geht um die Erforschung und Entwicklung von technologischen Systemen, die auf den Menschen reagieren und ihn unterstützen. Systeme des *Ambient Intelligence* bauen dabei auf den technologischen Konzepten des *Ubiquitous* oder *Pervasive Computing* auf. Insbesondere im privaten Wohnumfeld wird aktuell intensiv an Szenarien und Anwendung geforscht, Möbel und andere Gegenstände derart zu gestalten, dass sie sich adaptiv auf ihren Benutzer einstellen (Stichwort *Smart Home*, Hesse et al. 2017). Die Forschung beschränkt sich dabei nicht allein auf die Digitalisierung der Umgebung, sondern greift wiederum auch Ideen und Entwicklungen aus dem Bereich des *Wearable Computing* auf.

2.4 Fallbeispiel: Objektivierte Soziometrie

Es existieren bereits konkrete Beispiele für *Wearables*, die im Sinne der *Ambient Intelligence* (oder des *Ubiquitous Computing*) in der Arbeitswelt genutzt werden

oder für Anwendungen in der Arbeitswelt konzipiert wurden. Eines dieser Beispiele ist das sogenannte „*Business Microscope*“ (HBM), das im Jahr 2009 von Hitachi vorgestellt wurde (Yano et al. 2012). Zum HBM ähnliche Konzepte sind auch vom Unternehmen Humanyze (ehemals Sociometric Solutions) vorgestellt worden. In erster Näherung kann es als elektronische Variante eines Mitarbeiterausweises oder Namensschildes verstanden werden. Die Entwicklung wurde inspiriert durch erste Prototypen wie dem „*Active Badge*“ von Xerox aus dem Jahr 1992 (Want et al. 1992), dessen Entwicklung bereits 1989 gestartet war.

Das HBM kombiniert Sensoren zur Detektion der Bewegungen des Trägers, seines Stimmlevels sowie Sensoren zur Aufzeichnung von Umgebungsinformationen wie Temperatur und Helligkeit. In Kombination mit Signalstationen (engl. *beacons*) innerhalb von Büroräumen bzw. Gebäuden kann gleichzeitig die Position des Trägers bestimmt werden.

Das HBM wurde in verschiedenen Studien der empirischen Sozialforschung (Soziometrie) eingesetzt, um Kenngrößen wie die *Zufriedenheit* der Mitarbeitenden zu operationalisieren. Im Kontext des Arbeitsalltags sprechen die Autoren statt von Zufriedenheit auch von Engagement oder *Hingabe* (engl. *flow*). Das erklärte Ziel war zu erkennen, d. h. automatisiert zu messen, wann die Mitarbeitenden in einem besonders aktiven und somit produktiven Zustand waren bzw. sind. Die Messungen mit dem HBM zeigten auf, dass speziell auf Grundlage der Bewegungsdaten (körperliche Aktivität) eine solche Bestimmung möglich ist.

Neben der Erfassung der Zufriedenheit der Mitarbeitenden stellt die Analyse betriebsinterner Kommunikationsstrukturen und Gruppenbildungsprozesse ein weiteres Anwendungsszenario für das HBM dar. Dazu wurden die Positionsdaten der Mitarbeitenden aufgezeichnet. Die Auswertung lieferte Rückschlüsse auf Orte (z. B. Büroräume), an denen längere Konversationen oder Diskussionen stattfinden. Darüber hinaus wurde offensichtlich, welche Personen besonders häufig, besonders selten oder nie miteinander kommunizierten. Im Experiment konnte dazu die Kommunikationsstruktur zweier Abteilungen nach deren Zusammenlegung konkret untersucht werden. Entgegen den Erwartungen wurde dabei festgestellt, dass einen Monat nach der Zusammenlegung beider Abteilungen diese faktisch nach wie vor getrennt waren. Kommunikation fand hauptsächlich innerhalb der bereits zuvor bestehenden Gruppen von Mitarbeitenden statt. Die vertrauten Kommunikationsmuster wurden also durch die formale Zusammenlegung der Abteilungen nachweislich nicht verändert. Im weiteren Verlauf des Experiments erhielten die Teilnehmer kontinuierlich Rückmeldung zu diesen Befunden. Die bloße Rückmeldung führte schließlich dazu, dass sich die interne Kommunikation der zusammengelegten Abteilung innerhalb weniger Monate verbesserte (Yano et al. 2012).

3 Wearable Computing und Arbeit 4.0

In Abschn. 2 wurde dargelegt, wie Mitarbeitende durch die Benutzung mobiler Geräte als Teil eines CPS verstanden werden können. Das illustrierte Beispiel zum Einsatz dedizierter tragbarer Geräte aus der Logistik (Abschn. 2.1) hat gezeigt, dass

bereits in der heutigen Praxis personenbezogene Daten der Mitarbeitenden anfallen und zur Rückmeldung der individuellen Leistung genutzt werden. Anknüpfend dazu wurde anhand eines Beispiels aus dem Forschungsbereich der körpernahen Sensorik (Abschn. 2.4) gezeigt, dass auch Geräte existieren, die explizit dazu konzipiert wurden, unaufdringlich und kontinuierlich Daten für und über die Mitarbeitenden aufzuzeichnen.

Für die Konstruktion von CPS, welche adaptiv auf die Ressourcen der Mitarbeitenden reagieren, ist die Verwendung solcher Daten essenziell. Systeme, die den Zustand der Mitarbeitenden „erkennen“, könnten dann dazu genutzt werden, Mitarbeitende optimal zu fordern und somit dauerhaft zur Steigerung ihrer Zufriedenheit beitragen.

In diesem Abschnitt werden nun konkrete Implementierungen körpernaher Sensorik (*Wearable Computing*) für Arbeit 4.0 detailliert beleuchtet. Dazu werden zunächst die verschiedenen Anwendungsfelder Unterstützungstechnologien zur Aufgabenerfüllung (Abschn. 3.1), ergonomische Arbeitsgestaltung (Abschn. 3.2), Arbeitsgesundheit (Abschn. 3.3) sowie persönliche Schutzausrüstung (Abschn. 3.4) skizziert und abschließend zusammengefasst.

3.1 Assistenzsysteme am Körper (Aufgabenerfüllung)

Das unter dem Stichwort *Industrie 4.0* formulierte WerkzeugszENARIO (Ganschar et al. 2013, S. 100–101) versteht die Mitarbeitenden als kontrollierende Einheit im CPS. Im Sinne des *Ambient Intelligence* Paradigmas (Abschn. 2.3) hat Technologie vorwiegend unterstützenden Charakter. Daraus ergibt sich das Anwendungsfeld der „Unterstützungstechnologien“ oder „Assistenzsysteme“. Typischerweise kommen diese bei Aufgaben der „Instandhaltung“, „Wartung“ oder „Inspektion“, sowie „Überwachung“ und „Qualitätskontrolle“ von Produktionsprozessen zum Einsatz (Gorecky et al. 2014, S. 529).

Ein Beispiel für ein körpernahes Sensorsystem, welches speziell für diese Anwendungen entwickelt wurde, ist das „*ProGlove*“-Projekt (Workaround GmbH 2016). Der *ProGlove* ist ein *Wearable* in Form eines Arbeitshandschuhs, der um eine LCD-Anzeige sowie verschiedene Sensoren erweitert worden ist. Mittels der eingebauten Sensoren erfasst der *ProGlove* von Mitarbeitenden aufgenommene Objekte und blendet entsprechend Informationen zu anfallenden Arbeitsschritten ein. Der *ProGlove* kann außerdem als Messgerät eingesetzt werden, etwa um die elektrische Spannung an Maschinen zu kontrollieren (Voß 2016).

Die Idee, Sensoren in Arbeitskleidung zu integrieren, um diese „intelligent“ zu machen, ist dabei nicht neu. Eines der ersten, umfassenden Projekte im diesem Bereich des *Wearable Computing* für die Industrie war das „*WINSPECT*“-Projekt (Boronowsky et al. 2001). Die Projektidee basiert auf den Anforderungen für die Inspektion von Förderkränen in den Produktionsanlagen der stahlverarbeitenden Industrie. Deren Inspektion erfordert ein hohes Maß an Mobilität und erfolgt an teils schwer zugänglichen Bereichen, in denen erhöhtes Unfallrisiko besteht.

Schutzkleidung (wie Handschuhe) ist dabei unablässig zu tragen. Das Mitführen von Unterlagen (technische Zeichnungen o. ä.) oder das Dokumentieren von Prüfergebnissen mittels Stift und Papier ist somit erschwert. Im „WINSPECT“-Projekt sind diese Anforderungen aufgegriffen worden. Es wurde ein System entwickelt, das Datenbrille, Schutzanzug und Datenhandschuh zur Interaktion kombiniert. Technische Dokumentationen oder Prüfprotokolle können somit ohne Einschränkung der Beweglichkeit mittels Datenbrille betrachtet werden. Die Eingabe von Protokolldaten erfolgt durch einfache Gesten mit der Hand. Außerdem kann der Arbeitskontext automatisch mittels integrierter Sensorik (RFID) erfasst werden.

Ein ähnlicher Ansatz für intelligente Arbeitskleidung mit Fokus auf kontext-sensitive Informationsbereitstellung wurde im Rahmen des „WearIT@work“-Projekts entwickelt (Lukowicz et al. 2007). In aktuellen Projekten werden zunehmend auch Datenbrillen (bzw. *Head Mounted Displays*) eingesetzt, um eine kontext-sensitive Informationsbereitstellung zu realisieren. Beispiele dafür finden sich bei den Projekten „ASSIST 4.0“ (Brandl et al. 2014) oder „ALUBAR“ (Actimge GmbH 2016).

Neben der Bereitstellung von Informationen ist allerdings auch deren Aufzeichnung für Industrie 4.0 Anwendungen relevant. Dabei kann zwischen expliziter und impliziter Datenaufzeichnung unterschieden werden (Rügge 2007, S. 200–201). Ein Beispiel für explizite, d. h. durch den Benutzer initiierte Datenaufzeichnung ist bereits mit dem „ProGlove“-Projekt gegeben, welcher als Handschuh getragen wird und als Messinstrument genutzt werden kann. Bei der impliziten Datenaufzeichnung ist der Benutzer dagegen nicht der Initiator der Messung. Ein Beispiel ist das „Sarissa“-System, welches als Werkzeug für die Qualitätssicherung an Handarbeitsplätzen eingesetzt wird (Jauch 2012). Hier werden Sensoren an Werkzeugen und in Arbeitshandschuhen integriert, welche die Position der Werkstücke, Werkzeuge und Hände kontinuierlich erfassen. Abweichungen zu eingespeicherten Arbeitsabläufen können so detektiert werden, um die Mitarbeitenden zu informieren oder zu warnen. Die Informationen könnten auch als zusätzliches Not-Aus-Signal für Maschinen genutzt werden.

Die aufgezeichneten Informationen werden also nicht nur zur bloßen Darstellung gesammelt, sondern werden zudem verwendet, um Fehler zu erkennen und Produktionsabläufe automatisch anzupassen. Die bisher vorgestellten Lösungen sind daher auch für Aufgaben interessant, die über die bloße kontext-sensitive Bereitstellung oder Aufzeichnung von Informationen hinausgehen. Eine Zusammenfassung möglicher Anwendungen wird von Rügge (2007, S. 200–201) gegeben. Aufgeführt werden die bereits behandelten Punkte „explizite“ und „implizite Informationsakquise“. Außerdem werden „Workflow Management“ und der Abgleich zwischen „virtueller Information“ und „realen Gegebenheiten“ genannt. Als weiterer Punkt wird die „persönliche Assistenz“ hervorgehoben, worunter auch die „Kontrolle des eigenen körperlichen und gesundheitlichen Zustands“ verstanden wird.

3.2 Intelligente Arbeitskleidung und Arbeitsschutz (ergonomische Arbeitsgestaltung)

Zusätzlich zu unterstützenden Assistenzfunktionen kann am Körper getragene Sensorik zur Verbesserung des Arbeitsschutzes bzw. allgemein zur ergonomischen Arbeitsgestaltung beitragen. Eine besondere Rolle nehmen hier Sensoren ein, die integriert in Arbeitskleidung das Wohlbefinden oder auch die Sicherheit bei der Arbeit verbessern sollen.

Das bereits vorgestellte Projekt „*ProGlove*“ (Abschn. 3.1) kann als erstes Beispiel eines *Wearables* für Arbeitsschutz herangezogen werden: Der Träger des Handschuhs kann z. B. gewarnt werden, falls er im Begriff ist, ein heißes Bauteil oder Werkstück zu berühren.

Neben potenziellen Gefährdungen, die von Werkzeugen oder Werkstoffen ausgehen, bieten *Wearables* in Form von textilintegrierter Sensorik auch das Potenzial, weitere Risiken, etwa durch Chemikalien (also Gefahrstoffe) oder Umwelteinflüsse, zu detektieren und dem Träger mitzuteilen (Chen et al. 2015). In diesem Zusammenhang spielt wiederum die Lokalisierung von Personen und Gegenständen sowie die Kontexterkennung eine entscheidende Rolle. Im Ergebnis könnten Mitarbeitende durch *Wearables* z. B. daran erinnert werden, notwendige Schutzkleidung anzulegen, wenn sie sich in entsprechenden Sicherheitsbereichen befinden oder Gefahrstoffe detektiert wurden.

Erste konkrete Anwendungen zielen allerdings zunächst darauf ab, Umgebungsinformationen zu nutzen, um die Leistungsfähigkeit und den empfundenen Komfort für Mitarbeitende zu optimieren. Im Rahmen einer Pilotstudie wurden dazu im „*ColdWear*“-Projekt (Seeborg et al. 2013) intelligente Jacken getestet, welche die Umgebungs- und Hauttemperatur von Arbeitenden in kalten Umgebungen messen. Erste Ergebnisse legen nahe, dass sich die Einsatzzeiten anhand der erhobenen Temperaturdaten personalisieren lassen. Die Einsatzzeiten könnten daher in Zukunft flexibel an den Bedarf der Mitarbeitenden angepasst werden. Die derzeitigen starren Zeitregeln zum Einsatz unter extremen Bedingungen (hier Kälte) würden dann entfallen. Dadurch ließe sich auch eine Unter- oder Überforderung der Mitarbeitenden verhindern und gleichzeitig die Sicherheit für die Mitarbeitenden besser gewährleisten.

Nicht nur in Bezug auf Umweltparameter kann intelligente Arbeitskleidung zur ergonomischen Arbeitsgestaltung beitragen. Speziell für handwerkliche Tätigkeiten ist die objektive Bewertung körperlicher Beanspruchung von Bedeutung. Mit dem „*CUELA*“-Projekt ist Ende der 90er-Jahre ein Messsystem zur ergonomischen Bewertung von Bewegungsabläufen praxistauglich umgesetzt worden (Ellegast 1998). Der Einsatz des Systems zielt darauf ab, durch Aufzeichnung realer Arbeitsabläufe Situationen zu erkennen, in denen es zu übermäßigen Belastungen des Muskel-Skelett-Systems kommt. Auf Grundlage der Daten können die Mitarbeitenden dann entsprechend sensibilisiert werden. Durch diese Art der Intervention sollen besonders belastende Situationen in Zukunft vermieden werden, um so dem Entstehen von Berufskrankheiten durch Langzeitschäden vorzubeugen. Im „*CUELA*“-

Messsystem werden dazu Winkelsensoren, Neigungsmesser, Drehsensoren und Kraftsensoren kombiniert eingesetzt, um ein ganzheitliches Bild der Bewegungen des Arbeitenden sowie der resultierenden Belastungen aufzuzeichnen. Arbeiten wie das „SIRKA“-Projekt (Lins et al. 2015) verfolgen ähnliche Ziele. Allerdings ist der Ansatz hier die unsichtbare (*Ubiquitous*) Integration von Inertialsensoren in Arbeitskleidung (Abschn. 2.3). Dies ermöglicht eine kontinuierliche Erfassung belastender oder nicht-ergonomischer Bewegungen und Arbeitsabläufe. Die Rückmeldung an die Mitarbeitenden kann kontinuierlich in Echtzeit erfolgen, statt punktuell in Form von Interventionen. Analog zu den im „ColdWear“-Projekt formulierten Erwartungen könnte intelligente Arbeitskleidung nach den Vorstellungen des „SIRKA“-Projekts auch eine flexible Zuweisung von Arbeitsaufträgen ermöglichen. Somit ließen sich körperliche Überforderungen (z. B. durch repetitive Tätigkeiten) und Gefährdungen vermeiden.

3.3 Gesundheit und Wohlbefinden (Arbeitsgesundheit)

Im Gegensatz zu manuellen und handwerklichen Tätigkeiten ist bei vorwiegend sitzenden Tätigkeiten Bewegungsmangel ein primärer Risikofaktor für die Gesundheit der Mitarbeitenden (Techniker Krankenkasse 2016). Im privaten Bereich sind in jüngster Zeit sogenannte *Fitness-Tracker* populär geworden (Alderson 2015). Sie werden meist als Armband getragen und protokollieren Zeiten körperlicher (In-) Aktivität. Dabei wird teilweise auch Rückmeldung zur Intensität einer aktiven Phase gegeben. Laut Studien aus dem Jahr 2015 besaßen bereits etwa 17 % aller Deutschen einen *Fitness-Tracker* oder ein vergleichbares Gerät (Ballhaus et al. 2015). Anstelle dedizierter Geräte (*Fitness-Tracker*) werden ebenso Smartphones für den Zweck der Selbstvermessung genutzt (bekannte Applikationen dazu stammen z. B. von Apple Inc., Alphabet Inc. oder der Microsoft Corporation und werden unter den Namen „Apple Health Kit“, „Google Fit“ bzw. „HealthVault“ vertrieben). Das Protokollieren der eigenen körperlichen Aktivität wird auch als Selbstvermessung (engl. *Quantified Self* oder *Lifelogging*) bezeichnet (Wiedemann 2016).

Die erhobenen Daten von *Fitness-Trackern* oder entsprechenden Applikationen für Smartphones werden i. d. R. aufbereitet und den Nutzern in aggregierter Form präsentiert. Das primäre Ziel ist, den Nutzer zu motivieren sich im Alltag mehr zu bewegen. Das langfristige Ziel ist, das Niveau an körperlicher Aktivität und das Gesundheitsbewusstsein dauerhaft zu steigern. Unternehmen wie die „dacadoo“ (dacadoo AG 2016) oder „MediKeeper“ (MediKeeper Inc. 2016) vermarkten diese Idee der Selbstvermessung bereits als Erweiterung des betrieblichen Gesundheitsmanagements. Zusätzlich zur Messung der Bewegungsdaten wird das persönliche Empfinden abgefragt. Die von „dacadoo“ angebotene Plattform kombiniert die Selbsteinschätzungen der Nutzer mit den Messungen verschiedener *Wearables*. Alle gesammelten Informationen werden den Anwendern in aggregierter Form als „Gesundheitsindex“ präsentiert. Die Rückmeldung geht über die bloße Abschätzung der körperlichen Aktivität hinaus.

Ebenso wie die Messung der körperlichen Aktivität ist die objektivierte Messung psychischer Belastung und Beanspruchung in der Arbeitswelt von Interesse. Methoden zur automatisierten und kontinuierlichen Messung von psychischer Belastung im Arbeitsalltag sind Gegenstand der aktuellen Forschung (Alberdi et al. 2016). Verschiedene Arten von psychischen Belastungen (Zeitdruck, Aufgabenschwierigkeit etc.) werden dabei häufig unter dem Sammelbegriff *Stress* summiert. Um das Ziel einer automatisierten Stressmessung zu erreichen, werden vorrangig Sensoren verwendet, welche die Herzfrequenz, den Hautleitwert oder die elektrische Aktivität des Gehirns aufzeichnen. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass auch nebenläufig anfallende Daten, wie die Anzahl an gespeicherten Terminen in einem digitalen Kalender oder die Variabilität und Intensität der Tastenanschläge auf einer Tastatur erfolgreich verwendet werden, um das Stressniveau einer Person zu prognostizieren (Alberdi et al. 2016).

Der intendierte Nutzen einer automatisierten Stresserkennung wird primär auf die Reduktion von gesundheitlichen Schäden durch chronischen Stress im Arbeitsalltag bezogen. Darüber hinaus werden auch Möglichkeiten beschrieben, auf kurzfristig beanspruchende Situationen zu reagieren (Schwarz und Fuchs 2014). Beispielsweise könnten Mitarbeitenden zusätzliche Informationen zu einer Arbeitsaufgabe bereitgestellt werden, wenn diese ein hohes Stressniveau erleben. Gleichmaßen ist denkbar, Unterforderung bzw. Monotonie und damit einhergehende Unaufmerksamkeit zu vermeiden.

3.4 Persönliche Schutzausrüstung (Schutzassistenz)

Die bisher aufgezeigten Anwendungen von *Wearables* (und speziell textilintegrierter Sensorik) für die kontinuierliche Messung von Vital- und Umweltparametern des Trägers legt deren Verwendung für persönliche Schutzausrüstung nahe. Die effektive Kombination von Unterstützungs- und Schutzfunktionen kann am Beispiel von Militär- oder Polizeiausrüstung und vor allem aber bei Feuerwehrschutanzügen demonstriert werden. Die Projekte „*WASP*“ (Globe Manufacturing Company, L.L.C 2016), „*SAFE*“ (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2008a) oder „*SensProCloth*“ (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2008b) sind hier exemplarisch zu nennen.

Übereinstimmend zielen alle Projekte darauf ab, den individuellen Zustand der Einsatzkräfte sowie deren Koordination im Team zu überwachen. Dazu kommen Sensoren im Inneren des Schutanzugs oder als Teil der Kleidung zum Einsatz, um Vitalparameter wie die Körperkerntemperatur, die Herzfrequenz oder die Blutsauerstoffsättigung zu messen. Im „*SensProCloth*“-Projekt wird auch Sensorik zur Erfassung der Körperlage und Haltung sowie der Position innerhalb und außerhalb von Gebäuden fokussiert. Bestandteil des im „*SAFE*“-Projekt vorgestellten Konzeptes sind ergänzende Sensoren an der Innen- und Außenseite des Schutanzugs, die genutzt werden, um Umweltparameter aufzuzeichnen. Dazu zählen unter anderem die Temperatur und die Konzentration von Kohlenstoffmonoxid in der Umgebungsluft.

Die genannten Daten sind zunächst für die Einsatzkraft selbst von Interesse. Sie erlauben ihnen, die Situation im Einsatz besser einschätzen zu können und weitere Schritte optimal zu planen. Gleichzeitig eröffnen die Daten der Einsatzleitung einen objektiven Einblick in die Einsatzsituation. Diese ist ansonsten nur subjektiv über Rückmeldung der Einsatzkräfte vor Ort zugänglich. Somit kann auf Grundlage einer breiteren Informationsbasis über die Belastbarkeit der Einsatzkräfte entschieden werden (Roßnagel et al. 2012, S. 20–22).

3.5 Zusammenfassung

Am Körper getragene Geräte und textilintegrierte Sensorik, kurz *Wearables*, sind seit vielen Jahren Gegenstand der Forschung. Die hier vorgestellten Lösungen zeigen Potenziale dieser Technologien positiv zur Aufgabenerfüllung (durch Assistenz) und zum Gesundheitsschutz (bzw. der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung) beizutragen (Tab. 1).

Die übergreifenden Dimensionen zur Nutzung von *Wearable Computing* im Kontext Arbeit 4.0 können in Anlehnung an die Ergebnisse von Breckenfelder (2013, S. 112) zusammengefasst werden. Breckenfelder gibt dazu eine Übersicht zu den Handlungsfeldern für das Schnittstellendesign „Intelligenter Objekte“ an, aus denen sich wiederum Anwendungsfelder ableiten lassen. Darunter:

- „Erfassung von Kontext“: Aufnahme und Auswertung von Informationen der Umwelt und des Trägers mit dem Ziel, Informationen kontextsensitiv bereitzustellen.
- „Erweitertes Handlungsrepertoire“: Das Schaffen neuer oder erweiterter „Handlungsoptionen“ für den Anwender.
- „Automatisierte Funktion“: Implizite Interaktion oder manuelles Eingreifen des Nutzers.
- „Präsenz von Information“: Relevante Daten bzw. Informationen sind dem Benutzer in geeigneter Form zu präsentieren.

Geräte, die primär konzipiert werden, um die Aufgabenerfüllung zu erleichtern oder zu optimieren, werden allgemein als Assistenzsysteme oder Unterstützungstechnologie bezeichnet. In Form tragbarer Geräte werden sie zur Lokalisierung (Personen, Waren und Maschinen), zur impliziten und kontinuierlichen Messung von Umweltparametern sowie als Informationsanzeige genutzt. Viele Anwendungen greifen dabei die Idee der Kontextsensitivität auf. Diese eröffnet die Möglichkeit, dass sich Maschinen und Anlagen selbstständig auf den Benutzer einstellen und entsprechend seines Bedarfs zielgerichtet Informationen bereitgestellt werden. Die Distanz zwischen Mensch und Maschine nimmt so ab.

Dass Mensch und Maschine enger zusammenrücken, wird noch deutlicher bei Betrachtung technischer Lösungen, welche für den Gesundheitsschutz implementiert werden. Der ubiquitäre Charakter der Geräte wird genutzt, um neben Umwelt-

Tab. 1 Übersicht der referenzierten Praxisbeispiele mit Verwendungszweck (× – volle Übereinstimmung, ○ – teilweise Übereinstimmung)

Technologie	Stichwort / Projekt	Kapitel	Aufgabenerfüllung	Arbeitsgesundheit	Arbeitsschutz
Handheld, Warens Scanner	Amazon-Scanner	2.1	×	○	
Wearable, Namensschild	Hitachi, HBM	2.4	○	○	
Wearable, Namensschild	Xerox, Active Badge	2.4	○	○	
Wearable, Handschuh	ProGlove	3.1	×	×	○
intelligente Arbeitskleidung	WINSPECT	3.1	×		
intelligente Arbeitskleidung	WearIT@work	3.1	×		
Wearable, Datenbrille	ASSIST 4.0	3.1	×		
Wearable, Datenbrille	ALUBAR	3.1	×		
Wearable, Handschuh	Sarissa	3.1	×		
intelligente Arbeitskleidung	ColdWear	3.2		×	○
intelligente Arbeitskleidung	CUELA	3.2		×	
intelligente Arbeitskleidung	SIRKA	3.2		×	
Plattform, Wearable	Dacadoo	3.3		×	
Plattform, Wearable	MediKeeper	3.3		×	
Schutzausrüstung	WASP	3.4	○	○	×
Schutzausrüstung	SAFE	3.4	○	○	×
Schutzausrüstung	SensProCloth	3.4	○	○	×

parametern wie Lärm oder Hitze auch sensible personenbezogene Daten wie körperliche und mentale Beanspruchungen kontinuierlich aufzuzeichnen.

4 Chancen und Risiken

Die präsentierten Anwendungsfälle von Wearable Computing für Arbeit 4.0 reichen von intelligenten Arbeitshandschuhen zur Assistenz bei der Aufgabenerfüllung bis hin zu körpernahen Sensorsystemen, welche sensible Vitaldaten der Beschäftigten aufzeichnen. Alle vorgestellten Lösungen haben das Potenzial, positiv wie negativ auf die Arbeitssituation der Mitarbeitenden einzuwirken.

Die Beispiele „ProGlove“ und „WINSPECT“ zeigen, dass durch die Digitalisierung von Arbeitsmitteln und Arbeitskleidung relevante Informationen wie Arbeitsfortschritt, Lagerbestand oder Lokalisierung der Mitarbeitenden und Waren in Echt-

zeit dem System und den Mitarbeitenden zur Verfügung stehen. Für die Szenarien der persönlichen Schutzausrüstung sind sogar Informationen zum Gesundheitszustand bzw. der Belastbarkeit verfügbar.

Es ist leicht vorstellbar, dass diese Informationen genutzt werden können, um starre Prozessketten aufzubrechen und so die Zusammenarbeit von Menschen und Maschinen als CPS neu zu gestalten. Dazu ließen sich z. B. Prozessabläufe in Echtzeit so arrangieren, dass sie effizienter, abwechslungsreicher oder sicherer sind. Außerdem könnten sie den individuellen Vorlieben der Mitarbeitenden entsprechend flexibel angepasst werden und somit zur Erleichterung der Arbeitsaufgabe, zur Motivation oder zu einer verbesserten Selbstwahrnehmung beitragen.

Dieselben Eigenschaften ubiquitärer Geräte, welche wünschenswerte Effekte auf die Gestaltung von Arbeit in Industrie 4.0 auslösen können, bergen allerdings ebenso das Risiko zum Datenmissbrauch. So sind z. B. Überwachung und verdeckte Leistungsbeurteilungen der Mitarbeitenden auf Grundlage der erhobenen Daten grundsätzlich immer möglich. Selbst wenn dies nicht explizit geschieht, kann nicht ausgeschlossen werden, dass durch den Einsatz körpernaher Sensorsysteme ein gefühlter Leistungsdruck oder ein Gefühl der Entmündigung seitens der Mitarbeitenden entsteht. Auch ein gefühlter (oder realer) Verlust der „informationellen Selbstbestimmung“ ist denkbar (Rügge 2007, S. 269–272).

Um die Ambivalenz des *Wearable Computing* für professionelle Anwendungen (hier Arbeitswelt) zu durchbrechen, werden verschiedene Anforderungen an deren Datenschutz und -sicherheit formuliert. Eine prägnante Zusammenfassung dazu stammt aus einem Interview mit der Firma „Sociometric Solutions Inc.“ (Wilson 2013), nach deren Auffassung:

1. der Nutzer zu jeder Zeit über Art und Umfang der aufgezeichneten Daten informiert sein müsse.
2. Daten nur in aggregierter Form gespeichert und übermittelt werden sollen.
3. die Verwendung der Technologie optional bleiben müsse, um Freiwilligkeit zu gewährleisten.

Damit die genannten Anforderungen erfüllt werden können und sichergestellt ist, dass die vorgeschlagenen Regulierungen überhaupt greifen können, müssen die Mitarbeitenden entsprechend geschult werden. Zwingend notwendig ist z. B. die Vermittlung des Wissens über die Funktionsweise und eine detaillierte Aufklärung über die gesammelten Daten und deren Einsatzzwecke. Zudem ist der transparente Zugang auf die eigenen personenbezogenen Daten zu gewährleisten.

Belastbare Aussagen zur Akzeptanz von *Wearable Computing* seitens der Mitarbeitenden und Auswirkungen auf die Zufriedenheit oder andere soziale Implikationen sind bislang nicht verfügbar.

Klar hingegen ist, dass mangelnde Akzeptanz zur Ablehnung der neuen Technologien führen kann, wodurch dann auch Chancen zum positiven Einsatz ungenutzt blieben (Breckenfelder 2013, S. 179; Rügge 2007, S. 271).

5 Fazit

Wearable Computing, d. h. am Körper getragene, allgegenwärtige Computersysteme sind ein Trendthema in der Diskussion rund um das Schlagwort Arbeit 4.0. Um den Anforderungen sich ändernder Arbeitsbedingungen, z. B. in Hinblick auf die Anforderungen einer vernetzten Produktion in Industrie 4.0, gerecht zu werden, wird dazu an *Wearable Devices* geforscht, die zur Aufgabenerfüllung, Ergonomie, Arbeitsgesundheit oder -sicherheit beitragen.

Prototypen zu solchen am Körper getragenen Computersystemen für den Einsatz von Mitarbeitenden in der Industrie sind bereits erstmals um das Jahr 2000 vorgestellt worden (Boronowsky et al. 2001). Die Gestalt von *Wearable Computing*-Geräten hat sich seitdem allerdings deutlich verändert: Im privaten Lebensumfeld hat z. B. die Verbreitung von Fitnessarmbändern oder der *Smartwatches* zuletzt stark zugenommen. In der Industrie gehören dagegen *Tablet*-Computer und andere *Handhelds* zum Stand der Technik. Die hinter den Geräten stehenden Anwendungsszenarien und Bedienkonzepte sind dabei nicht unbedingt neu. Durch die technologischen Fortschritte bei der Miniaturisierung und Effizienzsteigerung mikroelektronischer Systeme sind diese Geräte heute allerdings gebrauchstauglicher als noch vor wenigen Jahren. Der Vergleich mit dem „*WINSPECT*“-Prototypen und moderneren Projekten wie dem *ProGlove* oder aktuell verfügbaren Datenbrillen macht dies deutlich: Während für das „*WINSPECT*“-System ein zwar tragbarer, aber separater Computer für die Datenverarbeitung notwendig war, sind der *ProGlove* und andere vorgestellte *Wearables* in sich abgeschlossene Systeme (Abschn. 2.3). Damit ist die technologische Barriere für die Anwendbarkeit und den Einzug des *Wearable Computing* in die Industrie gesunken.

Neben technologischen Hürden steht vor der Verwertung der Technologien aber auch die Frage nach konkreten Anwendungsfällen. Herzog et al. (2003) stellen dazu fest, dass das seinerzeit vorgestellte prototypische „*WINSPECT*“-System noch keine Lösung darstelle, die eine „tatsächliche Arbeitserleichterung [...] erbringe“. Es gehe daher in Zukunft darum, „aufgabenspezifische Lösungen“ (Herzog et al. 2003) zu präsentieren. Seitdem sind zahlreiche neue Projekte präsentiert worden, und Studien zur Nutzung von *Wearable Computing*-Lösungen prognostizieren marktreife Lösungen für die nahe Zukunft (Ballhaus et al. 2015; Gartner Inc. 2015). Eine Auswahl dazu wurde in diesem Kapitel dargestellt (Abschn. 2.1). Einige der präsentierten Lösungen stehen bereits an der Schwelle, den Status als Prototypen zu verlassen und in qualifizierte Systeme überführt zu werden. Anbieter von Unternehmenssoftware rüsten sich daher bereits für die Zukunft und bewerben Lösungen zur Entwicklung von Software für die Integration von *Wearables* im Arbeitskontext (Salesforce.com 2014).

Wie sich die praktische Relevanz des *Wearable Computing* für Arbeit 4.0 in Zukunft entwickeln wird, lässt sich naturgemäß nicht prophezeien. Offensichtlich sind aber die Voraussetzungen aus technologischer Sicht heute besser als zu Beginn der Bewegung. Das gilt auch für das generelle Interesse an den hier aufgezeigten Lösungen und verwandten Systemen, was nicht zuletzt anhand der gestiegenen Akzeptanz für *Wearable Computing* im privaten Umfeld abzulesen ist (Ballhaus et al. 2015; Sloss 2014).

Literatur

- Actinge GmbH. (2016). Adaptives Lern- und Unterstützungssystem basierend auf Augmented Reality. Actinge GmbH. <http://www.alubar.de>. Zugegriffen am 06.05.2016.
- Alberdi, A., Aztiria, A., & Basarab, A. (2016). Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements: A review. *Journal of Biomedical Informatics*, 59, 49–75. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.11.007>.
- Alderson, A. (2015). Sports tech. Fitness trackers. *Engineering & Technology*, 10(4), 84–85. <https://doi.org/10.1049/et.2015.0461>.
- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' thing. *RFID Journal*. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Ballhaus, W., Song, B., Meyer, F.-A., Ohrtmann, J.-P., & Dressel, C. (2015). *Media Trend Outlook Wearables: Die tragbare Zukunft kommt näher*. Düsseldorf: PricewaterhouseCoopers AG.
- Blanchet, M., & Rinn, T. (2016). *Think act beyond mainstream: The Industrie 4.0 transition quantified. How the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model*. München: Roland Berger GmbH. http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_Industry_4-0_20160425.pdf. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Bochum, U. (2015). Gewerkschaftliche Positionen in Bezug auf „Industrie 4.0“. In A. Bothhof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 31–44). Berlin: Springer.
- Boronowsky, M., Nicolai, T., Schlieder, C., & Schmidt, A. (2001). Winspect: A case study for wearable computing-supported inspection tasks. *Fifth international Symposium on Wearable Computers* (S. 163–164).
- Brandl, P., Michalczuk, R., Stelzer, P., Bergles, K., Aldrian, A., Poggenburg, J., & Sandtner, K. (2014). Assist 4.0 – Datenbrillen-Assistenzsysteme im Praxiseinsatz. In M. Koch, A. Butz & J. Schlichter (Hrsg.), *Mensch & Computer 2014 – Workshopband*. der 14. fachübergreifenden Konferenz für Interaktive und Kooperative Medien – Interaktiv unterwegs – Freiräume gestalten. München: Oldenbourg.
- Breckenfelder, C. (2013). *Mobile Schutzassistent. Grundlagen, Entwurfsmethodik, Gestaltanforderungen* (Advanced Studies Mobile Research Center Bremen, Bd. 2). Wiesbaden: Springer.
- Budras, C. (2014). Der totalüberwachte Mitarbeiter. Ständige Kontrollen. *Frankfurter Allgemeine*. <http://www.faz.net/-gyl-7wnch>. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung, & Reichel, K. (2008a). SAFE. Semipermeable Anzüge für Einsatzkräfte. Integrierte Schutzsysteme, Bundesministerium für Bildung und Forschung. <http://www.sifo.de/de/safe-semipermeable-anzuege-fuer-einsatzkraefte-1812.html>. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung, & Reichel, K. (2008b). SensProCloth. Systemintegrierte sensorische Schutzbekleidung für Feuerwehr und Katastrophenschutz. Integrierte Schutzsysteme, Bundesministerium für Bildung und Forschung. <http://www.sifo.de/de/sensprocloth-systemintegrierte-sensorische-schutzbekleidung-fuer-feuerwehr-und-1813.html>. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Chen, C., Tsow, F., Xian, X., Forzani, E., Tao, N., & Tsui, R. (2015). A wearable sensing system for assessment of exposures to environmental volatile organic compounds. *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)* 1256, 201–211. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2172-0_14.
- dacadoo AG. (2016). Gesundheitsindex – Wenn Gesundheit messbar ist, können Sie damit arbeiten!. <https://info.dacadoo.com/de>. Zugegriffen am 17.10.2017.
- Ellegast, R.-P. (1998). *Personengebundenes Messsystem zur automatisierten Erfassung von Wirbelsäulenbelastungen bei beruflichen Tätigkeiten* (BIA-Report, Bd. 98.5). Sankt Augustin: HVBG.
- Fleisch, E., & Mattern, F. (Hrsg.). (2005). *Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen*. Berlin: Springer.
- Forman, G.H., & Zahorjan, J. (1994). The challenges of mobile computing. *Computer*, 27(4), 38–47. <https://doi.org/10.1109/2.274999>.
- Friedewald, M. (2008). Ubiquitous Computing: Ein neues Konzept der Mensch-Computer-Interaktion und seine Folgen. In H. D. Hellige (Hrsg.), *Mensch-Computer-Interface. Zur Geschichte*

- und Zukunft der Computerbedienung (Kultur- und Medientheorie, 1. Aufl.). Bielefeld: transcript.
- Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag.
- Gartner Inc. (2015). Gartner's 2015 hype cycle for emerging technologies identifies the computing innovations that organizations should monitor. Gartner Inc. <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Globe Manufacturing Company, L.L.C. (2016). WASP. Wearable Advanced Sensor Platform. Making a difference in firefighter safety and performance. Globe Manufacturing Company, L.L.C. <http://globeturnoutgear.com/innovation/wasp>. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Gorecky, D., Schmitt, M., & Loskyll, M. (2014). Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik* (S. 525–542). Wiesbaden: Springer.
- Herzog, O., Rügge, I., Boronowsky, M., & Nicolai, T. (2003). Potenziale des Wearable Computing in der Industrie – am Beispiel der Inspektion. In J. Gausemeier & M. Grafe (Hrsg.), *Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. 2. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung* (S. 21–39).
- Hesse, M., Krause, A. F., Vogel, L., Chamadiya, B., Schilling, M., Schack, T. & Jungeblut, T. (2017). A connected chair as part of a smart home environment. In *IEEE 14th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)* (S. 47–50). <https://doi.org/10.1109/BSN.2017.7936004>.
- Jauch, V. (2012). Positionserkennung von Werkzeugen in der Montage. *ATZproduktion*, 5(2), 110–115. <https://doi.org/10.1365/s35726-012-0091-y>.
- Lins, C., Eichelberg, M., Rölker-Denker, L., & Hein, A. (2015). SIRKA: Sensoranzug zur individuellen Rückmeldung körperlicher Aktivität. In *Dokumentationsband zur 55. wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM)* (S. 301–303). München.
- Lukowicz, P., Timm-Giel, A., Lawo, M., & Herzog, O. (2007). WearIT@work. Toward real-world industrial wearable computing. *IEEE Pervasive Computing*, 6(4), 8–13. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2007.89>.
- Lyytinen, K., & Yoo, Y. (2002). Introduction. *Communications of the ACM*, 45(12), 62–65. <https://doi.org/10.1145/585597.585616>.
- Mattern, F. (2003). Vom Verschwinden des Computers – Die Vision des Ubiquitous Computing. In F. Mattern (Hrsg.), *Total vernetzt. Szenarien einer informatisierten Welt: 7. Berliner Kolloquium der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung* (Xpert.press). Berlin: Springer.
- MediKeeper Inc. (2016). Customizable Wellness Portal, MediKeeper Inc. <https://medikeeper.com/products/customizable-wellness-portal/>. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Patalong, F. (23. Dezember 2011). Amazons Logistik: Chaos bringt Effizienz. *Spiegel Online*. <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/amazons-logistik-chaos-bringt-effizienz-a-804092.html>. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Rhodes, B. J. (1997). The wearable remembrance agent: A system for augmented memory. In *Digest of papers: First International Symposium on Wearable Computers, October 13–14, 1997, Cambridge, Massachusetts*. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press.
- Robnagel, A., Jandt, S., Skistims, H., & Zirfas, J. (2012). *Zulässigkeit von Feuerwehr-Schutzanzügen mit Sensoren und Anforderungen an den Umgang mit personenbezogenen Daten*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. <https://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2278.html>. Zugegriffen am 03.05.2016.
- Rügge, I. (2007). *Mobile Solutions. Einsatzpotenziale, Nutzungsprobleme und Lösungsansätze* (Teubner Research: Advanced Studies Mobile Research Center Bremen, 1. Aufl.). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Salesforce.com. (2014). <https://www.salesforce.com/de/company/news-press/press-releases/2014/09/140909/>.
- Schmidt, A., & Gellersen, H.-W. (2000). *Implizite und situationsbezogene Unterstützung von Arbeitsprozessen*. Position Paper für den D-CSCW Workshop: CSCW-Umgebungen im Spannungsfeld realer und virtueller Welten, 1–4.

- Schwarz, J., & Fuchs, S. (2014). Adaptive Automation als sozialer Akteur: Anforderungen an die Gestaltung aus psychologischer und systemtheoretischer Sicht. In M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Der Mensch zwischen Automatisierung, Kompetenz und Verantwortung* (DGLR-Bericht, 2014-01, Neue Ausg., Bd. 56, S. 107–123). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- Seeberg, T. M., Vardoy, A.-S. B., Austad, H. O., Wiggen, O., Stenersen, H. S., Liverud, A. E., ... Faerevik, H. (2013). Protective jacket enabling decision support for workers in cold climate. In *35th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC)*, S 6498–6501. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2013.6611043>.
- Seo, H., Kim, E., & Kang, H. (2012). A novel biometric identification based on a user's input pattern analysis for intelligent mobile devices. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 9(2). <https://doi.org/10.5772/51319>.
- Sloss, J. (2014). *New tools, new rules. A look at how wearables are impacting the workplace*. Canada: Thomson Reuters Canada Ltd.
- Techniker Krankenkasse. (2016). *Beweg Dich, Deutschland! TK-Bewegungsstudie*. Hamburg: Techniker Krankenkasse.
- Timmer, H., & Schreier, M. (2010). Der neue Beschäftigtendatenschutz. *Arbeit und Arbeitsrecht* (Sonderausgabe), 139–146.
- Voß, O. (2016). Zwei Tüftler mit einer Vision. Gründerpreis. <http://www.wiwo.de/erfolg/gruender/gruenderpreis-zwei-tueftler-mit-einer-vision/12609196.html>. Zugegriffen am 02.01.2016.
- Want, R., Hopper, A., Falcão, V., & Gibbons, J. (1992). The active badge location system. *ACM Transactions on Information Systems*, 10(1), 91–102. <https://doi.org/10.1145/128756.128759>.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265(3), 66–75.
- Wiedemann, L. (2016). Datensätze der Selbstbeobachtung – Daten verkörpern und Leib vergessen!? In S. Selke (Hrsg.), *Lifelogging: Digitale Selbstvermessung und Lebensprotokollierung zwischen disruptiver Technologie und kulturellem Wandel* (S. 65–93). Wiesbaden: Springer.
- Wiegerling, K. (2015). The question of ethics in ambient intelligence. In K. Kinder-Kurlanda & C. Ehrwein Nihan (Hrsg.), *Ubiquitous computing in the workplace: What ethical issues? An interdisciplinary perspective* (S. 37–44). Cham: Springer.
- Wilson, H. J. (Hrsg.). (2013). Wearable gadgets transform how companies do business. Companies are decking employees out with devices that help them do their jobs better. *The Wall Street Journal*. <http://on.wsj.com/1OIVZXX>. Zugegriffen am 19.05.2016.
- Wolff, I., & Schulze, S. (2013). *Industrie 4.0. Cyber Physical Systems in der Produktion*. Nordrhein-Westfalen auf dem Weg zum digitalen Industrieland (Clustermanagement IKT. NRW, Hrsg.). Wuppertal: SiKoM – Institut für Systemforschung der Informations-, Kommunikations- und Medientechnologie. http://ikt.nrw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/IKTNRW_Schriftenreihe/Industrie40_CPS_in_der_Produktion-SchriftenreiheIKTNRW.pdf. Zugegriffen am 27.04.2016.
- Workaround GmbH. (2016). ProGlove, Workaround GmbH. <http://www.proglove.de/>. Zugegriffen am 19.05.2016.
- Yano, K., Lyubomirsky, S., & Chancellor, J. (2012). Sensing happiness. *IEEE Spectrum*, 49(12), 32–37. <https://doi.org/10.1109/MSPEC.2012.6361760>.

Flexible Arbeitsprozesse

Gregor Engels und Alexander Teetz

Inhalt

1	Einleitung	224
2	Industrie 4.0 im Detail	225
3	Stand der Forschung	231
4	Zusammenfassung und Ausblick	241
	Literatur	243

Zusammenfassung

Aufgrund einer steigenden Komplexität in der Gestaltung von flexiblen Prozessen aufgrund von kundenindividuellen Produkten (Losgröße 1) und Abhängigkeit zu vernetzten Ressourcen inner- und außerhalb der Produktionsumgebung bedarf es eines Wandels in der Sichtweise auf Arbeits- und Produktionsprozesse. So werden zukünftige Produktionsumgebungen nicht mehr durch eine einzelne Fachdisziplin, sondern durch Experten aus verschiedensten Disziplinen entworfen. Dieser Beitrag geht auf diesen Umstand mit einem Fokus auf Arbeits- und Produktionsprozesse ein. Hierzu werden auf Basis eines Kontextszenarios Anforderungen an die Gestaltung von zukünftigen Produktionsumgebungen beschrieben. Anschließend wird eine Übersicht auf existierende Methoden aus dem Geschäftsprozessmanagement insbesondere im Bezug zu Flexibilitätsaspekten von Arbeitsprozessen gegeben.

Schlüsselwörter

Industrie 4.0 - Digitalisierung · Prozesse - Modellierung · Business Process Management

G. Engels (✉) · A. Teetz

Fachgruppe Datenbank- und Informationssysteme, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

E-Mail: engels@upb.de; alexander.teetz@upb.de

1 Einleitung

Der Begriff „Industrie 4.0“ ist eines der am meisten diskutierten Themen in der Industrie in Deutschland. Eine Schlüsselrolle im Kontext von Industrie 4.0 wird ein Paradigmenwechsel in der Gestaltung von neuartigen Produktionsumgebungen sein, indem sogenannte Cyber-physische Systeme (CPS) flexibel miteinander vernetzt sind und bei Bedarf Informationen in Echtzeit austauschen (Kleinjohann et al. 2013). Derartige Produktionsumgebungen, sogenannte Smart Factories, bieten die Möglichkeit zur Produktion von individualisierbaren Produkten unter ökonomisch tragfähigen Bedingungen (Spath et al. 2013). Häufig wird in diesem Kontext die sogenannte Losgröße 1, also die Produktion eines einzelnen Produktes unter Umständen der industriellen Massenfertigung, genannt.

Hierfür ist sowohl eine vertikale Vernetzung von betriebswirtschaftlichen Prozessen in einem Unternehmen sowie die horizontale Verknüpfung von in Echtzeit steuerbaren Wertschöpfungsnetzwerken notwendig, die sich über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes – vom Design über die Produktion und Logistik bis zur Außerbetriebnahme – erstrecken. Voraussetzung für diese durchgängige Vernetzung sind digitale Beschreibungen von verschiedenen Aspekten, wie z. B. Produkte, erforderliche Dienste, Ressourcen sowie Automatisierungsmechanismen, auch über die Grenzen eines einzelnen Unternehmens hinweg (Becker und Knop 2015; Bettenhausen und Kowalewski 2013; Binner 2014). Dies schließt eine Flexibilisierung und weitgehende Automatisierung aller beteiligter Arbeits- und Produktionsprozesse sowie der zugehörigen Planungsebenen mit Entscheidungs-, Koordinierungs-, Kontrollfunktion mit ein.

Da es sich bei derartigen Produktionsumgebungen jedoch nicht um ausschließlich technische Systeme handelt (Wieland 2013), sondern um sozio-technische Systeme, stellt der Mensch einen nicht zu vernachlässigenden Faktor dar. Ein soziotechnisches System lässt sich dabei nach Ropohl (2009) als ein zielorientiertes Handlungssystem beschreiben, welches aus menschlichen und technischen Komponenten besteht, die jeweils menschliche bzw. technisierte Funktionen ausführen. Aus diesem Grund sind neben technischen Aspekten sowohl intra- und interorganisationale arbeitswissenschaftliche Umstände zu berücksichtigen (Ludwig et al. 2016). Wichtige Rollen werden hierbei verschiedene digitale Beschreibungen von spezifischen Aspekten der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer oder für sie relevanten Umgebungsfaktoren spielen. Einige Beispiele für derartige Aspekte sind Beschreibungen von Kompetenz- und Skillsets, Erfahrungswerte, die Mitarbeitermotivation, arbeitsergonomische Umstände, konkrete Einsatzpläne, die bestehende Organisationsstruktur etc. Für die Produktion relevante Eigenschaften von betroffenen Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern müssen daher für eine durchgängige vertikale und horizontale Vernetzung bereits frühzeitig im Entwurf berücksichtigt werden. Hierdurch kann eine durchgängige Integration der Arbeitskräfte in eine intelligente Produktionsumgebung von morgen gewährleistet werden.

Ein mögliches Ziel ist es, die Smart Factories – also Industrie 4.0 Produktionsumgebungen – ganzheitlich unter Berücksichtigung von sowohl technischen als auch sozialen Teilfaktoren als flexible, adaptierbare und hoch automatisierte Pro-

duktionsumgebung digital zu repräsentieren. Neben aktuellen und zukünftigen technischen Innovationen aus dem Bereich der Automatisierung von Produktionsprozessen werden aber auch insbesondere manuelle, durch IT-unterstützte Arbeitsprozesse eine entscheidende Rolle für den Erfolg von Industrie 4.0 und die Integration von Arbeitskräften auf unterschiedlichen Ebenen in der digitalisierten Produktionsumgebung spielen.

Ablaufbeschreibungen wie Produktions- und Arbeitsprozesse sehen sich hierbei im Kontext von Industrie 4.0 mit einer Vielzahl an unterschiedlich zu behandelnden Aspekten aus verschiedenen fachlichen Disziplinen konfrontiert. So ist für die arbeitsteilige Leistungserbringung nicht mehr nur ein standardisierter Teilschritt zur Fertigung eines Produktes, sondern viel mehr die Vernetzung und in Echtzeit verfügbare Daten über alle für die Fertigung relevanten Daten entscheidend.

In diesem Beitrag liegt der Fokus speziell auf ausgesuchten Aspekten von flexiblen und adaptiven Arbeitsprozessen. Hierzu wird in den nachfolgenden Abschnitten zunächst auf ein einleitendes Anwendungsbeispiel für flexible, Menschen-zentrierte und adaptive Arbeitsprozesse im Kontext von Industrie 4.0 eingegangen (siehe Abschn. 2.1). Im Anschluss werden neben ausgewählten Aspekten bestehender Prozessmanagement-Methoden (siehe Abschn. 3.1) auch verschiedene Flexibilitätsaspekte von Prozessen (siehe Abschn. 3.2) sowie Prozessbeschreibungsansätze (siehe Abschn. 3.3) näher beschrieben. Eine Zusammenfassung des gesamten Inhalts dieses Beitrages sowie ein Verweis auf zukünftige Forschung wird in Abschn. 4 gegeben.

2 Industrie 4.0 im Detail

Der Begriff „Industrie 4.0“ wurde 2011 durch die deutsche Bundesregierung als Schlüsselinitiative ihrer High-Tech Strategie bekannt gegeben. Industrie 4.0 stellt dabei einen Paradigmenwechsel für die Organisation und Steuerung entlang der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten dar (Industrie 4.0 2015), indem intelligente und flexibel miteinander vernetzte Systeme Informationen bedarfsorientiert austauschen. Nach Kaufmann (2015) werden die folgenden Themen genannt, die im Kontext von Industrie 4.0 als relevant einzustufen sind:

- Digitalisierung
- Veränderung von Wertschöpfungsnetzwerken
- Individualisierung der Kundenanforderungen (z. B. Losgröße 1)
- Geänderte Geschäftsmodelle
- Eingebettete und vernetzte Systeme (Cyber-Physical Systems, Cyber-Physical Devices)

Ferner werden unter diesem Begriff unter anderem neu entstehende Smart Factories – intelligente und vernetzte Produktionsumgebungen – verstanden, in denen bereichs- und unternehmensübergreifende Leistungserbringungsprozesse durchgängig durch informationstechnische Systeme unterstützt werden. Dabei stehen insbeson-

dere Prozessunterstützungssysteme im Vordergrund, durch die Informationen sowohl vertikal als auch horizontal in dezentralen Produktionsumgebungen integriert werden können. Vorläufer derartiger Prozessunterstützungssysteme mit geringerer Komplexität wurden bereits intensiv untersucht (Radhakrishnan et al. 2008). Einige Beispiele sind durch die digitale Konstruktion (CAE – Computer-Aided Engineering, CAD – Computer-Aided Design), zur Arbeitsplanung (CAP – Computer-Aided Planning) oder zur Fertigung (CAM – ComputerAided Manufacturing) gegeben.

In einem weiteren Schritt wurden betriebswirtschaftliche Planungs- und Steuerungssysteme ergänzt, wodurch Systeme für das Computer-Integrated Manufacturing (CIM), Computer-Integrated Business (CIB) bzw. für Leitstände (Production Control Systems) entstanden. Spezialisierte Unterstützungssysteme zur Geschäftsprozessmodellierung und -ausführung wurden im Bereich von betrieblichen Informationssystemen (BPM – Business Process Management) untersucht (Reichert und Weber 2012; Weske 2012). Basis und kennzeichnend für Smart Factories sind Cyber-Physical Systems (CPS), die in Form von vernetzten, physikalischen Systemen durch eine vorrangig durch Software geprägte, weitläufige und verteilte Rechner- und Netzinfrastruktur die automatisierte Steuerung und Kontrolle verschiedenster Prozesse übernehmen. Den zur Steuerung und Kontrolle notwendigen Endgeräten kommt dabei im Rahmen der Interaktionen zwischen real-weltlichen Entitäten, wie z. B. Maschinen, IT-Diensten oder Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern, eine besondere Bedeutung zu. In Anlehnung an Kleinjohann et al. (2013) werden sie als Physical Devices bzw. Cyber-Physical Devices (CPD) bezeichnet.

Sowohl Cyber-Physical Systems als auch Cyber-Physical Devices können im Rahmen einer Interaktion mit Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern zur flexiblen und effizienten Gestaltung von Arbeitsprozessen beitragen, indem sie mit Hilfe von Sensordaten auf veränderte Rahmenbedingungen reagieren. Derartige Daten können die Ausführungsumgebung eines Arbeitsprozesses sowie die eingesetzten Ressourcen betreffen und für Echtzeitanpassungen hinsichtlich einer Menschen-zentrierten Ausführung von Geschäfts- und insbesondere Arbeitsprozessen genutzt werden.

2.1 Einleitendes Szenario: Mensch-Roboter-Team

In diesem Abschnitt wird ein einleitendes Industrie 4.0 Kontextszenario beschrieben, das die Vernetzung verschiedenster Aspekte sowie die bedarfsorientierte Anpassung von Arbeitsprozessen und ihrer Umgebung verdeutlichen soll. Insbesondere spielen in dieser Beschreibung auch Cyber-Physical Devices bzw. Cyber-Physical Systems eine wesentliche Rolle in der Interaktion zwischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern mit ihrer Arbeitsumgebung. Das Kontextszenario beschreibt einen stationsbasierten Shared-Workspace in einem Mensch-Roboter-Team.

Das Szenario Mensch-Roboter-Team spielt in einem mittelständischen Unternehmen, in dem trotz zunehmender Automatisierung die Endmontage von kundenindividuellen Produkten vornehmlich manuell im Rahmen von Shared-Workspaces

durchgeführt wird. Ein Shared-Workspace bezeichnet eine Arbeitsplatzumgebung, in der sowohl menschliche Akteure untereinander als auch Maschinen miteinander interagieren können. Die in der Arbeitsplatzumgebung notwendigen Funktionen können dabei durch die menschlichen Akteure oder Maschinen exklusiv oder kooperativ übernommen werden. Dies kann z. B. die Assistenz in Abläufen, der Aufgabenplanung oder Entscheidungsfindung betreffen. An dem Shared-Workspace wurde sich für ein Mensch-Roboter-Team entschieden, das aus zwei menschlichen Akteuren (A1, A2) und einem Robotersystem (RS) besteht.

Die beiden menschlichen Akteure A1 und A2 haben dabei die Aufgabe der Montage von einzelnen Komponenten des zu fertigenden, kundenindividuellen Produktes. Sie besitzen jeweils ein vergleichbares Fachwissen, welches zur Montage benötigt wird. A1 ist aufgrund seiner Betriebszugehörigkeit und seines Einsatzes in der Arbeitsplatzumgebung erfahrener als A2. Darüber hinaus ist A1 im Gegensatz zu A2 Linkshänder und kommt daher für die Verwendung von teurem Spezialwerkzeug, welches nur für die Verwendung von Rechtshändern vorgesehen ist, nicht in Frage. Neben den zuvor beschriebenen statischen Eigenschaften der Mitarbeiter A1 und A2 existieren jedoch zudem dynamische Eigenschaften, die während der Laufzeit der Montage berücksichtigt werden müssen. So wurde sich für die Überwachung der Herzfrequenz während der Montage entschieden, um eine Überbeanspruchung der Mitarbeiter A1 und A2 zu vermeiden. Hierzu werden medizinische Herz-Kreislauf-Belastungsprofile angefertigt, die gültige Belastungsbereiche enthalten.

Das eingesetzte Robotersystem übernimmt in der Arbeitsplatzumgebung zwei wichtige Aufgaben. Zum einen werden die zu montierenden Komponenten zu den Montagearbeitsplätzen hin und nach erfolgreicher Montage wieder zurücktransportiert. Auf der anderen Seite berechnet es die Reihenfolge einzelner Montageaufgaben und übernimmt die anschließende Zuweisung an die menschlichen Akteure A1 und A2. Dabei soll die Zuweisung Menschen-zentriert, d. h. unter Einflussnahme der zuvor genannten individuellen Eigenschaften der Mitarbeiter A1 und A2 erfolgen. Treten Ereignisse auf, die eine mögliche Verletzung einer Menschen-zentrierten Ausführung der Montage kennzeichnen, so z. B. eine Überbeanspruchung in Form einer überschrittenen maximalen Herzfrequenz, soll das Robotersystem versuchen, eine neue Zuordnung der Arbeitsaufgaben zu realisieren.

Neben den zuvor beschriebenen Funktionen und Eigenschaften der menschlichen Akteure und Maschinen sind auch Interaktionsmechanismen eingeplant worden. So übernimmt das Robotersystem eine konkrete Zuweisung von Arbeitsaufträgen Menschen-zentriert, indem es zwischen Mitarbeiter A1 und Mitarbeiter A2 unterscheiden kann. Die Mitarbeiter A1 und A2 können einen zugewiesenen Arbeitsauftrag entweder annehmen oder ablehnen. Im Fall eines abgelehnten Arbeitsauftrags sind die Mitarbeiter dazu angehalten, dem Robotersystem eine Begründung mitzuteilen, sodass die Ablehnung in zukünftigen Entscheidungen berücksichtigt werden kann. Darüber hinaus sind sie in der Lage, Feedback hinsichtlich der Zuweisung von Arbeitsaufträgen zu geben, welches in zukünftigen Zuteilungen ebenfalls berücksichtigt wird. Neben der Interaktion mit dem Robotersystem können die Mitarbeiter A1 und A2 auch Arbeitsaufgaben untereinander tauschen und bei der Bearbeitung eines Arbeitsauftrages assistieren.

2.2 Anforderungen an flexible Menschen-zentrierte adaptive Arbeitsprozesse

In diesem Abschnitt werden auf Basis des in Abschn. 2.1 vorgestellten Kontextszenarios und der Literatur (Reichert und Weber 2012) verschiedene Anforderungen an flexible, Menschen-zentrierte, adaptive Arbeitsprozesse in Industrie 4.0 Anwendungen dargestellt. Das Ziel dieses Abschnittes ist die Identifikation von Anforderungen an geeignete Methoden für den Entwurf von Prozessunterstützungssystemen, die im Kontext von Industrie 4.0 für eine Menschen-zentrierte Gestaltung von Arbeitsprozessen eingesetzt werden können. Zunächst werden die folgenden drei Fragestellungen diskutiert:

- Was sind flexible Arbeits- und Produktionsprozesse?
- Was sind Menschen-zentrierte, adaptive Arbeitsprozesse?
- Was sind die Treiber für flexible und Menschen-zentrierte, adaptive Arbeitsprozesse in Industrie 4.0-Anwendungen?

Industrie 4.0-Anwendungen sind durch eine Vielzahl an sich variierenden Faktoren geprägt. So sind die geschäftlichen Abläufe in einer derartigen Anwendung sowohl von intra- als auch interorganisationalen Gegebenheiten abhängig. Ein in diesem Bezug viel genanntes Beispiel ist die erhöhte Produktvariabilität, welche auch besser bekannt unter dem Stichwort Losgröße 1 ist. Eine gesteigerte Produktvariabilität hat maßgeblich Einfluss auf den zur Produktion verwendeten Prozess. So sind je nach Produktvariante bestimmte Arbeitsabläufe an der Produktion beteiligt oder eben nicht. Der Gesamtprozess zur Fertigung eines solchen Produktes muss daher flexibel hinsichtlich der durch den Kunden bestellten Konfiguration eines Produktes sein.

Als wesentlicher Teil für die Leistungserbringung in Unternehmen können Arbeitsprozesse eingesetzt werden. Arbeitsprozesse kennzeichnet hinsichtlich ihrer Ausführungsform besonders aus, dass der Mensch und nicht etwa eine Maschine oder ein IT-Service ausschließlich als leistungserbringender Teilnehmer beteiligt ist (Nerdinger et al. 2008). Gleichwohl es in Arbeitsprozessen Mischformen der Leistungserbringung geben kann, wie z. B. in Form einer Mensch-Maschine-Kollaboration, ist der Mensch stets beteiligt. Man spricht ferner von Menschen-zentrierten Arbeitsprozessen, wenn Eigenschaften der Arbeitsprozesse in Anlehnung an die Eigenschaften eines einzelnen Menschen oder einer Gruppe von Menschen bestimmt worden sind. Sofern ein solcher Arbeitsprozess darüber hinaus in der Lage ist, sich in Anlehnung an veränderte Eigenschaften der Menschen anzupassen, spricht man von Menschen-zentrierten adaptiven Arbeitsprozessen.

Treibende Kraft für flexible und Menschen-zentrierte, adaptive Arbeitsprozesse in Industrie 4.0-Anwendungen können vielfältig sein und sind maßgeblich durch rechtliche als auch betriebliche Richtlinien motiviert. So ist es vorstellbar, dass die Anpassung von Arbeitsprozessen auf Basis veränderter Umstände der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zur Ausführungszeit zukünftig arbeitsschutzrechtlich gefordert wird. Der Erhalt eines Menschen-zentrierten Arbeitsprozesses bzw. einer Men-

schenzentrierten Umgebung könnte somit zur Steigerung der Arbeitssicherheit und zu einer Beschäftigung bis in ein hohes Lebensalter beitragen. Neben rechtlichen Gegebenheiten sind aber auch wettbewerbliche Treiber identifizierbar. So kann eine Fähigkeit zur Adaption der Arbeitsprozesse und seiner Umgebung dazu beitragen, die Mitarbeitermotivation und die empfundene Lebensqualität am Arbeitsplatz zu steigern. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter könnten somit in Zukunft motiviert sein, sich für Arbeitgeber zu entscheiden, die ihnen einen besonderen Grad an Menschenzentrierung und Adaptivität hinsichtlich ihrer Arbeitsprozesse und Umgebungen bieten.

Das in Abschn. 2.1 vorgestellte Kontextszenario Mensch-Roboter-Team beschreibt ein Beispiel für die Betrachtung verschiedenster Aspekte im Rahmen von Arbeits- und Produktionsprozessen. So sind für die erfolgreiche Produktion der kundenindividuellen Produkte sowohl technische Aspekte betreffend des Robotersystems RS als auch menschliche Aspekte der Mitarbeiter A1 und A2 sowie des zu montierenden Produktes und weiterer unternehmensspezifischer Gegebenheiten relevant. Ferner könnte in komplexeren Szenarien eine Vielzahl an weiteren zu berücksichtigenden Aspekten entlang der gesamten Wertschöpfungskette relevant sein. Für den Entwurf derartiger Arbeits- und Produktionsumgebungen ist es daher notwendig, dass bereits frühzeitig die für diese Aspekte relevanten unterschiedlichen Fachdisziplinen involviert und damit beteiligt werden. Die adäquate Einbindung jeder Fachdisziplin in den Entwicklungsprozess für derartige Umgebungen muss ferner durch eine geeignete Methodik und Werkzeugunterstützung gewährleistet werden. Hierzu existieren im Kontextszenario verschiedene Beispiele, wie etwa das Kompetenz- und Skillmanagement oder die Erhebung von medizinischen Belastungsprofilen, für die unterschiedliche Fachdisziplinen benötigt werden.

Darüber hinaus motiviert das Kontextszenario die Flexibilität bei Arbeits- und Produktionsprozessen in Anlehnung an die aktuelle Auftragslage des Unternehmens. Hiervon betroffen ist insbesondere die Produktion von kundenindividuellen Produkten. Dabei ist anzumerken, dass kundenindividuelle Produkte in der Fertigung zu einer hohen Variantenvielfalt in Arbeits- und Produktionsprozessen führen können. Hier können je nach Kundenwunsch, also der Konfiguration des zu fertigenden Produktes, einzelne Montageschritte geändert oder hinzugefügt werden oder gar ganz wegfallen. Aufgrund der erhöhten Variantenvielfalt ist zum einen die fachliche Qualifikation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu beachten. Zum anderen entsteht aber auch der Bedarf an adäquater Assistenz während der im Kontextszenario beschriebenen Montage, entweder durch andere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter oder durch IT-gestützte Assistenzsysteme.

Industrie 4.0-Anwendungen eignen sich aufgrund des hohen Grades an miteinander vernetzten Aspekten innerhalb einer Produktionsumgebung und der damit verbundenen stetigen Verfügbarkeit von Daten und Informationen zur bedarfsorientierten Anpassung. Derartige Anpassungen können die Produktionsumgebung im Ganzen, aber auch ihre Arbeits- und Produktionsprozesse, als auch weitere einzelne Aspekte wie z. B. Maschinen oder Produkte, betreffen. Sind Daten und Informationen bspw. in Echtzeit verfügbar, so können Anpassungen an diesen Aspekten der Produktionsumgebung unter Umständen schnell durchgeführt werden. Derartige

Anpassungen werden durch Ereignisse (sog. Events) ausgelöst, die sowohl planbar als auch unvorhersehbar sein können. Eine Anpassung eines Prozesses kann dabei z. B. die Änderungen einer Sequenz in einem imperativen Prozessmodell bis hin zum Hinzufügen oder Entfernen ganzer Aktivitäten bzw. (Teil-)Prozesse bedeuten. Dabei können neben Arbeitsprozessen aber auch weitere Aspekte von Entscheidungs-, Koordinierungs-, Kontroll- sowie Dienstleistungsfunktionalitäten betroffen sein, die für die Ausführung relevant sind. Die Adaption derartiger Aspekte kann für eine Menschen-zentrierte Ausführung von Prozessen und damit zur Sicherung von Qualitätsmerkmalen insbesondere hinsichtlich sozialer Teilfaktoren innerhalb der zuvor genannten Funktionalitäten eingesetzt werden. Um Anpassungen zur Laufzeit an Prozessinstanzen und weiteren prozess-relevanten Aspekten ausführen zu können, bedarf es jedoch entsprechender Prozessausführungsumgebungen, die derartige Operationen unterstützen.

In dem in Abschn. 2.1 beschriebenen Kontextszenario sind sich ändernde Umstände in der Arbeitsplatzumgebung in Form der Überwachung der aktuellen Herzfrequenz gegeben. Dabei müssen im Entwurf einer derartigen adaptiven Anwendung mögliche auslösende Ereignisse als auch Maßnahmen für die Anpassung definiert werden. Da mögliche Maßnahmen wieder verschiedene Aspekte und damit Fachdisziplinen betreffen können, ist auch hier die Einbindung verschiedener Fachdisziplinen bereits frühzeitig im Entwurf notwendig. Es besteht demnach Bedarf an einem geeigneten methodischen Vorgehen zur Entwicklung und zum Betrieb einer ganzheitlichen adaptiven Industrie 4.0-Anwendung.

Neben der Anpassung von Arbeits- und Produktionsprozessen kann es auch Veränderungen geben, die nicht sofort sondern zeitlich versetzt, wie z. B. unmittelbar vor der nächsten Ausführung eines Arbeitsprozesses, umgesetzt werden sollen. Beispiele hierfür sind das Anpassen von Prozessmodellen auf Basis interner Gegebenheiten wie Entwurfsfehler oder technischer Probleme, die keinen direkten Eingriff im Betrieb notwendig erscheinen lassen. Aber auch organisatorische Veränderungen durch geänderte strategische und rechtliche Kontexte können ein Grund für derartige Anpassungen der Prozesse sein. Dabei können evolutionäre Änderungen zu verschiedenen Zeitpunkten sinnvoll sein. Ein Beispiel für zeitlich versetzte Änderungen in Anlehnung an das in Abschn. 2.1 vorgestellte Anwendungsszenario Mensch-Roboter-Team ist durch die Anpassungsfähigkeit des Robotersystems RS an eine mögliche menschliche Interaktion in Form einer Ablehnung einer Arbeitsaufgabe gegeben.

Da in Industrie 4.0-Anwendungen sowohl die Arbeits- als auch die Produktionsprozesse im Fokus stehen, sind die zuvor beschriebenen Punkte Flexibilität und Einbindung verschiedener Fachdisziplinen im Rahmen eines Geschäftsprozessmanagements zu integrieren. In diesem Kontext ist für die Gestaltung von Arbeitsprozessen eine weitere Anforderung, eine gewisse Freiheit in der Prozessgestaltung zu fordern, sodass z. B. situativ die Reihenfolge von Arbeitsaufgaben angepasst werden kann. Zur Modellierung derartiger Prozessmodelle können anstelle imperativer Prozessmodelle auch deklarative Prozessmodelle eingesetzt werden. Insbesondere im Kontext sogenannter wissensintensiver Prozesse, in denen das Fachwissen der

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zur Ausführungszeit mitberücksichtigt werden muss, können deklarative Prozessmodelle einen Vorteil bieten. Dies ist notwendig um bspw. die Prozessgestaltung und -ausführung flexibel, Menschen-zentriert und adaptiv unterstützen zu können.

Neben den zuvor genannten Anforderungen auf Basis des in Abschn. 2.1 beschriebenen Kontextszenarios existieren aber auch noch weiterführende Anforderungen an flexible, Menschen-zentrierte, adaptive Arbeitsprozesse. Ein weiterer Aspekt in Industrie 4.0-Anwendungen ist durch die inter- und intraorganisatorischen Vernetzung von beteiligten Prozessen gegeben. Da eine Vielzahl an unterschiedlichen Prozessen beteiligt ist, wie etwa Produktionsprozesse, Engineering Prozesse, Verwaltungsprozesse usw., kann eine fachspezifische Kennzeichnung von Prozessen und Aktivitäten sinnvoll sein. Einfache Beispiele für fach- und domänenspezifische Kennzeichnungen von Prozessen bzw. Aktivitäten könnten wie folgt gegeben sein:

- Ist der Prozess für die voll oder teilautomatisierte Ausführung bestimmt?
- Ist im Prozess eine Mensch-Maschine-Interaktion vorgesehen und wenn ja, wie sieht diese aus?
- Welche interorganisationalen Vernetzungsaspekte sind vorhanden – wer, mit wem, wann und wie?
- Welche Teile oder Materialien werden für die Arbeitsaufgabe benötigt?

Die zuvor genannten Punkte bilden die notwendigen Voraussetzungen für die Integration von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in die im Kontextszenario beschriebene sozio-technische Arbeitsumgebung eines Shared-Workspace. Durch die Berücksichtigung aller relevanten Aspekte in der Umgebung der Arbeits- und Produktionsprozesse – insbesondere Menschen-zentrierte Aspekte – wird die Grundlage hinsichtlich der Akzeptanz und des Entwurfs von Assistenzsystemen im Kontext der Industrie 4.0 und Digitalisierung von Produktions- und Arbeitsprozessen geschaffen.

3 Stand der Forschung

Die Gestaltung von flexiblen Prozessen wurde bisher vor allem im Gebiet des Geschäftsprozessmanagements (GPM) (engl.: Business Process Management (BPM)) untersucht (siehe u. a. Carmona et al. 2017). Deshalb gibt dieser Abschnitt einen Überblick über bestehende Methoden des Geschäftsprozessmanagements. Hierzu wird zunächst in Abschn. 3.1 der methodische Rahmen des Geschäftsprozessmanagements eingeführt. In Abschn. 3.3 wird ferner eine generelle Kategorisierung von Geschäftsprozessmodellierungssprachen (GPML) gegeben. Darüber hinaus werden ausgewählte GPMLs in Abschn. 3.3.1 bis Abschn. 3.3.3 detaillierter beschrieben.

3.1 Geschäftsprozessmanagement

Das Geschäftsprozessmanagement (GPM) ist ein systematischer Ansatz zur Unterstützung von Geschäftsprozessen in einem Unternehmen und über die Grenzen eines Unternehmens hinaus. Ein Geschäftsprozess beschreibt dabei eine Sammlung von spezifischen Aufgaben, deren Erfüllung notwendig für die Erreichung unternehmerischer Ziele ist. Ein Beispiel für ein solches Ziel ist die Produktion eines kundenindividuellen Produkts, für die eine Vielzahl von Prozessen aus unterschiedlichen intra- und interorganisatorischen Strukturen vorhanden sein kann. Der Begriff des Geschäftsprozesses kann hierbei sehr breit interpretiert werden, sodass z. B. Beschaffungs- und Planungsprozesse, aber auch Arbeits- und Produktionsprozesse als Bestandteile eines Geschäftsprozesses aufgefasst werden können.

Eine Aufgabe innerhalb eines Geschäftsprozesses kann dabei eine Reihe von Aktivitäten repräsentieren, die manuell durch einen Menschen oder automatisiert durch eine Maschine oder durch Software in Form eines IT-Services ausgeführt wird.

Das GPM legt in diesem Bezug den Fokus besonders auf die Automatisierung und Optimierung von Geschäftsprozessen. Neben diesen Faktoren spielt aber auch die Interaktion mit dem Menschen über geeignete Informationstechnologien eine wesentliche Rolle. Für die Entwicklung von Geschäftsprozessen werden im Rahmen des GPMs häufig Lebenszyklusmodelle eingesetzt. Der Lebenszyklus für GPM nach Weske (2012) gliedert sich in die vier Phasen Design und Analyse, Konfiguration, Ausführung und Evaluation (siehe Abb. 1).

Methodisch wird darüber hinaus nach Van der Aalst et al. (2003) zwischen Geschäftsprozessmanagement und Workflow-Management unterschieden. Der

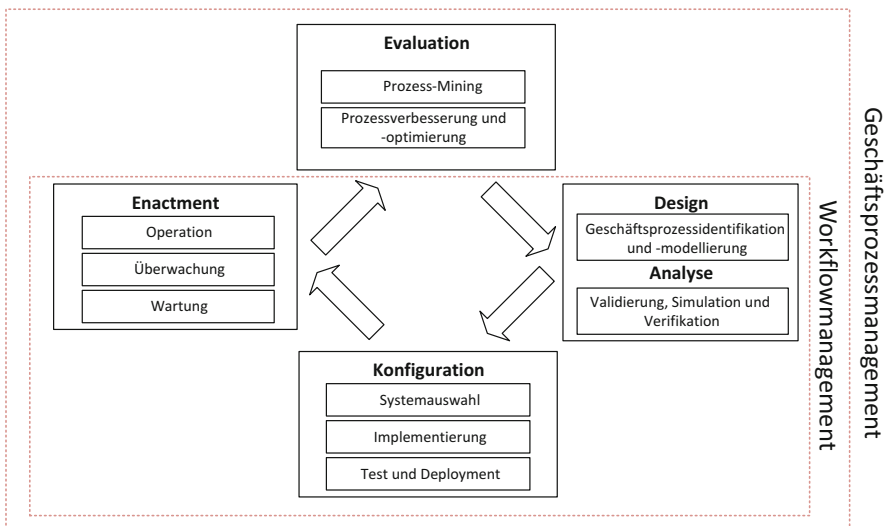


Abb. 1 Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements nach Weske (2012)

Grund hierfür ist, dass sich die traditionellen Sichtweisen auf den GPM Lebenszyklus eher auf die Phasen des Workflow-Managements beschränken. Durch methodische und technologische Weiterentwicklung kommen aber neue Analysemethoden hinzu, wie etwa das Prozess-Mining, die den Zweck eines GPM in Form von Automatisierung und Optimierung von Geschäftsprozessen weiter unterstützen.

Jede dieser vier Phasen ist weiter unterteilt in einzelne Aktivitäten, die im Folgenden näher beschrieben werden:

In der ersten Phase (Design und Analyse) des GPM nach Weske werden zunächst im Design die geschäftsrelevanten Abläufe identifiziert und durch Geschäftsprozessmodelle repräsentiert (siehe hierzu Abschn. 3.3). Neben den eigentlichen Abläufen innerhalb eines geschäftlichen Umfeldes spielen aber auch die organisatorischen und technischen Gegebenheiten bei der Identifikation eine wichtige Rolle. Daher werden neben den Modellen für die Geschäftsprozesse weitere Modelle erstellt, so z. B. Organigramme zur Beschreibung personeller Abhängigkeiten oder organisatorische Einbettung der Geschäftsprozesse. Im Anschluss an das Design werden die erstellten Modelle hinsichtlich spezifischer Eigenschaften analysiert. Bei dieser Analyse kommen fachliche Validierungs- und Verifikationstechniken sowie Simulationen zum Einsatz. Neben fachlichen Validierungen, z. B. durch Experten in Workshops, stellen Simulationen ein wichtiges methodisches Werkzeug dar, um z. B. komplexe Geschäftsprozessmodelle auf unvorhergesehene Vorkommnisse mit verheerenden Wirkungen zu prüfen. Ein Beispiel für eine derartige Eigenschaft sind sogenannte Deadlocks, die dazu führen, dass der Prozess nicht fortgesetzt werden kann.

Die zweite Phase (Konfiguration) bezieht sich auf die Implementierung der zuvor entworfenen und analysierten Geschäftsprozessmodelle. Dabei bezieht sich der Begriff der Implementierung nicht zwangsweise auf die Umsetzung durch Software. So können die Geschäftsprozessmodelle auch in Form von Richtlinien oder als dokumentiertes Beispiel eines Best-Practices eingesetzt werden, die die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter umsetzen bzw. befolgen sollen. Soll der modellierte Geschäftsprozess mit dem Einsatz von IT unterstützt werden, bieten sich spezielle Prozessausführungsumgebungen an. Dabei müssen die Geschäftsprozessmodelle um ausführungsspezifische technische Informationen ergänzt werden, um später ausgeführt werden zu können. Die Implementierung richtet sich dabei maßgeblich an Anforderungen der Prozessausführungsumgebung. Wie im späteren Verlauf beschrieben, gibt es hier für einige Ansätze auch automatisierte Transformationen. Nachdem die Zielumgebung bzw. Ausführungsumgebung ausgewählt und die Implementierung durchgeführt worden ist, kann der implementierte Geschäftsprozess durch etablierte Verfahren aus dem Bereich des Software Engineering getestet werden. Ein Ziel kann hierbei die Sicherstellung des korrekt implementierten und erwarteten Verhaltens des Softwaresystems sein. Darüber hinaus können auch Tests hinsichtlich potenzieller Laufzeitprobleme, wie z. B. Performance, durchgeführt werden.

Im Anschluss an die Konfiguration und Implementierung von Geschäftsprozessen können Prozessinstanzen in der Phase des Enactments ausgeführt werden. Dabei folgt der Ablauf einer Prozessinstanz dem in der Phase Design und Analyse erfassten

geschäftlichen Ablauf mit dem Zweck, ein organisatorisches Ziel zu erfüllen – z. B. die Fertigung eines kundenindividuellen Produktes. Neben der eigentlichen Ausführung einer Prozessinstanz umfasst die Phase des Enactments jedoch auch noch die beiden Aktivitäten der Überwachung und der Wartung. Im Rahmen der Überwachungen werden aktuelle Statusinformationen von Prozessinstanzen zur Laufzeit überwacht. Das Ziel ist hierbei die Sicherstellung von Anforderungen an die Prozessinstanzen, die erst zur Laufzeit überprüft werden können. Als Beispiel im Rahmen von Arbeitsprozessen sind z. B. die Arbeitsgeschwindigkeit im Akkordbetrieb oder die Qualitätssicherung hinsichtlich einer Montage von (Teil-)Produkten zu nennen. Neben diesen eher traditionellen Anforderungen können aber auch Menschen-zentrische Anforderungen, wie die Motivation, körperlicher Zustand oder die aktuelle Umgebungsbeschaffenheit der Arbeitsausführung, z. B. in Form eines Montagearbeitsplatzes, eine Rolle spielen. Für die Überwachung derartiger Anforderungen zur Laufzeit können Software-Werkzeuge eingesetzt werden, die die Überwachung voll automatisiert durchführen und im Fall einer Verletzung einen vordefinierten Handlungsplan zur Abstellung der Anforderungsverletzung umsetzen. Durch die Ausführung und Überwachung von Prozessinstanzen zur Laufzeit entsteht darüber hinaus eine Reihe von Daten, die in der Phase der Evaluation zur Analyse und Verbesserung von existierenden Prozessen eingesetzt werden kann. Derartige Daten können z. B. beschreiben, zu welchen Zeitpunkten die ausgeführten Prozessinstanzen, Tasks oder Aufgaben gestartet und beendet wurden. Darüber hinaus können aber auch zusätzliche Informationen enthalten sein, wie etwa die Anwendung eines Handlungsplans oder sonstige Fehler.

Ein Lebenszyklus des GPMs nach Weske (2012) schließt mit der Phase der Evaluation ab. In dieser Phase wird jedoch zuvor eine Retrospektive auf Basis der in der Phase des Enactments erhobenen Daten durchgeführt. Für derartige Analysen können unterschiedliche Methoden eingesetzt werden, wie etwa das sogenannte Prozess-Mining (Van der Aalst 2011). Das Ziel ist hierbei, die kontinuierliche Prozessoptimierung und –verbesserung zu unterstützen und durchzuführen. Ein Beispiel hierfür im Rahmen von Arbeitsprozessen ist z. B. die Analyse von Teamzuteilungen einzelner Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen. So können Daten in Bezug zu Teamzuteilungen und ermittelter Arbeitsgeschwindigkeit auf eine vorteilhafte oder ungünstige Einsatzplanung hinweisen. Die Evaluierung bestehender Geschäftsprozesse auf Basis von Daten aus der Phase der Ausführung ist dabei insbesondere für Arbeitsprozesse ein wichtiger und damit essenzieller Schritt, um ein gewolltes Maß an Menschen-Zentrierung umzusetzen und zu gewährleisten. Neben den eigentlichen Phasen des GPM Lebenszyklus geht Weske darüber hinaus auf verschiedene Rollen ein. Hiervon wird an dieser Stelle abstrahiert und auf die Literatur verwiesen (Weske 2012).

Für die beiden Phasen Design und Enactment werden geeignete Prozessmodellierungssprachen bzw. Prozessausführungsumgebungen benötigt. So haben sich für diese beiden Bereiche einige bekannte Standards etabliert. Im Bereich der Prozessausführung wird hierzu häufig BPEL (OASIS 2007) und seit 2011 auch BPMN 2.0 (OMG 2011) gezählt. Auf der Seite der Prozessmodellierung hat sich BPMN 2.0 als de-facto Standard in der Industrie durchgesetzt. Wissenschaftliche Vertreter von

Prozessausführungsumgebungen und Ansätzen zur Prozessgestaltung sind beispielsweise YAWL (Van der Aalst und Ter Hofstede 2005) oder durch ADEPT1 und ADEPT2 (Reichert und Dadam 2009) gegeben. Ferner existiert eine stets wachsende Menge an modernen kommerziellen und frei verfügbaren Produkten, wie sie z. B. durch Signavio in Form der Business Transformation Suite¹ oder durch Camunda in Form der Camunda Plattform² gegeben sind.

3.2 Flexibilitätsaspekte von Geschäftsprozessen

Im Rahmen von Industrie 4.0-Anwendungen stehen insbesondere flexible und anpassbare Geschäftsprozesse im Vordergrund. Hinsichtlich der hohen Verfügbarkeit von Informationen in und über eine Industrie 4.0 Produktionsumgebung bzw. den beteiligten Wertschöpfungsnetzwerken sind verschiedene Flexibilitätsaspekte von Geschäftsprozessen von Interesse. In diesem Abschnitt wird daher eine existierende Taxonomie (Reichert und Weber 2012) dieser Aspekte zusammenfassend dargestellt. Der Vollständigkeit halber wird an dieser Stelle darauf verwiesen, dass neben den hier genannten Flexibilitätsaspekten auch weitere in der Literatur zu findene Taxonomien existieren, die je nach Perspektive ebenfalls relevant sein können (Van der Aalst und Jablonski 2000; Daoudi und Nurcan 2007; Regev et al. 2006; Snowdon et al. 2007). Im Folgenden wird detaillierter auf die von Reichert und Weber (2012) vorgestellte Taxonomie mit den vier Typen von Flexibilitätsaspekten Variabilität, Adaption, Evolution und Looseness eingegangen.

Unter dem ersten Flexibilitätsaspekt Variabilität wird der Umgang mit verschiedenen Prozessvarianten in Abhängigkeit zu einem bestimmten Kontext verstanden. Verschiedene Prozessvarianten besitzt einen gemeinsamen Kernprozess. Der Kernprozess enthält variable Anteile, die je nach Kontext bzw. Situation durch eine Prozessvariante ersetzt werden können. Welche Prozessvariante in einem bestimmten Kontext in dem variablen Teil des Kernprozess verwendet wird, kann von unterschiedlichen Faktoren abhängig sein. So könnte es bei der Fertigung in Industrie 4.0-Anwendungen verschiedene Prozessvarianten geben, die sich auf einen individualisierbaren Teil des zu fertigenden Produktes beziehen. Alternativ sind aber auch zeitliche Unterschiede hinsichtlich der Ausführung von Arbeitsprozessen im Mehrschicht- und Wochenendbetrieb denkbar. So können Prozessvarianten z. B. aufgrund von unterschiedlichen Lichtverhältnissen oder gesetzlichen Regelungen in Bezug zur Beschäftigung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter notwendig sein. Variabilität ist somit ein Flexibilitätsaspekt, der in unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus eines Prozesses relevant ist. So müssen zum einen in der Phase Design und Analyse sowohl der Kernprozess als auch mögliche Prozessvarianten identifiziert, modelliert und analysiert werden. Zum anderen müssen in der Phase Enact-

¹<https://www.signavio.com/de/products/business-transformation-suite>.

²<https://camunda.org>.

ment Kontext-spezifische Parameter durch die Prozessausführungsumgebung ausgewertet werden können, sodass eine passende Prozessvariante ausgeführt wird.

Der Flexibilitätsaspekt Adaption bezieht sich auf die Fähigkeit einer Ausführungsumgebung, aktuelle Prozessinstanzen in Anlehnung an auftretende Ereignisse anzupassen. Derartige Ereignisse können eine Adaption oder auch Anpassung des Prozesses in Form seiner Struktur oder Verhaltens auslösen, wenn die ausgeführte Prozessinstanz bestehende Anforderungen verletzt. Eine zu einem Ereignis zugehörige Anpassung eines Prozesses kann dabei für vorhergesehene Ereignisse bereits in der Phase Design und Analyse in Form einer Anpassungslogik definiert werden.

Dabei existieren grundsätzlich die beiden Typen der vorhersehbaren und unvorhersehbaren Ereignisse. Für typische und bereits bekannte Ausnahmen und Fehler kann es eine ereignisorientierte Behandlung geben, die adäquat Änderungen an den ausgeführten Prozessen durchführt. Für Menschen-zentrierte, adaptive Arbeitsprozesse kann dies bedeuten, dass sich die durch die Prozessausführungsumgebung ausgeführten Prozessinstanzen an neue Gegebenheiten durch die involvierten Mitarbeiterinnen oder Mitarbeiter anpassen. Ein Beispiel für eine Ausnahme bzw. Fehlerbehandlung aus dem in Abschn. 2.1 dargestellten Anwendungsszenario ist durch die Beobachtung der aktuellen Herzfrequenz der Mitarbeiter A1 und A2 gegeben. Hier könnten in Anlehnung an die Belastungsprofile verschiedenste Maßnahmen für den Fall einer Überschreitung der maximal erlaubten Herzfrequenz, wie z. B. ungeplante Pausen oder Arbeitsplatzinspektionen durch Vorgesetzte, bereits in der Phase des Designs gestaltet werden.

Für unvorhergesehene Ereignisse ist es dabei jedoch schwer, eine konkrete Anpassungslogik für den Prozess bereits frühzeitig in der Phase Design und Analyse zu beschreiben, da sowohl das Ereignis als auch eine zugehörige angemessene Anpassung bis dato unbekannt sind. Dennoch sollte es auch für unvorhersehbare Ereignisse eine Behandlung geben. Es ist z. B. denkbar, dass der betroffene Prozess beim Auftreten eines unvorhergesehenen Ereignisses falls möglich gestoppt und ein weiterer Prozess zur Klärung der Situation gestartet wird. Das Ergebnis dieses neuen Prozesses könnte eine neue Anpassungslogik zur Behandlung des bis dahin unbekannten Ereignisses sein, sodass zukünftig auftretende Ereignisse des gleichen Typs ebenfalls berücksichtigt werden könnten. Eine derartige Behandlung hat dabei nicht den Zweck der Anpassung des Prozesses, während dessen Ausführung das Ereignis erschien. Stattdessen stellt sie stellvertretend eine Maßnahme dar, um auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren. Dabei ist anzumerken, dass trotz derartiger Maßnahmen zur Behandlung von unvorhergesehenen Ereignissen auch immer wieder Ereignisse auftreten können, für die selbst diese Maßnahme ungeeignet sein kann.

Neben den beiden Ereignistypen muss ebenfalls zwischen unterschiedlichen Typen von Anpassungen unterschieden werden. So können derartige Änderungen sowohl temporär als auch dauerhafter Natur sein. Eine temporäre Anpassung kann sowohl eine einzelne als auch andere existierende Prozessinstanzen betreffen. Die Anpassung ist jedoch für zukünftige Prozessinstanzen nicht anzuwenden. Im Gegensatz hierzu sind auch zukünftige Prozessinstanzen von einer dauerhaften Änderung betroffen.

Der Lebenszyklus von Prozessen erlaubt mehrere Iterationen, sodass bestehende Prozessmodelle hinsichtlich der Erfüllung von aktuellen, an sie gestellten Anforderungen überarbeitet werden können. Eine derartige Überarbeitung existierender Prozessmodelle findet im Rahmen einer neuen Iteration des Lebenszyklus von Geschäftsmodellen statt. Dabei kann es insbesondere bei Prozessen mit einer langen Laufzeit zu Verletzungen hinsichtlich der Instanz-Typ Relation kommen. Die Instanz-Typ Relation beschreibt, dass eine Prozessinstanz auf Basis eines bestimmten Prozessmodells (Typ) erstellt worden ist. Ändert sich das Prozessmodell, so ist eine derartige valide Relation nicht mehr gewährleistet. Der Flexibilitätsaspekt Evolution behandelt Mechanismen zur Unterstützung von evolutionären Änderungen von Prozesstypen. Hier sind insbesondere Mechanismen gemeint, die sicherstellen, dass Änderungen an Prozesstypen sowohl neue als auch derzeit ausgeführte Prozessinstanzen betreffen und so die Instanz-Typ Relation erhalten werden kann.

Der Flexibilitätsaspekt hat dabei eine besondere Bedeutung für Arbeitsprozesse. So muss z. B. im vorgestellten Anwendungsszenario sichergestellt werden, dass die beiden durch die Mitarbeiter A1 und A2 ausgeführten Prozessinstanzen für die Montage zum einen einheitlich und zum anderen zu dem zugehörigen Geschäftsmodell in korrekter Instanz-Typ Relation stehen. So könnte das Prozessmodell zur Montage des kundenindividuellen Produktes z. B. aufgrund einer fehlerhaften Beschreibung der Reihenfolge einzelner Aktivitäten aktualisiert werden. Sind laufende Instanzen des alten Prozessmodells vorhanden, wird im Rahmen dieser Instanzen die falsche Reihenfolge der Aktivitäten angewendet. Als Folge könnten fehlerhaft montierte Produkte gefertigt werden. Alternativ könnte eine Anpassung an existierenden Prozessmodellen zur Anwendung von Menschen-zentrierten Maßnahmen auch schwerwiegende Auswirkungen haben. Hier kann es in Bezug zu den Montageprozessen aufgrund von rechtlichen Gegebenheiten zu Konflikten zwischen bestehenden und veralteten Arbeitsplatzgestaltungsrichtlinien kommen.

Der letzte durch Reichert und Weber (2012) beschriebene Flexibilitätsaspekt ist Looseness, was insbesondere wissensintensive Prozesse betrifft. Wissensintensive Prozesse kennzeichnen sich nach Reichert und Weber (2012) dadurch aus, dass sie nicht wiederholbar sind. Darüber hinaus ist die Reihenfolge der Aktivitäten hochgradig spezifisch für eine konkrete Situation, wodurch sie nicht vorhersehbar ist. Beschreibungen von wissensintensiven Prozessen zeichnen sich daher häufig dadurch aus, dass der Kontrollfluss nicht explizit modelliert wird. Stattdessen werden Regeln definiert, mit denen erlaubte und nicht erlaubte Abhängigkeiten zwischen einzelnen Aktivitäten spezifiziert werden können. Eine IT-gestützte Ausführung eines solchen Prozesses zeichnet sich dadurch aus, dass alle möglichen Reihenfolgen erlaubt sind, die nicht durch eine bestehende Regel verboten sind.

Im Rahmen des Anwendungsszenarios könnte es sich bei den Montageprozessen um wissensintensive Prozesse handeln. Dies würde bedeuten, dass die Mitarbeiter A1 und A2 an bestimmten Punkten der Montage die Freiheit hätten, sich für die nächsten anzuwendenden Montageschritte zu entscheiden. Hierdurch kann persönlichkeitsfördernde Arbeit unterstützt werden, da z. B. Anforderungsvielfalt und ein gewisser Grad an Autonomie bei den zu bewerkstellenden Aufgaben besteht. Ferner sind aber auch Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten der Mitarbeiter A1

und A2 durch eine wenig beschränkte Prozessausführung gegeben, da neue Kombinationen von Reihenfolgen bei der Montage möglich sind.

3.3 Geschäftsprozessmodellierung

Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die Gestaltung von Prozessen mittels bestehender Prozessmodellierungssprachen. Nach Gadatsch (2008) lassen sich Geschäftsmodellierungssprachen in die drei Kategorien datenflussorientiert, kontrollflussorientiert und objektorientiert einteilen. Eine Zusammenfassung von in Gadatsch (2008) genannten diagrammbasierten Sprachen in Zuordnung zu einer der drei zuvor genannten Kategorien ist in Abb. 2 dargestellt. Dabei ist zu erwähnen, dass eine Vielzahl an existierenden Sprachen zur Beschreibung von Prozessen existiert, wodurch sich im Folgenden auf ausgewählte graphische Gestaltungssprachen beschränkt wird. Der Fokus liegt dabei speziell auf BPMN 2.0, da es durch seine Verbreitung in der Industrie zum de-facto-Standard geworden ist.

Eine Sprache für die Geschäftsmodellierung sollte dabei in der Lage sein, geschäftliche Abläufe durch grundlegende Konzepte wie etwa die Benennung von notwendigen Informationen, den einzelnen Tätigkeiten, Ablaufbeziehungen sowie die Zuordnung von Rollen zu beschreiben. Hierzu wird in der Literatur (Kurbel et al. 1997) auf die folgenden Konzepte eingegangen:

- Prozessschritte
- Abhängigkeiten
- Objekte
- Aufgabenträger

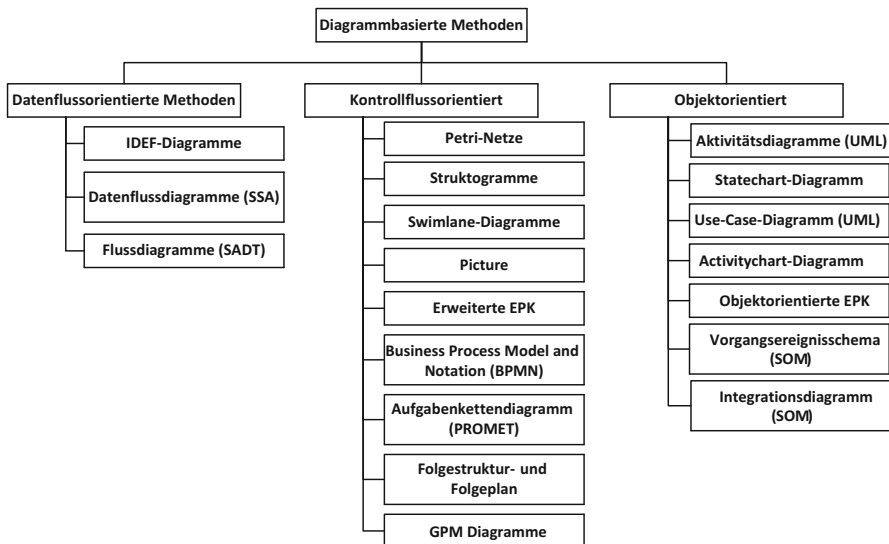


Abb. 2 Klassifikation von Geschäftsprozessmodellierungssprachen nach Gadatsch (2008)

Mittels Prozessschritten wird dabei beschrieben, welche einzelnen Tätigkeiten innerhalb eines geschäftlichen Ablaufs notwendig sind. Ein Arbeitsprozess zur Montage eines (Teil-)Produktes könnte so die einzelnen Montageschritte enthalten. Damit die richtige Reihenfolge von Montageschritten eingehalten wird, existieren zwischen einzelnen Prozessschritten Abhängigkeiten, die die zeitliche Reihenfolge der Prozessschritte bestimmt. Die Verkettung einzelner Prozessschritte durch Abhängigkeiten wird daher auch Kontrollfluss genannt.

Da in einem Montageschritt nicht nur die Aufgabe in Form der eigentlichen Montage, sondern auch (Teil-)Produkte eine wesentliche Rolle spielen, wird das Konzept der Objekte benötigt. Objekte werden im Rahmen eines Prozessschritts erstellt, bearbeitet oder gelöscht und können zwischen einzelnen Prozessschritten ausgetauscht werden. Neben real-weltlichen Gegenständen, wie etwa ein Montage-
teil, können Objekte aber auch aus der Informationswelt entstammen. Beispiele hierfür sind E-Mails oder digitale Dokumente. Wird ein Objekt in mehreren Prozessschritten verwendet, so spricht man in diesem Bezug auch von Datenfluss, Objektfluss oder Informationsfluss.

In einem geschäftlichen Ablauf sind darüber hinaus häufig auch eine Reihe von unterschiedlichen Aufgabenträgern beteiligt, die die Ausführung einzelner Prozessschritte übernehmen. Beispiele für derartige Aufgabenträger in Industrie 4.0-Anwendungen sind Maschinen oder Roboter, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, IT-Systeme oder organisatorische Einheiten. Aufgabenträger werden häufig durch Rollen beschrieben, die darüber hinaus auch Zugriffsrechte auf Objekte oder die Legitimation zur Durchführung von Prozessschritten enthalten. Nachfolgend wird auf ausgewählte Sprachen für die Geschäftsprozessmodellierung eingegangen.

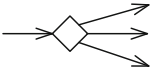
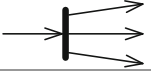
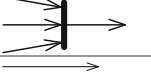
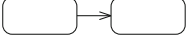
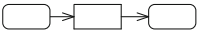
3.3.1 UML-Aktivitätsdiagramme

Die Unified Modeling Language (UML) (OMG 2015) stellt einen industriellen Standard dar, der unterschiedlichste Modellierungsaspekte von modernen Systemen beinhaltet. Neben Beschreibungen für die Struktur von Systemen wird auch die Modellierung von Systemverhalten unterstützt. Geschäftliche Abläufe können als ein solches Verhalten z. B. mittels State-Chart-Diagrammen (SCD) oder Aktivitätsdiagrammen (AD) beschrieben werden. Durch ein AD kann ein geschäftlicher Ablauf in Form einer Sequenz einzelner Aktivitäten beschrieben werden. Eine Sequenz kann ebenso über Verzweigungen verfügen, mit deren Hilfe konditional-abhängige Sequenzen (ODER) beschreibbar sind. Durch das Sprachkonstrukt Teilung sind darüber hinaus aber auch parallele (Teil-)Sequenzen (UND) möglich. In Tab. 1 ist eine Übersicht der wichtigsten Elemente gegeben.

3.3.2 BPEL

Die Business Process Execution Language (BPEL oder BPEL4WS) (OASIS 2007) wird für die Beschreibung von Prozessen und zur Orchestrierung von Webservices eingesetzt. BPEL wird durch die Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) entwickelt und liegt derzeit in der Version 2.0 vor. Bei BPEL handelt es sich ferner um eine Block-orientierte Beschreibungssprache, mit deren Hilfe die Reihenfolge einzelner Aktivitäten in einem geschäftlichen Ablauf beschrieben werden kann. Die Spezifikation von BPEL enthält neben der

Tab. 1 Übersicht der Grundelemente von UML-Aktivitätendiagrammen

Symbol	Konstrukt	Beschreibung
	Start	Startpunkt eines Ablaufs – maximal jedoch ein Startpunkt pro Diagramm.
	Aktivität	Aktivität
	Objekt	Objekt
	Verzweigung bzw. Zusammenführung (ODER)	Verzweigung oder Zusammenführung eines Kontrollflusses.
	Teilung (Parallelisierung)	Parallelisierung bzw. (Auf-)Teilung einer Sequenz.
	Synchronisierung (UND)	Zusammenführung eines Kontrollflusses.
	Kontrollfluss	Richtung eines Kontrollflusses. Beispiel eines Kontrollflusses zwischen zwei Aktivitäten.
	Objektfluss	Richtung eines Objektflusses. Beispiel eines Objektflusses zwischen zwei Aktivitäten.
		
	Ende	Endpunkt eines Ablaufs – dabei sind mehrere Endpunkte in einem Diagramm erlaubt.

abstrakten Syntax ebenso deren Semantik und kann daher ausgeführt werden. Da menschliche Interaktionen in BPEL ursprünglich nicht vorgesehen waren, wurde die Erweiterung BPEL4People (Agrawal et al. 2007) vorgestellt. Aus diesem Grund steht seit 2007 die BPEL-Erweiterung BPEL4People zur Verfügung, die rollenbasiert die Interaktion von Menschen miteinbezieht. Aufgaben in geschäftlichen Abläufen, die durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter übernommen werden sollen, können durch die sogenannte People Activity modelliert werden.

3.3.3 BPMN 2.0

Die Business Model and Notation (BPMN) ist ein de-facto-Standard für die Modellierung von verschiedenen Aspekten des GPMs. BPMN wird durch die Object Management Group (OMG) entwickelt und verfügt seit der Version 2.0 über insgesamt vier unterschiedliche Diagrammtypen. Darunter befinden sich Business Process Diagramme (BPD), mit denen geschäftliche Abläufe beschrieben werden können. Da an geschäftlichen Abläufen häufig unterschiedliche inter- und intraorganisatorische Rollen beteiligt sind, existieren zudem die drei weiteren Diagrammtypen Kollaboration, Konversation und Choreographie, deren Fokus auf der Modellierung der Zusammenhangskomponenten zwischen unterschiedlichen Prozessen und Rollen, wie z. B. dem Nachrichtenfluss, liegt. Darüber hinaus sind in BPMN 2.0 Sprach-

konstrukte zur Spezifikation von menschlichen Aktivitäten, sogenannte User Tasks oder Manual Tasks, enthalten. Dabei stehen User Tasks für Aktivitäten, die durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unter Verwendung einer Softwareapplikation durchgeführt werden. Ein Beispiel für derartige Aktivitäten sind zugewiesene Aufgaben, wie z. B. in einer Aufgabenliste in einem Ticket-System. In einem solchen System ist es denkbar, dass Aufgaben angenommen, abgelehnt oder aktuell bearbeitet werden. Die Durchführung solcher Aktivitäten ist in derartigen Anwendungen oft eng mit einem IT-System verknüpft. Im Gegensatz hierzu stehen Manual Tasks, bei deren Ausführung man annimmt, dass keine Unterstützung durch ein IT-System vorhanden ist. Eine Verknüpfung mit einem IT-System ist daher nicht zwingend vorgesehen. Neben den zuvor genannten Diagramm- und Aktivitätstypen wurde in der Version 2.0 zudem die Ausführungssemantik für BPMN 2.0 Diagramme definiert, sodass sie mittels einer Execution Language ausgeführt werden können. Eine Übersicht ausgesuchter Elemente der BPMN2.0 ist in Tab. 2 dargestellt.

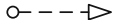
4 Zusammenfassung und Ausblick

In den vorherigen Abschnitten wurde auf einen sich vollziehenden perspektivischen Wandel in der Sichtweise auf Produktionsumgebungen eingegangen. So sind Industrie 4.0 Produktionsumgebungen in Form von Smart Factories nicht mehr nur technische, sondern viel mehr sozio-technische Systeme. Dieser Paradigmenwechsel hat ebenso Einfluss auf die in einer solchen vernetzten Umgebung eingesetzten Arbeits- und Produktionsprozesse. So gilt neben technischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten auch der Mensch als ein nicht zu vernachlässigender Faktor, deren Aspekte bereits frühzeitig im Entwurf von Produktionsumgebungen und ihrer Arbeits- und Produktionsprozesse berücksichtigt werden müssen.

Darüber hinaus wurde beschrieben, dass Industrie 4.0-Anwendungen aufgrund ihres hohen Grades an miteinander vernetzten Aspekten und der damit verbundenen Verfügbarkeit von Daten und Informationen besonders geeignet für bedarfsorientierte Anpassungen an der Produktionsumgebung sowie ihrer Prozesse sind. Hierdurch wird es möglich, die Arbeitsprozesse nicht nur Menschen-zentriert, sondern zudem auch adaptiv zu gestalten. Das Resultat hiervon könnten flexible, Menschenzentrierte und adaptive Arbeitsprozesse sein, die in der Lage sind, auf Belange von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu reagieren und entsprechend adaptiv sind.

Um dieses Potenzial ausschöpfen zu können, muss im Rahmen einer interdisziplinären Forschung untersucht werden, wie verschiedenste Aspekte von Industrie 4.0-Anwendungen identifizierbar und in Relation setzbar sind. Das dadurch gewonnene Wissen kann dann im Anschluss zur Erweiterung bestehender Modellierungssprachen für Prozesse genutzt werden. Erst hierdurch kann eine ganzheitliche Gestaltung von Arbeitsumgebungen ermöglicht werden, die insbesondere solche Aspekte adressiert, die im Rahmen einer Flexibilisierung und Menschenzentrierung

Tab. 2 Übersicht einiger Grundelemente von BPMN 2.0 Prozessdiagrammen

Symbol	Konstrukt	Beschreibung
  	Start-Ereignis (start) Ende-Ereignis (end) Zwischenereignis (intermediate)	Ereignisse treten während dem Ablauf eines Prozesses auf. Ereignisse können auslösend (start) sein oder eine Aktivität beenden (end). Darüber hinaus existieren Zwischenereignisse (intermediate). Neben den drei Standardtypen (start, intermediate und end) existieren weitere Ereignisse zur Behandlung von Spezialfällen.
   	Aktivität (Task) Aktivität mit Unterprozessen Manual Task User Task	Eine atomare Aktivität (Task) beschreibt einen einzelnen Prozessschritt. Eine Aktivität kann darüber hinaus auch aus Unterprozessen zusammengesetzt sein, was durch ein Plus-Symbol angedeutet wird. Das Handsymbol auf einer Aktivität bezeichnet einen Manual Task. Das Symbol eines menschlichen Akteurs auf einer Aktivität bezeichnet einen User Task.
 	Datenobjekt (Ein- und Ausgabe)	Datenobjekte zeigen an, welche Daten als Ein- (heller Pfeil) oder Ausgabe (dunkler Pfeil) benötigt werden.
    	Entscheidung (Gateway)	Entscheidungen (Gateways) sind Teilungs- bzw. Synchronisationspunkte. Es existieren mehrere Logiken, wie etwa OR, AND, XOR und eventbasierte Entscheidungen.
  	Kontrollfluss (Sequence flow) Nachrichtenfluss (Message flow) Konditionalfluss (Conditional flow)	Der Kontrollfluss beschreibt die zeitliche Abfolge von Aktivitäten. Der Nachrichtenfluss beschreibt den Austausch von Nachrichten zwischen Aktivitäten. Ein Konditionalfluss ist ein Kontrollfluss, der an eine Bedingung geknüpft ist. Sofern die Bedingung erfüllt ist, wird dieser Fluss verfolgt.

von Prozessen relevant sein können. Ferner muss ergänzend auch eine geeignete Integration für das methodische Vorgehen in den Entwurfsprozess, hier z. B. in spezifischen Phasen des BPM-Lebenszyklus, untersucht und beschrieben werden.

Neben der interdisziplinären Forschung zur Betrachtung verschiedenster Aspekte von Industrie 4.0-Anwendungen sind aber auch Methoden und Techniken zur Beschreibung von Anpassungsvorschriften zu untersuchen, die eine Flexibilisierung und Menschenzentrierung erst ermöglichen. Eine mögliche Basis wurde bereits durch Luckey und Engels (2013) in Form der sogenannten Adapt Cases vorgestellt, auf deren Basis eine Fall-basierte Beschreibung derartiger Anpassungsvorschriften möglich ist. Der genannte Ansatz ist dabei hinsichtlich seiner Eignung in Bezug zum Entwurf von flexiblen, adaptiven und Menschen-zentrierten Prozessen zu untersuchen und falls notwendig zu erweitern.

Literatur

- Agrawal, A., Amend, M., Das, M., Ford, M., Keller, C., Kloppmann, M., ... Zeller, M. (2007). WS-BPEL extension for people (BPEL4People). *Version 1.0*. <http://xml.coverpages.org/BPEL4People-V1-200706.pdf>. Zugegriffen am 12.03.2018.
- Becker, T., & Knop, C. (Hrsg.). (2015). *Digitales Neuland: Warum Deutschlands Manager jetzt Revolutionäre werden*. Wiesbaden: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-09692-2>.
- Bettenhausen, K. D., & Kowalewski, S. (2013). *Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation*. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik.
- Binner, H. F. (2014). Industrie 4.0 bestimmt die Arbeitswelt der Zukunft. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 131(7), 230–236. <https://doi.org/10.1007/s00502-014-0216-y>.
- Carmona, J., Engels, G., & Kumar, A. (Hrsg.). (2017). Business process management. In *Information Systems and Applications, incl. Internet/Web, and HCI*, Proceedings of BPM 2017, Barcelona, Spain, September 10–15, 2017. Berlin: Springer.
- Daoudi, F., & Nurcan, S. (2007). A benchmarking framework for methods to design flexible business processes. *Software Process: Improvement and Practice*, 12(1), 51–63.
- Gadatsch, A. (2008). *Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker*. Berlin: Springer.
- Industrie 4.0. (2015). Whitepaper FuE-Themen. <https://www.din.de/blob/67744/de1c706b159a6f1baceb95a6677ba497/whitepaper-fue-themen-data.pdf>. Zugegriffen am 12.03.2018.
- Kaufmann, T. (2015). *Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge: Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit*. Berlin: Springer.
- Kleinjohann, B., Kleinjohann, L., & Engels, G. (2013). *Cyber Physical Devices – Die Schnittstelle zwischen Cyberspace und realer Welt*. Wuppertal: Clustermanagement IKT.NRW.
- Kurbel, K., Nenoglu, G., & Schwarz, C. (1997). Von der Geschäftsprozeßmodellierung zur Workflowspezifikation – Zur Kompatibilität von Modellen und Werkzeugen. *HMD Theorie und Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 198, 66–82.
- Luckey, M., & Engels, G. (2013). High-quality specification of self-adaptive software systems. *Proceedings of 8th international symposium on software engineering for adaptive and self-managing systems*, 143–152. <https://doi.org/10.1109/SEAMS.2013.6595501>.
- Ludwig, T., Kotthaus, C., Stein, M., Durt, H., Kurz, C., Wenz, J., ... Wulf, V. (2016). Arbeiten im Mittelstand 4.0–KMU im Spannungsfeld des digitalen Wandels. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 53(1), 71–86. <https://doi.org/10.1365/s40702-015-0200-y>.
- Nerdinger, F. W., Blickle, G., & Schaper, N. (Hrsg.). (2008). *Arbeits- und Organisationspsychologie* (S. 445–458). Berlin: Springer.
- OASIS. (2007). Web Services Business Process Execution Language (WS-BPEL) Version 2.0. Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS). <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>. Zugegriffen am 12.03.2018

- OMG. (2011). Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0. <http://taval.de/publications/BPMN20>. Zugegriffen am 12.03.2018.
- OMG. (2015). Unified Modeling Language (UML): Activity diagrams. <http://www.omg.org/spec/UML/2.5/>. Zugegriffen am 12.03.2018.
- Radhakrishnan, P., Subramanyan, S., & Raju, V. (2008). *CAD/CAM/CIM*. New Delhi: New Age International.
- Regev, G., Soffer, P., & Schmidt, R. (2006). Taxonomy of flexibility in business processes. *Business Process Modeling, Development, and Support (BPMDS)*, 236, 90–93.
- Reichert, M., & Dadam, P. (2009). Enabling adaptive process-aware information systems with ADEPT2. In J. Cardoso & W. van der Aalst (Hrsg.), *Handbook of research on business process modeling* (S. 173–203). Hershey, NY: Information Science Reference. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/476/>. Zugegriffen am 12.03.2018.
- Reichert, M., & Weber, B. (2012). *Enabling flexibility in process-aware information systems challenges, methods, technologies*. Berlin: Springer.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Snowdon, R. A., Warboys, B., Greenwood, R. M., Holland, C. P., Kawalek, P., & Shaw, D. R. (2007). On the architecture and form of flexible process support. *Software Process: Improvement and Practice*, 12(1), 21–34.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Van der Aalst, W. M. P. (2011). *Process mining: Discovery, conformance and enhancement of business processes* (S. 125–156). Berlin: Springer.
- Van der Aalst, W. M. P., & Jablonski, S. (2000). Dealing with workflow change: Identification of issues and solutions. *Computer Systems Science and Engineering*, 15(5), 267–276.
- Van der Aalst, W. M. P., Hofstede ter, A. H. M., & Weske, M. (2003). Business process management: A survey. In W. M. P. van der Aalst, & M. Weske (Hrsg.), *Business process management. BPM 2003. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2678, (S. 1–12). Berlin: Springer.
- Van der Aalst, W., & Ter Hofstede, A. H. M. (2005). YAWL: Yet another workflow language. *Information systems*, 30(4), 245–275.
- Weske, M. (2012). *Business process management: Concepts, languages, architectures* (S. 333–371). Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-28616-2>.
- Wieland, M. (2013). Methoden zur Modellierung und Ausführung kontextbezogener Workflows in Produktionsumgebungen. Dissertation, Universität Stuttgart. <https://pdfs.semanticscholar.org/eb48/83f5d8f9c110afceaa4c0cb35538a40b7518.pdf>. Zugegriffen am 12.03.2018.

Mitbestimmung 4.0: Die digitale Arbeit menschenwürdig gestalten

Wolfgang Nettelstroth und Gabi Schilling

Inhalt

1	Einleitung	246
2	Beteiligung und Mitbestimmung in Zeiten digitaler Arbeit: Mitbestimmung 4.0	249
3	Digitalisierung als soziotechnisches System – Herausforderung für Geschäftsführungen, Betriebsräte und IG Metall	255
4	Wie wird Beteiligung und Mitbestimmung praxisrelevant?	259
5	Fazit: Mitbestimmung 4.0 – Erfolgskonzept für Unternehmen und Beschäftigte	265
	Literatur	266

Zusammenfassung

Die Auseinandersetzung um die Gestaltung von „Industrie und Arbeit 4.0“ bietet einen Vorteil: Sowohl die digitalen Technologien als auch die diese nutzende Arbeitsorganisation werden gerade erst entwickelt. Es handelt sich um einen noch offenen Prozess, der sich in unterschiedlicher Intensität und Geschwindigkeit in den Unternehmen vollzieht – mit jeweils unterschiedlichen Auswirkungen und Möglichkeiten. Die sich durch Digitalisierung und Vernetzung verändernde Arbeitswelt wirtschaftlich und sozial besser zu machen – statt einfach nur schlanker und billiger – ist ein lohnendes Leitbild für diesen Prozess. Eine Mitbestimmung 4.0 ist ein unverzichtbares Element dieses Leitbilds.

In einem Umbruchprozess dieser Größenordnung gibt es divergierende Interessen der beteiligten Akteure, in dem Mitbestimmung wesentlich zum Interessenausgleich beitragen kann. Eine komplexe, vernetzte 4.0-Welt erfordert eine Mitbestimmungskultur, die Transparenz über Chancen und Risiken schafft, die Technik- und Arbeitsgestaltung ganzheitlich verbindet und die Beschäftigte an der Gestaltung ihrer Zukunft beteiligt.

W. Nettelstroth (✉) · G. Schilling
IG Metall Bezirksleitung Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Deutschland
E-Mail: wolfgang.nettelstroth@igmetall.de; Gabi.Schilling@igmetall.de

Schlüsselwörter

Betriebsrat · Mitbestimmung 4.0 · Arbeit 4.0 · Beteiligung · Betriebslandkarte

1 Einleitung

Die Grundidee des Betriebsverfassungsgesetzes und der Mitbestimmungsgesetze, durch gesetzlich verbriefte Beteiligungsrechte die kollektive Interessenwahrnehmung der Beschäftigten im Betrieb zu gewährleisten, wird durch den digitalen Wandel herausgefordert. Denn es ändern sich die Rahmenbedingungen für die betriebliche Mitbestimmungspraxis maßgeblich.¹ Zu nennen sind in diesem Zusammenhang: veränderte Unternehmensstrukturen (Matrixorganisationen), weltweit vernetzte Produktionssysteme, Produktion in Echtzeit, zunehmend entgrenzte Arbeitszeiten und Arbeitsorte, gravierend veränderte Tätigkeitsprofile, die neuen Möglichkeiten des Auslagerns von Arbeit in die Crowd, die Definition des Betriebsbegriffs und nicht zuletzt die umfassende Speicherung und Kopplung von Arbeitnehmer- und Unternehmensdaten. Mitbestimmung muss Antworten auf diese Veränderungen finden, um für die besseren Lösungen wirksam zu bleiben.

Die klassische Rolle der Interessenvertretung durch Betriebsräte und Gewerkschaften besteht meist darin, die Folgen eines wirtschaftlichen Versagens oder eines strukturellen Umbruchs reaktiv zu bearbeiten. Der Interessenausgleich und der Sozialplan oder die tarifvertraglichen Abweichungsregelungen können in Unternehmenskrisen geeignete Instrumente sein. Für die Gestaltung der zukünftigen digitalen Arbeit sind neue und offensivere Wege der Einflussnahme und Mitbestimmung erforderlich, mit eigenen Gestaltungsanforderungen.

In unserem Beitrag geht es um diese neuen Wege zur Arbeit und Mitbestimmung 4.0. Denn die Investitionen in die Technik- und IT-Landschaft sind erheblich, vergleichbare Investitionen in die Wege zu einer menschengerechten Arbeitsgestaltung, deren Garant in den Betrieben die Mitbestimmung ist, sind dagegen noch sehr ausbaufähig.

Ein dem Leitbild der Industrie- und Technikentwicklung entsprechendes Leitbild Arbeit 4.0 muss enthalten, Beteiligung und Mitbestimmung zu stärken. Dies gilt auch aus wirtschaftlichen Gründen, denn aktive Beteiligung und Mitbestimmung sind Erfolgsfaktoren für die Qualität dieser Investitionen. Erfolgreiche Digitalisierungsprozesse brauchen innovationsförderliche Rahmenbedingungen und dazu gehören neben der Infrastruktur, Normsetzungen, Datensicherheit, geeigneten Formen der Aus- und Weiterbildung „nicht zuletzt . . . (der) Ausbau einer funktionierenden Sozialpartnerschaft im Sinne einer gemeinsamen Gestaltung der Arbeitswelt 4.0“ (Möller 2015, S. 10).

¹Siehe hierzu auch den Beschluss des DGB-Bundesvorstandes vom 12. Juli 2016: „Offensive Mitbestimmung“, insbesondere Abschn. 2.2 und 2.3 (DGB-Bundesvorstand 2016, S. 4–10).

Die Arbeitswelt 4.0 gestalten muss daher auch heißen, Beteiligung und Mitbestimmung als Erfolgsfaktoren für die Qualität dieser Investitionen zu stärken. Denn die erfolgreiche Umsetzung von Veränderung erfordert eine motivierte und engagierte Belegschaft. Das setzt Transparenz zwischen den betrieblichen Akteuren voraus, denn mit Chancen wie Risiken lässt sich auf der Grundlage umfassender Information bewusster umgehen. Offenheit hilft Ängste zu mindern, Blockaden zu vermeiden, Veränderungsfähigkeiten zu stärken. Entstehende Interessenkonflikte lassen sich frühzeitig thematisieren und konstruktiv austragen. Aber mehr noch: Auch Potenziale für Verbesserungen werden durch Mitbestimmung und Beteiligung der Beschäftigten erst aufgedeckt.

Entscheidend dafür sind die Unternehmenskulturen. Werden gemeinsam mit den Menschen Innovationspotenziale erschlossen, sind Betriebsräte mitbestimmend beteiligt, wachsen die Chancen, die Arbeitsplätze am Standort zu sichern und neue Arbeit zu schaffen. Das ist die Voraussetzung, damit Arbeitsbedingungen menschengerechter, Qualifikationen aufgewertet und Einkommen gesichert und gesteigert werden. Beteiligung und Mitgestaltung in diesem Sinne zu stärken, hat sich die IG Metall zur Aufgabe gemacht. „Mitbestimmung 4.0“ heißt genau dies: vorausschauend denken, frühzeitig mitwirken/beteiligen, mitgestalten und mitbestimmen.

Für die IG Metall geht es um den Erhalt und den Ausbau von Mitbestimmung *und* Selbstbestimmung am Arbeitsplatz und nicht – wie es immer öfter in der Debatte um die „Demokratisierung der Wirtschaft“ zu hören ist – um Selbstbestimmung *statt* Mitbestimmung (so z. B. Sattelberger et al. 2015).

Dass die technologische Entwicklung Arbeit und Arbeitsbedingungen immer schon entscheidend beeinflusst hat und mit jeder technologischen Entwicklung auch Rationalisierungsgewinne erzielt werden sollten, ist eine Binsenweisheit. Auch die heutige Digitalisierung muss sich rechnen, wie jede andere Investition. Verbunden mit zusätzlichem Kundennutzen, erweiterten Marktzugängen oder neuen Märkten kann das zu gesicherter und zusätzlicher Beschäftigung führen, beschränkt auf die Rationalisierungswirkungen kann es aber auch Arbeitsplätze kosten. Auf welche Weise Technologien strategisch eingesetzt werden, auch und gerade mit Bezug zu Arbeit, ist immer neu zu entscheiden und folgt vielfach politischen und ökonomischen Zielsetzungen. „Der Diskurs zu Industrie 4.0 verläuft häufig zu technisch und national zentriert. (...) Der Ursprung und die Intention des Diskurses sind nicht rein technisch, sondern vor allem ökonomisch motiviert; sie folgen internationalen Strategien, denen nationale Politik eher nacheilt, statt voranzugehen. Dass wir im Jahr 2015 fast in jeder gesellschaftlichen Sphäre von Industrie 4.0 reden, ist nicht die kausale Folge eines realen Stands technischer Entwicklungen, sondern diskursanalytisch betrachtet ein Fall professionellen agenda-buildings“ (Pfeiffer 2015). Der Diskurs läuft allerdings auf Hochtouren und insofern ist für Gewerkschaften und Interessenvertretungen jetzt die Zeit, die arbeitsorientierte Ausgestaltung von Industrie 4.0 auf die Tagesordnung zu setzen.

Für die Gewerkschaften bieten neue Technologien als „Motor der wirtschaftlichen Entwicklung“ die Chancen technologischen und gesellschaftlichen Fortschritts. Ihr Interesse richtete sich auch schon in der Vergangenheit auf die Potenziale, von denen ein Schub ausgehen kann: Für die Produktivkraftentwicklung, eine

gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit, ein soziales und ökologisch verantwortliches Wachstum und zukunftsfähige Arbeitsplätze (Vahrenkamp 1983). Ob in den Rationalisierungswellen der 1920er- und 1950er-Jahre, bei der Einführung von CIM in die Produktion oder heute anlässlich zunehmend digitalisierter und vernetzter Prozesse: Immer schon mussten Gewerkschaften zwischen Chancen (gesellschaftlicher Fortschritt) und Risiken (durch Technologie bedingte Rationalisierungsprozesse) abwägen. Die gravierenden Umbrüche der Vergangenheit zeigen, dass technologischem Fortschritt keineswegs 1:1 sozialer Fortschritt folgt. Im Gegenteil: Die Technologie- und Rationalisierungswellen der Vergangenheit waren immer auch mit sozialen und regionalwirtschaftlichen Brüchen verbunden. Hohen Erwartungen an Lösungen durch Technologieentwicklung standen immer wieder verfehlte und kontraproduktive Ergebnisse gegenüber. Die Vorläufer der „Industrie 4.0“ wie die „Fabrik der Zukunft“ bei VW (Halle 54), die Umsetzung von Konzepten des „Computer Integrated Manufacturing (CIM)“ oder der Einzug von Industrierobotern in die Produktionshallen seit Beginn der 1980er-Jahre erbrachten unter dem Gesichtspunkt der Qualität von Arbeit durchaus ambivalente Resultate für die Beschäftigten (Menez et al. 2016). Vor allem eine Erkenntnis hat sich aber durchgesetzt: Ohne menschliches Erfahrungswissen und verantwortliches Gestalten kommen noch so avancierte Technologien – auch die digitalen – nicht aus, erweisen sich die erzielten Ergebnisse als zu riskant und zu teuer.

Die Frage nach der zukünftigen (Mit)Gestaltung von Arbeit in einer digitalen Produktions- und Dienstleistungswelt muss deshalb gleichzeitig mit der Technologieentwicklung angegangen werden. Im Unterschied zur alten CIM-Periode ist es den Gewerkschaften diesmal frühzeitig gelungen, das Thema „Arbeit 4.0“ nicht nur im allgemeinen gesellschaftlichen Diskurs zu verankern. Auf der politischen Agenda ist es mittlerweile gesetzt. Die institutionelle Verankerung der Gewerkschaften in der Plattform 4.0 auf Bundesebene und – bezogen auf Nordrhein-Westfalen – in der Allianz für Wirtschaft und Arbeit 4.0 sind als Erfolg zu werten. Als eine wichtige Grundlage dafür zählt die Verankerung in den Betrieben, bei Belegschaften und Betriebsräten, die mit hohem Gestaltungswillen und als gewerkschaftliche Akteure ihre Rollen in diesen Veränderungsprozessen besetzen.

Denn noch eines ist im Vergleich zu den vergangenen technologischen Umbruchprozessen anders: Die Belegschaften in den Unternehmen weisen andere Affinitäten zu digitalen Technologien auf als dies seinerzeit bei CIM der Fall war. Dies liegt vor allem daran, dass digitale Anwendungen bereits fest im Alltagsleben verankert sind und die Vorbehalte gegen digitale Technik nicht nur bei den sog. digital natives schrumpfen. Das heißt nicht, dass die Beschäftigten frei von Sorgen über die Zukunft ihrer Arbeitsplätze sind, es heißt aber sehr wohl, dass sich andere Anknüpfungspunkte für die Mitsprache und Mitgestaltung bei der Technologieentwicklung bieten. Insofern können Gewerkschaften in vielfacher Hinsicht ihre beteiligungsorientierten Gestaltungsansätze in betrieblichen Projekten verankern. Die proaktive Gestaltung zielt auf frühzeitige Beteiligung der Betriebsräte und der Beschäftigten und den sachlich fundierten Dialog mit den Geschäftsführungen. Mitbestimmung 4.0 ist für die Gewerkschaften eine betriebs-, arbeits- und organisationspolitische Zukunftsaufgabe ersten Ranges.

2 Beteiligung und Mitbestimmung in Zeiten digitaler Arbeit: Mitbestimmung 4.0

Auch schon vorangegangene technologische Umbrüche erforderten die aktive Mitgestaltung durch die Interessenvertretungen und die Gewerkschaften. Das Programm zur „Humanisierung der Arbeit“ während der Automationswelle der 1980er-Jahre, das in Nordrhein-Westfalen aufgelegte Folgeprogramm „sozialverträgliche Technikgestaltung“ und die Bemühungen um die Technologiefolgenabschätzung sind Beispiele dafür. Was damals galt, gilt auch heute: Die Chancen neuer Technologien realisieren sich für die Beschäftigten nicht von selbst. Eine systematische Weiterentwicklung aktiver Mitgestaltung bei Industrie 4.0 steckt noch in den Kinderschuhen. In verschiedenen Projekten erarbeiten wir derzeit – gemeinsam mit Betriebsratsgremien, betrieblichen Experten und Vertretern der Geschäftsführung – ein den digitalen Wandel begleitendes (Mit)Gestaltungskonzept (s. hierzu Abschn. 3).

Gestaltung ist gefragt: Soziale und organisatorische Innovationen müssen den Menschen mehr Raum für ihre Beteiligung und Mitgestaltung ermöglichen. Der kommende Wandel lebt von der Kreativität und dem breiten Fach- und Erfahrungswissen der Menschen und ihrer Bereitschaft, ihn mitzugestalten. Wenn demgegenüber die digitalisierte und vernetzte Arbeitswelt der Zukunft für viele Menschen ohne Zugänge, Nutzen und Vorteile bleibt, stößt sie nicht nur schnell an ihre technologischen Entwicklungsgrenzen, sondern droht auch an der fehlenden gesellschaftlichen und betrieblichen Akzeptanz zu scheitern. Aber die IG Metall wie auch die am Projekt Arbeit 2020 beteiligten Einzelgewerkschaften (s. hierzu Abschn. 3) sehen in ihren Gestaltungsprojekten mehr als nur eine Akzeptanzproblematik derjenigen, die sich von neuen Technologien in der Sicherheit ihrer Arbeitsplätze bedroht fühlen. Vielmehr erkennen Führungskräfte, Entwickler und vorausschauende Unternehmensleitungen zunehmend, dass sie ohne die Kompetenzen und ein breites Erfahrungswissen ihrer Belegschaften noch so intelligente Anwendungen nicht „ans Laufen kriegen“. Insofern sind sie am Dialog mit Betriebsräten und Beschäftigten interessiert. Richtig ist, dass dies ein Umdenken erfordert: Weg von der Hochglanzvision von 4.0 als Masterplan hin zu einer gemeinschaftlichen Entwicklungsaufgabe für die Zukunftssicherheit des Standortes. Das ist zumindest dort der Fall, wo über die Standorte auch noch von einem entscheidungsbefugten Management vor Ort entschieden werden kann bzw. Mitbestimmung auf Konzern-/Unternehmensebene funktioniert. Standortbezug ist gerade in dem mittelständisch geprägten Nordrhein-Westfalen – trotz der zunehmenden Verankerung der Unternehmen in globalen Wertschöpfungsketten – mehrheitlich auch heute eine durchaus relevante Größe.

Das klassische Verständnis von betrieblicher Mitbestimmung ist eher auf Nachsorge fokussiert. Nachträglich die Belange der Beschäftigten einzubringen greift jedoch zu kurz. Sind die strategischen Entscheidungen bereits getroffen, ohne hinreichende Beratung mit der Arbeitnehmerseite – ob im Aufsichtsrat, Wirtschaftsausschuss oder in anderer Form – fallen nachträgliche Korrekturen allen Beteiligten oft schwer, selbst bei verspäteter Einsicht. Das Dilemma für die Arbeitgeber- wie die Arbeitnehmerseite liegt hierin: Wie sich aber die strategischen Entscheidungen,

z. B. Investitionen in die neue Technik, praktisch auswirken, bleibt angesichts der Entwicklungsdynamik und Tiefe der Veränderungswirkungen zum Zeitpunkt der Entscheidung häufig noch in vielfacher Hinsicht verborgen. Eine Alternative bieten neue Formen und Wege der Entscheidungsprozesse, beispielsweise über Erprobungen mit Laborcharakter.

Werden die Beschäftigten dabei frühzeitig mit ihrem Blick auf die Chancen und Risiken einbezogen, wird der wechselseitige Qualitätsgewinn absehbar. Beschäftigte werden nicht einseitig mit gestiegenen Anforderungen und Belastungen, Arbeitsintensivierung, Versetzungsplänen, neuen Tätigkeitsprofilen oder Stellenabbau konfrontiert. Wer von Beginn an die Potenziale und Chancen in Aussicht nimmt, kann die möglichen „unerfreulichen Folgen“ und teils sogar nicht intendierten (Neben-) Wirkungen schon vor deren Entstehung auffangen. So „liegt der Ball“ nicht mehr allein beim Betriebsrat und der IG Metall (bzw. der Gewerkschaft), den Schaden im Nachhinein im Rahmen des dann noch Möglichen abzumildern. Ein solches verändertes Verständnis von Mitbestimmung setzt neue Kräfte frei, die für die Gestaltung der digitalen Arbeitswelt dringend gebraucht werden, gerade angesichts des Tempos und des marktgetriebenen Drucks, der hier herrscht.

Deshalb bedeutet die Mitbestimmung 4.0 ein neues, erweitertes Herangehen an die Herausforderungen: Beschäftigtenperspektiven sind von Beginn an in die tradierte, vorrangig technikdominierte Entwicklung digitaler Arbeit in neuer Weise zu integrieren. Werden die Beschäftigten beteiligt, eröffnen sich ihnen Möglichkeiten, ihre Sorgen, Befürchtungen und Einschätzungen in Richtung Betriebsrat und Personalverantwortliche zu kommunizieren und an gemeinsamen Lösungen mitzuwirken. Es geht also um die kooperative Gestaltung des sozio-technischen Wandels im Betrieb. Das wiederum bedeutet, die Potenziale von Veränderungen aus der Perspektive der Beschäftigten in den Blick zu nehmen und sich nicht auf einen Umgang mit den Risiken und auf die abzufedernden Folgen zu beschränken. Mitbestimmen 4.0 bedeutet: Vorausschauendes und prozessbegleitendes sich Einmischen (des Betriebsrats und der Gewerkschaften) und Einbeziehen (der Geschäftsführung und sachkundiger Experten) bereits in der Planungsphase des Einsatzes neuer Technologien und dadurch veränderter Arbeitsabläufe. Beteiligen 4.0 heißt: Die Kompetenz der Beschäftigten an ihren Arbeitsplätzen wertschätzen und ihr Wissen gezielt nachfragen, wenn es um die künftige Gestaltung ihres Arbeitsplatzes/ihrer Arbeitsbereiches geht und um den Wandel ihrer beruflichen Perspektive durch veränderte Tätigkeitsanforderungen und Aufgabenzuschnitte. Beschäftigte brauchen eine Orientierung und Vorstellung davon, welche Rolle und welche Aufgabe ihnen im digitalen Wandel zufallen wird. Wenn Betriebsrat und Personalverantwortliche frühzeitig einen Prozess aktiver Beteiligung der Beschäftigten befördern, werden die Potenziale dieser Beteiligung sowohl für die Herausforderungen des Betriebes als auch für die Kompetenzentwicklung und die beruflichen Perspektiven der Beschäftigten sichtbar. Mitbestimmung 4.0 lebt von Beteiligung und Beteiligung braucht den regulierenden Rahmen der Mitbestimmung.

Investitionen sind somit keineswegs nur in Technik und Digitalisierung erforderlich, sondern gerade in die zukunftsorientierte Gestaltung der Arbeit(sbedingungen) und in eine beteiligungsorientierte Unternehmenskultur. Mitbestimmung 4.0 bedeu-

tet für die IG Metall: Mitbestimmung schon im Entwicklungs- und Einführungsprozess und nicht als regulatives Korrektiv ex post. Es kommt also darauf an, dem digitalen Wandel eine arbeitsorientierte Richtung zu geben. Das gelingt nur, „wenn bereits in der Phase der Konzeptualisierung von Hard- und Software aufgedeckt wird, welche Implikationen sich damit für Arbeits- und Lernprozesse verbinden, und darüber diskutiert wird, wie „gute“ Lösungen und Gestaltungsmöglichkeiten aussehen und in den Konstruktionsprozess einfließen können“ (Kurz und Rogalla 2016, S. 3).

Allerdings benötigt Beteiligung in den komplexen und dynamischen Umbruchprozessen der Industrie 4.0 neue Kompetenzen und ein neues Mitbestimmungsverständnis aller beteiligten Akteure. Nicht nur Geschäftsleitungen, auch Betriebsräte brauchen in dieser Veränderungsdynamik den Zugang zu Expertenwissen. Auch Betriebsräte müssen sich kundig machen, einen Überblick verschaffen und auf dieser Basis eigene Gestaltungsvorschläge einbringen können. Diesen Ansatz verfolgen wir mit dem prozessbegleitenden Projekt „Arbeit 2020 in NRW“ (s. dazu Abschn. 3).

Mitbestimmung 4.0 setzt dort an, wo sich einerseits die Technik- und IT-Gestaltung und andererseits die Arbeitsgestaltung treffen. Hieraus definiert sich das Handlungsfeld mit seinem Regulierungsbedarf (betrieblich, tariflich und gesetzlich). Dieses Handlungsfeld zu bearbeiten ist voraussetzungs- und gestaltungswillig und setzt gestaltungswillige und -kompetente Akteure auf Seiten des Unternehmens und der Interessenvertretung sowie die wechselseitige Kenntnis und gemeinsame Abwägung denkbarer Gestaltungsoptionen voraus. Zu den Erfolgsfaktoren zählen Kooperationsbereitschaft und ein Klima der wechselseitigen Wertschätzung.

Hinzukommen muss natürlich der fachlich fundierte Dialog über relevante Optionen von Technik-, Organisations- und Arbeitsgestaltung. Sich dafür eine transparente Übersicht zu schaffen hat sich als hilfreich erwiesen. Zur Veranschaulichung des Zusammenhangs dient folgende Übersicht, die beispielhaft zeigt, wie Technik- und Arbeitsgestaltung zusammen angegangen werden müssen (siehe Abb. 1). Entstehen kann eine solche Übersicht z. B. als Ergebnis einer Befragung von Beschäftigten der entsprechenden Unternehmensbereiche. Diese bekommen die Chance, nach einführender Information zu den geplanten „digitalisierten“ Änderungen ihrer Arbeitsabläufe und Arbeitsumgebungen, ihre Sicht zu den Chancen und Risiken und ihre offenen Fragen zu benennen. Heraus kommt ein Bild, dessen Gewichtungen Anstöße für einen lösungsorientierten Dialog zwischen Betriebsrat, IG Metall, Geschäftsführung und internen wie externen Experten (sachkundige Beschäftigte, kooperierende Wissenschaftler/externe Anbieter) bieten.

Die laufenden oder geplanten Projekte zum Einsatz digitaler Technologien in einzelnen Unternehmensbereichen werden somit in einen direkten Bezug zu den gleichzeitig und gleichrangig zu bearbeitenden Feldern der Arbeitsgestaltung gesetzt.

Beispielfall „Entwicklung“ (s. Abb. 1): Neue Software-Systeme kommen zum Einsatz: Damit stellt sich für die dort Beschäftigten und den Betriebsrat u. a. die Frage nach Überforderung. Reicht mein Qualifikationsprofil auch morgen noch?

	Unternehmensbereich <i>Digitale Anwendung</i>	Arbeitsgestaltung					
		Gestaltungsfelder, z. B.					
		Qualifizierung	Arbeitsplatz/ Arbeitsumgebung	Arbeitsbelastung/ Gesundheit	Einkommen	Arbeitszeit/Flexibilität	personenbezogener Datenschutz weitere ...
Technik- und IT-Gestaltung	Vertrieb						
	Arbeitsvorbereitung						
	Entwicklung - neue Software						
	IT						
	Konstruktion						
	Produktion Tabletsteuerung zur Fehlervermeidung						
	Montage						
	Logistik						

Legende: Relevanz der Bearbeitung der Gestaltungsfelder

Sehr hoch	hoch	mittel	niedrig

Abb. 1 Technik- und Arbeitsgestaltung sind zwei Seiten einer Medaille – Veranschaulichung des Zusammenhangs anhand von zwei Unternehmensbereichen

Habe ich die Chance auf Weiterbildung? Schaffe ich das Erwartete? Finden die Sorgen der Beschäftigten hinreichend Gehör? Stimmt das Qualifizierungsangebot für alle?

Beispielfall „Produktion“ (s. Abb. 1): Tablets werden zur veränderten Ablaufsteuerung eingesetzt: Führt die durch digitale Technologie verbesserte Fehlervermeidung zugleich zu neuen psychischen Belastungen? Bleibt mit der neuen Prozessüberwachung der Schutz personen- und leistungsbezogener Daten gewahrt?

Hinter solchen und weiteren Fragestellungen stecken Herausforderungen für den Gestaltungsdialog, die nach Prioritäten für die Bearbeitung zu gewichten sind. Zu deren Bearbeitung gehören Verantwortung und Vertrauen ebenso wie der offene Dialog im Betrieb. Die Gestaltungs- und Regulierungsanforderungen werden transparent. Es wird deutlich, dass Technikentscheidungen sich nicht einfach ereignen, sondern in ihren Konsequenzen mit zu bedenken und zu bearbeiten sind. Die Technik wird in ihren sozialen Bezug gestellt.

Zur Feststellung von Relevanz und Gestaltbarkeit von Technik und Arbeit gehört die Klärung der Regulierungsebene. Beispielsweise können Fragen der betrieblichen Weiterbildung und Qualifizierung aufgrund veränderter Qualifikationsanforderungen in einer Betriebsvereinbarung geregelt werden. Dabei ist es sinnvoll, die vorhandenen Rahmenbedingungen wie z. B. den Anspruch auf Weiterbildung und Höherqualifizierung aufgrund des TV Bildung für die Metallindustrie einzubeziehen oder den Demographie-Tarifvertrag der IG BCE. Der Gesetzgeber ist eher dann

gefragt, wenn es um den Schutz der Arbeitnehmer/innenrechte bei Auslagerung von Tätigkeiten in die Crowd oder die Zunahme von Werkverträgen geht (Becker-Neetz 2016, S. 115).

Entscheidend ist, was sich im jeweiligen Betrieb abspielt, aber auch, wie die Veränderungsprozesse gesellschaftlich unterstützt und begleitet werden.² Es zählt der Dialog über die richtigen Bezüge von Technikentwicklung und Arbeitsgestaltung. Es zählt der Rahmen, in dem die Gestaltungsaufgaben angegangen und gute Lösungen ermöglicht werden können. Es zählt, wie dazu die drei Regelungsebenen von betrieblichen, tarifvertraglichen und gesetzlichen Leitplanken in dieser Entwicklung für Verlässlichkeit und Verbindlichkeit in Umbruchprozessen sorgen.

Aus Beschäftigten- und Betriebsratsperspektive verbirgt sich die neu entwickelte komplexe Welt von Technologie und IT 4.0 oft in einer Art „Black-Box“ mit der Aufschrift Big Data. Welche Gestaltungsoptionen sich damit verbinden, bleibt so oftmals verborgen. Deutlicher sind die Herausforderungen, Chancen und Befürchtungen für die Beschäftigten erkennbar (s. Abb. 2).

Betriebsräte und IG Metall haben vom Betriebsverfassungsrecht über den Arbeitsschutz bis hin zur Tarifvertragsautonomie ein ganzes Bündel von Möglichkeiten der Mitgestaltung und Mitbestimmung. Doch gute Regelungen allein garantieren noch keine guten Ergebnisse. Es kommt darauf an, wie sie gelebt und angewandt werden. Um Mitbestimmung 4.0 zu einem Erfolgsfaktor zu machen, braucht es neben den gesetzlichen Regelungen zielführende Leitplanken und verbindliche Prozessvereinbarungen zwischen Interessenvertretung und Geschäftsführung, die ein beteiligungsorientiertes Vorgehen in kontinuierlichen Veränderungsprozessen beschreiben, und eine auf dieser Grundlage entwickelte Praxis.

Aufgrund der Dominanz professioneller Spezialisierung – gerade auf dem Feld der Entwicklung und Anwendung von IT und Technik – sehen sich Betriebsräte nicht selten als Mitgestalter überfordert. Selbst in denjenigen Betriebsratsgremien, in denen diese Kompetenz direkt vertreten ist, bleibt es eine Frage des Zeitbudgets bzw. der Arbeitskapazitäten, die Gestaltungspotenziale zu erfassen und eigene Gestaltungsideen zu entwickeln, die dazu beitragen, die Chancen für die Beschäftigten abzusichern und die Risiken zu begrenzen. Nicht jede technische Option ist zugleich

²Hervorzuheben ist hier die Initiative der Landesregierung NRW, die am 15. April die Allianz für Wirtschaft und Arbeit 4.0 gegründet hat (Landesregierung Nordrhein-Westfalen 2016). Mehrere Ministerien, Arbeitgeberverbände aus Industrie und Handwerk, Vertreter/innen der Wissenschaft und Gewerkschaften arbeiten an Lösungen, die den digitalen Wandel in der Gesellschaft so gestalten, dass sich neue Zukunftsperspektiven für Standorte und Beschäftigung ergeben. „Für die Allianz ist es zentrales Anliegen, Technologieentwicklung und Arbeitsgestaltung gleichermaßen im Blick zu haben. Mit der (...) Allianz wollen wir dazu beitragen, dass technologische Innovationen vorangetrieben und eingesetzt werden und die Facharbeit als Wettbewerbsvorteil der Wirtschaft erhalten bleibt. Arbeits- und Datenschutz sind Voraussetzungen, um das Vertrauen der Beschäftigten in die Chancen der Digitalisierung zu gewinnen. Gesundheits- und innovationsförderliche Arbeitsgestaltung, Beschäftigungsfähigkeit und Kreativität, um in Zeiten raschen technologischen Wandels zu bestehen.“ (aus der Presseerklärung des Landes NRW vom 15.04.2016. <https://www.land.nrw/de/pressemitteilung/allianz-wirtschaft-und-arbeit-40-gegruendet-landesregierung-wirtschaft>).

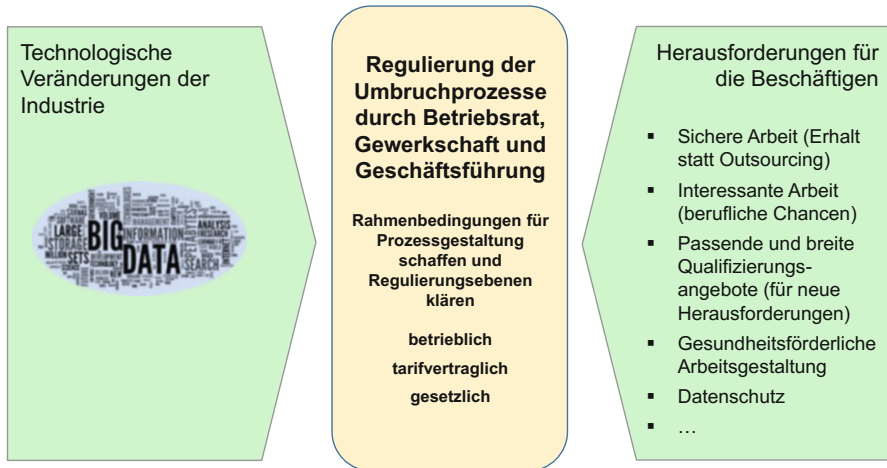


Abb. 2 Umbruchprozesse – industrielle Arbeit gestalten und verbindlich regeln

sozial akzeptabel. Nicht jede Anwendung ist der weiteren Kompetenz- und Innovationsentwicklung förderlich. Der Schutz personenbezogener Daten, die Gesundheitsvorsorge am Arbeitsplatz, die Arbeitszeitregelungen im Rahmen digitalisierter Echtzeitvernetzungen oder die Lernförderlichkeit von Tätigkeitsprofilen und Arbeitsplatzgestaltungen sind mit Blick auf die Chancen für die Beschäftigten zu überprüfen. Dies setzt angemessene Zeit- und Personalressourcen, Kompetenzen und Strukturen voraus. Einzelfall- und anlassbezogene Lösungen sind angesichts der Komplexität des digitalen Wandels für die betrieblichen Interessenvertretungen nicht zielführend. Erforderlich ist ein Rahmenkonzept im Sinne der oben beschriebenen Prozessvereinbarungen.

Angesichts der geplant vollständigen Durchdringung des Arbeitslebens und der Geschäftsprozesse mit dem, was die künftige Industrie 4.0 ausmachen soll, sind ganzheitliche Gestaltungslösungen gefragt. Die bisher segmentierten Gestaltungsanforderungen – vom Datenschutz über den Arbeitsschutz bis zur Beschäftigungssicherung – sind in ihren vernetzten Zusammenhängen zu erfassen und zu bearbeiten. Zur technischen Innovation gehören die sozialen und die organisatorischen Innovationen, innovative Mitbestimmungs- und Beteiligungsprozesse eingeschlossen. Es gilt Beschäftigte zu beteiligen, denn es geht um die Zukunft ihres Arbeitsplatzes. Ihr Erfahrungs- und Expertenwissen muss schließlich in digitalisierte Expertensysteme Eingang finden, damit digital verfügbare Anwendungen und Umsetzungsprojekte erfolgreich nutzbar sind. Da ist es nur folgerichtig diejenigen zu Rate zu ziehen, die es betrifft, wenn es um das nächste Forschungs- und Anwendungsvorhaben geht. Entscheider und Entwickler sollten mit den Beschäftigten so früh wie möglich zusammenarbeiten und aus diesem Grund sollten Betriebsräte und Geschäftsführungen den dafür sinnvollen Orientierungs- und Handlungsrahmen frühzeitig miteinander abstimmen.

3 Digitalisierung als soziotechnisches System – Herausforderung für Geschäftsführungen, Betriebsräte und IG Metall

Kurz nach der „Geburtsstunde“ des Begriffs „Industrie 4.0“ hat sich die IG Metall entschieden, offensiv die Herausforderungen der Gestaltung von Arbeit 4.0 anzugehen – verbunden mit den weiteren industriellen Umbruchprozessen, die vor allem von der anhaltenden Globalisierung der Wertschöpfung und der Umstellung auf nachhaltige, ressourcen- und umweltschonende Produkte und Prozesse geprägt sind. Das geschieht neben der Präsenz in allen relevanten Fokusgruppen der Plattform 4.0 der Bundesregierung, in der Allianz für Wirtschaft und Arbeit 4.0 des Landes Nordrhein-Westfalen – vor allem in betrieblichen Gestaltungsprojekten,³ in die Beschäftigte, Mitglieder der IG Metall, Betriebsräte, Vertrauensleute, Geschäftsführungen, externe Beratung und Wissenschaft einbezogen sind. Die IG Metall setzt sich in diesen Projekten für die gleichrangige und gleichzeitige Gestaltung von Technologie und Arbeit ein.

Das Projekt „Arbeit 2020 in NRW“ gilt als ein Pilotprojekt der Allianz für Wirtschaft und Arbeit 4.0 in NRW. In diesem Projekt geht es darum, gemeinsam mit den Betriebsräten, betrieblichen Experten und Vertretern der Geschäftsführung die eher technologisch- und IT-orientierten Einführungsprozesse um die Dimension der Arbeitsgestaltung, der Beteiligung der Beschäftigten und der Mitgestaltung durch die Interessenvertreter zu erweitern. Ausgehend von den bisherigen Erfahrungen in der Bearbeitung dieser Projektziele lassen sich erste Einschätzungen zusammenfassen:

Viele Unternehmen – von Großbetrieben der Metall- und Elektroindustrie bis hin zu Kleinunternehmen und zum Handwerk – sind dabei, ihre Prozesse mit den Mitteln digitaler Technik zu optimieren und versuchen damit die Produktivität zu steigern. Dazu werden sie zugleich von der Seite ihrer Kunden getrieben, die veränderte Anforderungen an die Schnelligkeit der Lieferung und an die speziell auf ihre Bedarfe zugeschnittenen Produkte und Dienstleistungen bis hin zu Losgröße 1 und speziellen Servicepaketen wünschen.

Digitalisierung und Vernetzung erfolgen dabei schrittweise. Einen Masterplan für die gesamte Wertschöpfungskette gibt es bisher allenfalls in einzelnen größeren Unternehmen. Aber auch in Unternehmen mit einer „Vision 4.0“ und abgestimmten Einzelprojekten ist nicht notwendigerweise von einer konsequenten Umsetzung auszugehen. Auch hier scheitern Visionen an Zuständigkeiten und alten Hierarchien.

³ „Arbeit 2020 in NRW – Arbeit in der Industrie der Zukunft mitgestalten, Betriebsräte in Innovationsprozessen stärken“, gefördert vom Ministerium für Arbeit, Integration und Soziales des Landes NRW und dem ESF. „itsowl-Arbeit 4.0 – Gestaltung der Arbeitswelt in der Industrie vor dem Hintergrund der Digitalisierung.“ gefördert vom BMBF. „Arbeit und Innovation: Kompetenzen stärken – Zukunft gestalten“, gefördert vom BMAS. In NRW sind die IG Metall und der DGB Mitglied der „Allianz für Wirtschaft und Arbeit 4.0“. Darüber hinaus unterstützen wir zahlreiche Forschungsprojekte von Universitäten und Forschungsverbünden, die sich für die aktive Gestaltung von Arbeit 4.0 einsetzen.

Vernetzte Strukturen bilden sich vielleicht in der Technik, aber noch zu wenig in der Unternehmenskultur ab. Jedenfalls befinden sich immer mehr Unternehmen unterschiedlichster Größe und Branchenzugehörigkeit mitten im Suchprozess nach den für sie vorteilhaftesten Schritten der Erprobung und Einführung. Die Praxis zeigt: Unterschiedlichste „4.0-Elemente“ werden eingeführt – häufig bereits im Zusammenhang mit schon geplanten oder noch erforderlichen Investitionen. Die Praxis zeigt aber auch: Die Perspektive der Beschäftigten hat dabei noch eine nachrangige Bedeutung.

Auf der anderen Seite ist Industrie 4.0 für die meisten Beschäftigten ein Thema, das eher Skepsis hinsichtlich ihrer Beschäftigungsperspektiven, der neuen Flexibilitätserwartungen oder z. B. dem Schutz personenbezogener Daten hervorruft. Die Potenziale, Planungen und Umsetzungsschritte im jeweiligen Betrieb sind ihnen in der Regel wenig bekannt. Wahrnehmbar sind am ehesten Einzelmaßnahmen und Teilprojekte, übergreifende Zusammenhänge bleiben dagegen kaum erkennbar. Noch ist es eher die Ausnahme in Unternehmen, die Entwicklung und Einführung digitaler und vernetzter Technologie, die organisatorischen Veränderungen und die erforderlichen Maßnahmen zur Personalentwicklung ganzheitlich anzugehen, unter Beteiligung der Beschäftigten an der Gestaltung dieser Prozesse.

Es braucht aber Menschen, um mit digitaler Technik und Vernetzung langfristig erfolgreich zu sein. Dieser Zusammenhang wird auch als Aufbau eines sozio-technischen Systems bezeichnet. „Das zentrale Ziel bei der Gestaltung sozio-technischer Arbeitssysteme für Industrie 4.0 muss sein, die Faktoren Mensch, Technik und Organisation in Einklang zu bringen“ (Deuse et al. 2015, S. 160). Wenn digitale Technik umfassende Vernetzung impliziert, dann benötigen diejenigen, die mit diesen Technologien arbeiten, auch ein funktionierendes Netzwerk. Und dazu müssen sie umfassend informiert und beteiligt werden.

Ein erster und zentraler Schritt ist, eine neue Qualität von Transparenz über Planungen und Umsetzungsprojekte im Zusammenhang mit Digitalisierung und Vernetzung zu realisieren. Die im Projekt „Arbeit 2020 in NRW“ zusammen mit der Beratungsgesellschaft SUSTAIN CONSULT entwickelte „Betriebslandkarte Industrie und Arbeit 4.0“ greift konsequent auf die Beteiligung der Beschäftigten und ihrer Interessenvertretungen zurück. Gemeinsam mit den Gremien und betrieblichen Experten wird eine strukturierte Analyse des gegenwärtigen Entwicklungsstandes und Verbreitungsgrades digitaler Technologie bezogen auf Unternehmensbereiche und die Auswirkungen auf Arbeit ermittelt. Bereits die Erarbeitung der Betriebslandkarte befördert in der Phase der Analyse/Bestandsaufnahme und erster Umsetzungsschritte den betrieblichen Dialogprozess aller Beteiligten und trägt zum wechselseitigen Verständnis bei. Sie hilft, die betrieblichen Gestaltungsfelder zu identifizieren. Der Gesamtblick auf den Entwicklungsstand im Unternehmen, in den das gebündelte Wissen und die Erfahrungen der Beschäftigten aufgenommen werden, ist die Basis, um mit den betrieblichen Entscheidern und Geschäftsführungen in einen konstruktiven und fachlich fundierten Dialog einzutreten. Hier erfolgt der Abgleich zwischen Planung/Vision und Realität der Umsetzung. Hier wird auch deutlich, welche Umsetzungsschwierigkeiten auftreten und welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um technologisch anspruchsvolle Projekte erfolgreich umzusetzen.

Die Betriebslandkarte (Abb. 3) zeigt für jeden Bereich in einem Unternehmen, welcher Grad an Vernetzung und Selbststeuerung in den Unternehmensprozessen bereits besteht. Sie macht auch deutlich, welche Bereiche der Wertschöpfungskette von der Vision einer vernetzten und digitalen Steuerung noch weit entfernt sind. Unter Mitwirkung der Betriebsräte, Vertrauensleute und betrieblicher Experten (Führungskräfte und sachkundige Beschäftigte) wird ermittelt, ob Arbeitsplätze in der jeweiligen Abteilung auf- oder abgebaut werden, ob eine höhere oder geringere Qualifikation erforderlich sein wird und ob mehr Stress und steigende Arbeitsverdichtung oder aber eine Entlastung zu erwarten sind. Die jeweilige Einschätzung der Situation wird durch Piktogramme für die Themen Beschäftigungsentwicklung, Arbeitsqualität/Belastung und Qualifizierungsanforderungen abgebildet. Bei positiver Entwicklung (z. B. Arbeitsplätze werden erhalten oder sogar ausgebaut; Arbeit ist interessanter geworden, Weiterbildung wird ermöglicht) sind die Piktogramme grün gefärbt. Bei kritischer Entwicklung (z. B. Arbeitsplatzabbau, Standortgefährdung, höhere Arbeitsbelastung, De-Qualifizierung durch Wegfall von Tätigkeiten) sind die Piktogramme rot. Bei nicht eindeutiger, teils gegenläufiger Entwicklung (in einem Unternehmensbereich fallen Arbeitsplätze weg, in anderen Bereichen wird aufgebaut) sind die Piktogramme rot-grün gefärbt. Ist bislang keine Veränderung wahrnehmbar, sind die Piktogramme hellgrau.

Im Rahmen des laufenden Projektes haben wir bisher ca. 30 Unternehmen aus der Metall- und Elektroindustrie, der Nahrungs- und Genussmittelindustrie und der Chemischen Industrie. Die Mehrheit der Betriebe ist mittelständisch geprägt, aber auch konzerngesteuerte Unternehmen sind in kleinerer Anzahl dabei. In jedem Unternehmen entsteht eine auf die betrieblichen Bedingungen zugeschnittene Betriebslandkarte (mit den jeweils dort bestehenden Unternehmensbereichen). Wir streben an, das Projekt um weitere Branchen im Zuständigkeitsbereich der IG Metall zu ergänzen (Handwerk, Textil und Bekleidung, Holz/Kunststoff, Kontraktlogistik). Die meisten 4.0 Projekte stehen in diesen Unternehmen erst am Beginn und werden allenfalls in Teilvorhaben kurzfristig abgeschlossen. Statt nun jeden Einzelsachverhalt oder Digitalisierungsprojekt separat zu betrachten, geht es um eine konstruktive Gesamtsicht der mit Digitalisierung zu erwartenden Gestaltungsaufgaben. Und eine Gesamtsicht braucht die Perspektiven von Beschäftigten, Betriebsrat, Gewerkschaft, Geschäftsführung und betrieblichen Experten – durchaus erweiterbar um wissenschaftliche Expertise.

In einem zweiten Schritt wird mit dem Gesamtblick auf den bisherigen Entwicklungsstand des digitalen Wandels im Unternehmen indirekt auch deutlich, welche weiteren Umsetzungsschritte noch zu erwarten sind, wenn eine Vernetzung entlang der gesamten Wertschöpfungskette und die Nutzung und Auswertung digitaler erfasster Daten zur kontinuierlichen Prozess- und Produktoptimierung realisiert werden soll. Auf Basis der Bestandsaufnahme werden gezielt Gespräche mit Geschäftsführungsvertretern und Betriebsräten vereinbart, um die weiteren Planungen im Unternehmen zu diskutieren.

Soviel ist aus den bisherigen Erfahrungen bei den betrieblichen Prozessbegleitungen im Projekt Arbeit 2020 bereits deutlich geworden: Auch noch so avancierte Technologien brauchen das fachliche Know-how und das Erfahrungswissen der

Betriebslandkarte Industrie und Arbeit 4.0

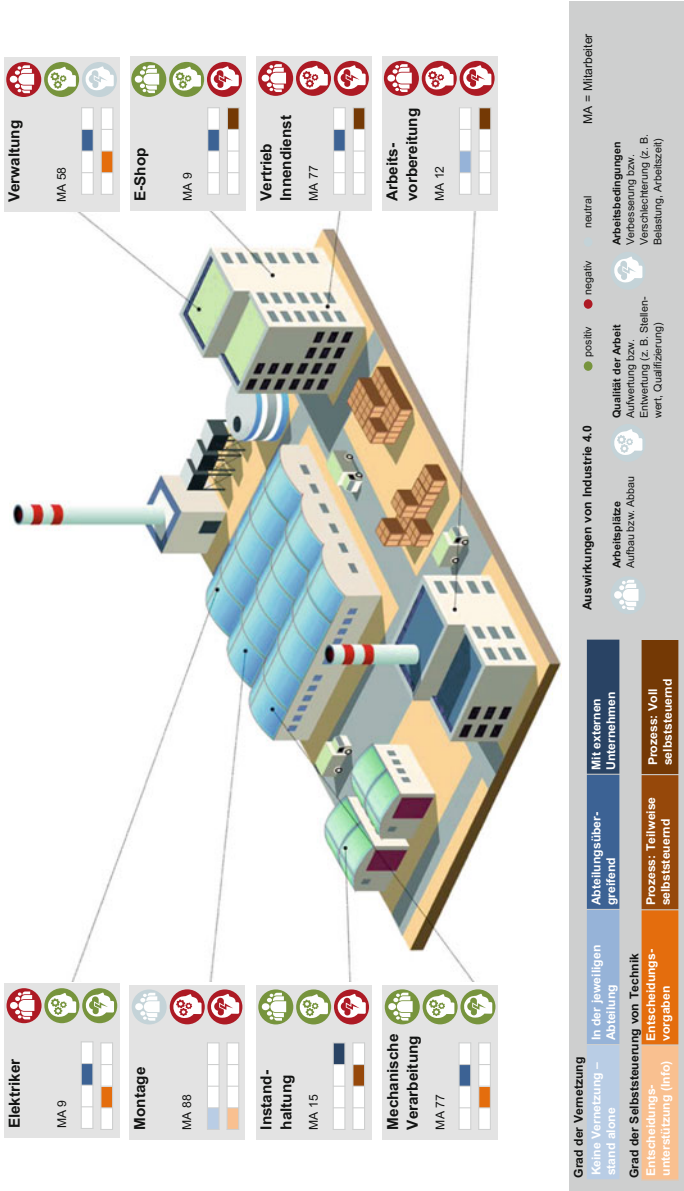


Abb. 3 Die Betriebslandkarte (Beispielfall). (Quelle: IG Metall Bezirksleitung NRW (2016), Arbeit 4.0 fair gestalten. Die Betriebslandkarte im Rahmen des Projektes Arbeit 2020 in NRW, S. 4)

Beschäftigten. Neue Arbeitsabläufe und Zuständigkeiten werden nur dann akzeptiert, wenn die Beschäftigten die Zusammenhänge verstehen lernen und wenn sie sich selbst ausreichend wertgeschätzt fühlen und eigene berufliche Perspektiven im Unternehmen erkennen. Auf Basis der betrieblichen Landkarte werden betriebliche Handlungs- und Gestaltungsfelder herausgearbeitet, wie sie in Abb. 1 beispielhaft beschrieben sind.

Den Betriebsräten bringt die Betriebslandkarte mehrfachen Nutzen: Sie verschaffen sich einen Gesamtüberblick. Sie können Mitglieder und Beschäftigte gezielt informieren und beteiligen, sowohl bei der Erarbeitung der Betriebslandkarte, wie auch bei der Kommunikation der Ergebnisse im Betrieb. Und sie gehen gut vorbereitet in Verhandlungen mit der Geschäftsführung, um die Arbeit 4.0 im Sinne der Beschäftigten zu gestalten. Die Betriebslandkarte erweist sich in den meisten Unternehmen als Türöffner für den Austausch mit betrieblichen Entscheidern. Da Digitalisierung und Vernetzung sukzessive voranschreiten und häufig in vielen kleineren Einzelprojekten angegangen und umgesetzt werden, bietet die Betriebslandkarte auch den Verantwortlichen mit Zuständigkeiten für Einzelprojekte einen Gesamtblick auf das Unternehmen und öffnet ihnen vielfach den Blick für die möglichen Folgen für Beschäftigte und Beschäftigung (z. B. zur Ermittlung von Weiterbildungsbedarf).⁴

Auf der Grundlage einer systematischen Erfassung verfügbarer Informationen für die verschiedenen Unternehmensbereiche mit Hilfe der Betriebslandkarte lassen sich die Gestaltungsfelder der Zukunft genauer erfassen und beschreiben. Das ist Voraussetzung für adäquate Strategien und Maßnahmen der Mitgestaltung. Ziel ist es, mit der Geschäftsführung einen jeweils verbindlichen, auf die Zukunftsgestaltung, die Standort- und Beschäftigungssicherung gerichteten Dialogprozess zu entwickeln und die dabei erarbeiteten Inhalte und Vorgehensweisen in einer Zukunftsvereinbarung verbindlich zu verankern.

Da die Zukunft nur begrenzt vorhersehbar ist, haben diese Vereinbarungen einen *neuen Charakter*. Sie sind *prozessbegleitend* angelegt und regeln verbindliche Absprachen und Verfahrensprocedere zwischen Betriebsrat und Geschäftsführung zur kontinuierlichen und auf Dauer gestellten gemeinsamen Gestaltung der mit digitaler Technologie angegangenen betrieblichen Veränderungsprojekte.

4 Wie wird Beteiligung und Mitbestimmung praxisrelevant?

In den betrieblichen Prozessbegleitungen hat sich gezeigt, dass mit fortschreitender Digitalisierung konkrete arbeitspolitische Themen mit Regulierungsbedarf zu bearbeiten sind, z. B. Personal- und Entwicklungsplanung, personenbezogener Datenschutz, Möglichkeiten betrieblicher Weiterbildung und Schaffung eines lernförderlichen Arbeits- und Betriebsklimas.

⁴Die Betriebslandkarte wurde bisher in ca. 30 Betrieben in Nordrhein-Westfalen im Rahmen betrieblicher Prozessbegleitungen weiterentwickelt.

Erforderlich ist eine Gestaltungs- und damit zugleich Regulierungskultur, mit der unterschiedliche bzw. gegensätzliche Interessen auf Augenhöhe auszuhandeln sind.

Als wichtige Regelungs- und Gestaltungsfelder wurden in den betrieblichen Prozessbegleitungen bislang identifiziert:

4.1 Umgang mit personellen Maßnahmen

Digitalisierung zielt häufig auch auf Rationalisierung. Bislang von Menschen erbrachte Tätigkeiten können nun durch (intelligente) Maschinen oder Algorithmen übernommen werden. Ob im Vertrieb durch das E-Business, in der digitalisierten Arbeitsvorbereitung, dem Controlling oder auch der Produktion – mit digital erfassten und gesteuerten Prozessen sollen bisherige Tätigkeiten verändert, verlagert oder ersetzt werden. In bestimmten Bereichen des Unternehmens führt Digitalisierung gleichzeitig zum Ausbau von Beschäftigung (z. B. in der IT- oder den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen) – sofern diese nicht an externe Dienstleister outgesourct werden. Für die betriebliche und gewerkschaftliche Interessenvertretung ist das mit Blick auf die Beschäftigten und Mitglieder eine Herausforderung. Rationalisierungsvorhaben sind nicht an und für sich zu kritisieren, denn sie sind auch eine Quelle von Produktivitätssteigerung, Wachstum und Einkommensentwicklung. Verbesserte Prozesse können Arbeitsplätze unter Konkurrenzbedingungen sicherer machen. Vor allem dann, wenn neben der Prozessinnovation auch die Produkt-/Dienstleistungsinnovation vorangetrieben wird. Wenn beispielsweise im administrativen Umfeld der Produktion Tätigkeiten entfallen sollen, aber das Unternehmen zugleich unter Einbeziehung der vorhandenen Kompetenz der Beschäftigten neue Dienstleistungsangebote für die Kunden entwickelt, stellt sich die Ausgangssituation völlig anders dar als im Falle einer reinen Abbaustrategie. Entscheidend ist also die Frage: Wie sind diese Veränderungen so auszugestalten, dass diejenigen Beschäftigten, in deren Arbeitsbereichen Digitalisierung zu ganz neuen Tätigkeitsfeldern und Arbeitsaufgaben führt, anstelle von Ängsten damit eher neue Perspektiven verbinden können? In erster Linie trifft dies auf diejenigen Beschäftigtengruppen zu, deren Tätigkeiten leicht durch Algorithmen gesteuerte Prozesse ersetzbar sind. Die Entwicklung verläuft allerdings auch quer zum beruflichen Status: Nicht nur gering qualifizierte oder sog. „Einfacharbeiter“ sind betroffen, sondern durchaus auch Tätigkeiten im administrativen Bereich, die von höher qualifizierten Beschäftigten zu erledigen sind.

4.2 Neue Standards für Qualifizierung und Weiterbildung

Zur Optimierung der betrieblichen Wertschöpfungsprozesse (z. B. kürzere Durchlaufzeiten, vorausschauende Wartung, schnellere Reaktion auf Kundenwünsche, systematische Fehlersuche und Steigerung der Qualität) werden Menschen und Technik in neuer Komplexität entlang des gesamten Wertstroms vernetzt, auch über Unternehmensgrenzen hinweg.

Eine solche Zukunft von Industrie 4.0 ist erst mit den Menschen zu erarbeiten. Daten lassen sich über Sensoren automatisiert erfassen. Algorithmen helfen diese

automatisiert auszuwerten. Dahinter aber stehen immer die Menschen und ihre Entscheidungen über die Ziele, den angestrebten Nutzen und den Weg zum Ergebnis. Sie gestalten als Produzenten, Entwickler und Dienstleister mit ihrer Arbeit, ihren Erfahrungen, Kompetenzen und Qualifikationen, aber auch als Nutzer der Produkte und Dienstleistungen den Weg und die Ergebnisse aus. Sie können sich – geeignete Rahmenbedingungen wie Zeit, Qualifizierungsangebote, lernförderliches Betriebsklima vorausgesetzt – neue berufliche und persönliche Möglichkeiten erschließen, die nicht zuletzt der Innovationsfähigkeit eines Unternehmens zugutekommen. Aber auch das Gegenteil ist möglich: Bestehende Kompetenzen werden nicht mehr nachgefragt und damit entwertet. Überforderung und Ausgrenzung ist dann die Folge.

Das deutsche System dualer Erstausbildung, dualer Studienangebote und durchlässiger Aus- und Weiterbildung hat sich als Erfolgsfaktor in den bisherigen industriellen Umbruchprozessen bewährt. Im Gegensatz zu einer reinen Anlernpraxis basiert es auf einem spezifischen Verständnis von Beruflichkeit. Ein Element von Beruflichkeit ist ein berufsfachliches Selbstverständnis der Beschäftigten. Für die weitere Entwicklung des Industriestandortes Deutschland wird entscheidend sein, ob und auf welche Weise es gelingt, dieses Selbstverständnis zu erhalten, gleichzeitig eine Lernkultur auszubauen und diese um Elemente einer mitbestimmten Gestaltung von Digitalisierung. Künftige Innovationsfähigkeit setzt fachlich gut qualifizierte Beschäftigte voraus. Die Personalentwicklung und Qualifizierungsplanung muss vor diesem Hintergrund zu einem treibenden Faktor einer lernförderlichen Gestaltung der Arbeitsorganisation werden. Eine Digitalisierungsstrategie, die darauf setzt, fachliches Wissen in Datenstrukturen abzubilden, um es damit zugleich an den einzelnen Arbeitsplätzen verzichtbar zu machen, mag vordergründig unternehmerisch attraktiv erscheinen (geringere Entgelte, leichtere Austauschbarkeit), würde aber zu einer gewaltigen Innovationsbremse von morgen werden und schon heute in unproduktive Konflikte führen.

4.3 Produktion in Echtzeit: neuer Druck auf die Arbeitszeiten

Durch den Einsatz digitaler Technologien wird ein zeit- und ortsunabhängiger Zugriff der Beschäftigten auf die für ihre Arbeit relevanten Informationen möglich. Für die Steuerung der Produktionsprozesse ist die Anwesenheit im Betrieb nicht immer erforderlich. Dadurch können sich zum einen neue Spielräume für die individuelle Lebensgestaltung der Beschäftigten ergeben. Andererseits werden diese Gestaltungsspielräume durch die zunehmend flexible und anpassungsfähige Produktion mit kurzen Reaktionszeiten (Echtzeit-Steuerung) der Unternehmen eingeschränkt. Die Personaleinsatzplanung erfolgt mitunter kurzfristig und entspricht dann häufig nicht den außerberuflichen Erfordernissen der Beschäftigten. Auch hier braucht es eine Rahmenvereinbarung, die definiert, welche Ankündigungsfristen, Zumutbarkeiten, Ausgleichsregelungen das zweifellos steigende Interesse an immer kürzeren Reaktions- und Auftragsbearbeitungszeiten im Interesse von Unternehmen *und* Beschäftigten regulieren. Die Beschäftigten sperren sich nicht gegen flexibleren Arbeitseinsatz, allerdings schon gegen eine kapazitätsorientierte variable Arbeitszeit

mit kurzfristigen Ankündigungszeiten. Ohne Regulierung werden sie jedoch angesichts einer „Rund-um-die-Uhr-Verfügbarkeits-Erwartung“ und der in Richtung Kunden versprochenen Reaktion in Echtzeit nicht in der Lage sein, ihre eigenen Flexibilitätsbedarfe umsetzen zu können.

4.4 Mitbestimmung bei virtueller Arbeit – Reichweite der Mitbestimmung

Zusätzlich zu den wachsenden Interessen an individueller wie auch betrieblicher Zeit-Flexibilität zeichnen sich weitergehende Veränderungen in den Beschäftigtenstrukturen ab. Als Flexibilisierungsinstrument sind Leiharbeit und Werkverträge bekannt. Für diese Beschäftigungsformen gibt es bereits mehr oder auch weniger zufriedenstellende Regelungen auf gesetzlicher, tariflicher und betrieblicher Ebene. Neu hinzu kommen Arbeitsformen jenseits dieser geregelten Bedingungen für die Stammebelegschaften. Ganze Arbeitspakete werden in neuen Formen an Crowd-Worker vergeben. Auch die internationale Arbeitsteilung zwischen verschiedenen Werken gewinnt bei einem direkten digitalisierten Auslastungs- und Vergabemanagement an neuer Bedeutung. Der einzelne Standort mit seinen Regelungs- und Mitbestimmungsstrukturen ist immer weniger für sich alleine von Relevanz. Das digitale Netzwerk überspringt bisherige Standort- und Unternehmensgrenzen. Dem müssen die Strukturen von Mitgestaltung und Mitbestimmung mit all ihren Regelwerken folgen (können). Als Exportnation sind die meisten deutschen Unternehmen mit ausländischen Standorten aufgestellt. Hier befinden sich die Wachstumsmärkte für deutsche Unternehmen. Es wäre zu kurz gesprungen, die Frage der Mitgestaltung von Digitalisierung und Vernetzung nur mit Blick auf den Standort Deutschland behandeln zu wollen. Die Arbeit Europäischer Betriebsräte wird in Zukunft immer wichtiger werden, damit nicht die Errungenschaft des einen Standortes zu Lasten des anderen generiert wird. Das macht gewerkschaftliche Interessenvertretungsarbeit einerseits immer schwieriger, andererseits könnte hier die digitale Technologie auch zu einem besseren und schnelleren Informations- und Datenaustausch beitragen. Auf internationaler Ebene hat sich IndustriALL Global Union als weltweit agierende Interessenvertretungsorganisation formiert. Die Arbeitsbedingungen und die Interessenvertretungsstrukturen allein schon in den europäischen Ländern sind äußerst heterogen, erst recht trifft dies auf internationaler Ebene zu.

Die Herausforderungen für Gewerkschaften und Politik sind daher enorm, denn die Konflikte zwischen der zweifellos notwendigen Regulierung neuer Beschäftigungsformen bzw. Vergabeverfahren und dem globalen Wettbewerbsdruck der Unternehmen werden in Zeiten von digital und global vernetzten Wertschöpfungsketten eher größer. Aus diesem Grund wird es umso notwendiger, mit den interessenvertretungspolitisch vergleichsweise gut geregelten und gesetzlich verankerten Mitbestimmungsstrukturen in Deutschland auch standortübergreifend deutlich zu machen, welche Chancen in einem Dialog von Arbeitnehmer- und Arbeitgeberseite für die Gestaltung (nicht nur) der industriellen Arbeit von morgen liegen.

4.5 Rechte für eine sichere Vernetzung und Nutzung personenbezogener Daten

Die bisher bekannte IT- und Technologie-Welt wird durch intelligente Auswertung und Nutzung gespeicherter Daten vorausschauender. Die intelligente Fabrik wäre ohne die umfassende Nutzung von Daten überhaupt nicht realisierbar. Für die Industrie heißt das beispielsweise: Das Produkt im Fertigungsprozess bleibt nicht länger vormontiert und exakt kalkulierbar. Der spezifische Kundenwunsch wird als Datensatz von Beginn an hinzugefügt und kann noch im Laufe des Produktionsprozesses variiert werden. Damit verbunden werden vorausschauende Optimierungen von Qualität, Fehlervermeidung, Termintreue usw. im gesamten Prozess der Wertschöpfung, vom Rohmaterial über die Produkterstellung bis zur Auslieferung und Anwendung.

Maschinendaten, Kundendaten und Nutzerdaten derjenigen, die mit diesen Systemen arbeiten, werden mit Blick auf Optimierung der Prozesse und Anwendungen gespeichert und ausgewertet. Es bleibt nicht aus, dass mit der umfassenden Datennutzung auch ein umfassendes Controlling nicht nur der Qualität der Prozesse und Produkte, sondern auch der Arbeitsleistung und Arbeitsqualität der Beschäftigten einhergeht. Das hat nicht zwangsläufig negative Implikationen: Beispielsweise ist es möglich, bei der Qualitätsüberprüfung genauer zu differenzieren, ob der Fehler auf Qualitätsmängeln am zugelieferten Material beruht oder durch eine Fehlbedienung oder nicht exakt ausgeführte Montage zurückzuführen ist. Digitalisierung und Vernetzung strebt die möglichst fehlerfreie Produktion an. Dem umfassenden Controlling bei Mensch-Maschine-Interaktionen sind bei der Auswertung personenbezogener Daten Grenzen zu setzen. Da sich die Möglichkeiten der Datenauswertung jedoch fortlaufend weiterentwickeln, müssen mit den betrieblichen Interessenvertretungen Rahmenregelungen erarbeitet werden, die den Schutz personenbezogener Daten garantieren und Grenzen der personenbezogenen Datenanalyse festlegen.

4.6 Prozessoptimierung und Arbeitsintensivierung

Mit dem Einsatz digitaler Technologien ist beides möglich: Entlastung von körperlich schwerer oder psychisch ermüdender Arbeit, aber auch neue Formen der Belastung, die gekoppelt mit gesteigertem Arbeitstempo (Echtzeit) und Arbeitsverdichtung einen neuen Regulierungsbedarf hervorrufen. Zudem sind die gesundheitlichen Langzeitwirkungen neuer digitaler Assistenzsysteme, wie z. B. Datenbrillen, bislang unbekannt und technologisch noch nicht ausgereift. Der Einsatz dieser sogenannten wearables (Datenbrillen, Datenhandschuhe) muss in Pilotbereichen erprobt, evaluiert und ggf. neu konzipiert werden.

Hier ist zu regeln, dass beim Einsatz solcher Systeme gleichzeitig eine kontinuierliche Überprüfung der gesundheitlichen Folgen mit dem Betriebsrat erfolgt. Vordergründige Erleichterungen einerseits, Monotonie, Arbeitsverdichtung sowie psychische Belastungen andererseits können Hand in Hand gehen. Das „Ob und Wie“ ist immer eine Frage der konkreten Ausgestaltung von Tätigkeitsanforderun-

gen, Arbeitsbedingungen und Arbeitsumgebungen. Gerade hier ist Expertenrat und Beteiligung der Beschäftigten von besonderer Relevanz für die Ausgestaltung der Arbeit und deren Wirkungen auf die Beschäftigten.

Aber auch bei anspruchsvollen Tätigkeiten sind Überforderungen absehbar, wenn Beschäftigte Verantwortung für den reibungslosen Ablauf immer komplexerer Systeme übernehmen und gleichzeitig hoher Zeitdruck herrscht. Denn noch so intelligente Systeme haben Störungen, die in Zeiten digitaler Technologie – so die Erwartungshaltung – aber genauso schnell beseitigt werden sollen wie die Störungen an einfachen Anlagen. Belastungsverstärkend wirkt darüber hinaus der permanente Druck auf die Standorte durch globale Standortvergleiche. Psychische Belastungen zu mindern ist also keineswegs nur ein Thema des einzelnen Arbeitsplatzes, sondern immer auch der strategischen Ausrichtung und Führungskultur im gesamten Unternehmen.

4.7 Mitbestimmung im Entwicklungs- und Erprobungsprozess neuer Technologien

Digitalisierung und Vernetzung vollzieht sich in den Unternehmen meist in Pilotprojekten als schrittweise Technologieentwicklung. Häufig wird sie durch anwenderorientierte, experimentelle Forschungsprojekte und die enge Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Hochschulen vorangetrieben. Gerade deshalb ist die Einbindung der betrieblichen Mitbestimmung in den Pilotprojekten sicher zu stellen. Bereits bei der Entwicklung innovativer Systemtechnologien für einzelne Unternehmensbereiche gilt es Beteiligungskonzepte zu etablieren. In Betriebsvereinbarungen sollten zunächst Pilotbereiche definiert werden, in denen die Anwendung digitaler Technologien erprobt und unter Berücksichtigung des fachlichen und des Erfahrungswissens der Beschäftigten ggf. angepasst werden. So kann sichergestellt werden, dass die Rolle der menschlichen Arbeit und Fragen über eine beschäftigungssichernde und arbeitsorientierte Gestaltung der neuen Produktionssysteme von Beginn an im Entwicklungsprozess Beachtung finden. In Zukunftsvereinbarungen sollte die aktive Mitgestaltung der Beschäftigten auch beim Transfer in andere Unternehmensbereiche festgeschrieben werden.

Das hat auch aus Sicht der Unternehmen große Vorteile: Frühzeitige Beteiligung und Berücksichtigung der arbeitsplatzrelevanten Informationen durch die Beschäftigten vermeidet spätere Diskussionen darüber, dass die technischen Lösungen einseitig die Arbeitsbedingungen determinieren. Ebenso können aufwendige Nachjustierungen im Umsetzungsprozess vermieden werden. Kurz: Frühzeitige Beteiligung und Mitbestimmung sichert Akzeptanz, sorgt für passende arbeitsorientierte Lösungen und vermeidet Zeit und Kosten. Am Beispiel der Entwicklung von Leichtbaurobotern als mobile Assistenzsysteme lässt sich gut zeigen, dass diese so programmierbar sind, dass sie menschliche Arbeit erleichtern (indem z. B. ermüdende und auch körperlich belastende Routinetätigkeiten durch den Roboterarm übernommen werden), gleichwohl aber die Steuerungskompetenz in den Händen der Beschäftigten bleibt. Ein weiteres Positivbeispiel für gelebte Beteiligungsprozesse ist

die Programmierung mobiler Endgeräte (Tablets, Smartphones). Entwicklungsabteilung und die Softwareprogrammierung entwickeln das Layout und die Steuerungsfunktionen nach Rücksprache mit den Facharbeitern der Unternehmensbereiche, in denen sie eingesetzt werden.

5 Fazit: Mitbestimmung 4.0 – Erfolgskonzept für Unternehmen und Beschäftigte

Als entscheidend für eine sowohl für Beschäftigte *und* Unternehmen erfolgreiche Einführung digitaler Technologien in die Arbeitsprozesse kann zusammenfassend festgehalten werden:

- Die offene Kommunikation zwischen Geschäftsleitung (Werksleitung und/oder Entwicklungsabteilung) und der betrieblichen Interessenvertretungen zu allen Fragen der Gestaltung von geplanten Veränderungsprozessen.
- Transparenz über die Reorganisation der Arbeitsabläufe und die daraus folgenden Veränderungen in den Tätigkeitszuschnitten.
- Transparenz über Gestaltungsvarianten und deren Vor- und Nachteile für das Unternehmen und die Beschäftigten.
- Erprobung von Anwendungsoptionen (z. B. eines Roboterarms, eines mobilen Endgerätes) in enger Abstimmung mit den Beteiligten.
- Abschluss einer Zukunftsvereinbarung, die die aktive Mitgestaltung beim Transfer in weitere Unternehmensbereiche in Prozessschritten festschreibt.

Eine auf Beteiligung und Mitgestaltung basierende Mitbestimmung bleibt auch in Zukunft entscheidend für erfolgreich umsetzbare Unternehmensstrategien und neue Geschäftsmodelle, die auf digitale Technologie setzen. Ohne Beteiligung und Mitbestimmung bleiben die Kompetenzen und das praktische Wissen der Beschäftigten unberücksichtigt. Dieses Wissen „zu heben“, aber auch die Erfahrungen mit den Umsetzungsschwierigkeiten beim Einsatz digitaler und vernetzter Technik, ist Voraussetzung für erfolgreiche Veränderungsprozesse. Werden die neuen Technologien nur von Ingenieuren und Softwareentwicklern geplant und die Beschäftigten nicht ausreichend informiert und beteiligt, dominieren Unsicherheiten und Ängste, die dazu führen, dass notwendige Veränderungsprozesse blockiert werden. Kurz: besser frühzeitige Beteiligung und Mitgestaltung ermöglichen als mit Blockaden und Unsicherheiten kämpfen, die erfolgreiche Prozesse verhindern.

Mitbestimmung auf betrieblicher Ebene ist unverzichtbar, um den für Unternehmen und Betriebsrat gleichermaßen ungewissen digitalen Transformationsprozess so zu gestalten, dass beide Seiten profitieren können. Dazu braucht es mehr und kontinuierliche Beteiligungsprozesse, die bereits bei der Entwicklung digitaler Technologien eine Mitgestaltung ermöglichen. Auch bezogen auf die im Arbeitsrecht geregelten Tatbestände reklamieren die Rechtsanwälte Günther und Böglmüller eine Anpassung, die dem digitalen Wandel und seinen Auswirkungen auf Arbeit gerecht wird:

„Ebenso sind die am klassischen Betriebsbegriff ausgerichtete Organisationsstruktur der Betriebsverfassung und einzelne betriebliche Mitbestimmungsrechte vor dem Hintergrund einer zunehmend digitalisiert-vernetzten Arbeitswelt zu überdenken. Die Herausforderungen an das Arbeitsrecht sind nicht zu unterschätzen. Technische und wirtschaftliche Entwicklungen können nur mit einem Arbeitsrecht auf Augenhöhe vorangetrieben werden. Ein Update auf Arbeitsrecht 1.3 reicht dafür nicht aus. Arbeiten 4.0 ist nur mit einem Arbeitsrecht 4.0 kompatibel – sonst kommt es zum Systemabsturz.“ (Günther und Böglmüller 2015, S. 1032)

Gleiches gilt für die Mitbestimmung. Auch sie benötigt ein „Update“ in Richtung aktiver Mitgestaltung. Intelligente technische Lösungen sind dann gut realisierbar, wenn sie mit den Beschäftigten entwickelt, von ihnen getragen werden und ihnen neue berufliche Perspektiven eröffnen, denn sonst droht der „Systemabsturz“ der intelligenten Fabrik.

Literatur

- Becker-Neetz, G. (2016). Die Primärverteilung aus juristischer Perspektive. In BMAS (Hrsg.), *Werkheft 1. Digitalisierung der Arbeitswelt* (S. 114–119). Berlin: BMAS.
- Deuse, J., Busch, F., Weisner, K., & Steffen, M. (2015). Gestaltung sozio-technischer Arbeitssysteme für Industrie 4.0. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen* (S. 147–164). Baden-Baden: Nomos.
- DGB-Bundesvorstand. (2016). *Offensive Mitbestimmung. Vorschläge zur Weiterentwicklung der Mitbestimmung. Beschluss des DGB-Bundesvorstandes vom 12. Juli 2016*. Berlin: DGB.
- Günther, J., & Böglmüller, M. (2015). Arbeitsrechtliche Herausforderungen in der vierten industriellen Revolution. *Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht*, 17, 1022–1032.
- IG Metall Bezirksleitung NRW. (2016). *Arbeit 4.0 fair gestalten. Die Betriebslandkarte im Rahmen des Projektes „Arbeit 2020 in NRW“*. Düsseldorf: IG Metall Bezirksleitung NRW.
- Kurz, C., & Rogalla, I. (2016). Arbeit, Aus- und Weiterbildung in den Anwendungsszenarien. Diskussionspapier der Plattform Industrie 4.0. (Hrsg. vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), April 2016).
- Landesregierung Nordrhein-Westfalen. (2016). Presseerklärung zur Gründung der Allianz Wirtschaft und Arbeit 4.0. <https://www.land.nrw/de/pressemitteilung/allianz-wirtschaft-und-arbeit-40-gegruendet-landesregierung-wirtschaft>. Zugegriffen am 03.01.2017.
- Menez, R., Pfeiffer, S., & Oestreicher, E. (2016). *Leitbilder von Mensch und Technik im Diskurs zur Zukunft der Fabrik und Computer Integrated Manufacturing (CIM)* (Working Papier, February 2016). Stuttgart: Universität Hohenheim.
- Möller, J. (2015). *Verheißung oder Bedrohung? Die Arbeitsmarktwirkungen einer vierten industriellen Revolution*. IAB-Discussion Paper 18/2015). Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit.
- Pfeiffer, S. (2015). Industrie 4.0 und die Digitalisierung der Produktion – Hype oder Megatrend? *Aus Politik und Zeitgeschichte (APuZ)*, 31–32.
- Sattelberger, T., Welp, I., & Boes, A. (2015). *Das demokratische Unternehmen: Neue Arbeits- und Führungskulturen im Zeitalter digitaler Wirtschaft*. Freiburg im Breisgau: Haufe Lexware.
- Vahrenkamp, R. (1983). Wirtschaftsdemokratie und Rationalisierung. Zur Technologiepolitik der Arbeiterbewegung in der Weimarer Republik. *Gewerkschaftliche Monatshefte*, 34(11), 722–735.

Wissensmanagement unter Bedingungen von Arbeit 4.0

Christian Harteis und Christoph Fischer

Inhalt

1	Einleitung	268
2	Wissensmanagement im Kontext Arbeit 4.0	269
3	Kultur der Lernenden Organisation als Grundlage für Arbeit 4.0	274
4	Fazit	278
	Literatur	281

Zusammenfassung

Die Digitalisierung von Arbeit betrifft nicht nur Produktionstechnologien, sondern die gesamten Abläufe eines Unternehmens. Im besonderen Maße ist der Bereich des Wissensmanagements betroffen, dessen Aufgabe darin besteht, die Transformation zu Arbeit 4.0 zu unterstützen. Dieser Beitrag diskutiert, wie Wissensmanagement die Entwicklung eines Unternehmens zu einer Lernenden Organisation durch Implementierung einer starken Lernkultur realisieren kann, um den Bedingungen von Arbeit 4.0 gerecht zu werden.

Schlüsselwörter

Wissensmanagement · Lernkultur · Arbeit 4.0 · Lernende Organisation · Expertise

C. Harteis (✉) · C. Fischer

AG Erziehungswissenschaft mit dem Schwerpunkt Bildungsmanagement und Bildungsforschung in der Weiterbildung, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

E-Mail: christian.harteis@upb.de; Chr.Fischer@upb.de

1 Einleitung

Die Idee von Wissensmanagement geht auf Nonaka und Takeuchi in den 1990er-Jahren zurück, als die Globalisierung zur Leitorientierung betriebswirtschaftlichen Denkens und Handelns wurde. Im Wissensmanagement werden das Wissen und die Fähigkeiten der Organisationsmitglieder, deren Vernetzungen innerhalb und außerhalb der Organisation sowie die Daten(banken) einer Organisation als Produktionsressource betrachtet, die es mittels geeigneter Strategien und Interventionen zu steuern und auf die Organisationsziele hin auszurichten gilt. Parallel zur Etablierung des Wissensmanagements in der Literatur kam auch die Vorstellung von Betrieben als Lernende Organisationen auf. Insofern die Etablierung dieser beiden Konzepte als Reaktion auf wirtschaftliche, gesellschaftliche und technische Entwicklungen gesehen werden kann, stellt sich die Frage, welche Auswirkungen eine Entwicklung zu Arbeit 4.0 in Hinblick auf Herausforderungen und Lösungsmöglichkeiten des Wissensmanagements hat.

Unter Arbeit 4.0 wird in diesem Beitrag Arbeit in einem cyber-physischen System verstanden. Dabei stellt der Betrieb, in dem die Arbeit stattfindet, das System dar. Das System Betrieb gilt dann als cyber-physisch, wenn der ideelle Produktionsablauf automatisch mit den physischen Produktionsbedingungen verknüpft ist. Das bedeutet, dass Daten und Kennzahlen nicht mehr per Hand in die Produktionsplanung eingepflegt werden müssen, sondern die Daten durch mit Sensoren und Aktuatoren ausgestattete und vernetzte Geräte, sogenannte cyber-physical devices, bereitgestellt werden. Der daraus resultierende Datenaustausch eröffnet für Mensch und Maschine neue Steuerungsmöglichkeiten. Im Bereich des Wissensmanagements bedeutet die automatisierte Verfügbarkeit von Informationen eine Erweiterung der Handlungsmöglichkeiten und Aufgaben. Die Etablierung von Umgangsformen und Handlungspraktiken, die zur Nutzung dieser Möglichkeiten und zur Annahme der Aufgaben führen, stellt einen betrieblichen Transformationsprozess dar.

Ein Unternehmen, das sich (erst) auf den Weg zu Arbeit 4.0 begibt, hat einen Transformationsprozess zu bewältigen, der die Beschäftigten vor die Zumutung stellt, eingespielte betriebliche Praktiken zur Disposition zu stellen und vermutlich Veränderungen und Neugestaltungen einzuführen. Ein Unternehmen, das diesen Transformationsprozess bereits bewältigt hat, sieht sich den Anforderungen von Flexibilität und Komplexität der Prozesse ausgesetzt. In beiden Fällen ergeben sich für ein betriebliches Wissensmanagement Herausforderungen.

Eine wesentliche Determinante für Interventionsansätze im Wissensmanagement stellt das Grundverständnis vom Menschen im Organisationsgefüge dar. Im Laufe der Managementlehre haben sich unterschiedliche Konzeptionen etablieren können, die in sehr grober Kategorisierung folgendermaßen unterschieden werden können: (1) Einem hohen Maß an Arbeitsteilung in kleine, möglichst einfache Prozesse liegt eine Vorstellung vom Menschen als bloße Exekutive zugrunde. Im Tayloristischen Managementansatz wurde die Trennung von Planung und Ausführung von Arbeiten soweit optimiert, dass die Beschäftigten in der Produktion beliebig austauschbar und ohne großen Vorbereitungs- und Anlernaufwand an jeder Stelle in der Produktionskette eingesetzt werden konnten. (2) Zu Beginn der 1990er-Jahre brachten Womack et al. (1991)

eine neue Denkrichtung in die Managementliteratur, als neben den Effektivierungsanstrengungen über Automatisierung und Effektivierung der Technik eine flache Hierarchie mit einer schlanken Struktur die Organisationsprozesse effektiver gestalten sollte. In diesem Ansatz wird der einzelne Beschäftigte nicht mehr nur als ausführende Einheit, sondern als Wissens- und Erfahrungsträger gesehen, dem Entscheidungsautonomie eingeräumt werden sollte, um Probleme lösen zu können, die sich im Arbeitsalltag einstellen und die nicht (im Detail) vorab vorhersehbar und planbar sind. In diesem Ansatz spielt die individuelle Expertise und Erfahrung eine wesentliche Rolle. (3) Schließlich etablierten sich Ende der 1990er-Jahre Managementansätze, die von einer grenzenlosen Unternehmung (Picot et al. 2003) mit flexiblen und teilweise temporären Strukturen ausgegangen sind, in denen neben Organisationsmitgliedern auch Akteure außerhalb einer Organisation (z. B. Kunden, Stakeholder) maßgeblich wirken. Unter diesem Ansatz spielt nun nicht mehr alleine das Individuum die zentrale Rolle, sondern die Vernetzung und der temporäre Zusammenschluss von Teams zur Lösung von Problemen. Die zentrale Idee ist hierbei die vernetzte Expertise. In Betrieben sind vermutlich Strukturen aus allen drei Lagern vorzufinden. Entscheidend für dieses Kapitel ist jedoch, dass jeder dieser drei Ansätze in Hinblick auf Wissensmanagement eigene Problemanalysen zu Tage fördert und daher unterschiedliche Interventionen nahelegt.

2 Wissensmanagement im Kontext Arbeit 4.0

Schon frühe deutschsprachige Interpretationen von Wissensmanagement thematisieren die Generierung, die Distribution, die Repräsentation und die Nutzung von Wissen im Zusammenspiel von Mensch, Maschine und Technik (z. B. Reinmann-Rothmeier und Mandl 1998). Die Bedeutung von Wissen als zentrale Ressource für Problemlöseprozesse wurde in der Psychologie Mitte des 20. Jahrhunderts entdeckt (Spada und Mandl 1988). Auslöser waren Studien über Experten, deren bemerkenswerte kognitive Fähigkeiten in ihren Domänen mit überlegenen Strukturen der Verarbeitung und der Speicherung von Information erklärt wurden. Vorreiter waren Untersuchungen der Gedächtnisleistungen von Schachexperten (de Groot 1965; Chase und Simon 1973), die Organisationsleistungen der Informationsverarbeitung aufzeigten, welche die Überlegenheit von Experten gegenüber Novizen erklärten: Sie bestanden in der Wahrnehmung sinnhafter Strukturen, der Bildung von Informationsbündeln sowie der Geschwindigkeit der Übertragung und Einbettung in das Langzeitgedächtnis. Schon früh wurde begonnen, solche Prozesse in Computersimulationen abzubilden (Simon und Gilmarin 1973) und in Expertensystemen künstliche Intelligenz abzubilden. Schon hier zeigte sich jedoch ein zentrales Wissensmanagementproblem: Man musste Experten die Wissensbestände und Informationsverarbeitungsprozesse entlocken, um sie entsprechend in Computersystemen abzubilden, und man musste eine Form der Repräsentation finden, die anderen Personen die Nutzung dieser Wissensbestände möglich machte.

2.1 Zielsetzungen von Wissensmanagement in Unternehmen

Es können drei Zielsetzungen von Wissensmanagement in einem Unternehmen unterschieden werden: (a) die Bereitstellung von Wissen, (b) die Aktualisierung des Wissensbestandes und (c) Vermeidung von Verlust von Wissen.

Zu (a). Als grundlegendes Ziel von Wissensmanagement kann die Bereitstellung von Wissen angesehen werden. In diesem Sinne bilden Bibliotheken eine klassische Form des Wissensmanagements, denn sie beherbergen das in Büchern durch Symbole repräsentierte Wissen und stellen es öffentlich zur Verfügung. Die Herausforderung bei der Nutzung einer Bibliothek besteht darin, das für ein konkretes Erkenntnisinteresse relevante Wissen zu identifizieren, aufzunehmen und für eine etwaige Problemlösung einzusetzen. Dabei ist festzuhalten, dass eine Bibliothek lediglich die Wissensbestände bereitstellen kann, sämtliche Prozesse der Nutzung – von der Identifikation über die Aufnahme und Anwendung dieser Wissensbestände – liegen außerhalb der Einflussosphäre der Bibliothek und obliegen dem Nutzer. In heutigen Zeiten sind Wissensbestände nicht nur in Büchern, sondern auch in digitalen Dokumenten repräsentiert. Dabei haben digitale Wissensbestände lediglich physisch andere Eigenschaften als Bücher in Bibliotheken, alle anderen Eigenschaften ähneln sich jedoch. Auch digitale Bibliotheken repräsentieren lediglich die dort eingepflegten Wissensbestände. Wissensmanagementsysteme müssen daher eine transparente Systematik aufweisen und setzen Nutzer voraus, die sich ihrer Ziele bewusst und in der Lage sind, mit dieser Systematik zu arbeiten.

Zu (b). Die Aktualisierung des Wissensbestandes ist ebenfalls ein wichtiges Ziel von Wissensmanagement in Unternehmen. Die gesellschaftlichen und technologischen Entwicklungen erzeugen eine Dynamik, die eine beständige Veränderung der Bedingungen herbeiführt, unter denen Unternehmen agieren. Sich wandelnde Bedingungen können zum einen dazu führen, dass neues Wissen generiert wird, und sie können zum anderen dazu führen, dass vorhandene Wissensbestände modifiziert werden müssen. Die Bewältigung von wandelnden Anforderungen wird auch unter dem Schlagwort der Wettbewerbsfähigkeit diskutiert, wozu Wissensmanagement einen wesentlichen Beitrag leisten kann.

Zu (c). Für Unternehmen stellt Fluktuation in der Belegschaft in verschiedener Hinsicht eine Herausforderung dar. Ein großes Problem besteht darin, dass mit ausscheidenden Organisationsmitgliedern der Zugriff auf deren Wissen verloren gehen kann. Von daher besteht eine dritte wesentliche Aufgabe von Wissensmanagement darin, den Verlust von Wissen zu vermeiden. Wissensmanagement kann als organisationales Gedächtnis verstanden werden, das gewährleisten soll, dass möglichst alle relevanten individuellen Wissensbestände Eingang in das organisationale Gedächtnis finden, um sie vor Verlust bei Ausscheiden eines Mitglieds zu schützen.

Zu allen drei Zielsetzungen von Wissensmanagement lässt sich konstatieren, dass sie jeweils Akteure voraussetzen, die sich in angemessener Weise an den Prozessen des Wissensmanagements beteiligen. Dies liegt an der Besonderheit der Ressource Wissen, die in der häufigen Fokussierung von Wissensmanagement auf technische und organisationale Perspektiven wenig Beachtung findet.

2.2 Wissen als Ressource

Ein genauerer Blick auf die Ressource „Wissen“, die Wissensmanagement vorgibt steuern zu wollen, zeigt einen Gegensatz zur typischen Wissensmanagementperspektive: Wissen – und insbesondere Expertise (im Sinne von Können) – ist unveränderbar ein individueller Wissensbestand einer konkreten Person. Die Schwierigkeit besteht darin, Expertise so zu operationalisieren, dass sie in ein Konzept von Wissensmanagement derart eingebracht werden kann, dass sie anderen Netzwerkpartnern den erhofften Nutzen bringt. Hierzu ist zunächst (a) das Verhältnis von Wissen und Expertise zu klären, um (b) auf das Individuum als Träger von Wissen zu sprechen zu kommen. Eine (c) Differenzierung verschiedener Arten und Qualitäten von Wissen verdeutlicht, worin (d) die Besonderheit von Wissen in sozialen Kontexten besteht.

Zu (a). Unter Expertise wird gemeinhin die Fähigkeit einer Person verstanden, über einen langen Zeitraum hinweg Leistungen von herausragender Qualität in einer Domäne zu erbringen (Posner 1988). Diese Auffassung schließt zufällig zustande gekommene Leistungen aus und betrachtet nur solche Personen als Experten, die ihre Leistungen zuverlässig erbringen können. In der Expertiseforschung wird die Leistungsfähigkeit von Experten auf die besonderen Strukturen und Qualitäten von deren Wissen zurückgeführt. Gleichwohl wird die Fokussierung auf das Wissen von Experten kritisiert, da weniger das Wissen als solches, sondern vielmehr dessen Nutzung entscheidend für gute Leistungen sei (Hacker 1992). In dieser Position kommt das Problem zum Vorschein, dass mit der Verwendung des Wissensbegriffs Missverständnisse erzeugt werden. Wissen wird gemeinhin in Sprache veräußert, wonach der Eindruck entstehen könnte, damit liege das Wissen für alle offen und sei damit eindeutig (Seiler und Reinmann 2004). Dabei ist unbestritten, dass Wissensbestände unterschiedlich zugänglich sind. Schon Nonaka und Takeuchi (1995) unterschieden in ihrem Ansatz zu Wissensmanagement explizites, d. h. verbalisierbares und damit prinzipiell von außen erschließbares Wissen, von unzugänglichem, schweigendem Wissen (*tacit knowledge*). Solche nicht verbalisierten Wissensbestandteile werden auch als implizites Wissen (Neuweg 2001) – Wissen, das prinzipiell nicht verbalisierbar ist – und Intuition (Harteis und Billett 2013) – die Fähigkeit, unbewusst richtig zu handeln – diskutiert. Das zentrale Interesse der Expertiseforschung liegt weniger auf dem Wissen als vielmehr auf dem Können einer Person – auch diese Implikation ist in Posners o. g. Definition von Expertise ausgedrückt. „Können ist nicht mit Wissen gleichzusetzen, sondern umfasst auch regulative Kenntnisse und Metakenntnisse sowie heuristische Strategien und betrifft somit selektiv kritische Teile von Tätigkeiten sowie unbewusstes, schweigendes Wissen“ (Gruber et al. 2004, S. 84). Damit ist zu konstatieren, dass Können im entscheidenden Maße durch Nutzung kaum und gar nicht explizierbarer Wissensbestände zustande kommt. Nun ist aber ein zentrales Anliegen von Wissensmanagement, Wissen im Unternehmen nutzbar zu machen.

Zu (b). Informationstheoretisch ist Wissen eine notwendig an ein Individuum gebundene Kategorie. Sozial geteilt werden können Informationen, die als im Sinngehalt deutbare Symbole (Sätze, Buchstaben) dargestellt sind. Die Qualität

kooperativer Problemlösungen besteht darin, dass Individuen bei der Bearbeitung nicht nur Informationen austauschen, sondern gemeinsam handeln. Dadurch, dass koordiniertes Können bzw. koordinierte Expertise zum Einsatz kommt, können die entscheidenden Wissensbestände der beteiligten Personen genutzt werden. Wissensmanagement in einem Unternehmen muss also die Kooperation der Wissensträger beabsichtigen. Aus individueller Sicht kann eine geringe Bereitschaft, Wissen im Unternehmen weiterzugeben, sowohl aus einer Position der Stärke als auch der Schwäche resultieren (Schütz und Schröder 2004): Aus einer starken Position heraus kann ein Vorteil erwartet werden, wenn zwischen beteiligten Personen eine Konkurrenzsituation herrscht. Aus einer schwachen Position heraus kann Selbstschutz greifen, wenn beispielsweise Wissenslücken für den sozialen Status gefährlich werden können. Eine hohe Bereitschaft zur Wissensteilung kann also nur erwartet werden, wenn wenig Konkurrenz und ein sicheres Teamklima herrschen.

Zu (c). Wie bei den Erläuterungen zu Expertise schon deutlich wurde, lassen sich verschiedene Arten und Qualitäten von Wissen differenzieren, die unterschiedlich gut verbalisierbar und damit veräußerbar sind. Nach den Vorstellungen des multimodalen Gedächtnismodells (Shiffrin und Atkinson 1969) umfasst das Langzeitgedächtnis jene Einheit, in der unser Wissen in verschiedenen Formen repräsentiert ist. Es enthält ein Wissensgedächtnis und ein prozedurales Gedächtnis. Faktenwissen – oder deklaratives Wissen – stellt dabei diejenige Art von Wissen dar, die in Lehrbüchern, Datenbanken und Internetinträgen repräsentiert wird und in der Regel Beschreibungen von Sachbeständen, Bedeutungen und Zusammenhängen zwischen Sachverhalten beschreibt. Faktenwissen befüllt das Wissensgedächtnis. Im prozeduralen Gedächtnis werden Tätigkeiten wie z. B. Fahrradfahren, das Spielen eines Instruments etc. als prozedurales Wissen repräsentiert. Für Wissensmanagement wichtig sind nun Erklärungen der Expertiseforschung, wie leicht verbalisierbares Faktenwissen über die wiederholte Anwendung auf Problemstellungen und der systematischen Reflexion der dabei erzielten Erfahrungen zu prozeduralem Wissen und schließlich zu Routinen weiterentwickelt wird, um so schließlich die hohe Leistungsfähigkeit von Experten zu erreichen. Deutlich wird anhand der o. g. Beispiele des Fahrradfahrens und Instrumentspielens, dass sich Tätigkeiten nur in begrenztem Maße und kaum zufriedenstellend in Worten beschreiben lassen. Eine weitere Unterscheidung von Wissen (Seiler und Reinmann 2004) differenziert in objektiviertes Wissen auf der einen Seite, welches in Form von Symbolen, Daten und Informationen repräsentiert ist, die kollektiv zugänglich sind. Auf der anderen Seite ist das idiosynkratische Wissen zu sehen, welches die konkrete individuelle und subjektive Form der Repräsentation von Wissen in einer Person – einschließlich emotionaler und physiologischer Zustände – darstellt. Ein und dieselbe Information ist bei unterschiedlichen Personen in jeweils individueller idiosynkratischer Form repräsentiert. Diese Form der Repräsentation ist nur schwer und begrenzt valide verbalisierbar.

Zu (d). Soziale Kontexte von Wissen sind für Wissensmanagement in Unternehmen aus verschiedenen Gründen bedeutsam. Zum einen wurde oben schon die Bedeutung des sozialen Klimas für die individuelle Bereitschaft Wissen auszutau-

schen angesprochen. Unter Konkurrenzsituationen steigt die Gefahr, dass Wissen aus strategischen Erwägungen zurückgehalten wird. Insofern verweist das Anliegen von Wissensmanagement unmittelbar auf die betriebliche Organisationskultur. Zum anderen spielen soziale Kontexte aber auch für die Anerkennung und Wertschätzung von Wissen eine wesentliche Rolle. Was innerhalb einer Domäne als gesichertes Fachwissen gilt, ist Resultat eines umfangreichen sozialen Aushandlungsprozesses, an dem eine Vielzahl an Experten beteiligt ist. Die Anerkennung von Expertise ist ebenfalls Resultat eines sozialen Attribuierungsprozesses, indem Experten eben die Anerkennung in einer sozialen Gemeinschaft zugesprochen bekommen. Wissensmanagement in Unternehmen leistet einen Beitrag zu solchen Aushandlungs- und Anerkennungsprozessen. Schließlich besteht die Besonderheit von Wissen gegenüber herkömmlichen betrieblichen Ressourcen gerade darin, dass es durch Nutzung keinen Verbrauch erfährt. Zwar mag es möglich sein, dass in speziellen Fällen der sozial zugesprochene Wert von Wissen durch Nutzung sinkt (z. B. Geheimwissen, Herrschaftswissen), in der Regel verfällt der Wert jedoch nicht im Sinne von Abnutzung – im Gegenteil, der Wert kann durch sozial geteilte Nutzung sogar noch steigen. Hierin liegt das Potenzial von Wissensmanagement für Arbeit 4.0.

2.3 Steuerungsprobleme im Wissensmanagement

Der prinzipielle Anspruch von Wissensmanagement besteht in der aktiven Steuerung von Prozessen des Austauschs und der Aktualisierung von Wissen. Sowohl die Diskussion der Zielsetzungen als auch die Diskussion der Besonderheiten der Ressource Wissen haben auf Problemstellungen verwiesen, die nur in begrenztem Maße steuerbar sind. Wenn man davon ausgeht, dass die bloße Bereitstellung von Wissensbeständen noch gelingen mag, so hat sich gezeigt, dass deren adäquate Nutzung in einer konkreten Problemsituation von der Kompetenz der Akteure abhängig ist, die Problemstellung angemessen zu deuten und die Instrumente des Wissensmanagements zu nutzen. Dabei weisen diese Instrumente aber den Mangel auf, dass für hohe Leistungsfähigkeit entscheidende Wissensbestände kaum verbalisierbar und daher nur schwerlich in Instrumenten des Wissensmanagements abgebildet werden können. Wissensmanagement kann hier womöglich wenig Steuerung leisten, sondern vielmehr Möglichkeiten der Kooperation eröffnen.

Die Bedingungen von Arbeit 4.0, die durch Flexibilität und Komplexität von Aufgaben und Anforderungen geprägt sind, tragen ihrerseits dazu bei, dass Anforderungen und Problemstellungen nicht immer präzise zu benennen sind und getroffene Beschreibungen nur von begrenzter Gültigkeit sind. Sie erfordern Beschäftigte mit hoher Expertise in ihren beruflichen Domänen, zu deren Entwicklung Wissensmanagement in Unternehmen einen Beitrag leisten kann. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass Experten Anspruch auf Autonomie und Souveränität erheben und sich daher nicht notwendigerweise steuern lassen (möchten). Wissensmanagement muss sich daher auf die Ausgestaltung günstiger Rahmenbedingungen für die Vernetzung von Expertise in der Organisation fokussieren und eine Kultur der Lernenden Organisation etablieren (Zheng et al. 2010).

3 Kultur der Lernenden Organisation als Grundlage für Arbeit 4.0

Spätestens seit Senges und Klostermanns richtungsweisendem Werk „Die fünfte Disziplin“ (1990, dt. 1996) wird versucht, die Innovationsfähigkeit von Organisationen nicht nur durch Einzelmaßnahmen im Weiterbildungsbereich zu verbessern, sondern durch eine umfassende Unterstützung des organisationalen Lernens. So schreiben Argyris und Schön (1978, 1999), dass eine entscheidende Art zu Lernen sowohl für Individuen als auch für Organisationen das „Lernen zweiter Ordnung“ (Argyris und Schön 1999, S. 44) sei. Lernen zweiter Ordnung bedeutet dabei zu lernen wie man lernt. Organisationales Lernen zweiter Ordnung zielt demnach auf die Analyse und Verbesserung der betrieblichen Umgebungsfaktoren in einer solchen Weise ab, dass diese das Lernen der Organisationsmitglieder unterstützen. Aber auch hier bleibt das oben angesprochene Steuerungsproblem bestehen: Selbst wenn die Organisation als System verstanden und versucht wird, lernförderliche Arbeitskontexte in allen Bereichen zu schaffen, stellt jede Intervention einen einmaligen Eingriff dar, die bei jedem Anlass neu geplant und gesteuert werden muss. Das Ziel einer Organisation – insbesondere unter den Bedingungen von Arbeit 4.0 – kann es jedoch nicht sein, Lernen durch singuläre Interventionen zu fördern, sondern es muss vielmehr Ziel sein, einen ständigen Prozess der Lernunterstützung zu etablieren und so eine Kultur der Lernenden Organisation zu schaffen.

3.1 Struktur der Organisationskultur

Die Etablierung einer Kultur der Lernenden Organisation setzt ein Verständnis davon voraus, was eine Organisationskultur im Allgemeinen ausmacht. Die Organisationskultur wird als die Art und Weise beschrieben, wie in einer Organisation an Probleme und Aufgaben herangegangen wird (Denison 1990; Sackmann 1992). Schein (1990) konkretisiert diese Sichtweise und definiert die Kultur einer Organisation als Muster von Grundannahmen, die von einer Gruppe eingeführt wurden, während sie gelernt hat, ihre Problemen der externen Adaption und internen Integration zu bewältigen, und die sich ausreichend gut bewährt haben, um sie an neue Mitglieder weiterzugeben (Schein 1990). Er unterscheidet drei Ebenen von Organisationskultur, die unterschiedlich sichtbar sind: die Ebene der (a) Artefakte, der (b) Pläne und Strategien sowie der (c) geteilten grundlegenden Überzeugungen.

Zu (a). Als Artefakte werden alle beobachtbaren Manifestationen von Kultur bezeichnet. Dies können Gegenstände oder Gegebenheiten ebenso sein wie Handlungen der Organisationsmitglieder. Im Bereich des Wissensmanagements können sowohl die Existenz eines Wissensmanagementsystems als auch dessen Nutzung durch die Organisationsmitglieder als Artefakte bezeichnet werden. Artefakte stellen Manifestationen der zweiten Ebene der Pläne und Strategien dar. Der Plan, ein Wissensmanagementsystem zu nutzen, manifestiert sich in dessen Nutzung. Daher sind Artefakte immer im Kontext der darunterliegenden Ebenen der Organisationskultur zu sehen.

Zu (b). Die zweite Ebene umfasst die Pläne und Strategien, mit denen die Organisationsmitglieder versuchen, ihre Probleme und Aufgaben zu bewältigen. Pläne und Strategien sind Absichten und deren Begründungen, die zu Handlungen führen und sich damit in Artefakten manifestieren. Am Beispiel des Wissensmanagementsystems stellt der Plan, das System zu nutzen, um ein Problem zu lösen, die zweite Ebene der Kultur dar, die sich dann in der tatsächlichen Nutzung als Artefakt manifestiert. Da es meist mehr als eine Lösung für ein Problem gibt, leiten grundlegende Überzeugungen die Auswahl von Plänen und Strategien.

Zu (c). Die unterste und dritte Ebene stellen diese grundlegenden Überzeugungen dar. Sie sind bewusste und unbewusste Einstellungen darüber, wie die Welt funktioniert. Sie bestimmen, welche Pläne oder Strategien in Betrachtung gezogen werden und legen damit auch fest, welche Artefakte daraus entstehen können. Bereits der Plan, ein Wissensmanagementsystem für die Lösung eines Problems zu nutzen, bedarf der Überzeugung, dass dies auch möglich und richtig ist. Diese Überzeugungen sind also die Grundlage der in einer Organisation praktizierten Problemlösungen und bilden daher das Fundament der Organisationskultur. Zu bedenken ist allerdings, dass diese Überzeugungen zwar das Fundament der Organisationskultur bilden, isoliert betrachtet jedoch lediglich Überzeugungen darstellen. Es bedarf der beiden darüber liegenden Ebenen, damit sich organisationale Praktiken entwickeln, die als sichtbare Artefakte der Organisationskultur angesehen werden.

Solche Grundannahmen teilt sich eine Gruppe nach Schein (1990) dann, wenn sie über längere gemeinsam geteilte Erfahrungen entwickelt wurden und sie durch die Organisationsmitglieder an neue Mitglieder weitergegeben wurden. Er spricht von einer starken Organisationskultur, wenn solche Überzeugungen von vielen Organisationsmitgliedern geteilt werden.

Die Kultur einer Organisation beschreibt also, wie und aus welchen Überzeugungen heraus in einer Organisation Probleme und Aufgaben gelöst werden. Da dieses Verhalten der Organisationsmitglieder nicht auf Anweisungen, sondern auf den gemeinsam geteilten Überzeugungen der Organisationsmitglieder beruht, bedarf es keiner aktiven Steuerung und Intervention. In einer starken Organisationskultur handeln die Akteure selbstgesteuert im Sinne der geteilten Überzeugungen. Soll eine Organisation zur Lernenden Organisation werden, müssen die Praktiken an Lernprozessen orientiert sein und es muss sich eine Lernkultur entwickeln.

3.2 Lernkultur als Teil von Organisationskultur

Die Kultur der Lernenden Organisation beschreibt nach Watkins und Marsick (1993) die organisationale Orientierung hin zu Lernen, die sich auf allen Ebenen einer Organisationskultur niederschlagen muss – im Unternehmen soll „die Brille des Lernens“ getragen werden. Sonntag et al. beschreiben Lernkultur als den „Ausdruck des Stellenwerts, der Lernen im Unternehmen zukommt“ (2004, S. 107). Dieser Stellenwert ergibt sich aus der Gesamtheit aller zwischen den Organisationsmitgliedern geteilten expliziten und impliziten Überzeugungen bezüglich Lernen, sie leiten

die Auswahl von Plänen und Strategien, die sich in organisationalen Praktiken niederschlagen und damit die organisationale Lernkultur bilden.

Analog zu Scheins (1990) Organisationskulturtheorie wirken sich die geteilten Überzeugungen und Einstellungen zu Lernen auf das Verhalten aller Organisationsmitglieder hinsichtlich Lernen aus. Dies kann sich einerseits in konkreten Lernhandlungen und der Schaffung oder Gestaltung von lernförderlichen Arbeitsbedingungen niederschlagen, andererseits können sich diese Überzeugungen auch in den Plänen und Strategien niederschlagen, wie ein Wissensmanagementsystem angelegt werden soll. Eine starke Lernkultur fußt auf gemeinsam geteilten Überzeugungen, dass die steigende Komplexität und Anforderungen an Flexibilität heutiger Arbeitsanforderungen am besten durch eigene Entwicklung und Lernprozesse gemeistert werden kann (Schein 2004). Damit eröffnet sich die Möglichkeit der gemeinsamen Erfahrung, dass Lernen zum Erfolg führt. So wird das Lernen zweiter Ordnung (Argyris und Schön 1999) auch Teil der Organisationskultur, die von den Organisationsmitgliedern unterstützt wird.

Das bedeutet, dass auch bei zukünftigen Problemen und Aufgaben, die neues Wissen erfordern, die geteilten Einstellungen zu Lernen das Verhalten der Organisationsmitglieder beeinflussen werden. Lernorientierte Überzeugungen, welche sich in einer Organisation etablieren, beeinflussen also nicht nur die konkreten Lernhandlungen, sondern bewirken auch die strategische und praktische Ausrichtung der Organisation auf Lernen. Eine starke Organisationskultur, die Lernen positiv gegenübersteht, ist daher wünschenswert. Zusätzlich bieten die in der Organisation vorherrschenden Überzeugungen allen Organisationsmitgliedern eine Orientierung hinsichtlich der von ihnen erwarteten Verhaltensweisen. So können auch neue Mitglieder oder Mitglieder, die diese Überzeugungen noch nicht teilen, indirekt zur Realisierung einer Lernenden Organisation hin geleitet werden.

3.3 Lernkultur als Basis des Wissensmanagements

Damit Lernkultur die Zielsetzungen von Wissensmanagement unterstützen kann, muss eine starke Lernkultur die Ziele des Wissensmanagements fördern. Sie muss also (a) die Bereitstellung von Wissen und (b) dessen Aktualisierung fördern sowie den (c) Verlust von Expertise durch Abwanderung von Wissensträgern vermeiden.

Zu (a). Die Bereitstellung von Wissen durch Zugang zu Informationssystemen wie auch zu Weiterbildungsangeboten sind Hauptelemente, in denen sich Lernkultur manifestiert (Marsick und Watkins 2003). Sie sind daher die Kernelemente bei der Etablierung einer lernförderlichen Organisationskultur. Sobald sich die Organisation auf das Lernen ausgerichtet hat, werden die Organisationsmitglieder die Notwendigkeit von neuem Wissen erkennen und Weiterbildungs- und Informationsangebote nachfragen. Dies hat den Vorteil, dass dadurch genau der aktuelle Bildungsbedarf abgedeckt wird. Ein Wissensmanagementsystem kann also Brokerfunktionen zwischen den Organisationsmitgliedern und verfügbaren Weiterbildungs- und Informationsangeboten übernehmen.

Zu (b). Ein weiterer Punkt, den es bei der Etablierung einer Lernkultur zu beachten gilt, betrifft die Bereitschaft zum Austausch von Wissen im Team und der außerorganisationalen Umwelt (Marsick und Watkins 2003). Eine starke Lernkultur zeichnet sich durch die Bereitschaft der Organisationsmitglieder aus, Wissen auszutauschen (Hsu 2006; Jo und Joo 2011; Mueller 2012, 2014), die eine Manifestation der gemeinsam geteilten Einstellung zu Lernen darstellt. Diese Einstellung wirkt sich sowohl auf den aktiven als auch den passiven Wissensaustausch aus. Das bedeutet, dass Organisationsmitglieder, welche die Überzeugung teilen, dass Lernen bei dem Lösen von Problemen hilft, vermehrt sowohl ihr Wissen den Kolleginnen und Kollegen bereitstellen als auch das Wissen anderer vermehrt nachfragen (Sinkula et al. 1997). Somit wird die ständige Aktualisierung der Wissensbasis der Organisation erreicht.

Zu (c). Ziel von Wissensmanagement ist es auch, Expertise in der Organisation zu halten. Daher sollte es verhindert werden, dass Experten abwandern. Ein starker Prädiktor für eine Abwanderung von Organisationsmitgliedern ist ihre Absicht zum Stellenwechsel. Diese wird maßgeblich von der Bindung der Mitglieder an die Organisation bestimmt (Sagie 1998; Wasti 2003). Die Bindung an die Organisation ist vor allem dann stark, wenn die Werte, die das Individuum vertritt, auch von der Organisation vertreten werden (Meyer und Allen 1991). In einer starken Organisationskultur, in der alle Organisationsmitglieder die gleichen Überzeugungen teilen, ist dies der Fall (Currivan 1999). Gerade wenn eine Organisationskultur stark auf Lernen ausgerichtet ist, d. h. wenn also das Bedürfnis nach individueller Weiterentwicklung und organisationaler Weiterentwicklung gleichzeitig befriedigt wird, nimmt das Bestreben, die Organisation zu verlassen, ab (Islam et al. 2013, 2014; Joo 2010; Joo und Lim 2009). So hilft eine starke Lernkultur, über die Bindung der Organisationsmitglieder die Abwanderung von Expertise zu verhindern.

Es zeigt sich also, dass in einer Organisation geteilte grundlegend positive Einstellungen gegenüber Lernen in eine starke Lernkultur münden. So werden Praktiken etabliert, welche die zentralen Ziele von Wissensmanagement unterstützen (Schein 2004; Watkins und Marsick 1993; Zheng et al. 2010). Dies schlägt sich in einer höheren Innovationsfähigkeit und damit einhergehend in höherem wirtschaftlichen Erfolg nieder (Bates und Khasawneh 2005; Kalyar und Rafi 2013; Škerlavaj et al. 2007). In Zukunft wird daher die Aufgabe von Wissensmanagement vermehrt sein, die Wissensgenerierung nicht mehr direkt anzustoßen, sondern eine starke Lernkultur zu etablieren und aufrechtzuerhalten.

3.4 Lernkultur und Arbeit 4.0

Wenn Wissensmanagement den Anforderungen von Arbeit 4.0 gerecht werden möchte, dann muss es den Anforderungen von Flexibilität und Komplexität genügen. In einer starken Lernkultur wird dies grundsätzlich durch die Selbststeuerung des Wissenserwerbs durch die Organisationsmitglieder erreicht.

Flexibilität. In einer starken Lernkultur erfolgt die Steuerung des Verhaltens über gemeinsam geteilte Werte und grundlegende Überzeugungen. Nicht mehr die

Vorgesetzten, sondern die betroffenen Organisationsmitglieder selbst treffen die konkreten Entscheidungen über ihr Verhalten und ihre Teilnahme und Teilhabe am Wissensmanagement. Die Steuerung erfolgt also nicht mehr zentral, sondern dezentral. Dadurch sind die Aktivitäten flexibel auf die in einer konkreten Situation herrschenden Anforderungen ausgerichtet. Kern dieser dezentralen Steuerung sind die geteilten Überzeugungen, die sich dann in adäquaten Lernhandlungen manifestieren, denn sie geben den Akteuren die Handlungsorientierung. Die neue Aufgabe von Wissensmanagement besteht darin, diese Überzeugungen zu etablieren und zu stärken.

Komplexität. Die steigende Komplexität der Arbeitswelt führt dazu, dass die Arbeitsbedingungen und -anforderungen von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz erheblich variieren können. Das bedeutet, dass die Anforderungen und Bedarfe an Wissen nicht mehr für alle gleichzusetzen sind, eine standardisierte Verwaltung eines Wissensmanagementsystems kann diese Anforderungen und Bedarfe nicht bedienen. Auch hier bietet die Selbststeuerung der einzelnen Organisationsmitglieder die Möglichkeit, die Komplexität an Wissensbedarfen zu bedienen. Wenn sie sich ihres eigenen Wissensstands und ihrer Bedarfe bewusst werden, kann die Anpassung an die individuellen Erfordernisse eigenständig erfolgen. Hierzu bedarf es der gemeinsam geteilten Überzeugung, dass die aktive Teilnahme und Teilhabe am Wissensmanagement sowohl der normativ richtige als auch erfolversprechende Weg ist.

Die Bedingungen von Arbeit 4.0 erfordern also organisationales und individuelles Lernen, das auf einer durch entsprechende Überzeugungen geleiteten dezentralen Selbststeuerung der einzelnen Organisationsmitglieder beruht.

Die Etablierung einer Kultur, die Lernen wertschätzt, bietet den Mitgliedern einer Organisation ein günstiges Umfeld für individuellen Wissenserwerb. Zielt Wissensmanagement also auf die Etablierung einer günstigen Lernkultur ab, werden feingliedrige Steuerungsmaßnahmen überflüssig.

4 Fazit

Im letzten Abschnitt dieses Beitrags soll ein Fazit gezogen werden, das zum einen eine Diskussion von Interventionsmöglichkeiten umfasst und zum anderen einen kurzen Einblick in den Stand empirischer Forschung bietet. Schließlich sollen Anknüpfungspunkte für weitergehende erziehungswissenschaftliche Forschung zum Thema Arbeit 4.0 aufgezeigt werden.

4.1 Interventionsmöglichkeiten des betrieblichen Wissensmanagements

Nachdem die Überschneidungen zwischen Wissensmanagement und Lernkultur unter den Bedingungen von Arbeit 4.0 beschrieben wurden, stellt sich die Frage nach den Optionen für gezielte Interventionen. Schein (2010) attestiert den Unter-

nehmen bzw. deren Führungskräften einen Drang zu einfachen Lösungen, die dem Leitgedanken der „Machbarkeit“ folgen, und stellt klar, dass damit keine angemessenen Lösungen erzielt werden könnten, denn „Kultur ist tief, breit und stabil. Man kann sie nicht leicht nehmen“ (S. 173). Dementsprechend weisen alle populären Ratgeberpublikationen zur Verbesserung der betrieblichen Lernkultur (z. B. Blanchard et al. 2003; Gephart und Marsick 2016; Schein 2010) auf die Vielschichtigkeit und Komplexität eines solchen Vorhabens hin. Einigkeit besteht jedoch darin, dass die Vorgesetzten eine entscheidende Rolle spielen, weil sie durch ihr Wirken unmittelbaren Einfluss auf das Verhalten einzelner sowie von Teams und Arbeitsgruppen haben. Der Kern der Herausforderung besteht – abstrakt formuliert – darin, dass die Beschäftigten eines Unternehmens bestimmte Überzeugungen entwickeln und bestimmtes Verhalten an den Tag legen sollen.

- (a). Ein naheliegender Ansatzpunkt wäre es, über hierarchische und sachliche Arrangements von Arbeitsplätzen und Aufgaben Druck auf die Beschäftigten auszuüben. Insbesondere die zahlreichen Schnittstellen zwischen Mensch und Maschinen unter den Bedingungen von Arbeit 4.0 würden es schon erlauben, individuelle Verhaltensweisen aufzuzeichnen und – im Vergleich zur individuellen oder zur sozialen Bezugsnorm – auszuwerten. Aus erziehungswissenschaftlicher Sicht ist einer solchen Option mit Vorbehalten entgegenzutreten. Zwar kann nicht bestritten werden, dass Druck ein effektives Mittel zur Hervorbringung erwünschten Verhaltens sein kann, allerdings ergeben sich zwei Probleme: Erstens müssten die künftigen Anforderungen jeweils vorab bekannt und klar sein, um Verhalten in eine gewünschte Richtung steuern zu können. Probleme dieser Auffassung wurden bereits dargestellt. Zweitens kann die Ausübung externen Drucks intrinsische Beweggründe der Beschäftigten korrumpieren (Ryan und Deci 2000) und damit nachhaltig wirkende Antriebskräfte vernachlässigen. Wo sich jedoch Erfolge in der Etablierung von erwünschten Überzeugungen abzeichnen, ist im Bereich der Corporate Governance, indem unerwünschtes Verhalten sanktioniert wird, was ja auch eine Ausübung von Druck darstellt. Zur Vermeidung unerwünschten Verhaltens und der Etablierung erwünschter Werthaltungen scheint Druck in Form der Sanktionierung geeignet zu sein. Voraussetzung hierfür ist wiederum, dass Klarheit herrschen muss, was *nicht* gewünscht ist. Beispielhaft zeigt das Beispiel der FIFA die schmerzhaften, aber letztlich in Hinblick auf die Ausprägung akzeptierten Geschäftsgebarens (minimal) erfolgreichen Prozesse der Sanktionierung im Kontext von Corporate Governance.
- (b). Anreize bilden einen weiteren Ansatzpunkt zur Verhaltenssteuerung. Auch hier bieten Mensch-Maschine-Schnittstellen zahlreiche Möglichkeiten, erwünschtes Verhalten zu verstärken, indem beispielsweise Bonussysteme geführt werden. Erfahrungen aus sozialpsychologischen Forschungsansätzen zu Gamification zeigen, dass beispielsweise die Integration sozialer Netzwerkaktivitäten in reguläre Arbeitsprozesse Beschäftigte zu sozial koordiniertem Verhalten auf höherem Leistungsniveau bewegt (Sailer et al. 2013). Wissensmanagement könnte also die Einspeisung individueller Wissensbestände belohnen, um

Anreize zur Beteiligung zu setzen. Selbstverständlich ist aus erziehungswissenschaftlicher Perspektive auf die Gefahr der Manipulation hinzuweisen, zu der derlei Systeme tendieren, wenn den einzelnen Beschäftigten die Systemzusammenhänge intransparent bleiben.

- (c). Schließlich kann Wissensmanagement auf ein Arrangement von Dingen und die Implementierung von Praktiken abzielen, die Einzelpersonen die Möglichkeit zur individuellen Entwicklung und Teilhabe am kollektiven Wissen einer Organisation eröffnen. Diese Option bietet freilich keine Gewissheit auf Erfolg, allerdings wären individuelle Einsicht in den eigenen und betrieblichen Nutzen von Wissensmanagement und eine ausreichende Bindung und Identifikation mit dem Betrieb die besten Prädiktoren hoher Arbeitsleistung und Bewältigung von flexiblen und komplexen Arbeitsanforderungen.

4.2 Stand der empirischen Forschung

Studien, die konkrete Erfahrungen Beschäftigter mit Wissensmanagement erfassen, zeigen die hohe Bedeutung zum einen eines vertrauensvollen Klimas im Betrieb für gelingendes Wissensmanagement, zum anderen muss aktiv Aufwand für Wissensmanagement betrieben werden und dieser Aufwand muss entsprechende Anerkennung finden (De Long und Fahey 2000; Hackermeier 2012; Linde 2005; Pérez López et al. 2004; Warta 2010; Zheng et al. 2010). Diese Studien fokussieren jedoch noch nicht Bedingungen von Arbeit 4.0.

Da die Digitalisierung der Arbeitswelt und die Entwicklung zu Arbeit 4.0 in Industrie und Dienstleistung gerade erst Fahrt aufnimmt und die Anfänge noch nicht weit zurück liegen, liegen empirische Studien über Bedingungen und Effekte von Wissensmanagementsystemen noch nicht vor. In den Unternehmen zeigen sich jedoch in Betriebsvereinbarungen bereits Ansätze, die betriebliche Weiterbildung individueller zu organisieren, um so die Selbststeuerung zu stärken (Maschke und Werner 2015). Digitale Lernangebote (in der Literatur unter den Begriffen e-Learning oder Mobile Learning subsumiert), die sich problemlos in Wissensmanagementsysteme integrieren lassen, werden als Zukunft des betrieblichen Lernens in Arbeit 4.0 propagiert (Brandl et al. 2015). Dabei stoßen mobil nutzbare Wissensdatenbanken genauso auf Interesse (Jaschke 2014) wie auch Lernfabriken (Faller und Feldmüller 2015), virtuelle Umgebungen (Guo 2015) oder adaptive (Wissens-) Assistenzsysteme (Pfeiffer et al. 2016; Senderek und Geisler 2015; Stocker et al. 2014).

4.3 Forschungsdesiderata

Die Digitalisierung von Arbeit und die Entwicklung zu Arbeit 4.0 legen nahe, Wissensmanagement und Lernprozesse mit Fokus auf digital unterstützte Lernprozesse zu untersuchen. Damit würde jedoch der in diesem Beitrag als zentral diskutierte Bereich der Lernkultur in den Hintergrund treten. Die Digitalisierung von

Arbeit bietet Optionen, Wissensmanagementsysteme in die Umgebung von Arbeitsplätzen zu integrieren. Zentral bleibt aber die Herausforderung, Werthaltungen und Überzeugungen zu etablieren, die Teilnahme und Teilhabe an Wissensmanagement erzeugen. Eine Fokussierung auf digital unterstütztes Lernen am Arbeitsplatz wird daher den Anforderungen nicht gerecht. Dieser Beitrag versuchte aufzuzeigen, dass hinter der Einführung von neuen (digitalen) Lernmöglichkeiten ein grundlegender Wandel des Wissensmanagements mit der Einführung von Arbeit 4.0 stattfindet. Die Kernidee von Wissensmanagement in Arbeit 4.0 beruht auf der Selbststeuerung der Lernprozesse, die durch ein Wissensmanagementsystem unterstützt werden. Wissensmanagement ist untrennbar mit der Frage der Lernkultur verbunden (Aggestam 2015). Teilnahme und Teilhabe an Wissensmanagement setzt die Etablierung entsprechender Werthaltungen und Überzeugungen voraus, die eine starke Lernkultur ausdrücken. Es wird empirisch zu untersuchen sein, ob und wie die Bedingungen von Arbeit 4.0 neue Herausforderungen für die Etablierung einer starken Lernkultur aufwerfen. Damit wird der Blick weniger auf die digital unterstützten Lernprozesse zu richten sein als vielmehr auf die subjektiven Wahrnehmungen der Arbeitsbedingungen durch Beschäftigte, die mit der Digitalisierung zunehmend intransparent, jedoch gleichzeitig umfassend in der Dokumentation von Abläufen werden.

Literatur

- Aggestam, L. (2015). Learning organization or knowledge management – Which came first, the chicken or the egg? *Information Technology and Control*, 35(3), 295–302.
- Argyris, C., & Schön, D. A. (1978). *Organizational learning – A theory of action perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Argyris, C., & Schön, D. A. (1999). *Die lernende Organisation: Grundlagen, Methode, Praxis*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Bates, R., & Khasawneh, S. (2005). Organizational learning culture, learning transfer climate and perceived innovation in Jordanian organizations. *International Journal of Training and Development*, 9(2), 96–109. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2419.2005.00224.x>.
- Blanchard, K., Robinson, D., & Robinson, J. (2003). *Mitten ins Ziel. Die Golfer-Strategie für Manager, Teams und Organisationen*. Hamburg: Rowohlt.
- Brandl, P., Aschbacher, H., & Hösch, S. (2015). Mobiles Wissensmanagement in der Industrie 4.0. In A. Weisbecker, M. Burmester & A. Schmidt (Hrsg.), *Mensch und Computer 2015 – Workshopband* (S. 225–232). Stuttgart: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55–81.
- Curran, D. B. (1999). The causal order of job satisfaction and organizational commitment in models of employee turnover. *Human Resource Management Review*, 9(4), 495–524. [https://doi.org/10.1016/S1053-4822\(99\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S1053-4822(99)00031-5).
- De Long, D. W., & Fahey, L. (2000). Diagnosing cultural barriers to knowledge management. *The Academy of Management Executive* (1993–2005), 14(4), 113–127.
- Denison, D. R. (1990). *Corporate culture and organizational effectiveness*. New York: Wiley.
- Faller, C., & Feldmüller, D. (2015). Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. *Procedia CIRP*, 32, 88–91. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.117>.
- Gephart, M. A., & Marsick, V. J. (2016). *Strategic organizational learning. Using system dynamics for innovation and sustained performance*. Dordrecht: Springer.
- Groot, A. D. de (1965). *Thought and choice in chess*. The Hague: Mouton.

- Gruber, H., Harteis, C., & Rehrl, M. (2004). Wissensmanagement und Expertise. In G. Reinmann & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie des Wissensmanagements* (S. 79–88). Göttingen: Hogrefe.
- Guo, Q. (2015). Learning in a mixed reality system in the context of „Industrie 4.0“. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 3(2), 92–115.
- Hacker, W. (1992). *Expertenkönnen. Erkennen und Vermitteln*. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Hackermeier, I. (2012). *Wiki im Wissensmanagement: Determinanten der Akzeptanz eines Web 2.0 Projektes innerhalb eines internationalen Zulieferers der Automobilindustrie* [Dissertation]. München: LMU.
- Harteis, C., & Billett, S. (2013). Intuitive expertise: Theories and empirical evidence. *Educational Research Review*, 9, 145–157.
- Hsu, I.-C. (2006). Enhancing employee tendencies to share knowledge – Case studies of nine companies in Taiwan. *International Journal of Information Management*, 26(4), 326–338. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2006.03.001>.
- Islam, T., ur Rehman Khan, S., Norulkamar Bt. Ungku Ahmad, U., & Ahmed, I. (2013). Organizational learning culture and leader-member exchange quality: The way to enhance organizational commitment and reduce turnover intentions. *The Learning Organization*, 20(4), 322–337. <https://doi.org/10.1108/TLO-12-2012-0079>.
- Islam, T., ur Rehman Khan, S., Norulkamar Bt. Ungku Ahmad, U., Ali, G., & Ahmed, I. (2014). Organizational learning culture and psychological empowerment as antecedents of employees' job related attitudes: A mediation model. *Journal of Asia Business Studies*, 8(3), 249–263. <https://doi.org/10.1108/JABS-06-2013-0035>.
- Jaschke, S. (2014). Mobile learning applications for technical vocational and engineering education: The use of competence snippets in laboratory courses and industry 4.0 (S. 605–608). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICL.2014.7017840>.
- Jo, S. J., & Joo, B.-K. (2011). Knowledge sharing: The influences of learning organization culture, organizational commitment, and organizational citizenship behaviors. *Journal of Leadership and Organizational Studies*, 18(3), 353–364. <https://doi.org/10.1177/1548051811405208>.
- Joo, B.-K. (2010). Organizational commitment for knowledge workers: The roles of perceived organizational learning culture, leader-member exchange quality, and turnover intention. *Human Resource Development Quarterly*, 21(1), 69–85. <https://doi.org/10.1002/hrdq.20031>.
- Joo, B.-K., & Lim, T. (2009). The effects of organizational learning culture, perceived job complexity, and proactive personality on organizational commitment and intrinsic motivation. *Journal of Leadership and Organizational Studies*, 16(1), 48–60. <https://doi.org/10.1177/1548051809334195>.
- Kalyar, M. N., & Rafi, N. (2013). „Organizational learning culture“: An ingenious device for promoting firm's innovativeness. *The Service Industries Journal*, 33(12), 1135–1147. <https://doi.org/10.1080/02642069.2012.716828>.
- Linde, F. (2005). Barrieren und Erfolgsfaktoren des Wissensmanagements – Ergebnisse einer Onlinebefragung. *HMD: Praxis der Wirtschaftsinformatik, Wissensmanagement*, 246, 20–28.
- Marsick, V. J., & Watkins, K. E. (2003). Demonstrating the value of an organization's learning culture: The dimensions of the learning organization questionnaire. *Advances in Developing Human Resources*, 5(2), 132–151. <https://doi.org/10.1177/1523422303005002002>.
- Maschke, M., & Werner, N. (2015). *Arbeiten 4.0: Diskurs und Praxis in Betriebsvereinbarungen* (Mitbestimmungsförderung Report No. 14). Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung. <http://hdl.handle.net/10419/126125>. Zugegriffen am 30.07.2016.
- Meyer, J. P., & Allen, N. J. (1991). A three-component conceptualization of organizational commitment. *Human Resource Management Review*, 1(1), 61–89. [https://doi.org/10.1016/1053-4822\(91\)90011-Z](https://doi.org/10.1016/1053-4822(91)90011-Z).
- Mueller, J. (2012). Knowledge sharing between project teams and its cultural antecedents. *Journal of Knowledge Management*, 16(3), 435–447. <https://doi.org/10.1108/13673271211238751>.
- Mueller, J. (2014). A specific knowledge culture: Cultural antecedents for knowledge sharing between project teams. *European Management Journal*, 32(2), 190–202. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2013.05.006>.

- Neuweg, G. H. (2001). *Könnerschaft und implizites Wissen. Zur lehr-lerntheoretischen Bedeutung der Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie von Michael Polanyis* (2. Aufl.). Münster: Waxmann.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge creating company*. New York: Oxford University Press.
- Pérez López, S., Montes Peón, J. M., & Vázquez Ordás, C. J. (2004). Managing knowledge: The link between culture and organizational learning. *Journal of Knowledge Management*, 8(6), 93–104. <https://doi.org/10.1108/13673270410567657>.
- Pfeiffer, T., Hellmers, J., Schon, E.-M., & Thomaschewski, J. (2016). Empowering user interfaces for Industrie 4.0. *Proceedings of the IEEE*, 104(5), 986–996. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2508640>.
- Picot, A., Reichwald, R., & Wigand, R. T. (2003). *Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management* (5. Aufl.). Wiesbaden: Gabler.
- Posner, M. I. (1988). Introduction: What is it to be an expert? In M. T. H. Chi, R. Glaser & M. J. Farr (Hrsg.), *The nature of expertise* (S. xxiv–xxxvi). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Reinmann-Rothmeier, G., & Mandl, H. (1998). *Individuelles Wissensmanagement. Strategien für den persönlichen Umgang mit Information und Wissen am Arbeitsplatz*. Bern: Huber.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78.
- Sackmann, S. (1992). „Kulturmanagement“: Lässt sich Unternehmenskultur „machen?“ In K. Sandner (Hrsg.), *Politische Prozesse in Unternehmen* (S. 157–183). Heidelberg: Physica-Verlag.
- Sagie, A. (1998). Employee absenteeism, organizational commitment, and job satisfaction: Another look. *Journal of Vocational Behavior*, 52(2), 156–171. <https://doi.org/10.1006/jvbe.1997.1581>.
- Sailer, M., Hense, J., Mandl, H., & Klevers, M. (2013). Psychological perspectives on motivation through gamification. *Interaction Design and Architecture(s) Journal*, 19, 28–37.
- Schein, E. H. (1990). Organizational culture. *American Psychologist*, 45(2), 109–119.
- Schein, E. H. (2004). *Organizational culture and leadership*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Schein, E. H. (2010). *Organisationskultur: „The Ed Schein Corporate Culture Survival Guide“* (3. Aufl.). Bergisch Gladbach: Edition Humanistische Psychologie.
- Schütz, A., & Schröder, M. (2004). Die Rolle des Selbst im Wissensmanagement. In G. Reinmann & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie des Wissensmanagements* (S. 133–145). Göttingen: Hogrefe.
- Seiler, T. B., & Reinmann, G. (2004). Der Wissensbegriff im Wissensmanagement: Eine strukturgegenetische Sicht. In G. Reinmann & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie des Wissensmanagements* (S. 11–23). Göttingen: Hogrefe.
- Senderek, R., & Geisler, K. (2015). Assistenzsysteme zur Lernunterstützung in der Industrie 4.0. In S. Rathmayer & H. Pongratz (Hrsg.), *Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik* (S. 36–46). München. http://ceur-ws.org/Vol-1443/DeLFI2015_GI_Workshops.pdf#page=36. Zugegriffen am 30.07.2016.
- Senge, P. M., & Klostermann, M. (1996). *Die fünfte Disziplin: Kunst und Praxis der lernenden Organisation* (6. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Shiffrin, R. M., & Atkinson, R. C. (1969). Storage and retrieval processes in long-term memory. *Psychological Review*, 76(2), 179.
- Simon, H. A., & Gilmartin, K. J. (1973). A simulation of memory for chess positions. *Cognitive Psychology*, 5, 29–76.
- Sinkula, J. M., Baker, W. E., & Noordewier, T. (1997). A framework for market-based organizational learning: Linking values, knowledge, and behavior. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 25(4), 305–318. <https://doi.org/10.1177/0092070397254003>.
- Škerlavaj, M., Štemberger, M. I., Škrinjar, R., & Dimovski, V. (2007). Organizational learning culture – The missing link between business process change and organizational performance. *International Journal of Production Economics*, 106(2), 346–367. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.07.009>.
- Sonntag, K., Stegmaier, R., Schaper, N., & Friebe, J. (2004). Dem Lernen im Unternehmen auf der Spur: Operationalisierung von Lernkultur. *Unterrichtswissenschaft*, 32(2), 104–127.

- Spada, H., & Mandl, H. (1988). Wissenspsychologie: Einführung. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 1–16). München: Psychologie Verlags Union.
- Stocker, A., Brandl, P., Michalczuk, R., & Rosenberger, M. (2014). Mensch-zentrierte IKT-Lösungen in einer Smart Factory. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 131(7), 207–211. <https://doi.org/10.1007/s00502-014-0215-z>.
- Warta, A. (2010). *Kollaboratives Wissensmanagement in Unternehmen: Indikatoren für Erfolg und Akzeptanz am Beispiel von Wikis* [Dissertation]. Konstanz: Universität Konstanz.
- Wasti, S. A. (2003). Organizational commitment, turnover intentions and the influence of cultural values. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 76(3), 303–321. <https://doi.org/10.1348/096317903769647193>.
- Watkins, K. E., & Marsick, V. J. (1993). *Sculpting the learning organization: Lessons in the art and science of systemic change*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1991). *The machine that changed the world: The story of lean production*. New York: Harper.
- Zheng, W., Yang, B., & McLean, G. N. (2010). Linking organizational culture, structure, strategy, and organizational effectiveness: Mediating role of knowledge management. *Journal of Business Research*, 63(7), 763–771. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2009.06.005>.

Betriebsorganisation

Martin Schneider, Christian Manfred Wilke und Anja Iseke

Inhalt

1	Einleitung	286
2	Analyserahmen	287
3	Die Lösung von Organisationsproblemen in historischen Produktionsmodellen	294
4	Fazit	298
	Literatur	299

Zusammenfassung

Die sich abzeichnende Smart Factory wird organisationstheoretisch beleuchtet und von idealtypischen Produktionsmodellen (Werkstattfertigung, Fließfertigung) und historischen Produktionsmodellen (japanische Lean Production, deutsche Diversifizierte Qualitätsproduktion) abgegrenzt. Durch die neuartige Kombination von Modularisierung, Automatisierung und Vernetzung kann es der Smart Factory gelingen, die beiden zentralen Ziele – Kostendegression und Produktvariation – miteinander zu versöhnen. Aus dieser Kombination ergeben sich jedoch neue Organisationsprobleme, die zum Teil paradox sind. So haben die in der Produktion Beschäftigten in der automatisierten Fabrik wenig Handlungsspielraum, doch von ihnen werden bei technischen Problemen selbstständige Lösungen erwartet. Die Organisationsprobleme lassen sich in Deutschland vermutlich gut lösen, da auf Arbeitskulturen und Kompetenzen aufgebaut werden kann, die durch das Berufsbildungssystem und die friedlichen Arbeitsbeziehungen gestützt werden.

M. Schneider (✉) · C. M. Wilke (✉)

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

E-Mail: martin.schneider@uni-paderborn.de; Christian-Manfred.Wilke@wiwi.uni-paderborn.de

A. Iseke

Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo, Deutschland

E-Mail: anja.iseke@hs-owl.de

Schlüsselwörter

Diversifizierte Qualitätsproduktion · Smart Factory · Organisationsprobleme · Kostendegression · Produktvariation

1 Einleitung

Cyber-Physische Systeme (CPS), eine neuartige Kombination und Interaktion von Maschinen, Produkten, Software und Kommunikationsnetzen, bilden die Grundlage möglicher neuer Produktionsmodelle, die häufig mit dem Begriff „Smart Factory“ zusammengefasst werden (vgl. etwa Kagermann et al. 2013; Radziwon et al. 2014). Dass hiesige Unternehmen die Idee der Smart Factory aufgreifen, wird als zentral für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie wahrgenommen (Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) 2016). Allerdings ist noch unklar, welche der denkbaren Varianten der Smart Factory sich in welchen Branchen durchsetzen werden. Dies hängt nicht allein von der technologischen Machbarkeit ab, sondern darüber hinaus von der Wirtschaftlichkeit: Wie können neue Technologien so eingesetzt werden, dass die für deutsche Unternehmen typischen Qualitätsprodukte weiterhin wettbewerbsfähig produziert und vermarktet werden können? Das ist die Frage danach, wie sich der Erfolg des deutschen Produktionsmodells der „Diversifizierten Qualitätsproduktion“ (Streeck 1987, 1991), das deutschen Produktionsunternehmen Wettbewerbsvorteile vor allem in Produkten höherwertiger Technologie beschert hat (Schneider und Paunescu 2012), unter den Bedingungen von Industrie 4.0 wiederholen lässt.

Diese Frage soll im vorliegenden Beitrag untersucht werden. Die Smart Factory wird als idealtypisches „Produktionsmodell“ der Industrie 4.0 beleuchtet. Die Mehrdeutigkeit des Begriffs „Produktionsmodell“ soll dabei beibehalten werden. Zum einen verweist er auf die innerbetriebliche, auch technische Organisation der Produktion (wie Fließfertigung oder Werkstattfertigung) und damit auf betriebswirtschaftliche Zusammenhänge (Picot et al. 2015). Zum anderen bezeichnet er auch die institutionelle Eingebundenheit der Produktion. In diesem zweiten Sinn darf von einem „deutschen Produktionsmodell“ gesprochen werden, das auch von unternehmensexternen Institutionen beeinflusst wird, insbesondere den Arbeitsbeziehungen und dem Berufsbildungssystem (Dörre 2001; Streeck 1987, 1991).

Die Diskussion um die Smart Factory wird erst seit Kurzem aus einer organisationstheoretischen (oder überhaupt betriebswirtschaftlichen Sicht) geführt (Brettel et al. 2014; Obermaier und Kirsch 2015, 2016; Picot et al. 2015; Sauter et al. 2015). Systematische Überlegungen dazu, wie die Smart Factory sich in bestehende Institutionen – Tarifverträge, Berufsbildung, Betriebsverfassung – einfügt, fehlen bislang ganz.

In Abschn. 2 wird der Begriff der Smart Factory definiert und anhand eines organisationstheoretischen Analyserahmens charakterisiert. Im Mittelpunkt des Analyserahmens steht die Notwendigkeit, zwischen den ökonomischen Zielen Kostendegression und Produktvariation zu wählen. Fließfertigung und Werkstattfertigung sind idealtypische Extremfälle, die jeweils eine ökonomische Zielgröße auf

Kosten der anderen optimieren. Die Smart Factory verspricht eine Versöhnung der beiden Ziele, wirft jedoch neue Organisationsprobleme auf.

Wie diese Organisationsprobleme in spezifischen institutionellen Kontexten gelöst werden können, wird in Abschn. 3 umrissen. Die Diversifizierte Qualitätsproduktion deutscher Unternehmen wird in ihren Merkmalen dargestellt und mit dem ursprünglich japanischen Produktionsmodell (Lean Production) verglichen. Der historische Vergleich ist lehrreich, da Lean Production und die Diversifizierte Qualitätsproduktion auf spezifische Weise versuchten, den Trade-off zwischen Kostendegression und Produktvariation aufzuheben. In Abschn. 4 wird abschließend argumentiert, dass die neuen Organisationsprobleme und Spannungsverhältnisse, die sich mit der Smart Factory ergeben, im deutschen institutionellen Kontext vergleichsweise gut lösbar sind.

2 Analyserahmen

2.1 Werkstattfertigung und echte Fließfertigung

Auf der Suche nach einer Definition, in der die vielen wünschenswerten Eigenschaften einer sogenannten Smart Factory enthalten sind, gelangen Radziwon et al. (2014) zu:

A Smart Factory is a manufacturing solution that provides such flexible and adaptive production processes that will solve problems arising on a production facility with dynamic and rapidly changing boundary conditions in a world of increasing complexity. This special solution could on the one hand be related to automation, understood as a combination of software, hardware and/or mechanics, which should lead to optimization of manufacturing resulting in reduction of unnecessary labour and waste of resource. On the other hand, it could be seen in a perspective of collaboration between different industrial and nonindustrial partners, where the smartness comes from forming a dynamic organization. (S. 1187)

In dieser Definition sind paradoxe Anforderungen enthalten: Die Smart Factory ist voll automatisiert und gleichzeitig dezentral-kollaborativ; sie ist kostengünstig, aber anpassungsfähig. Um diese Paradoxien besser zu verstehen, wird die Smart Factory zunächst mit zwei idealtypischen Produktionsmodellen, der Fließfertigung und der Werkstattfertigung, verglichen, entlang eines organisationstheoretischen Analyserahmens.

Das Produktionsmodell muss sich letztlich am Unternehmenserfolg, dem Beitrag zum Gewinn, messen lassen. Hierfür sind zwei Kriterien entscheidend: einerseits die Produktvariation, andererseits die Kostendegression. Die Kostendegression misst, wie stark die durchschnittlichen Kosten des Produktes mit der Stückzahl fallen. Die Produktvariation gibt an, wie viele verschiedene Varianten des Produktes sich herstellen lassen, entweder zeitgleich oder zeitlich auseinanderfallend als Generationen immer neuer Produkte. Je höher die Produktvariation, desto größer dürfte die Zahlungsbereitschaft der Kunden sein. Die Kostendegression betrifft also die Aufwandsseite, die Produktvariation die Ertragsseite.

Kostendegression und Produktvariation stehen traditionell in einem Trade-off-Verhältnis, das auch als Dilemma zwischen Scale und Scope charakterisiert worden ist (Bitsch 2016). Das heißt eine starke Kostendegression geht meist zulasten einer starken Produktvariation und umgekehrt. Beide Zielkriterien sind also traditionell nicht zielharmonisch zu maximieren.

Zwei idealtypische Produktionsmodelle – die Werkstattfertigung und die echte Fließfertigung – schneiden im Hinblick auf die beiden Kriterien unterschiedlich ab (das Folgende mit Anleihen bei Picot et al. 2015, S. 416 ff.).

Bei der *Werkstattfertigung* werden Arbeitsplätze und Betriebsmittel mit ähnlichen Funktionen (Schweißen, Montieren, Lackieren) zusammengefasst. Die Werkstattfertigung beruht auf der Arbeit gut ausgebildeter, ein breites Spektrum an Aufgaben übernehmender Beschäftigter. Diese müssen mit hohen Rüst- und Lernkosten zu-rechtkommen, denn die Arbeitsteilung ist gering. Insgesamt erlaubt die Werkstattfertigung nur eine geringe Kostendegression. Andererseits ermöglicht sie es, viele verschiedene Varianten eines Produktes herzustellen und den Produktionsprozess flexibel auf sich wandelnde Kundenwünsche fortwährend umzustellen. Im Extremfall ist jedes Produkt ein Unikat.

Die echte *Fließfertigung* ist der Idealtyp, der mit der zweiten industriellen Revolution umgesetzt wurde. Mit der Automobilproduktion der Ford Motor Company im frühen 20. Jahrhundert entscheidend vorangebracht, ist sie dann in vielen Industriebranchen aufgegriffen worden. Bei der echten Fließfertigung wird ein homogenes Produkt arbeitsteilig am Fließband und mit hohem Automatisierungsgrad erstellt. Dabei ist die Arbeit tayloristisch organisiert, d. h. mäßig ausgebildete Beschäftigte führen arbeitsteilig jeweils recht monotone Verrichtungen aus. Dieses Modell der Massenproduktion lässt keine oder kaum Produktvariation zu. Doch es ermöglicht die kostengünstige Produktion hoher Stückzahlen. Arbeitsteilung und Spezialisierung, geringe Rüstkosten, später auch hohe Automatisierung führen zu einer starken Kostendegression.

Damit die Modelle das oben skizzierte Potenzial ausschöpfen können, müssen mehrere *Organisationsprobleme* gelöst werden. Dabei konzentrieren wir uns im Folgenden vereinfachend auf Beschäftigte, die direkt oder indirekt an der Produktion beteiligt sind, insbesondere – jeweils männliche oder weibliche – Maschinenbediener, Fachkräfte wie Facharbeiter, Techniker und Meister sowie IT-Experten und Ingenieure. Es wird vereinfachend zwischen diesen Gruppen nicht weiter unterscheiden, obgleich sich für das Personalmanagement dieser Gruppen deutliche Differenzen herausbilden dürften (vgl. Kap. ► „*Personalwirtschaft*“ in diesem Band).

Zwei Typen von Organisationsproblemen sind zu unterscheiden (Picot et al. 2015, S. 6 ff.): Koordinationsprobleme beziehen sich auf die Abstimmung zwischen verschiedenen Akteuren oder Prozessen. Diese Probleme beruhen auf Informationsmangel („nicht wissen“). Kooperationsprobleme hingegen beziehen sich auf die Notwendigkeit, Akteure zu bestimmten Handlungen zu motivieren. Sie beruhen auf Interessendivergenzen und daraus resultierenden Konflikten („nicht wollen“).

Welche Organisationsprobleme besonders wichtig sind, aber auch wie sie entschärft werden können, hängt entscheidend von zentralen Merkmalen der Organisation ab: der Art der Spezialisierung von Aufgaben, ihrer Standardisierung, der Art

der Planung/Steuerung sowie der Art der Kontrolle über den Leistungsprozess (vgl. unseren Analyserahmen in Tab. 1).

Die Fließfertigung praktiziert eine starke Arbeitsteilung und Standardisierung, d. h. Festlegung von Abläufen. Spezialisierung und Programmierung (im organisationstheoretischen Sinn) machen einen Großteil der Kostendegression aus. Dabei werden die Beschäftigten zur Aufgabenerfüllung nicht nur durch diese Standards angehalten, sondern ihr Verhalten und ihre Arbeitsergebnisse können auch effektiv kontrolliert werden aufgrund der einfachen Vorrichtungen und der technischen Kontrolle (Takt). Neben der Kontrolle spielt die (leistungsabhängige) Entlohnung eine wichtige Rolle für die Motivation der Beschäftigten, die repetitive Arbeiten ausführen.

In der Werkstattfertigung hingegen verbieten sich starke Prozessstandardisierungen, da sich die Produkte häufig ändern. Auch das Ausmaß der Arbeitsteilung ist relativ gering. Eine engmaschige Verhaltenskontrolle der Beschäftigten ist somit schwierig. Den Großteil der Programmierung verinnerlichen die Beschäftigten, die gut ausgebildet sein müssen (Facharbeiter, Meister). Die hohen, in Berufen verankerten Qualifikationsniveaus stellen somit die flexible Anpassung an wechselnde Arbeitsanforderungen (Koordination) sicher. Die Kooperation bzw. Motivation wird dadurch gewährleistet, dass zwar nicht das Verhalten, wohl aber das Arbeitsergebnis gut beobachtbar ist, dass die Tätigkeiten von sich aus interessant sind und dass die Mitglieder eines Berufs häufig eine bestimmte Arbeitskultur internalisiert haben.

In der Fließfertigung erfolgt die Abstimmung mit dem Kunden weitgehend vor Beginn der Produktion. Die Produktion ist relativ inflexibel, sie wird zentral geplant und gesteuert, um die Kostendegression zu ermöglichen, sodass sich fortwährende Änderungswünsche verbieten. Dies verursacht indessen ein wichtiges Kooperationsproblem, das so genannte Hold-up: Falls homogene Produkte von einem oder wenigen Kunden nachgefragt werden, besteht für die Kunden die Möglichkeit der Nachverhandlung. Da der Produzent von diesen Kunden abhängig ist und sich bei Wegfall des Kunden hohe kundenspezifische Investitionen in die Produktionsanlagen nicht amortisieren, wird er der Forderung nach Preisnachlässen oft nachkommen müssen. Dies antizipierend, müssen Kundenbeziehungen bewusst gestaltet werden (etwa durch ein Vertragsmanagement).

In der Werkstattfertigung ist dieses Problem der Nachverhandlung bzw. des Hold-ups weniger gravierend, da das Produktionsprogramm flexibel ist und dezentral geplant wird. Gerade diese Flexibilität erlaubt eine stärkere Öffnung gegenüber individuellen Kundenwünschen. Die Abstimmung kann hier also kontinuierlich erfolgen.

2.2 Smart Factory

Die Smart Factory verspricht, den Trade-off zwischen Produktvariation und Kostendegression aufzuheben oder mindestens zu minimieren (vgl. Abb. 1). Dadurch lassen sich individuelle Kundenwünsche schnell und rentabel realisieren. Möglich wird dies durch neue technische Optionen auf der Grundlage von CPS und der

Tab. 1 Analyserahmen und Vergleich der idealtypischen Produktionsmodelle

	Werkstattfertigung	Fließfertigung	Industrie 4.0 (modulare Fertigung, Automatisierung, Produktionsnetzwerk)
<i>Ökonomische Effekte:</i>			
Produktvariation	hoch (Unikat, hohe Flexibilität)	niedrig (Massenprodukt, geringe Flexibilität)	hoch (qualitative und zeitliche Flexibilität durch Modularisierung, Automatisierung und Aufgabenteilung im Netzwerk)
Kostendegression	niedrig (Rüstkosten, Zwischenlager, Materialtransport, Koordination, arbeitsintensiv, weniger kapitalintensiv)	hoch (Rüstkosten niedrig, kein Zwischenlager, wenig Materialtransport, geringer Koordinationsaufwand, kapitalintensiv, weniger arbeitsintensiv)	hoch (geringe Rüstkosten durch modulare Fertigung, geringe Lager- und Koordinationskosten durch Digitalisierung/ Datenintegration und Automatisierung, kapitalintensiv, weniger arbeitsintensiv (in Bezug auf einfache Produktions-, Planungs- und Steuerungstätigkeiten))
<i>Organisation:</i>			
Aufgabenspezialisierung	niedrig	hoch	hoch und niedrig (Spezialisierung in der Ausführung (ggf. im Netzwerk), aber Prozessplanung und -steuerung durch Generalisten)
Aufgabenstandardisierung	gering (auftragsabhängige Prozesse)	hoch (programmierte Prozesse)	hoch (Prozesse, Module) und niedrig (auftragsabhängige Prozesse und Kombination von Modulen)
Planung/Steuerung	dezentral, autonom	zentral	dezentrale Eingriffsmöglichkeiten und Selbststeuerung, zentrale (automatisierte) Planung und Optimierung (Dezentralisierung bei geringer Autonomie)
Kontrolle über Leistungsprozess	schwierig möglich	leicht möglich	leicht möglich durch Digitalisierung und Automatisierung (Selbststeuerung)

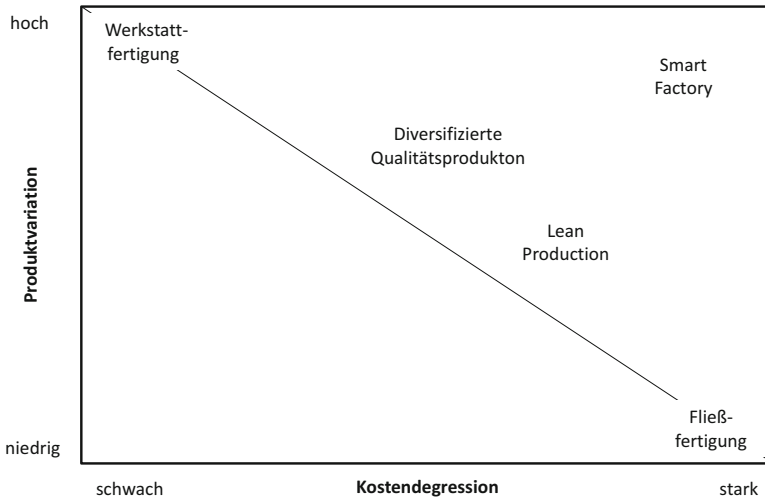


Abb. 1 Produktionsmodelle. (Quelle: eigene Erstellung)

Digitalisierung sowie Virtualisierung des gesamten Wertschöpfungsprozesses (z. B. Brettel et al. 2014). Es wird nicht die eine Smart Factory in Industrie 4.0 geben. Die Ideen der Selbststeuerung, der Netzwerke und Agilität legen nahe, dass sich ein dominierendes Modell, wie es die fordistische Massenproduktion vor 100 Jahren war, nicht noch einmal durchsetzen wird. Zudem dürften sich je nach Produkt und Stückzahl ganz unterschiedliche Grade der Automatisierung ergeben. Allerdings dürften für alle Varianten drei Elemente charakteristisch sein: erstens eine modularisierte Produktion, zweitens Netzwerkstrukturen sowie drittens ein hoher Grad an Digitalisierung und Automation. Mit diesen Elementen scheint für die Smart Factory die Vision von Losgröße 1 zu Kosten der Massenproduktion erreichbar zu sein. Allerdings werfen die drei genannten Elemente spezifische, zum Teil neue Organisationsprobleme auf. Dabei ist es zum derzeitigen Zeitpunkt leichter, die Organisationsprobleme zu benennen als Wege zu deren Lösung aufzuzeigen. In Tab. 1 ist das Ergebnis des im Folgenden ausgeführten Vergleichs mit der Werkstattfertigung und der echten Fließfertigung festgehalten.

Die Smart Factory in der Industrie 4.0 greift zentrale Merkmale der *modularen Fabrik* auf. Die modulare Fabrik wurde schon in den 1980er-Jahren im Rahmen der Fertigungssegmentierung und des Computer Integrated Manufacturing diskutiert (Scheer 2015; Wildemann 1988). Die Modularisierung bezeichnet die Zerlegung von Produkten in separate, weitgehend unabhängig voneinander zu produzierende Module und stellt damit eine Synthese aus Werkstatt- und Fließfertigung dar. Einzelne Module sind weitgehend standardisiert, aber die Kombinationen standardisierter Module erlaubt die schnelle Entwicklung und variantenreiche Produktion. Voraussetzung dafür sind multifunktionale Fertigungsmaschinen, die zu modularen Bearbeitungsinseln zusammengefasst werden. Werkzeuge und Formteile können flexibel eingesetzt werden und zwischen den Inseln wandern (Sauter et al. 2015).

Die Modularisierung ermöglicht eine Spezialisierung, da modulare Organisationseinheiten jeweils homogene Zwischenprodukte fertigen und so Lernkurven- und Skaleneffekte realisieren können. Allerdings bedingt die Modularisierung erheblichen Koordinationsaufwand. Das ursprüngliche Konzept der modularen Fabrik impliziert, dass die Planung und Steuerung dezentral erfolgen, um so ein hohes Maß an Flexibilität und Kundennähe zu gewährleisten (Picot et al. 2003). Dadurch entstehen autonome Handlungsfelder mit großen Entscheidungsspielräumen. Die Kontrolle der autonomen Module erfolgt typischerweise über eine dezentrale Kosten- und Ergebnisverantwortung (Frese 1993; Picot et al. 2003).

Wesentliches Merkmal der Smart Factory sind zweitens intelligente Produkte und Maschinen, die eine *automatisierte Produktionsplanung und -steuerung* ermöglichen. In cyber-physischen Produktionssystemen kommunizieren Werkstoffe und Maschinen untereinander und mit den Beschäftigten und tauschen in Echtzeit Informationen aus. Die Produktionssysteme beschaffen sich so autonom relevante Daten und reagieren selbstständig auf Basis von Algorithmen. Dadurch ist eine automatisierte und flexible Optimierung des gesamten Produktionsprozesses möglich. Die Vorteile der modularen Fabrik steigen exponentiell mit dem Anteil der Elemente, die selbstgesteuert in das System integriert werden (Sauter et al. 2015). Damit ist das schon länger diskutierte Ziel der „Fertigung zu Mengen mit Losgröße 1 mit den Kosten der Massenproduktion erreichbar“ (Scheer 2015, S. 444). Zu einem nennenswerten Anteil dürfte die Kostendegression aus dramatisch reduzierten Rüstkosten kommen, wie erste empirische Studien zeigen (Obermaier und Kirsch 2015, 2016).

Aufgrund der Digitalisierung und Automatisierung stellt die Smart Factory auch eine Synthese zwischen Werkstatt- und Fließfertigung im Hinblick auf die Koordination dar: Einerseits erfordert die modulare Fertigung dezentrale Eingriffs- und Gestaltungsmöglichkeiten, um ein hohes Maß an Flexibilität und Kundennähe zu gewährleisten. Andererseits setzt sie zentrale Planungs- und Steuerungsprozesse voraus, die die dezentralen Aktivitäten koordinieren und so Lager- und Rüstkosten minimieren (Brettel et al. 2014). Somit gilt: In der Industrie 4.0 geht die Dezentralisierung der Fertigung nicht mit einer höheren Autonomie der Module einher, sondern ist mit standardisierten Prozessen und zentraler, automatisierter Planung, Steuerung und Kontrolle verbunden (Wilkens et al. 2014)

Dieser Widerspruch wirft Motivationsprobleme auf, die spezifisch für die Smart Factory sind. So erfordert die Produktion in der Smart Factory, dass die Beschäftigten in der Lage und motiviert sind, komplexe Maschinen zu bedienen, mehrere Aufgaben zu übernehmen und flexibel in einem dynamischen Kontext zu agieren. Andererseits gewährt sie durch starre und automatisierte Prozesse nur geringe Entscheidungs- und Gestaltungsmöglichkeiten und wenig Autonomie. Die Digitalisierung bietet jedoch neue Möglichkeiten der internen Steuerung. Weil im Produktionsprozess fortlaufend Daten gesammelt werden, können Produktivitäten und Qualitäten umfassend und in Echtzeit gemessen und somit kontrolliert werden. Ein solches Benchmarking liefert die Grundlage für leistungsabhängige Anreize und gibt schnelle Rückmeldungen bei Problemen. Allerdings schränkt die umfassende und globale Kontrolle die Selbstbestimmung der Beschäftigten erheblich ein (Ryan und

Deci 2000). Damit wirft die Smart Factory spezifische Motivationsprobleme auf, die es zu lösen gilt, will man die Potenziale der Digitalisierung voll nutzen.

Drittes Merkmal der Produktionsorganisation in der Industrie 4.0 ist die *organisational Vernetzung*, die durch die Modularisierung und Digitalisierung begünstigt wird. In einem Produktionsnetzwerk arbeiten mehrere autonome Organisationen (oder Organisationseinheiten) koordiniert und langfristig zusammen (Picot et al. 2003; Sturgeon 2002) und bilden so eine hybride Koordinationsstruktur zwischen Markt und Hierarchie (Sydow 1992; Williamson 1991). Die Netzwerkorganisation fördert sowohl die Kostendegression als auch die Produktvariation. Die Vernetzung erlaubt ein hohes Maß an Spezialisierung und eine Reduktion der Komplexität, indem die Netzwerkmitglieder sich die Arbeit teilen. Gleichzeitig erhalten Netzwerkmitglieder einen schnellen und kostengünstigen Zugang zu komplementären Technologien und Wissensbeständen (Siebert 1991; Sydow 2006). Organisationsnetzwerke erweitern den Zugang zu Ressourcen und Produktionsmöglichkeiten, sodass der Investitionsbedarf für die einzelnen Mitglieder sinkt und die Risiken verteilt werden können (Brettel et al. 2014). Dadurch entstehen Produktivitätsgewinne und Kostenvorteile in der Produktion und in der Entwicklung. Darüber hinaus können Unternehmen in Netzwerken flexibler auf Marktänderungen und kürzere Produktlebenszyklen reagieren und ein hohes Maß an Produktvariationen anbieten.

Die Vernetzung muss organisations- und standortübergreifend koordiniert werden, um die Kosten der interorganisationalen Zusammenarbeit zu reduzieren und eine hohe Qualität zu gewährleisten. In der idealtypischen Smart Factory geschieht dies durch die digitale Integration. Alle Akteure erhalten Zugang zu globalen Produktions- und Produktdaten in Echtzeit, wodurch eine effektive Synchronisierung der Wertschöpfungsaktivitäten über den gesamten Prozess gewährleistet ist (Brettel et al. 2014). Die Planung und Steuerung des netzwerkweiten Produktionsprozesses erfolgt automatisiert und erlaubt eine globale Optimierung trotz der hohen Komplexität, die durch die zahlreichen organisationalen und lokalen Schnittstellen entsteht. Damit wird der Abstimmungsaufwand reduziert. Gleichzeitig erlaubt die Digitalisierung ein Benchmarking im (globalen) Produktionsnetzwerk. Standorte können auf der Grundlage der Prozessdaten miteinander verglichen und Verbesserungspotenziale können identifiziert werden. In der Automobilindustrie ist diese Form des Benchmarkings im Rahmen der Plattformstrategie bereits in den 1990er-Jahren angewendet worden (Eller-Braatz und Klebe 1998).

Die digitale Integration erfordert ein hohes Maß an Kooperationsbereitschaft auf Seiten der Netzwerkmitglieder, da sich die einzelnen Unternehmen oder Betriebe standardisierten Prozessen unterwerfen und ein hohes Maß an Transparenz zulassen müssen. Als Einheiten in einem idealtypischen Industrie 4.0-Netzwerk akzeptieren sie die Zentralisierung von Entscheidungs- und Gestaltungskompetenz, die netzwerkweite Bereitstellung organisationsspezifischer Daten und die Abhängigkeit vom Netzwerk. Die Motivation dazu basiert auf gegenseitigem Vertrauen und Normen der Zusammenarbeit. Die in älteren Produktionsmodellen häufig vorzufindende einseitige Abhängigkeit (Hold-up-Problem) wird hier aufgelöst in eine permanente gegenseitige Abhängigkeit.

Auf der Ebene der Beschäftigten wirkt die Vernetzung ebenfalls spezifische Motivationsprobleme auf. Einerseits führt die Vernetzung zu einer Mehrfacheinbindung von Beschäftigten, die gleichzeitig einer Organisation und organisationsübergreifenden Arbeitsgruppen angehören. Diese multiple Einbindung kann zu Spannungen führen und die individuelle Motivation beeinflussen (Wilkens et al. 2014). Stärker noch als in der Werkstattfertigung dürften daher Führungs- und Kooperationskompetenzen wichtig werden, um solche Motivationsprobleme zu lösen.

3 Die Lösung von Organisationsproblemen in historischen Produktionsmodellen

Die Analyse der drei Idealtypen im vorangehenden Abschnitt lässt sich dahingehend zusammenfassen, dass Werkstattfertigung und Fließfertigung extreme Positionen bei der Abwägung zwischen Kostendegression und Produktvariation einnehmen und dass die Smart Factory verspricht, diese Abwägung aufzuheben. Die in der Smart Factory angelegten Paradoxien werfen zugleich neue Organisationsprobleme auf.

Wie diese Organisationsprobleme in verwirklichten Produktionsmodellen gelöst werden, wird vom länderspezifischen und historisch gewachsenen institutionellen Umfeld geprägt, und dieses beeinflusst wiederum entscheidend, auf welche Weise es im Produktionsmodell gelingt, Kostendegression und Produktvariation auf günstigere Weise zu kombinieren. Im Folgenden wird die „Diversifizierte Qualitätsproduktion“ betrachtet, das realtypische deutsche Produktionsmodell der 1980er-Jahre (Streck 1987, 1991). Wir stellen es in seiner Funktionsweise und Entstehungsbedingungen dar und vergleichen es mit „Lean Production“, dem ursprünglich in Japan entstandenen Produktionsmodell, das sich danach zu einem globalen Benchmark für die Organisation der Produktion entwickelt hat. Der historische Vergleich ist sinnvoll, denn er zeigt, von wo aus – auch im internationalen Vergleich – sich die deutsche Industrie auf das Produktionsmodell der Smart Factory zubewegt. Die Mechanismen, die für die Diversifizierte Qualitätsproduktion prägend waren, wie die interne Steuerung aufgrund hoher Qualifikationen und die Einbindung in eine befriedende Wirkung der Arbeitsbeziehungen, bleiben unter den Bedingungen von Industrie 4.0 zum Teil wirksam, prägen in jedem Fall die deutsche Variante der Smart Factory und dürften über die Erfolgsaussichten der deutschen Unternehmen in Industrie 4.0 mitentscheiden.

3.1 Lean Production

Eine in den 1960er-Jahren aufkommende Sättigung des Automobilmarktes, der hier exemplarisch für die Verbreitung der Lean Production beleuchtet wird, stellte die Effizienz des fordistischen Systems der Massenproduktion unter sich ändernden Marktbedingungen in Frage. Sinkende Wachstumsraten und die Steigerung der Ersatznachfrage verhinderten die Erhaltung von Skalenerträgen, die ihre Kostendegressionsvorteile aus den oben beschriebenen Faktoren bezog: geringe Produktviel-

falt, hohe Standardisierung und hohe Losgrößen (Tolliday und Zeitlin 1988). Um nun eine auf hohe Qualität, technische Innovationen und größere Produktvielfalt bedachte Kundschaft anzusprechen, war es notwendig geworden, sich im Produktionsdesign auf eine größere Produktdiversifizierung einzulassen, ohne die Kostendegressionsvorteile der Massenproduktion aufzugeben (Peaucelle 2000; Tolliday und Zeitlin 1988).

Japanische Automobilhersteller wie Toyota, die in der Nachkriegszeit versuchten, zur damals überlegenen Produktivität der westlichen Industrienationen aufzuholen, entwarfen mit Lean Production ein von neuen Managementpraktiken durchdrungenes Produktionssystem, welches über den Stand der westlichen Produzenten hinaus den neuen Marktanforderungen nach höherer Diversifikation und Qualität der Produkte gerecht wurde (Dohse et al. 1985).

Lean Production zielt darauf ab, die Produktvielfalt zu erhöhen, ohne Vorteile der Kostendegression einzubüßen. Dazu werden Maschinen so auf den Produktionslinien eingesetzt, dass es möglich ist, mehrere Modelle auf einer Produktionsstraße zu montieren. Außerdem werden die in verschiedenen Modellen verbauten Teile standardisiert und kategorisiert, sodass Skaleneffekte auch bei einer höheren Produktvielfalt erhalten bleiben (Peaucelle 2000; Tolliday und Zeitlin 1988).

Lean Production erhöht die Kostendegression auch durch eine Effizienzsteigerung in den Lieferantenbeziehungen. Die sog. „Just-in-Time“-Lieferkette, die Montagekomponenten genau dann zur Verfügung stellt, wenn sie gebraucht bzw. verbaut werden, senkt die Lagerbestände und -kosten drastisch. Die Lieferzeiten werden dabei ebenso verkürzt wie die Produktionszeiten, ohne dabei den Prozess zu ändern. Lieferanten siedeln sich in räumlicher Nähe zu den Produktionsstätten an und werden zudem verstärkt für die Qualitätskontrollen an ihren Lieferprodukten verantwortlich gemacht (Peaucelle 2000; Tolliday und Zeitlin 1988). Hiermit begeben sich die Lieferanten in eine Situation der einseitigen Abhängigkeit von den Abnehmern. Dieses Hold-up-Problem wird dadurch gemindert, dass die Beziehungen zu den Lieferanten von Seiten der Automobilhersteller langfristig und exklusiv („single-sourcing“) angelegt werden.

Lean Production realisiert die neuen Zielvorgaben – geringe Kosten, hohe Produktqualität und vor allem die Einhaltung der Zeitvorgaben – durch breiter qualifizierte Beschäftigte mit höherer Aufgabenvielfalt und hoher Mobilität zwischen verschiedenen Aufgaben (Dohse et al. 1985; Tolliday und Zeitlin 1988). Durch „job-rotation“ erlangt jeder bzw. jede Beschäftigte Kenntnisse über mehrere Aufgaben im Produktionsprozess, sodass die Beschäftigten flexibler und zeitsparender dort eingesetzt werden können, wo sie aktuell gebraucht werden (Peaucelle 2000). Eine Arbeitskultur der gegenseitigen sozialen Kontrolle und Sanktionen forciert die Einhaltung von Produktionsquoten durch die Teams, die in der „pufferlosen“ Produktion unter größeren Zeitdruck gesetzt werden und denen so minimaler Raum für Fehler eingeräumt wird (Dohse et al. 1985).

Die Arbeitsbeziehungen der Lean Production sind gekennzeichnet durch eine breitere Qualifikation der Beschäftigten, deren lebenslange Beschäftigung (Jobsicherheit) und deren Einbeziehung in die Optimierung der Produktionsprozesse. Darüber hinaus motiviert Lean Production die Beschäftigten, ihr Prozesswissen für

die Optimierung und Rationalisierung einzusetzen (Dohse et al. 1985). Dies wird u. a. dadurch erreicht, dass Verbesserungsvorschläge, die aus den Teams kommen, nie zu deren Nachteil ausgelegt werden. Falls durch solche Verbesserungsvorschläge Stellen gefährdet sein sollten, werden die besten Teammitglieder in höhere Positionen befördert und so eine Rationalisierung durch Aufwertung durchgeführt (Dohse et al. 1985). Durch diese Maßnahmen werden Interessenkonflikte zwischen Management und Beschäftigten überwunden: Dem im Vergleich zur Fließfertigung höheren Qualitäts- und Zeitdruck und der breiteren Verantwortlichkeit der Beschäftigten, die zusammen einen wichtigen Teil der Effizienzvorteile des japanischen Systems ausmachen, werden als Gegenleistung eine hohe Arbeitsplatzsicherheit, ein vielfältigerer Job und stärkere Mitgestaltungsmöglichkeiten im Produktionsprozess entgegengebracht. Eine breitere Qualifikation der Beschäftigten und langfristige Arbeitsbeziehungen bedingen sich hierbei: Die relative Sicherheit, dass im Unternehmen fortgebildete Beschäftigte dort auch verbleiben, machen Bildungsinvestitionen möglich und rentabel.

Insgesamt wurde Lean Production durch eine pufferlose und von der Nachfrage gesteuerte Lieferkette der geringeren Nachfrage und den höheren Anforderungen an Produktvielfalt und Qualität gerecht. Den Trade-off zwischen Produktvariation und Kostendegression löste Lean Production durch radikale Effizienzsteigerungen mit Hilfe der Umgestaltung des Arbeits- und Produktionsprozesses, was wiederum durch eine breitere Qualifikation der Beschäftigten und die Intensivierung der Arbeit selbst erreicht wurde. Lean Production wurde so der klassischen Fließfertigung überlegen.

3.2 Diversifizierte Qualitätsproduktion

Als eine für die Bundesrepublik Deutschland spezifische Spielart des Post-Forismus gilt die Diversifizierte Qualitätsproduktion (vgl. zum Folgenden Streeck 1987, 1991). In den sich verändernden Märkten der 1970er- und 1980er-Jahre spezialisierte sich die deutsche Automobilindustrie auf die Vermarktung maßgeschneiderter, qualitätskompetitiver Produkte (Streeck 1987). Die „Nischenproduktion in der Massenproduktion“ (Streeck 1987), die durch die Diversifizierte Qualitätsproduktion etabliert wurde, bot den Vorteil einer geringen Abhängigkeit von Kunden aufgrund der hohen Flexibilität und Qualität der Produktion. Möglich wird die Diversifizierte Qualitätsproduktion durch die Einführung von Industrierobotern (Industrie 3.0) und vor allem durch die hohe als auch breite Qualifikation und Autonomie der Beschäftigten.

Wie Lean Production ist Diversifizierte Qualitätsproduktion darauf ausgerichtet, in der Automobilindustrie und verwandten Branchen variantenreichere und qualitativ hochwertige Produkte herzustellen, ohne Effekte der Kostendegression aus dem Auge zu verlieren. Stärker als Lean Production löst Diversifizierte Qualitätsproduktion den Trade-off zugunsten der Produktvariation, was gut anhand der Bedingungen in Deutschland erklärbar ist: Hohe Löhne bei gleichzeitig hohem fachlichen Ausbildungsstand der Beschäftigten legen eine Nischenstrategie nahe.

Auch bei der Art und Weise, wie interne Koordinationsprobleme gelöst werden, unterscheidet sich Diversifizierte Qualitätsproduktion von Lean Production. Im Rahmen der Diversifizierten Qualitätsproduktion sind eine breitere und höhere Qualifikation der Beschäftigten sowie die Einrichtung einer „intelligenten Arbeitsorganisation“ (Streeck 1987) die Schlüssel zur Flexibilisierung der Produktion. Eine höhere und breitere Qualifikation wird durch ein gesetzlich geregeltes Berufsbildungssystem und Fortbildungen innerhalb der Betriebe gewährleistet. Eine „intelligenter“ bzw. flexiblere Arbeitsorganisation wird durch eine partielle Rücknahme der fordistischen Arbeitsteilung und den Abbau hierarchischer Ebenen realisiert. Dieser Umstrukturierungsprozess hin zu höherer Autonomie und mehr Partizipation für Beschäftigte mündet in die Ausweitung von Tätigkeiten und Verantwortungsbereichen sowie in eine dezentralere Entscheidungsfindung in neu eingerichteten teilautonomen Arbeitsgruppen (Streeck 1987). Die höhere Autonomie der Beschäftigten im Produktionsprozess der Diversifizierten Qualitätsproduktion erschwert jedoch die Arbeitskontrolle.

Kooperations- und Motivationsprobleme der Diversifizierten Qualitätsproduktion werden Streeck (1991) zufolge auf eine Weise gelöst, die sich nur vor dem Hintergrund der institutionellen Voraussetzungen in der damaligen Bundesrepublik Deutschland erschließen. Institutionen, die interne Kooperationsprobleme mit Beschäftigten entschärfen, sind u. a. langfristige Beschäftigungsverhältnisse, ein reguliertes Berufsausbildungssystem und die betriebliche Mitbestimmung (Streeck 1991). Solche Institutionen kann ein Unternehmen allein nicht bereitstellen, sie erscheinen auf den ersten Blick behindernd und teuer, erlauben paradoxerweise auf den zweiten Blick Produktivitätsvorteile, zumal sie in gewisser Weise synergistisch ineinandergreifen.

Langfristige Beschäftigungsverhältnisse sorgen für starke Anreize, in Aus- und Weiterbildung zu investieren. Das von Staat, Industriekammern und Gewerkschaften regulierte Berufsausbildungssystem unterstützt die Ausbildung der für Diversifizierte Qualitätsproduktion notwendigen Fachkräften (Streeck 1991, S. 53). Betriebsräte (betriebliche Mitbestimmung) unterstützen und überwachen nicht nur die Bindung der Arbeitgeber an langfristige Beschäftigung und hohe Ausbildungsquoten, sondern ihre Existenz trägt auch zum sozialen Frieden bei. Der soziale Frieden ist wiederum Voraussetzung für eine „professionelle Arbeitsmotivation und ein Qualitätsbewusstsein der Arbeiter“ (Streeck 1991), die sich nicht nur aus monetären Anreizen, sondern auch aus kooperativem Verhalten und Vertrauen zwischen Belegschaft und Management speist. Mitbestimmung kann als eine wichtige Voraussetzung für eine produktive Arbeitskultur interpretiert werden.

Die Diversifizierte Qualitätsproduktion hat sich in Deutschland als erfolgreiche Variante der post-fordistischen Produktionsweise durchgesetzt. Im Gegensatz zu Japan wurden hier erhöhte Flexibilität und Qualität nicht durch stärkere Arbeitskontrolle und minimale Pufferzeiten realisiert, sondern durch staatlich durchgesetzte Verpflichtungen für Unternehmen, die die Autonomie, Mitbestimmungsmöglichkeiten und Qualifikationen der Beschäftigten stärken und so einen flexibleren Produktionsprozess und hochqualitative Produkte ermöglichen.

3.3 Zwischenfazit

Lean Production und Diversifizierter Qualitätsproduktion gelingen es auf länderspezifische Weise, den Trade-off zwischen Kostendegression und Produktvariation zu verbessern. Es sind in der Diversifizierten Qualitätsproduktion stärker als bei Lean Production technologische Veränderungen (Industrie 3.0), die sich in einem neuen Produktionsmodell niederschlagen. Lean Production bleibt stärker dem Modell der Massenproduktion bzw. Fließfertigung verhaftet. Tendenziell wird in beiden Realtypen die Spezialisierung einzelner Arbeitsplätze und der Grad der Standardisierung zurückgedrängt, was einerseits das Produktionsmodell wieder in Richtung Werkstattfertigung verschiebt, woraus sich andererseits jedoch spezifische neue Organisationsprobleme ergeben. Sie werden auf länderspezifische Weise gelöst. Die Koordination erfolgt nicht mehr alleine durch den Takt der Maschine, sondern durch gut ausgebildete Beschäftigte, allerdings in der deutschen Diversifizierten Qualitätsproduktion stärker als in der japanischen Lean Production. Die Motivation gelingt in beiden Realtypen durch breitere, interessantere Arbeitsplätze, aber auch durch langfristige Beschäftigungszusagen und betriebsinterne Karrieren. Hinzu kommt im japanischen Modell die soziale Kontrolle in der Arbeitsgruppe, im deutschen die befriedende Wirkung der betrieblichen Mitbestimmung. Diese besonderen institutionellen Voraussetzungen sind zu bedenken, wenn im Fazit abschließend auf die Aussichten einer erfolgreichen Smart Factory in Deutschland eingegangen werden soll.

4 Fazit

Die wesentlichen Kennzeichen der Smart Factory sind bereits gut erkennbar: Modularisierung, automatisierte Produktionsplanung und -steuerung sowie die organisationale Vernetzung. Keines der Kennzeichen ist gänzlich neu, aber Ausmaß und Kombination der drei Merkmale dürften insgesamt zu einem qualitativ neuen Produktionsmodell führen, das seinerseits neue Organisationsprobleme aufwirft. Diese lassen sich abschließend durch drei Spannungsfelder charakterisieren.

Dadurch, dass Unikat- und Massenfertigung sich nicht mehr widersprechen müssen und dadurch, dass die organisationale Vernetzung über die Fabrikgrenzen hinausgeht, werden gravierende sogenannte Hold-up-Probleme entschärft. Bei der Werkstattfertigung, aber auch den realtypischen Lean Production und Diversifizierter Qualitätsproduktion können sich Unternehmen bei relativ starrer Produktion und wenigen Großkunden leicht abhängig und für Preisnachlässe erpressbar machen. Diese Probleme werden elegant durch eine vielfältige gegenseitige Abhängigkeit im Netzwerk aufgehoben. Die Abhängigkeit erfordert ein generelles Vertrauen in das System, aber kein spezifisches in bestimmte Kunden. Andererseits führt die organisationale Vernetzung zu einer höheren Verwundbarkeit des Prozesses. Die Vorteile der modularen Produktion steigen exponentiell mit der Anzahl der integrierten Module (Sauter et al. 2015). Mit dieser steigenden Komplexität nimmt jedoch die Prozessrobustheit ab (Hofmann 2016). Dann aber gilt, dass ein Knoten, der im

Netzwerk fehlt, die Produktivität überproportional belastet. Es handelt sich hier um starke Synergieeffekte.

Ein zweites Spannungsfeld ergibt sich bei der Koordination von Prozessen. Automatisierte Planung führt dazu, dass Produktionsprozesse sich selbst steuern, nachdem die Art der Steuerung zentral vorgegeben worden ist. Andererseits ist eine Vielzahl von Modulen miteinander vernetzt. Fällt eines aus, so ist das Gesamtergebnis angesichts der genannten Synergieeffekte gefährdet. Dann werden an die Beschäftigten hohe Anforderungen gestellt, die mit Notfallambulanzen, der Feuerwehr oder generell sogenannten High-Reliability-Organisationen vergleichbar sind (Eriksen und Dyer 2005). Somit bringt die Smart Factory einerseits eine Entlastung von Routinetätigkeiten in Planung und Ausführung für die Beschäftigten, andererseits die Erwartung, auf den Punkt darauf vorbereitet zu sein, autonom und flexibel Krisen zu bewältigen.

Ein drittes Spannungsfeld betrifft die Motivation der Beschäftigten. Einerseits sorgen Assistenzsysteme und die Abstimmung im Netzwerk dafür, dass Belastungen für die Beschäftigten geringer und die Aufgaben interessanter und vielfältiger werden. Andererseits schaffen Sensorik und Big Data neue Möglichkeiten der Leistungsmessung, die – als Kontrolle empfunden – demotivierend wirken können.

Selbst wenn die Organisationsprobleme nicht gänzlich gelöst werden können, so dürfte das große Produktivitätspotenzial, das sich aus der Massenproduktion bei Losgröße 1 ergibt, die entsprechenden Organisationskosten mehr als aufwiegen. Die Smart Factory wird kommen. Dass die deutsche Industrie dabei gute Chancen hat, wettbewerbsfähig zu bleiben, zeigt unser Blick auf die Diversifizierte Qualitätsproduktion. In diesem für Deutschland typischen Modell ist bereits wettbewerbsfähige Produktion von hochpreisigen Produktvarianten organisiert worden. Insbesondere das Ausbildungsniveau, das im deutschen System der Berufsausbildung wurzelt, sowie die im internationalen Vergleich relativ harmonischen betrieblichen Arbeitsbeziehungen dürften auch unter Industrie 4.0 Vorteile bringen. Dass sich auch die letztlich produktive Wirkung des institutionellen Rahmens und der politischen Akteure in Industrie 4.0 wiederholen könnte, zeigt allein die Existenz der Forschungsunion Industrie 4.0, in der Akteure aus Politik, Wissenschaft und den Unternehmen gemeinsam an der Forcierung von Industrie 4.0 arbeiten.

Literatur

- Bitsch, G. (2016). „Smart Decisions“ als integraler Bestandteil von Industrie 4.0. In R. Obermaier (Hrsg.), *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen* (S. 121–136). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-08165-2_7.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 8(1), 37–44.
- Dohse, K., Jürgens, U., & Nialsch, T. (1985). From „Fordism“ to „Toyotism?“ The social organization of the labor process in the Japanese automobile industry. *Politics & Society*, 14(2), 115–146.

- Dörre, K. (2001). Gibt es ein nachfordristisches Produktionsmodell? Managementprinzipien, Firmenorganisation und Arbeitsbeziehungen im flexiblen Kapitalismus. In M. Candeias & F. Deppe (Hrsg.), *Ein neuer Kapitalismus* (S. 83–107). Hamburg: VSA.
- Eller-Braatz, E., & Klebe, T. (1998). Benchmarking in der Automobilindustrie. Folgen für Betriebs- und Tarifpolitik am Beispiel General Motors Europe. *WSI Mitteilungen*, 51(7), 442–450.
- Ericksen, J., & Dyer, L. (2005). Toward a strategic human resource management model of high reliability organization performance. *The International Journal of Human Resource Management*, 16(6), 907–928.
- Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI). (2016). *Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2016*. Berlin: EFI.
- Frese, E. (1993). Geschäftssegmentierung als organisatorisches Konzept zur Leitbildfunktion mittelständischer Strukturen für Großunternehmen. *Zeitschrift für Betriebswirtschaftliche Forschung*, 45, 999–1024.
- Hofmann, J. (2016). Voraussetzungen für den Einsatz von MES schaffen – Erfahrungsbericht aus Sicht einer Fertigung. In R. Obermaier (Hrsg.), *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen* (S. 255–269). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-08165-2_15.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (Hrsg.). (2013). *Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. Berlin: Forschungsunion für die Deutsche Wirtschaft e.V.
- Obermaier, R., & Kirsch, V. (2015). Wirtschaftlichkeitseffekte von Industrie 4.0-Investitionen. *Controlling*, 27(8–9), 493–503.
- Obermaier, R., & Kirsch, V. (2016). Betriebswirtschaftliche Wirkungen digital vernetzter Fertigungssysteme – Eine Analyse des Einsatzes moderner Manufacturing Execution Systeme in der verarbeitenden Industrie. In R. Obermaier (Hrsg.), *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen* (S. 191–217). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-08165-2_12.
- Peaucelle, J. (2000). From Taylorism to post-Taylorism: Simultaneously pursuing several management objectives. *Journal of Organizational Change Management*, 13(5), 452–467. <https://doi.org/10.1108/09534810010377426>.
- Picot, A., Reichwald, R., & Wigand, R. T. (2003). *Die grenzenlose Unternehmung: Information, Organisation und Management*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Picot, A., Dietl, H., Franck, E., Fiedler, M., & Royer, S. (2015). *Organisation. Theorie und Praxis aus ökonomischer Sicht* (7. Aufl.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The smart factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184–1190.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68.
- Sauter, R., Bode, M., & Kittelberger, D. (2015). Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die produktionsnahe Steuerung der Wertschöpfung. *Controlling*, 27(8–9), 475–484.
- Scheer, A.-W. (2015). Industrie 4.0: Von der Vision zur Implementierung. *Controlling*, 27(8–9), 35–52.
- Schneider, M. R., & Paunescu, M. (2012). Changing varieties of capitalism and revealed comparative advantages from 1990 to 2005: A test of the Hall and Soskice claims. *Socio-Economic Review*, 10(4), 731–753.
- Siebert, H. (1991). Ökonomische Analyse von Unternehmensnetzwerken. In W. H. Staehle & J. Sydow (Hrsg.), *Managementforschung* (Bd. 1, S. 291–311). Berlin: Springer Gabler.
- Streeck, W. (1987). Neue Formen der Arbeitsorganisation im internationalen Vergleich. *Wirtschaft und Gesellschaft*, 13(3), 317–335.
- Streeck, W. (1991). On the institutional conditions of diversified quality production. In E. Matzner & W. Streeck (Hrsg.), *Beyond Keynesianism: The socio-economics of production and full employment* (S. 21–61). London: Edward Elgar.

- Sturgeon, T. J. (2002). Modular production networks: A new American model of industrial organization. *Industrial and Corporate Change*, 11(3), 451–496.
- Sydow, J. (1992). Strategische Netzwerke und Transaktionskosten. In W. H. Staehle & J. Sydow (Hrsg.), *Managementforschung* (Bd. 2, S. 239–312). Berlin: Springer Gabler.
- Sydow, J. (2006). Management von Netzwerkorganisationen – Zum Stand der Forschung. In J. Sydow (Hrsg.), *Management von Netzwerkorganisationen: Beiträge aus der „Managementforschung“* (S. 387–472). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9127-0_13.
- Tolliday, S., & Zeitlin, J. (1988). Between Fordism and flexibility. *Archiv für Sozialgeschichte*, 28, 153–171.
- Wildemann, H. (1988). *Die modulare Fabrik: Kundennahe Produktion der Fertigungssegmentierung*. München: Hampp.
- Wilkens, U., Süße, T., & Voigt, B.-F. (2014). Umgang mit Paradoxien von Industrie 4.0 – Die Bedeutung reflexiven Arbeitshandelns. In W. Kersten, H. Koller & H. Lödding (Hrsg.), *Industrie 4.0 – Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern* (S. 199–210). Berlin: GITO.
- Williamson, O. E. (1991). Comparative economic organization: The analysis of discrete structural alternatives. *Administrative Science Quarterly*, 36(2), 269–296.

Personalwirtschaft

Martin Schneider und Simon Eisele

Inhalt

1	Einleitung	304
2	Neue Technologien, Qualifikationsbedarf und Arbeitsplätze	305
3	Humankapital	307
4	Personalwirtschaft 4.0	309
5	Fazit und Ausblick	318
	Literatur	319

Zusammenfassung

Um eine Smart Factory zu implementieren, benötigen Unternehmen mehr Beschäftigte mit breiten und sich wandelnden Kompetenzen (funktionale Flexibilität). Unternehmen müssen zudem in der Lage sein, das Produktions- und damit das Arbeitsvolumen kurzfristig zu variieren (numerische Flexibilität). Eine „Personalwirtschaft 4.0“ dürfte, je nach Spezifität und strategischer Bedeutung der Kompetenzen („Humankapital“), verschiedene, nach Gruppen differenzierte Personalarchitekturen umsetzen: Fachkräfte in der Produktion werden organisational gebunden. Wenig spezifisch ausgebildeten IT-Experten werden entweder marktgängige Bedingungen geboten oder ihre Leistung wird extern zugekauft werden. Die Kompetenzen der spezifisch ausgebildeten (reinen) Maschinenbediener sind nicht mehr strategisch bedeutsam; diese Arbeitsplätze sind langfristig bedroht und können z. T. durch Zeitarbeit ersetzt werden. Um eine Personalwirtschaft 4.0 umzusetzen, bietet das deutsche Berufsbildungssystem gute Bedingungen, doch Anpassungen im gelebten Betriebsverfassungs- und Tarifrecht scheinen notwendig.

M. Schneider (✉) · S. Eisele

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

E-Mail: martin.schneider@uni-paderborn.de

Schlüsselwörter

Humankapital · Qualifikationsstruktur · Personalpolitik · Flexibilität · Smart Factory

1 Einleitung

Alle Entscheidungen im Unternehmen, die im Begriff „Personalwirtschaft“ zusammengefasst werden, haben ein doppeltes Ziel: An allen Stellen sollen Beschäftigte mit den richtigen Qualifikationen (Leistungsfähigkeit bzw. Kompetenzen) zur Verfügung stehen und diese sollen dazu bereit sein, sich im Sinne der Unternehmensziele einzusetzen (Leistungsbereitschaft oder Motivation). Wenn dieses Doppelziel effizient, d. h. mit minimalen Kosten erreicht wird, kann Personalwirtschaft letztlich zur dauerhaften Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens beitragen. Umgesetzt wird diese Zielsetzung mithilfe von Teilaufgaben wie Personalplanung, Personalauswahl, Einstellung und Einarbeitung, Gestaltung des Entgelts und der sonstigen Anreize, Weiterbildung, Karriereplanung sowie Personalanpassungen.

All diese Teilaufgaben müssen sich unter den Bedingungen von Industrie 4.0 wandeln. Denn erstens verändert Industrie 4.0 nach verbreiteter und plausibler Auffassung sowohl die Arbeitsplätze als auch die notwendigen Kompetenzen der Beschäftigten, allem voran der (männlichen und weiblichen) Facharbeiter (Hirsch-Kreinsen 2014; Wilkens et al. 2014). So ergeben sich durch die neue Sensorik in Industrierobotern neue Mensch-Maschine-Interaktionen. Beispielsweise können Produktionsbeschäftigte von körperlicher Arbeit entlastet werden, doch müssen sie mit Tablets umgehen oder Roboter manuell programmieren können. Die dezentrale, digitalisierte Produktion erfordert zudem mehr Kommunikations- und IT-Kompetenzen. Zweitens schafft Industrie 4.0 neue Erfordernisse und Möglichkeiten zur Motivation bzw. Führung der Beschäftigten (Franken 2016). So schafft die laufende Produktion von Daten die Voraussetzung für eine ständige Überwachung der Leistung, doch gleichzeitig wird aufgrund der dezentralen, flexiblen Produktion eine straff hierarchische Führung schwieriger. Drittens schließlich potenzieren sich die Anforderungen an die Flexibilität des Arbeitseinsatzes (Spath et al. 2013). Kleine Stückzahlen und die starke Volatilität der Produktion erfordern Anpassungsleistungen einzelner Beschäftigter, aber auch eine kurzfristige Variation des Produktions- und Arbeitsvolumens – ein Atmen der Fabrik – auf betrieblicher Ebene.

In diesem Beitrag wird eine Personalwirtschaft für die Smart Factory – eine Personalwirtschaft 4.0 – skizziert. Beiträge, in denen über die Veränderungen hin zur Arbeit 4.0 spekuliert wird (vgl. etwa Franken 2016; Hirsch-Kreinsen 2015; Richter et al. 2015; Spath et al. 2013), werden verbunden mit Einsichten der Personalökonomie (Backes-Gellner 1993; Sadowski 2002). Die ökonomische Perspektive kann die Prinzipien, die auch unter den neuen technologischen Bedingungen von Industrie 4.0 wirken, jenseits aller Detailfragen offen legen. Dabei kann auf wichtige Vorarbeiten, die zu Einzelfragen gemacht worden sind, zurückgegriffen werden, insbesondere zu den Folgen der Digitalisierung für die Arbeitsanforderungen (Autor 2015), zur Wahl von Personalpraktiken für verschiedene Beschäftigungsgruppen

(Lepak und Snell 1999) und zu Flexibilität und Innovationsfähigkeit von Unternehmen (Backes-Gellner et al. 2015).

Der Beitrag konzentriert sich auf den Produktionsbereich der Smart Factory und auf vier Beschäftigtengruppen, die dort künftig weiterhin vorzufinden sein werden. Dies sind erstens Fachkräfte, worunter wir (jeweils männliche und weibliche) Facharbeiter, Techniker und Meister verstehen, die eine berufsfachliche Qualifikation besitzen und in der Produktion weniger ausführende als dispositive Aufgaben übernehmen wie die Produktions- und Auftragsplanung, die Einführung von Prozessänderungen u. ä. Es werden zweitens IT-Experten (Informatiker, Ingenieure) betrachtet, da sie bei der schrittweisen Einführung der Smart Factory eine zentrale Rolle einnehmen dürften; sie führen neue Komponenten ein, planen eine stärkere Automatisierung, stimmen einzelne Elemente der Smart Factory aufeinander ab und gestalten durch neue Technik einzelne Produktionsarbeitsplätze. Drittens werden Maschinenbediener untersucht. Ihre Tätigkeit verändert sich durch neue Robotik als auch durch die vernetzte Produktion und ihre Arbeitsplätze sind durch weitgehende Automatisierung permanent in Gefahr. Viertens schließlich werden Produktionshelfer betrachtet. Häufig üben sie Aufgaben aus, die auch in der Smart Factory anfallen: Verpacken, Ein- und Ausräumen oder Transportieren.

2 Neue Technologien, Qualifikationsbedarf und Arbeitsplätze

Die Digitalisierung, die sich in Industrie 4.0 vor allem durch den Einzug cyberphysischer Systeme (CPS) und digitaler Arbeitswelten zeigt, ist ein weiteres Kapitel des technologischen Fortschritts. In diesem Prozess rückt die Frage nach der Qualifikationsstruktur in der Smart Factory wie der Gesamtwirtschaft in den Vordergrund. Hier dominieren derzeit pessimistische Szenarien, denen zufolge auch Arbeitsplätze vieler Fachkräfte wegfallen werden (siehe beispielsweise Frey und Osborne (2013) oder Rifkin (1995)). Jenseits dieser Szenarien soll im Folgenden der Forschungsstand geklärt werden, wobei die Parallelen zwischen den noch spekulativen Aussagen zu Qualifikationsstrukturen in der Smart Factory (Hirsch-Kreinsen 2014) und empirischen Ergebnissen der Arbeitsökonomie (Autor 2015) herausgearbeitet werden sollen.

Ein erster Begriff zur Beschreibung der künftigen Qualifikationsstruktur in der Smart Factory ist die *Schwarmorganisation* (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 25). Diese zeichnet sich dadurch aus, dass die Beschäftigten mehr oder weniger ähnliche Kompetenzprofile besitzen und flexibel ein breites Aufgabenspektrum in der Smart Factory übernehmen können. Die Beschäftigten agieren relativ autonom und sind lose über Berufs-/Abteilungsgrenzen hinweg vernetzt. Die Schwarmorganisation geht damit von einer generellen Anhebung der gesamten Qualifikationsstruktur, d. h. einem erhöhten Bedarf an Fachkräften, aus (Pfeiffer et al. 2016, S. 82). Vor allem Facharbeiter sind gefordert, sich mit der erhöhten Komplexität eines CPS auseinanderzusetzen (Pfeiffer et al. 2016, S. 87), da sie darin im Wesentlichen zwei Kernaufgaben übernehmen (Gorecky et al. 2014; Zamfirescu et al. 2013). Sie

beeinflussen einerseits die physische Komponente direkt, zum Beispiel durch das Programmieren von Robotern sowie Ersetzen und Warten von Teilen, und sie fungieren andererseits als Vermittler, indem sie auf Basis von Informationen, die sie über Benutzerschnittstellen in Echtzeit erhalten, Maßnahmen ergreifen. In dieser Mensch-Maschine-Interaktion verändert sich somit das Tätigkeitsspektrum (vgl. ausführlich Zeller et al. 2010). Eine bedarfsorientierte Wartung und Instandhaltung von Maschinen und Sensoren sowie die Absprache und der fachliche Austausch von Informationen über verschiedene Produktionsbereiche hinweg werden – auf kontinuierlicher Basis – wichtiger; Überwachung von Maschinen per Augenschein und die manuelle Eingabe von Aufträgen fallen hingegen weg. Insgesamt müssen die Fachkräfte komplexe Steuerungsfunktionen verstehen und in der Lage sein, Probleme zu erkennen und zu beheben, damit der eng verzahnte Produktionsprozess nicht zu lange stockt (Bayme vbm 2016, S. 83). Für diese Anforderungen bedarf es einer höheren Qualifikation von Fachkräften. Da die Smart Factory kontinuierlich eingeführt wird, steigt auch der Weiterbildungsbedarf (Becker 2015, S. 27). Auch dies legt eine höhere Nachfrage nach hoch qualifizierten Beschäftigten nahe, da diese besser von Fort- und Weiterbildungen profitieren als andere Beschäftigte.

Die Schwarmorganisation zeigt Parallelen zu Entwicklungen auf dem Arbeitsmarkt seit den 1970er-Jahren. Tinbergen (1974) sagt bereits eine höhere Nachfrage nach qualifizierten Beschäftigten und entsprechend steigende Löhne für diese Beschäftigtengruppe voraus, da Technologie und hohe Qualifikationen komplementär eingesetzt werden: Wird mehr Technologie eingesetzt, werden auch mehr hoch qualifizierte Beschäftigte benötigt. Die Prognose hat sich bestätigt (Acemoglu und Autor 2012, S. 438). Allerdings zeigen neuere empirische Studien in dieser Forschungstradition (z. B. Goos und Manning 2007; Goos et al. 2009 oder Autor und Dorn 2013), dass in den USA und Europa verstärkt Beschäftigte in Berufen nachgefragt werden, für die tendenziell niedrigere und höhere Qualifikationen benötigt werden. Es zeigt sich, mit anderen Worten, eine *Polarisierung* der Qualifikationsstruktur. Studien zu tatsächlich ausgeübten Aufgaben zeigen, dass auf digitalisierten Arbeitsplätzen Routinetätigkeiten an Relevanz verlieren, Nicht-Routinetätigkeiten wie Planung und Kommunikation, die an beiden Polen der Qualifikationsstruktur Bestandteil des täglichen Arbeitens sind, werden hingegen wichtiger (Autor et al. 2003).

Entsprechend wurde für die Smart Factory ein Idealtyp der *Polarisierung* entworfen. Hier erfahren spezialisierte Fachkräfte eine Aufwertung ihrer Kompetenzen, aber andere Arbeiter hingegen, die im operativen Bereich einfache Tätigkeiten ausüben, eine Dequalifizierung (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 24; Pfeiffer et al. 2016, S. 82). Das Resultat wäre eine stärkere polarisierte Aufgabenteilung sowie Qualifikationsstruktur, da mehrere Funktionsrollen, wie etwa in der Koordination, aufgewertet werden, wohingegen bei anderen Facharbeitern bzw. angelernten Beschäftigten der Handlungsspielraum geringer wird, da nur standardisierte Überwachungs- und Kontrollaufgaben zu erledigen sind (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 24).

Ein dritter Idealtyp, welcher zwischen den beiden Polen angesiedelt ist, besagt, dass es zu einer einseitigen Anhebung der Qualifikation für bestimmte Beschäftigtengruppen, aber keiner Dequalifizierung anderer Gruppen kommt (Pfeiffer et al.

2016, S. 82). Hier wird insbesondere die Rolle der Meister und Techniker hervorgehoben, die über Expertise und Erfahrung in bestimmten Schnittstellen (bspw. in der Mechanik oder Mechatronik) innerhalb eines CPS verfügen (Pfeiffer et al. 2016, S. 90). Diese Berufsgruppen scheinen besonders geeignet, eine Vermittlerrolle zwischen Leitungs- und Ausführungsebene, aber auch zwischen mehreren ausführenden Instanzen einzunehmen.

Welche der angedeuteten Szenarien eintreffen, ist zurzeit spekulativ. Einen vorsichtigen Schluss lassen indessen Forschungsergebnisse zur Implementierung von Computer-Integrated Manufacturing-(CIM-)Systeme aus den 80er- und 90er-Jahren zu (siehe Hirsch-Kreinsen 2014). Generell verfolgen CIM-Systeme das Ziel, durch eine Vernetzung der Prozesse von der Produktentwicklung bis hin zur Qualitätskontrolle die Produktionsflexibilität zu erhöhen (Deuse et al. 2015, S. 101). Dementsprechend können diese Systeme auch als Vorläufer der jetzigen CPS angesehen werden.

Die Ergebnisse der Studien zeigen, dass diese Form der Automatisierung in Produktionssystemen nicht generell zu massivem Arbeitsplatzabbau geführt hat. Vielmehr kam es zu einer widersprüchlichen Transformation (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 16). Viele Arbeitsplätze im Bereich der einfachen Routinetätigkeiten blieben bestehen, auch wenn der Handlungsspielraum deutlich verringert wurde. Gleichzeitig erhielt die sogenannte „Produktionsintelligenz“ eine wachsende Bedeutung. Dies bedeutet, dass anstelle der reinen Produktionsarbeit andere Aktivitätsschwerpunkte, wie beispielsweise planende, steuernde oder kontrollierende Tätigkeiten, in den Vordergrund rücken und ein umfassenderes Wissen über das gesamte Produktionsnetzwerk vonnöten wird.

Insgesamt sind die Ergebnisse aus der Einführung von CIM am ehesten mit dem Konzept der Polarisierung vereinbar. Es dürfte also vermutlich auch in der Smart Factory zu einer Aufwertung der Tätigkeiten von Fachkräften, insbesondere Facharbeitern, in der Produktion kommen, ohne dass eine vollständige Automatisierung die Arbeitsplätze für geringer qualifizierte Beschäftigte gänzlich beseitigt. Die Rhetorik um Industrie 4.0 stellt entsprechend den Menschen als zentralen Bestandteil einer CPS heraus (Gorecky et al. 2014, S. 525; Richter et al. 2015) und betont, dass die „Zukunft nicht Mensch oder Maschine, sondern Mensch und Maschine gehört“ (Spath et al. 2013, S. 50).

3 Humankapital

Wenn der „Mensch im Mittelpunkt der Fabrik von morgen“ steht (Richter et al. 2015), kommt einer Personalwirtschaft 4.0 unter anderem die Aufgabe zu, die neuen, breiteren Kompetenzprofile, die für Fachkräfte in der Produktion notwendig werden, auf individueller Ebene zu fördern. In der Personalökonomie wird für „Kompetenz“ der Begriff „Humankapital“ verwendet (Becker 1962; Sadowski 1980). Humankapital umfasst die Gesamtheit der Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse, die Beschäftigte in den Produktionsprozess einbringen und aus denen sie Einkommen erzielen können. Der Humankapitalbegriff macht die besonderen

Schwierigkeiten einer Personalwirtschaft 4.0 verständlich, da er auf wichtige Besonderheiten von Arbeitsleistungen als Produktionsfaktor hinweist (Neus 2013).

Humankapital ist *personengebunden*. Anders als bei der Nutzung einer Maschine lässt sich die Nutzung von Humankapital nicht vom Besitzer trennen. Daher ist der Arbeitgeber bei der produktiven Nutzung des Humankapitals immer auf die Kooperationsbereitschaft der Beschäftigten angewiesen. Beschäftigte müssen für das Unternehmen gewonnen und dort bleiben wollen, sie müssen zudem dazu motiviert werden, ihr Leistungspotenzial im Sinne des Arbeitgebers einzusetzen. Der Mensch bleibt daher auch bei den neuartigen Mensch-Maschine-Interaktionen in Industrie 4.0 das am wenigsten berechenbare Element, die nicht-programmierbare Komponente.

Humankapital ist im Vergleich zu anderen Produktionsfaktoren auch besonders *heterogen*. Beschäftigte unterscheiden sich in ihrer Motivationsfähigkeit, ihren Talenten und erworbenen Kompetenzen. Wenn die Aufgabenprofile des Arbeitsplatzes 4.0 ein neues, breites Kompetenzprofil erfordern, wird die Inhomogenität des Faktors Humankapital besonders problematisch. Natürlich liegen Forderungen nach stärkeren Bemühungen in Aus- und Weiterbildung nahe, um Arbeit 4.0-taugliche Kompetenzen zu entwickeln (Gebhardt et al. 2015). Doch Industrie 4.0 wird sukzessive und mit noch unklarem Endpunkt eingeführt. Zudem müssen Beschäftigte die alte Welt der standardisierten, effizienten Produktion mit Kunden- und Dienstleistungsorientierung verbinden. Dies stellt Beschäftigte vor paradoxe Anforderungen, die sie an die Grenzen ihrer Lernfähigkeit bringen kann (Wilkens et al. 2014).

Humankapital ist drittens *wenig mobil*. Dies bezieht sich zum einen auf die Tatsache, dass Beschäftigte ungerne den Arbeitsort wechseln, weil sie soziale Beziehungen innerhalb und außerhalb des Betriebs aufgebaut haben. Zum anderen sind die Kompetenzen, über die Beschäftigte verfügen, zu einem beträchtlichen Teil nur im aktuellen Betrieb produktiv einsetzbar. Man spricht hier von „spezifischem“ im Unterschied zu „generellem Humankapital“ (Becker 1962). Beispiele für spezifisches Humankapital sind Kenntnisse über einer im Unternehmen eigenerstellten Software, das Fingerspitzengefühl im Umgang mit einer Spezialmaschine oder das Wissen um die Abläufe und um die richtigen Ansprechpartner im Unternehmen. Da Industrie 4.0 in einem experimentellen und schrittweisen Prozess aus Industrie 3.0 heraus wächst (Wilkens et al. 2014), dürfte das spezifische Humankapital entscheidend dafür sein, dass neue Technologien wirtschaftlich umgesetzt werden.

Insgesamt verdeutlicht der Humankapitalbegriff die besonderen Schwierigkeiten einer Personalwirtschaft für die Smart Factory. Personengebundene, spezifische Kompetenzen, die ständig angepasst werden sollen, müssen definitionsgemäß im Unternehmen entwickelt und dort gehalten werden, um produktiv zu sein. Gefordert ist daher eine langfristige Beschäftigungszusage. Unter den dynamischen Bedingungen haben Unternehmen jedoch weder ein Interesse daran, diese für alle Beschäftigten auszusprechen, noch würde sie unter diesen Bedingungen von den Beschäftigten geglaubt. Vielmehr ist davon auszugehen, dass Arbeitgeber die Personalwirtschaft nach der Art des zu sichernden Humankapitals differenzieren möchten. Diese – in diesem engen Sinn aus Arbeitgebersicht sinnvolle – Differenzierung wird im Folgenden dargestellt. Dabei ist offensichtlich, dass die ökonomisch gebotene

Ungleichbehandlung gegen die Interessen vieler Beschäftigten verstößt. Auch dieser Interessengegensatz beruht letztlich auf der unaufhebbaren Bindung des Humankapitals an die Person.

4 Personalwirtschaft 4.0

4.1 Beschäftigungssystem

Die langfristige, strategische Ausrichtung der Personalwirtschaft macht das *Beschäftigungssystem* des Unternehmens aus (Alewell und Hansen 2012). Das Beschäftigungssystem wird in Deutschland insbesondere in der gewerkschaftlich stark organisierten Metall- und Elektrobranche auch von Tarifverträgen und der betrieblichen Mitbestimmung geprägt. Hiervon und damit auch vom bereits angesprochenen Interessenkonflikt wird im Folgenden meist abstrahiert. Stattdessen wird das Gestaltungsinteresse eines Arbeitgebers, der den langfristigen Unternehmenserfolg im Blick hat, unterstellt. So können die Kräfte, die unter Wettbewerbsbedingungen von der Digitalisierung auf die Personalwirtschaft wirken dürften, prägnant herausgearbeitet werden. Wenn dies unterstellt wird, ist davon auszugehen, dass das Beschäftigungssystem nicht alle Beschäftigten einheitlich behandelt, sondern sich in gruppenspezifische Teilsysteme gliedert, die hier als *Personalkonfigurationen* bezeichnet werden (in Anlehnung an HR configuration, vgl. Lepak und Snell 1999). Für die arbeitgeberseitige Wahl des Teilsystems sind zwei Merkmale des Humankapitals zentral (Kang et al. 2007; Lepak und Snell 1999). Der Grad der *Spezifität* wurde bereits eingeführt. Spezifisches Humankapital muss im Betrieb selbst ausgebildet werden. Es bindet die Beschäftigten in gewisser Weise an das Unternehmen. Aus Unternehmenssicht ist jedoch ein zweites Merkmal ebenfalls wichtig: die *strategische Bedeutung* des Humankapitals. Sie bezieht sich auf die Frage, ob das Humankapital wichtig ist für die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens. Denkbar ist zum Beispiel, dass im Unternehmen eine ältere Maschine eingesetzt wird, die nur von wenigen Beschäftigten gehandhabt werden kann, dass aber das hierauf hergestellte Produkt einen geringen Anteil am Gesamtumsatz hat. Dann ist das Humankapital spezifisch, aber nicht strategisch bedeutsam.

Die Kombination der beiden Merkmale ermöglicht eine Differenzierung von Beschäftigtengruppen nach deren Humankapital. Im Folgenden wird eine solche Differenzierung vorgenommen für Typen von Arbeitsplätzen, die in Industrie 4.0 vermutlich weiterhin vorhanden sein werden und im engeren Bereich der Fertigung einer Smart Factory angesiedelt sind: Fachkräfte, IT-Experten, Maschinenbediener sowie angeleitete Beschäftigte in der Produktion (vgl. Abb. 1). Unterstellt wird, dass sich die Smart Factory durch drei Merkmale auszeichnet, die in unterschiedlichen Mischungsgraden auftreten (vgl. Kap. ► „Betriebsorganisation“ in diesem Handbuch): Modularisierung der Fertigungsschritte, eine Vernetzung von Maschinen, Produkten und Menschen sowie ein hoher Automatisierungsgrad. Dabei sind unterschiedliche Varianten denkbar und es dürften sich Mischungen der von Hirsch-Kreinsen und ten Hompel (2016) unterschiedenen Typen von Arbeit herausbilden.



Abb. 1 Vier Personalkonfigurationen. (Quelle: eigene Erstellung basierend auf Ideen von Lepak und Snell (1999) und Kang et al. (2007))

Das heißt, es wird einen Schwarm an Fachkräften (Facharbeiter, Meister, Techniker, Ingenieure), professionellen Experten (wie IT-Experten zur Implementierung von Hardware oder Programmierung von Software) sowie zum Teil angelernten Beschäftigten in der Produktion (Maschinenbediener, Arbeiter in der Montage, Produktionshelfer) geben. Schließlich wird auch unterstellt, dass die Smart Factory schrittweise eingeführt wird und daher gleichzeitig eine effiziente Produktion und deren kontinuierliche Veränderung gefordert sind.

Unter diesen Bedingungen sind *Fachkräfte in der Produktion* die aus Unternehmenssicht wichtigste Beschäftigtengruppe (vgl. Abb. 1). Oft sind es (männliche und weibliche) Techniker, Meister oder Facharbeiter, die in der Smart Factory Hardware und Software miteinander verknüpfen, die den Produktionsprozess verbessern und die, falls die laufende Produktion stockt, einspringen müssen. Ihr Humankapital ist in hohem Maß spezifisch, da sie ihre Produkte und ihre Kunden kennen und alte Maschinen und Prozesse mit neuer Software verbinden müssen. Ihr Humankapital ist zudem strategisch wichtig, da es dafür entscheidend ist, dass ein Unternehmen die mit Industrie 4.0 mögliche Kombination von Kostendegression und Produktdifferenzierung erreichen kann.

Kaum überraschend ist die Tatsache, dass *Produktionshelfer* die am wenigsten wichtige Beschäftigtengruppe sind. Ihr Humankapital ist weder spezifisch noch strategisch bedeutsam. Interessanter sind die beiden verbleibenden Gruppen. *Maschinenbediener*, wie sie aus Industrie 3.0 bekannt sind, besitzen spezifisches Humankapital, das jedoch im Kontext von Industrie 4.0 nicht strategisch bedeutsam ist. Ihre Arbeitsplätze sind langfristig bedroht, entweder durch eine stärkere Automatisierung oder aber dadurch, dass das relativ geringe Kompetenzniveau der

„einfachen“ Bedienung zugunsten eines höheren, flexibleren Kompetenzniveaus ersetzt wird und Maschinenbediener so zu Fachkräften werden. *IT-Experten*, also Beschäftigte, die Software programmieren oder anpassen bzw. IT-Hardware betreuen, werden in Industrie 4.0 zentral für die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens. Obwohl sie also strategisch bedeutsam sind, ist ihr Humankapital wenig betriebsspezifisch.

Für jede der vier Gruppen bietet sich eine andere Personalkonfiguration an. Sie lassen sich mit organisationaler Bindung, Marktbindung, Zusammenarbeit und Anweisung charakterisieren (Lepak und Snell 1999).

Die *organisationale Bindung* bezeichnet eine Personalkonfiguration, die für die Fachkräfte in der Produktion angebracht ist. Hier versuchen Unternehmen, die Beschäftigten langfristig zu halten und sie emotional und rational an das Unternehmen zu binden. Das geschieht vor allem über langfristige Anreize, aber auch die mobilitätsreduzierende Wirkung spezifischer Kompetenzen spielt eine zentrale Rolle. Die *Marktbindung* hingegen setzt eher auf rationale Bindung: eine Bindung durch ein attraktives Entgelt und interessante Aufgaben. Bei der Beschäftigung von IT-Experten stehen Unternehmen im ständigen Wettbewerb, da die Beschäftigten hochmobil, weil wenig spezifisch ausgebildet sind. Da sowohl IT-Experten wie auch Fachkräfte in der Produktion über strategisch bedeutsames Humankapital verfügen, verfolgen Unternehmen hier eine aktive Strategie der Gewinnung und mittelfristigen Bindung.

Das ist anders bei den übrigen beiden Personalkonfigurationen. Die *Zusammenarbeit* soll eine Personalkonfiguration bezeichnen, bei der die Kooperation von Beschäftigtengruppen wie (traditionellen) Maschinenbedienern sichergestellt werden soll, ohne ein allzu langes Beschäftigungsverhältnis zu versprechen. Die Kombination aus spezifischem, aber wenig strategisch bedeutsamem Humankapital ist insofern schwierig, als die Bildung von spezifischem Wissen eine langfristige Zusammenarbeit erfordert. Allzu hohe Investitionen in die Bindung rentieren sich jedoch nicht. Dies gilt noch weniger für die wenig spezifisch ausgebildeten Produktionshelfer. Hier bietet sich eine Personalkonfiguration der *Anweisung* an. Beschäftigungsverhältnisse sind kurzfristig, die Anforderungen an spezifische Fähigkeiten gering, sodass hierarchisch und durch engmaschige Kontrolle agiert wird.

4.2 Flexibilität

Wenn in der Smart Factory eine hohe Produktvariation mit kostengünstiger Produktion verbunden werden soll, so erfordert dies eine doppelte Flexibilität in der Fertigung (Spath et al. 2013): Zum einen müssen Produktionsmengen kurzfristig anzupassen sein; zum anderen muss eine hohe Produktvariation, auch über die Zeit mit entsprechend hoher Innovationsintensität erreicht werden. Eine Personalwirtschaft 4.0 hat zur Aufgabe, durch Pendants in der personellen Flexibilität die Anpassungsnotwendigkeit in der Fertigung zu gewährleisten (vgl. Abb. 2).

Obgleich weitere Formen von Flexibilität im Hinblick auf die Fertigung diskutiert werden (Bernardes und Hanna 2009; Golden und Powell 2000), wird hier grundle-

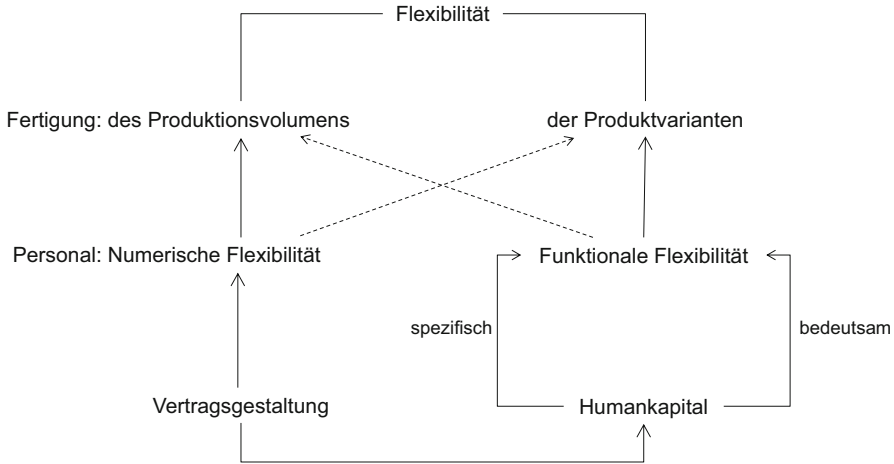


Abb. 2 Flexibilität in Produktion und Personal. (Quelle: eigene Erstellung)

gend zwischen funktionaler und numerischer Flexibilität unterschieden (vgl. etwa Backes-Gellner et al. 2015). *Funktionale Flexibilität* bezieht sich auf die Fähigkeit, sich schnell und kreativ auf neue Anforderungen einzustellen. Diese Form von Flexibilität gründet im Wesentlichen in den Kompetenzen der einzelnen Beschäftigten bzw. Beschäftigtengruppen. *Numerische Flexibilität* bezieht sich auf die Möglichkeit des Unternehmens, das Arbeitsvolumen eng am Auftragsvolumen bzw. dem Arbeitskräftebedarf auszurichten. Diese Form von Flexibilität gründet letztlich in der Vertragsgestaltung: Das Beenden oder Eingehen von Beschäftigungsverhältnissen oder aber die Vereinbarung von variablen Arbeitszeiten sind Möglichkeiten, die Fabrik in diesem Sinne atmen zu lassen.

Wie Unternehmen verschiedene Formen von Flexibilität durch ein gruppenspezifisches Vertragsmanagement erreichen können, wird mithilfe des Konzeptes der *flexiblen Unternehmung* seit den 1980er-Jahren beschrieben (Atkinson 1984; Kalleberg 2001; Schneider 1998). Im Sinne einer personell flexiblen Smart Factory stellt Abb. 3 die vier exemplarisch betrachteten Beschäftigtengruppen in ihrer Vertragskonstellation dar.

Im *Kern* stehen die Fachkräfte in der Produktion. Sie sorgen für den Großteil der notwendigen funktionalen Flexibilität. Die Strategie der organisationalen Bindung impliziert, dass diese Beschäftigtengruppe im Unternehmen gehalten werden soll. Bei Auftragsrückgängen werden die Beschäftigungsverhältnisse dieser Gruppe nicht beendet. Allenfalls durch Arbeitszeitverkürzungen muss diese Gruppe zur numerischen Flexibilität beitragen, doch die Notwendigkeit, gerade in Krisenzeiten den Produktionsprozess auf neue Varianten umzustellen, erübrigt für diese Beschäftigtengruppe meist auch Arbeitszeitverkürzungen.

IT-Experten und Maschinenbediener sind an der *ersten Peripherie* des flexiblen Unternehmens angesiedelt. Beide Gruppen aus der ersten Peripherie tragen in gewisser Weise zur funktionalen Flexibilität des Unternehmens bei: die IT-Experten

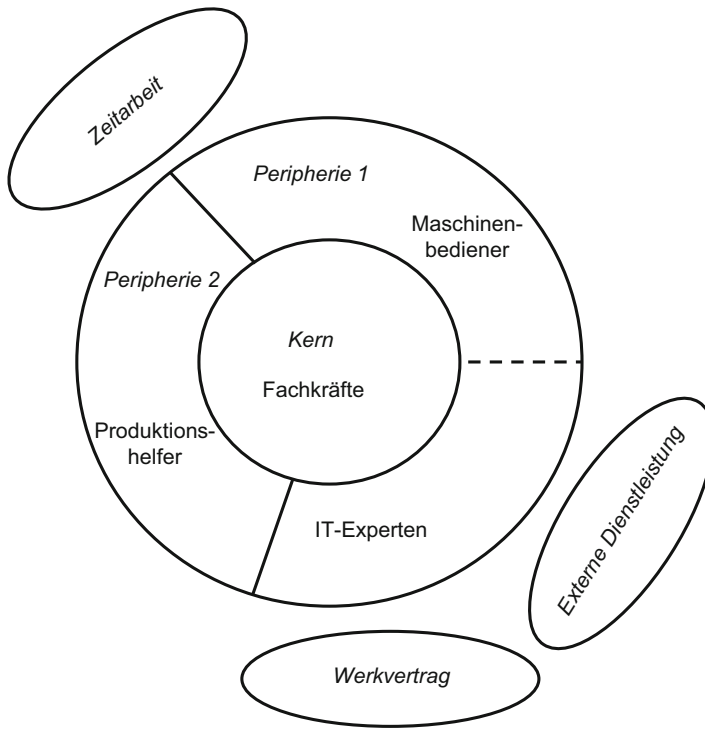


Abb. 3 Die flexible Smart Factory. (Quelle: eigene Erstellung basierend auf Ideen von Atkinson (1984))

durch strategisch bedeutsames, generelles Humankapital, die Maschinenbediener hingegen durch spezifisches, weniger strategisch bedeutsames Humankapital. Bei den Beschäftigtengruppen wird häufig ein reguläres, unbefristetes Beschäftigungsverhältnis angeboten, doch die Bemühungen des Unternehmens, diese Gruppen zu halten, fallen deutlich geringer aus als für jene im Kern. Umgekehrt tragen diese Beschäftigtengruppen einen Großteil zur numerischen Flexibilität des Unternehmens bei. Im temporären Auftragsrückgang dürften Beschäftigungsverhältnisse für IT-Experten häufig beendet werden, sofern nicht mit einer Knappheit entsprechender Kompetenzen am externen Arbeitsmarkt gerechnet wird. Die Anpassung für die Maschinenbediener dürfte häufig jedoch über Arbeitszeitanpassungen, entweder durch Arbeitszeitkonten oder Kurzarbeit, erfolgen, nur als letzter Ausweg durch eine Beendigung des Beschäftigungsverhältnisses. Maschinenbediener verfügen zwar über kein unabdingbares, aber über spezifisches Humankapital. Entlassungen würden einen starken Humankapitalverlust bedeuten und unter Umständen die Moral in der verbleibenden Belegschaft empfindlich beeinträchtigen.

Produktionshelfer sind im Wesentlichen in der zweiten Peripherie angesiedelt. Ihr Beitrag zur funktionalen Flexibilität ist deutlich geringer. Daher sind hier langfristige, unbefristete Beschäftigungsverhältnisse aus Sicht des Unternehmens nicht

wünschenswert. Vielmehr kann durch befristete Beschäftigung, geringfügige Beschäftigung oder Aushilfen eine hohe numerische Flexibilität erreicht werden. Die Vertragsformen erlauben eine schnelle Reduktion des Arbeitsvolumens und die kurze Einarbeitungszeit lässt ein schnelles Hochfahren des Arbeitsvolumens unproblematisch erscheinen. Sofern es sich um geringfügig Beschäftigte oder Aushilfen handelt, sind die Beschäftigten auch weniger auf eine längerfristige Anstellung angewiesen, sodass Gerechtigkeitsüberlegungen hier weniger eine Rolle spielen. Problematisch ist die numerische Flexibilität allerdings im Hinblick auf legitime Interessen der Beschäftigten und Gerechtigkeitseffekte im Unternehmen, wenn die Produktionshelfer unbefristet und schon länger Beschäftigte sind. Eine am harten ökonomischen Kalkül ausgerichtete Personalwirtschaft 4.0 dürfte hier die Interessen einer Beschäftigtengruppe mit geringen Aussichten, am externen Arbeitsmarkt zu reüssieren, verletzen. Hier sind besondere Anstrengungen notwendig, etwa durch Weiterbildung oder die Vermittlung alternativer Beschäftigungsmöglichkeiten.

Die Beschäftigten sowohl im Kern als auch in der Peripherie erhalten in der Regel einen Arbeitsvertrag (Dienstvertrag) mit dem Unternehmen selbst. Die Flexibilität lässt sich jedoch deutlich dadurch erhöhen, dass zusätzliche alternative Vertragsarrangements genutzt werden.

Mithilfe von *Zeitarbeit* (Leiharbeit) können Arbeitskräfte bestimmte Aufgaben übernehmen, ohne ein formales Beschäftigungsverhältnis mit dem Unternehmen einzugehen. Insbesondere für Produktionshelfer ist die Zeitarbeit ein gutes Äquivalent zu befristeter oder geringfügiger Beschäftigung. Doch auch für Maschinenbediener lässt sich die Zeitarbeit nutzen. In Deutschland sind inzwischen etwa eine Million Menschen als Zeitarbeiter beschäftigt (Schäfer 2017). Allerdings beschränkt ein neues Arbeitnehmerüberlassungsgesetz, das seit April 2017 wirksam ist, den Einsatz von Zeitarbeit in den Unternehmen. Unter anderem ist die maximale Einsatzdauer auf 18 Monate begrenzt. Da dies jedoch ein langer Zeitraum ist und im Rahmen von Tarifverträgen längerfristige Einsatzdauer weiterhin möglich ist, dürfte die Zeitarbeit für Unternehmen attraktiv bleiben.

Mithilfe von *Werkverträgen* oder einer *externen Dienstleistung* lässt sich die Arbeit von IT-Experten ersetzen bzw. ergänzen. Bei Werkverträgen (nach § 631 Bürgerliches Gesetzbuch) wird nicht eine bestimmte Leistung in Stunden vereinbart, sondern die Lieferung eines bestimmten Werkes. Der Leistungserbringer ist hier selbstständig tätig. Bei einer externen Dienstleistung wird die Leistung nicht von einer einzelnen Person, sondern von einem Unternehmen geliefert. Man spricht hier auch von einem *Outsourcing* bestimmter Tätigkeiten. Sofern das Unternehmen selbst noch keine Expertise in dieser Tätigkeit aufgebaut hat, kann die Bereitstellung von außen zur funktionalen Flexibilität des Unternehmens beitragen. Beide Vertragsformen sind zudem numerisch flexibel.

Inwiefern diese alternativen Vertragsformen sinnvoll sind, sollte jedoch sorgfältig geprüft werden. Scheinbar heben sie die oben beschriebene Personengebundenheit des Humankapitals auf, etwa wenn Outsourcing durch das Ausschreiben von Leistungen flexibel gestaltet werden kann. Der Nachteil ist jedoch, dass diese alternativen Vertragsformen eben keine Dienstverträge darstellen, bei denen die Beschäftigten weisungsgebunden sind. Diese alternativen Vertragsarrangements bieten sich

insbesondere dann an, wenn die Tätigkeit unregelmäßig benötigt wird und wenn sie sich als Werk oder Modul genau beschreiben lässt. Falls die Tätigkeit häufig anfällt, unklar beschrieben ist und sich im Detail tagtäglich ändert, ist ein Dienstvertrag hingegen deutlich sinnvoller. Mit ihm stellen sich allerdings die angesprochenen Motivationsprobleme ein. Hinzu kommt, dass Werkverträge, die letztlich wie Dienstverträge organisiert sind, rechtlich höchst bedenklich erscheinen, da es sich dann u. U. um eine sogenannte Scheinselbstständigkeit handelt.

Insgesamt zeigt dieser Rückgriff auf die Idee der flexiblen Unternehmung, dass Fachkräfte in der Produktion, mit ihren strategisch bedeutsamen und spezifischen Aufgaben, den personellen Kern der Smart Factory ausmachen dürften. Ihre Beschäftigung wird verstetigt, um den Beitrag zur funktionalen Flexibilität zu sichern. Das Arbeitsvolumen wird hier allenfalls über die Arbeitszeit variiert. Stärkere numerische Flexibilität erhält die Smart Factory bei den übrigen drei Beschäftigtengruppen, durch die Variation der Beschäftigung und durch alternative Vertragsformen. Der starke Kostendruck sollte Unternehmen indessen nicht zu einer allzu starken Betonung der numerischen Flexibilität verführen. Innovative Unternehmen zeichnen sich durch eine starke funktionale Flexibilität, eine breite Einsetzbarkeit und Anpassungsfähigkeit ihrer Belegschaft aus (Backes-Gellner et al. 2015). Da sich Industrie 4.0 erst entwickelt und in der noch unklaren Kombination verschiedener, alter und neuer Technologien bestehen wird (Hirsch-Kreinsen und ten Hompel 2016), spricht viel dafür, im Zweifel den Kern der Fachkräfte breit zu definieren.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass nur der Fertigungsbereich einer einzigen Smart Factory betrachtet wurde. Für ganze, evtl. global agierende Unternehmen werden aller Voraussicht nach andere Überlegungen wichtig werden. Beispielsweise können neue Arbeitsformen wie die Verlagerung von kleineren Teilaufgaben in Projekten an externe, selbstständig agierende Akteure (Crowdworking), die durch die Digitalisierung vereinfacht wird (Blohm et al. 2014), zu wichtigen Vertragsarrangements werden. Crowdworker sind vertraglich gesehen selbstständig Tätige, keine Beschäftigten, wobei die Besonderheit ist, dass Tätigkeiten über sogenannte Plattformen ausgeschrieben werden. Crowdworking, aber auch der globale Zukauf bestimmter Tätigkeiten oder Aufgaben – im Unternehmen oder über seine Grenzen hinweg – dürfte sich in internationalen Netzwerken langfristig institutionalisieren (Kalleberg 2001).

4.3 Anreize

Jenseits des Beschäftigungsverhältnisses werden auch andere Personalpraktiken bzw. -politiken – dem Konzept der Personalkonfiguration folgend – gruppenspezifisch variiert, um Anreize zum Verbleib der Beschäftigten, zu kontinuierlicher Weiterbildung und zu produktivem Arbeitseinsatz zu setzen. Dies wird für die drei vom Unternehmen selbst angestellten Beschäftigtengruppen, die wichtiges spezifisches und/oder strategisch bedeutsames Humankapital bereitstellen, illustriert: Maschinenbediener, Fachkräfte in der Produktion und IT-Experten. In der Literatur zu Beschäftigungssystemen werden ganz unterschiedliche Listen von Personalprak-

tiken bzw. -politiken angeführt (vgl. etwa Alewell und Hansen 2012; Tsui und Wang 2002). Für den hier betrachteten Produktionsbereich scheinen uns fünf Bereiche der Personalpolitik zentral: die Arbeitsplatzdefinition, Art und Ausmaß der Weiterbildung, Art und Ausmaß der Überwachung der Beschäftigten, die Ausgestaltung des Entgelts sowie die Ausgestaltung der Karriere (vgl. Tab. 1). Dass sich auf dem Weg zur Smart Factory die Aus- und Weiterbildung (Gebhardt et al. 2015; Senderek et al. 2015), der Zuschnitt der Arbeitsplätze und die Möglichkeiten zur Überwachung (Richter et al. 2015) ändern werden, ist plausibel und wird vielfach bereits thematisiert. Bislang wird jedoch noch zu wenig diskutiert, dass auch Karrierepfade und Entgeltsysteme angepasst werden müssen. Die fünf Bereiche sollten als Arrangement oder Konfiguration begriffen werden, da es unter ihnen synergetische bzw. strategisch komplementäre Effekte gibt: Bestimmte Politiken verstärken sich in ihrer Wirkung gegenseitig und müssen daher konsistent aufeinander abgestimmt werden, damit die gewünschten Anreizeffekte eintreten (Baron und Kreps 1999; Milgrom und Roberts 1995).

Wie lassen sich die Wirkungen der drei Personalkonfigurationen in der Smart Factory im Hinblick auf das Anreizziel und die geforderte Konsistenz charakterisieren?

Die Arbeitsplätze für *Maschinenbediener* sind für langjährig dort Beschäftigte und jüngere Personen mit geringer Schul- und oft fehlender Berufsausbildung attraktiv. Nach einer längeren technischen Einarbeitung bringen sie ihr spezifisches Humankapital ein. Da ihre Tätigkeit in einem CPS technologisch vernetzt ist, ist der Arbeitsplatz klar und eng definiert. Die Technologie ermöglicht eine fortwährende und datenbasierte Überwachung der Tätigkeit. Die ermittelten Daten können auch genutzt werden, um ein am individuellen Output ausgerichtetes Entgelt nachvollziehbar zu bemessen. Daneben dürften, gemessen an der Gruppe der Un- und Angelernten, Entgeltniveaus über dem Marktniveau üblich sein, da die Beschäftigten über spezifische Kompetenzen verfügen. Die Gestaltung des Entgelts ist wichtig

Tab. 1 Anreize in drei Personalkonfigurationen. (Quelle: eigene Erstellung)

	Konfiguration und Beschäftigtengruppe		
	Zusammenarbeit Maschinenbediener	Organisationale Bindung Fachkräfte	Marktbindung IT-Experten
Arbeitsplatzdefinition	Eng, klar definiert (über Technik)	Breit, unklar definiert	Breit, klar definiert (über Aufgabe)
Überwachung	Hierarchisch, technologisch	Gering	Gering
Weiterbildung	Wenig intensiv Arbeitsplatzspezifisch	Intensiv Thematisch breit	Wenig intensiv Betriebsspezifisch
Entgelt	Leicht über Marktniveau Stark an individuellem Output ausgerichtet	Großzügig Stark an Gruppen- bzw. Abteilungserfolg ausgerichtet	Marktorientiert Stark an individuellem Output ausgerichtet
Karriere	Mittelfristige Beschäftigungssicherheit	Langfristige Beschäftigungssicherheit, Aufstiegschancen	Mittelfristige Beschäftigungssicherheit

zur Motivation, da langfristige Karriereanreize für diese Gruppe nicht mehr sinnvoll erscheinen, angesichts des strategisch nicht bedeutsamen Humankapitals. Ergänzend können Maschinenbediener auch mithilfe neuer Technologien motiviert werden, etwa indem Arbeitsprozesse abwechslungsreich gestaltet und mit Gamification-Elementen angereichert werden (Kerber und Lessel 2015; Richter et al. 2015). Ähnlich motivierende Wirkungen der Technologie sind auch für die Weiterbildung möglich (Senderek und Geissler 2015). Weiterbildung dürfte durchaus häufig anfallen aufgrund der schrittweisen Einführung von Industrie 4.0, doch sie bleibt eng auf den Arbeitsplatz bezogen. Diese wenig auf Entwicklung der Beschäftigten ausgerichtete Politik setzt sich bei der Karrierepolitik fort. Da die Automatisierung diese Arbeitsplätze aller Voraussicht nach betreffen wird, werden diesen Beschäftigten häufig keine langfristigen Beschäftigungszusagen mehr gegeben. Solange die Technologie jedoch vorhanden ist, begründen die spezifischen Kompetenzen der Maschinenbediener ein Interesse des Unternehmens an einer (mittelfristigen) Weiterbeschäftigung. Insgesamt lässt sich die Konfiguration als Zusammenarbeit charakterisieren, an der beide Seiten jedenfalls auf mittlere Sicht ein Interesse haben.

Die Arbeitsplätze für *Fachkräfte* in der Produktion werden (besonders in der Zeit der Einführung von Industrie 4.0) voraussichtlich breit und unklar definiert sein. Sie dürften bei Facharbeitern ausführende und dispositive Aufgaben umfassen (Hirsch-Kreinsen und ten Hompel 2016). Attraktiv sind solche Arbeitsplätze für jüngere, gut ausgebildete Personen (mit Hochschulstudium und/oder Graden beruflicher Ausbildung von Facharbeiter- bis Technikerniveau), die anspruchsvolle Aufgaben suchen, sowie für langjährige, ältere Beschäftigte, sofern sie bereit sind, sich weiterzubilden. Beide Altersgruppen müssen sich auf die Schnittstellen der Technologien – vereinfacht gesprochen: bekannte, mit Erfahrung zu betreibende Maschinen einerseits, neue, mit Grundlagenwissen umzusetzende Informationstechnologie andererseits – zubewegen, jedoch aus verschiedenen Richtungen. Weiterbildung ist für beide Gruppen notwendig, allerdings nach Alter und Vorwissen differenziert. Die Weiterbildung umfasst verschiedene Formen und ist auf die Kenntnis verschiedener Technologien und ihrer Verknüpfung hin ausgerichtet. Die Bereitschaft, in Weiterbildung zu investieren, ist von Unternehmensseite hoch. Denn einerseits bilden die Fachkräfte den Kern der Smart Factory, mit gleichzeitig hoch spezifischem und strategisch bedeutsamem Humankapital, und andererseits darf das Unternehmen mit einem langfristigen Beschäftigungsinteresse der Fachkräfte rechnen. Dafür sorgen eine großzügige Entlohnung und mehr oder weniger explizite unternehmensinterne Karrierepfade. Für Entgeltbestandteile, die über das Grundniveau hinausgehen, bieten sich gruppen- oder abteilungsbezogene Komponenten an, weniger hingegen individuelle. Dafür sprechen die unklaren Arbeitsplätze, aber auch die vielfältigen Anforderungen an Teamarbeit (gemeinsame Entwicklung und Technologieimplementierung, Wissensaustausch und Anlernprozesse). Insgesamt sorgt diese Konfiguration für eine organisationale Bindung in dem Sinne, dass Fachkräfte lange im Unternehmen beschäftigt werden und auf mehrfache Weise (durch großzügiges Entgelt, Karriereerwartungen und soziale Einbindung in das Unternehmen) an das Unternehmen gebunden sind und sich im Idealfall auch mit ihm verbunden fühlen.

Das Humankapital der *IT-Experten* ist weniger unternehmensspezifisch als jenes z. B. von Ingenieuren in der Produktion. Jüngere Menschen können daher immer neu prüfen, ob sie die Arbeitsplätze attraktiver finden als Alternativbeschäftigungen im IT-Sektor oder als eine selbstständige Tätigkeit. Da ihr Humankapital insbesondere im anstehenden Übergang zu Industrie 4.0 jedoch strategisch wichtig ist, sind Unternehmen gezwungen, besondere Anstrengungen zu einer zumindest mittelfristigen Bindung zu unternehmen. Das kann durch interessante Aufgaben, viel Freiraum und ein über dem Marktniveau liegendes Entgelt geschehen. Das Entgelt kann stark an der Aufgabenerfüllung ausgerichtet werden, weil das zu erbringende Werk meist gut zu beschreiben ist. IT-Experten orientieren ihre Karriere eher an ihrer Profession als am Unternehmen. Sie sind daher für generelle Weiterbildung selbst verantwortlich, das Unternehmen wird lediglich betriebliche Besonderheiten vermitteln wollen. Zur Orientierung passt auch die Abwesenheit (jedenfalls zurzeit noch) von typischen Karrierepfaden (es sei denn, die Experten wechseln in den Kern der Fachkräfte). Insgesamt ist die Konfiguration durch marktorientierte Bindung charakterisiert. Bindungserfolge der Unternehmen werden ständig dem Markttest unterzogen.

5 Fazit und Ausblick

Die Smart Factory ist durch mehr Automatisierung und komplexe Vernetzung gekennzeichnet, was die Anfälligkeit des Systems erhöht (Hofmann 2016). Dann aber belasten Fehlleistungen der Beschäftigten das Produktionsergebnis besonders stark. Paradoxerweise ist daher in den neuen Mensch-Maschine-Interaktionen, die in der Smart Factory stattfinden, der menschliche Faktor – das Humankapital und die Motivation der Beschäftigten – die kritische Ressource.

Daraus lässt sich jedoch nicht folgern, dass in Industrie 4.0 der Mensch generell im Mittelpunkt stehen wird, wie manche Publikationen suggerieren (vgl. etwa Spath et al. 2013; Kagermann 2014). Die Personalwirtschaft 4.0, die in diesem Beitrag aus ökonomischer Sicht umrissen wurde, legt verschiedene, nach Gruppen differenzierte Personalarchitekturen nahe. Versuche der Unternehmen, Beschäftigte langfristig zu binden, werden sich vermutlich auf spezifisch qualifizierte, strategisch bedeutsame Fachkräfte konzentrieren. Beschäftigungszusagen für andere Gruppen sind allenfalls mittelfristig; häufig kann auf Alternativen wie Zeitarbeit oder Outsourcing zurückgegriffen werden. Auch bei den Personalpraktiken und -politiken wie Weiterbildung und Entgelt ist eine stärkere Differenzierung notwendig, damit Unternehmen die funktionale und numerische Flexibilität mit vertretbarem Aufwand erreichen können.

Differenzierte Personalarchitekturen bedeuten Ungleichbehandlungen, etwa bei Entlassungen und dem Entgelt. Sie wurden zunächst als ökonomisch gebotene Folgen der arbeitgeberseitigen Gestaltung der Personalarchitekturen behandelt. Doch weil Humankapital personengebunden ist, greift hier der kategorische Imperativ, demzufolge Menschen nicht allein als Mittel zum Zweck behandelt werden dürfen. Eine kluge Personalwirtschaft fragt daher auch, wie ihre eigenen schädlichen Folgen begrenzt werden können. Arbeitgeber sehen häufig von harten Maßnahmen

wie einem schnellen Personalabbau oder extremen Einkommensdifferenzen aus wohlverstandem Eigeninteresse ab. Denn solche Maßnahmen werden häufig als ungerecht wahrgenommen, was den Ruf des Unternehmens nach außen gefährden und die Produktivität der verbleibenden Beschäftigten beeinträchtigen kann (Die-rendonck und Jacobs 2012; Struck 2006). Viele Arbeitgeber setzen solche Maßnahmen zudem aus einer sozialen Verantwortung heraus vorsichtig ein. Alternativen zum Personalabbau sind die Versetzung betroffener Beschäftigter in noch weniger automatisierte Unternehmensteile oder eine Weiterbildung, die betroffene Beschäftigte zu Fachkräften werden lässt.

Ob Unternehmen die für die Smart Factory ökonomisch angemessene Personalwirtschaft umsetzen können, hängt auch von institutionellen Rahmenbedingungen ab. Hier fällt das Urteil in Deutschland ambivalent aus. Eine Stärke ist das Berufsausbildungssystem. Es kann die breiten Kompetenzen, über die Fachkräfte im Kern der Smart Factory verfügen müssen, vermitteln, insbesondere wenn jüngere Entwicklungen wie neue Berufe und duale Studiengänge berücksichtigt werden. Potenziell ist auch die deutsche Betriebsverfassung eine Stärke, da sie ein kooperatives Aushandeln von Beschäftigungsbedingungen in der Smart Factory ermöglicht. Allerdings erfordern differenzierte Personalarchitekturen Änderungen im gelebten Tarif- und Betriebsverfassungsrecht in Richtung einer stärkeren Differenzierung der Beschäftigungsbedingungen, etwa wenn es um neue Formen der Weiterbildung und der Entgeltgestaltung geht (siehe auch Kap. „Beitrag Mitbestimmung 4.0 oder Wissensmanagement“). Das würde die zu beobachtenden Ungleichheiten in den Beschäftigungsbedingungen und -aussichten weiter verstärken (Eichhorst 2015) und widerspricht damit auch den legitimen Interessen derjenigen Menschen, deren Arbeitskraft in der Smart Factory weniger stark nachgefragt wird.

Literatur

- Acemoglu, D., & Autor, D. H. (2012). What does human capital do? A review of Goldin and Katz's, 'The race between education and technology'. *Journal of Economic Literature*, 50(2), 426–463.
- Alowell, D., & Hansen, N. K. (2012). Human resource management systems. A structured review of research contributions and open questions. *Industrielle Beziehungen/The German Journal of Industrial Relations*, 19(2), 90–123.
- Atkinson, J. (1984). Manpower strategies for flexible organisations. *Personnel Management*, 16(8), 28–31.
- Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *The Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3–30.
- Autor, D. H., & Dorn, D. (2013). The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market. *The American Economic Review*, 103(5), 1553–1597.
- Autor, D. H., Levy, F., & Murnane, R. J. (2003). The skill content of recent technological change. An empirical exploration. *The Quarterly Journal of Economics*, 118(4), 1279–1333.
- Backes-Gellner, U. (1993). Personalwirtschaftslehre – eine ökonomische Disziplin?! Diskussionsbeitrag zur Personalwirtschaftslehre im deutschsprachigen Raum. *Zeitschrift für Personalforschung/German Journal of Research in Human Resource Management*, 7(4), 513–529.
- Backes-Gellner, U., Kluike, M., Pull, K., Schneider, M. R., & Teuber, S. (2015). Human resource management and radical innovation. A fuzzy-set QCA of US multinationals in Germany, Switzerland, and the UK. *Journal of Business Economics*, 86(7), 1–22.

- Baron, J. N., & Kreps, D. M. (1999). *Strategic human resources: Frameworks for general managers*. New York: Wiley.
- bayme vbm. (2016). Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M + E Industrie. https://www.baymevbm.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2016/Downloads/baymevbm_Studie_Industrie-4-0.pdf. Zugriffen am 29.07.2016.
- Becker, G. S. (1962). Investment in human capital: A theoretical analysis. *The Journal of Political Economy*, 70(5 Part 2), 9–49.
- Becker, K.-D. (2015). Arbeit in der Industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 23–29). Berlin: Springer.
- Bernardes, E. S., & Hanna, M. D. (2009). A theoretical review of flexibility, agility and responsiveness in the operations management literature: Toward a conceptual definition of customer responsiveness. *International Journal of Operations & Production Management*, 29(1), 30–53.
- Blohm, I., Leimeister, J. M., & Zogaj, S. (2014). Crowdsourcing und Crowd Work – ein Zukunftsmodell der IT-gestützten Arbeitsorganisation? In W. Brenner & T. Hess (Hrsg.), *Wirtschaftsinformatik in Wissenschaft und Praxis. Business Engineering* (S. 51–64). Berlin: Springer.
- Deuse, J., Weisner, K., Hengstebeck, A., & Busch, F. (2015). Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 99–109). Berlin: Springer.
- Dierendonck, D. van, & Jacobs, G. (2012). Survivors and victims. A meta-analytical review of fairness and organizational commitment after downsizing. *British Journal of Management*, 23(1), 96–109.
- Eichhorst, W. (2015). The unexpected appearance of a new German model. *British Journal of Industrial Relations*, 53(1), 49–69.
- Franken, S. (2016). *Führen in der Arbeitswelt der Zukunft: Instrumente, Techniken und Best-Practice-Beispiele*. Wiesbaden: Springer.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). The future of employment. How susceptible are jobs to computerisation. *Oxford Martin School*. http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf. Zugriffen am 28.02.2017.
- Gebhardt, J., Grimm, A., & Neugebauer, L. M. (2015). Entwicklungen 4.0 – Ausblicke auf zukünftige Anforderungen an und Auswirkungen auf Arbeit und Ausbildung. *Journal of Technical Education*, 3(2), 45–61.
- Golden, W., & Powell, P. (2000). Towards a definition of flexibility. In search of the Holy Grail? *Omega*, 28(4), 373–384.
- Goos, M., & Manning, A. (2007). Lousy and lovely jobs: The rising polarization of work in Britain. *The Review of Economics and Statistics*, 89(1), 118–133.
- Goos, M., Manning, A., & Salomons, A. (2009). Job polarization in Europe. *The American Economic Review*, 99(2), 58–63.
- Gorecky, D., Schmitt, M., & Loskyll, M. (2014). Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien und Migration* (S. 525–542). Wiesbaden: Springer.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. Soziologisches Arbeitspapier 38/2014. *TU Dortmund*. http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/is/de/forschung/soz_arbeitspapiere/AP-SOZ-38.pdf. Zugriffen am 22.02.2017.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 89–98). Berlin: Springer.
- Hirsch-Kreinsen, H. & ten Hompel, M. (2016). Digitalisierung industrieller Arbeit. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0: Produktion, Automatisierung und Logistik* (S. 1–20). Berlin: Springer.

- Hofmann, J. (2016). Voraussetzungen für den Einsatz von MES schaffen – Erfahrungsbericht aus Sicht einer Fertigung. In R. Obermaier (Hrsg.), *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen* (S. 255–269). Wiesbaden: Springer.
- Kagermann, H. (2014). Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien und Migration* (S. 603–614). Wiesbaden: Springer.
- Kalleberg, A. L. (2001). Organizing flexibility. The flexible firm in a new century. *British Journal of Industrial Relations*, 39(4), 479–504.
- Kang, S.-C., Morris, S. S., & Snell, S. A. (2007). Relational archetypes, organizational learning, and value creation: Extending the human resource architecture. *Academy of Management Review*, 32(1), 236–256.
- Kerber, F., & Lessel, P. (2015). Adaptive und gamifizierte Werkerassistenz in der (semi-)manuellen Industrie 4.0-Montage. In S. Rathmayer & H. Pongratz (Hrsg.), *Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik* (S. 28–35). München: DeLFI.
- Lepak, D. P., & Snell, S. A. (1999). The human resource architecture: Toward a theory of human capital allocation and development. *Academy of Management Review*, 24(1), 31–48.
- Milgrom, P., & Roberts, J. (1995). Complementarities and fit strategy, structure, and organizational change in manufacturing. *Journal of Accounting and Economics*, 19(2), 179–208.
- Neus, W. (2013). *Einführung in die Betriebswirtschaftslehre aus institutionenökonomischer Sicht* (8. Aufl.). Tübingen: Mohr Siebeck.
- Pfeiffer, S., Lee, H., Zirnig, C., & Suphan, A. (2016). Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025. *Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau (VDMA)*. <https://www.vdma.org/documents/105628/13417295/VDMA%20Studie%20Industrie%204.0%20-%20Qualifizierung%202025.pdf/bbfe37d6-f738-4558-b2b7-1b01a04d166c>. Zugegriffen am 29.07.2016.
- Richter, A., Heinrich, P., Stocker, A., & Unzeitig, W. (2015). Der Mensch im Mittelpunkt der Fabrik von morgen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 52(5), 690–712.
- Rifkin, J. (1995). *The end of work. The decline of the global labor force and the dawn of the post-market era*. New York: Putnam.
- Sadowski, D. (1980). *Berufliche Bildung und betriebliches Bildungsbudget*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Sadowski, D. (2002). *Personalökonomie und Arbeitspolitik*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Schäfer, H. (2017). Entwicklung der Zeitarbeit. In M.-O. Schwaab & A. Durian (Hrsg.), *Zeitarbeit: Chancen – Erfahrungen – Herausforderungen* (S. 3–14). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Schneider, M. (1998). *Personalpolitische Anpassungen als Risikomanagement. Ein ökonomischer Beitrag zur Theorie des Flexiblen Unternehmens*. München/Mering: Hampp.
- Senderek, R., & Geissler, K. (2015). Assistenzsysteme zur Lernunterstützung in der Industrie 4.0. In S. Rathmayer & H. Pongratz (Hrsg.), *Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik* (S. 36–46). München: DeLFI.
- Senderek, R., Mühlbradt, T., & Buschmeyer, A. (2015). Demografiesensibles Kompetenzmanagement für die Industrie 4.0. In S. Jeschke (Hrsg.), *Exploring demographics* (S. 281–295). Wiesbaden: Springer.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Struck, O. (2006). *Arbeit und Gerechtigkeit: Entlassungen und Lohnkürzungen im Urteil der Bevölkerung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Tinbergen, J. (1974). Substitution of graduate by other labour. *Kyklos*, 27(2), 217–226.
- Tsui, A., & Wang, D. (2002). Employment relationships from the employer's perspective. Current research and future directions. *International Review of Industrial and Organizational Psychology*, 17, 77–114.
- Wilkens, U., Süße, T., & Voigt, B.-F. (2014). Umgang mit Paradoxien von Industrie 4.0 – Die Bedeutung reflexiven Arbeitshandelns. In W. Kersten, H. Koller & H. Lödding (Hrsg.), *Indus-*

trie 4.0 – Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern (S. 199–210). Berlin: GITO.

Zamfirescu, C.-B., Pirvu, B.-C., Schlick, J., & Zuehlke, D. (2013). Preliminary insides for an anthropocentric cyber-physical reference architecture of the smart factory. *Studies in Informatics and Control*, 22(3), 269–278.

Zeller, B., Achtenhagen, C., & Föst, S. (2010). Internet der Dinge in der industriellen Produktion. Studie zu künftigen Qualifikationserfordernissen auf Fachkräfteebene. *Forschungsinstitut Betriebliche Bildung*. http://www.frequenz.net/uploads/tx_freqprojerg/Abschlussbericht_IdD_in_der_industriellen_Produktion_final.pdf. Zugegriffen am 29.07.2016.

Kollaborative Roboter: universale Werkzeuge in der digitalisierten und vernetzten Arbeitswelt

Jochen J. Steil und Günter W. Maier

Inhalt

1	Einführung	324
2	Kollaborative Roboter als universale Werkzeuge	326
3	Kollaborative Roboter aus der Nutzerperspektive	329
4	Integration im Kontext von Industrie 4.0 Produktion	338
5	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	341
	Literatur	342

Zusammenfassung

Der Beitrag stellt die aktuelle, kollaborative Robotertechnologie vor und diskutiert sowohl Möglichkeiten als auch technische Hürden und Hemmnisse eines breiten Einsatzes. Er nimmt jeweils die Nutzer- und die Integrationsperspektive ein, um mögliche und wahrscheinliche Auswirkungen auf die vernetzten Arbeitswelt zu beleuchten. Aus der Nutzerperspektive sind dabei klassische Felder wie Usability und User Experience wichtig, aber es wird auch gezeigt, dass neue Fragen in der Kooperation mit Maschinen entstehen, beispielsweise wie Vertrauen etabliert werden kann. Aus der Integrationsperspektive wird aufgezeigt, dass mangelnde Wandlungsfähigkeit und fehlende digitale Integration große Hindernisse für den Einsatz von Robotern über die stark automatisierte Serienfertigung hinaus sind. Schließlich betrachtet der Beitrag insbesondere mittel- und längerfristige Wirkungen, die aus einer viel engeren Zusammenarbeit von

J. J. Steil (✉)

Institute for Robotics and Process Control, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

E-Mail: jsteil@rob.cs.tu-bs.de

G. W. Maier

Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie, Abteilung Psychologie & Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab), Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

E-Mail: ao-psychologie@uni-bielefeld.de

Mensch und Roboter ausgehen können. Zusammenfassend wird festgestellt, dass sich sehr vielfältige Chancen und Risiken ergeben, die zahlreiche Herausforderungen insbesondere an die Arbeitsgestaltung darstellen. Denn moderne kollaborative Roboter sind nicht nur universale Werkzeuge zur Rationalisierung, sondern auch starkes Unterstützungsmittel für die Gestaltung menschenzentrierter Assistenzsysteme.

Schlüsselwörter

Robotik · Autonomie

1 Einführung

Seit etwa 40 Jahren werden Roboter in der Industrie zur Automatisierung von Fließproduktion und mit dem Ziel eingesetzt, kurze Taktzeiten und hohe Wiederholgenauigkeit bei sehr hoher Verfügbarkeit zu erreichen. Unter einem Industrieroboter versteht man dabei „an automatically controlled, reprogrammable, multipurpose manipulator programmable in three or more axes, which can be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications“ (ISO 8373, Version 2012). Die weltweit wichtigsten Anwender dieser klassischen Robotik finden sich in der Automobilindustrie, wo etwa die Karosseriefertigung stark durch die Robotertechnik getrieben ist und einen Automatisierungsgrad von über 90 % aufweist. Roboter werden auch überall dort eingesetzt, wo schwere Lasten zu bewegen sind oder sehr schnelle und wiederholte Bewegungen ausgeführt werden müssen. Industrieroboter sind dabei tendenziell gefährliche Maschinen, die durch spezielle Sicherheitseinrichtungen vom Menschen getrennt werden müssen (vgl. ISO 10218-2, Version 2011 zur kollaborativen Robotik). Insgesamt wird prognostiziert, dass der Einsatz solcher klassischen Industrieroboter weiterhin stark steigen wird und im Jahr 2022 etwa 580.000 neu installierte Einheiten per Anno erreichen wird (International Federation of Robotics [IFR] 2019). Der Automatisierungsgrad von vielen anderen Tätigkeiten, insbesondere in der manuellen Montage, ist aber bisher gering und beträgt selbst bei der Vorreiterindustrie für Robotik, der Automobilindustrie, erst schätzungsweise 20 %.

Dieses erklärt sich insbesondere aus zwei Faktoren. Erstens war es bis vor wenigen Jahren technologisch nicht möglich, Roboter und Menschen sicher in einem gemeinsamen Arbeitsraum arbeiten zu lassen, was die Voraussetzung für Kollaboration in seinen verschiedenen Formen ist. Ein wesentliches Ziel der Roboterforschung der letzten zehn bis fünfzehn Jahre war daher, sichere und kraftgeregelte Leichtbauroboter zu entwickeln, die sich in viel höherem Maße flexibel dem Menschen anpassen und gemeinsam mit ihm arbeiten können. Dieses Ziel war im Jahr 2016 praktisch erreicht und die entsprechende Robotertechnologie steht kommerziell zur Verfügung.

Zweitens ist die mangelnde Wandlungsfähigkeit der entsprechenden Anwendungen ein großes Hindernis für den Einsatz von Robotern über die stark automatisierte Serienfertigung hinaus. Traditionell erfordert jede Änderung im Produktionsprozess

umfangreiche Programmier- und Umbauarbeiten nebst komplexer Sicherheits- und Risikoanalysen. Und obwohl auch heute schon Automatisierungs- und Roboteranwendungen Variantenvielfalt implementieren, ist die damit verbundene Flexibilität auf einen einzelnen Prozess eng beschränkt, da die Einrichtung und Programmierung solcher Anwendungen mit hohem Aufwand verbunden ist. Die Wandlungsfähigkeit einer Anwendung, quasi Flexibilität zweiter Ordnung, ist gemeinhin gering und Fortschritte in diese Richtung sind eng mit der umfassenden Digitalisierung der Produktionsprozesse und der Wertschöpfungsnetzwerke in der industriellen Produktion, und damit auch der Arbeitswelt, verbunden. Dieses Thema wird in Deutschland unter der Bezeichnung Industrie 4.0 oder Arbeit 4.0 verhandelt.

Insgesamt wird mit Recht erwartet, dass kollaborative Roboter als universale Werkzeuge in den nächsten Jahren in viele neue Anwendungsbereiche eindringen werden. Sie gelten dabei als ein technologischer Treiber des digitalen Wandels (EFI 2016), wobei der Wandel andererseits ihren Einsatz erst flexibel und damit wirtschaftlich macht. So wird es vermutlich vielfältige Anwendungsformen geben, die vom autonomen Arbeiten in einem gemeinsamen Arbeitsbereich mit dem Mitarbeiter/der Mitarbeiterin bis hin zum physisch gemeinsamen Ausführen von Aufgaben reichen werden.

Diese Entwicklung birgt Chancen und Risiken (vgl. z. B. Steil und Maier 2017). Selbstverständlich ergibt sich aus der neuen Technologie ein Rationalisierungspotenzial, sodass es Arbeitsplätze geben wird, die verloren gehen. Insofern sind klassische Akzeptanzprobleme zu erwarten. Andererseits ist international in allen industrialisierten Gesellschaften, besonders aber in Deutschland, Japan und zunehmend in China, die Alterung der Gesellschaften und damit der Arbeitskräfte aufgrund demografischer Faktoren eine starke Motivation zur Einführung von Assistenztechnologie. Die Chance besteht darin, durch Verbesserungen in der Ergonomie und Assistenz bei ungesunden und belastenden Arbeiten Mitarbeiter im Arbeitsprozess zu halten und länger wertschöpfend tätig sein zu lassen. Der Einsatz von kollaborativen Roboter muss daher nicht, wie typisch für bisherige Automatisierungswellen, automatisch nur zum Abbau einfacher Arbeitsplätze zugunsten von höherwertigeren führen. Er kann auch integrative Aspekte haben und einfache Qualifikationen durch Assistenz aufwerten.

Besonders interessant und besonders schwer abzuschätzen sind dabei weitergehende Fragen, die die mittel- und langfristigen Wirkungen der breiten Einführung kollaborativer Roboter ins Auge fassen. Zunächst stellt sich das Problem, wie die Schnittstellen zwischen Mensch und Roboter beschaffen sein müssen, um gute Kollaboration überhaupt erst zu ermöglichen und wie sich das auf die Akzeptanz auswirkt. Nutzerstudien zeigen heute, dass Menschen große Probleme damit haben, das Verhalten eines Roboters korrekt zu interpretieren. Jedoch ist evident, dass Lerneffekte und Wechselwirkungen mit anderen Technologien dieses verändern werden und damit auch die Interaktionsparadigmen sich ändern müssen und werden. Auch entstehen erst durch einen breiteren Robotereinsatz neue Möglichkeiten der Anwendung von maschinellem Lernen und der Auswertung großer Datenmengen, was etwa zur Objektivierung der individuellen Performanz manueller und generell assistierter Arbeiten führen kann. Motorische Fähigkeiten würden damit in ganz

anderer Weise messbar als bisher. Auch diese Perspektive ist Chance, z. B. in Form einer gerechteren Bewertung von Fähigkeiten, und Risiko, z. B. in Form einer sehr umfassenden Kontrolle. Die genannten Aspekte betreffen unmittelbar die Veränderung von Arbeit in der digitalisierten Produktionswelt.

Der Beitrag wird daher im Folgenden zunächst die Robotertechnologie vorstellen, jeweils die Nutzer- und die Integrationsperspektive einnehmen und dann Chancen und Risiken mit ihren Auswirkungen auf die Arbeitswelt zusammenfassen.

2 Kollaborative Roboter als universale Werkzeuge

Die Robotertechnologie hat sich in den vergangenen Jahren rasant entwickelt. So war es noch im Jahr 2009 ein Ziel der europäischen Roadmap für Robotik, die Technologie bis 2016 soweit zu entwickeln, dass kommerzielle Roboter erhältlich sind, die ohne spezielle Schutzvorrichtungen einsetzbar sind. Dies ist gelungen. Es waren dann auch im Jahr 2016 flexible Leichtbauroboter erhältlich, die ohne Schutzzaun in einem Arbeitsraum mit Menschen arbeiten können. Wesentlich dazu beigetragen haben dabei neben der mechatronischen Entwicklung neue Erkenntnisse in der Kontrolltheorie, die vor etwa zehn Jahren zeigen konnten, dass sichere Bewegungen auf der Basis von Kräften durch entsprechende Regelungsalgorithmen möglich sind (Haddadin et al. 2009). In der Folge wurde eine größere Anzahl an kleineren Leichtgewichtsrobotern entwickelt, die Kräfte auf verschiedene Arten messen und dabei intrinsische Sicherheit bieten, d. h. bei unvorhergesehenen Kollisionen sicher anhalten können. Dieser Fortschritt ist kürzlich auch in die internationale Normung eingeflossen. Ein neuer Standard zur Definition von erlaubten Kräften und Kontakten in der interaktiven Robotik wurde in eine Anpassung der ISO/TS 15066 Norm zur kollaborativen Robotik aufgenommen.

Grundsätzlich gibt es dabei zwei Ansätze. Einerseits kann der Roboter selbst starr sein, aber Kräfte messen, die durch einen Kontakt mit Menschen oder eine Kollision mit Hindernissen auftreten. Moderne Kraftregelungsalgorithmen stellen dann sicher, dass der Roboter sich relativ zu den gemessenen Kräften sinnvoll verhält. Er bietet dann wenig Widerstand und weicht zurück wie ein weicher Federmechanismus oder aber verhält sich widerstandslos, als ob er schwerelos sei (Villani und De Schutter 2008). Andererseits kann der Roboter auch mechanische Federn oder weiche Materialien enthalten und dadurch nachgiebig sein. So kombinieren neuartige Antriebe physische Federn mit klassischer Regelung. In jedem Fall sind moderne Regelalgorithmen erforderlich, die weit über die in der klassischen Industrierobotik üblichen Methoden hinausgehen. Damit ist auch die Bahnplanung und Programmierung deutlich anspruchsvoller als bei herkömmlichen Industrierobotern und so gibt es in den Regelungs- und Planungsmethoden auch nach wie vor Forschungsbedarf.

Gemeinsam ist den meisten dieser neuartigen Roboter, dass sie relativ wenig Eigengewicht mitbringen und auch nur geringe Lasten bewegen können. Dieses erhöht die inhärente Sicherheit, da schnelle Bewegungen mit großen Lasten generell gefährlicher sind. Für einen Überblick über aktuell angebotene Technologie durch einen kommerziellen Vertreter, siehe z. B. Robotiq (2016). Dabei fällt auf, dass es

durchaus verschiedene Konzepte und Kombinationen von Sensorik, Mechanik und Regelung bei verschiedenen Herstellern gibt. So können durch die Messung von tatsächlichen Motorströmen und Vergleich mit interner Vorhersage externe Kräfte detektiert werden (z. B. Universal Robots UR series, ABB YuMi), ein spezieller Sensor in der Roboterbasis kann direkt Kräfte messen (z. B. FANUC CR-35iA), Kraft- und Drehmomentensensoren können direkt in den Gelenken die Kräfte messen (z. B. Kuka iiwa, Franka Panda), passive mechanische Federn können Energie aufnehmen und den Roboter bei Kollisionen sicher zurückweichen lassen (z. B. Bionic Systems Biorob), oder schließlich kann etwa durch eine Sensorhaut detektiert werden, wenn eine Kollision vorliegt (z. B. Bosch APAS). Diese unvollständige Liste verfügbarer Technologie demonstriert, dass es eine überraschend große Anzahl an technischen Möglichkeiten gibt, kollaborative Roboter sicher zu machen. Das bedeutet jedoch im Umkehrschluss auch, dass es den einen, universalen, interaktiven Leichtbauroboter nicht gibt. Es ist daher zu vermuten, dass es auch in absehbarer Zukunft noch Experten braucht, für eine gegebene Anwendung das richtige Roboterwerkzeug auszuwählen und zu integrieren.

Es gibt nach wie vor auch technische Hürden, die nicht leicht zu überwinden sind. Diese liegen jedoch weniger in der Technik des Roboters oder Manipulators selbst, als im Bereich der Greiftechnik, der sicheren Erkennung und Verfolgung von Personen, oder der zuverlässigen Interpretation der Umgebung, d. h. in den Techniken, die den Roboter mit seiner Umwelt und den Nutzern verbinden (siehe auch Essig et al. 2018). Dabei gilt, dass eine Anwendung insgesamt immer nur so gut und so sicher sein kann, wie es die schwächste der eingesetzten Technologien erlaubt. Der Einsatz von Robotern in sehr komplexen Umgebungen bleibt daher schwierig, da der Roboter immer noch zusätzlich in einen technischen Kontext eingebettet bleibt, der nicht leicht zu beherrschen ist. Dies spiegelt sich auch in den gesetzlichen Regelungen zur Risikobewertung wider, die verlangen, dass immer eine Anwendung als Ganze beurteilt werden muss und die damit eine strenge Messlatte für die interaktive Robotik setzen (Steil und Krüger 2013).

Was für Anwendungen können heute technisch realisiert werden? Einige Studien behaupten, dass eine sehr große Anzahl von Arbeitsplätzen durch Rationalisierung mit neuen Robotern betroffen ist, bis zu 50 % werden genannt. Ein etwas genauerer Blick auf die Technologien relativiert dieses Bild jedoch stark. Grundsätzlich gilt, dass ein Roboter um so einfacher einzusetzen ist, je weniger Fingerfertigkeit erforderlich ist. Alle Tätigkeiten, die Feinmotorik erfordern, sind aufgrund der immer noch weitgehend simplen Greif- und Manipulationswerkzeuge bisher weit von einer Automatisierung auch durch neuartige Roboter entfernt. Neu ist jedoch, dass Roboter sich einen Arbeitsraum mit dem Menschen teilen können, da die Sicherheit durch Kraftmessung und neue Steuerungskonzepte, wie oben angesprochen, gewährleistet werden kann. Typische Aufgaben sind dabei beispielsweise das Anreichen von Teilen oder einfache Montageschritte. Entsprechende Modellanwendungen werden auf breiterer Fläche getestet und das Potenzial für solche Anwendungen ist hoch. Die Mensch-Roboter Kooperation hat dabei die Form des relativ unabhängigen Arbeitens in einem gemeinsamen Arbeitsbereich, jedoch mit verteilten und üblicherweise festen Rollen und Arbeitsschritten.

Solche Anwendungen können zwar komplex sein, sind jedoch in ihrer Struktur vorher festgelegt.

In Verbindung mit Wahrnehmungstechnologien, die zuverlässig und in sicherer Technik die Annäherung durch Menschen erkennen können, werden auch hybride Anwendungen realisierbar, in denen der Roboter situationsabhängig die Geschwindigkeit reguliert und z. B. ausweicht, ansonsten aber wie ein klassischer Industrieroboter agiert. So können dann auch Roboter, die schwerere Lasten tragen, eingesetzt werden. Schon lange etabliert ist das Führen von Robotern durch Menschen, sowohl um größere Lasten zu bewegen, als auch um Aufgaben zu belehren. Die mittlerweile viel bessere Ausstattung mit Sensoren und Integration mit Lernverfahren bringt dabei für die Programmierung durch Demonstrationen zahlreiche neue Aspekte, auf die der folgende Abschnitt genauer eingehen wird. Schließlich gibt es auch neue Anwendungsfelder, die nicht auf Mensch-Roboter Kooperation basieren, aber durch die Kombination von Kraftregelung und Gelenkigkeit möglich werden. So wurde demonstriert, wie ein Schraubkopf auch bei unpräzisen Werkstücken die Verschraubungsstelle automatisch finden und dann kraftbasiert verschrauben kann. Dabei kommen sogenannte Manipulationsprimitive (Kröger et al. 2010) zum Einsatz, d. h. eine flexible, aber vorprogrammierte Lösungsstrategie für die Aufgabe, z. B. für das Suchen eines Loches einerseits und das Verschrauben andererseits. Eine weitere Pionieranwendung wurde von Daimler in der Achsenfertigung ausgerollt, wo kraftgeregelter Fügearbeiten automatisiert wurden (Daimler 2009). In solchen Kontexten steht klar die Automatisierung und damit einhergehende Rationalisierung der Produktion im Mittelpunkt.

Heute noch kaum realisierbar sind dagegen Anwendungen, die auf das direkte gemeinsame Ausführen von Aufgaben fokussieren. Eine aktivere Rolle des Roboters, die zu einer echten Kollaboration führen würde, könnte dabei zwei Ausprägungen haben. Denkbar wäre, die Aufgabenverteilung oder die Reihenfolge von Arbeitsschritten dynamisch zu variieren und mit dem menschliche Partner quasi auszuhandeln. Wenngleich es dazu erste experimentelle Studien gibt (z. B. Gombolay et al. 2015), fehlen jedoch auf der technischen Seite für den Einsatz in der Praxis bisher die kognitiven und kommunikativen Fähigkeiten. Mit der fortschreitenden Entwicklung der künstlichen Intelligenz könnte es aber in den nächsten Jahren möglich werden, dass solche Aspekte auch ins Blickfeld kommen. Zweitens wäre denkbar, dass Mensch und Roboter gemeinsam aktiv Werkstücke manipulieren. Dafür fehlt es noch an den notwendigen Kraftregelungsalgorithmen, die die implizite Kommunikation zwischen Mensch und Roboter und die dabei auftretenden Lerneffekte abbilden. Dies ist ein aktives Forschungsfeld (Gopinathan et al. 2017; Yang et al. 2011).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Robotertechnologie für die Messung und Kontrolle von Kräften vorhanden ist. Darauf aufbauend können sichere Anwendungen realisiert werden, die Mensch und Roboter im gleichen Arbeitsraum arbeiten lassen. Dies geschieht zunächst im Rahmen zahlreicher Pilotprojekte, vor allem in größeren Industrieunternehmen, wobei neue Methoden des Programmierens durch Demonstration zunehmend eingesetzt werden. Getrieben wird diese Entwicklung durch die Notwendigkeit, durch immer flexiblere Automatisierung auf individu-

elle Kundenwünsche zu reagieren, aber auch durch den Wunsch, Assistenz bei Montage und insbesondere in der Logistik und Warenwirtschaft zur Entlastung von Mitarbeitern zu etablieren. Noch sind solche Anwendungen im Jahr 2018 aufgrund des hohen Aufwandes für die Sensorik und das Engineering nur schwer wirtschaftlich darstellbar. Dies wird sich jedoch mit fortschreitender Digitalisierung der Rahmenprozesse wahrscheinlich schnell ändern.

Ein wichtiger Aspekt dieser neuen Robotertechnologie besteht darin, dass sie nicht automatisch klassischen Mustern der Vollautomatisierung folgt. Die beschriebenen Roboter sind sehr vielseitige Werkzeuge, die Arbeitsprozesse und Arbeitsplätze adaptiver, flexibler und konfigurierbarer machen. Ob diese Werkzeuge dafür genutzt werden, Arbeitsplätze im Sinne einer vollständigen Automatisierung abzubauen oder dafür, Arbeitsplätze mit Assistenzfunktionen auszustatten, die Mitarbeiter im Gegenteil eher leistungsfähiger machen (vgl. hierzu auch Essig et al. 2018) und vielleicht auch länger und gesünder im Arbeitsprozess halten, ist nicht zuletzt eine Sache der Arbeitsorganisation und -gestaltung. Beide Entwicklungen sind möglich und schließen sich nicht aus. Mittlerweile gibt es sogar auch rückläufige Bewegungen, wonach ausdrücklich wieder manuelle Produktionslinien eingeführt werden und mit Robotern ausgestattete rückgebaut werden, zum Beispiel bei Toyota (Nisen 2014). Selbstverständlich gibt es aber auch immer noch genügend gefährliche oder ungesunde Arbeit, die besser automatisiert werden sollte. Zudem gibt es gerade in den westlichen Industrieländern, in Japan und in China große demographische Herausforderungen, die es notwendig erscheinen lassen, zunehmend technische Assistenzfunktionen zu realisieren. So oder so wird die Einführung solcher Robotertechnologie auf breiterer Front starke Umwälzungen in der Arbeitsorganisation hervorrufen. Zurecht wird dies in Deutschland breit diskutiert und unter dem Thema „Arbeit 4.0“ mitbetrachtet.

3 Kollaborative Roboter aus der Nutzerperspektive

Aus der Nutzerperspektive hat die Interaktion mit kollaborativen Robotern eine Reihe von interessanten und neuen Konsequenzen. Nehmen wir als Beispiel einen Roboter, der gemeinsam mit einem Nutzer ein Werkstück auf einem Montagetisch zusammenbaut. Solche Szenarien werden unter der Bezeichnung „Hybride Montage“ in der Literatur diskutiert (Heinze et al. 2016; Wallhoff et al. 2010). In diesem Beispiel teilen Roboter und Nutzer den gleichen Arbeitsraum, führen jeweils ihre Aufgaben und Aktionen aus und müssen auf Kollisionen achten. Der Ablauf ist vorprogrammiert, wobei der Roboter seine Kraftmessung für die Erkennung von Kollisionen nutzt, um sicher zurückzuweichen oder anzuhalten. In der Zukunft könnten Roboter und Mensch auch einen gemeinsamen Arbeitsplan haben und dabei die Aufgabenverteilung dynamisch ändern. Während zur Zeit solche fortgeschrittenen Methoden noch nicht realisiert sind, gibt es jedoch Forschung in diesem Bereich. Der Beitrag kommt später noch einmal darauf zurück.

3.1 Die Humanoide Form: welche Erscheinung soll ein Roboter haben?

Was für eine Erscheinungsform ist nützlich für die Realisierung einer solchen Kollaboration? Sollen Roboter menschenähnlich aussehen und menschenähnliche Bewegungsmöglichkeiten haben? Das ist der Fall für humanoide Roboter wie z. B. den Torso-Roboter YuMi von ABB. Er hat zwei Arme, die so angeordnet sind, dass der Eindruck eines Oberkörpers entsteht, wobei die Arme selbst ebenfalls in ihrer Form und den Gelenken recht menschenähnlich sind. Ein typisches Argument für ein solches anthropomorphes Design ist, dass der Roboter in einer Umgebung arbeiten soll, die zunächst für Menschen gemacht ist. Dieses Argument wurde prominent z. B. für den humanoiden Roboter „Robonaut“ vorgebracht (Diftler et al. 2011), der für den Einsatz auf einer Weltraumstation gedacht ist. Ähnliches gilt aber auch für die hybride Montage, wo der eingesetzte Roboter sich nahtlos in die Produktionsumgebung einfügen und gegebenenfalls auch einen Menschen teil- oder zeitweise ersetzen soll, ohne dass die Umgebung geändert werden muss. Dafür ist eine humanoide Form sinnvoll. Die Erscheinung eines Roboters beeinflusst jedoch auch die explizite und implizite Kommunikation zwischen dem Roboter und einem Nutzer, was von jeher eine starke Motivation für die Entwicklung humanoider Roboter war (vgl. Ishiguro et al. 2001). Andererseits bleiben Roboter technische Geräte, die nicht immer den zusätzlichen Aufwand, den eine menschenähnliche Form macht, rechtfertigen. Schlichtere Roboterarme können viele Aufgaben gut erfüllen und bleiben dabei viel näher an klassischen Industrierobotern, was die Programmierung und das Engineering einfacher macht ebenso wie die Übertragung und Anpassung von existierenden Lösungen. Es gibt also sowohl Argumente für und gegen eine humanoide Form.

Interessanterweise demonstrieren die Roboterhersteller durch ihre Produkte beide Pole dieser Diskussion. Einige bieten menschenähnliche Konfigurationen und Torso-Roboter an, andere bleiben beim klassischen Design von Roboterarmen. Ein weiteres Argument für die Verwendung von humanoiden Robotern ist, dass diese dem Nutzer leichter Feedback geben können und dass ihr Verhalten intuitiv besser interpretierbar ist. Ein Roboter ohne Kopf kann beispielsweise nicht nicken und verfügt damit nicht über die einfachste und intuitivste Möglichkeit, zustimmende Rückmeldung zu geben. Studien zeigen auch, dass Menschen sehr sensitiv auf nicht-verbale, aber kommunikative Signale von Robotern reagieren und ihr eigenes Verhalten entsprechend anpassen (Vollmer et al. 2014). In dem Beispielszenario der hybriden Montage könnte der Roboter die Absicht, ein Werkstück zu übergeben, einfach durch eine entsprechende vorwärtsgerichtete Armpose ausdrücken. Auch dabei ermöglicht die humanoide Form Kommunikation mit dem Nutzer, die an dessen intuitives Verständnis von Bewegung und Handlung anknüpft.

Andererseits hat sogenannte intuitive Kommunikation, die durch die humanoide Erscheinung von Robotern ermöglicht wird, auch das Potenzial, für Missverständnisse und Verwirrung zu sorgen. Da non-verbale Kommunikation nicht einfach an- oder abgeschaltet werden kann, erhöht sie die Komplexität der Interaktion und kann beispielsweise zu Mehrdeutigkeiten führen. So können zwei Arme in verschiedene

Richtungen zeigen, Kopf und Armgesten widersprüchlich sein, oder eine Zeigegeste einer Anweisung widersprechen. Der Vorteil der humanoiden Form ist also auch ein Nachteil. Sie aktiviert kognitive Prozesse, kommuniziert implizite Botschaften und weckt Erwartungen. So ist belegt, dass der Grad an Menschenähnlichkeit mit dem Maß korreliert, in dem Robotern Intelligenz und mentale Zustände zugeschrieben werden (Krach et al. 2008). Menschen wenden dabei nicht nur Kommunikationsstereotype auf Roboter an, sondern auch geschlechtertypische Zuschreibungen (Eysel und Hegel 2012; Tay et al. 2014), oder auf Kinder gemünzte Stereotype (Vollmer et al. 2009). All dies kann in einem Anwendungskontext erwünscht oder unerwünscht sein. In jedem Fall scheint aber nur ein schmaler Grat die erwünschte Erleichterung von Kommunikation von der Erzeugung von unerfüllbaren Erwartungen zu trennen. Letztere können dann zu Enttäuschungen und Mangel an Akzeptanz führen.

3.2 Usability, User Experience, Akzeptanz und Vertrauen

Es ist nur wenig über Usability und User Experience im Bereich der Mensch-Roboter Kollaboration bekannt, da traditionell das Einsatzgebiet von Robotern im industriellen Kontext die Vollautomatisierung war, wo diese Themen kaum eine Rolle spielen. Das ändert sich langsam durch den Fokus auf Interaktion und Kollaboration der neuen Leichtbauroboter. Es gibt aber immer noch wenig Studien zur Interaktion von naiven Nutzern mit Robotern unter Usabilityaspekten. Meist werden dabei Anwendungen von Programmierung durch Demonstration betrachtet, wobei der Roboter in physischem Kontakt oder durch Teleoperation geführt wird, um Daten und Informationen über eine Anwendung zu erhalten (Argall et al. 2009; Kormushev et al. 2011). Dann werden Lernverfahren verwendet, um aus diesen Daten die Aufgabe zu extrahieren und robust ausführen zu können. Ziel ist es, die Programmierung von Robotern zu vereinfachen, da schon in einfachen Fällen dafür sonst ein hoher Aufwand entsteht. Zur Änderung der beispielhaften Montageaufgabe wären u. a. Programmierarbeiten notwendig, um den Roboterarm für kritische Bereiche des Tisches zu sperren, das Aufnehmen und Ablegen zu realisieren, die Übergabe von Objekten zu organisieren und die Abstände zum Nutzer sowie die Koordination der Arme zu kontrollieren. Diese Programmierung effizient für immer wieder wechselnde Aufgaben zu tun, ist nur mit Hilfe von Verfahren möglich, die es den Nutzern erlauben, den Roboter anzulernen.

Unglücklicherweise ist es jedoch so, dass Nutzer kein gutes intuitives Verständnis davon haben, wie ein Roboter sich bewegt und wie er belehrt werden muss (Kirstein et al. 2014; Wrede et al. 2013). Dafür braucht es entsprechende Interaktionskanäle und Mensch-Maschine Schnittstellen. Ein Grundproblem ist, dass die mechanischen und kinematischen Kopplungen im Manipulator nicht leicht zu interpretieren und für Nutzer nicht intuitiv verständlich sind (Kirstein et al. 2014). Daher ist eine Schnittstelle, die einzelne Gelenke z. B. über Tasten bewegt, nicht sehr nutzerfreundlich. Andererseits muss, wenn ein Roboter direkt in physischem Kontakt geführt wird, dieser in einem Gravitationskompensationsmodus sein, d. h. er erscheint dem Nutzer

quasi gewichtslos und ist frei bewegbar. Dieser muss dann aber alle Gelenke und die eigentliche Aufgabe gleichzeitig berücksichtigen. Das ist bei vielen Gelenken aber sogar für Experten schwierig und kann zu Demonstrationen von schlechter Qualität führen und bessere Schnittstellen in Verbindung mit besserem Interaktionsdesign sind daher notwendig. So konnte von Wrede et al. (2013) gezeigt werden, dass ein Verfahren, welches Gelenke und Aufgabe nacheinander einstellt, auch für ungeübte Nutzer intuitiv und leicht zu bewältigen ist. Es bleibt jedoch erheblicher Forschungsbedarf, alltags- und allerweltstaugliche Schnittstellen zum Roboter zu entwickeln und diese im Hinblick auf Natürlichkeit, Usability und nicht zuletzt die User Experience zu evaluieren.

In Zukunft werden dafür mit hoher Wahrscheinlichkeit neue Interaktionstechnologien und multimodale Interfaces zum Einsatz kommen. Beispielsweise können haptische Schnittstellen wie Touchscreens, anspruchsvolle Visualisierungen oder Sprachverarbeitung eingesetzt werden, so wie man es auch von modernen Smartphones kennt. Die zunehmende Vernetzung erlaubt, zusätzlich auf internetbasierte Services online zurückzugreifen, beispielsweise für die Sprach- und Objekterkennung, die Navigation oder die Nutzung von semantischen Datenbanken zur Interpretation der Beziehungen zwischen Dingen in der Welt. Es ist wahrscheinlich, dass gerade jüngere Nutzer dieses auch von Robotern grade zu erwarten werden, da Roboter schließlich in ihren Steuerungen nicht weniger computerbasiert sind als alle anderen neuartigen technischen Geräte der digitalen Welt. So können Roboteranwendungen sich alle Fortschritte zunutze machen, die im Bereich kognitiver Schnittstellen auch in anderen Bereichen erzielt werden, d. h. alles was wir von einem Smartphone kennen, werden wir auch von einem Roboter erwarten. Die physische Verkörperung eines Roboters addiert jedoch eine wichtige Interaktionsdimension. Sie aktiviert bei den Nutzern sehr stark ausgeprägte und feine Bewegungserkennungs- und Interpretationsfähigkeiten. Menschen kommunizieren über Bewegungen und können vieles aus beobachteten Bewegungen schließen, so z. B. das Gewicht von Gegenständen, die eine andere Person manipuliert (z. B. Hamilton et al. 2007) oder emotionale Zustände wie Traurigkeit oder Freude (Roether et al. 2009). Neue kognitive Schnittstellen und die sehr guten Bewegungsmöglichkeiten der Roboter erzeugen dann zusammengekommen beim Nutzer wiederum hohe Erwartungen, wie schon oben anhand der menschenähnlichen Erscheinung diskutiert. Die User Experience, d. h. das emotionale und funktionale Gesamterlebnis, wird sich nicht zuletzt dadurch definieren, wie diese Erwartungen durch das technische System gemanagt und erfüllt werden. Beim Design neuer, insbesondere multimodaler Schnittstellen ist daher eine delikate Balance aus Innovation, Natürlichkeit, intuitiver Benutzung und Funktionalität zu treffen, eine Aufgabe, die Erfahrung und systematische Evaluation erfordert.

Selbstverständlich erhöht sich mit der Kombination von multimodalen expliziten und impliziten Interaktionskanälen die kognitive Last für die Nutzer, die das Roboterverhalten korrekt interpretieren und gegebenenfalls teilweise widersprüchliche Signale kohärent deuten müssen. Glücklicherweise zeigt z. B. eine Nutzerstudie mit einem humanoiden Roboter (Salem et al. 2013), dass Nutzer viel Verständnis für Fehler im Verhalten eines Roboters aufbringen können. In der Studie assistierte der

Roboter einem Menschen dabei, Küchengeräte in einen Schrank zu legen und gab Hinweise durch Sprache und Gesten, die teilweise widersprüchlich waren. Überraschenderweise beurteilten die Nutzer den Roboter mit nicht so perfektem Verhalten als freundlicher, obwohl die Aufgabe nicht so gut erfüllt werden konnte. Ob sich solche Erfahrungen auch für eher alltägliche und mehr arbeitszentrierte kollaborative Aufgaben bestätigen werden, bleibt vorerst unbeantwortet. Es ist aber zu vermuten, dass in jedem Fall die Kombination von humanoider Erscheinungsform, kognitiver Fähigkeit und konsistentem Verhalten die User Experience determinieren wird. Dabei darf dann der Roboter vielleicht auch mal irren.

Die Akzeptanz für Roboter im Produktionsbereich hängt schließlich nicht nur von Merkmalen der Roboter selbst ab, sondern auch von Einstellungen der Beschäftigten und der Wahrnehmung des (sozialen) Umfelds (Herold et al. 1995). Wenn Beschäftigte überzeugt sind, dass ein Wandel nötig ist, wenn die Weiterbildungsmöglichkeiten positiv gesehen werden und wahrgenommen wird, dass das eigene Management die Belange der Belegschaften respektiert, dann fallen Einstellungen zu Robotern positiv aus. Negative Einstellungen zu Robotern am Arbeitsplatz werden dagegen geprägt durch die Wahrnehmung von Kommunikationsproblemen im Unternehmen, den Eindruck, dass die betrieblichen Interessenvertretungen gegenüber dem Management zu nachgiebig sind und die Überzeugung, noch nicht bereit für eine Veränderung zu sein. Für die erfolgreiche Implementierung von Assistenzrobotik in der Industrie ist es daher erforderlich, nicht nur die Technik zu optimieren, sondern gleichfalls auch die Organisationskultur und das soziale Umfeld zu berücksichtigen.

Vertrauen schließlich ist ein weiterer Aspekt, der den erfolgreichen Einsatz von Robotern begünstigen oder behindern kann. Nur in dem Maß, in dem Beschäftigte den im Arbeitsumfeld eingesetzten Robotern vertrauen, werden diese technischen Assistenzsysteme auch tatsächlich zum bestimmungsgemäßen Einsatz kommen. Beispielsweise wird nur dann ein Roboter zum Einsatz kommen bei der Bombenentschärfung, der Suche nach Verschütteten, dem Feuerlöschen oder der Entsorgung hoch radioaktiven Materials, wenn die Beschäftigten diesem Gerät vertrauen. Unter Vertrauen kann man dabei die Erwartung verstehen, dass ein Roboter einem Menschen in einer unsicheren Situation bei der Erreichung seines/ihrer Zieles helfen wird (vgl. Lee und See 2004). Wegen der großen Bedeutung von Vertrauen in die Mensch-Roboter Interaktion liegt auch eine größere Anzahl an Studien vor, die auch schon metaanalytisch zusammengefasst wurden (Hancock et al. 2011). Demnach sind es vor allem Faktoren, die mit den Robotern zu tun haben und Faktoren aus dem (Arbeits-)Umfeld, die bedeutungsvoll für Vertrauen sind. Zu den roboterbezogenen Faktoren zählen leistungsbezogene Aspekte (z. B. Zuverlässigkeit des Roboters) oder Attribute des Roboters (z. B. Grad des Anthropomorphismus); zu den umfeldbezogenen Faktoren zählen Aspekte, die die Mensch-Roboter Interaktion (z. B. Kommunikation) und Aspekte, die die zu bearbeitende Aufgabe betreffen (z. B. Aufgabentyp). Aber, und dafür konnte die Metaanalyse keine Belege finden: Dauerhaft stabiles, d. h. blindes Vertrauen ist im Umgang mit technischen Geräten auch nicht wünschenswert. Auch Roboter sind lediglich technische Geräte, die bei der Ausführung Fehler begehen können. Daher erscheint nicht nur die Frage nach linearen

Einflussfaktoren für hohes Vertrauen wichtig, sondern zukünftig scheint die Frage nach optimalem Vertrauen – nicht zu niedrig und nicht zu hoch – fast noch zentraler zu sein.

3.3 Langzeitverhalten und Lerneffekte

Bisher gibt es kaum Erfahrungen über längerfristige Lerneffekte im Umgang mit Robotern. Einige Pionierstudien über die Interaktion sozialer Roboter mit Kindern haben gezeigt, dass ein Roboter zunächst Neugier erzeugt, welche dann schnell versiegt, sobald das Standardverhalten des Roboters exploriert ist (Kanda et al. 2004). In einer anderen Studie berichteten Beschäftigte nach der Einführung von Industrierobotern zunächst durchaus über Vor- und Nachteile der Robotereinführung; mit der Zeit wurde ihre Einschätzungen pessimistischer, da die Beschäftigten der Überzeugung waren, dass die Roboter mehr Training benötigten oder dass die Roboter keinen großen Einfluss auf die Produktqualität haben (Argote et al. 1983). In einer Arbeitsumgebung können sich Arbeitnehmer aber durchaus auch an die Roboter gewöhnen (Wurhofer et al. 2015). Dabei traten zunächst gemischte Erwartungen auf, die sich aus Unsicherheit im Umgang mit der neuen Technologie speisen, während im weiteren zeitlichen Verlauf Habituation und Anpassung an das Roboterverhalten stattfinden. Dies ist einerseits positiv für die Akzeptanz und Einführung solcher Systeme, hat jedoch auch die Schwierigkeit, dass Gewöhnung an die Bewegungsmuster von Robotern eine der größten Ursachen für Fehler in der Interaktion ist und damit zu Unfällen mit Industrierobotern führen kann (Murashov et al. 2016).

Insgesamt ist zu erwarten, dass die Einführung und Integration von Robotern in den Arbeitsalltag auch die Arbeitswelt insgesamt nachhaltig beeinflusst, und zwar auf den Ebenen der Arbeitsaufgaben und -prozesse, der sozialen Prozesse und schließlich auch auf volkswirtschaftlicher Ebene. Auf der Ebene der Arbeitsaufgaben werden in dem Maß, wie Roboter zunehmend mehr autonom zu handeln in der Lage sind (Beer et al. 2014), auch jene Probleme, die schon grundsätzlich bei der Automation beobachtet werden konnten, für die Mensch-Roboter Interaktion als relevant angesehen (Redden et al. 2014). Kurzfristig gehören dazu beispielsweise die reduzierte situationsbezogenen Aufmerksamkeit oder verminderte Vigilanz. Unter der situationsbezogenen Aufmerksamkeit versteht man die Wahrnehmung der Elemente in der aktuellen Umwelt, das Verständnis für deren Bedeutung und die Vorhersage dieser Elemente in der nahen Zukunft (vgl. Endsley 1995, 2017). Mangelnde situationsbezogene Aufmerksamkeit wird als Ursache für viele, schwerwiegende Unfälle und Fehlfunktionen in der Mensch-Maschine Interaktion angesehen. Einige experimentelle Studien zeigten dann auch, dass einerseits ein höherer Automatisierungsgrad bei Robotern zu einer besseren Mensch-Roboter-Systemleistung führt, andererseits aber auch zu verminderter situationsbezogener Aufmerksamkeit (z. B. Gombolay et al. 2017; Kaber et al. 2000).

Zudem kann es mittel- und längerfristig für Menschen in der Zusammenarbeit mit autonomen Systemen zu Kompetenzverlust kommen (Kluge et al. 2013), sodass sie

ehemals beherrschte manuelle oder kognitive Tätigkeiten bei zu langer Nicht-Anwendung nicht mehr ausführen können. Ein Phänomen, das bei der Diskussion über die Zuverlässigkeit von Mensch-Maschine Systemen schon lange als sogenanntes Automatisierungsparadox diskutiert wurde: Automatisierung führt zum Mangel an Erfahrung in der eigentlichen Aufgabe für die Mitarbeiter, denen dann im Falle von Störungen die Erfahrung fehlt, angemessen einzugreifen. Erschwerend kommt hinzu, dass Fehler in komplexen technischen Systemen „Entscheidungen zweiter Ordnung“ erfordern, „nämlich unter hohem Zeitdruck festzustellen, ob die Anzeigen der automatischen Systeme korrekt sind und ob er sich auf die von diesen Systemen generierten Anweisungen verlassen kann“ (Weyer 2007, S. 208). Auch wenn dies bei Weyer für den Fall der Steuerung von Flugzeugen diskutiert wurde, stellt sich das Problem für zumindest teilautonome kooperierende Roboter in ähnlicher Weise. Schon früh in der Auseinandersetzung mit der Wirkung von Robotern am Arbeitsplatz wurde vermutet, dass auch sie verantwortlich sein werden für den Abbau von Fertigkeiten bei den Beschäftigten (Young und Davis 1990). Grundsätzlich kann der Kompetenzverlust bei Nicht-Nutzung von mehr als einem Jahr durch fehlende Anwendung außerordentlich hoch sein (Arthur et al. 1998).

Mit zunehmenden kognitiven Fähigkeiten von Robotern wird sich dieses Problem nicht nur verschärfen, sondern auch noch einmal komplexer darstellen. Nehmen wir an, dass der Roboter nicht nur einen vordefinierten und eintrainierten Arbeitsablauf ausführt, sondern adaptiv ist und die Abfolge von Arbeitsschritten flexibel auf den Nutzer anpasst. Bei Servicerobotern sind solche Weiterentwicklungen bereits im Mittelpunkt: Im psychotherapeutischen Kontext (Costescu et al. 2014), der psychosozialen Versorgung älterer Menschen oder bei der (sprachlichen) Förderung von Kindern (Kanero et al. 2018) werden bereits Roboter eingesetzt, um eine psychologische „Bereicherung“ zu ermöglichen (vgl. Shibata 2004). Diese Bereicherung kann beispielsweise im Rahmen eines Lernprozesses geschehen, der die Aufteilung der Aufgaben zwischen Roboter und Mensch ständig neu justiert (vgl. Mason und Lopes 2011). Dementsprechend könnte es sich auch zu einer zukünftigen Aufgabe von Industrierobotern entwickeln, im betrieblichen Kontext in den Kompetenzerwerb und -erhalt der Beschäftigten systematisch eingebunden zu werden.

Ebenfalls verbunden mit den Aufgaben ist die Frage, ob und inwieweit durch die Einführung und Nutzung von Robotern das Anspruchsniveau der Tätigkeiten der Beschäftigten zu- oder abnimmt. Wie in vielen Fällen der Einführung neuer Technologien ist dies auch hier das Ergebnis der aktiven Entscheidung für eine Zu- oder Abnahme des Handlungsspielraums der Beschäftigten. In einer englischen Feldstudie wurden sechs Industrieroboter von einigen Maschinenbedienern betrieben. Bei Bedienungsproblemen sollten sie Spezialisten zurate ziehen. Das Problem an dieser Produktionslinie war, dass sie zu über 40 % der Zeit still stand. Um die Stillstandszeit zu reduzieren und dem leistungsbezogenen Individuallohn der Beschäftigten besser zu entsprechen, wurde den Operateuren auch die Kompetenz zur Durchführung von kleineren Wartungs-, Umrüst- und Reparaturaufgaben übertragen, gegen den Widerstand der Spezialisten, die diese Aufgaben bislang übernommen hatten. Die Ergebnisse bestätigten die Annahme, dass die Übertragung der Verantwortung auf die Beschäftigten vor Ort zu einer deutlichen Steigerung der

Systemleistung führte. Das heißt, der Einsatz von Robotern führt nicht zwangsläufig zu einem Qualifizierungsabbau der Beschäftigten.

Auch soziale Prozesse ändern sich durch die Einführung von Robotern im Arbeitsleben, wenn es etwa um die Führungsrolle oder den Prozess der Teamarbeit geht. Können und sollen klassische Führungsaufgaben auf Roboter übertragen werden? Intelligente technische Systeme arbeiten in einigen Bereichen schon recht autonom, treffen unternehmerische Entscheidungen (z. B. Kauf oder Verkauf von Wertpapieren), wirken maßgeblich an Pressemitteilungen mit (sog. robot-journalism) oder beteiligen sich bei der Steuerung eines Risikokapital-Unternehmens (Deep Knowledge Ventures) als voll stimmberechtigtes Vorstandsmitglied. Die Frage danach, ob Roboter auch Führungsaufgaben in (Arbeits-)Teams übernehmen sollen, beginnt gerade untersucht zu werden. In einer experimentellen Laborstudie sollten Probanden in kleinen Teams Spielzeugfahrzeuge herstellen (Gombolay et al. 2015). In Zwei-Personen-Teams arbeitete je ein Roboter mit; die Rolle des Roboters wurde in den drei Experimentalbedingungen hinsichtlich des Autonomiegrads variiert. Die Bedingungen variierten zwischen Entscheidung über Aufgabenzuweisung vollständig durch Menschen (Mensch als Teamleiter) bis zu vollständiger Entscheidung durch den Roboter (Roboter als Teamleiter). Die Ergebnisse zeigten, dass die Leistung des Teams desto höher ausfiel, je autonomer die Roboter entscheiden konnten. Überraschenderweise präferierten die Probanden die Bedingungen, in denen der Roboter autonom als Teamleiter agieren konnte. In die gleiche Richtung weisen die Ergebnisse einer experimentellen Studie mit Mensch-Roboter Dyaden (Castro et al. 2017: Präferenz für und höhere Leistung bei höherer Roboterautonomie). Demnach wird es eine zentrale Aufgabe für die optimale Gestaltung von Entscheidungen von Robotern sein, diese Entscheidungen hinsichtlich des Prozesses, des Ergebnisses und der Kommunikation so zu gestalten, dass sie als fair wahrgenommen werden (vgl. Ötting et al. 2017).

Weitere Überlegungen zur Analyse von Teamprozessen, bei denen Roboter Teil des Teams sind, stehen erst am Anfang. You und Robert (2017) erweiterten traditionelle Input-Prozess-Ergebniss-Modelle der Teamarbeit um Roboter als Bestandteile von Teams. So spekulieren die Autoren beispielsweise, dass ebenso wie Merkmale der Personen auch die Merkmale der Roboter (z. B. zugeschriebenes Geschlecht, Persönlichkeit, Intelligenz oder Autonomie) als Eingangsgröße die Teamarbeit beeinflussen. Dass Personen solche Merkmale überhaupt Robotern zuschreiben, inklusive typischer Vorurteile und etwa geschlechtsbezogener Stereotypen, wurde in verschiedenen Studien gut belegt (Eyssel und Hegel 2012; Krach et al. 2008). Daraus leitet das Modell von You und Robert beispielsweise ab, dass die Teamhomogenität somit sowohl von Personen- als auch von Robotermerkmalen gebildet wird.

Über die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Robotern wurde viel spekuliert und geschätzt. Nach der schon 2013 als Manuskript veröffentlichten Studie von Frey und Osborne (2017) sind nahezu 47 % der Berufsbilder von nordamerikanischen Beschäftigten potenziell in Gefahr, von „Computerisation“ betroffen zu sein, ein Begriff, der in der Studie Robotik, traditionelle Automatisierung und andere Digitaltechnologien zusammenfasst. Bei ihrer Prognose stützten sich die Autoren

auf ihre informierte, aber subjektive Einschätzung dazu, in welchem Umfang einzelne Berufstätigkeiten durch Computertechnologie und Automatisierung in Zukunft bewältigt werden können und extrapolierten diese Einschätzungen mit einem Verfahren des maschinellen Lernens. Die Studie hatte schnell große Aufmerksamkeit bekommen (vgl. z. B. Diewald et al. 2018) und wurde oft fehlinterpretiert, etwa dergestalt, dass den Autoren unterstellt wurde, dass sie eine grundsätzliche Aussage über die Entwicklung der Beschäftigung in den USA vornehmen würden – was aber überhaupt nicht der Anspruch war. Es ging lediglich darum einzuschätzen, wie hoch das theoretische Automatisierungspotenzial durch „Computerisierung“ ist. Die Studie macht explizit keine Voraussage darüber, wieviel dieses Potenzials auch praktisch umgesetzt wird, was von vielen weiteren Faktoren wie Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz, oder Marktfähigkeit der entsprechenden Automatisierungslösungen abhängt. Die Studie beschäftigt sich auch nicht damit, ob und in welchem Ausmaß auch neue Arbeitsplätze entstehen. Neuere Berechnungen über die Folgen eingeführter Roboter auf Arbeitsplätze zeigen für Deutschland im Zeitverlauf von 1994 bis 2014, dass die Einführung von Robotern tatsächlich zum Verlust von Arbeitsplätzen führt (Dauth et al. 2017). Dabei geht der Abbau von Arbeitsplätzen vor allem auf die Reduktion von Neueinstellungen zurück. Gesellschaftlich zeigen sich allerdings keine negativen Entwicklungen, weil in dem Ausmaß, in dem Arbeitsplätze im verarbeitenden Gewerbe verloren gehen, neue im Dienstleistungssektor entstehen.

3.4 Personalisierung vs. Überwachung

Ein großes Versprechen im Einsatz von Assistenzrobotern liegt in der Möglichkeit ihrer Personalisierung. Jeder Mitarbeiter und jede Mitarbeiterin könnte genau das Maß an Assistenz und Unterstützung bekommen, was er oder sie braucht, beispielsweise um altersbedingte Defizite auszugleichen und Arbeitnehmer länger und gesünder im Arbeitsprozess zu halten. Dies ist nicht zuletzt auch eine Frage der Ergonomie (Busch et al. 2012). Zur Realisierung dieses Potenzials muss ein Roboter etwas über den Menschen lernen und sich in einem Prozess der Personalisierung an den einzelnen Menschen anpassen. Nehmen wir an, dass in einer hybriden Montage Roboter und Mitarbeiter gemeinsam ein Teil einsetzen und dass dazu beide Seiten gleichzeitig das Teil greifen und bewegen. Dann wird der Roboter, schon aus Sicherheitsgründen, die Kräfte messen, die die Mitarbeiter aufbringen und sein eigenes Kraftprofil darauf einstellen. Der Roboter wird auf diese Weise aber auch implizit die Tagesform der Mitarbeiter messen und schon eine einfache Auswertung der Daten kann zeigen, ob sie mit der Zeit schwächer oder langsamer werden. Solche Daten können bereits sehr viel über die Person aussagen. In Kombination mit Kamerabild, Arbeitsablauf, Erfolg etc. und vielleicht aufgezeichneten Gesprächen ergibt sich leicht ein umfassendes Bild von Gesundheitszustand und Wohlbefinden. Es handelt sich also um hochsensible Daten, die es zu schützen gilt. Und natürlich hat dieses auch einen Überwachungsaspekt: Nie war es möglich, so detailliert auf die Leistung eines einzelnen Arbeitnehmers oder einer Arbeitnehmerin zu schauen. Ein

spezielles Problem in der Assistenzrobotik ist nun, dass die Messung der Daten notwendig ist, damit der Roboter funktioniert. Es wäre also nicht möglich, im Sinne des Datenschutzes auf das Messen der Daten zu verzichten. Andererseits liegt in den Daten auch eine Chance, z. B. Gesundheitsprobleme der Mitarbeiter frühzeitig erkennen und behandeln zu können, was den Arbeitgeber sogar verpflichtet, die Daten im Sinne der Mitarbeiter zu nutzen. Assistenz und Überwachung sind hier offensichtlich zwei Seiten der gleichen Medaille.

Neben Fragen der Datensicherheit und des Datenschutzes ergeben sich aber auch ganz neue Fragen, so z. B. wie viel personalisierte Assistenz gerecht ist. Sollten alle Mitarbeiter das gleiche Maß an Assistenz bekommen? Oder sollten langsamere Mitarbeiter mehr unterstützt werden, damit sie mithalten können? Personalisierung besteht ja gerade darin, für jede/n genau das richtige Maß an Assistenz zu finden. Wie aber das „richtige Maß“ eigentlich bestimmt werden soll, ist eine schwierige Frage. Schließlich greift dessen Bestimmung tief in etablierte Systeme der Leistungsmessung und damit auch der leistungsorientierten Bezahlung ein. Ist es den Mitarbeitern gegenüber fair, Leistungsunterschiede durch Assistenzroboter auszugleichen und die Mitarbeiter dann auch gleich zu bezahlen? Das Personalisieren des Roboters auf die unterschiedlichen Leistungsniveaus kostet schließlich ein Unternehmen nichts, es wird von Lernalgorithmen ausgeführt.

4 Integration im Kontext von Industrie 4.0 Produktion

Ein weithin unterschätztes, aber großes Hindernis für eine umfassendere Anwendung von Robotern über hoch automatisierte Spezialanwendungen hinaus ist der Mangel an anerkannten Standards und Softwaresystemen zur Systemintegration. Das gilt sowohl für die Verbindung von klassischer Automatisierungstechnik und Robotik, wie auch für andere neue Anwendungen. Traditionell haben Roboter ihre eigenen Hard- und Softwarekontrollsysteme und werden unabhängig von anderen Technologien entwickelt und programmiert, die dabei eher als peripher zum Roboter angesehen werden. In der Welt von Industrie 4.0 und Smart Factory werden Roboter, wie andere Teilsysteme auch, selbstverständlich als Cyber-Physical Systems (Lee et al. 2015) betrachtet und als mit anderen digitalen Fertigungssystemen und Produktionsdaten vernetzt vorgestellt (MacDougall 2014). Dies erfordert aber aufwändige Programmier- und Integrationsarbeiten, falls eine Anlage mit Robotern umgerüstet und neu konfiguriert werden soll. Für kollaborative Robotikanwendungen kommt dazu noch eine schwierige Risikoanalyse hinzu, die im Allgemeinen ebenfalls nur von Robotikexperten durchgeführt werden kann. Diese heterogene Hardwarebasis und das damit verbundene komplizierte und uneffektive Vorgehen steht in starkem Kontrast zu den Herausforderungen für Unternehmen, die globale Wettbewerbsfähigkeit mit lokaler Produktion in Deutschland verbinden und die Senkung der Engineering- und Produktionskosten für neue Produktvarianten stark im Fokus haben müssen. Die nahtlose Integration von flexibel einsetzbaren Leichtbaurobotern des oben beschriebenen Typs ist daher für zukünftige intelligente Produktionssysteme im Kontext von Industrie 4.0 zwingend (Wrede et al. 2016). Sie müssen sich

dabei in das Paradigma der Steuerung und Vernetzung dezentraler Produktionsmittel zu Wertschöpfungsketten, die sich dynamisch ändern können, einfügen (Gerber et al. 2014). Deren Integration wird dann mit Methoden und Technologien aus der Informationstechnik betrachtet (Slama et al. 2015). Dies wird auch im Kontext des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 (Adolphs et al. 2015) oder der Industrial Internet Reference Architecture deutlich (Lin et al. 2015).

Aus diesen Überlegungen ergeben sich verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten und Notwendigkeiten, die tief in bestehende Arbeitsprozesse eingreifen, was sowohl das Systems Engineering wie auch den Umgang mit solchen Systemen betrifft. Zunächst wird im Industrie 4.0 Paradigma die traditionelle Separierung von Robotik und Automatisierungstechnologie durch zunehmende Digitalisierung langsam aufgehoben. Damit ergeben sich für die Entwicklung von Produktionssystemen ganz neue Möglichkeiten. Prozesse können völlig umstrukturiert werden, durch robotische Handhabung von Material und Werkstücken in der Intra-Logistik unterstützt und damit grundlegend flexibilisiert werden. Diese Freiheiten implizieren jedoch insgesamt eine höhere Systemkomplexität, die nicht nur von den flexiblen Einsatzmöglichkeiten der Roboter herrührt, sondern ebenso der gesamten Vernetzung geschuldet ist. Das oben diskutierte Automatisierungsparadox, das einen Mangel an Verständnis in Diagnose und Fehlerbehebung in solchen Systemen bezeichnet, tritt hier dann verschärft wieder auf.

Um solche neuartigen Produktionssysteme unter Einschluss von Robotikanwendungen zu entwerfen und entwickeln, müssen Werkzeuge des digitalen Engineering und der Computersimulation eingesetzt werden, sodass die Entwicklung viel interdisziplinärer angelegt ist. Die Mensch-Maschine Interaktion muss von vornherein mitbedacht werden. Software Engineering muss dafür die Methoden bereitstellen, inklusive der Simulation von Mensch-Roboter Interaktion. Psychologische Expertise ist dabei ebenso gefragt, einerseits um die Interaktion der Entwickler mit dem System zu gestalten und andererseits, um die Nutzerperspektive einzubringen und zu evaluieren. In Ritter et al. (2007) wurde diese doppelte Aufgabe als „dual interaction perspective“ diskutiert. Die Interaktion der Entwickler mit dem System erfordert dabei hoch qualifizierte Beiträge auf einer Metaebene, auf der die Entwicklungsumgebungen und Schnittstellen betrachtet werden. Dies ist auch bedeutend für die Einbindung von Robotern, die aufgrund ihrer Flexibilität und Komplexität über normale Systemkomponenten hinausgehen. Verstehbare und gut benutzbare Schnittstellen zu ihrer Integration, zum Beispiel durch die Definition von Programmierstandards und von herstellerübergreifenden Abstraktionen, sind dabei der Schlüssel für einen effizienteren Entwicklungsprozess, der gleichzeitig auch die Wandlungsfähigkeit stark erhöht.

So wünschen sich Endanwender von Robotertechnologie beispielsweise schon seit langem einheitliche Programmierstandards und -sprachen, deren Realisierung bisher aufgrund der wenig flexiblen Steuerungen und des Mangels an durchgängigen Softwarekonzepten zur Modellierung von Produktionsanlagen kaum möglich war. Mit einer flächendeckenden Digitalisierung und Vernetzung gibt es hier jedoch neue Möglichkeiten und es treten auch neue Akteure auf, die primär aus der Welt der Softwareentwicklung kommen. In einer Analogie: Waren bisher Produktionsanlagen

starr organisiert, wie mobile Telefone mit ihren wenigen Funktionen vor dem Zeitalter des Smartphones, so bringt die digitalisierte Produktion einen großflächigen Paradigmenwechsel hin zu flexibler Programmierung, der es erlaubt, neue Werkzeuge wie Leichtbauroboter oder auch eine große Anzahl an Sensoren flexibel einzubinden, im Sinne von Internet of Things (IoT; Slama et al. 2015) oder Cyber-Physical Systems. Allerdings gibt es in diesem Bereich auch noch großen Forschungs- und Entwicklungsbedarf bei der Entwicklung entsprechender Schnittstellen, Modellierungs- und Programmierungsstandards. Um die Analogie fortzusetzen: Die Frage, wer das zukünftige Betriebssystem der digitalisierten Produktion mit möglichen Standards entwickelt, d. h. das Google oder Apple der Produktionsorganisation wird, wie so ein Standard genau aussehen soll und welche Interaktionsmöglichkeiten er aufweisen muss, ist eines der zentralen Themen der Digitalisierung in der Produktionswelt und hat auch auf den flexiblen Einsatz kollaborativer Roboter einen großen Einfluss.

Auf der anderen Seite sollte die Interaktionsperspektive der Nutzer schon beim Systemdesign eingebracht werden. Die oben beschriebene Fokussierung auf Kollaboration erfordert Änderungen in den Entwicklungsprozessen, die weniger wasserfallorientiert und mehr nutzerorientiert werden müssen. Ersteres meint den klassischen Prozess, der mit einem ausgearbeiteten Design startet und dann das System nach technischen Spezifikationen baut, was immer dann möglich ist, wenn diese bekannt, vorhersehbar und über die Zeit stabil sind. Nutzerinteraktion und flexible Rekonfiguration sind dabei jedoch typischerweise nicht vorgesehen, weder im Entwicklungsprozess, noch im Betrieb. Diese Trennung von Nutzer und System wird sich jedoch zunehmend zugunsten von Vernetzung und Mensch-Maschine Interaktion, auch mit Robotern, auflösen. Das bedeutet jedoch, auch im Entwurf von Produktions- und Arbeitsumgebungen viel stärker einem nutzerzentrierten Design zu folgen. Letzteres ist etwa für Produktdesign schon lange der Fall und durch zahlreiche Normen ausgestaltet (Bevan et al. 2016). Eine Hinwendung zu einer menschenzentrierten Perspektive erfordert aber eine Veränderung der Ansätze in der Entwicklung von Produktionssystemen, indem schon frühzeitig nicht nur die technischen Systeme gestaltet werden, sondern gleichzeitig an der Gestaltung der neuen Form der Arbeit nach Einführung der Robotersysteme geplant wird (vgl. hierzu bspw. Mlekus et al. 2018). Genauso gilt es Experten für Usability und User-Centred Design frühzeitig einzubeziehen und alle Beschäftigten an der Einführung zu beteiligen (siehe auch Kap. ► „[Change Management für die Einführung digitaler Arbeitswelten](#)“ in diesem Band).

Ein dritter wichtiger Bereich, der auch auf Systemebene komplexer wird, ist die Sicherheit in der Mensch-Roboter Interaktion. Während, wie oben beschrieben, der einzelne Roboter sicher betrieben werden kann, ist dadurch die gesamte Anwendung noch nicht sicher und muss insgesamt einer Risikoanalyse unterzogen werden, traditionell nach DIN EN ISO 12100. So ist es in dem Szenario der hybriden Montage offensichtlich wichtig, was für Teile der Roboter handhabt. Nimmt er einen Schraubenzieher, der Menschen verletzen kann, so ist die Anwendung natürlich anders zu beurteilen als in dem Fall, wo der Roboter nur ungefährliche Kleinteile nimmt. In einer adaptiven Anwendung kann sich dies auch noch über die Zeit

ändern. Eine Gefährdung muss dann durch übergeordnete Prozesse auf der Ebene der Anwendung ausgeschlossen werden, etwa durch Verhaltensregeln für die Mitarbeiter oder Regeln für zulässige Objekte oder entsprechende Neuprogrammierung des Roboters. In diesem Szenario zeigt sich wiederum, dass der Roboter einerseits ein flexibles Werkzeug im Rahmen der Anwendung ist, jedoch im Kontext auch neue Risiken hervorrufen kann. Deren Analyse braucht auch ohne Roboterinteraktion schon heute spezielle Experten, ein Problem, was sich mit dem Einsatz von Robotern verschärfen wird. Es ist zu vermuten, dass eine gewisse Unsicherheit über eine tragfähige Praxis in der Risikoanalyse solcher Anwendungen noch für längere Zeit bestehen bleiben wird. Möglicherweise braucht es hier auch spezielle Services, die von Roboterherstellern oder spezialisierten Systemintegratoren oder auf den Einsatz von Robotern spezialisierten Dienstleistern angeboten werden könnten.

5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Insgesamt bietet die moderne Robotik mächtige Werkzeuge, Assistenzsysteme und Arbeit neuen Typs zu realisieren. Technisch stehen dafür neuartige Roboter zur Verfügung, die mit Kräften umgehen und damit sicher betrieben werden können. Dies eröffnet einen großen Spielraum für die Arbeitsgestaltung. Ob dieser Spielraum eher für Unterstützung von Mitarbeitern oder für Vollautomatisierung genutzt wird, ist offen. Anders als bei früheren Rationalisierungsschüben ist die moderne Robotik aber eben nicht nur für letztere sinnvoll und einsetzbar, sie kann gleichwohl auch zur Unterstützung von Mitarbeitern dienen. Eine breite Anwendung steht jedoch noch vor einigen Hindernisse. Aus der Nutzerperspektive in Mensch-Roboter Interaktionen sind die Schnittstellen, die Sicherheitsfragen auf der Anwendungsebene, und nicht zuletzt die Integration in größere Datenverarbeitungskontexte mit den Fragen von Datensicherheit und Persönlichkeitsschutz nicht gelöst. Assistenz, und Überwachung sind hier zwei Seiten der gleichen Medaille. Wenig ist bisher über längerfristige Lerneffekte bei den Nutzern bekannt, die mit zunehmenden kognitiven Fähigkeiten von Robotern sicher immer wichtiger werden.

Aus der System- und Entwicklerperspektive sind in erster Linie die Software- und Systemintegration und Modellierung von Anlagen und Anwendungen, die Roboter als Teilsysteme einbetten, schwierig. Dabei fehlt es sowohl an Standards wie auch an geeigneten Abstraktionen, die den Umgang mit und den nutzbringenden Einsatz von den enormen Fähigkeiten der Roboter für Systemintegratoren handhabbar machen. Dabei müssen die Entwicklungsprozesse angepasst und modernisiert werden, auch in Richtung eines menschenzentrierteren Ansatzes.

Die Überlegungen zur Integration von Robotern im größeren Kontext von Automatisierungssystemen zeigen, dass die neue Generation von Robotern die Produktionssysteme und damit Arbeitsplätze längerfristig sehr stark beeinflussen kann. Es ist zu erwarten, dass dabei hoch-qualifizierte Arbeitsplätze entstehen werden, die Kompetenzen aus den Bereichen Software, künstliche Intelligenz, Engineering und Robotik miteinander vereinen. Besonders wichtig ist dabei, dass der Anteil von Software an der Wertschöpfung auch in eher traditionellen Bereichen weiter steigen

wird und flexible Roboter dazu stark beitragen, sodass eine Grundkompetenz in Softwaresystemen und Software Engineering auch für kleinere Unternehmen immer wichtiger werden wird. Möglicherweise muss es hier auch neue Services und Strukturen der Arbeitsteilung geben, wie oben auch schon für die Sicherheitsbeurteilung angedeutet. Interdisziplinäre Zusammenarbeit wird dabei die Regel sein, denn es ist kaum möglich, die geforderten Qualifikationen in einer Person zu vereinen. Investitionen in gutes Engineering werden sich jedoch voraussichtlich stark auszahlen, da die Kosten für Software und Engineering in flexiblen, wandlungsfähigen Produktionsanlagen die initialen Investitionen in Hardware bei Weitem übersteigen, wie erste Erfahrungen mit prototypischen modularen Produktionssystemen bestätigen (Wrede et al. 2016). Ein wesentlicher Faktor wird daher die Ausbildung von entsprechend qualifiziertem Personal sein und sehr viel mehr müsste dabei für die Kombination von Robotik, klassischen Ingenieurwissenschaften und Software Engineering mit Expertise in Mensch-Maschine Schnittstellen Usability und Sicherheit getan werden. Dies ist essenziell, um Roboter in noch viel höherem Maße zu vertretbaren Kosten als Assistenzsysteme und Automatisierungskomponenten einzusetzen.

Literatur

- Adolphs, B., Bedenbender, H., Dirzus, D., Ehlich, M., Eppe, U., Hankel, M., . . . Wollschlaeger, M. (2015). *Statusreport. Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)*. Düsseldorf: VDI. https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Themen/Industrie_4.0/Das_Referenzarchitekturmodell_RAMI_4.0_und_die_Industrie_4.0-Komponente/pdf/Statusreport-Referenzmodelle-2015-v10.pdf. Zugriffen am 03.02.2020.
- Argall, B. D., Chernova, S., Veloso, M., & Browning, B. (2009). A survey of robot learning from demonstration. *Robotics and Autonomous Systems*, 57, 469–483. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2008.10.024>.
- Argote, L., Goodman, P. S., & Schkade, D. (1983). The human side of robotics: How workers react to a robot. *Sloan Management Review*, 24, 31–41.
- Arthur, W., Jr., Bennett, W., Jr., Stanush, P. L., & McNelly, T. L. (1998). Factors that influence skill decay and retention: A quantitative review and analysis. *Human Performance*, 11, 57–101. https://doi.org/10.1207/s15327043hup1101_3.
- Beer, J. M., Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (2014). Toward a framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction. *Journal of Human-Robot Interaction*, 3, 74–99. <https://doi.org/10.5898/JHRI.3.2.Beer>.
- Bevan, N., Carter, J., Earthy, J., Geis, T., & Harker, S. (2016). New ISO standards for usability, usability reports and usability measures. In M. Kurosu (Hrsg.), *Human-computer interaction. Theory, design, development and practice* (S. 268–278). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39510-4_25.
- Busch, F., Thomas, C., Deuse, J., & Kuhlentötter, B. (2012). A hybrid human-robot assistance system for welding operations – Methods to ensure process quality and forecast ergonomic conditions. In S. J. Hu (Hrsg.), *Technologies and systems for assembly quality, productivity and customization – Proceedings of 4th CIRP conference on assembly technologies and systems (CATS)* (S. 151–154).
- Castro, B., Roberts, M., Mena, K., & Boerkoel, J. (2017). Who takes the lead? Automated scheduling for human-robot teams. *Artificial Intelligence for Human-Robot Interaction, AAAI Technical Report FS-17-01*, 85–89. https://www.cs.hmc.edu/HEAT/papers/Castro_et_al_AIHRI_2017.pdf. Zugriffen am 03.02.2020.

- Costescu, C. A., Vanderborght, B., & David, D. O. (2014). The effects of robot-enhanced psychotherapy: A meta-analysis. *Review of General Psychology*, 18, 127–136. <https://doi.org/10.1037/gpr0000007>.
- Daimler. (2009). *Mercedes-Benz Werk Untertürkheim: Leichtbauroboter im Piloteinsatz* (Pressemitteilung). <http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko.xhtml?oid=9907804>. Zugriffen am 03.02.2020.
- Dauth, W., Findeisen, S., Südekum, J., & Wößner, N. (2017). *German Robots: The impact of industrial Robots on workers* (IAB-discussion paper No. 30/2017). Nürnberg. <http://doku.iab.de/discussionpapers/2017/dp3017.pdf>. Zugriffen am 03.02.2020.
- Diewald, M., Andernach, B., & Kunze, E. S. (2018). Entwicklung der Beschäftigungsstruktur durch Digitalisierung von Arbeit. In G. W. Maier, G. Engels & E. Steffen (Hrsg.), *Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten*. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-52903-4_19-1.
- Diftler, M. A., Mehling, J. S., Abdallah, M. E., Radford, N. A., Bridgwater, L. B., Sanders, A. M., ... Ambrose, R. O. (2011). Robonaut 2 – The first humanoid robot in space. In *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (S. 2178–2183). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2011.5979830>.
- EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation. (2016). *Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2016*. Berlin: EFI. http://www.e-fi.de/fileadmin/Gutachten_2016/EFI_Gutachten_2016.pdf. Zugriffen am 03.02.2020.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, 32–64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>.
- Endsley, M. R. (2017). From here to autonomy: Lessons learned from human-automation research. *Human Factors*, 59, 5–27. <https://doi.org/10.1177/0018720816681350>.
- Essig, K., Strenge, B., & Schack, T. (2018). Assistierende Technologie zur Förderung beruflichen Entwicklungspotenzials. In G. W. Maier, G. Engels & E. Steffen (Hrsg.), *Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten*. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-52903-4_21-1.
- Eyssel, F., & Hegel, F. (2012). (S)he’s got the look: Gender stereotyping of robots. *Journal of Applied Social Psychology*, 42, 2213–2230. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2012.00937.x>.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>.
- Gerber, T., Theorin, A., & Johnsson, C. (2014). Towards a seamless integration between process modeling descriptions at business and production levels: Work in progress. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25, 1089–1099. <https://doi.org/10.1007/s10845-013-0754-x>.
- Gombolay, M. C., Gutierrez, R. A., Clarke, S. G., Sturla, G. F., & Shah, J. A. (2015). Decision-making authority, team efficiency and human worker satisfaction in mixed human-robot teams. *Autonomous Robots*, 39, 293–312. <https://doi.org/10.1007/s10514-015-9457-9>.
- Gombolay, M., Bair, A., Huang, C., & Shah, J. (2017). Computational design of mixed-initiative human-robot teaming that considers human factors: Situational awareness, workload, and workflow preferences. *The International Journal of Robotics Research*, 36, 597–617. <https://doi.org/10.1177/0278364916688255>.
- Gopinathan, S., Ötting, S., & Steil, J. J. (2017). A user study on personalized stiffness control and task specificity in physical human-robot interaction. *Frontiers in Robotics and AI*, 4, 58. <https://doi.org/10.3389/frobt.2017.00058>.
- Haddadin, S., Albu-Schäffer, A., & Hirzinger, G. (2009). Requirements for safe robots: Measurements, analysis and new insights. *The International Journal of Robotics Research*, 28, 1507–1527. <https://doi.org/10.1177/0278364909343970>.
- Hamilton, A. D. C., Joyce, D. W., Flanagan, J. R., Frith, C. D., & Wolpert, D. M. (2007). Kinematic cues in perceptual weight judgement and their origins in box lifting. *Psychological Research*, 71, 13–21. <https://doi.org/10.1007/s00426-005-0032-4>.
- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., de Visser, E. J., & Parasuraman, R. (2011). A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human Factors*, 53, 517–527. <https://doi.org/10.1177/0018720811417254>.

- Heinze, F., Klöckner, M., Wantia, N., Rossmann, J., Kühlenkötter, B., & Deuse, J. (2016). Combining planning and simulation to create human robot cooperative processes with industrial service robots. *Applied Mechanics & Materials*, 840, 91–98. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.840.91>.
- Herold, D. M., Farmer, S. M., & Mobley, M. I. (1995). Pre-implementation attitudes toward the introduction of robots in a unionized environment. *Journal of Engineering and Technology Management*, 12, 155–173. [https://doi.org/10.1016/0923-4748\(95\)00008-7](https://doi.org/10.1016/0923-4748(95)00008-7).
- International Federation of Robotics (IFR). (2019). Executive summary World Robotics 2019 Industrial Robots. <https://ifr.org/downloads/press2018/Executive%20Summary%20WR%202019%20Industrial%20Robots.pdf>. Zugegriffen am 14.02.2020.
- Ishiguro, H., Ono, T., Imai, M., Maeda, T., Kanda, T., & Nakatsu, R. (2001). Robovie: An interactive humanoid robot. *Industrial Robot: An International Journal*, 28, 498–504. <https://doi.org/10.1108/01439910110410051>.
- Kaber, D. B., Onal, E., & Endsley, M. R. (2000). Design of automation for telerobots and the effect on performance, operator situation awareness, and subjective workload. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 10, 409–430.
- Kanda, T., Hirano, T., Eaton, D., & Ishiguro, H. (2004). Interactive robots as social partners and peer tutors for children: A field trial. *Human-Computer Interaction*, 19, 61–84. https://doi.org/10.1207/s15327051hci1901&2_4.
- Kanero, J., Geçkin, V., Oranç, C., Mamus, E., Küntay, A. C., & Göksun, T. (2018). Social robots for early language learning: Current evidence and future directions. *Child Development Perspectives*, 12(3), 146–151. <https://doi.org/10.1111/cdep.12277>.
- Kirstein, F., Fischer, K., & Solvason, D. (2014). Human embodiment creates problems for robot learning by demonstration using a control panel. In *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction* (S. 212–213). <https://doi.org/10.1145/2559636.2563713>.
- Kluge, A., Frank, B., & Miebach, J. (2013). Measuring skill decay in process control-results from four experiments with a simulated process control task. In D. de Waard, K. Brookhuis, R. Wiczorek, F. di Nocera, R. Brouwer, P. Barham, ... A. Toffetti (Hrsg.), *Proceedings of the human factors and ergonomics society Europe chapter 2013 annual conference* (S. 79–93).
- Kormushev, P., Calinon, S., & Caldwell, D. G. (2011). Imitation learning of positional and force skills demonstrated via kinesthetic teaching and haptic input. *Advanced Robotics*, 25, 581–603. <https://doi.org/10.1163/016918611X558261>.
- Krach, S., Hegel, F., Wrede, B., Sagerer, G., Binkofski, F., & Kircher, T. (2008). Can machines think? Interaction and perspective taking with robots investigated via fMRI. *PLoS One*, 3(7), e2597. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002597>.
- Kröger, T., Finkemeyer, B., & Wahl, F. M. (2010). Manipulation primitives – A universal interface between sensor-based motion control and robot programming. In D. Schütz & F. M. Wahl (Eds.), *Robotic systems for handling and assembly* (Springer tracts in advanced robotics, Bd. 67 // STAR 67, S. 293–313). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16785-0_17.
- Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors*, 46, 50–80. https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50_30392.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>.
- Lin, S.-W., Mellor, S., Miller, B., Durand, J., Crawford, M., & Lembree, R. (Hrsg.). (2015). *Industrial internet reference architecture, Version 1.7*. Industrial Internet Consortium. <https://www.iiconsortium.org/IIRA-1-7-ajs.pdf>. Zugegriffen am 03.02.2020.
- MacDougall, W. (2014). *Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future*. Berlin: Germany Trade and Invest, July 2014. <https://www.manufacturing-policy.eng.cam.ac.uk/documents-folder/policies/germany-industrie-4-0-smart-manufacturing-for-the-future-gtai/view>. Zugegriffen am 03.02.2020.

- Mason, M. & Lopes, M. (2011). Robot self-initiative and personalization by learning through repeated interactions. In *2011 6th ACM/IEEE international conference on human-robot interaction* (S. 433–440). IEEE. <https://doi.org/10.1145/1957656.1957814>.
- Mlekus, L., Ötting, S. K., & Maier, G. W. (2018). Psychologische Arbeitsgestaltung digitaler Arbeitswelten. In G. W. Maier, G. Engels & E. Steffen (Hrsg.), *Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten*. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-52903-4_5-1.
- Murashov, V., Hearl, F., & Howard, J. (2016). Working safely with robot workers: Recommendations for the new workplace. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13, D61–D71. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1116700>.
- Nisen, M. (2014). *Toyota is becoming more efficient by replacing robots with humans*. Quartz. <https://qz.com/196200/toyota-is-becoming-more-efficient-by-replacing-robots-with-humans/>. Zugegriffen am 07.04.2014.
- Ötting, S., Gopinathan, S., Maier, G. W., & Steil, J. J. (2017). *Why criteria of decision fairness should be considered in robot design*. Presented at the CSCW 2017: The 20th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work and Social Computing, Portland.
- Redden, E. S., Elliott, L. R., & Barnes, M. J. (2014). Robots: The new teammates. In M. D. Coovert & L. F. Thompson (Hrsg.), *The psychology of workplace technology* (S. 185–208). New York: Routledge.
- Ritter, H., Haschke, R., & Steil, J. J. (2007). A dual interaction perspective for robot cognition: Grasping as a „Rosetta Stone“. In B. Hammer & P. Hitzler (Hrsg.), *Perspectives of neural-symbolic integration. Studies in computational intelligence* (Bd. 77, S. 159–178). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73954-8_7.
- Robotiq. (2016). *Collaborative robot ebook*. <http://blog.robotiq.com/collaborative-robot-ebook>. Zugegriffen am 30.06.2016.
- Roether, C. L., Omlor, L., Christensen, A., & Giese, M. A. (2009). Critical features for the perception of emotion from gait. *Journal of Vision*, 9, 1–32. <https://doi.org/10.1167/9.6.15>.
- Salem, M., Eyssel, F., Rohlfling, K. J., Kopp, S., & Joubin, F. (2013). To err is human(-like): Effects of robot gesture on perceived anthropomorphism and likability. *International Journal of Social Robotics*, 5, 313–323. <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0196-9>.
- Shibata, T. (2004). An overview of human interactive robots for psychological enrichment. *Proceedings of the IEEE*, 92(11), 1749–1758.
- Slama, D., Puhlmann, F., Morrish, J., & Bhatnagar, R. M. (2015). *Enterprise IoT: Strategies and best practices for connected products and services*. Sebastopol, CA: O'Reilly.
- Steil, J. J., & Krüger, S. (2013). Lernen und Sicherheit in Interaktion mit Robotern aus Maschinensicht. In J.-P. Günther & E. Hilgendorf (Hrsg.), *Robotik und Gesetzgebung* (S. 51–73). Baden-Baden: Nomos. <https://doi.org/10.5771/9783845242200-51>.
- Steil, J. J., & Maier, G. W. (2017). Robots in the digitalized workplace. In G. Hertel, D. Stone, R. Johnson & J. Passmore (Hrsg.), *The Wiley Blackwell handbook of the psychology of the internet at work* (S. 403–422). Chichester: Wiley-Blackwell.
- Tay, B., Jung, Y., & Park, T. (2014). When stereotypes meet robots: The double-edge sword of robot gender and personality in human-robot interaction. *Computers in Human Behavior*, 38, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.05.014>.
- Villani, L., & De Schutter, J. (2008). Force control. In B. Siciliano & O. Khatib (Hrsg.), *Springer handbook of robotics* (S. 161–185). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_8.
- Vollmer, A.-L., Lohan, K. S., Fischer, K., Nagai, Y., Pitsch, K., Fritsch, ... Wrede, B. (2009). People modify their tutoring behavior in robot-directed interaction for action learning. In *2009 IEEE 8th international conference on development and learning* (S. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DEVLRN.2009.5175516>.
- Vollmer, A.-L., Mühlhig, M., Steil, J. J., Pitsch, K., Fritsch, J., Rohlfling, K. J., & Wrede, B. (2014). Robots show us how to teach them: Feedback from robots shapes tutoring behavior during action learning. *PLoS One*, 9, e91349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091349>.

- Wallhoff, F., Blume, J., Bannat, A., Rösel, W., Lenz, C., & Knoll, A. (2010). A skill-based approach towards hybrid assembly. *Advanced Engineering Informatics*, 24, 329–339. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.05.013>.
- Weyer, J. (2007). Ubiquitous Computing und die neue Arbeitswelt. In K. Kornwachs (Hrsg.), *Bedingungen und Triebkräfte technologischer Innovationen* (S. 199–214). Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Wrede, S., Emmerich, C., Grünberg, R., Nordmann, A., Swadzba, A., & Steil, J. (2013). A user study on kinesthetic teaching of redundant robots in task and configuration space. *Journal of Human-Robot Interaction*, 2, 56–81. <https://doi.org/10.5898/JHRI.2.1.Wrede>.
- Wrede, S., Beyer, O., Dreyer, C., Wojtynek, M., & Steil, J. J. (2016). *Vertical integration and service orchestration for modular production systems using business process models*. Paper presented at the 3rd international conference on system-integrated intelligence: New challenges for product and production engineering, Paderborn.
- Wurhofer, D., Meneweger, T., Fuchsberger, V., & Tscheligi, M. (2015). Deploying robots in a production environment: A study on temporal transitions of workers' experiences. In J. Abascal, S. Barborsa, M. Fetter, T. Gross, P. Palanque & M. Winkler (Hrsg.), *Human-computer interaction – INTERACT 2015* (Part III, S. 203–220). Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22698-9_14.
- Yang, C., Ganesh, G., Haddadin, S., Parusel, S., Albu-Schäffer, A., & Burdet, E. (2011). Human-like adaptation of force and impedance in stable and unstable interactions. *IEEE Transactions on Robotics*, 27(5), 918–930. <https://doi.org/10.1109/TRO.2011.2158251>.
- You, S., & Robert, L. P. (2017). Teaming up with robots: An IMOI (Inputs-Mediators-Outputs-Inputs) framework of human-robot teamwork. *International Journal of Robotic Engineering*, 2 (003).
- Young, S. M., & Davis, J. S. (1990). Factories of the past and of the future: The impact of robotics on workers and management accounting systems. In D. J. Cooper & T. M. Hopper (Hrsg.), *Critical accounts* (S. 87–106). London: Palgrave.

Change Management für die Einführung digitaler Arbeitswelten

Katharina D. Schlicher, Agnieszka Paruzel, Barbara Steinmann und
Günter W. Maier

Inhalt

1	Einleitung	348
2	Zusammenhang von Digitalisierung und Change Management	351
3	Praktische Durchführung der Einführung von Technologien	357
4	Erfolgsfaktoren des Change Managements	369
5	Diagnoseverfahren im Veränderungsprozess	373
6	Fazit	379
	Literatur	379

Zusammenfassung

Um den Innovationen durch die Digitalisierung, also der Einführung intelligenter und vernetzter Systeme, zu begegnen, werden Unternehmen viele Anpassungen vornehmen müssen. Die professionelle Begleitung dieser Veränderung kann innerhalb eines Change Management Prozesses erfolgen. Im Folgenden werden dazu aus den Lehren der bisherigen Computerisierung des Arbeitslebens und entlang der zeitlichen Strukturierung eines Einführungsprojekts ein Durchführungsmodell des Change Managements abgeleitet und vorgestellt. Des Weiteren wird auf Erfolgsfaktoren des Change Managements im Kontext der Digitalisie-

Dieses Kapitel ist im Rahmen des Projekts „itsOWL-Arbeit 40“ entstanden, das vom BMBF (Förderkennzeichen 02PQ3091) gefördert wurde.

K. D. Schlicher (✉) · G. W. Maier

Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie, Abteilung Psychologie & Research Institute for Cognition and Robotics (CoR-Lab), Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

E-Mail: katharina.schlicher@uni-bielefeld.de; ao-psychologie@uni-bielefeld.de

A. Paruzel · B. Steinmann

Abteilung für Psychologie, Arbeitseinheit Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

E-Mail: a.paruzel@uni-bielefeld.de; barbara.steinmann@uni-bielefeld.de

rung eingegangen und daraus Handlungsempfehlungen für die Gestaltung eines Change-Management-Prozesses abgeleitet. Anschließend werden ausgewählte Diagnostikinstrumente des Veränderungsbedarfs vorgestellt. Schließlich werden in einem Fazit der weitere Handlungs- und Forschungsbedarf aufgezeigt.

Schlüsselwörter

Change Management · Digitalisierung · Computerisierung · Durchführung · Erfolgsfaktoren · Diagnostik

Wir wissens zwar mit dem Verstand:
Geändert hat sich allerhand!
Jedoch im Herzen ganz verstockt,
noch tief das alte Weltbild hockt
(Eugen Roth)

1 Einleitung

1.1 Veränderungspotenzial durch Digitalisierung

Seit einigen Jahren schon wird die Digitalisierung der Arbeit propagiert. Sie wurde ausgelöst durch die Entwicklung leistungsfähigerer IT-Systeme, Robotik und Sensorik sowie höherer Speicher- und Auswertungsmöglichkeiten von Big Data und Cloudlösungen, deren Einsatz den Unternehmen Produktions- und Effizienzsteigerungen ermöglicht und es ihnen erlaubt, sich international wettbewerbsfähig aufzustellen (Botthof et al. 2009). Auch die Bundesregierung betont die Relevanz des Themas, indem sie die Digitalisierung als zentrale Gestaltungsaufgabe zur Sicherung und Stärkung des Produktionsstandorts Deutschland anerkennt (vgl. BMAS 2015, 2017).

Die technischen Innovationen, die in Folge zunehmender Digitalisierung in die Unternehmen Einzug halten werden, bergen die Perspektive die Art des Arbeitens radikal zu verändern. Es wird angenommen, dass durch den Einsatz intelligenter und vernetzter Systeme die Produktionsmöglichkeiten erweitert werden, dass also z. B. Hersteller zukünftig individualisierte Produkte oder Zusatzleistungen wie nachkäufliche Produktwartungen anbieten können. Viele Unternehmen spüren längst den hohen Veränderungsdruck, der von der Digitalisierung ausgeht. Durch all diese technologischen Veränderungen können sich die Anforderungen an die tätigkeitsausführenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie deren Berufsbilder wandeln; dies kann gravierende Auswirkungen auf ihre Leistungsfähigkeit, Arbeitszufriedenheit, Motivation und Gesundheit haben.

Dass die Beschäftigten in den Fokus weiterer Überlegungen gerückt werden sollten liegt zudem darin begründet, dass die technischen Möglichkeiten der Digitalisierung und Vernetzung bereits weit fortgeschritten sind, während ihre Auswirkungen und die Akzeptanz durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die die neuen Technologien später in ihrem Berufsalltag anwenden und integrieren sollen, weniger

erforscht sind. Die Veränderungen im Zuge der Digitalisierung bergen ein großes Potenzial, das im Sinne der Beschäftigten aktiv genutzt werden kann und einen großen Gestaltungsraum bietet. Um die Gestaltungsmöglichkeiten vollständig auszuschöpfen, ist es erforderlich, die Veränderungen in einem strukturierten Change-Management-Prozess aktiv zu gestalten.

Change Management ist in der heutigen Unternehmenslandschaft ein immer wichtiger werdender Faktor zur Sicherung des Unternehmenserfolgs, um im internationalen Wettbewerb konkurrenzfähig zu bleiben und sich flexibel an die sich immer schneller verändernden Umgebungsbedingungen anzupassen (Cawsey et al. 2016). Veränderungsprozesse werden dabei bei unterschiedlichen Ausgangssituationen eingeleitet: aufgrund ökonomisch-wirtschaftlicher Entwicklungen (z. B. bei Neuausrichtung des Unternehmens zur Erschließung neuer Märkte, Einführung neuer Produkte, Verschlinkung des Unternehmens oder zum Zusammenschluss zweier Unternehmen unter eine Gesellschaft), aufgrund politischer Entscheidungen (z. B. durch neue rechtliche Vorschriften) oder angestoßen durch sozio-kulturelle Faktoren (z. B. dem demografischen Wandel) (Cawsey et al. 2016; Senior und Swailes 2010). Daher ist die Notwendigkeit der Durchführung von Veränderungsprozessen für die meisten Unternehmen nicht fremd.

Die Einführung neuer Technologien im Zuge der Digitalisierung, wie sie im vorliegenden Kapitel thematisiert werden soll, wird zukünftig ein weiterer Auslöser für diese Veränderungsprozesse sein. Daraus folgt einerseits, dass bereits viel Wissen und Erfahrungswerte aus früheren Veränderungsprozessen auf die anstehenden Veränderungen durch Digitalisierung angewendet werden können. Andererseits hält die thematische Akzentuierung der Digitalisierung neue Herausforderungen für die Akteure bereit, deren Folgen und Auswirkungen auf die Wirtschaft und die Beschäftigten heute noch gar nicht vollständig abgeschätzt werden können.

Es bieten sich viele Vorteile, Change Management in einem formalen Prozess proaktiv und strategisch zu gestalten, anstatt reaktiv auf eine eintretende Krise zu reagieren (Cawsey et al. 2016), die beispielsweise durch ein spätes Erkennen des Veränderungsbedarfs einer notwendigen Technologieeinführung ausgelöst werden und ein hohes Maß an Verunsicherung und Unruhe in die Unternehmen bringen könnte. Obwohl keine genauen Zahlen genannt werden können, wie viele Change-Projekte scheitern – die methodischen und definitorischen Herangehensweisen der vielen Quellen sind zu unterschiedlich – lässt sich in der Forschung der Trend erkennen, dass heute weniger Change-Projekte scheitern als früher. Dies wird zurückgeführt auf bessere Erkenntnisse von Change-Prozessen und der consequenten Anwendung implementierter Change-Management-Strategien bei Veränderungsprojekten (Cândido und Santos 2015; Hughes 2011).

1.2 Abgrenzungs- und Anknüpfungspunkte von Change- und Projektmanagement

Change Management weist eine inhaltliche Nähe zum Projektmanagement auf. Deshalb werden im Folgenden sowohl Abgrenzungs- als auch Anknüpfungspunkte beider Ansätze diskutiert.

Change- und Projektmanagement teilen viele definitorische Facetten: ihre Laufzeit ist begrenzt, ein Ziel wird frühzeitig definiert, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter werden zur Aufgabenerfüllung freigestellt. Die Unterschiede bestehen vor allem in den zugrunde liegenden Aufgaben und Zielen. Während im Projektmanagement meist ein Produkt erstellt oder ein Prozess (z. B. Systemeinführung) implementiert werden soll, zu dessen Erfüllung je nach Komplexität 1–n Beschäftigte betraut werden, sind die unternehmerischen Veränderungen im Change Management viel tief greifender und umfassender, wodurch eine höhere Anzahl Beschäftigter betroffen sein wird. Schließlich ist der hohe Grad an Unbestimmtheit in Veränderungsprozessen Ursache großer Verunsicherung der Beschäftigten, die in dieser Form in Projekten nicht anzutreffen ist (Pollack 2016; Schwaninger und Kaiser 2006).

In Folge dessen ist die thematische Ausgestaltung beider Wissensbestände sehr unterschiedlich: Projektmanagement, aus einer eher ingenieurswissenschaftlichen Perspektive betrachtet, enthält heute viele Standards und Anweisungen zur praktischen Planung von Projekten und zum systematischen Controlling des Projekterfolgs. Die Literatur zum Change Management hingegen, aus einer Perspektive der Organisationsentwicklung stammend, stellt die Humanressourcen in den Fokus, formuliert Handlungsempfehlungen und verfügt über eine größere theoretische Fundierung (Crawford und Hassner-Nahmias 2010).

Die Einführung intelligenter und technischer Systeme in die Unternehmen wird häufig im Rahmen eines Projekts geplant und umgesetzt. Da allerdings große Veränderungen im Unternehmen und für die Beschäftigten durch deren Einführung zu erwarten sind, sollte parallel ein Change-Management-Prozess eingeleitet werden. In der Wissenschaft wird eine Annäherung beider Disziplinen derzeit diskutiert (z. B. Crawford und Hassner-Nahmias 2010; Hornstein 2015; Pollack 2016; Wastian et al. 2017). Für eine Integration beider Disziplinen ist trotz ihrer augenscheinlichen Nähe noch viel Arbeit erforderlich, denn in wesentlichen Zielen, Herangehensweisen und Kompetenzen unterscheiden sich die Methoden sehr (z. B. zielt PM eher auf Risiko, Budgetierung und zeitgenaue Lieferung eines Produkts ab, während CM auf Kommunikation, Akzeptanz und Gestaltung von Strukturen ausgerichtet ist) (Pollack 2016). Dieses Kapitel bedient sich eines Phasenmodells des Projektmanagement, um entlang der zeitlichen Strukturierung eines Einführungsprojektes intelligenter und vernetzter Systeme wesentliche Gestaltungsmöglichkeiten des Change Management aufzuzeigen.

Im Folgenden werden wir zunächst in Abschn. 2 auf den Zusammenhang von Digitalisierung und Change Management eingehen und dazu mögliche Szenarien diskutieren. Durch eine Rückbesinnung auf Veränderungen im Zuge der Computerisierung der 1980er- und 1990er-Jahre werden Erfahrungen in Handlungsempfehlungen für die heutige Umsetzung übersetzt. Anschließend werden in Abschn. 3 die Herausforderungen der Digitalisierung für die verschiedenen Phasen eines Change-Prozesses diskutiert. In Abschn. 4 werden Erfolgsfaktoren des Change Managements präsentiert. Schließlich werden in Abschn. 5 Möglichkeiten aufgezeigt, kritische Informationen zum Veränderungsprozess zu erheben. Das Buchkapitel schließt mit einem Fazit.

2 Zusammenhang von Digitalisierung und Change Management

Die im Zuge der Digitalisierung angedachten technologischen Veränderungen, wie z. B. die Einführung von Datenbrillen, selbstfahrenden Fahrzeugen oder echtzeitfähiger Datenübertragung an Produktionsmaschinen, haben zur Konsequenz, dass sich auch Änderungen in der Arbeitsorganisation und für die Beschäftigten einstellen. Diese Erkenntnis findet ihre Fundierung im Soziotechnischen Systemansatz (Ulich 2011), wonach die Veränderung eines Unternehmensbereichs – bei der Einführung intelligenter technischer Systeme ist dies die „Technikseite“ – auch die anderen Unternehmensbereiche „Organisation“, in Form von Unternehmensstrukturen und -vereinbarungen sowie „Mensch“, die im Unternehmen beschäftigten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, beeinflussen kann. Aus vergangenen Einführungsprojekten ist bekannt, dass in Folge einer Technologieänderung die Art der Zusammenarbeit und die Arbeitsaufgaben der Beschäftigten sich wandelten (vgl. Spanos et al. 2002).

Folglich reicht es nicht, nur die „Technikseite“ bei der Einführung intelligenter und vernetzter Systeme zu betrachten; auch soziale Dynamiken müssen in die Veränderung miteinbezogen werden. Damit dies gelingt, sollte der Wandel in Form eines Change-Management-Prozesses aktiv gestaltet werden. Im Folgenden werden dazu die möglichen technologischen Veränderungen aufgezeigt und anschließend deren Auswirkungen auf Beschäftigte und Unternehmensstrukturen anhand eines Beispiels erläutert.

2.1 Mögliche Szenarien der Veränderung

Die zunehmende Digitalisierung von Unternehmen wird getrieben durch das Vorschreiten *technischer Entwicklungen*, die eine Automatisierung der Prozessabläufe und eine Vernetzung über Produktions-, Wertschöpfungs- und Unternehmensgrenzen hinweg ermöglichen. Unter den Stichworten „smart factory“, „cyber-physische Systeme“, Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) und Internet der Dienste (Internet of Services, IoS) werden verschiedene Ausgestaltungen dieser digitalisierten Technologien diskutiert.

Der Einführung intelligenter technischer Systeme liegt vielfach der Wunsch zugrunde, eine Steigerung der Konkurrenz- und Wettbewerbsfähigkeit zu erreichen (Botthof et al. 2009). Diese übergeordneten Ziele sollen durch systemimmanente Potenziale erreicht werden, von denen eine Auswahl im Weiteren vorgestellt werden soll. Die Nutzung internetbasierter Informationen sowie maschinenintegrierter Sensoren ermöglicht eine gesteigerte Flexibilität der Produktionsanlagen, um auf Umgebungsdaten, Kundenwünsche und Probleme im Produktionsprozess schneller reagieren zu können. Kosten sollen insbesondere durch eine reibungslosere Prozesssteuerung, Transportwege-, Ressourcen- sowie Lagerhaltungskosteneinsparung erreicht werden (BMBF 2013; Botthof et al. 2009). Zudem wird eine Vernetzung von Unternehmen über Standorte, Länder- und Unternehmensgrenzen hinweg möglich, sodass sogar dynamische Unternehmens-Netzwerke denkbar werden (BMBF 2013). Produkte

können in individualisierter Massenfertigung zu geringen Kosten erstellt werden (BMBF 2013), wodurch sich deutsche Unternehmen im Markt gegen asiatische Billigprodukte positionieren können. Schließlich wird nun eine dezentrale Steuerung der Produktionsabläufe möglich (BMBF 2013), auch autonome Produktionssysteme sind denkbar (Porter und Heppelmann 2014). Diese angesprochenen technologischen Veränderungen sind für Unternehmen allerdings mit einem hohen Investitionsbedarf verbunden (Porter und Heppelmann 2014).

Die technischen Möglichkeiten entwickeln sich derzeit kontinuierlich zu ihrer Implementierung in den Unternehmen fort. Zu den aktuell verfügbaren, technischen Möglichkeiten wurde bereits in anderen Kapiteln dieses Herausgeberwerks berichtet (vgl. z. B. Kap. ► „Vernetzte Arbeitsumgebungen“ und Kap. ► „Kollaborative Roboter: universale Werkzeuge in der digitalisierten und vernetzten Arbeitswelt“ in diesem Band).

Erfolgen diese Veränderungen schleichend oder kurzfristig?

Sowohl als auch. Es wird technologische Veränderungen geben, die kurzfristig eingeführt werden können und deren Auswirkungen auf die Beschäftigten marginal sind. Im Falle einer komplexen Umstellung können Veränderungsprozesse aber auch langfristig angelegt werden. Die meisten Unternehmen werden ihre Produktionsanlagen schrittweise vernetzen (BMBF 2013).

In welchen Unternehmensbereichen sind Veränderungen zu erwarten?

In der Produktion und Fertigung sind durch intelligente und vernetzte Technologien zunächst die stärksten Veränderungen zu erwarten (Hartmann 2009), weitere Anwendungsbereiche sind die Logistik und Supply Chain, die Mobilität und der Gesundheitsbereich (Botthof et al. 2009). Langfristig werden in weiteren Unternehmensbereichen die Auswirkungen technologischer Veränderungen spürbar, z. B. wenn Auftragsdurchläufe von der Bestellung bis zur Rechnungsstellung automatisiert werden können.

Die *Auswirkungen der Digitalisierung auf die Beschäftigten* sind in ihrer ganzen Tragweite noch nicht ersichtlich. Für sie wird die Digitalisierung wahrscheinlich zuvorderst eine Veränderung ihres Tätigkeits- und Aufgabenfeldes bedeuten, denn durch die Automatisierung werden viele, heute von Menschen ausgeführte Tätigkeiten – z. B. das Einrüsten und die Materialbestellung von Produktionsanlagen, die Bedienung von Gabelstaplern im Lager und das Steuern von Fahrzeugen in der Logistik bis hin zur Durchführung von Operationen in der Chirurgie – von Maschinen übernommen werden können (BMBF 2013). Ob und inwieweit die Anforderungen an die Beschäftigten hinsichtlich der Informationsauswertung und Maschinenbedienung steigen (i.S. von: komplexere Technologie erfordert ein tieferes Verständnis der zugrunde liegenden Mechanismen, vgl. Botthof et al. 2009) oder sinken werden (i.S. von: die komplexe Technologie wird so an die Benutzer angepasst, dass sie auch von wenig qualifizierten Personen bedient werden kann, vgl. Hartmann 2009), ist noch weitgehend unklar.

Diese Verschiebung macht möglicherweise neue Qualifikationen der Beschäftigten notwendig. Welcher Art diese sein werden, muss erst noch erforscht werden. Diskutiert werden insbesondere ein gesteigerter Bedarf an IT-Kompetenzen, an Kenntnissen der Bedienung und Überwachung der Maschinen und Systeme sowie Datenauswertung und -analyse, bereichsübergreifendes Prozess-Knowhow, Kundenbeziehungsmanagement sowie Kompetenzen, der neuen Flexibilität von Produktion und Logistik zu begegnen (acatech 2016). Zudem kann es zu einem Wandel in der Nachfrage von Berufsgruppen kommen, als dass zukünftig weniger Maschinenbauingenieure gefragt sein werden, sondern der Bedarf an Softwareentwicklern, Systemingenieuren, Big-Data-Analysten und Cloud-Verwaltern steigt (Porter und Heppelmann 2014). An letztgenannten Berufsbezeichnungen zeigt sich, dass im Zuge der Digitalisierung auch ganz neue Berufe entstehen können. Prognosen über die weiteren Auswirkungen der Digitalisierung auf die Berufelandschaft und die Beschäftigten sind schwer zu treffen, da jede weitere (Mikro-)Entscheidung über arbeitsgestalterische Schritte die danach folgenden beeinflusst (vgl. hierzu z. B. Kap. ► „Entwicklung der Beschäftigungsstruktur durch Digitalisierung von Arbeit“ in diesem Band).

2.2 Erfahrungen aus der Computerisierung

Da die unternehmerische Umgestaltung hin zu vernetzten Systemen erst noch an ihrem Beginn steht, fehlen weitgehend gesicherte wissenschaftliche Erfahrungswerte mit neuen, intelligenten und vernetzten Technologien und Verhaltensweisen wie z. B. dem ubiquitären und mobilen Computing oder Social Media in Betrieben, um verlässliche Auskünfte über Entwicklungsperspektiven sowie deren Auswirkungen auf die Unternehmen und die Beschäftigten geben zu können. Aber bereits im Zuge der Computerisierung in den 1980er- und 1990er-Jahren, in der ebenso tief-greifende, unternehmerische Veränderungsprozesse infolge von Technologieeinführungen durchlaufen wurden, sind unter den Leitgedanken der intelligenten Bildschirmarbeitsplätze, papierlosen Büros, menschenleeren Fabriken und Telearbeit Fragen wissenschaftlich diskutiert worden, die auch heute bei der Digitalisierung wieder gestellt werden: Welche strukturellen Anpassungen müssen Unternehmen vornehmen? Wie wirkt sich dies auf die Beschäftigten und ihre qualifikatorischen Berufsanforderungen aus? Wie kann eine Technikeinführung optimal gelingen? Diese vielfältigen Erkenntnisse aus früheren Technologieeinführungen können nun auf die Einführung intelligenter und vernetzter Systeme angewandt werden.

Dieser Ansatz, auf nachweislich erprobte und evaluierte Konzepte zurückzugreifen, steht in Einklang mit dem von Pfeffer und Sutton (2006) vorgeschlagenen Ansatz des „Evidenzbasierten Managements“. Die Autoren plädieren dafür, unternehmerische Entscheidungen an wissenschaftlich fundierten Techniken auszurich-

ten, anstatt sich auf veraltete oder unbewiesene Glaubenssätze der eigenen Disziplin zu verlassen.

Erstmals eingeführt wurde der Arbeitsansatz des „Evidenzbasierten Managements“ in der Medizin, in der sich trotz Verfügbarkeit neuester wissenschaftlicher Forschung vielfach auf allgemeine Glaubenssätze, veraltetes Wissen oder subjektive Erfahrungswerte verlassen wurde. Entsprechend empfehlen Pfeffer und Sutton (2006) vier Strategien zum „Evidenzbasierten Management“: a) der Suche nach belastbaren Daten, an denen das unternehmerische Handeln ausgerichtet werden kann, b) logisches Hinterfragen der dargebotenen Daten und Handlungsempfehlungen, c) Rückbesinnung auf Erfahrungswerte, die im eigenen Unternehmen in der Vergangenheit gesammelt wurden sowie Durchführung von Testprogrammen und Pilotstudien vor Einführung einer neuen Idee im gesamten Unternehmen, und d) Einnahme einer demütigen Haltung gegenüber der neuen Herausforderung, um mit einem offenen Blick auf den Veränderungsbedarf schauen zu können.

Den Überlegungen von Pfeffer und Sutton (2006) folgend werden im nächsten Schritt die evidenzbasierten Lessons Learned aus der Industrie 3.0 anhand der *CAD-Einführung bei Technischen Zeichnern im Konstruktionsbereich* dargestellt. Dieses Anwendungsbeispiel aus dem weiten Feld der Computerisierung wurde gewählt, um die damalige Umsetzung einer technologischen Veränderung nachzuvollziehen.

CAD ist die Abkürzung für „Computer Aided Design“ und umfasst rechnerunterstützte Zeichnungserstellung und weitere EDV-Systeme (Hardware, Betriebs- und Anwendungssoftware), die im Rahmen von Konstruktions- und Entwicklungstätigkeiten eingesetzt (Joseph 1990) und seit Mitte der 1970er-Jahre auf dem Markt angeboten werden (Lay 1992). Nach CAD-Einführung konnten die Tätigkeitsaufgaben technischer Zeichner, die zuvor händisch am Zeichenbrett ausgeführt wurden, nun über den Computer ausgeführt werden. Der Beruf des Technischen Zeichners umfasste spezialisierte Aufgaben aus den Bereichen Entwurfentwicklung, Detailkonstruktion, Zeichnungserstellung und -verwaltung, Dokumentation, technische Berechnungen und Simulationen. Der Hauptvorteil der Computerisierung im Konstruktionsbereich lag in der Speicherfähigkeit der CAD-Systeme, in der einmal erstellte Zeichnungen zu jedem weiteren Zeitpunkt bearbeitet werden konnten sowie in der Darstellung der Zeichnungen in 2D- und 3D-Ansicht (Joseph 1990; Lay 1992).

Das CAD-System bildet einen Baustein des CIM-Modells („Computer Integrated Manufacturing“), der den Zielzustand der Computerisierung, den integrierten Rechnereinsatz im gesamten Auftragsdurchlauf eines Unterneh-

(Fortsetzung)

mens, darstellt. Da die Entwicklung der CIM- bzw. CAD-Technologie noch nicht ausgereift war, wurde in den Unternehmen zunächst mit der Einführung einzelner Technologiebausteine begonnen (Joseph 1990), wie dem hier dargestellten CAD-Einsatz im Konstruktionsbereich.

Lesson Learned #1: Die Ausgestaltung der Einführung neuer Technologien ist variabel und ihre Wirkung auf die Arbeitsorganisation daher auch.

Aus der Technikeinführung der Computerisierung wurde gelernt, dass es nicht nur einen Weg der Technikumsetzung gibt, sondern dass zwischen alternativen Technikversionen und Organisationsformen gewählt werden kann (Hartmann 2009). Entsprechend systematisiert Lay (1992) vier Einführungsmodelle von CAD-Technologien in Unternehmen:

- Im *Schalterbetrieb* bzw. „*Closed Shop*“ waren konventionelle und rechnergesteuerte Arbeitsplätze strikt getrennt. Die mit CAD ausführbaren Aufgaben wurden von den konventionell arbeitenden Technischen Zeichnern an Service-Abteilungen, die aus in CAD-spezialisierten Beschäftigten bestanden, abgegeben.
- Im *dezentralen CAD-Arbeitsplatzbetrieb* blieb zwar wie im Closed Shop die Trennung zwischen CAD- und konventionellen Arbeitsplätzen erhalten, allerdings wurden diese nun dezentral über das Unternehmen verteilt, sodass konventionelle und CAD-Arbeiter zusammen in Abteilungen organisiert waren. Dadurch war die Spezialisierung der CAD-Arbeitsplätze weniger gravierend als bei dem Closed Shop-Design.
- Im *Direktbetrieb* bzw. „*Open Shop*“ konnten alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nach Bedarf zur Aufgabenerledigung das CAD-System einsetzen. Technische Zeichner wurden entsprechend in CAD weitergebildet. Über Belegpläne wurden den Fachabteilungen Nutzungszeiten für die zentral organisierten CAD-Arbeitsplätze zugeteilt.
- Bei der Organisation in *CAD-Zellen* stand wiederum jedem Beschäftigten eine eigene CAD-Station an seinem Arbeitsplatz zur Verfügung. In dieser Form konnte CAD am leichtesten in den bestehenden Arbeitsprozess integriert werden, sicherte Qualifikationen und erhöhte Entscheidungs- und Handlungsspielräume – war dafür aber auch die teuerste Variante.

Die Verbindung aus CAD-Konstruktion und konventioneller, händischer Konstruktion wurde notwendig, da zu Beginn der Einführung die technischen Möglichkeiten noch nicht so weit ausgereift waren, um sämtliche konstruktive Teiltätigkeiten zu unterstützen. In einer Befragung fand Lay (1992), dass 4/5 der befragten Unternehmen eine Variante des Open Shops oder CAD-Zellen implementiert hatten und somit eine Arbeitsform für ihre Beschäftigten bevorzugten, in denen diese eine Mischform aus konventioneller und rechnergestützter Arbeit ausführten. Zudem fand Lay (1992), dass die Unternehmen mit der CAD-Einführung ihre organisationalen Grundkonzepte beibehalten konnten, sie also z. B. nicht von einer schwach

arbeitsteiligen zu einer stark arbeitsteiligen Arbeitsorganisation wechseln mussten. Somit waren zwar strukturelle Anpassungen in Folge der CAD-Einführung notwendig, die Basisorganisation war davon jedoch nicht betroffen.

Lesson Learned #2: Wenn es verschiedene Umsetzungswege der Computerisierung gibt, dann variieren auch die Auswirkungen auf die Tätigkeitsprofile der Beschäftigten.

Die verschiedenen Einführungsformen des CAD-Systems hatten jeweils unterschiedliche Auswirkungen auf die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Es ist anzunehmen, dass das „Closed Shop“ Design, das eine strikte Trennung zwischen Computer- und händischem Zeichenarbeitsplatz bedeutete, von den technischen Zeichnern negativer wahrgenommen wurde als ein „Open Shop“-Ansatz, bei dem das Tätigkeitsprofil der Technischen Zeichner um die EDV-Fertigkeiten erweitert wurde. So werden im „Closed Shop“ angestellte Technische Zeichner eher eine Aufgabenverengung und Kompetenzverluste wahrgenommen haben (vgl. Lay 1992), da sie Aufgaben an die CAD-Service-Abteilungen abgeben mussten und auf deren Ergebnisse angewiesen waren. Lay (1992) fand in seiner Erhebung keine Spezialisierung oder Einengung von Tätigkeitsprofilen Technischer Zeichner, wie dies vor CAD-Einführung befürchtet wurde. Wohl aber habe ein Viertel der Befragten Aufgabenelemente abgegeben bzw. hinzugewonnen, z. B. der Detailkonstruktion, die zuvor den Konstrukteuren vorbehalten war sowie der Sachbearbeitung. Dies verlief allerdings nicht einheitlich für die Berufsgruppe Technischer Zeichner, sondern variierte in Abhängigkeit der gewählten Lösung der Unternehmen. Somit scheint sich das Tätigkeitsprofil technischer Zeichner sogar auf Aufgaben angrenzender Berufsgruppen ausgeweitet zu haben. Lay (1992) folgert zudem, dass nicht generalisiert werden kann, ob die Einführung von CAD mit einer Dequalifizierung oder Entlastung einherging. Er gibt dafür das Beispiel, dass wenn CAD bei einer anspruchsvollen Entwurfsarbeit eingesetzt wurde, die Technischen Zeichner ihre Tätigkeit eher als anspruchsvoller wahrnahmen, da sie schwieriger wurde. Wurde CAD hingegen bei Routinearbeiten eingesetzt, so nahmen sie CAD als Entlastung wahr, denn ihnen wurden lästige Tätigkeiten abgenommen.

Lesson Learned #3: Akzeptanz der neuen Technik kann bestmöglich durch eine transparente Einführung sowie Partizipation und Qualifikation der Beschäftigten erreicht werden.

Akzeptanz einer neuen Technologie führt dazu, dass Beschäftigte sie in ihrem Arbeitsalltag regelmäßig und gerne einsetzen, anstatt sie abzulehnen. Um eine hohe Akzeptanz der CAD-Technologie unter den Beschäftigten zu erreichen, kam in dem von Joseph (1990) begleiteten Unternehmen der Information, der Beteiligung und der Schulung der betreffenden Beschäftigten ein hoher Stellenwert zu. Diejenigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die sich im Veränderungsprozess gut informiert fühlten, wiesen entsprechend höhere Akzeptanzwerte der neuen Technologie gegenüber auf als Personen, die sich nur schlecht informiert fühlten. Ähnlich fielen die Ergebnisse für die Bereiche Partizipation und Weiterbildung aus (Joseph 1990). Darüber hinaus zeigten diejenigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eine höhere Systemakzeptanz, die den CAD-Arbeitsplatz mit keinem anderen Beschäftigten

teilen mussten und diesen an ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz zur Verfügung hatten (Joseph 1990). Diese Erkenntnisse stehen in Einklang mit neuerer Forschung (Regis et al. 2014; Venkatesh et al. 2003), wonach Informationstechnologien dann wahrscheinlicher akzeptiert werden, wenn die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter damit die Erwartung verbinden, dass sie durch die Technologie ihre Arbeitsleistung verbessern, wobei die Bedienung des Systems einfach gestaltet sein sollte. Die Erwartungen der Beschäftigten können durch ein frühzeitiges Aufzeigen von Chancen und Nutzen der neuen Technologie sowie durch an die Bedürfnisse der Beschäftigten angepasste Schulung positiv beeinflusst werden. Darüber hinaus spielt die Verbundenheit der Vorgesetzten mit der Systemeinführung eine große Rolle, da sie die Vision der Technikeinführung an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vermitteln können und angemessene dezentralisierte Unterstützung in Form von z. B. Training on the job oder unternehmensinternen IT-Support organisieren können (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), Venkatesh et al. 2003; Regis et al. 2014).

Joseph (1990) folgert, dass dem Bereich „Betreuung der Beschäftigten bei der Einführung neuer Technologien“ aus Akzeptanzgesichtspunkten die größte Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Dies stellt er in Kontrast zu der gängigen Praxis, in der die Aspekte „Technik“ und „Organisation“ die höchste Aufmerksamkeit erhalten.

Übertragen auf die Entwicklungen im Zuge der Digitalisierung bedeutet dies, dass wiederum Unternehmen angehalten sind, aus der Fülle der technologischen Möglichkeiten die für sie passende technologische Ausstattung zu wählen und umzusetzen. Im Sinne des anfangs genannten soziotechnischen Systemansatzes können durch eine Veränderung der Technologien auch Auswirkungen auf die Organisation und die Beschäftigten des Unternehmens folgen (Ulich 2011). Daher gilt es neben dem Managen der technischen Herausforderungen einer Technologieeinführung, die Wirkungen der Arbeitsplatzveränderungen auf die Beschäftigten im Blick zu behalten und sie durch Training, Partizipation und Anreizsysteme optimal auf die neuen Anforderungen vorzubereiten und für diese zu werben (Rizzuto und Reeves 2007). Dieser Aspekt wird im folgenden Kapitel anhand eines Einführungsprojekts weiter beleuchtet.

3 Praktische Durchführung der Einführung von Technologien

Im Folgenden sollen die wesentlichen, im Umsetzungsprozess einer Einführung intelligenter und vernetzter Systeme zu durchlaufenden Schritte anhand eines Praxisbeispiels erläutert werden.

Entsprechend der Ankündigung in Abschn. 1.3 werden entlang der zeitlichen Strukturierung von Projektphasen die jeweiligen Gestaltungsmöglichkeiten des Change Managements aus psychologischer Perspektive aufgezeigt. Dabei wurde eine Anpassung des Phasenmodells an die Bedürfnisse und Herausforderungen des Change Managements unter Bedingungen der Digitalisierung vorgenommen. Demnach gliedern sich, wie in Abb. 1 dargestellt, die hier dargestellten Phasen des

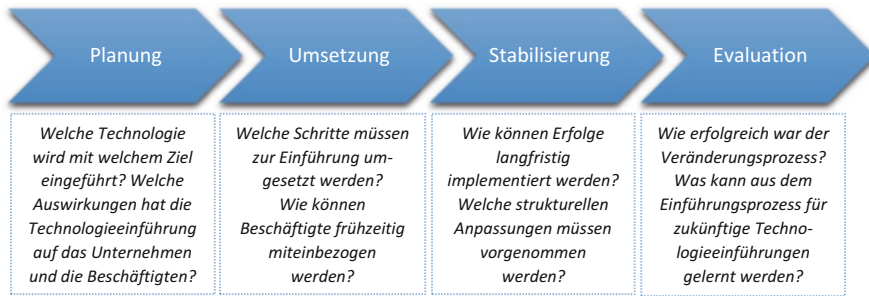


Abb. 1 Phasen des Change Managements in Digitalisierungsprojekten

Change Managements in Digitalisierungsprojekten in Planung, Umsetzung, Stabilisierung und Evaluation.

Das Project Management Institute (PMI 2013) systematisiert den Projektmanagement-Ablauf in fünf Phasen: Initiierung, Planung, Ausführung, Überwachung und Steuerung sowie Abschluss des Projekts. Die klassische Change Management Literatur kann damit in Einklang gebracht werden: Lewin (1963) formuliert den Ablauf von Change-Prozessen als „Unfreezing (Auflockern) – Change (Hinübergleiten) – Refreezing (Verfestigen)“. Die Phase des „Unfreezing“, des Erkennens eines Veränderungsbedarfs und Aufbrechens des aktuellen Zustands, entspricht dabei der Initiierungs- und Planungsphase. Der „Change“ stellt die Ausführungsphase dar und schließlich „Refreezing“, das Verfestigen der veränderten Strukturen auf dem neuen Niveau, entspricht der Stabilisierung und Evaluation der Veränderung.

Die dargestellten Phasen können nicht nur schrittweise, sondern auch iterativ durchlaufen werden, da zu verschiedenen Zeitpunkten im Projekt Herausforderungen früherer Projektphasen wieder zentral werden können (Ford und Ford 1995).

Neben traditionellen Projektmanagement-Strategien, die sich durch eine anfängliche, fixe Projektplanungsphase auszeichnen, werden zunehmend agile Methoden bei der Einführung intelligenter und vernetzter Technologien angewendet, zu dessen bekanntesten Vertretern SCRUM (siehe z. B. Maximini 2013) gehört. Diese begründen sich in der Softwareentwicklung und zielen darauf ab, frühzeitig Produktentwicklungen zu testen, auf eine intensive Kommunikation zu setzen, insbesondere mit den Kunden, sowie flexibel auf Veränderungen reagieren zu können, indem sie den Planungsaufwand gering halten (agiles Manifest: Oesterreich und Weiss 2008). Erste Studien zeigen vielversprechende Erfolge und eröffnen insbesondere für die Einführung intelligenter und vernetzter Systeme interessante Optionen (Serrador und Pinto 2015), stellen aber für komplexe Projekte und große Beteiligtenzahlen eine hohe Koordinierungsherausforderung dar (Dikert et al. 2016). Auch bei dieser Projektform, die auf die Einbeziehung verschiedener Interessengruppen in den Gestaltungsprozess des Projekts setzt, empfiehlt sich eine parallele Einleitung eines Change-Management-Prozesses. In diesem Beitrag wird eine Mischform traditioneller und agiler Methoden, wie sie vom Project Management Institut empfohlen wird, vorgestellt.

Praxisbeispiel

Um den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Produktion Echtzeit-Rückmeldungen über den Maschinenzustand zu ermöglichen und Laufwege zu den festinstallierten Bedienterminals zu reduzieren, führt ein Unternehmen der Möbelindustrie Smart Watches zur Erleichterung der Mensch-Maschine-Interaktion ein. Mittels einer Farb- und Ziffercodierung können dem Beschäftigten so zeitnah und am Handgelenk Störungen und Logistikerfordernisse der Maschinen angezeigt werden. Die notwendigen Informationen werden über die vernetzten Produktionsanlagen automatisch an die Smart Watch gesendet. Nach einem erfolgreichen Testlauf soll die Smart Watch in weiteren Teilen der Produktion implementiert werden.

In der *Planungsphase* des Projekts wurde im Rahmen eines Pilotprojekts die Auswahl der Hard- und Software-Komponenten sowie die Anpassung der Smart Watch Programmierung an die Bedürfnisse des Unternehmens erprobt. Zur Begleitung der Technologieeinführung wurde ein Projektteam aus einem IT-Entwickler, dem Fertigungsleiter, dem Teamleiter des betreffenden Bereichs und dem Maschineneinrichter gebildet. Der Teamleiter informierte die Produktionsmitarbeiterinnen und -mitarbeiter, die von der Technikeinführung betroffen sein würden, in den gemeinsamen Teambesprechungen über das Pilotprojekt. Nachdem so die Rahmenbedingungen des Projekts gestaltet waren, konnte in der *Umsetzungsphase* die tatsächliche Erprobung der Technologie durch die Beschäftigten folgen. Zunächst wurden nur einzelne Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit einer Smart Watch ausgestattet, denn die Nützlichkeit der neuen Technologie sollte im definierten Rahmen eines Pilotprojekts geprüft werden. Der Teamleiter wählte hierfür Beschäftigte aus, die ein hohes Interesse an der Technikeinführung bekundeten und aufgrund ihrer Tätigkeiten und Erfahrungen konstruktive Rückmeldung zu dessen Anwendbarkeit und Verbesserungspotenzial würden geben können. Das Vorgehen des Auswahlverfahrens wurde entsprechend erläutert. Der Pilotierungszeitraum umfasste mehrere Wochen. Um die Smart Watches im Arbeitsalltag tatsächlich einsetzen zu können, mussten in der *Stabilisierungsphase* strukturelle Anpassungen im Unternehmen vorgenommen werden. Dies war zum einen die Schaffung der technischen Infrastruktur. Zum anderen wurde es über die Smart Watches tendenziell möglich, Daten über dessen Träger zu sammeln. Es mussten daher neue Datenschutzbestimmungen mit dem Betriebsrat ausgearbeitet und in Betriebsvereinbarungen niedergeschrieben werden. Die Bedienung der Smart Watch erforderte zudem eine Schulung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, da sie sie aktiv und reibungslos in ihren Arbeitsalltag integrieren sollten. Nach Abschluss der Pilotierung wurde der Einführungsprozess der Smart Watch-Nutzer *evaluiert*. Hierzu wurden die Rückmeldungen der Smart Watch-Nutzer der Pilotierungsphase ausgewertet. So konnten deren Nützlichkeit für das Unternehmen sowie die Bewertung des Einführungsprozesses

(Fortsetzung)

durch die Beschäftigten erhoben werden. Insgesamt wurde die Smart Watch von den Beschäftigten als Arbeitserleichterung erlebt. Je unübersichtlicher die Produktionsanlagen gestaltet waren, desto nützlicher wurde die Smart Watch im Arbeitseinsatz von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Produktion bewertet. Des Weiteren konnten Gehwege der Beschäftigten eingespart und Maschinenstörungen schneller erkannt und behoben werden. Diese dokumentierten Erkenntnisse können für weitere Verbesserungen an den Smart Watches sowie für nachfolgende Technologieeinführungen genutzt werden.

3.1 Phase 1 – Planung

In der Initiierungs- und Planungsphase eines Veränderungsprojekts wird die Entscheidung für eine Einführung intelligenter und vernetzter Technologien, anhand verschiedener Einführungsalternativen, vom Management getroffen. Diese Entscheidung wird auf Basis der Vision dessen formuliert, was mit der Technikeinführung erreicht werden soll. Dies wird idealerweise im Projektauftrag notiert und damit die Führungsgruppe des Change-Prozesses formal autorisiert, die Veränderung einzuführen. Weitere Planungsschritte betreffen den Umgang mit den Projekt-Stakeholdern, also den von der Durchführung des Projekts betroffenen internen und externen Personen und Organisationen, sowie die Planung der Informationsvermittlung des Wandels an die Beschäftigten (Meyer und Reher 2016).

Die *Vision* beschreibt den Zielzustand dessen, was mit der Veränderung erreicht werden soll. In der Digitalisierung kann dies die Konkretisierung der Umsetzung des Einsatzes intelligenter und vernetzter Systeme im Unternehmen sowie dessen Verbesserungspotenzial darstellen. Wesentlich ist, dass die Geschäftsleitung die jeweiligen Chancen und Risiken der Technikeinführung abwägt und klar formuliert, damit diese überzeugend an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter weitergetragen werden kann.

Kotter (1996) formulierte sechs Faktoren, die eine effektive Vision charakterisieren:

- Die Vision erzeugt ein Bild des Zielzustands in der Vorstellung des Zuhörers
- Die Vision erzeugt den Wunsch beim Zuhörer, den Zielzustand anstreben zu wollen, auch über einen längeren Zeitraum hinweg
- Die Vision enthält realistische, erreichbare Zwischenschritte
- Die Vision ist eindeutig genug, um auch in Entscheidungsprozessen als Richtwert zu dienen

(Fortsetzung)

- Die Vision ist allgemein genug, um individuelle Initiative und alternative Zielerreichungswege zu erlauben
- Die Vision ist einfach zu kommunizieren und in weniger als fünf Minuten erklärbar

Nach Vorliegen der Vision der Veränderung können die *Stakeholder* – die von der Veränderung betroffenen Beschäftigten im Unternehmen sowie weitere interne und externe Interessengruppen – identifiziert werden. Ihre Perspektive zum Veränderungsprozess kann eine wichtige Informationsquelle für die strategische Planung des Change Managements sein (Schelle et al. 2007). Zu beachten ist, dass die verschiedenen Interessengruppen auch sich widersprechende Einstellungen zum Veränderungsprozess haben können (PMI 2013).

Externe Stakeholder können z. B. Zulieferer, Banken, Regierungsvertreter, Kunden und Netzwerkpartner sein (Cawsey et al. 2016). Interne Stakeholder sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Unternehmens, die direkt, aber auch indirekt durch die Veränderungsprozesse betroffen sind (vgl. Schelle et al. 2007).

Die Analyse der Stakeholder ist während des gesamten Veränderungsprozesses eine wiederkehrende Aufgabe, denn bei Fortschreiten des Wandels können weitere Personengruppen von den Veränderungsprozessen betroffen werden, die zunächst nicht bedacht worden sind. Beispielsweise können die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die zukünftig mit der neuen Technologie arbeiten werden und deren Tätigkeitsinhalte sich möglicherweise ändern, zu den Stakeholdern gehören (vgl. Erfahrungen der Computerisierung, Abschn. 2.2). Das stetige Balancieren der Ansprüche, Bedürfnisse, Sorgen und Erwartungen der verschiedenen Interessengruppen ist zentral für den Erfolg des Projekts. Eine Nicht-Beachtung kann das Scheitern des Veränderungsprozesses bedeuten oder zumindest hohe Kosten verursachen (PMI 2013).

Kommunikation stellt dabei das Medium dar, durch das die Veränderungsvision ins Unternehmen getragen wird (Ford und Ford 1995). Veränderungen können mit unterschiedlich weitreichenden Konsequenzen für die Beschäftigten verbunden sein. Das Project Management Institut (2013) rät, die Informationsadressaten anhand einer Stakeholder-Liste zu identifizieren und jeder Interessengruppe nur die Informationen zukommen zu lassen, derer sie in der jeweiligen Situation bedürfen. Zudem ist eine transparente und möglichst frühzeitige Information der Unternehmensangehörigen über die Konsequenzen der Digitalisierung empfehlenswert. Die Aspekte der Kommunikation und Visionsvermittlung an die Beschäftigten steht wiederum in Einklang mit den Erfahrungen der Computerisierung: Ein hohes Maß an Transparenz im Einführungsprozess schafft eine Basis zur Akzeptanz der Technologie und deren strukturellen Veränderungen durch die Beschäftigten (vgl. Abschn. 2.2).

Zur Verbreitung der Vision kann eine Vielzahl an Kanälen verwendet werden: die Unternehmenszeitung kann Beiträge veröffentlichen, Management Meetings und Betriebsversammlungen können als Plattform genutzt werden, eine Vielzahl an

Beschäftigten zu erreichen und zum Diskussionsaustausch über die Veränderung anzuregen, die Personalentwicklung kann ihr Seminarangebot auf die zukünftigen tätigkeitsbezogenen Herausforderungen nach der Digitalisierung anpassen (Kotter 1995). Die Informationen, die verbreitet werden sollen, können in jeder Projektphase unterschiedlich sein. In der Planungsphase geht es um die Vermittlung des Veränderungsbedarfs sowie um den Erhalt einer ersten Zustimmung der Beschäftigten hierzu. Im Umsetzungsprozess können Anpassungen des Change-Prozesses sowie erreichte Meilensteine kommuniziert werden. Nach Abschluss der Veränderung sollten die Projekterfolge gefeiert werden (Cawsey et al. 2016). Kotter (1995) warnt, dass Unternehmensleitungen ihr Veränderungsvorhaben oftmals nicht ausreichend kommunizieren, weil sie unterschätzen, wie schwierig es werden kann, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von den Veränderungsplänen zu überzeugen. Ford und Ford (1995) ergänzen, dass zwar häufig die Vision den Beschäftigten erfolgreich vermittelt werden kann, sich daraus aber noch nicht ergibt, dass diese auch wissen, wie sie diese umsetzen sollen. Die vermittelten Inhalte sollten daher genau abgewogen werden.

Um den Veränderungsbedarf konsistent an die Betroffenen vermitteln zu können statt widersprechender Informationen zu kommunizieren, sollte eine *starke Führungsgruppe*, bestehend aus z. B. Geschäftsleitung, Abteilungsleitung und Betriebsrat, gebildet werden, die sich über die Veröffentlichung von Informationen sowie Umsetzungsschritte des Veränderungsprozesses berät (Kotter 1996). Hierzu gehört auch die Festlegung von Verantwortlichkeiten im Team (Meyer und Reher 2016).

Schließlich können in einem Zeitplan die wesentlichen, zur Zielerreichung notwendigen Schritte sowie Meilensteine eines Einführungsprojekts intelligenter und vernetzter Technologien verortet werden (PMI 2013). Zusätzlich können auch Zeit- und Budgetzuordnung sowie die Kommunikationsschritte mit den Interessengruppen eingeordnet werden. Auch die Erstellung des Zeitplans für den Technologieeinführungsprozess ist ein iterativer Prozess und muss stetig den veränderten Gegebenheiten des Veränderungsprozesses angepasst werden (PMI 2013). Zunächst werden dabei die Beginn- und Endzeiten von Abschnittstätigkeiten sowie Meilensteine festgelegt. Anschließend werden die Verantwortlichkeiten an der Schritterfüllung an das Führungsteam verteilt und die Kommunikation mit den Beschäftigten koordiniert. Gegebenenfalls kann vorab in einer Pilotphase eine Technologieeinführung im kleinen Rahmen „erprobt“ werden, um wichtige Erkenntnisse zur Einführung im Veränderungsprozess zu erhalten (PMI 2013; vgl. Cawsey et al. 2016).

Es gibt verschiedene Ausführungsvarianten des Zeitplans. Ein Beispiel ist in Abb. 2 zu finden.

3.2 Phase 2 – Umsetzung

In der Umsetzungsphase eines Veränderungsprozesses stehen insbesondere Steuerungstätigkeiten im Fokus, die helfen, eine reibungslose Umsetzung zu gewährleisten. Die jeweils individuellen Ausführungsschritte entlang des Zeitplans zur Einführung intelligenter und vernetzter Systeme im Unternehmen werden nun durchgeführt. Um

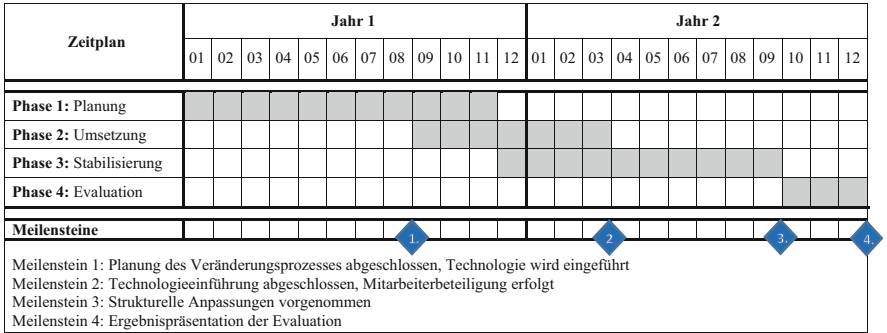


Abb. 2 Zeitplan eines Einführungsprojekts intelligenter und vernetzter Technologien

die Akzeptanz der eingeführten Technik zu fördern, sollten die betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den Veränderungsprozess einbezogen werden. Dennoch kann Widerstand gegen die neue Technik entstehen.

Für die Durchführung eines Change-Prozesses empfiehlt sich die Partizipation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an den Veränderungsprozessen. Noch gibt es nur wenige Erkenntnisse zu Partizipation in Veränderungsprozessen. Aus der Forschung zu Partizipation an Unternehmensentscheidungen wurde die Erkenntnis gewonnen, dass durch die Partizipation der Beteiligten u. a. Zufriedenheit, Bindung an das Unternehmen und Leistung gesteigert werden können (Pereira und Osburn 2007). Dieser Zusammenhang wird unter anderem durch ein Gefühl von Kontrolle, dass Beschäftigte durch die Beteiligung in ihrer Arbeit erleben, vermittelt (Spector 1986). Die Erfahrungen der Computerisierung (vgl. Abschn. 2.2) ergänzen dies: Es zeigte sich, dass Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die die Veränderungen selbst mitgestalten konnten, diese auch eher akzeptierten und mit Leben füllten. Zudem können die beteiligten Beschäftigten des Unternehmens neue Ideen in den Veränderungsprozess einbringen (Cawsey et al. 2016).

Neben der Mitarbeit in einer Führungsgruppe (vgl. Abschn. 3.1) gibt es weitere Wege, die Betroffenen der Veränderungsprozesse an der Change-Gestaltung teilhaben zu lassen: Sie können in Workshops und Zirkelarbeit Umsetzungsideen der Technikeinführung formulieren, in Diskussionen bei Betriebsversammlungen zu Wort kommen, zu ihren Wünschen bezüglich des Veränderungsprozesses befragt werden, einen Ansprechpartner bei Fragen und Sorgen zum Wandel zur Verfügung gestellt bekommen. Mit dem Ansatz des Partizipativen Produktivitätsmanagement (PPM, Kleinbeck 2008) lässt sich eine innovationsfreundliche Zusammenarbeit im Team gestalten.

Partizipatives Produktivitätsmanagement (PPM)
Das PPM ist eine arbeitsstrukturelle Maßnahme zum Management der Produktivität in Teams, bei der durch eine gruppeninterne Definition von Zielvereinbarungen sowie Leistungsbewertungen eine Steigerung der Mitarbeitermo-

(Fortsetzung)

tivation und Zielbindung erreicht werden soll. Der Prozess gliedert sich in drei Phasen:

- Zunächst werden Aufgaben beschrieben, die in das Verantwortungsfeld des Teams fallen.
- Anschließend werden Indikatoren für eine erfolgreiche Aufgabenerfüllung gesucht und gemeinsam Bewertungskurven für die Indikatorwerte definiert.
- Schließlich erfolgen in regelmäßigen Zeitintervallen Rückmeldungen zu den Produktivitätswerten des Team sowie eine Anpassung der Ziele der Abteilung.

In Studien konnte die produktivitätssteigernde Wirkung des PPM belegt werden (Kleinbeck 2008; Prichard et al. 2008). Im Zuge der Digitalisierung bietet das PPM viele Möglichkeiten, teamintern Abteilungsziele neu zu diskutieren und darüber eine Bindung des Teams an diese Ziele zu erreichen (zum Weiterlesen: Kleinbeck 2008; Prichard et al. 2008).

Wenn der gewohnte Rhythmus der Arbeit im Unternehmen verändert wird und die Konsequenzen dieses Wandels nicht vollständig ersichtlich sind, empfinden die betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter häufig Unsicherheit (Cawsey et al. 2016). Menschen reagieren unterschiedlich auf diese Ungewissheit – während einige Beschäftigte sich zuversichtlich auf die neuen Möglichkeiten freuen, die ihnen die Einführung der digitalisierten Technik bietet, entwickeln andere Skepsis gegenüber dem Wandel und möchten das Gewohnte beibehalten. Hieraus kann sich *Widerstand* gegen die Veränderung entwickeln. Dieses ambivalente Gefühl dem Wandel gegenüber kann entstehen, wenn sich die Betroffenen machtlos gegenüber der Veränderungssituation fühlen oder die wahrgenommenen Kosten der Veränderung dessen Nutzen zu übersteigen scheinen, z. B. wenn sie den Verlust des Jobs oder ihrer Stellung im Unternehmen fürchten (Cawsey et al. 2016; Oreg 2006). Widerstand umfasst eine affektive Komponente (Gefühle gegenüber der Veränderung, z. B. Angst, Nervosität), eine kognitive Komponente (Gedanken, z. B. ob die Veränderung notwendig ist) und eine Verhaltenskomponente, wie eine Person auf die Veränderung reagiert (z. B. Beschwerden) (Oreg 2006). Um ambivalenten Gefühlen und Widerstand zu begegnen, empfehlen Cawsey et al. (2016) die Befürchtungen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Gespräch zu adressieren und ihre Ursachen zu ergründen. Diese können in Unerfahrenheit oder schlechten Erfahrungen mit früheren Change-Prozessen verankert sein. Georgalis et al. (2015) belegten zudem, dass durch die faire Vermittlung von Informationen über den Veränderungsprozess Widerstand verringert werden kann. Denn dieses Verhalten signalisiert den Beschäftigten, dass die Unternehmensführung ihre Sorgen und Befürchtungen ernst nimmt, wodurch sie sich respektiert fühlen und der Unternehmensleitung mehr Vertrauen entgegenbringen. Dieses Vorgehen steht im Einklang mit Befunden von Oreg

(2006), nachdem das Vertrauen in das Management positive Effekte auf alle drei o. g. Komponenten von Widerstand hat. Zu beachten ist dabei, dass die Befürchtungen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aber auch eine wichtige Informationsquelle sein können, wenn sie nämlich auf eine konkrete Fehlstellung im Veränderungsprozess hinweisen, die behoben werden muss.

3.3 Phase 3 – Stabilisierung

Die Stabilisierungsphase wird im Projektmanagement nicht besprochen; im Change Management, das sich als das Aufbrechen und Erneuern alter Strukturen im Unternehmen versteht (vgl. Lewin 1963), spielt sie eine zentrale Rolle (Huse 1980). Denn die neuen Techniken und Arbeitsweisen im Umgang mit der neuen Technologie müssen im Unternehmen fest verankert und für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ausführbar gemacht werden, damit diese gelebt werden und nicht mehr zum alten Zustand zurückgekehrt wird. Hierbei sind insbesondere die Schaffung entsprechender Strukturen im Unternehmen sowie die Qualifikation der Beschäftigten auf die erweiterten Anforderungen zentral.

Für eine langfristige Stabilisierung der Veränderungen im Unternehmen müssen *Strukturen geschaffen* werden, die diese Veränderungen dauerhaft für die Beschäftigten ausfüllbar machen (Kotter 1995). Wie in Abschn. 2.2 anhand der Erfahrungen der Computerisierung beschrieben, können Veränderungsprozesse mit einer Aufgaben-, Qualifizierungs- und Anspruchsverschiebung der Tätigkeitsbereiche der Beschäftigten verbunden sein. Daher müssen Stellenbeschreibungen um neue Aufgabeninhalte in der Nutzung intelligenter und vernetzter Systeme erweitert werden und Leistungsbeurteilungen- sowie Entlohnungssysteme den neuen Verantwortungsbereichen entsprechen, wenn zusätzlich zu produzierenden Tätigkeit solche der Datenauswertung und -kontrolle hinzukommen bzw. durch Übernahme durch Systeme Routineaufgaben, wie z. B. die Materialbestellung, entfallen können. Gegebenenfalls muss auch Führungskräften, die den alten Traditionen verhaftet bleiben und die Neuerungen nicht mittragen können, ein anderer Aufgabenbereich zugewiesen werden (Kotter 1995). Zusätzlich können die alten Handlungskompetenzen und Entscheidungsbefugnisse der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für die neuen Aufgaben nicht mehr ausreichend sein, denn wenn z. B. Beschäftigte der Produktion zukünftig über Datenbrillen Maschinen warten können sollen, benötigen sie auch die Befugnis, Änderungen an den Maschinen vornehmen zu dürfen. Werden diese strukturellen Anpassungen im Unternehmen nicht übernommen, kann der Change-Prozess selbst in dieser späten Phase noch scheitern (Kotter 1995).

Ein wichtiger Baustein in der langfristigen Stabilisierung der Veränderungserfolge ist die *Qualifizierung* der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für die neuen Rollenanforderungen. Denn solange die Neuerungen noch unbequem sind, wie z. B. eine Nutzung fahrerloser Transportsysteme, fällt ein Rückfall in die alten Strukturen, wie die Nutzung von Hubwagen, leicht. Hier ist Geduld gefordert: Das Erlernen der neuen Qualifikationen und das sichere Einbringen dieser kann je nach

Komplexität bis zu Wochen und Monate dauern. Auch die informelle Zusammenarbeit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter muss sich zunächst um die neue Technologie neu organisieren (Anderson 2015).

3.4 Phase 4 – Evaluation

In der Abschlussphase eines Veränderungsprozesses wird der Wandel durch die Einführung intelligenter und vernetzter Technologie für beendet erklärt. In diesem Rahmen fallen Aufgaben zur Reflexion des Veränderungsgeschehens, die Würdigung der Leistungen der Mitwirkenden sowie die Messung und Archivierung der Ergebnisse in Form von Evaluation an (Meyer und Reher 2016). Evaluation spielt zum einen eine wichtige Rolle, um den Fortschritt der Digitalisierung abzubilden und bereits während des Veränderungsprozesses Abweichungen vom Zeitplan zu erkennen und Gegenmaßnahmen zu ergreifen bzw. diesen zu optimieren. Nach Abschluss des Veränderungsprozesses können zum anderen dessen Kennzahlen überprüft und Erfolge bewertet werden (z. B. Cawsey et al. 2016).

Werden die zu erfassenden Kennzahlen bereits zu Beginn des Veränderungsprozesses benannt, kann man einen Effekt für sich nutzbar machen, dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter den konkreten, in den Kennzahlen enthaltenen Zielen mehr Beachtung schenken, wenn sie wissen, dass diese erhoben werden (Cawsey et al. 2016). Zudem kann auf diesem Wege die Vision des Zielzustands nach der Digitalisierung bereits in konkret umsetzbare Arbeitspakete übersetzt werden. Welche Faktoren in einem Change-Prozess sinnvoll gemessen werden können, hängt dabei stark von der Art der Technikeinführung ab. Denkbar sind eine Vielzahl an harten Fakten, wie Maschinenauslastung, Störfallanzahl, Wartezeit, Profitabilität und Kosten (vgl. Cawsey et al. 2016). Anderson (2015) unterscheidet zwischen der Messung von Prozessvariablen und Ergebnisvariablen. Im Prozess kann die Messung von Motivation, Zufriedenheit, Konfliktlösung, Entscheidungsprozessen, Partizipation und Vertrauen sowie Qualifikationsanforderungen und Arbeits- und Anforderungsgestaltungsvariablen sinnvolle Hilfestellungen liefern, um den Zeitplan anzupassen. Im Nachgang des Change-Prozesses können Ergebnisvariablen wie Produktionssteigerung, Kundenzufriedenheit, Qualitätssteigerung, Kostensenkung sowie Mitarbeiterzufriedenheit den Erfolg des Change-Prozesses bewerten helfen. Bei der Wahl der Variablen zur Messung der Güte des Change-Prozesses ist schließlich darauf zu achten, dass die Beschäftigten die eingesetzten Kontrollen als relevant und fair ansehen, damit sie sie akzeptieren (Cawsey et al. 2016). So kann z. B. eine datentechnische Messung der genauen Arbeitsausführung der Beschäftigten von diesen als Überwachung wahrgenommen werden.

Der Messung dieser Kennzahlen steht dabei eine Vielzahl von Techniken zur Verfügung. Diese reichen in ihrer Komplexität bis hin zur Auswertung mittels Trend- und Varianzanalysen erhobener Erfolgskennzahlen (vgl. PMI 2013). Im Folgenden soll mit dem *Goal Attainment Scaling* (GAS) eine anwendungsfreundliche und in der Organisationsentwicklung erprobte Methode der Evaluation vorgestellt werden.

Das GAS wurde ursprünglich für die Erhebung eines psychotherapeutischen Therapieerfolgs entwickelt, findet heute aber zur Evaluation jeglicher Veränderungsmaßnahmen Anwendung (Smith 1994). Im Gegensatz zu gängigen Evaluationsbefragungen mit vorformulierten Items, erfordert das GAS zu Beginn des Veränderungsprozesses die Bildung individueller Bewertungsabstufungen (Rating-Skalen), die auf die vor dem Change-Projekt identifizierten Problembereiche abzielen (Smith 1994). So ist es möglich, in der Evaluation tatsächlich die individuellen Fragestellungen des konkreten Veränderungsprozesses zu adressieren, unwichtige Aspekte auszulassen und spezifische, in üblichen Erhebungen ausgelassene Themengebiete zu adressieren.

Zur Festlegung der Skalen empfiehlt Smith (1994) ein schrittweises Vorgehen. Die folgende Systematisierung wurde an die Bedingungen eines Veränderungsprozesses angepasst:

1. *Identifikation der Zielthemen des Veränderungsprozesses*: Ein Unternehmen kann zu Beginn eines Veränderungsprozesses einer Vielzahl an Herausforderungen gegenüberstehen. Es sollten allerdings nur für solche Zielthemen GAS-Skalen formuliert werden, die im Veränderungsprozess tatsächlich verändert werden.
2. *Übersetzung eines Zielthemas in mindestens drei Ziele*: GAS ist ein affirmatives Vorgehen. Zu Beginn des Veränderungsprozesses wird daher definiert, welche Ziele mit dem Change-Prozess erreicht werden sollen. Der Wahl der Ziele sind keine Restriktionen gesetzt (z. B. können sie Verhaltens-, kognitive oder affektive Ziele sein), sie müssen im Nachgang des Veränderungsprozesses aber erhoben werden können.
3. *Jedem Ziel wird ein Titel zugeordnet*: Der Titel fasst den Inhalt des Ziels prägnant zusammen, z. B. „Akzeptanz digitalisierter Technik“
4. *Auswahl eines Indikators für jedes Ziel*: Ein Indikator kann ein gezeigtes Verhalten, Fähigkeit, Gemütszustand oder Prozess sein, an dem der Fortschritt in der Zielerreichung abgelesen werden kann. Bei dem Ziel „Akzeptanz digitalisierter Technik“ kann dies z. B. die Häufigkeit sein, mit der Beschäftigte die neue Technik anwenden.
5. *Spezifizierung des erwarteten Zielerreichungsgrads*: In Abhängigkeit des Beobachtungszeitraums und der zur Verfügung stehenden Ressourcen im Unternehmen wird der Grad der Zielerreichung nach Beendigung der Veränderungsmaßnahme eingeschätzt. Dies kann ausgedrückt werden als Zahlenwert (z. B. Prozentangabe, Häufigkeit des gezeigten Verhaltens), als Einschätzung (z. B. seltenere Störfälle als zuvor) oder als Range von Werten (z. B. 40–60 % weniger Störfälle).
6. *Spezifizierung der Abstufungslevels des Zielverhaltens*: Anhand des definierten Zielverhaltens werden die jeweils zwei optimaleren und schlechteren Abstufungen dieses Verhaltens formuliert. Diese müssen ebenso realistisch erreichbar sein wie das Zielverhalten. In dem Beispiel „Akzeptanz digitalisierter Technik“ können dies z. B. „Technik wird von einigen/allen Beschäftigten abgelehnt“, und „Technik wird von wenigen/allen Beschäftigten akzeptiert“ sein.

Tab. 1 Messung der Zielerreichungsgrade zur Evaluation eines Veränderungsprozesses (in Anlehnung an Cardillo und Choate 1994)

Zielerreichungsgrad	Skala 1: Einführung digitalisierter Technologie	Skala 2: Qualifikation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	Skala 3: Akzeptanz der neuen Technologien
Viel weniger als erwartet –2	Das Assistenzsystem ist sehr störanfällig	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind nicht geschult, erreichen kaum Punkte in Wissenstest	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter lehnen neue Technologien ab
Etwas weniger als erwartet –1	Das Assistenzsystem ist störanfällig	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind kaum geschult, erreichen wenige Punkte in Wissenstest	Mitarbeiterakzeptanz ist gering
Erwartetes Level 0	Das Assistenzsystem läuft weitgehend störungsfrei	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind ausreichend auf veränderte Aufgaben geschult, erreichen durchschnittliche Punkte in Wissenstest	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter akzeptieren neue Technologien weitgehend
Etwas mehr als erwartet +1	Das Assistenzsystem läuft überwiegend störungsfrei	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind gut geschult, erreichen hohe Punkte in Wissenstest	Mitarbeiterakzeptanz ist hoch
Viel mehr als erwartet +2	Das Assistenzsystem läuft immer störungsfrei	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind optimal geschult, erreichen sehr hohe Punkte in Wissenstest	Mitarbeiterakzeptanz ist sehr hoch
KOMMENTARE			

In Tab. 1 wird ein fiktives Beispiel der Technologieeinführung eines intelligenten technischen Assistenzsystems, das die Beschäftigten bei der Kommissionierung von Kleinteilen unterstützt, vorgestellt.

Um die Motivation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Umsetzung des Veränderungsprozesses hoch zu halten, sollten regelmäßig Fortschritte und Projekterfolge kommuniziert werden. Hierzu können auch Zwischenziele formuliert werden, die in kürzeren Zeitintervallen zu erreichen sind, deren Erfolg für die Beschäftigten ersichtlich ist, die sie von der Sinnhaftigkeit und Dringlichkeit des Change-Vorhabens überzeugen und für deren Leistung zur Erreichung dieses Ziels sie entsprechend belohnt werden können (Kotter 1995). Ebenso dienen diese Feedbacks dazu, die Leistung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Voranbringen des Projekts wertzuschätzen (Ford und Ford 1995).

Abb. 3 fasst die Umsetzungsschritte zur Einführung intelligenter und vernetzter Systeme in einer Checkliste zusammen.

Checkliste zur Durchführung des Change Managements in Digitalisierungsprojekten**Phase 1: Einführung**

- ☒ Mögliche Alternativen einer Technologieeinführung sowie jeweilige Konsequenzen auf Organisationsstrukturen und Beschäftigte wurden erwägt
- ☒ Die Technologieeinführung ist mit der Erreichung klar umrissener Ziele verbunden
- ☒ Die Ziele der Technologieeinführung können in wenigen Worten als Vision wiedergegeben werden
- ☒ Die Vision kann einer großen Anzahl an Personen anschaulich vermittelt werden
- ☒ Eine Leistungsgruppe wurde gebildet, die die Technologieeinführung hinsichtlich Umsetzung und Information der Beschäftigten begleitet
- ☒ Mögliche Stakeholder an der Veränderung wurden identifiziert
- ☒ Die Einbeziehung der Stakeholder wurde entsprechend ihres Informationsbedarfs geplant
- ☒ Ein Zeitplan für die Technologieeinführung wurde erstellt

Phase 2: Umsetzung

- ☒ Ein Kommunikationskonzept wurde erstellt, wann welche Information an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gegeben werden soll
- ☒ Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter können an der Technologieeinführung partizipieren
- ☒ Auf Widerstand gegen die Technologieeinführung wurde vorbereitet, damit entsprechend reagiert werden kann

Phase 3: Stabilisierung

- ☒ Personalentwicklungskonzepte wurden für neue Qualifizierungsbedarfe nach der Technologieeinführung angepasst
- ☒ Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit Qualifizierungsbedarf wurden identifiziert und werden weitergebildet
- ☒ Notwendige strukturelle Anpassungen durch die Technologieeinführung wurden identifiziert und umgesetzt (Organisationsentwicklung)

Phase 4: Evaluation

- ☒ Zu Beginn des Veränderungsprojektes wird geplant, wie der Change-Prozess evaluiert werden soll und welche Daten hierzu erhoben werden müssen
- ☒ Nach Durchführung der Evaluation werden die Ergebnisse anschaulich aufbereitet
- ☒ Die Ergebnisse der Evaluation stehen als Informationsbasis späteren Technologieeinführungsprozessen zur Verfügung

Abb. 3 Checkliste zur Durchführung des Change Managements in Digitalisierungsprojekten

4 Erfolgsfaktoren des Change Managements

Im Abschn. 3 wurden die verschiedenen Gestaltungsinstrumente des Change Managements entlang der zeitlichen Struktur eines Technologieeinführungsprozesses demonstriert. Viele dieser Maßnahmen haben die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die von der Veränderung betroffen sein werden, zum Adressaten. Ziel ist es vielfach, die Bereitschaft zu Veränderungen sowie Akzeptanz der neu eingeführten Techno-

logie zu fördern. Im folgenden Abschnitt sollen nun die in der Forschung diskutierten, zugrunde liegenden Prozesse, im Weiteren als Erfolgsfaktoren des Change Managements bezeichnet, vorgestellt werden.

Die Literatur zu Erfolgsfaktoren des Change Managements ist weit gefächert und verschiedene moderierende Faktoren und Wirkungszusammenhänge werden diskutiert. Im Folgenden wird ein vereinfachtes, zusammenfassendes Modell vorgestellt, aus dem Handlungsempfehlungen für die Gestaltung eines Veränderungsprojekts abgeleitet werden können.

In der Forschungsliteratur werden die Konstrukte Offenheit für Veränderung (Choi 2011), Bereitschaft zur Veränderung (Rafferty et al. 2012), Bindung an die Umsetzung der Veränderung (Jaros 2010) und Zynismus bzgl. der Veränderung (Thundiyl et al. 2015) als Attribute von Unternehmensbeschäftigten beschrieben, die beeinflussen, ob die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter einen Veränderungsprozess akzeptieren und umsetzen werden. Offenheit für Veränderungen beschreibt die Fähigkeit einer Person, kognitiv und verhaltensflexibel auf neue Situationen zu reagieren (Digman 1990, zitiert nach Choi 2011). Die Bereitschaft für Veränderungen ist definiert als der Glaube, dass der Wandel notwendig ist und dass die Person sowie das Unternehmen über die Kompetenzen verfügen, diesem zu begegnen (Armenakis et al. 1993, zitiert nach Rafferty et al. 2012). Commitment bezeichnet einen Zustand, in dem ein Mitarbeiter oder eine Mitarbeiterin von der Veränderungsstrategie und den dafür notwendigen Schritten überzeugt sowie gewillt und befähigt ist, diese umzusetzen (Herscovitch und Meyer 2002, zitiert nach Choi 2011; Jaros 2010). Zynismus hingegen wird definiert als negatives evaluatives Einstellungsurteil über die Veränderungssituation, die häufig in der Erfahrung des Betreffenden begründet liegt und zu Pessimismus über den Veränderungserfolg und ein Infragestellen der vom Management postulierten Motive führt (Cole et al. 2006, zitiert nach Choi 2011; Thundiyl et al. 2015). Die Bedeutung dieser vier Einstellungsurteile für die erfolgreiche Implementierung eines Veränderungsprozesses wurde in einer Vielzahl an Studien und Metaanalysen nachgewiesen (Jaros 2010; Rafferty et al. 2012; Thundiyl et al. 2015). Zwischen den Einstellungen Bereitschaft und Commitment und den Ergebnisvariablen gesteigerte Akzeptanz der Veränderung, höhere Arbeitsleistung, Kooperation und veränderungsunterstützende Verhaltensweisen, Engagement und Arbeitszufriedenheit sowie verringerte Kündigungsabsicht konnte ein positiver Zusammenhang nachgewiesen werden (Choi 2011; Jaros 2010; Rafferty et al. 2012). Entsprechend geht Zynismus einher mit verringerter Bindung an das Unternehmen und Unterstützung des Veränderungsprozesses, emotionaler Ermüdung, schlechterer Aufgabenerledigung und verringerter Arbeitszufriedenheit. Betroffene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erleben ein Gefühl des Misstrauens sowie unfair behandelt worden zu sein und zeigen häufiger kontraproduktives Verhalten und Kündigungsabsichten (Choi 2011; Thundiyl et al. 2015). Ferner wird diskutiert, ob Offenheit für Veränderungen eine notwendige Vorbedingung für die Bereitschaft zu Veränderungen darstellt (Choi 2011). Die weiteren Zusammenhänge von Offenheit und Bereitschaft mit Commitment und Zynismus sind noch nicht geklärt. Die vier Komponenten werden nicht nur als unveränderliche Persönlichkeitseigenschaft der betreffenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ange-

sehen, sondern als situationsgebundene Einstellungsausprägung gegenüber der jeweiligen Veränderungssituation. Vieles spricht für eine anteilige Bedeutung beider Aspekte. In der Analyse der Vorbedingungen (Antezedenzen) der Konstrukte konnte ein Zusammenhang zwischen Persönlichkeitsmerkmalen wie Selbstwirksamkeit und dem selbst eingeschätzten Ausmaß der wahrgenommenen eigenen Kompetenzen und Kontrolle mit dem Konstrukt nachgewiesen werden. Als weitere Antezedenzen der vier Konstrukte konnten des Weiteren Situationsvariablen wie die bisherigen Erfahrungen einer Person mit Veränderungsprozessen, ihr Grad an Informiertheit, Partizipation und wahrgenommener Unterstützung in der Veränderungssituation, die wahrgenommene organisationale Gerechtigkeit des Veränderungsprozesses sowie dessen Passung mit der Unternehmensvision, der Umfang und die Tiefe der Veränderung sowie das Vertrauen in die Führungskraft und Kolleginnen und Kollegen als Wirkfaktoren identifiziert werden (Choi 2011; Jaros 2010; Rafferty et al. 2012; Thundiyl et al. 2015). In der neueren Forschung wird zudem die unterschiedliche Wirkung der Faktoren auf Personen-, Gruppen- und Organisationsebene untersucht. In Abb. 4 werden die Wirkungszusammenhänge der Erfolgsfaktoren dargestellt.

Um die vier Erfolgsfaktoren im Einführungsprozess intelligenter und vernetzter Technologien nun zu optimieren, muss man an deren Vorbedingungen, den Antezedenzen, ansetzen. Anhand des Modells können die Antezedenzen der vier Erfolgsfaktoren identifiziert werden, über die die genannten Konstrukte unternehmensseitig positiv beeinflusst werden können. Im Folgenden werden exemplarisch die Zusammenhänge von organisationaler Gerechtigkeit und transformationaler Führung auf das Einstellungskonstrukt Commitment to Change vorgestellt, da hierzu die größte Publikationsdichte vorliegt. Basierend darauf werden Handlungsempfehlungen abgeleitet.

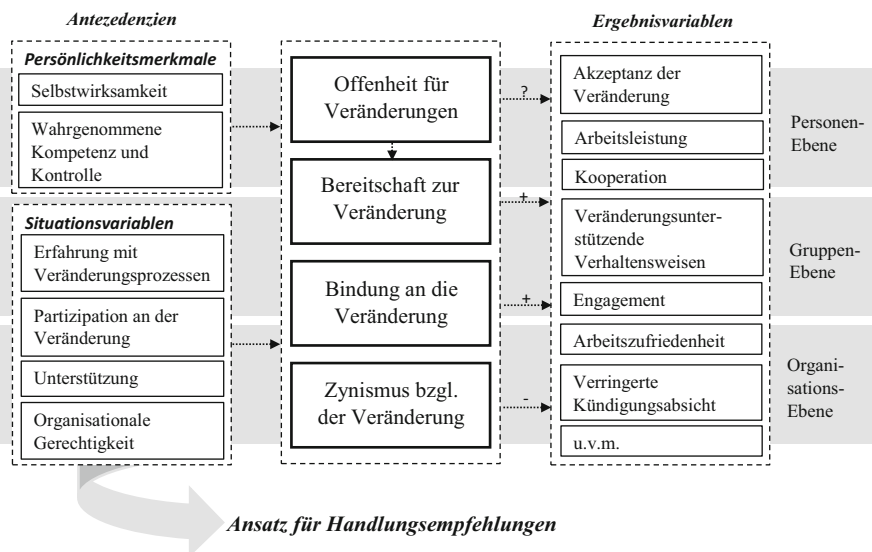


Abb. 4 Wirkungszusammenhänge der Erfolgsfaktoren

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die ein hohes Maß an *organisationaler Gerechtigkeit* während eines Veränderungsprozesses erleben, wollen wahrscheinlicher an dessen Umsetzung beteiligt werden (Foster 2010). Je nach Systematisierung werden bis zu vier Gerechtigkeitsdimensionen unterschieden: Distributive Gerechtigkeit umfasst, wie gerecht ein Ergebnis wie z. B. Gehalt und Beförderung in Relation zum Arbeitseinsatz erlebt wird (Colquitt und Zipay 2015). Sie spielt in Veränderungsprozessen eine wichtige Rolle, da begrenzte Ressourcen wie Wunschpositionen und Gratifikationen neu verteilt werden (Streicher und Frey 2008). Prozedurale Gerechtigkeit beschreibt den Gerechtigkeitsgrad von Entscheidungsprozessen, auf Basis dessen die Zuteilung der begrenzten Ressourcen erfolgt (Colquitt und Zipay 2015; Colquitt et al. 2013). Veränderungen beinhalten naturgemäß viele Entscheidungsprozesse. Diese scheinen dann als fair wahrgenommen zu werden, wenn sie normativ akzeptierten Regeln folgen (Colquitt und Zipay 2015; Colquitt et al. 2013) und wenn Beschäftigte die Möglichkeit erhalten, sich zu äußern („voice“) (Ötting und Maier 2016). Ist dies nicht gegeben und werden die Entscheidungsprozesse in Folge dessen als ungerecht wahrgenommen, kann dies zu Ressentiments und der Ablehnung der Veränderung führen (Daly 1995). Interpersonale Gerechtigkeit beschreibt den Grad an Angemessenheit des Verhaltens einer Führungskraft ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gegenüber, ausgedrückt durch z. B. Respekt und Freundlichkeit (Colquitt und Zipay 2015; Colquitt et al. 2013). Informationale Gerechtigkeit schließlich umfasst das Gerechtigkeitserleben der Informationsvermittlung im Veränderungsprozess in „akkurater, zeitgerechter, ehrlicher und angemessener“ Form (Streicher und Frey 2009). Insbesondere zu Beginn von Veränderungsprozessen kann durch die Verbreitung von Gerüchten eine negative Stimmung gegen das Digitalisierungsprojekt erzeugt werden. Durch die frühzeitige Vermittlung einer positiven Vision der Veränderung kann dem entgegengewirkt werden (Streicher und Frey 2009). Interpersonale und informationale Gerechtigkeit werden häufig unter dem Konstrukt Interaktionale Gerechtigkeit zusammengefasst, da die Konstrukte Ähnlichkeiten aufweisen und korrelieren (Foster 2010).

Aus diesen Forschungsergebnissen lässt sich die Handlungsempfehlung ableiten, Veränderungsprozesse gerecht zu gestalten. Da dies insbesondere über einen kommunikativen Prozess verläuft, kommt dem Austausch mit den Beschäftigten und der transparenten Information dieser besondere Bedeutung zu. Dies kann über den Einsatz von Mitarbeitergesprächen und Diskussionsrunden geschehen, in denen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ihre Ansichten und Befürchtungen äußern können und im Gegenzug über die Hintergründe der Veränderung informiert werden (Ötting und Maier 2016).

Diese kommunikativen Prozesse in der Bildung eines Gerechtigkeitsurteils entstehen vielfach in der Auseinandersetzung zwischen Führungskraft und Beschäftigten. In Veränderungsprozessen bewährt sich der Führungsstil der *transformationalen Führung*, da diese Führungskraft viele Veränderungen an der Unternehmensstruktur und -kultur vornimmt. Sie führt die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über ein charismatisches Auftreten, die Vermittlung einer klaren Vision und eines Sinns, die die Aufgabenerfüllung durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für das Unternehmen erbringt. Sie formuliert hohe Erwartungen an die Beschäftigten und regt

darüber die Einbringung neuer Ideen an. Zudem geht die transformationale Führungskraft auf die Sorgen und Befürchtungen der Beschäftigten im Veränderungsprozess ein (Eisenbach et al. 1999). Der positive Einfluss einer transformationalen Führungskraft auf die Akzeptanz eines Veränderungsprozesses kann sich insbesondere dann entfalten, wenn die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über einen größeren Handlungsspielraum und geringen arbeitsbezogenen Stress, soziale Unterstützung und organisationale Gerechtigkeit im Unternehmensumfeld verfügen (Herrmann et al. 2012). Darüber hinaus kann durch ein transformationales Führungsverhalten, das sich durch einen hohen Grad an informativer Gerechtigkeit auszeichnet, eine anfängliche Skepsis der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Beteiligung und Akzeptanz gewandelt und anfängliches Commitment über den Veränderungsprozess hinweg stabil gehalten werden (Shin et al. 2015).

Für die Umsetzung von Veränderungsmaßnahmen im Unternehmen müssen also die organisationalen Bedingungen geschaffen werden, in denen die betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter einen Handlungsspielraum erleben, der es ihnen ermöglicht, neue Verhaltensweisen auszuprobieren und anzuwenden. Eine Führungskraft muss in einem ständigen kommunikativen Prozess Sorgen der Beschäftigten erkennen und offen ansprechen sowie für die Veränderung werben. Dies kann über praktiziertes, transformationales Führungsverhalten erreicht werden.

5 Diagnoseverfahren im Veränderungsprozess

Zu verschiedenen Zeitpunkten der Einführung intelligenter und vernetzter Systeme kann es sinnvoll erscheinen, zusätzliche Informationen zum Veränderungsprozess zu erheben, um dann die Umsetzungsstrategie optimal an den Bedürfnissen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auszurichten. Relevante Informationen bei der Einführung intelligenter und vernetzter Systeme in die Unternehmen können z. B. konkrete Wünsche und Ansprüche der Beschäftigten an die neue Technologie sein, denen bei der anschließenden Gestaltung der Technologie begegnet werden kann. Es können aber z. B. auch Informationen zum Unternehmensklima und zur Bereitschaft der Beschäftigten zur Veränderung der technologischen Infrastruktur erhoben werden. Dazu werden im Weiteren ausgewählte Instrumente zur Informationserhebung aus dem Bereich der Psychologie vorgestellt.

Es stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, Informationen im Unternehmen zu erheben (Anderson 2015):

- *Interviews* werden oft in 1-zu-1 Situationen mit Beschäftigten verschiedener Arbeits-, Verantwortungs- und Aufgabenbereiche durchgeführt. Sie bieten die Möglichkeit, Erläuterungen zu Erfahrungen, Einstellungen, Befürchtungen und Werten bzgl. der Technologieeinführung zu erhalten, die die Interviewten in einem Fragebogen nicht notieren würden. Dies ist eine der aufwendigsten Methoden und die Ergebnisdichte hängt sehr von den Fähigkeiten des Interviewers ab, eine vertrauensvolle Gesprächsatmosphäre zu schaffen. Es gibt verschiedene Interviewformen, die sich in ihrer Strukturiertheit unterscheiden.

- Zu *Fokus-Gruppen* werden Kleingruppen eingeladen, die zu ausgewählten Fragen bzgl. des Wandels frei diskutieren und zusammen ihre Ideen weiterentwickeln können. Fokus-Gruppen eignen sich weniger für sensible Fragestellungen. Stattdessen kann z. B. die Arbeitsorganisation oder Partizipationsmöglichkeiten während der Technologieeinführung thematisiert werden.
- Mittels online- oder Papier-*Fragebögen* können eine Vielzahl von Beschäftigten in kurzer Zeit zu ausgewählten Fragestellungen befragt werden, z. B. zu ihrer Wahrnehmung des Veränderungsprozesses oder ihrer Arbeitszufriedenheit.
- Durch *Beobachtung* kann Verhalten in einer konkreten Arbeitssituation erhoben werden, z. B. um veränderte Anforderungen nach der Technologieeinführung an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu erfassen. Damit der Beobachter die Beobachtung nicht durch seine eigene subjektive Wahrnehmung verfälscht, sollten standardisierte Beobachtungsprotokolle verwendet werden.
- In der *Dokumentenanalyse* werden verfügbare Dokumente des Unternehmens ausgewertet, z. B. historische Dokumente über frühere Change-Prozesse, offizielle Dokumente wie Stellenbeschreibungen, Ziele, Protokolle oder Berichte der Buchhaltung.

In Tab. 2 sind ausgewählte Fragebogenverfahren aufgeführt, die im Rahmen eines Veränderungsprozesses Verwendung finden können. Die Fragebogenverfahren können entsprechend der zeitlichen Strukturierung aus Abschn. 3 in der Phase der Planung eines Veränderungsprozesses z. B. darin bestehen, dass Unternehmens- oder Teamklima zur Aufnahme von Innovationen und Veränderungen zu erfassen, um ggf. im Vorfeld einer Veränderung eine veränderungsoffene Atmosphäre zu gestalten. Während der Umsetzung eines Veränderungsprozesses und insbesondere bei Eintreten der ersten Herausforderungen im Change-Prozess kann es helfen, die Einstellungen und Bewertungen der Beschäftigten zum Veränderungsprozess sowie deren Gründe zu erheben, um anschließend z. B. in der Kommunikation mit den Beschäftigten die konkreten Befürchtungen ansprechen zu können. Auch die Erfolgskriterien aus Abschn. 4 können durch Fragebogenverfahren erfasst werden.

Nach jeder Datenerhebung sollte zeitnah eine Rückmeldung an die Befragten erfolgen, welche Ergebnisse erzielt wurden. Erhalten die Beschäftigten keine Rückmeldung über die Durchführung, entsteht schnell ein Gefühl der Geringschätzung unter den Beschäftigten (Ford und Ford 1995). Ebenso ist darauf hinzuweisen, dass die Datenerhebung auch „unangenehme Wahrheiten“ offenlegen kann, auf die die Adressaten dieser Aussagen mit Unmut reagieren können (Anderson 2015).

Anderson (2015) warnt davor, den Prozess der Informationszusammentragung zu verkürzen und sich nur auf die bereits vorhandenen Informationen zu beziehen. Er weist darauf hin, dass die Informationssammlung ein langwieriger und aufwändiger Prozess sein kann, der aber notwendig ist, um darauf aufbauend die Umsetzungsstrategie zu planen. Denn zunächst werden sich nur die „offenkundigen Probleme“ präsentieren. Erst bei tieferer Nachforschung kommen auch die „tieferliegenden Probleme“ zum Vorschein. Wenn aber nicht die gesamte Problemstellung erfasst wird, kann das falsche Thema bearbeitet werden und sich die Probleme im schlechtesten Fall sogar noch verschlimmern und zu hohen finanziellen Einbußen führen.

Tab. 2 Diagnostikinstrumente

Titel	Zu erfassendes Konstrukt	Items und Skalen	Quelle	Einsatzoption im Change Management
Skalen zur Planung eines Veränderungsprozesses FdP-B – Fragebogen zur direkten Partizipation im Büro	Subjektiv wahrgenommene, direkte Partizipation sowie Veränderungswünsche	7 Skalen: Arbeitsaufgabe (4 Items), Arbeitsmittel (4 Items), Arbeitsplatz (4 Items), Arbeitsvertrag (4 Items), Arbeitszeit (4 Items), Organisationsentwicklung (4 Items), Personalentwicklung (4 Items)	Lohmann, A. & Prümper, J. (2006). Fragebogen zur direkten Partizipation im Büro. <i>Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie</i>, 50, 119–134.	Im Vorfeld von Veränderungsprozessen kann die Ausgestaltung von Partizipationsmöglichkeiten und die Zufriedenheit der Beschäftigten erfragt werden, um ggf. frühzeitig Optimierungen vornehmen zu können.
KomminO – Fragebogen zur Erfassung der Kommunikation in Organisationen	Organisationsinterne Kommunikation	7 Skalen: Kommunikationsqualität (13 Items), Vertrauen (4 Items), Feedback (4 Items), Bedeutung (3 Items), Informationsüberlastung (3 Items), Zusammenfassung (3 Items), Zurückhaltung (3 Items), zzgl. Kommunikationshäufigkeit (2 Items), jeweils in Bezug auf Vorgesetzte, Kollegen	Sperka, M. (1997). Zur Entwicklung eines „Fragebogens zur Erfassung der Kommunikation in Organisationen“ (KomminO). <i>Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie</i>, 41, 182–190.	Im Vorfeld von Veränderungsprozessen können die bisher gelebten Kommunikationsformen und die Zufriedenheit der Beschäftigten erfragt werden, um ggf. frühzeitig Optimierungen vornehmen zu können.

(Fortsetzung)

Tab. 2 (Fortsetzung)

Titel	Zu erfassendes Konstrukt	Items und Skalen	Quelle	Einsatzoption im Change Management
TKI – Teamklima-Inventar	Zu erfassendes Konstrukt Arbeitsatmosphäre für Innovation und Effektivität in Gruppen; Teamentwicklungsbedarf	4 Skalen: Vision (4 Subskalen, 11 Items), Aufgabenorientierung (3 Subskalen, 7 Items), Partizipative Sicherheit (4 Subskalen, 12 Items), Unterstützung für Innovationen (2 Subskalen, 8 Items) + Skala Soziale Erwünschtheit (2 Subskalen, 6 Items)	Brodbeck, F., Anderson, N. & West, M. (2000). <i>TKI – Teamklima-Inventar</i> . Göttingen: Hogrefe	Teamdiagnoseverfahren können helfen einzuschätzen, inwiefern ein innovationsfreundliches Klima im Team herrscht, um neue Technologien in den Arbeitsalltag aufnehmen zu können bzw. ob Teamentwicklungsmaßnahmen zur Vorbereitung des Veränderungsprozesses sinnvoll erscheinen.
FAT – Fragebogen zur Arbeit im Team	Teamdiagnose der Stärken und Schwächen von Teams; Teamentwicklungsbedarf	2 Skalen: Strukturorientierung (10 Items zu Subskalen Zielorientierung und Aufgabenbewältigung), Personenorientierung (10 Items zu Subskalen Zusammenhalt und Verantwortungsübernahme) + 2 Items zur Messung der sozialen Erwünschtheit	Mojzisch, A. (2007). Fragebogen zur Arbeit im Team (FAT). <i>Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie</i> , 51, 137–142.	
Demografie Kompass	Analyse und Prognose der Altersstruktur der Belegschaft	Online- & PC-Version als Kurz- und Detailanalyse unter www.demobib.de : z. B. Alter, Ausbildungsniveau, Abteilungszugehörigkeit, prognostische Entwicklung	TBS NRW (2008) DemografieKompass – Die betriebliche Altersstruktur erfassen und Handlungsbedarfe benennen. Reihe Arbeit, Gesundheit, Umwelt, Technik Heft 71. verfügbar unter: http://www.tbs-nrw.de	Die Analyse der Altersstruktur kann in der zielgruppengenaue Ansprache der Beschäftigten unterstützen.

Skalen zur Umsetzung eines Veränderungsprozesses			
OCQ-C, P, R – Organizational Change Questionnaire – Climate of Change, Processes, and Readiness	Veränderungsklima und Veränderungsbereitschaft	Skalen in englischer Sprache: general support by supervisor (4 Items), trust in leadership (4 Items), cohesion (4 Items), participatory management (3 Items), politicking (3 Items), involvement in the change process (6 Items), ability of management to lead change (6 Items), attitude of top management (3 Items), cognitive readiness to change (3 Items), emotional readiness to change (3 Items), intentional readiness to change (3 Items)	Bouckennooghe, D., Devos, G. & van den Broeck, H. (2009). Organizational change questionnaire – climate of change, processes, and readiness: Development of a new instrument. <i>The Journal of Psychology</i> , 143, 559–599.
GEO – Gerechtigkeits einschätzungen in Organisationen	Organisationale Gerechtigkeit	4 Skalen: prozedurale (7 Items), distributive (4 Items), interpersonale (4 Items) und informationale Gerechtigkeit (5 Items). Einige Itemformulierungen können je nach Zielsetzung angepasst werden	Maier, G. W., Streicher, B., Jonas, E., Woschke, R. (2007). Gerechtigkeits einschätzungen in Organisationen. Die Validität einer deutschsprachigen Fassung des Fragebogens von Colquitt (2001). <i>Diagnostica</i> , 53, S. 97–108.
FITOR – Fragebogen zur individuellen, Team- und organisationalen Resilienz	Vermögen, mit schwierigen Situationen umzugehen; zeigt Optionen für Trainingsbedarf	3 Skalen: Individuelle Resilienz (10 Items), Teamresilienz (10 Items), organisationale Resilienz (10 Items)	Schulte, E.-M., Gessnitzer, S. & Kaufeld, S. (2016). Ich-Wir-meine Organisation werden das überstehen! Der Fragebogen zur individuellen, Team- und organisationalen Resilienz. <i>Gruppe Interaktion Organisation</i> , 47, S. 139–149.

(Fortsetzung)

Tab. 2 (Fortsetzung)

Titel	Zu erfassendes Konstrukt	Items und Skalen	Quelle	Einsatzoption im Change Management
Skalen zur Erfassung der Erfolgsfaktoren der Veränderungen				
Readiness for Organizational Change	Bereitschaft zu organisationalen Veränderungen	4 Skalen in englischer Sprache: Appropriateness (10 Items), Management Support (6 Items), Change Efficacy (6 Items), Personally Beneficial (3 Items)	Holt, D. T., Armenakis, A. A., Feldt, H. S. & Harris, S. G. (2007). Readiness for organizational change. The systematic development of a scale. <i>The Journal of Applied Behavioral Science</i> , 43, 232–255.	Diese Fragebögen erfassen die Erfolgsfaktoren des Change Managements, die in Abschn. 4 ausführlicher dargestellt werden. Sie helfen, die Bewertung der Technologieeinführung durch die Beschäftigten zu ermitteln und ggf. geeignete Maßnahmen zu deren Beeinflussung zu ergreifen.
Commitment to Change Scales	Bindung an eine Veränderung	3 Skalen in englischer Sprache: affective commitment (7 Items), continuance commitment (7 Items), normative commitment (7 Items)	Herscovitch, L. & Meyer J. P. (2002). Commitment to change: Extension of a three-component model. <i>Journal of Applied Psychology</i> , 87, 474–487.	
Resistance to Change Scale	Widerstand gegen Veränderungen	4 Skalen in englischer Sprache: Routine Seeking (5 Items), Emotional Reaction (4 Items), Short-Term Thinking (5 Items), Cognitive Rigidity (4 Items)	Oreg, S. (2003). Resistance to change: Developing an individual differences measure. <i>Journal of Applied Psychology</i> , 88, 680–693.	
Cynicism about organizational change	Zynismus gegenüber Veränderungen	3 Skalen in englischer Sprache: pessimism (4 Items), dispositional attribution (4 Items), situational attribution (4 Items)	Wanous, J. P., Reichers, A. N. & Austin, J. T. (2000). Cynicism about organizational change. Measurement, antecedents, and correlates. <i>Group & Organization Management</i> , 25, 132–153.	

6 Fazit

Im vorliegenden Kapitel konnte gezeigt werden, dass die Einführung intelligenter und vernetzter Systeme durch einen strukturierten Change-Management-Prozess begleitet werden sollte, um den besonderen Herausforderungen dieses Wandels zu begegnen: den möglichen tief greifenden Aufgaben- und Anforderungsverschiebungen der Beschäftigten nach der Technikeinführung, der damit einhergehenden möglichen Unsicherheit im Unternehmen und der Akzeptanz der neuen Technik durch die Beschäftigten. Entsprechend konnten viele Handlungsempfehlungen aus den Erfahrungen des Change Managements anderer Veränderungsthematiken abgeleitet werden. Viele Fragen bleiben jedoch weiter offen, die die konkrete Ausgestaltung der neuen Technologien und daraus resultierende Handlungsoptionen betreffen, da die Einführung intelligenter und vernetzter Systeme noch in ihren Anfängen steht und die zukünftige Ausgestaltung dieser und somit auch die Konsequenzen für die Unternehmen und ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter noch nicht in ihrer Gänze absehbar sind.

Vor dem Hintergrund der Digitalisierung können neue Kooperationen zwischen unternehmerischer Praxis und Forschung entstehen. Denn der Forschungsbedarf ist weiterhin groß. In dem die Forschung Zugang zu einem unternehmerischen Forschungsfeld erhält, kann sie fundierte Kenntnisse über das Change Management in Digitalisierungsprozessen sammeln und damit die gesamte Change-Management-Forschung um signifikante Erkenntnisse erweitern. Diese Forschungsergebnisse können dann wiederum als fundierte Handlungsempfehlungen an die Unternehmen zurückgespielt werden. Auf diesem Wege kann die Transformation der deutschen Unternehmen hin zu einer digitalisierten Zukunftsvision optimal gelingen.

Literatur

- acatech. (2016). Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0. Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. <http://www.acatech.de/de/projekte/projekte/kompetenzentwicklungsstudie-industrie-40.html>. Zugegriffen am 26.10.2017.
- Anderson, D. L. (2015). *Organization development. The process of leading organizational change* (3. Aufl.). Los Angeles, CA: Sage.
- Botthof, A., Bovenschulte, M., Domröse, W., Gaßner, K., Hartmann, E. A., & Wessels, J. (2009). Internet der Dinge – ein Überblick. In A. Botthof & M. Bovenschulte (Hrsg.), *Das „Internet der Dinge“ – die Informatisierung der Arbeitswelt und des Alltags: Erläuterungen einer neuen Basistechnologie* (S. 7–14). Arbeitspapier 176 der Hans Böckler Stiftung.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2015). Grünbuch Arbeiten 4.0. <http://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/A872-gruenbuch-arbeiten-vier-null.html>. Zugegriffen am 25.10.2017.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2017). Weißbuch Arbeiten 4.0. <http://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/a883-weissbuch.html>. Zugegriffen am 25.10.2017.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung – Referat IT-Systeme (BMBF). (2013). *Zukunftsbild „Industrie 4.0“*. https://www.bmbf.de/pub/Zukunftsbild_Industrie_4.0.pdf. Zugegriffen am 24.10.2017.
- Cândido, C. J. F., & Santos, P. (2015). Strategy implementation: What is the failure rate? *Journal of Management & Organization*, 21, 237–262.

- Cardillo, J. E., & Choate, R. O. (1994). Illustrations of goal setting. In T. J. Kiresuk, A. Smith & J. E. Cardillo (Hrsg.), *Goal attainment scaling. Applications, theory, and measurement* (S. 15–37). Hoboken, NJ: Taylor & Francis.
- Cawsey, T. F., Deszca, G., & Ingols, C. (2016). *Organizational change. An action-oriented toolkit* (3. Aufl.). Los Angeles, CA: Sage.
- Choi, M. (2011). Employees' attitudes toward organizational change. A literature review. *Human Resource Management*, 50, 479–500.
- Colquitt, J. A., & Zipay, K. P. (2015). Justice, fairness, and employee reactions. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 2, 75–99.
- Colquitt, J. A., Scott, B. A., Rodell, J. B., Long, D. M., Zapata, C. P., Conlon, D. E., & Wesson, M. J. (2013). Justice at the millennium, a decade later: A meta-analytic test of social exchange and affect-based perspectives. *Journal of Applied Psychology*, 98, 199–236.
- Crawford, L., & Hassner-Nahmias, A. (2010). Competencies for managing change. *International Journal of Project Management*, 28, 405–412.
- Daly, J. P. (1995). Explaining changes to employees: The influence of justifications and change outcomes on employees' fairness judgments. *Journal of Applied Behavioral Science*, 31, 415–428.
- Dikert, K., Paasivaara, M., & Lassenius, C. (2016). Challenges and success factors for large-scale agile transformations: A literature review. *The Journal of Systems and Software*, 119, 87–108.
- Eisenbach, R., Watson, K., & Pillai, R. (1999). Transformational leadership in the context of organizational change. *Journal of Change Management*, 12, 80–88.
- Ford, J. D., & Ford, L. W. (1995). The role of conversations in producing intentional change in organizations. *Academy of Management Review*, 20, 541–570.
- Foster, R. D. (2010). Resistance, justice, and commitment to change. *Human Resource Development Quarterly*, 21, 3–39.
- Georgalis, J., Samaratunge, R., Kimberley, N., & Lu, Y. (2015). Change process characteristics and resistance to organisational change. The role of employee perceptions of justice. *Australian Journal of Management*, 40, 89–113.
- Hartmann, E. A. (2009). Internet der Dinge – Technologien im Anwendungsfeld „Produktion-Fertigungsplanung“. In A. Botthof & M. Bovenschulte (Hrsg.), *Das „Internet der Dinge“ – die Informatisierung der Arbeitswelt und des Alltags: Erläuterungen einer neuen Basistechnologie* (S. 31–49). Arbeitspapier 176 der Hans Böckler Stiftung.
- Herrmann, D., Felfe, J., & Hardt, J. (2012). Transformationale Führung und Veränderungsbereitschaft. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 56, 70–86.
- Hornstein, H. A. (2015). The integration of project management and organizational change management is now a necessity. *International Journal of Project Management*, 33, 291–298.
- Hughes, M. (2011). Do 70 per cent of all organizational change initiatives really fail? *Journal of Change Management*, 11, 451–464.
- Huse, E. F. (1980). *Organizational development and change* (The west series in management, 2. Aufl.). St. Paul: West Publishing.
- Jaros, S. (2010). Commitment to organizational change: A critical review. *Journal of Change Management*, 10, 79–108.
- Joseph, J. (1990). *Arbeitswissenschaftliche Aspekte der betrieblichen Einführung neuer Technologien am Beispiel von Computer Aided Design (CAD). Felduntersuchung zur Ermittlung arbeitswissenschaftlicher Empfehlungen für die Einführung neuer Technologien*. Frankfurt a. M.: Lang.
- Kleinbeck, U. (2008). Das Partizipative Produktivitätsmanagement (PPM) – ein Motor für Produktivitätssteigerungen. *OrganisationsEntwicklung*, 1, 33–41.
- Kotter, J. P. (1995). Leading change: Why transformation efforts fail. *Harvard Business Review*, 73(2), 59–67.
- Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Boston: Harvard Business School Press.
- Lay, G. (1992). *Wandel von Arbeitsorganisation und Tätigkeitsinhalten beim Einsatz von CAD*. Bad Salzdetfurth: Franzbecker.

- Lewin, K. (1963). *Feldtheorie in den Sozialwissenschaften*. Bern: Hans Huber.
- Maximini, D. (2013). *Scrum – Einführung in die Unternehmenspraxis. Von starren Strukturen zu agilen Kulturen*. Berlin/Heidelberg: Springer Gabler.
- Meyer, H., & Reher, H.-J. (2016). *Projektmanagement. Von der Definition über die Projektplanung zum erfolgreichen Abschluss*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Oestereich, B., & Weiss, C. (2008). *APM – Agiles Projektmanagement. Erfolgreiches Timeboxing für IT-Projekte*. Heidelberg: dpunkt.
- Oreg, S. (2006). Personality, context, and resistance to organizational change. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 15, 73–101.
- Ötting, S., & Maier, G. W. (2016). Arbeit 4.0: Faire Gestaltung der digitalen Arbeitswelt. *Super-vision*, 34(4), 19–24.
- Pereira, G. M., & Osburn, H. G. (2007). Effects of participation in decision-making on performance and employee attitudes: A quality circles meta-analysis. *Journal of Business and Psychology*, 22, 145–153.
- Pfeffer, J., & Sutton, R. I. (2006). Evidence-based management. *Harvard Business Review*, 84(1), 62–74.
- Pollack, J. (2016). The need for integration between organizational project management and change management. In *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2016 I.E. International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (S. 1245–1249). IEEE.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–87.
- Pritchard, R. D., Harrell, M. M., DiazGranados, D., & Guzman, M. J. (2008). The productivity measurement and enhancement system: A meta-analysis. *Journal of Applied Psychology*, 93, 540–567.
- Project Management Institute. (2013). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide, 5th Aufl.)*. Newtown Square: Project Management Institute, Inc.
- Rafferty, A. E., Jimmieson, N. L., & Armenakis, A. A. (2012). Change readiness. A multilevel review. *Journal of Management*, 39, 110–135.
- Regis, C., Guilmo, N., & Vas, A. (2014). Explaining factors affecting technological change adoption. A survival analysis of an information system implementation. *Management Decision*, 52, 1082–1100.
- Rizzuto, T. E., & Reeves, J. (2007). A multidisciplinary meta-analysis of human barriers to technology implementation. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 59, 226–240.
- Schelle, H., Ottmann, R., & Pfeiffer, A. (Hrsg.). (2007). *ProjektManager* (2. Aufl.). Nürnberg: GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement.
- Schwaninger, M., & Kaiser, C. (2006). *Tragfähiger organisatorischer Wandel: Eine empirische Analyse der Erfolgsfaktoren von Organisations- und Veränderungsprozessen*. Universität St. Gallen, Institut für Betriebswirtschaft, Diskussionspapier 54. https://www.alexandria.unisg.ch/31966/1/Tragf%C3%A4higer%20organisatorischer%20Wandel_2006_DB.pdf. Zugegriffen am 23.10.2017.
- Senior, B., & Swailes, S. (2010). *Organizational change* (4. Aufl.). Harlow: Financial Times Prentice Hall.
- Serrador, P., & Pinto, J. K. (2015). Does agile work? – A quantitative analysis of agile project success. *International Journal of Project Management*, 33, 1040–1051.
- Shin, J., Myeong-Gu, S., Shapiro, D. L., & Taylor, M. S. (2015). Maintaining employees' commitment to organizational change: The role of leaders' informational justice and transformational leadership. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 51, 501–528.
- Smith, A. (1994). Introduction and overview. In T. J. Kiresuk, A. Smith & J. E. Cardillo (Hrsg.), *Goal attainment scaling. Applications, theory, and measurement* (S. 1–14). Hoboken, NJ: Taylor & Francis.
- Spanos, Y. E., Prastacos, G. P., & Poulymenakou, A. (2002). The relationship between information and communication technologies adoption and management. *Information Management*, 39, 659–675.

- Spector, P. E. (1986). Perceived control by employees: A meta-analysis of studies concerning autonomy and participation at work. *Human Relations*, 39, 1005–1016.
- Streicher, B., & Frey, D. (2009). Fairness-Check bei Wandelprojekten. Vier Dimensionen von Gerechtigkeit und wie man sie berücksichtigt. *Organisationsentwicklung*, 27(4), 70–75.
- Thundiyil, T. G., Chiaburu, D. S., Oh, I.-S., Banks, G. C., & Peng, A. C. (2015). Cynical about change? A preliminary meta-analysis and future research agenda. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 51, 429–450.
- Ulich, E. (2011). *Arbeitspsychologie* (7., neu überarb. u. erw. Aufl.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27, 425–478.
- Wastian, M., Braumandl, I. & von Rosenstiel, L. (Hrsg.). (2017). *Angewandte Psychologie für das Projektmanagement* (3. Aufl.). Berlin: Springer.

Produktentstehung im Zeitalter von Industrie 4.0

Iris Gräßler und Alexander Pöhler

Inhalt

1	Einleitung	384
2	Produktentstehungsprozess	385
3	Holonische Produktionssysteme und dezentrale Produktionssteuerung	391
4	Auswirkungen auf Beschäftigte in der Produktentstehung	395
5	Fazit	400
	Literatur	401

Zusammenfassung

Die unter dem Begriff der Industrie 4.0 zusammengefassten Veränderungen implizieren erhebliche Auswirkungen auf die gesamte Produktentstehung. So erfordert die Entwicklung cyber-physischer Systeme neue Produkttechnologien und eine zunehmende informationstechnische und methodische Unterstützung. In diesem Kapitel werden die Phasen der Produktentstehung erläutert und mit Schwerpunkt auf die Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktion analysiert. Bekannte Auswirkungen von Industrie 4.0 für Beschäftigte werden herangezogen und am Beispiel der Produktionsplanung interpretiert.

Schlüsselwörter

Produktentstehung · Modellbasierte Produktentwicklung · Dezentrale Produktionssteuerung · Arbeit 4.0 · Holonisches Produktionssystem

I. Gräßler (✉) · A. Pöhler

Fachgruppe Produktentstehung, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland

E-Mail: iris.graessler@hni.uni-paderborn.de; alexander.poeehler@hni.uni-paderborn.de

1 Einleitung

Produktentstehung beschreibt die Gesamtheit aller Prozesse von der Produktidee bis zum marktreifen Produkt sowie der zugehörigen IT-Systemunterstützung. Die Effizienz des unternehmensspezifischen Produktentstehungsprozesses, die u. a. durch die eingesetzten Ressourcen geprägt wird, entscheidet dabei wesentlich über den Erfolg des entstehenden Produktes. Unternehmen können Wettbewerbsvorteile am Markt generieren, indem sie Innovationen in den Prozessen, in dem Produkt und in den involvierten Unternehmensbereichen generieren (Bierfelder 1994). Industrie 4.0 avisiert entsprechend Auswirkungen auf alle Bereiche des Unternehmens. Sie bezeichnet die vierte industrielle Revolution, die sich vornehmlich durch die Informatisierung und Vernetzung von Systemen ergibt (Bauernhansl et al. 2014):

Im Rahmen von Industrie 4.0 soll sich die Produktion durch die Vernetzung von Maschinen, Betriebsmitteln, Werkstücken sowie Lager- und Transportsystemen über das Internet dezentral koordinieren und bei Bedarf flexibel rekonfigurieren können (vertikale Integration). Gleichzeitig ermöglicht die unternehmensübergreifende Vernetzung von Geschäfts- und Produktionsprozessen ein durchgängiges Engineering und die Bildung von Wertschöpfungsnetzwerken (horizontale Integration).

Eine frühzeitige Ausrichtung auf die mit Industrie 4.0 verbundenen Veränderungen wird als entscheidend für den Geschäftserfolg von Unternehmen angesehen. Sie muss durchgängig in der Produktentstehung umgesetzt werden. Die Entwicklungsmethodik muss zum einen bezüglich neuer, intelligenter Produkte und Geschäftsmodelle weiterentwickelt werden und zum anderen bezüglich des Einsatzes cyber-physischer, dezentral gesteuerter Produktionssysteme erweitert werden. Auswirkungen betreffen nicht nur die Produktion selber, sondern auch angrenzende Bereiche und Prozesse. Insbesondere sind hierbei die Prozess- und Produktionssystementwicklung, Arbeitsplanung und -steuerung sowie die Logistik und Integration in Wertschöpfungsnetzwerke zu nennen (Anderl et al. 2015).

Moderne Entwicklungsprozesse sind heute bereits von Software durchdrungen. Sowohl die ganzheitliche Methodik (z. B. durch Workflow-Management-Funktionalität eines PLM-Systems) als auch Konstruktion und Eigenschaftsabsicherung (z. B. durch CAD, CAE, Simulationen) werden von IT-Systemen unterstützt. Ein integriertes Produktmodell stellt die Basis für die in der Entwicklung aufgenommenen Informationen dar und integriert Daten entlang der Vorgehensschritte von Anforderungen über Funktionen zur Ausgestaltung von Bauteilen. Werden die bei der Entwicklung entstehenden Informationen und Modelle durchgängig verwendet und ausgearbeitet, können neue Gestaltungsmöglichkeiten an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklungs- und Produktionsprozess entstehen. Abgespeicherte Informationen über die Produktion können bereits in frühen Phasen der Entwicklung zur Beurteilung der Produzierbarkeit und der kalkulierten Kosten genutzt werden. Die Planung, Steuerung und Überwachung wird durch zustandsbasierte und vorausschauende Dienste erweitert, die eine weitgehende autonome Koordination von Prozessen ermöglicht (Albrecht und Anderl 2016).

2 Produktentstehungsprozess

Der Produktentstehungsprozess umfasst den Weg von der strategischen Planung über die Produktentwicklung bis hin zur Produktion. Aktuelle Methoden zur Beschreibung dieses Produktentstehungsprozesses setzen jeweils unterschiedliche Schwerpunkte:

Isermann (2008) beschreibt den Entwurf mechatronischer Systeme ähnlich der VDI 2206 (VDI 2004) vom Systementwurf, über die Systemintegration, hin zum Systemtest mit dem Ergebnis eines in Vorserienproduktion produzierten mechatronischen Systems. Das Münchner Vorgehensmodell (Ponn und Lindemann 2011) beinhaltet ein Verfahren zur flexiblen Auswahl von Schritten zur Ermittlung eines Vorgehens für eine Problemlösung. Durch die Auswahl von Elementen aus sieben Arbeitsschritten soll der Problemlösungsvorgang geplant werden. Albers und Braun (2011) stellen mit dem iPeM (Integrated Product Engineering Model) ein umfassendes Rahmenwerk zur Erstellung eines individualisierten Vorgehensmodells in der Produktentstehung bereit. Das V-Modell der VDI 2206 zeigt ein Entwicklungsschema für mechatronische Systeme. Auf dieses wird in dem nachfolgenden Abschnitt als ein Beispiel für eine modellbasierte Produktentwicklung näher eingegangen. Die VDI 2221 stellt allgemein die Entwicklung eines technischen Systems in sieben Arbeitsschritten dar. Die VDI 2221 bildet häufig die Basis praktischer Anwendungen von Entwicklungsmethoden in Unternehmen, z. B. im Stage-Gate-Modell (Cooper 2002). Aktuelle Forschungsthemen von Vorgehensmodellen der Produktentstehung bilden agile Entwicklungsmethoden und Systems Engineering. Feldhusen et al. (2009) stellen den Stand der Technik von Agilen Entwicklungsmethoden der Produktentstehung zusammen. Aktuelle Forschungsfelder der Produktentstehung wie Systems Engineering (siehe auch Kap. ► „[Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung](#)“), modellbasierte Produktentstehung, Entwicklungsmethoden für cyber-physische und integrative Produktionsplanung beschäftigen sich mit den Herausforderungen immer komplexerer Produkte, bei der unterschiedliche Domänen zusammenarbeiten müssen.

Diese teils übereinstimmenden, teils komplementären Ansätze sollen im Folgenden genutzt werden, um das Modell einer integrativen Produktentstehung ganzheitlich zu beschreiben und an Produktlebenszyklusmodelle anzubinden (Abschn. 2.1), die modellbasierte Produktentwicklung mit Blick auf die Schnittstelle zum Produktionsmanagement zu detaillieren (Abschn. 2.2), Möglichkeiten der Neugestaltung im Bereich der Produktion und speziell der Schnittstellen zu einer dezentralen Produktionssteuerung herauszuarbeiten (Abschn. 2.3).

2.1 Handlungsfeld Produktentstehung

Das Handlungsfeld Produktentstehung (siehe Abb. 1) greift die beschriebenen Definitionen auf und konsolidiert sie in drei sachlogisch miteinander vernetzten Aufgaben, die den Verlauf von einer Produktidee zu einem produzierten Produkt beschreiben. Es

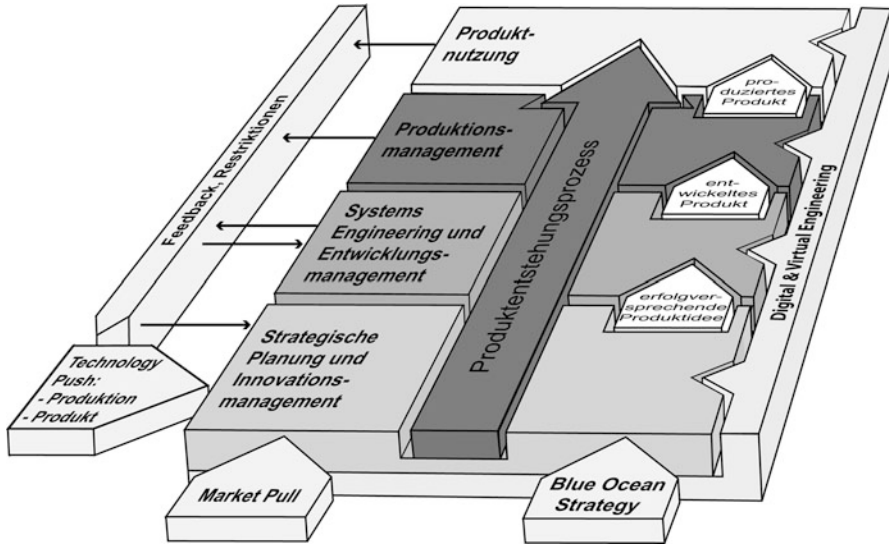


Abb. 1 Handlungsfeld Produktentstehung (Gräßler 2015)

stellt die Produktentstehung in den Kontext der Produktnutzung, beschreibt die Integration von digitalen Werkzeugen und identifiziert Wirkzusammenhänge.

Der Produktentstehungsprozess beginnt mit der strategischen Planung. Strategische Planung bezeichnet im Allgemeinen den Prozess der Entwicklung einer Strategie, um ein definiertes Ziel zu erreichen (Lindemann 2016). Für die gesamte Organisation steht die strategische Planung für die Entwicklung einer Leitlinie, aus der sich das Geschäftsmodell und ein allgemeines Produktportfolio des Unternehmens ergeben. Darüber hinaus betrifft die Leitlinie neben dem Gesamtunternehmen auch die einzelnen Führungsfunktionen wie Finanzen, Controlling und Personal, die entscheidend für den Unternehmenserfolg sind. Die strategische Ausrichtung erfolgt im Handlungsfeld durch zwei grundlegend unterschiedliche Handlungsoptionen: der „Blue-Ocean-Strategy“ und dem „Market Pull“. Eine „Blue-Ocean-Strategy“ bedeutet, dass völlig neue Märkte durch komplett neue Produkte erschlossen werden sollen. Das Unternehmen muss hierbei aus sich heraus neue Produktideen generieren und anschließend entwickeln, welche so im Markt noch nicht existieren. Die Risiken für Misserfolge von Produktideen, aber auch die Ertragschancen erfolgreicher Produkte im Rahmen einer Blue-Ocean-Strategy sind hoch. Durch „Market Pull“ wird versucht, die Kundenanforderungen für bereits bestehende Produkte bestmöglich aufzunehmen bzw. zu antizipieren und daraus entsprechend neue, verbesserte Produkte zu entwickeln. Unabhängig von der gewählten Strategie können technologische Innovationen im Sinne von „Technology Push“ ebenso Handlungsbedarfe erzeugen. Ein Technology-Push bezeichnet eine sprunghafte Verbesserung der Technologie durch Innovationen in der Produkt- und/oder der Produktionstechnologie. Ein Unternehmen sollte derartige Entwicklungen vorausschauend einbeziehen und sein Produkt bzw. die Produktion auf den neuen Stand der Technik ausrichten.

Bezogen auf den Produktentstehungsprozess sind die Strategische Planung und das Innovationsmanagement darauf ausgerichtet, erfolgversprechende Produktideen mit Beitrag zur Unternehmensstrategie zu generieren. Das aus der Strategie heraus entwickelte allgemeine Produktportfolio ist der Nährboden für Produkt- und Geschäftsideen. Das Innovationsmanagement befasst sich mit der systematischen Planung, Entwicklung und Steuerung dieser Ideen sowie der Weiterentwicklung einer erfolgversprechenden, gereiften Idee mit Geschäftsplan und Vermarktungsstrategie.

Die anschließende Produktentwicklung umfasst den Prozess von der Produktidee hin zum fertig entwickelten Produkt inklusive aller damit zusammenhängenden Dokumente. Die Anforderungen an das Produkt ergeben sich aus der vorliegenden Produktidee und müssen mit (potenziellen) Kunden detailliert werden. Sie umfassen dabei zusätzlich alle nachfolgenden Prozesse des Produktlebenszyklus: von Anforderungen an die Entwicklung, an das Produkt selber, an die Fertigung über Anforderungen bezogen auf die Nutzung bis hin zum Ende des Produktlebenszyklus einschließlich Recycling. Aus den Anforderungen wird ein Gesamtentwurf abgeleitet, der in Teilsysteme strukturiert werden kann. Für die Teilsysteme werden Einzellösungen entwickelt, die auf das Gesamtsystem bezogen werden sollten. Abschließend kann das Gesamtsystem entwickelt und überarbeitet werden. Das Vorgehen bei der Produktentwicklung ist in der Regel iterativ. Die Lösungsentwicklung muss sowohl unternehmensspezifische als auch übergreifende Anforderungen und Restriktionen vor allem der späteren Produktion und Nutzung an die Produkte berücksichtigen (vgl. „Design for X“, Bullinger und Warschat 1997). Speziell auf die Produkttypen und Unternehmen angepasste Entwicklungsmethoden (siehe Abschn. 2) helfen bei einer effizienten Entwicklung des Produktes. Systems Engineering ist ein Ansatz zur Koordination interdisziplinärer Zusammenarbeit (siehe auch Kap. ► „[Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung](#)“ in diesem Handbuch), die beispielsweise in Bezug auf mechatronische Systeme erforderlich ist. Systems Engineering hilft dabei, eine gemeinsame Sprache zwischen den Disziplinen zu finden und einen strukturierten, synergetischen Prozess zu etablieren.

Als Grundlage für die Produktion dienen die fertig erstellten Produktmodelle, bestehend aus allen Modellen, Zeichnungen und Dokumentationen. Im Rahmen der Arbeitsplanung wird der Produktionsprozess in Form von Arbeitsplänen zur Herstellung der einzelnen Komponenten entwickelt. Mit dem Arbeitsplan, dem gesamten Produktmodell, bestehend aus allen Einzelmodellen, und der gesamten Produktdokumentation kann schließlich das fertig entwickelte Produkt produziert werden. Dies geschieht – im Fall einer Serienfertigung – zunächst im Rahmen von Mustern, anschließend in Vorserien- und Serienproduktion. Aufgabe der Produktionsplanung und -steuerung ist es, Aufträge für das Produkt auf allen dafür im Arbeitsplan festgelegten Maschinen einzuplanen. Im Anschluss werden diese anhand der Produktionspläne der Produktionssteuerung entsprechend gefertigt und montiert. Das Produktionsmanagement umfasst die Produktionsentwicklung, -planung und -steuerung und wird als Bestandteil des Produktentstehungsprozesses verstanden. Es umfasst im Gegensatz zur operativen Arbeitsvorbereitung und Produktionssteuerung ebenso die lang- und mittelfristige Planung und Organisation der Produktion. Auch im Rahmen der Produktentstehung ist eine Betrachtung der strategischen Ausrich-

tung der Produktion entscheidend. Häufig laufen Innovationen und technologische Entwicklungen in der Produktion parallel zu der Produktentwicklung. Erst in der Phase der Produktion laufen beide Pfade zusammen und das entwickelte Produkt wird in der dann entstandenen Produktion implementiert. Das Handlungsfeld zeigt das Produktionsmanagement, also auch die strategische Produktionsplanung als Teil der Produktentstehung.

Die Phase der Produktnutzung schließt an den Prozess der Produktentstehung an und deutet weitere Prozesse mit Bezug zum Produktlebenszyklus an. Dazu zählen der Versand, die Instandhaltung und mögliche Dienstleistungen sowie das Recycling des Produktes. Diese gehören nicht mehr zu der Produktentstehung, implizieren jedoch Anforderungen an Produkt und Herstellung und müssen entsprechend berücksichtigt werden. Insgesamt umfasst der Produktentstehungsprozess somit den Weg von der Strategie bis hin zum produzierten Produkt mit den darin eingeschlossenen Phasen „Strategische Planung und Innovationsmanagement“, „Produktentwicklung“ und „Produktionsvorbereitung und Produktion“.

Digital & Virtual Engineering dienen im Rahmen einer modellbasierten Produktentstehung zur durchgängigen und bereichsübergreifenden Gestaltung und Vernetzung der Informationen im Produktentstehungsprozess. Konkret sollen z. B. Entscheidungen und Kriterien, die bei der strategischen Produktplanung zu dem Produktportfolio geführt haben, noch während der Produktion nachvollziehbar sein. Es kann zum Beispiel hilfreich sein für den Produktionsingenieur oder Produktionsmitarbeiter zu erfahren, warum sich für die Art oder den Ablauf der Fertigung eines Produktes entschieden wurde, damit bestimmte Anforderungen und Merkmale in allen Prozessschritten berücksichtigt werden. Digital Engineering bezeichnet die Unterstützung der Produktentstehung durch digitale Werkzeuge (z. B. PLM- und PDM-Systeme), Virtual Engineering bezeichnet eine durchgängige Informationsgestaltung im Sinne einer Virtualisierung des Engineering-Prozesses (z. B. Prozesssimulation, Virtual Prototyping). Durch digital unterstützte Produktentwicklung mit Hilfe von Modellen und Simulationen können ohne reale Produktmuster Erkenntnisse über Bauteile zu frühen Zeitpunkten gewonnen werden. Dadurch können Iterationsschleifen mit realen Prototypen beseitigt und die Entwicklungszeit verkürzt werden. Das Handlungsfeld Produktentstehung verdeutlicht allgemein die involvierten Aufgaben und deren Interaktionen.

2.2 Modellbasierte, interdisziplinäre Produktentwicklung

Die Einführung mechatronischer Systeme erforderte in den Entwicklungsmethoden eine Fokussierung auf die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Mechatronik bezeichnet das synergetische Zusammenwirken der Fachdisziplinen Maschinenbau, Elektronik und Informationstechnik (VDI 2004). Aufgrund des engen interdisziplinären Zusammenspiels werden neue Funktionen der Produkte ermöglicht. Zugleich sind mechatronische Systeme geprägt durch ihre hohe Komplexität. Die Kommunikation und Kooperation unter den Disziplinen gestaltet sich durch unterschiedliche Systemvorstellungen in den Disziplinen häufig schwierig. Interdisziplinäre Entwick-

lungsmethoden (z. B. für mechatronische Systeme) unterstützen durch strukturierte Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge bereits in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses ein gemeinsames Systemverständnis und etablieren damit eine Kommunikationsbasis für das Projektteam (Isermann 2008).

Die Richtlinie VDI 2206 „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ fasst bestehende Entwicklungsmethoden für mechatronische Systeme zusammen. Sie stellt ein flexibles Vorgehensmodell dar, das im Wesentlichen aus drei Elementen besteht:

- dem allgemeinen Problemlösungszyklus auf der Mikroebene,
- dem V-Modell auf der Makroebene und
- vordefinierten Prozessbausteinen zur Bearbeitung wiederkehrender Arbeitsschritte.

Im allgemeinen Problemlösungszyklus werden die Planung und Durchführung des effektiven Problemlösungsverhaltens behandelt. Das aus der Softwareentwicklung übernommene V-Modell stellt das generische Vorgehen beim Entwurf mechatronischer Systeme dar. Aus der VDI 2206 wiederverwendbare Prozesse werden in Referenz-Prozessbausteinen zusammengefasst (VDI 2004). Das Vorgehen muss nicht als stringente Folge von Phasen und Schritten verstanden werden. Abb. 2 zeigt die Phasen des V-Modells von den Anforderungen über den Systementwurf, dem

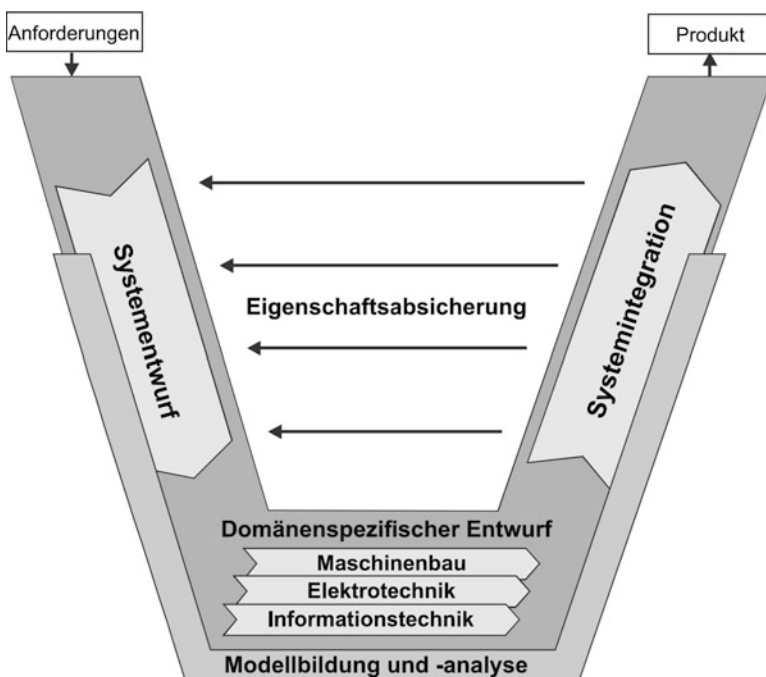


Abb. 2 Das V-Modell VDI 2206 – Entwicklungsmethodik Mechatronik (VDI 2004)

domänenspezifischen Entwurf, der Systemintegration, der Eigenschaftsabsicherung sowie der Modellbildung und -analyse bis hin zu dem fertig entwickelten Produkt.

Die modellbasierte Produktentwicklung hilft dabei, das Systemverständnis zu verbessern und ein durchgängiges Engineering über die involvierten Disziplinen und den gesamten Produktlebenszyklus zu erreichen. Modelle helfen dabei auch, komplexe Zusammenhänge vereinfacht darzustellen. Mit Hilfe der Modellierung der Anforderungen, der Funktionalitäten, des Verhaltens, der Gestalt und des Umfeldes, mit dem das Produkt interagieren soll, soll das Produkt umfassend beschrieben werden (Gausemeier et al. 2011). Da diese Modelle in standardisierten Modellierungssprachen erstellt werden, werden damit eine gemeinsame Sprache und ein gemeinsames Grundverständnis des Projektteams erreicht. Alle Partialmodelle stehen in Korrelationen zueinander. Eine Ausarbeitung und Verfeinerung eines Modells hat somit Rückschlüsse und Veränderungen anderer Modelle zur Folge. Dadurch wird eine ganzheitliche Betrachtung und eine konsistente Spezifikation des Systems sichergestellt. Die in der modellbasierten Produktentwicklung entstehenden Modelle können ebenso für virtuelle Systemanalysen und Prozessautomatisierungen verwendet werden. Notwendige Dokumentationen werden in Form von Modellen im Rahmen der modellbasierten Entwicklung automatisch angereichert und müssen nicht zu Projektende neu erstellt werden.

2.3 Feature-basierte Modellierung als Schnittstelle zum Produktionsmanagement

In klassischen Konstruktions- und Entwicklungsmethoden wird mit Abschluss der Produktentwicklung die Arbeitsplanung angestoßen. Aus Stücklisten und Fertigungszeichnung werden Rohteile bestimmt, Arbeitsvorgänge mit zugewiesenen Maschinen erstellt, deren Vorgabezeiten ermittelt, entsprechende Dokumentationen angefertigt und die Bearbeitungsprogramme geschrieben. Bereits in den 90er-Jahren wurde im Rahmen von Simultaneous Engineering eine Integration der Produktionsprozessplanung in die Produktentwicklung erforscht (Bochtler 1996; Gräßler 1999, 2000; Saretz 1993). Während der Produkterstellung sollen hierbei die Bearbeitungsprogramme und damit auch der Arbeitsplan und die Vorgabezeiten durch Simulationen ermittelt werden (Eversheim und Schuh 2005). Die modell- und feature-basierte Produktentwicklung erweitert diese Vorstellung von automatisierter Arbeitsplanerstellung. Produktkonzepte werden maßgeblich durch die zugeordneten Fertigungsverfahren bestimmt. Basierend auf Einschränkungen und Möglichkeiten verfügbarer Fertigungstechnologien werden Bauteile fertigungsgerecht spezifiziert. Eine feature-basierte Modellierung hilft, diese vordefinierten Einschränkungen zu überwinden (Kamrani et al. 2014). Ein Feature bildet funktionale Anforderungen, Geometrieelemente und Eigenschaften (z. B. hinsichtlich der Fertigung) ab. Zum Beispiel kann ein Feature eine mechanische Kupplung des Produktsystems zu einem anderen System sein. Diese Kupplung kann über ein Bohrungsfeature beschrieben werden, in dem die Dimension der Bohrung, die relative Position, fertigungsrelevante Informationen wie zum Beispiel Toleranzen

oder die Oberflächengüte der Bohrung definiert sind. Durch automatisierte Verfahren können aus diesen Features auf Fertigungstechnologien angepasste Bauteilmodelle erzeugt werden. Diese Features eignen sich für eine automatisierte Ableitung von Bearbeitungsaufgaben und Anforderungen an Maschinen durch Simulationen. Feature-basierte Produktmodelle und die anschließende automatische Erzeugung von Geometrien und Maschinendaten sind ein kontinuierliches Forschungsthema an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktion. Ergebnis einer modellbasierten Produktentwicklung ist ein das Produkt vollständig darstellendes Feature-Modell mitsamt Struktur- und Verhaltensdiagrammen. In diesem enthalten sind die für die Produktion benötigten Geometrie- und Fertigungsfeatures. Aus den Feature-Modellen kann im Anschluss der Produktionsprozess abgeleitet werden (Liu et al. 2015).

Durch feature-basierte Produktmodelle und die automatisierte Erstellung von Geometrien und Bearbeitungsaufgaben wird ermöglicht, dass erst bei der Auftragserteilung eine Zuweisung zu geeigneten Maschinen erfolgt. Die derzeitige Arbeitsplanung und -steuerung würde dadurch entfallen. Die aus den Features erzeugten Bauteile können anschließend auf allen Maschinen simuliert werden. Die Maschinen vergleichen anschließend ihre eigenen Systemmodelle mit den Anforderungen der Bauteile, um zu entscheiden, ob sie dieses mitsamt dessen Eigenschaften fertigen können.

3 Holonische Produktionssysteme und dezentrale Produktionssteuerung

Die Ausstattung von Produktionssystemen mit Informations- und Kommunikationstechnologie ermöglicht es, Informationen internetbasiert zu teilen und Informationen anderer Produktionssysteme und (Software-)Dienste einzubetten. Diese Vernetzung aller Systeme und Dienste („Internet of Everything“) beschreibt die treibende Kraft von Industrie 4.0. Es wird zwischen zwei verschiedenen Arten der Vernetzung (bzw. Integrationen) von Systemen und Diensten unterschieden, die kombiniert eingesetzt werden: der vertikalen Integration in (Produktions-)Prozesse und der horizontalen Integration entlang der Wertschöpfungskette. Die vertikale Integration ermöglicht es jedem Teilnehmer (z. B. Software-Dienste, Maschinen, Betriebsmittel, Werkstücke, Lager- und Transportsysteme), sich mit anderen Teilnehmern auszutauschen; sie wird in einem Unternehmen umgesetzt. Die horizontale Integration dient zur Vernetzung von Systemen und Diensten auch über Unternehmensgrenzen hinweg, vor allem mit denen der Kunden und Lieferanten. Diese Vernetzung und die durch Internettechnologien erreichbare ständige Verfügbarkeit von Informationen bieten erhebliche Potenziale in dem Produktionsprozess selber (VDI 2013, 2014; Plattform Industrie 4.0), z. B. hinsichtlich ...

- ... ein disziplinübergreifender, durchgängiger Informationsaustausch etwa über Produkt-/Prozess- und Produktionsstatus mit allen Teilnehmern der Wertschöpfungskette,

- ... die unmittelbare, automatische Optimierung von Prozessen und Systemen, z. B. durch maschinelles Lernen,
- ... die flexible Konfiguration und Selbstorganisation der Produktionsprozesse zwecks schnellerer Anpassung an neue Marktbedingungen und Produktvarianten,
- ... die Adaption von Prozessen und Systemen während der Laufzeit (Plug & Produce),
- ... die Selbstdiagnose von Komponenten (z. B. Predictive Maintenance).

Die Vorteile adaptiver, sich selbst steuernder Systeme ergeben sich erst dann, wenn die Entscheidungsfindung unmittelbar am System erfolgt. Bereits heute können Produktionssysteme ihren eigenen Zustand sensorisch weitestgehend erfassen. Eine Fertigungsmaschine kennt ihren eigenen Betriebszustand, hat in der Regel ihre Fertigungsprogramme lokal gespeichert oder über Netzwerk Zugriff darauf. Sie weiß, wann Wartungen fällig sind und ob zum Beispiel für eine Fertigungsoperation neue Werkzeuge oder Betriebsmittel erforderlich sind. Betriebszeiten und Operationen werden ähnlich wie in modernen Autos erfasst und gespeichert. Auch ist im internen System genau hinterlegt, welche Operationen überhaupt von der Maschine ausgeführt werden können. Diese Informationen können bereits genutzt werden, um Techniker im Falle eines Fehlers oder für Wartungen zu rufen. Die Informationen werden derzeit jedoch nur lokal für das jeweilige System genutzt.

Damit Entscheidungen durch die Systeme (bzw. deren Dienste) getroffen werden können, ist eine Dezentralisierung des Produktionssteuerungssystems notwendig. In Abb. 3 ist die Ausprägung einer solchen Dezentralisierung anhand der Auflösung der Automatisierungspyramide verdeutlicht. Die Automatisierungspyramide veranschaulicht die verschiedenen Leitebenebenen in der industriellen Fertigung. Im ERP-System eingetragene Aufträge werden sukzessive über die Ebenen verfeinert. Prozessdaten werden aus dem Shopfloor zurückgemeldet und in den darüber liegenden Leitebenen verarbeitet. Im Shopfloor erfolgt die Ausführung und Überwachung feingeplanter Aufträge. Die Steuerungsentscheidungen werden in den darüber lie-

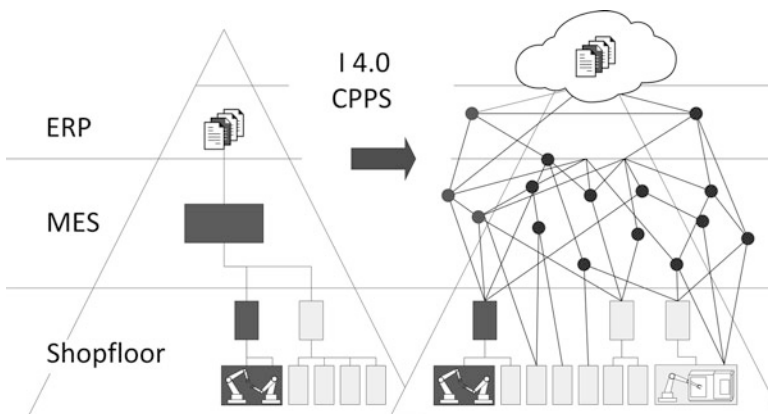


Abb. 3 Auswirkung der Dezentralisierung auf die Automatisierungspyramide

genden Ebenen getroffen. Die in der Automatisierungspyramide dargestellte Produktionssteuerung erfolgt zentralisiert.

Die Ausstattung von Systemen im Shopfloor mit Entscheidungsbefugnissen ist für die Nutzung adaptiver Systeme erforderlich und stellt das in der Automatisierungspyramide veranschaulichte zentralistische Steuerungsmodell in Frage. Das Konzept der Dezentralisierung von Produktionssteuerungssystemen wurde konzeptionell bereits in den 90er-Jahren erforscht. Mit Hilfe agentenbasierter Steuerungsansätze ist es möglich, eine modulare Produktionsstruktur in dem Produktionsprozess und der Produktionssteuerung abzubilden. Zudem werden die Ausführung und Planung der Aufträge in einem System vereint, was einem der Hauptziele bzw. der Nutzung von Industrie 4.0 entspricht. Da jedoch jeder Agent im Grunde nur sein eigenes System bzw. Modul steuert, ist die Komplexität des Steuerungsprozesses für den einzelnen Agenten beherrschbar. Die Agenten versuchen, durch die Kommunikation untereinander die zentralen Aufgaben des Produktionssystems auszuführen. Die Aufträge selber und alle weiteren Teilnehmer an der Produktion (wie z. B. Logistiksysteme, Lagerverwaltung, Shopfloor-Dienste) müssen bei diesem Ansatz über die Agenten eingebunden werden. Insbesondere holonische Produktionssysteme bilden die Grundarchitektur solcher autonomen, sich selbst steuernden Systeme. Ziel war es, die Konzepte der fraktalen Fabrik auch in den Bereichen der Produktionsplanung und -steuerung umzusetzen (Leitao und Restivo 2002).

Die Idee holonischer Produktionssysteme ist, dass alle Elemente für sich autonom arbeiten können und nicht von anderen direkt abhängig sind. Dieser Ansatz geht noch einen Schritt weiter, als nur die Produktionssteuerung auf die Agenten zu verteilen. Er entstand aufgrund der negativen Erfahrungen bei dem Versuch, das Computer Integrated Manufacturing (CIM) in Unternehmen zu implementieren. Die Einführung von CIM führte dazu, dass Produktionssysteme starr an den Prozess gebunden waren und keine Flexibilität boten. Diese Inflexibilität führte wiederum zu einer instabilen Prozessführung, häufigen Störungen und fehlenden Möglichkeiten zur Anpassung und Weiterentwicklung des Systems (Mönch 2006). Der CIM-Gedanke mit seinen starren Strukturen spiegelt sich in der Automatisierungspyramide wider. Dezentrale Ansätze ermöglichenes, die Prozesssteuerung direkt an die Ausführung zu koppeln und damit die Vernetzung aller Systeme und Dienste sowie die Verteilung von Entscheidungen umzusetzen.

Van Brussel et al. (1998) haben mit PROSA eine Referenzarchitektur für holonische Produktionssysteme geschaffen, die sukzessive weiterentwickelt wurde (Valckenaers und Van Brussel 2016). PROSA steht hierbei für „Product-Resource-Order-Staff Architecture“. Product-, Resource- und Order-Holon bilden das eigentliche Produktionssystem. Das Staff-Holon drückt die Instanz des Beschäftigten in einer unterstützenden Rolle aus. Abb. 4 detailliert diese Architektur hinsichtlich der Rolle des Menschen bzw. des Beschäftigten: Ein Mensch-Holon wird von einem Ressourcen-Holon abgeleitet, besitzt aber spezifische Eigenschaften im Gesamtsystem. Es repräsentiert den Menschen bzw. Beschäftigten im informatorisch vernetzten Produktionssystem und dient als Verhandlungsführer des Menschen bzw. als Mensch-Maschine-Schnittstelle. Die spezielle Repräsentation ermöglicht beispielsweise die Einbindung von Kompetenzmodellen, die bei

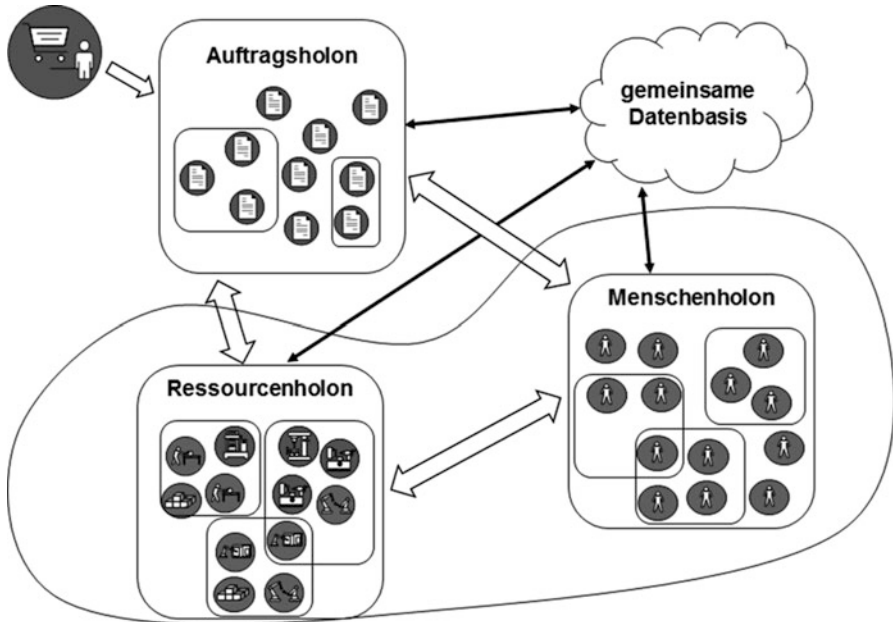


Abb. 4 Einbindung des Menschen in holonische Produktionssysteme (aufbauend auf Valckenaers und Van Brussel 2016)

der Planung von Aufgaben berücksichtigt werden können und die tätigkeitsbezogene Flexibilität des Menschen abbilden. Menschen werden zum einen als Teil der Ressource und zum anderen in der unterstützenden Rolle des in PROSA definierten Staff-Holons eingeplant:

- Beschäftigte sollen als Teil des Produktionssystems agieren. Dieser Teil muss ähnlich wie bei maschinellen Ressourcen von einem Scheduler geplant und gesteuert werden.
- Die Unterstützung des Prozesses ist ein zusätzliches Element. Hierbei geht es darum, dass der Beschäftigte dem System hilft, zum Beispiel um eine Flexibilität durch Einstellungen und Manipulationen herzustellen oder Entscheidungen zu treffen.

Die dedizierte Betrachtung der Rolle des Menschen in holonischen Produktionsarchitekturen ermöglicht Rückschlüsse auf die Auswirkungen, welche sich durch die Einführung von autonom agierenden Systemen im Umfeld von Industrie 4.0 und cyber-physischen Systemen für den Menschen ergeben. Sabar und Zenjari (2015) beschreiben einen Scheduling-Ansatz, der Präferenzen von Beschäftigten berücksichtigt und damit sowohl zu einer besseren Prozess-Ausführung als auch zu einer stark verbesserten Zufriedenheit der beteiligten Menschen führt. Cupek et al. (2016)

beschreiben eine beschäftigtenzentrierte Anwendung von holonischen Produktionssystemen auf einen Arbeitsplatz. Eine solche Dezentralisierung der Planung und Steuerung, aber auch die damit verbundene Aufgabenzuweisung hat entscheidende Auswirkungen auf die Schnittstelle der Produktentwicklung zur Produktion. Wenn die Elemente eines Produktionssystems selber entscheiden können, was sie produzieren und in Holonen (also autonomen Einheiten) organisiert sind, dann ist eine Zuweisung von Produkten zu fest definierten Systemen und Prozessen nicht notwendig. Diese Zuweisung kann durch agentenbasierte Systeme und vergleichbare Produkt- und Produktionssystemmodelle automatisiert und damit dynamisiert werden (siehe Abschn. 2.2). Der Produktionsprozess kann durch die sich selbst organisierenden Systeme dynamisch in den Verhandlungen zwischen den Agenten erstellt werden.

Der Abgleich zwischen Produkt- und Maschinen-Eigenschaften bzw. zwischen den Anforderungen an den Produktionsprozess und den Eigenschaften des Produktionssystems erfordert die Modellierung und maschineninterpretierbare Formalisierung beider Seiten:

- die modellbasierte und vor allem die feature-basierte Produktspezifikation,
- die Modellierung des Produktionssystems.

Technologisch sind der automatisierten Zuweisung Grenzen gesetzt. Die Erstellung von Werkzeugen, vorhandene Einsparungen, die sich bei unterschiedlichen Fertigungsprozessen ergebenden Eigenheiten, aber auch qualitative und betriebswissenschaftliche Aspekte verhindern eine vollständige Dynamisierung des Steuerungsprozesses. Eine Dynamisierung in festgelegten Technologiegruppen ist jedoch möglich. Die Automatisierung der eigentlichen Arbeitsvorbereitung ist diesen Grenzen nicht unterworfen. Eine wesentliche Herausforderung neben der effizienten Nutzung dieser Ressource besteht darin, die Kompetenz von Beschäftigten hinsichtlich der Teilnahme an einem solchen dynamischen System zu entwickeln und Eigenschaften wie Flexibilität und Improvisationsfähigkeit zu nutzen.

4 Auswirkungen auf Beschäftigte in der Produktentstehung

Der in Abschn. 2.1 dargestellte Produktentstehungsprozess umfasst unterschiedliche Tätigkeiten. In jedem Teilprozess muss in der Regel eine Vielzahl von Akteuren mit unterschiedlichem Hintergrund und aus verschiedenen Bereichen kooperieren. Neben den Akteuren aus den direkt in die Produktentstehung integrierten Bereichen sind ebenso Akteure aus indirekt involvierten Bereichen in die Zusammenarbeit eingebunden (Bauer und Schlund 2015). Die in den Produktentstehungsprozess involvierten Bereiche und Funktionen sind:

- Produktentwicklung
- Prozessplanung und -entwicklung
- Fabrikplanung

- Innovationsmanagement
- Produktionsplanung
- Beschaffung, Einkauf
- Marketing, Vertrieb
- Fertigung, Montage
- Logistik
- Lager, Versand
- After Sales, Service
- Management, Verwaltung

Zu den indirekt einbezogenen Bereichen zählen beispielsweise die Logistik und die Prozessplanung. Die Digitalisierung wird zu einem gewissen Grad alle involvierten Bereiche beeinflussen. Bereits die im Rahmen von CIM etablierte Datenhaltung durch z. B. PDM/PLM-Systeme hat große Auswirkungen auf die Tätigkeiten in den dargestellten Bereichen.

Die Hauptunterschiede werden sich jedoch durch eine Neugestaltung der Schnittstelle zwischen Produktion und Produktentwicklung (siehe Abschn. 2.3) ergeben. Mit dem Fokus auf eine Dezentralisierung der Produktionssteuerung wird durch die literaturbasierte Analyse erwarteter Auswirkungen auf Beschäftigte in der Produktentwicklung ein Rahmen geschaffen (Abschn. 4.1), der vor allem die integrierende Rolle der produktzentrierten, modellbasierten Entwicklung betrachtet. Anschließend werden Auswirkungen auf Tätigkeiten an der Schnittstelle zur Produktion und im Bereich der Produktion selber herausgearbeitet (Abschn. 4.2).

4.1 Auswirkungen auf Beschäftigte in der Entwicklung

Die Digitalisierung von Produktdaten führt bereits heute dazu, dass Informationen digital aufbereitet, dokumentiert und anderen Bereichen zugänglich gemacht werden. Die Digitalisierung wird in diesem Bereich vor allem durch die Integration von Werkzeugen zur automatisierten Datenanalyse und -interpretation bis hin zu selbstlernenden und -agierenden Unterstützungssystemen fortschreiten (Lee et al. 2016). Der Mensch muss diese Werkzeuge in den Prozess integrieren und in der Anwendung überwachen. Dabei müssen Schnittstellen zwischen den Bereichen optimiert und an Problemstellungen bereichsübergreifend gearbeitet werden. Digitale Hilfsmittel, wie z. B. CAx-Systeme, unterstützen den Produktentstehungsprozess. Die fortschreitende Weiterentwicklung und Vernetzung dieser Systeme und die Verbindung mit Kollaborationsplattformen ermöglichen bereits heute eine bessere Zusammenarbeit und eine weitgehende Digitalisierung des Arbeitsprozesses. Über digitale Prototypen, Simulationen und hybride Testsysteme (Hardware-in-the-Loop) ist es möglich, bis in weite Phasen des Produktentwicklungsprozesses Produkte rein virtuell zu betrachten. Diese Digitalisierung des Entwicklungsprozesses eröffnet zahlreiche Potenziale in der Ablauflogik. Eine Parallelisierung von Tätigkeiten, z. B. durch Simultaneous Engineering, kann noch weiter vorangetrieben werden. Dokumentationen werden unmittelbar während der Ausführung der digitalisierten

Entwicklungsschritte angelegt. Digitale Kollaborationsplattformen ermöglichen nicht nur eine bessere Zusammenarbeit unter verschiedenen Bereichen, sondern auch die Entkopplung von Arbeitstätigkeiten von dem Ort der physischen Leistungserbringung.

Neben den Entwicklern, die als Hauptakteure für den in Abschn. 2.2 dargestellten Produktentwicklungsprozess agieren, sind an der Entwicklung ebenso Beschäftigte anderer Unternehmensfunktionen beteiligt, beispielsweise:

- Der Vertrieb sorgt für die Einbindung von Kundenwünschen und beeinflusst maßgeblich das Ziel und die Entwicklungsrichtung.
- Der Einkauf fragt Zukaufteile an und hat große Auswirkungen auf die Preisgestaltung.
- Die Arbeitsvorbereitung dient zur simultanen Planung des Produktionssystems und zur Berücksichtigung von Restriktionen der Produktion.
- Das Controlling überwacht, häufig kennzahlenorientiert, die wirtschaftlichen Ziele.
- Die Projektleitung hat die organisatorische Leitung und trägt Ergebnisse zusammen, überwacht den Projektfortschritt, weist Aufgaben zu, organisiert Treffen und koordiniert die Zusammenarbeit.

Im Rahmen eines Systems Engineering getriebenen Entwicklungsprozesses werden der technische Teil der Koordinationsarbeit und die technische Überprüfung der Einhaltung der definierten Anforderungen von dem Systems Engineer übernommen (siehe auch Kap. ► [„Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung“](#) in diesem Handbuch). Dazu zählen die Definition von Anforderungen, die Modellierung von (Teil-)Systemen und die Eigenschaftsabsicherung technischer Lösungen sowie die entsprechende Aufgabenkoordination. Während der Projektlaufzeit legt er den Fokus auf unterschiedliche Aufgaben. Während am Anfang die Anforderungsanalyse und das Architekturdesign im Vordergrund stehen, rücken mit Projektfortschritt das Schnittstellendesign und das Zusammenbringen der unterschiedlichen Disziplinen in den Vordergrund. Zusätzlich müssen die Systemintegration und die Überwachung und Validierung des Projektfortschritts vorgenommen werden (Walden et al. 2015).

Die modellbasierte Produktentwicklung erfordert ein Umdenken in der Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen. Dem Systems Engineer als technischem Koordinator kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu (Gräßler und Hentze 2015). Ein systemisches und modellbasiertes Entwickeln erfordert neben den Kenntnissen der Fachbereiche und den dort verwendeten Werkzeugen ebenso Kenntnisse über Modelle, Systeme und relevante Modellierungssprachen. Ähnlich wie in der Softwareentwicklung, bei der heutzutage bereits ein Großteil der Entwicklungsaufgaben modellgetrieben durchgeführt wird, wird es entsprechende Veränderungen auch in den klassischen Ingenieurdisziplinen des Maschinenbaus und der Elektrotechnik geben. Bei der modellgetriebenen Softwareentwicklung wird der Programmcode aus Modellen generiert. Der Hauptentwicklungsaufwand verlagert sich von dem Schreiben des Codes hin zu dem Erstellen der Modelle und dem abschließenden

Anpassen des automatisch generierten Programms. Die Idee der feature-basierten Produktentwicklung basiert auf einem ähnlichen Gedanken. Auch hierbei soll, wie in Abschn. 2.3 dargestellt, basierend auf Modellen die Produktentwicklung durchgeführt werden. Dies erfordert ebenso von den Entwicklern und Projektbeteiligten neue Kompetenzen bezüglich Modellierung und dem Umgang mit Informationen und Wissen, damit ein gemeinsames Arbeiten und Interpretieren der Modelle ermöglicht wird.

Die Gestaltung cyber-physischer Produktionssysteme verlangt eine stärkere Einbindung von Methoden der Softwaretechnik. Grundlegende Funktionen cyber-physischer Systeme wie ihre Vernetzung und virtuelle Repräsentation (vgl. Digital Twin) werden durch Anwendung von Softwaretechnik realisiert (Lee et al. 2016). Das in Kap. ► „Digitalisierte Arbeit: Arbeitsrechtliche Aspekte“ in diesem Handbuch vorgestellte Konzept von Multi-Agenten-Systemen (MAS) erfordert eine Formalisierung der Fähigkeiten von Mensch und Maschine, die Abbildung einer effizienzorientierten Verhandlungslogik und die Implementierung von Lernverhalten in Bezug auf selbstlernende Systeme auf der einen und arbeitsbezogen lernende Beschäftigte auf der anderen Seite (Reuther und Weiß 2003). Diese Modellierung muss im Rahmen der Produktentwicklung erfolgen und definiert den Rahmen für die Nutzung der flexiblen Ressource „Mensch“. Dadurch ergeben sich für die Entwicklung dieser Systeme zahlreiche Herausforderungen mit Bezug zu Fachkenntnissen aus unterschiedlichen Informatikdisziplinen wie Vernetzung, Sicherheit, Mensch-Maschine-Wechselwirkung und Usability Engineering.

4.2 Auswirkungen auf Beschäftigte in der Produktion

Eine Automatisierung der Produktionssteuerung in Form eines automatisierten Scheduling, einer automatischen Zuweisung von Ressourcen zu Aufträgen und einer automatisierten Anpassung der Produktionssysteme hat erhebliche Auswirkungen auf die Aufgabenbereiche der Beschäftigten in der Arbeitsvorbereitung, in der Produktion und in angrenzenden Bereichen. Eine Automatisierung geht mit einer Übernahme von Aufgaben der Beschäftigten durch Computersysteme einher. Die automatische Planung und Zuweisung von Aufträgen zu Produktionssystemen stellt die klassische Aufgabe eines Fertigungsplaners in Frage. Die Aufgaben für den Menschen werden daher von der Ausführung zur Überwachung und Absicherung von Aufgaben verschoben. Diese neuen Aufgaben beziehen sich dabei vor allem auf Softwaresysteme (vgl. Abb. 4), deren Verhalten beobachtbar und beeinflussbar sein muss. Damit einher geht eine Veränderung der erforderlichen Kompetenzen.

Das Aufgabengebiet der Arbeitsvorbereitung beinhaltet auch das Wissen über Fertigungsabläufe, die Planung und Optimierung von Produktionsprozessen, die Planung von Arbeitsplätzen, Fabriken und Produktionssystemen. Die Bedeutung dieser Aufgaben nimmt durch eine automatische, dezentrale Ausführung der Produktion weiter zu. Ein automatisiertes System erfordert eine digitale Aufbereitung von Informationen, sodass diese von Maschinen interpretierbar sind, eine konsistente Datenhaltung und eine exakt abgestimmte Planung von Prozessen. Die Über-

wachung, Planung und gegebenenfalls Anpassung von Systemen muss ebenso größtenteils immer noch von Menschen erfolgen.

Die Automatisierung der Zuweisung von Aufgaben zu Maschinen durch Agentensysteme führt dazu, dass Beschäftigte in der Produktion Entscheidungen befolgen, die von Computersystemen getroffen wurden. Eine Maschine, welche selber ihren Produktionsplan erstellt und von Menschen bedient werden muss, trifft ihre Entscheidungen somit auch für die dort tätigen Beschäftigten. Das führt zu einem neuen Verhältnis zwischen Technik und Menschen in der Produktion. Die Unterschiede zwischen heutigen Systemen und automatisierten Planungssystemen sind für Beschäftigte jedoch eher indirekt zu spüren. In Manufacturing Execution Systemen (MES) werden heutzutage Produktionsreihenfolgen ebenso automatisch über Betriebsdatenerfassungs-Terminals an einzelne Arbeitsplätze übertragen. Eine direkte Kommunikation zwischen dem Ersteller des Produktionsplans und des Bearbeiters findet ebenso nicht statt. Die Art und Weise wie die Entscheidungen getroffen werden und wie diese mitgeteilt werden, hängt von der Entwicklung der technischen Systeme ab. Es entstehen neue Möglichkeiten, technische Systeme zur Berücksichtigung individueller Bedürfnisse besser zu nutzen. Komplexe Restriktionen wie z. B. individuelle Pausenzeiten, persönliche Präferenzen bei Tätigkeiten, eine dynamische Job-Rotation und ein explizites Einplanen von praktischen Lerntätigkeiten können durch von Computern dezentral geplante Produktionssysteme realisiert werden.

Die unmittelbaren Veränderungen für die Beschäftigten in der Produktion werden auch durch den Einsatz von Technologien wie zum Beispiel Mobile Devices, Augmented Reality, kollaborative Robotik und neue Sensorik hervorgerufen. Daraus erfolgende Auswirkungen sind direkt am Arbeitsplatz sichtbar. Bauer et al. (2016) beschreiben z. B. die Implementierung von tragbaren Sensoren zur Unterstützung von Mitarbeitern in Produktionsumgebungen. Die Sensoren sind in der Lage Stress, physische Belastungen und Anstrengungen durch Messung von Eigenschaften wie Herzschlag, Schwitzen und Herzdruck zu erfassen. Die Messung dieser Daten ermöglicht eine automatische, menschenzentrierte Personalplanung unter Berücksichtigung automatisch abgeleiteter persönlicher Anforderungen. Ein Arbeitszeitplan kann unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit und der vorherigen persönlichen körperlichen Belastung eines jeden Mitarbeitenden angepasst werden. Dadurch kann eine Harmonisierung der Anstrengungen und eine Verbesserung der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit erreicht werden (Paelke et al. 2015). Ein weiteres Forschungsfeld ist die Untersuchung neuer Wechselwirkungen zwischen Mensch und Maschine. Kollaborative Robotik als Schlüsselforschungsgebiet ermöglicht es Robotern, mit Menschen ohne zusätzliche Barrieren und Schnittstellen zusammenzuarbeiten. Der Roboter ist dadurch zum Beispiel in der Lage, Mitarbeitende durch das Heben schwerer Teile zu unterstützen. Das kollaborative Merkmal ermöglicht auch die Implementierung von menschlichen Arbeitskräften in vollständig automatisierten Produktionsstationen. Hierdurch können normalerweise schwierige Aufgaben für Maschinen, wie das Herstellen einer Vielzahl von Produkten oder das Handhaben von flexiblen Teilen, durch den Mitarbeiter übernommen werden, und die sich wiederholende Aufgabe kann durch die Maschine ausgeführt werden.

Die neuen Technologien eröffnen Möglichkeiten zur Verbesserung der Arbeitssituation und Chancen für neuartige Arbeitsplatzgestaltung. Sie sind jedoch auch mit Gefahren für Beschäftigte verbunden. Sensoren, die persönliche Leistungsindikatoren erheben, können problemlos für eine permanente Überwachung und Bewertung genutzt werden. Die Weiterentwicklung von Robotern kann zur Übernahme einfacher Aufgaben und damit zur Verlagerung der menschlichen Arbeit führen. Indem sie Roboterverfahren flexibler machen, können sie sogar komplizierte Operationen durchführen.

5 Fazit

Industrie 4.0 eröffnet für industrielle Produktionsbetriebe und deren Produktentstehung zahlreiche neue Gestaltungsmöglichkeiten. Die Durchdringung industrieller Produktionsbetriebe mit Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht es, Dinge und Dienste kontinuierlich und, im Fall von Informationssystemen, weitgehend ortsunabhängig verfügbar zu machen. So können Informationen durchgängig aufgenommen und verarbeitet werden, um die Planung verbessern zu können und Prozesse effizienter gestalten zu können. Der Produktentstehungsprozess als zentraler Geschäftsprozess bedarf hierbei einer besonderen Betrachtung. Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung werden insbesondere durch das Nutzen von Modellen und der Automatisierung von Schnittstellen in dem Prozess gesehen. Signifikante Auswirkungen hat Industrie 4.0 unter anderem auf die Arbeitsplanung als direkte Schnittstelle zwischen der Produktion und der Produktentwicklung. Feature-basierte Modelle, verbesserte Simulationen und dezentrale Produktionssteuerungen bereiten den Weg unter anderem für eine Automatisierung der Arbeitsplanung und der Maschinenzuweisung.

Sowohl die eingesetzten Produktions- und IT-Systeme als auch die zu entwickelnden Produkte werden durch die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien einen höheren Anteil an Softwaretechnik aufweisen. Zur Beherrschung der zunehmend induzierten Komplexität sind neue Herangehensweisen und Methoden erforderlich. Während in der Produktion auch komplexe Prozesse durch Industrie 4.0 automatisiert werden sollen, ist die Produktentwicklung auf Prozessverbesserungen angewiesen, um dem Ziel kürzerer Entwicklungszeiten und effizienter Prozesse gerecht zu werden. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit stellt durch die weitere Integration der Informatik eine zunehmende Herausforderung dar. Die modellbasierte Produktentstehung ist hierbei ein Mittel, um diese Komplexität auch in Zukunft beherrschen zu können.

Für Beschäftigte ist dies gleichbedeutend mit zahlreichen Veränderungen bezogen auf ihren Arbeitsplatz und ihre Arbeitsprozesse. Die fortschreitende Durchdringung durch Informations- und Kommunikationstechnologie wird weitere Kenntnisse in diesen Bereichen für alle Beschäftigte erfordern. Repetitive Tätigkeiten und die Zusammenstellung von Informationen werden durch die neuen Systeme deutlich vereinfacht werden und auch Verwaltungsprozesse werden automatisiert werden

können. In der Produktentstehung ist dies gleichbedeutend mit einer besseren Verfügbarkeit von Daten und einer Durchgängigkeit der Daten über den gesamten Entstehungsprozess hinweg. Durch Modellierungen und Simulationen lassen sich ebenso die interdisziplinäre Zusammenarbeit und insbesondere die Informationshaltung und Dokumentation verbessern. Ebenso sind dadurch Prozessautomatisierungen an den Schnittstellen zwischen den Bereichen möglich. Dies betrifft zum einen die fachübergreifende Zusammenarbeit, z. B. durch die gemeinsame Zusammenarbeit an einem Produktmodell. Zum anderen können anschließende Schnittstellen, wie zum Beispiel die Arbeitsplanung, ebenso neugestaltet werden. Für eine solche modellgetriebene Entwicklung sind neue Kenntnisse insbesondere der Informatik auch für Produktentwickler erforderlich. In der Produktion werden konzeptuelle Veränderungen – u. a. in Richtung holonischer Produktionssysteme – Auswirkungen auf die Arbeitsumgebungen haben. Bestehende Konzepte müssen z. B. hinsichtlich der konstruktiven Einbindung von Beschäftigten, z. B. durch die Einführung von Mensch-Holonen, erweitert werden. Die Auswirkungen für Beschäftigte ergeben sich entsprechend dadurch, dass Arbeitsprozesse computergesteuert ausgewählt werden. Die Einführung von neuen Technologien in der Produktion, wie z. B. kollaborative Robotik und der verstärkte Einsatz von Computertechnologie, wird für die Mitarbeiter eine noch größere Auswirkung haben.

Literatur

- Albers, A., & Braun, A. (2011). A generalized framework to compass and to support complex product engineering. *International Journal of Product Development*, 15, 6–25.
- Albrecht, K., & Anderl, R. (2016). Information model for the integration of manufacturing restrictions into the algorithm based product development process. *Procedia CIRP*, 50, 819–824.
- Anderl, R., Picard, A., Wang, Y., Fleischer, J., Dosch, S., Klee, B., & Bauer, J. (2015). *Leitfaden Industrie 4.0 : Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand*. Frankfurt a. M.: VDMA Verlag.
- Bauer, W., & Schlund, S. (2015). Wandel der Arbeit in indirekten Bereichen – Planung und Engineering. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Nierhaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen* (S. 54–71). Baden-Baden: Namos.
- Bauer, D., Wutzke, R., & Bauernhansl, T. (2016). Wear@Work – A new approach for data acquisition using wearables. *Procedia CIRP*, 50, 529–534.
- Bauernhansl, T., ten Hompel, M., & Vogel-Heuser, B. (Hrsg.). (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer.
- Bierfelder, W. (1994). *Innovationsmanagement: prozessorientierte Einführung*. München: Oldenbourg.
- Bochtler, W. (1996). Modellbasierte Methodik für eine integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung. In F. Klocke, R. Schmitt, G. Schuh & C. Brecher (Hrsg.), *Berichte aus der Produktionstechnik* (Band 96, 6). Aachen: Shaker.
- Bullinger, H.-J., & Warschat, J. (1997). *Forschungs- und Entwicklungsmanagement: Simultaneous Engineering, Projektmanagement, Produktplanung, Rapid Product Development*. Stuttgart: Teubner.
- Cooper, R. (2002). *Top oder Flop in der Produktentwicklung. Erfolgsstrategien: von der Idee zum Launch*. Weinheim: Wiley-VCH.

- Cupek, R., Ziebinski, A., Huczala, L., & Erdogan, H. (2016). Agent-based manufacturing execution systems for short-series production scheduling. *Computers in Industry*, 82, 245–258.
- Eversheim, W., & Schuh, G. (2005). *Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung*. Berlin: VDI.
- Feldhusen, J., Löwer, M., & Bungert, F. (2009). Agile methods for design to customer. In M. Norell Bergendahl, M. Grimheden, L. Leifer, P. Skogstad & U. Lindemann (Hrsg.), *Proceedings of ICED '09, 17th International conference on engineering design*, (Bd. 6, S. 451–459).
- Gausemeier, J., Dumitrescu, R., Kahl, S., & Nordsiek, D. (2011). Integrative development of product and production system for mechatronic products. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(4), 772–778.
- Gräßler, R. (1999). Planungs- und Workflow-Methodik für eine integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung. In F. Klocke, R. Schmitt, G. Schuh & C. Brecher (Hrsg.), *Berichte aus der Produktionstechnik* (Bd. 99, S. 19). Aachen: Shaker.
- Gräßler, I. (2000). Informations- und zeitbasiertes Controlling einer integrierten Konstruktion und Arbeitsplanung. In F. Klocke, R. Schmitt, G. Schuh & C. Brecher (Hrsg.), *Berichte aus der Produktionstechnik* (Bd. 2000, S. 9). Aachen: Shaker.
- Gräßler, I. (2015). Umsetzungsorientierte Synthese mechatronischer Referenzmodelle. In T. Bertram, B. Corves & K. Janschek (Hrsg.), *Tagungsband VDI Mechatronik 2015* (S. 167–172). TU Dortmund.
- Gräßler, I., & Hentze, J. (2015). Enriching mechatronic V-Model by aspects of systems engineering. In *Proceedings of SMART2015, 7th ECCOMAS thematic conference on smart structures and materials*. Lisbon: IDMEC/IST.
- Isermann, R. (2008). *Mechatronische Systeme: Grundlagen*. Berlin: Springer.
- Kamrani, A., Abouel, N., Abdulrahman, A., Abdulhameed, O., & Mian, S. (2014). Feature-based design approach for integrated CAD and computer-aided inspection planning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(9), 2159–2183.
- Lee, J., Bagheri, B., & Jin, C. (2016). Introduction to cyber manufacturing. *Manufacturing Letters*, 8, 11–15.
- Leitao, P., & Restivo, F. (2002). Holonic adaptive production control systems. In *IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society* (S. 2968–2973). IEEE.
- Lindemann, U. (2016). *Handbuch Produktentwicklung*. München: Hanser.
- Liu, J., Duke, K., & Ma, Y. (2015). Computer-aided design-computer-aided engineering associative feature-based heterogeneous object modeling. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(12).
- Mönch, L. (2006). *Agentenbasierte Produktionssteuerung komplexer Produktionssysteme*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Paelke, V., Röcker, C., Koch, N., Flatt, H., & Büttner, S. (2015). User interfaces for cyber-physical systems. *at-Automatisierungstechnik*, 63(10), 833–843.
- Plattform Industrie 4.0. (2015). *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*. Berlin: Plattform Industrie 4.0.
- Ponn, J., & Lindemann, U. (2011). *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte: Systematisch von Anforderungen zu Konzepten zu Gestaltungsungen*. Heidelberg: Springer.
- Reuther, U., & Weiß, R. (2003). *Der Programmbereich „Lernen im Prozess der Arbeit“*. In *Zwei Jahre „Lernkultur Kompetenzentwicklung“*. Projekt Qualifikations-Entwicklungs-Management (QUEM-Report, 79) (S. 91–138).
- Sabar, M., & Zenjari, A. (2015). Impact of flexibility and employees preferences on shift scheduling: A simulation approach. *International Journal of Economics and Management Engineering*, 5(1), 1–8.
- Saretz, B. (1993). Entwicklung einer Methodik zur Parallelisierung von Planungsabläufen – Ein Beitrag zur Reduzierung von Produktentwicklungszeiten in der Seilenproduktion. In F. Klocke, R. Schmitt, G. Schuh & C. Brecher (Hrsg.), *Berichte aus der Produktionstechnik* (Bd. 93, S. 6). Aachen: Shaker.
- Valckenaers, P., & Van Brussel, H. (2016). *Design for the unexpected: From holonic manufacturing systems towards a humane mechatronics society*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.

- Van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L., & Peeters, P. (1998). Reference Architecture for holonic manufacturing systems: PROSA. *Computers in Industry*, 37(3), 255–274.
- VDI 2206. (2004). Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. (2013). *Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation*.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. (2014). *Industrie 4.0 Wertschöpfungsketten*.
- Walden, D. D., Roedler, G. J., Forsberg, K. J., Hamelin, R. D., & Shortell, T. M. (Hrsg.). (2015). *INCOSE Systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities*. Hoboken: Wiley.



Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung

Roman Dumitrescu, Christian Tschirner und Michael Bansmann

Inhalt

1	Einleitung	406
2	Auswirkungen der Digitalisierung auf die Entwicklung komplexer Systeme	409
3	Überblick Systems Engineering	415
4	SE für das Engineering 4.0	422
5	Zusammenfassung und Ausblick	428
	Literatur	429

Zusammenfassung

Die digitale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft wird die Produkte, Organisation und insbesondere die Arbeitswelten von morgen fundamental verändern. Digitale Technologien und Konzepte führen in der Produktentstehung zu einem Paradigmenwechsel – das Engineering 4.0. Wir betrachten Systems Engineering als Schlüssel, um diesen Wandel humangerecht zu gestalten und den Herausforderungen der Produktentstehung in einer digitalisierten Welt zu begegnen. Systems Engineering stellt die Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen zu komplexen Problemen in den Fokus.

R. Dumitrescu (✉)

Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn, Deutschland

E-Mail: roman.dumitrescu@iem.fraunhofer.de

C. Tschirner

Geschäftsführer Two Pillars GmbH, Zukunftsmeile 1, Paderborn, Deutschland

E-Mail: christian.tschirner@two-pillars.de

M. Bansmann

Technischer Assistent Werkleitung Oelde, Miele Werk Oelde, Oelde, Deutschland

E-Mail: michael.bansmann@miele.com

Schlüsselwörter

Systems Engineering · Digitale Technologien und Konzepte · Engineering 4.0 ·
Systems Engineer · Kompetenzprofil Ingenieur von morgen

1 Einleitung

Viele Bereiche unseres Lebens sind derzeit von technologieinduzierten Transformationsprozessen gekennzeichnet: eine umfassende *Vernetzung* aller Bereiche von *Wirtschaft* und *Gesellschaft* sowie die Anpassung der Akteure an die neuen Rahmenbedingungen bereiten den Weg für eine digitale Ökonomie. Dieser digitale Wandel basiert auf einer schnellen und breiten Adaption neuer *Informations-* und *Kommunikationstechnologien*. Diese haben jeweils für sich und erst recht in *Wechselwirkung* miteinander ein großes Potenzial, die Art und Weise, wie wir *wirtschaften* und *arbeiten*, grundlegend zu beeinflussen (BMW 2016a; BMAS 2015, 2016a). Die technologischen Grundlagen des digitalen Wandels lassen sich in Anlehnung an die Unternehmensberatung Roland Berger in vier Stellhebel unterscheiden (Roland Berger Strategy Consultants 2015):

- 1) Technologien, die sich auf die Erfassung, Verarbeitung und Analyse *digitaler Daten* beziehen. Darunter fallen z. B. Big Data-Ansätze,
- 2) Technologien zur *Automatisierung* von Wertschöpfungsketten und Produkten, wie bspw. Ansätze der Robotik,
- 3) Technologien zur *Vernetzung* von Systemen, wie z. B. Cloud Computing,
- 4) Technologien zur *Virtualisierung* wie Augmented und Virtual Reality (AR/VR).

Diese „Enabler-Technologien“ ermöglichen innovative Anwendungen. So können mit Ansätzen des Big Data Bedarfsanalysen wie z. B. Lösungen zur vorausschauenden Wartung realisiert werden. Solche sog. Predictive-Maintenance-Ansätze ermöglichen eine frühzeitige Identifikation von Wartungsbedarf auf Basis von Datenanalysen. Das volle Potenzial wird jedoch erst dann ausgeschöpft, wenn Technologien aus mehreren Kategorien kombiniert werden: Durch AR, Big Data und Cloud Computing kann eine standortübergreifende präventive Fernwartung im Zusammenspiel mit einem „Augmented Operator“ und einem „Remote-Experten“ durchgeführt werden. Dabei erhält der Augmented Operator visuelle und akustische Informationen und Anweisung zur Durchführung von Arbeitstätigkeiten (z. B. Wartung einer Anlage) durch den Remote-Experten. Durch VR und Cloud Computing lassen sich virtuelle Workshops durchführen (z. B. standortübergreifendes, virtuelles Kundengespräch). Diese Beispiele zeigen, dass die Grundlage des digitalen Wandels auf einer konsistenten Bündelung von Enabler-Technologien und deren Anwendung basiert. Diese Bündelung bezeichnen wir als *Digitale Technologien und Konzepte* (Abk. DTK) (vgl. Abb. 1).

Die Digitalen Technologien und Konzepte verändern nicht nur die industrielle Produktion, sondern gewinnen auch zunehmend an Einfluss auf die Entwicklungsarbeit. Sie verändern grundlegend die Art und Weise wie Produkte entstehen. Zum

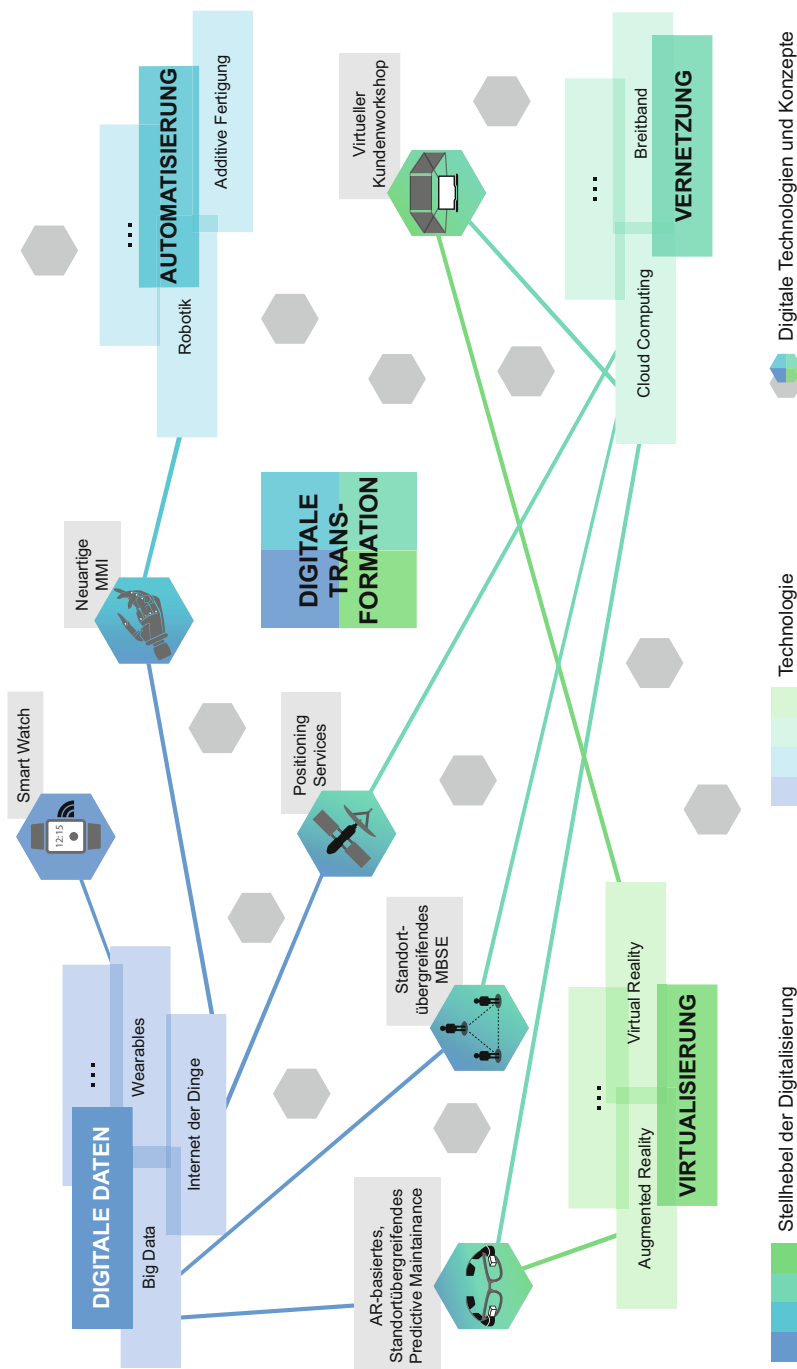


Abb. 1 Digitale Technologien und Konzepte als Grundlage des digitalen Wandels der Produktentstehung in Anlehnung an Roland Berger Strategy Consultants (2015)

einen schaffen die DTK, in Form von Informations- und Kommunikationstechnologie, faszinierende Möglichkeiten für die Gestaltung technischer Systeme und ermöglichen den Sprung von der Mechatronik hin zu sog. *Intelligenten Technischen Systemen*. Die wesentlichen Herausforderungen in der Entwicklung solcher Systeme sind die verstärkte Interdisziplinarität sowie die stetig steigende Produktkomplexität (Gausemeier et al. 2013a).

Zum anderen begünstigen die Digitalen Technologien und Konzepte den generellen Wandel in der Arbeitsorganisation hin zu sog. *Entwicklungs- und Innovationsnetzwerken*; arbeiten über zeitliche, räumliche und unternehmensinterne Grenzen hinweg wird problemlos möglich (Pahl et al. 2013; Dejonckheere et al. 2001). Charakteristisch für diese Entwicklung ist der Zuwachs an Datenströmen (IBM et al. 2012; Fraunhofer 2012), der zu einer steigenden Organisationskomplexität führt. In diesem Zusammenhang lässt sich ein Trend zur Entwicklung neuartiger digitaler Kollaborationsnetzwerke beobachten, z. B. in Form von Open-Engineering-Plattformen. Diese ermöglichen die aufwands- und ressourcenarme Zusammenarbeit von Stakeholdern entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Branchen. Es ermöglicht Unternehmen unterschiedlicher Größen und Branchen (insb. KMU) effizient mit Know-how-Trägern zusammenzuarbeiten, um aufwands- und ressourcenarm am technologischen Fortschritt zu partizipieren (Evans und Gawer 2016). Dabei bilden entsprechende Plattformen eine zentrale Anlaufstelle, mit deren Hilfe eine fortlaufende und unternehmensübergreifende Kollaboration ermöglicht wird (BMW 2016b; Fraunhofer 2016).

Digitale Technologien und Konzepte entfalten darüber hinaus neue Möglichkeiten für das Agieren am Arbeitsplatz und führen zu einem *Wandel der Entwicklungsarbeit*: So schaffen z. B. AR-Brillen neue Möglichkeiten zur standort- und disziplinübergreifenden Kollaboration. Der Einsatz solcher digitalen Arbeitsmittel führt zu einer Flexibilisierung und virtuell-kooperativen Formen der Zusammenarbeit (Hirsch-Kreinsen und ten Hompel 2017). Zudem ermöglicht die Digitalisierung bzw. damit verbundene IT-Verfahren die digitale Durchgängigkeit von Daten: Informationen können global verteilt, erfasst, verarbeitet und analysiert werden. Daraus ergeben sich herausragende Möglichkeiten der Wissens- und Entwicklungsarbeit: Individualisierte Assistenzsysteme sind in der Lage, Wissen in Abhängigkeit von Anwendungsszenarien, äußeren Umgebungen und Stakeholdern nutzenstiftend aufzubereiten, sodass neue Erkenntnisse gewonnen werden können.

Beschäftigte in Entwicklungsbereichen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie verwandten Branchen befinden sich somit in einem dynamischen Spannungsfeld aus Mensch, Organisation und Technik: Zunehmende Produkt- sowie Organisationskomplexitäten sind zu beherrschen, zudem entstehen neue Anforderungen an die Beschäftigten durch neuartige Mensch-Technik-Interaktionen. Diese drei Aspekte revolutionieren die Arbeitswelten in der Produktentstehung und prägen ein neues Paradigma – das *Engineering 4.0*.

Wie die faszinierenden Möglichkeiten der zunehmenden Leistungsfähigkeit von Digitalen Technologien und Konzepten konkret im Sinne von Unternehmen und Beschäftigten genutzt und gestaltet werden können, ist jedoch weitestgehend unklar. So geben 95 % der im Rahmen einer IHK-Studie befragten Unternehmen an, dass die Digitalisierung die Geschäfts- und Arbeitsprozesse beeinflusst (IHK 2015). Ein

Großteil dieser Unternehmen fühlt sich jedoch unzureichend auf den digitalen Umwälzungsprozess vorbereitet und sieht massiven Handlungsbedarf bei der Digitalkompetenz ihrer Beschäftigten. Dazu müssen die Beschäftigten für die Potenziale und Risiken der Digitalisierung sensibilisiert und im Umgang mit Digitalen Technologien und Konzepten qualifiziert werden (IHK 2015). An dieser Stelle ist das *Systems Engineering* als ganzheitlicher Ansatz geeignet, die Integration von DTK in Produkte und entsprechende Entwicklungsprozesse zu planen und zu beherrschen (Gausemeier et al. 2013b) und aktiv im Sinne einer effizienten sowie attraktiven Arbeit zu gestalten.

2 Auswirkungen der Digitalisierung auf die Entwicklung komplexer Systeme

Der digitale Wandel der Industrie wird bisher maßgeblich aus der technischen Perspektive betrachtet – „*Wie sehen neuartige Systeme zur Unterstützung der Arbeit aus?*“. Gleichzeitig sollte aber auch die Integration existierender Konzepte in die Prozesse betont werden – „*Welche existierenden Technologien und Konzepte können in digitalisierten Prozessen Nutzen stiften?*“. Zentral ist also die *Frage nach einem sinnvollen Grad an Digitalisierung* – hier herrscht bei Entscheidern und Anwendern große Unsicherheit. Die digitale Transformation wird so zum „Drahtseilakt“ (Fujitsu Technology Solutions 2016). Mit dem Einsatz entsprechender Technologien gehen tiefgreifende Veränderungen in der Arbeitswelt einher. Prozesse und Strukturen sowie die Tätigkeiten, Aufgaben und Kompetenzen von Arbeitnehmern sind an die neuen Anforderungen anzupassen (BMAS 2015, 2016b; Porter und Heppelmann 2015). Nicht zuletzt in den Ingenieurwissenschaften entwickelt sich zunehmend das Bewusstsein, dass nicht die rein technische Perspektive, sondern vielmehr die organisatorische und soziale Perspektive der zentrale Stellhebel für die erfolgreiche Digitalisierung der Produktentstehung ist und in den Mittelpunkt der digitalen Transformation gerückt werden muss (Gausemeier 2010; Hirsch-Kreinsen 2014). In diesem Zusammenhang ist unklar, wie sich die fortschreitende Digitalisierung ganzheitlich auf das *Spannungsfeld Mensch-Technik-Organisation* auswirkt (vgl. dazu Ulich 2010). Innerhalb dieses Spannungsfeldes lassen sich drei Handlungsfelder identifizieren, in denen die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Produktentstehung näher untersucht werden müssen (vgl. Abb. 2).

Die Handlungsfelder ergeben sich aus der Schnittmenge von jeweils zwei Aspekten des skizzierten Spannungsfelds. Im Zusammenspiel Mensch-Technik entsteht das Handlungsfeld „*Mensch-Technik-Interaktion*“. Dabei steht die Frage im Fokus, welche Digitalen Technologien und Konzepte die Szenarien digitaler Arbeitswelten prägen. Aus der Schnittmenge Organisation-Technik ergibt sich das Handlungsfeld „*Digitale Organisation*“. In diesem Umfeld gilt es, Digitale Technologien und Konzepte zur Unterstützung der Organisationsgestaltung in der digitalisierten Welt (z. B. Zusammenarbeit in globalen Unternehmensnetzwerken) sowie deren Auswirkungen auf Unternehmensprozesse und -strukturen zu identifizieren. Auf dieser Basis sind dann Handlungsempfehlungen zur Befähigung von Organisationen zur Umsetzung von Szenarien digitaler Arbeitswelten abzuleiten. Zuletzt ergibt sich aus

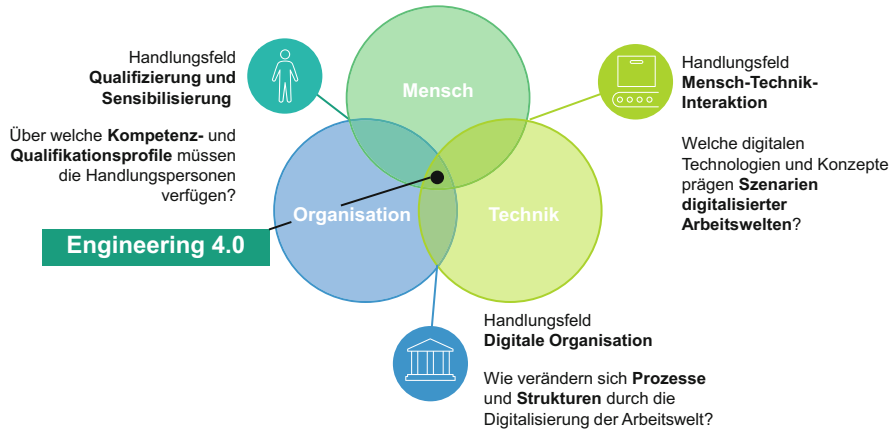


Abb. 2 Engineering 4.0 im Spannungsfeld Mensch-Organisation-Technik in Anlehnung an Ulich (2010)

der Schnittmenge Mensch-Organisation das Handlungsfeld „*Qualifizierung und Sensibilisierung*“. Bei dieser Schnittmenge geht es streng genommen eher um die Frage, wie personale Teilsysteme durch organisatorische Rahmenbedingungen effizienter zu gestalten sind (Sonntag et al. 2013). Grundlegend für diese Fragestellung ist jedoch, über welche Kompetenz- und Qualifikationsprofile die Handlungspersonen in digitalen Arbeitswelten in der Produktenentstehung überhaupt verfügen müssen. Daher wird aufgezeigt, welche Anforderungen an die Beschäftigten sich aus den ersten zwei Handlungsfeldern ableiten lassen, welche Kompetenz- und Qualifikationsprofile sich entsprechend ergeben und wie geeignete Schulungskonzepte aussehen können. Im Folgenden werden die Handlungsfelder anhand von Beispielen beschrieben. Zudem wird aufgezeigt, welchen *Beitrag* das *Systems Engineering* in den jeweiligen Handlungsfeldern leisten kann, um zur Gestaltung digitaler Arbeitswelten beizutragen.

2.1 Handlungsfeld „Mensch-Technik-Interaktion“

Das Handlungsfeld Mensch-Technik-Interaktion bezieht sich auf den *Einsatz von digitalen Arbeitsmitteln*, d. h. Arbeitstätigkeiten werden von Digitalen Technologien und Konzepten unterstützt. Während in der Produktion der Einsatz digitaler Arbeitsmittel vielfach bereits zum Stand der Technik gehört, sind entsprechende Potenziale in der Entwicklung noch nicht erschlossen. So wird zum Beispiel innerhalb der Produktion der Roboter zum kooperierenden Partner: Derartige Anwendungsszenarien ergeben sich durch die technologischen Weiterentwicklungen auf den Gebieten der Sensorik, Aktorik und der Navigation (Wischmann 2014). Der Trend geht von der Vollautomatisierung hin zu Kooperation und Kollaboration zwischen Mensch und Roboter (Haag 2015). Der Mensch instruiert, interagiert und kooperiert mit Robotern. Ein weiteres Beispiel für den Einsatz digitaler Arbeitsmittel auf Basis von

DTK sind AR-Brillen: Diese bieten erhebliche Nutzenpotenziale, z. B. durch eine kontextspezifische visuelle Unterstützung von Tätigkeiten in der Wartung sowie der Montage (Wild et al. 2014a) oder auch durch die weltweite Verfügbarkeit von Experten, z. B. über AR-basierte Remote-Systeme. Bevor diese Nutzenpotenziale vollumfänglich genutzt werden können, gilt es diverse technologische Restriktionen zu überwinden (z. B. Akku-Laufzeit, Rechenleistung). Wild et al. geben eine Übersicht über Anwendungsbeispiele in der Wartung von Maschinen- und Anlagen, Qualitätssicherung im Schiffsbau oder bei wissensintensiven Produktionsaktivitäten (Wild et al. 2014b). Weitere Anwendungsbeispiele von DTKs als digitale Arbeitsmittel in der Produktion sind Manufacturing-Execution-Systeme (MES). Diese erfassen Betriebs-, Maschinen- oder Personaldaten und bereiten diese auf und ermöglichen so die dezentrale Führung, Lenkung, Steuerung und Kontrolle der Produktion. So können dem Werker mittels Peripheriegeräten (z. B. Smart Watch) an Montageplätzen arbeitsplatzbezogene und auftragsspezifische Qualitätsdaten angezeigt werden (Louis 2008). Zudem werden sog. Wearables in der Produktion eingesetzt. Diese basieren auf der technologischen Weiterentwicklung und Miniaturisierung von elektronischen Geräten in Form von körpernaher und tragbarer Sensorik. Dies ermöglicht neue Potenziale zur Ausgestaltung der Mensch-Technik-Schnittstelle. Wearable Devices können so zur Aufgabenerfüllung, Ergonomie, Arbeitsgesundheit und -sicherheit beitragen. So können diese z. B. beim Service die Stammdaten gesuchter Bauteile anzeigen („Intelligenter Handschuh“). Bei dem Einsatz digitaler Technologien und Konzepte ist jedoch ein sinnvoller Grad an Automatisierungs- bzw. Digitalisierungslösungen ein entscheidender Erfolgsfaktor (Wischmann 2014).

Für das *Engineering 4.0* leitet sich die Frage ab, welche *Digitalen Technologien und Konzepte in der Entwicklung* nutzenstiftend einsetzbar sind und welcher Grad an Digitalisierung vor dem Hintergrund unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen sinnvoll ist. Je mehr Stakeholder von verschiedenen Standorten an einer Aufgabe beteiligt sind, desto eher lohnt es sich auf einen virtuellen Workshop zu setzen. Denkbar sind Szenarien wie z. B. reale oder virtuelle Prototypen mit produktbezogenen Daten zu koppeln. Solche Daten können z. B. innerhalb eines sog. Systemmodells vorliegen. Dieses enthält alle fachdisziplinübergreifenden Informationen, die zum Verständnis und zur Entwicklung des Systems notwendig sind und wird mit Beginn des Entwicklungsprojekts erstellt und fortlaufend gepflegt. Eine solche Kopplung eröffnet völlig neue Möglichkeiten zur Orchestrierung der Produktentstehung: Während der Entwicklung von Produkten und dazugehörigen Produktionssystemen werden derzeit häufig Prototypen in Form von physikalischen Mock-Ups (z. B. Papp- oder Schaummodelle zur Bauraumdarstellung) oder teilweise virtuelle Prototypen zur Eigenschaftsabsicherung verwendet. Physikalische Mock-Ups könnten zukünftig stärker z. B. mit Verfahren des 3D-Drucks aufwandsarm gefertigt werden. Mittels digitaler Assistenzsysteme wie AR-Brillen oder Tablets könnte das digitale Abbild des Produkts oder des Produktionssystems in den physikalischen Mock-Up eingeblendet werden. Durch diese zusätzlichen Informationen entsteht ein sog. Mixed Mock-Up. Dabei können zum einen für die verschiedenen Baugruppen Informationen zum aktuellen Projektstatus, zu Änderungsständen oder zu aktuellen Herausforderungen wie Lieferengpässe eingeblendet

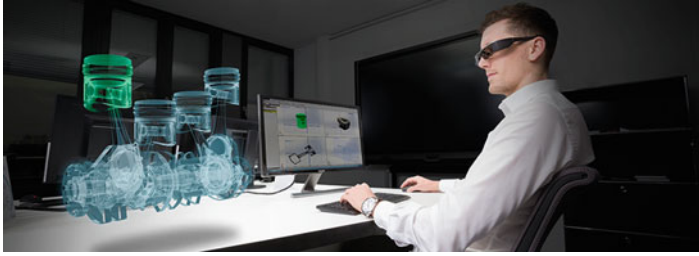


Abb. 3 Szenario digitaler Arbeitswelten auf Basis Digitaler Technologien und Konzepte

werden. Dies kann insbesondere standortübergreifende Meetings mit Kunden oder Zulieferern unterstützen. Zum anderen können auf Basis des Mixed Mock-Ups Design Reviews durchgeführt werden. Das verbessert die Kommunikation zwischen Fachabteilungen oder zwischen Kunden und Lieferanten. Anstelle eines realen können auch virtuelle Prototypen verwendet werden. Ein solches Szenario zeigt Abb. 3.

Zur *Erschließung der Potenziale solcher digitalen Arbeitsmittel in der Produktentstehung* gilt es sowohl mittels *Technology Push* (Was ist technisch möglich?) als auch *Company Pull* (Welche Bedarfe hat ein Unternehmen?) vorzugehen: Zum einen sind grundsätzlich für die Produktentstehung geeignete DTKs zu identifizieren und im Sinne eines *Technology Push* die entsprechenden Potenziale aufzuzeigen (z. B. der Mixed Mock-Up zur besseren Eigenschaftsabsicherung von Produktionssystemen). Zum anderen gilt es im Sinne eines *Company Pull* zu identifizieren, welche existierenden DTKs und in welcher Ausprägung (welcher Detaillierungsgrad) vor dem Hintergrund unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen sinnvoll sind (z. B. je mehr Standorte bei der Entwicklung des Produktionssystems eingebunden sind, desto sinnvoller ist die Verwendung eines Mixed Mock-Ups). Herausforderung für das Systems Engineering im Handlungsfeld Mensch-Technik-Interaktion ist es dann, die für die Verwendung der DTK notwendigen Daten zu sammeln, aufzubereiten und darzustellen sowie die dafür notwendigen organisationalen Rahmenbedingungen zu gewährleisten.

2.2 Handlungsfeld „Digitale Organisation“

Das Handlungsfeld *Digitale Organisation* lässt sich unter zwei Perspektiven betrachten. So muss der Einsatz digitaler Technologien und Konzepte vor unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen erfolgen. Zudem müssen Unternehmen befähigt werden, einen solchen Einsatz vor dem Hintergrund der jeweiligen organisationalen Rahmenbedingungen in einer digitalisierten Welt zu ermöglichen. Die Unterstützung der Produktentstehungsarbeit durch Digitale Technologien und Konzepte (DTK) ist vor dem Hintergrund komplexer Produkte sowie der sich ergebenden Veränderungen in den Aufbau- und Ablauforganisationen unabdingbar und stellt folglich die Grundlage der Entwicklungsarbeit von morgen dar (Botthoff und Hartmann 2014).

Es ist jedoch unklar, welche Digitalen Technologien und Konzepte unter Berücksichtigung *unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen* sinnvoll zur Unterstützung der Arbeit eingesetzt werden können. So können Arbeitssituationen in der Produktentstehung (z. B. Validierung Produktionssystem, Abstimmung Lastenheft) unterschiedlich ausgeprägt sein (z. B. unterschiedliche Supply-Chain-Strukturen, standort-, kultur- oder zeitzoneübergreifende Zusammenarbeit). In Abhängigkeit der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen werden ausgewählte DTK sowie die entsprechenden Maßnahmen zur Einführung und langfristigen Nutzung empfohlen. Es ist zu analysieren, wie Ablauf- und Aufbauorganisationen gestaltet sein müssen, um die Erschließung der Nutzenpotenziale digitalisierter Produktentstehungsarbeit auf Basis von DTK zu ermöglichen. Dazu muss z. B. definiert werden, welche Organisationseinheiten für den Einsatz der DTK verantwortlich sind und welche Unternehmensbereiche über Entscheidungsbefugnisse verfügen oder den Einsatz der DTK unterstützen. Darüber hinaus ist zu identifizieren, welche Abteilungen von einem Einsatz von DTK in welchem Maße Nutzen ziehen.

Zudem sind die neuen *organisationalen Rahmenbedingungen* zu berücksichtigen, welche durch den digitalen Wandel von Wirtschaft und Gesellschaft entstehen. So führt der Einsatz digitaler Technologien und Konzepten als *digitale Organisationsmittel* zu neuen Organisationsformen. Im Gegensatz zu digitalen Arbeitsmitteln unterstützen digitale Organisationsmittel nicht direkt Arbeitstätigkeiten, sondern befähigen die Prozesse und Strukturen für die digitale Arbeitswelt. Zum Beispiel entwickeln sich vermehrt Entwicklungs- und Innovationsnetzwerke sowie digitale Wertschöpfungsstrukturen (Keijzer 2007).

Entwicklungsarbeiten erfolgen dann z. B. in Open-Engineering-Plattformen. Dies ermöglicht insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen, aufwands- und ressourcenarm am technologischen Fortschritt zu partizipieren und Wissen einzubringen. Diese neue Zusammenarbeit von Stakeholdern entlang der Wertschöpfungskette bringt intensive Impulse für die Gestaltung Intelligenter Technischer Systeme. Darüber hinaus kommt es zu einer Entgrenzung der Arbeit: Dies bezeichnet die zeitliche und räumliche Aufhebung der Arbeit, die zu einer zunehmenden Auflösung der Organisation führt. Diese organisationalen Rahmenbedingungen gilt es bei dem unternehmensindividuellen Einsatz digitaler Technologien und Konzepte zu berücksichtigen (Bollier 2011). Solche digitalen Organisationen in der Arbeit 4.0 können mit den Ansätzen des Systems Engineerings weiterentwickelt werden, um den Anforderungen zur Befähigung von Organisationen zur Umsetzung von Szenarien digitaler Arbeit gerecht zu werden.

2.3 Handlungsfeld „Qualifizierung und Sensibilisierung“

Die Einführung digitaler Technologien und Konzepte hat Auswirkungen auf die Kompetenz- und Qualifikationsprofile der Beschäftigten (acatech 2016). Diese müssen identifiziert und entsprechend geeignete „Job Profiles“ erarbeitet werden. Die sich hieraus unweigerlich ergebende Lücke zwischen derzeitigen und zukünftig geforderten Kompetenzen ist durch Weiterbildungs- und Schulungskonzepte zu

schließen. Diese Konzepte müssen allerdings noch entwickelt und die Auswirkungen auf die zukünftige Ausbildung benannt werden. Im Folgenden wird aufgezeigt, woraus sich neue Anforderungen an den Ingenieur von morgen ergeben: Die *Entwicklung Intelligenter Technischer Systeme* erfordert nicht nur neue Methoden und Ansätze, sondern stellt neue Anforderungen an das Qualifikationsprofil zukünftiger Ingenieure. Zum einen wird neben den klassischen Spezialisten (z. B. Mechanik, Elektrotechnik) eine neue Form von Spezialisten benötigt, wie z. B. für Data Analytics oder aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz. Sie alle verfügen über tief greifendes Wissen einer Fachdisziplin. Darüber hinaus kommt aber zukünftig dem „Generalisten“ zunehmende Bedeutung zu (Gausemeier et al. 2013b). Dieser verfügt über Basiswissen aller relevanten Fachdisziplinen, zeichnet sich aber insb. durch interdisziplinäres, systemisches und vorausschauendes Denken aus.

Ein solcher sogenannter Systems Engineer muss innerhalb kürzester Zeit z. B. im Studium ein breit gefächertes und z. T. auch tief gehendes Detailwissen über digitale Technologien etc. verinnerlichen (Gausemeier et al. 2013b). Der *Einsatz digitaler Arbeitsmittel* und damit verbundener Befähiger-Technologien, wie z. B. Augmented Reality und Virtual Reality, schafft neue Möglichkeiten für die Gestaltung der Unternehmensorganisation und das Agieren am Arbeitsplatz. Es kommt zu neuen Freiheitsgraden bei der Art und Weise, wie Unternehmen agieren (BMAS 2016a). Dadurch ergeben sich neue Anforderungen hinsichtlich der Digitalkompetenz der Beschäftigten (acatech 2016). Zudem gibt es dringenden Sensibilisierungs- und Aufklärungsbedarf hinsichtlich des Datenschutzes: Bei der Verwendung digitaler Arbeitsmittel ergeben sich neue Möglichkeiten der Leistungskontrolle und Überwachung (BMAS 2015). Neben dem Sprung zu Intelligenten Technischen Systemen führt die Digitalisierung zu einem *Wandel der Arbeitswelt*. Der Einsatz digitaler Arbeitsmittel führt zu einer Flexibilisierung, Dezentralisierung und Entgrenzung von Arbeit. Dadurch entstehen neuartige, virtuell-kooperative Formen der Kollaboration (Bollier 2011). Dies führt zu neuen Anforderungen an Beschäftigte. Qualifikationen wie (Selbst-)Organisationsfähigkeit, interkulturelle Kompetenzen sowie soziale Intelligenz werden zunehmend wichtiger, da sie ein virtuell-kooperatives Arbeiten erst nachhaltig möglich machen (King und Swabey 2015). Neben komplexeren Produkten und Arbeitswelten ergeben sich durch die Digitalisierung bzw. damit verbundene IT-Verfahren schon seit längerem herausragende *Möglichkeiten in der Wissensarbeit*. Wissen und Expertise können global verteilt gespeichert, IT-gestützt ausgewertet und zielgerichtet über digitale Systeme an den Endnutzer übertragen werden (King 2013). So lässt sich z. B. in semantischen Netzen Wissen durch die Vernetzung der Objekte über Relationen unter verschiedenen Perspektiven betrachten, sodass neue Erkenntnisse gewonnen werden können. Individualisierte Assistenzsysteme sind so in der Lage, Wissen in Abhängigkeit von Anwendungsszenarien, äußeren Umgebungen und Stakeholdern nutzenstiftend aufzubereiten. Die Bereitstellung des Wissens erfolgt dank moderner IT-Lösungen weitestgehend kontextsensitiv (Preuveneers und Berbers 2008). Dabei wird Wissen situations- und bedarfsgerecht aufbereitet, sodass konkrete Aufgaben gelöst werden können. Um *Nachwuchskräfte* auf die dargestellten Herausforderungen komplexer Systeme und Arbeitswelten in der Industrie 4.0 vorzubereiten und *zukunftsrobust auszubilden*, gilt es diese Möglichkeiten der digitalen Wissensarbeit in die Lehre zu übertragen: Die

Integration einer kontextbasierten Wissensarbeit in die „Lehre 4.0“ in allen Phasen der Hochschulbildung ist notwendig. Bisher werden neue Interaktionsformen, Individualisierungsmöglichkeiten sowie Kontexterkenkung noch nicht ausreichend genutzt und das didaktische und integrative Potenzial bestehender Lehr- und Lernansätze oft nicht ausgeschöpft. So können z. B. durch die Erweiterung realer Umgebungen um zusätzliche virtuelle Inhalte komplexe Sachverhalte anschaulich und interaktiv dargestellt werden. Beispielsweise lassen sich mit Hilfe positions- und lagerichtig eingeblendeter 3D-Animationen Funktionsprinzipien technischer Systemen leicht verständlich erklären und über zusätzliche Text-, Bild- und Videobausteine vertiefen. Zudem existieren mit Blick auf die Industrie 4.0 keine systematischen Prozesse der Ermittlung zukünftig benötigter Qualifikationen und zur Erarbeitung entsprechender Qualifikations- und Weiterbildungskonzepte (BMAS 2016a). Daher bedarf es insbesondere vor dem Hintergrund des fundamentalen Wandels des Anforderungsprofils des Ingenieurs in der Industrie 4.0 (Gausemeier et al. 2013b) einer Weiterentwicklung der bisherigen didaktischen Lehrkonzepte und eine Neuentwicklung digitaler Lehr- und Lernformate im Sinne einer Lehre 4.0.

2.4 Beitrag des Systems Engineering zur Gestaltung digitaler Arbeitswelten

Zusammenfassend wird je Handlungsfeld dargestellt, welchen Beitrag das Systems Engineering für die Umsetzung digitaler Arbeitswelten leisten kann und somit Unternehmen befähigt, den digitalen Wandel zu gestalten:

- Handlungsfeld Mensch-Technik-Interaktion: Der Einsatz digitaler Technologien und Konzepte für die Produktentstehung wird durch die Methoden des Systems Engineerings ermöglicht, insb. da hiermit die notwendigen Daten zur Anwendung der DTK gesammelt und aufbereitet werden können.
- Handlungsfeld Digitale Organisation: Die systemische Sicht des Systems Engineerings unterstützt die Umsetzung von Szenarien digitalisierter Arbeit und hierfür geeigneter Strukturen und Prozesse.
- Handlungsfeld Qualifizierung und Sensibilisierung: Systems Engineers verfügen über die notwendigen Kompetenzprofile und eine entsprechende Ausbildung.

Bevor diese Aspekte detaillierter diskutiert werden, folgt eine kurze Einführung in die Grundlagen des Systems Engineerings.

3 Überblick Systems Engineering

Systems Engineering (SE) stellt die Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen zu komplexen Problemen in den Mittelpunkt (Hitchins 2007). Die Ursprünge liegen in der Philosophie, der theoretischen Biologie, der modernen Mathematik und insbesondere der Kybernetik. Das Werk *A Methodology for Systems Engineering* von Hall gilt als erstes Werk auf dem Gebiet des Systems Engineerings (Hall 1962). Die

SE-Lehre wurde 1954 von Paynter am Massachusetts Institute for Technology initiiert. 1990 wurde das National Council on Systems Engineering (NCOSE) zur weiteren Förderung des Themas gegründet. 1995 wurde es in International Council on Systems Engineering (INCOSE) umbenannt. Die deutsche Vertretung ist die Gesellschaft für Systems Engineering e.V. (GfSE). INCOSE definiert Systems Engineering wie folgt:

„Systems Engineering is an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. It focuses on defining customer needs and required functionality early in the development cycle, documenting requirements, then proceeding with design synthesis and system validation while considering the complete problem [...]. Systems Engineering considers both the business and the technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs.“ (International Council on Systems Engineering 2015)

In der Praxis wurden Ansätze des modernen Systems Engineering erstmals durch das Telekommunikationsunternehmen Bell Laboratories zur Planung und Analyse von Telefonnetzen angewendet. Es folgten britische und US-amerikanische Militärs, welche SE-Methoden zur Analyse von Luftverteidigungssystemen verwendeten (International Council on Systems Engineering 2015).

3.1 SE-Prozesse

Die Prozesse des Systems Engineerings sind Vorgehensmodelle zur Beschreibung des Produktentstehungsprozesses unter dem Aspekt der Beherrschung der dem Produkt und dessen Entwicklung inhärenten Komplexität. Zur Operationalisierung des SE werden Normen, Standards und Richtlinien benötigt. Seit einiger Zeit existieren starke Aktivitäten, diese noch sehr unübersichtliche Landschaft zu strukturieren. Diese sind getrieben unter anderem durch das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN), die ISO, das IEEE – aber natürlich auch stark durch INCOSE. Dabei kristallisiert sich die *ISO/IEC 15288: Systems and software engineering* als der meistverbreitete SE-Standard heraus. Er beschreibt die Prozesse über den Lebenszyklus eines technischen Systems. Insgesamt 30 Prozesse werden in vier Prozess-Gruppen inklusive entsprechender Terminologie definiert. Für jede Gruppe werden die für Systems Engineers relevanten Prozesse detailliert. Diese werden unabhängig von der Komplexität eines Systems, der Produktstrukturstufe (vom Gesamtprodukt über Module bis zu Komponenten) oder Projektphase angewendet, einzig der erbrachte Aufwand für die Prozesse ändert sich. Bei den *Produktbezogenen/ Technischen Prozessen* finden sich die technischen Aktivitäten des Lebenszyklus. Durch deren Anwendung entsteht das Produkt oder der Service (z. B. Anforderungsdefinition, Architekturdefinition, Designentwurf). Die *Projekt-/technischen Management-Prozesse* adressieren das technische Management von Entwicklungsvorhaben und ergänzen das Projektmanagement (z. B. Projektbeurteilung und -steuerung). Die *Vertrags-/Vereinbarungsprozesse* beziehen sich auf Vereinbarungen zwischen Kunde und Lieferant des Produkts oder des Service. Zuletzt haben die sog.

unterstützenden Prozesse zum Ziel, die Ressourcen, die zur Erfüllung der Anforderungen der Projektstakeholder notwendig sind, bereitzustellen (ISO 15288).

3.2 SE-Konzepte

Das Systems-Engineering-Konzept nach Haberfellner et al. ist in Abb. 4 dargestellt. Ausgangspunkt ist eine SE-Denkweise, auf deren Basis ein Problemlösungsprozess durchgeführt wird (Haberfellner et al. 2012). Die SE-Denkweise unterscheidet die zwei Elemente Systemdenken und Vorgehensmodell. Das Systemdenken stellt Denkweisen zum besseren Verständnis und zur Gestaltung von komplexen Systemen zur Verfügung. Grundlegender Gedanke dabei ist die Betrachtung des Systems aus unterschiedlichen Perspektiven. Haberfellner et al. schlagen dazu eine umgebungs-, wirkungs- und strukturorientierte Sichtweise vor. Das Model-Based Systems Engineering unterstützt das Prinzip der unterschiedlichen Perspektiven durch modellhafte Abbildungen des Systems. Das Vorgehensmodell nimmt die Zweckmäßigkeit von vier Grundgedanken an. Nach dem Top-Down-Gedanken wird das Betrachtungsfeld zunächst grob und erst mit fortlaufender Entwicklung enger gefasst. Das Denken in Varianten bezieht sich auf die konsequente Suche nach Alternativen. Mehrere Konzepte sollen als Lösungsmöglichkeiten in Betracht gezogen werden. Der Phasenablauf bringt die Aktivitäten der Systementwicklung in eine zeitliche Rangfolge. Der Problemlösungszyklus stellt einen Leitfaden bereit, mit dem sich unabhängig von der Phase der Systementstehung auftretende Probleme mit demselben Vorgehen lösen lassen. Innerhalb des Problemlösungsprozesses finden die konstruktiven Tätigkeiten zur Systemgestaltung (z. B. Systementwurf) statt. Techniken des Projektmanagements stellen das Rahmenwerk für die entsprechende Organisation und Koordination zur Verfügung.

Hitchins betrachtet die Zusammenhänge des Systems Engineerings, die über das eigentliche System hinausgehen. Das sogenannte 5-Ebenen-Modell ermöglicht die Darstellung von produkt-, projekt-, unternehmens-, industrie- und sozioökonomischen Wirkzusammenhängen (Hitchins 2007). Oftmals beschränken sich die Akti-

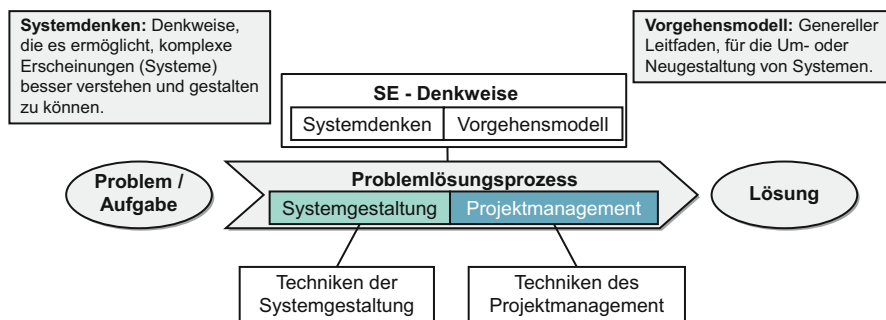


Abb. 4 Das Systems Engineering Konzept nach Haberfellner et al. (2012)

vitäten im Systems Engineering aber nur auf die Ebene des Produkts, die sich rein auf das zu entwickelnde System bezieht. Über die weiteren Ebenen werden die Beziehungen und Wirkzusammenhänge zu allen betroffenen Bereichen dargestellt: Unter das Projekt-SE fallen Referenzmodelle und Vorgehensweisen zur Planung, Steuerung und Kontrolle der Aktivitäten auf der Ebene des Produkts. Das unternehmensbezogene SE hat die Koordination der verschiedenen Projekte zur Aufgabe. Ziel dabei ist die Nutzung von Synergieeffekten. Das Zusammenwirken der in Wertschöpfungsketten beteiligten Unternehmen ist Gegenstand des industriebezogenen SE. Das sozioökonomische SE fokussiert das Verhältnis zwischen dem System und dessen system- und unternehmensübergreifenden Stakeholdern.

3.3 Model-Based Systems Engineering

Ein zentrales Handlungsfeld innerhalb des Systems Engineering ist das sogenannte Model-Based Systems Engineering (MBSE). Es stellt ein sog. Systemmodell in den Mittelpunkt sämtlicher Aktivitäten in einem Projekt. Dadurch sollen signifikante Leistungssteigerungen in der Entwicklungsarbeit möglich werden. INCOSE definiert Model-Based Systems Engineering als die

„formalisierte Anwendung von Modellbildung zur Unterstützung der Aktivitäten der Anforderungsdefinition, des Systemdesigns und der Systemanalyse sowie dessen Verifikation und Validierung, beginnend beim konzeptionellen Entwurf sowie über die Entwicklung und weitere Lebenszyklusphasen hinweg.“ (International Council on Systems Engineering 2007)

Model-Based Systems Engineering versucht, den Nutzen der fachdisziplinspezifischen Modellierung auf die Systemebene zu übertragen. Damit steht MBSE für einen Paradigmenwechsel von der dokumentenzentrierten zur durchgängig modellbasierten Systementwicklung. Das Systemmodell muss daher alle Eigenschaften abbilden, die zum Verständnis und zur Entwicklung des Systems notwendig sind. Jede Fachdisziplin sollte die entsprechenden Herangehensweisen zur Systemmodellierung verstehen und zumindest in den Grundzügen anwenden können. Das Systemmodell muss für eine ganzheitliche Systembetrachtung fünf Aspekte repräsentieren: Anforderungen, Struktur, Verhalten, Gestalt und die fachdisziplinübergreifend relevanten Parameter des Systems. Dadurch bietet es zahlreiche Nutzenpotenziale, die die Systementwicklung auf eine neue Leistungsstufe heben: Das Systemmodell vereint die unterschiedlichen Denk- und Begriffswelten der Fachdisziplinen und ermöglicht damit eine wirksame Kommunikation und Kooperation im Projekt. Je nach datentechnischer Umsetzung bildet es zudem die Basis für die Konkretisierung, d. h. es dient als Grundlage für die Erarbeitung fachdisziplinspezifischer Lösungen. Auch können unterstützende Prozesse wie das Änderungsmanagement auf Basis des Systemmodells abgewickelt werden. Zur Unterstützung der Verifikation stellt das Systemmodell schließlich sicher, dass der Weg von der Anforderung hin zu den erfüllenden Komponenten nachvollziehbar ist. Ohne viel Aufwand wird durch das Modellieren gleichzeitig das in der Entwicklung befindliche System dokumentiert.

Nach Alt besteht Systems Engineering aus den drei Bausteinen Systemarchitektur, -anforderungen und -verhalten. Diese Aspekte beschreiben ein System im Rahmen des Systems Engineerings vollständig (Alt 2012) und lassen sich auf das Model-Based Systems Engineering projizieren. Zur Abbildung der Systemarchitektur müssen die Systemkomponenten und deren Schnittstellen modelliert werden. Alt unterscheidet zwischen funktionalen und nichtfunktionalen Systemanforderungen. Funktionale Anforderungen beziehen sich auf das Verhalten des Systems und dessen Komponenten. Die Eigenschaften des Systems wie Zuverlässigkeit, Benutzbarkeit oder Änderbarkeit werden durch die nichtfunktionalen Anforderungen spezifiziert. Das Systemverhalten ist bereits durch die funktionalen Anforderungen beschrieben. Dies erfolgt jedoch informal. Werden diese formalisiert beschrieben, so können Informationen rechnergestützt abgeleitet werden. Dies ist Aufgabe der Modellierung des Systemverhaltens.

Zur Erstellung eines Systemmodells werden daher neben einer grafischen Modellierungssprache ein Softwarewerkzeug und eine Methode benötigt (Friedenthal et al. 2012). Erst eine aufeinander abgestimmte Kombination ermöglicht den effizienten Einsatz der Systemmodellierung in einem Unternehmen. Dabei ist die Modellierungssprache isoliert betrachtet nur ein Ausdrucksmittel. Wie und zu welchem Zweck diese Sprache angewandt wird, wird durch eine Methode festgelegt. Die Methode gibt damit vor, was spezifiziert werden muss und in welcher Reihenfolge die Informationen entstehen (Estefan 2008; Ramos et al. 2012). Welche Aspekte eines Systems ein Systemmodell abbilden muss, um das System interdisziplinär zu beschreiben, wird im anschließenden Abschnitt über *CONSENS* betrachtet.

Weitere Ansätze verstehen das Systemmodell als Bestandteil eines Produkt-Lifecycle-Management(PLM)-Konzeptes (Sendler 2013). PLM ist eine Strategie, die aus der Ausweitung der Produktdatenmanagement-Ansätze auf den gesamten Produktlebenszyklus entstanden ist. Ziel ist die Integration und Verwaltung der im Produktlebenszyklus anfallenden Daten (auch Produktmodell genannt). Hierzu werden Prozesse definiert, wie z. B. Prüf-, Freigabe- und Änderungsprozesse (Abramovici 2005). Da das Systemmodell ebenfalls Informationen über das Produkt enthält, ist die Integration in PLM-Lösungen ein notwendiger Schritt. Neben der Verwaltung der im Systemmodell anfallenden Daten bietet die Integration die Möglichkeit, über das Systemmodell alle anderen Daten zu verknüpfen.

CONSENS (Conceptual Design Specification Technique for the Engineering of Complex Systems) ist eine Spezifikationstechnik zur Erstellung des Systemmodells. Ziel ist die ganzheitliche und disziplinübergreifende Modellierung eines mechatronischen Systems. Mechatronische Systeme basieren auf dem synergetischen Zusammenwirken von Mechanik, Elektrik/Elektronik, Regelungs- und Softwaretechnik (VDI 2206 2004). Dementsprechend viele Fachdisziplinen sind bei der Produktentstehung mechatronischer Systeme beteiligt. Dieser Herausforderung muss *CONSENS* gerecht werden. Dazu enthält *CONSENS* sowohl eine Methode als auch eine Modellierungssprache. Die Partialmodelle zur Beschreibung des Systemmodells sind in Abb. 5 dargestellt. Diese werden iterativ erarbeitet, wenngleich es eine gewisse Reihenfolge gibt (Gausemeier et al. 2008). Zunächst wird das Umfeldmodell erstellt. Als Ergebnis ist eine eindeutige Systemgrenze festgelegt und wird das

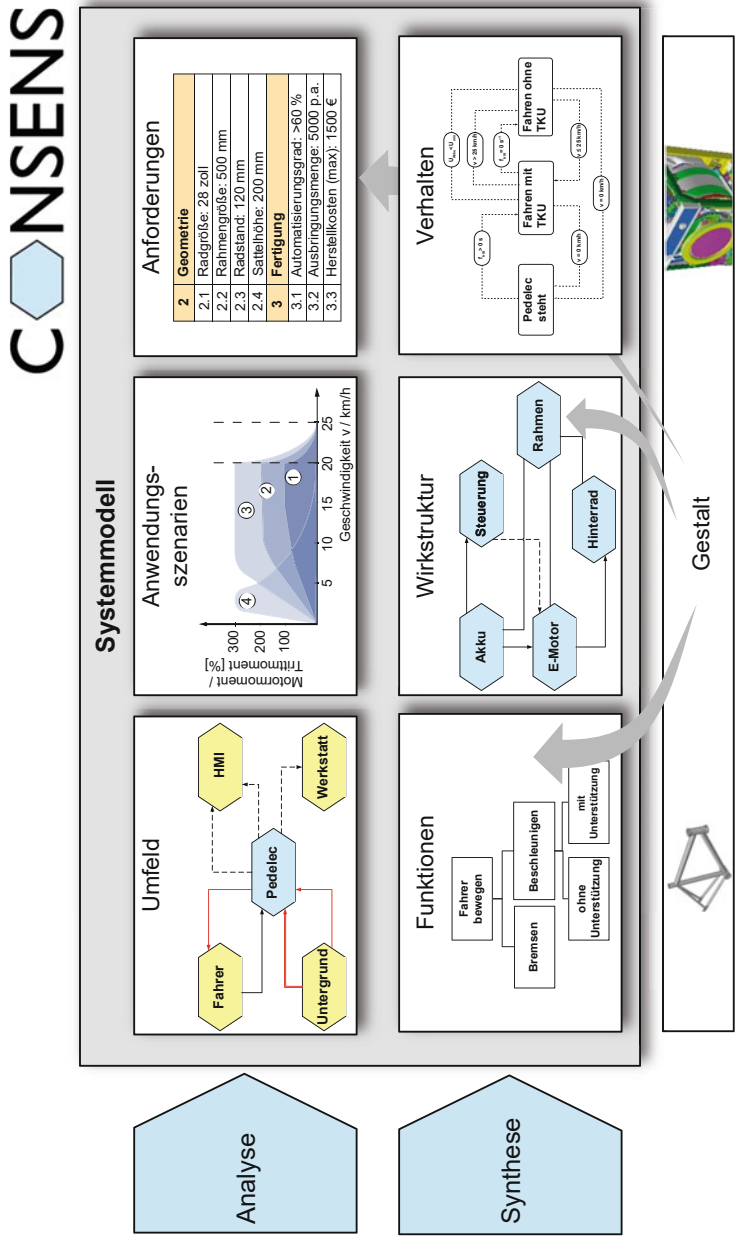


Abb. 5 Model-Based Systems Engineering auf Basis von CONSENS in Anlehnung an (Gausemeier et al. 2008)

Umfeld des Systems analysiert. Dabei werden relevante Einflussbereiche und Einflüsse identifiziert, sodass die Einbettung des Systems in seine Umwelt eindeutig ist. In dem Partialmodell Anwendungsszenarien wird die Art und Weise spezifiziert, wie sich das System in einem Zustand und in bestimmten Situationen verhält – hierbei werden relevante Anwendungsszenarien über den gesamten Lebenszyklus identifiziert. Gleichzeitig wird dadurch definiert, wie und aufgrund welcher Ereignisse kritische Zustandsübergänge des Systems stattfinden. Auf Basis des Umfeldmodells und den Anwendungsszenarien werden dann funktionale und nichtfunktionale Anforderungen abgeleitet. Die funktionalen Anforderungen bilden die Grundlage zur Modellierung der Funktionen. Durch dieses Modell wird die Funktionalität des Systems hierarchisch aufgegliedert. Eine Funktion ist der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen mit dem Ziel der Erfüllung einer Aufgabe. Funktionen werden solange in Subfunktionen aufgegliedert, bis eine Realisierung durch Lösungsmuster oder Wirkprinzipien erfolgen kann. Auf dieser Grundlage kann dann die grundsätzliche Struktur des Systems dargestellt werden – die Wirkstruktur beschreibt dazu die Systemelemente und deren Beziehungen zueinander, im Prinzip eine Art mechatronischer Zeichnung. Die physischen Systemelemente werden dann im Partialmodell Gestalt abgebildet. Die bereits definierten Anwendungsszenarien bilden nun die Ausgangsbasis zur Modellierung des Verhaltens. Dabei werden drei Partialmodelle unterschieden: Verhalten-Zustände, Verhalten-Aktivitäten und Verhalten-Sequenz. Damit werden die Systemzustände und die Zustandsübergänge modelliert. Zur Abbildung sämtlicher Modelle stehen leicht erlernbare Sprachelemente und Beziehungsarten zur Verfügung. Beziehungsarten sind Stoff-, Energie- und Informationsflüsse sowie logische Beziehungen. Dazu können jeweils Störflüsse modelliert werden. Als Sprachelemente werden System- und Umfeldelemente, Funktionen, Aktivitäten und Zustände verwendet. Zur Abbildung der Beziehungen zwischen den Partialmodellen sind zwei Arten von Verweisen vorgesehen: Zum einen gibt es Querverweise, die Elemente der Partialmodelle Wirkstruktur, Umfeld und Verhalten zu einem konsistenten Systemmodell verknüpfen. Die zweite Art von Querverweisen hat die Verfolgbarkeit von Entscheidungen zum Ziel. Diese Verweise gibt es zwischen den Partialmodellen Wirkstruktur, Umfeld, Verhalten (Aktivität), Anforderungen, Funktionen und Anwendungsszenarien – sog. Tracelinks.

3.4 SE in der Organisation

Friedenthal schlägt zur Integration von Systems Engineering in eine Organisation ein multidisziplinäres Systems-Engineering-Team vor. Ein solches soll dem breiten Spektrum an Stakeholder-Perspektiven gerecht werden. Dazu empfiehlt der Autor fünf Organisationseinheiten, aus denen sich ein Systems-Engineering-Team zusammensetzen kann (Friedenthal et al. 2012). Das *SE-Management Team* verantwortet die Management-Prozesse zur Planung und Kontrolle des technischen Aufwandes. Weiter wird ein sogenanntes *Requirements Team* vorgeschlagen. Dieses befasst sich mit der Analyse der Stakeholder-Anforderungen, mit der Identifizierung von Anwendungsszenarien sowie mit der Spezifizierung und Validierung von Anforderungen

auf Systemebene. Das *Architecture Team* entwirft die Architektur des Systems. Friedenthal versteht darunter die Definition der Komponenten sowie deren Beziehungen zueinander. Darüber hinaus sind die Anforderungen den erfüllenden Komponenten zuzuordnen. Zur Bewertung des Systems aus technischer Sicht wird das *System Analysis Team* eingesetzt. Es beurteilt Aspekte wie die Zuverlässigkeit oder Instandhaltbarkeit. Zuletzt beschäftigt sich das *Integrations- und Test-Team* mit der Entwicklung von Testplänen und -abläufen sowie deren Durchführung.

3.5 Berufsbild des Systems Engineers

Sheard definiert zwölf Rollen eines Systems Engineers (SE) und beschreibt Interaktionen zwischen diesen (Sheard 1996). Diese sind in der SE-Community weitgehend akzeptiert (Tschirner et al. 2014; Möhringer 2012; Schoening et al. 2000; Forrester et al. 2008). Die SE-Rollen lassen sich Funktionsträgern zuordnen. So kann z. B. die Rolle des Requirements Owners durch den Projektleiter ausgeübt werden (Möhringer 2012). Auf dieser Basis kann eine Integration von SE in Unternehmen gelingen. Sheard unterscheidet die Rollen in Lebenszyklus- und Management-Rollen.

4 SE für das Engineering 4.0

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie Systems Engineering digitale Arbeitswelten ermöglichen kann. Dies bezieht sich auf die drei Handlungsfelder *Mensch-Technik-Interaktion* und *Digitale Organisation* und *Qualifizierung*.

4.1 Handlungsfeld „Mensch-Technik-Interaktion“ (DTK als digitale Arbeitsmittel)

Das Handlungsfeld „Mensch-Technik-Interaktion“ hat zum Ziel, Einsatzpotenziale digitaler Technologien und Konzepte zur Unterstützung der Produktentstehungsarbeit aufzuzeigen. Entscheidender Erfolgsfaktor dabei ist, die Informationsversorgung der eingesetzten Digitalen Technologien und Konzepte zu gewährleisten. Wie kann das mit Ansätzen des Model-Based Systems Engineering gelingen? Einsatzpotenziale für DTK in der Produktentstehung ergeben sich immer dann, wenn Tätigkeiten und Aufgaben auf zentralen Daten aufbauen können – wie sie bspw. im Systemmodell vorliegen. Solche Aufgaben können ein standortübergreifendes Abstimmungsgespräch (z. B. von technischen Änderungen), ein virtuelles Design Review zur Eigenschaftsabsicherung, die Durchführung einer FMEA (Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse), aber auch ein Projektstatustreffen sein. Die Bandbreite der Anwendungen ist mannigfaltig vor dem Hintergrund einer über zeitliche, räumliche und unternehmensinterne Grenzen organisierten Zusammenarbeit.

Am Beispiel des virtuellen Design Reviews wird die Rolle des MBSE bei dem Einsatz digitaler Technologien und Konzepte zur Unterstützung der Entwicklungsarbeit aufgezeigt. Bei einem solchen Review arbeiten unterschiedliche Stakeholder aus verschiedenen Unternehmensbereichen zusammen. Diese haben deshalb unterschiedliche Standpunkte und betrachten das zu entwickelnde System folglich aus unterschiedlichen Sichten. Während sich bspw. ein Entwicklungsingenieur für technische Details interessiert, setzt sich ein Vertriebsexperte mit Anwendungsszenarien und daraus resultierenden Funktionen auseinander. Das Systemmodell kann in diesem Zusammenhang Enabler für diese Aufgabe sein: Das Modell ist in einem sogenannten Repository (vergleichbar mit einem digitalen Archiv) abgelegt, was das Konzept der Trennung von Modell und Sicht ermöglicht. Während das Modell die reinen datentechnischen Informationen umfasst, stellt die Sicht eine geeignete grafische Repräsentation dieser Informationen bereit – was in Abhängigkeit des Stakeholders im Regelfall nur eine Submenge des Modells umfasst. Das ist in Abb. 6 am Beispiel eines Kaffeevollautomaten skizziert: Unterstützt durch eine DTK werden die für die im Design Review beteiligten Akteure relevanten Sichten ausgewählt. So wird für den „Entwicklungsingenieur“ unter Verwendung von CONSENSUS die Sicht „Wirkstruktur“ ausgewählt. Für einen Vertriebsexperten ist bei der gleichen Entwicklungsaufgabe allerdings die Sicht „Funktionshierarchie“ relevant. Beide Sichten haben Beziehungen untereinander – eine Funktion wird durch Elemente der Wirkstruktur realisiert. Mit Hilfe eines digitalen Assistenzsystems wie z. B. einer VR-Brille werden diese Informationen nun an einen virtuellen Prototyp „gekoppelt“, hier repräsentiert durch das Gestaltmodell. Im Design Review kann der Entwicklungsingenieur nun Zusammenhänge zwischen der Wirkstruktur des Systems und dessen Gestalt erkennen und Erkenntnisse daraus ableiten. Bei einem Änderungswunsch an den Funktionen durch den Vertriebsexperten kann der Entwickler sofort die Auswirkungen innerhalb der Wirkstruktur erkennen – gleichzeitig dient die

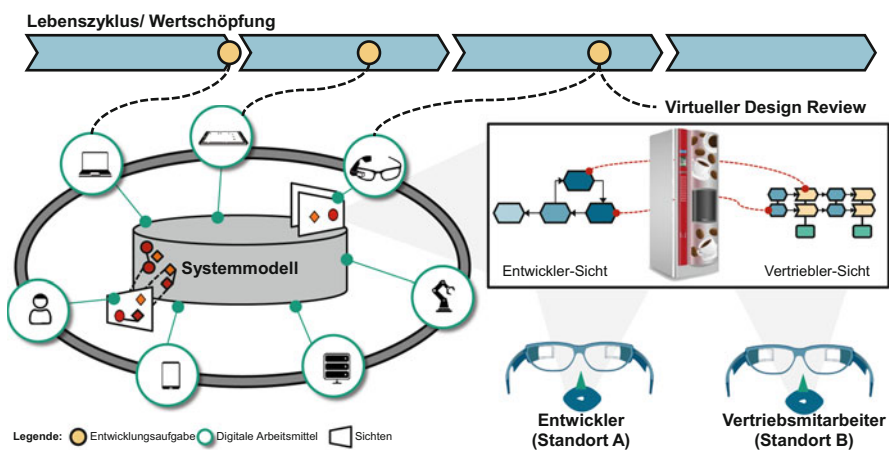


Abb. 6 MBSE als Enabler von Szenarien digitaler Arbeit am Bsp. „Virtuelles Design Review“

Gestalt im Design Review beiden Akteuren als Ankerpunkt für gemeinsame Diskussionen, da bei solchen Änderungen häufig die Gestalt des Produkts betroffen ist. Soll bspw. der Automat zusätzlich auch mitgebrachte Kaffeebecher befüllen, ist für den Bereich der Getränkeausgabe eine neue Lösung notwendig, was zu einem anderen „Look and Feel“ führt. So kann gemeinsam über die beste Lösung aus ganzheitlicher Sicht entschieden werden. Verschiedenen Stakeholdern wird es somit möglich, mit jeweils spezifischen Informationen das virtuelle Design Review fachdisziplin- und standortübergreifend durchzuführen. Selbstredend können dabei auch andere digitale Arbeitsmittel eingesetzt werden. Durch die Digitalisierung ergeben sich also völlig neue Formen der Zusammenarbeit. Diese werden allerdings erst durch das MBSE – bzw. zentrale Daten – überhaupt möglich.

4.2 Handlungsfeld „Digitale Organisation“

Im Handlungsfeld „Digitale Organisation“ steht die Frage im Mittelpunkt, wie Digitale Technologien und Konzepte in die Prozesse und Strukturen eines Unternehmens integriert werden können. Häufig wird aber auch die Frage umgekehrt gestellt werden müssen: Wie müssen Prozesse und Strukturen angepasst werden, damit die Szenarien digitaler Arbeit humangerecht bei gleichzeitiger Steigerung der Leistungsfähigkeit realisiert werden können? Am Beispiel des MBSE wird dies besonders klar – MBSE ist nicht Stand der Technik, kristallisiert sich aber immer mehr als Enabler für die vollständige Digitalisierung der Entwicklungsarbeit heraus. Das Systemmodell als Kern des MBSE enthält schon früh im Prozess sämtliche fachdisziplinübergreifend relevanten Informationen über das Produkt. Dabei steht die Frage nach dem Informationsbedarf der Stakeholder vor dem Hintergrund einer zielgerichteten Informationserzeugung, -verarbeitung und -ausgabe im Fokus. Folglich muss die Organisation befähigt werden, die richtigen Stakeholder mit den richtigen Informationen zu versorgen – erste Aufgabe bei der Einführung von MBSE ist somit die Organisation der Modellierung und ihre Integration in den Prozess. Das umfasst auch die Definition von Verantwortlichkeiten und die Zusammenarbeit einzelner Stakeholder während der Modellierung. Damit ein Szenario wie das virtuelle Design Review auf Basis des Systemmodells überhaupt durchgeführt werden kann, lassen sich sechs Konzepte zur Organisation der Systemmodellierung unterscheiden (Tschirner 2016) (Abb. 7). In Abhängigkeit der Rahmenbedingungen des Unternehmens (z. B. KMU vs. Konzern) sind die Konzepte entsprechend auszuwählen:

- 1) Klassisches, in der Literatur geprägtes Bild der Modellierung; der Systems Engineer modelliert und nutzt gleichzeitig das Modell für seine Aufgaben.
- 2) Sehr stark an die Rolle des Systemmodellverantwortlichen von Kaiser (2014) angelehnt; der Systems Engineer konsolidiert Wissen verschiedener disziplinspezifischer Rollen und bereitet es auf. Das im Systemmodell bereitgestellte Wissen dient sowohl der eigenen Arbeit als auch den übrigen Wissensträgern.
- 3) „Shared Service“ – Angelehnt an das aus der Dienstleistung stammende gleichnamige Konzept (Dressler 2007); einzelne und sehr spezielle Modellierungsauf-

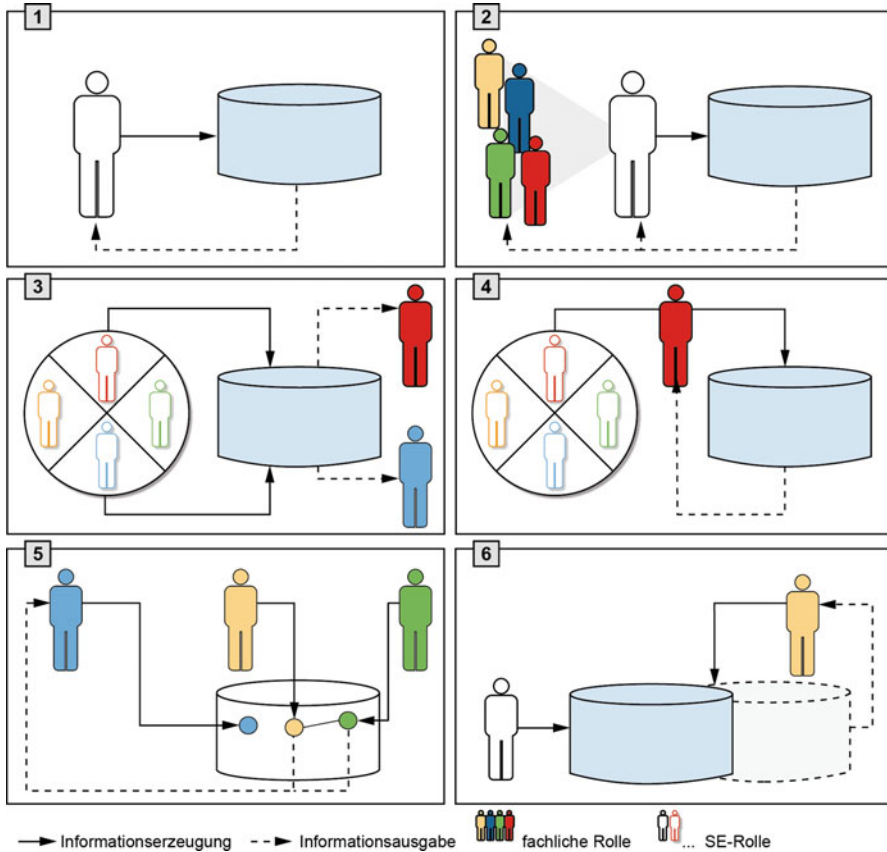


Abb. 7 Möglichkeiten zur Organisation der Systemmodellierung (Tschirner 2016)

gaben werden von einer zentralen Gruppe von Spezialisten übernommen und für Dritte allgemein bereitgestellt. Die Spezialisten sind in dem Fall bspw. die SE-Rollen nach Sheard (Sheard 1996) oder wie im SE-Team nach Friedenthal (Friedenthal et al. 2012).

- 4) Unterstützung von fachlichen Rollen durch SE-Spezialisten im Sinne von Coaching; als Erweiterung von 3) wird das Systemmodell gemeinsam zur Nutzung durch die fachliche Rolle erstellt.
- 5) „Kollaboratives MBSE“ – Angelehnt an Tschirner et al. (2014) erstellen sämtliche Stakeholder der Produktentstehung das Systemmodell zur gemeinschaftlichen Nutzung. Die erzeugten Informationen können dabei auch Dritten zur Verfügung stehen – natürlich prinzipiell auch dem Systems Engineer.
- 6) Als Mischkonzept aus 2) und 5) legt ein Systems Engineer den Grundstein der Systemmodellierung, im Zeitverlauf werden Inhalte des Systemmodells für fachspezifische Aufgaben genutzt und neue Inhalte durch diese Rollen ergänzt.

4.3 Handlungsfeld Qualifizierung – Der Ingenieur von morgen

Der Ingenieur von morgen steht vor vielfältigen beruflichen Chancen und Herausforderungen, die sich aus der digitalen Durchdringung der Produkte, Produktionssysteme und Arbeitsumgebungen ergeben. Neben Entwicklungsingenieuren der verschiedenen Fachdisziplinen, wie Mechanik, Elektronik/Elektrotechnik, Regelungstechnik und Informatik bedarf es aufgrund der zunehmenden Produktkomplexität der Rolle eines Systemverantwortlichen – dem Systems Engineer. Dieser ist mit den weitreichenden Auswirkungen des Engineerings 4.0 konfrontiert. Dies wirft die Frage nach der entsprechenden Qualifizierung auf. Welches Kompetenzprofil sollte der Ingenieur, der die Rolle des Systems Engineer einnimmt, grundsätzlich haben und wie können Entwicklungsingenieure qualifiziert werden?

Kompetenzprofil

Die Herausforderungen der Industrie sind wie in Kapitel zwei und drei dargelegt zunehmend geprägt durch Problemstellungen, welche nicht allein in einer Ingenieursdisziplin gelöst werden können. Aus diesem Grund gewinnt die Rolle des Generalisten in der Produktentstehung stetig an Bedeutung – wir sagen: der Systems Engineer. Der Generalist verfügt hier idealerweise über Basiswissen in den verschiedenen relevanten Fachdisziplinen, dies erlaubt ihm die Orchestrierung der beteiligten Fachdisziplinen. Er wird somit zum Spezialisten für die Produktentstehung des Gesamtsystems. Damit der Generalist die Auswirkungen seines Wirkens einschätzen kann, sollte dieser über vertieftes Wissen in einer Fachdisziplin verfügen. Ferner wird die Akzeptanz des Generalisten in seiner Rolle als Systems Engineer unter den fachdisziplinspezifischen Spezialisten dadurch erhöht. Neben dem Fachwissen, den Hard Skills, sind v. a. Soft Skills für einen Systems Engineer unabdingbar. Dies ermöglicht eine effektive Zusammenarbeit mit anderen Kollegen – Kommunikationsfähigkeit, Teamfähigkeit, analytische Fähigkeiten, interkulturelle Kompetenzen, Kritikfähigkeit etc. sind hier zentral. Oft müssen in der interdisziplinären Systementwicklung und der organisationsübergreifenden Zusammenarbeit weitreichende Entscheidungen getroffen werden, die nicht immer auf Zustimmung stoßen (Gausemeier et al. 2013b). Um das Projekt dann nicht zu gefährden, müssen sie entsprechend sensibel kommuniziert werden. Gleichzeitig müssen sie auch fachlich begründet sein – so ergibt sich ein herausforderndes Anforderungsprofil. Aus diesem Grund besteht das Kompetenzprofil eines Systems Engineers der Zukunft unserer Ansicht zufolge im Wesentlichen aus den genannten sechs Komponenten: *vertieftes Wissen in einer Fachdisziplin* resp. in einem Anwendungsfeld – also „Wissen in der Tiefe“ und Gesamtverständnis für den Produktentstehungsprozess und somit *Basiswissen in den entwicklungsrelevanten Fachdisziplinen* – „Wissen in der Breite“ sowie *Soft Skills*. Neben den genannten Kompetenzen sollte der Systems Engineer über *ganzheitliches Systemdenken*, *Praxiswissen* und *Methodenkompetenz* verfügen (Gausemeier et al. 2013b).

Qualifizierungskonzept

Ein reines Systems Engineering Curriculum erscheint vor dem dargestellten Hintergrund als nicht ausreichend. Vielmehr ist eine Mischung aus Ingenieurstudium, das

frühzeitig um Systems Engineering Aspekte ergänzt wird, Berufserfahrung und kontinuierlicher Weiterbildung ein wesentlicher Schritt zum Erfolg. Grundsätzlich müssen Nachwuchs-Fachkräfte und etablierte Führungskräfte auf die skizzierten Arbeitswelten der Industrie 4.0 vorbereitet und zukunftsrobust ausgebildet werden. Dabei gilt es, die Möglichkeiten der digitalen Wissensarbeit in die Lehre und in strukturierte Qualifizierungsprogrammen zu übertragen: Die Integration einer kontextbasierten Wissensarbeit in „Lehre und Qualifizierung 4.0“ in allen Phasen der Hochschulbildung und Weiterbildung ist notwendig. Die kontextbasierte Wissensarbeit umfasst die Aspekte des dynamischen und ortsungebundenen Lernens. Lerninhalte sollen individuell und auch außerhalb gewöhnlicher Lernumgebungen zu Verfügung stehen. Hier können Laborumgebungen wie z. B. das SE LIVE LAB am Fraunhofer IEM in Paderborn eine große Unterstützung bieten: Das SE LIVE LAB ist ein Transfer- und Forschungszentrum, in dem aktuelle Methoden und Werkzeuge (DTKs) des Systems Engineerings für die interdisziplinäre Konzipierung mechatronischer Systeme erprobt, verglichen, angewendet und geschult werden. Ein wesentlicher Schwerpunkt des Labors ist die Qualifizierung und Lehre von Fach- und Führungspersonal, aber auch Studierender. Das Labor ist mit fortschrittlicher Hard- und Software zur kollaborativen virtuellen Konzipierung von komplexen Systemen ausgestattet. Diese Infrastruktur ermöglicht Schulungen in Systems Engineering unter den Bedingungen und Möglichkeiten von Digitalen Technologien und Konzepten (Dumitrescu et al. 2015). Dem SE LIVE LAB liegt ein Qualifizierungskonzept zugrunde, das an verschiedene Eingangslevel angepasst werden kann. Es ist modular gestaltet und folgt dem Qualifikationsdreischritt Verstehen – Anwenden – Beherrschen. Dabei werden die drei Bereiche (Pilot-)Projekte, Training und Lehre adressiert (Abb. 8). Je nach Zielgruppe wurden auf Basis von Forschungs- und Industrieprojekten Konzepte erarbeitet, die bei der Überwindung der mit Model-Based Systems Engineering (MBSE) verbundenen Hürden zielgerichtet unterstützen (Dumitrescu et al. 2015).

Auf der ersten Qualifikationsstufe *Verstehen* können Ingenieure grundlegende SE-Ansätze und -Methoden kennenlernen – Kern und Nutzen des Systems Engineerings sollen verstanden werden, um Anknüpfungspunkte im eigenen Unternehmen zu identifizieren. Dafür werden z. B. in SE-Potentialanalysen die aktuellen Herausforderungen im Unternehmen diskutiert und gemeinsam analysiert, wie das Konzept des Systems Engineerings im Unternehmen unterstützen kann. Zumindest eine Sensibilisierung für Systems Engineering sollte für alle Beschäftigte eines Unternehmens erfolgt sein.

Die zweite Qualifikationsstufe *Anwenden* hat das Ziel, das Erlernte zu vertiefen und unter Anleitung sicher anzuwenden – ein plakativer Vergleich ist das „Begleitete Fahren“ beim Führerschein mit 17 Jahren. So wird den Teilnehmern die angeleitete Spezifikation eigener Systeme mit MBSE in Schulungen und Pilotprojekten ermöglicht. Zielgruppe sind die Entwickler der Fachdisziplinen, aber insb. Projektleiter, Produktmanager und Systemarchitekten, die sich intensiv mit Systems Engineering auseinandersetzen müssen, etwa 25 % der in einem Unternehmen in ein Projekt involvierten Beschäftigten. Neben den reinen SE-Techniken ist gerade für die Entwicklung erfolversprechender Systeme zudem noch die Integration von Krea-



Abb. 8 Handlungsfeld Qualifizierung und Sensibilisierung: Konzept SE Live Lab in Anlehnung an (Dumitrescu et al. 2015)

tivitätstechniken in das Systems Engineering ein Erfolgsfaktor, um alle notwendigen Aspekte bei der Spezifikation ins Kalkül zu ziehen. Derartige Ansätze kommen in den existierenden, meist rein technisch getriebenen Herangehensweisen des MBSE zu kurz. Stattdessen fokussieren sie häufig zu stark die reine Software-Anwendung.

Die höchste Qualifikationsstufe *Beherrschen* befähigt, Aufgaben und Herausforderungen im Unternehmensumfeld selbstständig mit den Ansätzen des Systems Engineerings zu lösen. Hierbei stehen Vorgehensweisen zur Integration von SE und MBSE in die eigenen Wertschöpfungsprozesse im Vordergrund. Das notwendige breite SE-Wissen wurde in den vorangegangenen Stufen strukturiert aufgebaut. Die Ingenieure sollen schließlich im Projektalltag eigenständig entscheiden können, welche Herangehensweisen, Methoden und Werkzeuge geeignet sind, das Projekt zum Erfolg zu bringen. Insgesamt gehen wir davon aus, dass etwa 5 % der in einem Unternehmen Beschäftigten auf dieser Qualifikationsstufe ausgebildet sein sollten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die digitale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft wird die Produkte, Organisation und insbesondere die Arbeitswelten von morgen fundamental verändern. Digitale Technologien und Konzepte führen in der Produktentstehung zu einem Paradigmenwechsel – das Engineering 4.0. Engineering 4.0 ist durch zwei Megatrends geprägt: Der Wandel von der Mechatronik hin zu Intelligenten Technischen Systemen sowie von der Weltfabrik (hohe Fertigungstiefe, geringer Vernetzungsgrad in der Wertschöpfung) zu Innovations- und Entwicklungsnetzwerken. In

diesem Zuge findet sich der klassische Ingenieur in neuen Arbeitswelten wieder. Dies macht neue Kompetenzprofile und Schulungskonzepte erforderlich, die das Profil des Systems Engineers erfordern. Um den Wandel des Engineerings gestalten zu können, müssen Unternehmen in drei Handlungsfeldern im Spannungsfeld Mensch-Organisation-Technik befähigt werden: Mensch-Technik-Interaktion, Digitale Organisation sowie Qualifizierung. Das Paradigma Systems Engineering bildet dazu die entscheidende Grundlage. Das Handlungsfeld Mensch-Technik-Interaktion hat zum Ziel, Einsatzpotenziale digitaler Technologien und Konzepte zur Unterstützung der Produktentstehungsarbeit zu nutzen. Diese ergeben sich dann, wenn Tätigkeiten und Aufgaben der Produktentstehung auf zentralen Daten aufbauen können und dann durch Digitale Technologien und Konzepte unterstützt werden. Entscheidender Erfolgsfaktor dabei ist also, die Informationsversorgung der DTK auf Basis entsprechend relevanter Information zu gewährleisten. Es wurde dargestellt, wie dies mit Ansätzen des Model-Based Systems Engineering gelingt. Im Handlungsfeld „Digitale Organisation“ steht die Frage im Mittelpunkt, wie Digitale Technologien und Konzepte in die Prozesse und Strukturen eines Unternehmens integriert werden können. Damit die Szenarien digitaler Arbeit realisiert werden können, ist die Modellierung der entsprechenden Daten zentraler Punkt – wie sie bspw. im Systemmodell vorliegen. Es wurden sechs Möglichkeiten zur Organisation der Modellierung des Systemmodells erarbeitet, die für unterschiedliche Randbedingungen geeignet sind. Zuletzt wurde dargestellt, welches Kompetenzprofil sich daraus für den Ingenieur der Zukunft ergibt: vertieftes Wissen in einer Fachdisziplin respektive in einem Anwendungsfeld – also „Wissen in der Tiefe“ und Gesamtverständnis für den Produktentstehungsprozess und somit Basiswissen in den entwicklungsrelevanten Fachdisziplinen – „Wissen in der Breite“ sowie Soft Skills. Neben den genannten Kompetenzen sollte der Systems Engineer über ganzheitliches Systemdenken, Praxiswissen und Methodenkompetenz verfügen. Darüber hinaus wurde ein entsprechendes Qualifizierungskonzept vorgestellt. Dieses ist modular und folgt dem Qualifikationsdreischritt Verstehen – Anwenden – Beherrschen.

Zukünftig wird es darauf ankommen, die konkreten Nutzenpotenziale digitaler Technologien und Konzepte zur Unterstützung von Aufgaben und Tätigkeiten der Produktentstehung zu identifizieren. Das muss stets vor dem Hintergrund unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen stattfinden. Dazu müssen zusätzlich die organisationalen Rahmenbedingungen geschaffen werden und parallel die Akteure der Produktentstehung für die entstehenden digitalen Arbeitswelten qualifiziert werden.

Literatur

- Abramovici, M. (2005). PLM: Kern künftiger Unternehmensstrategien – Engineering-Prozesse auf dem Prüfstand. *Intelligenter produzieren*, 2, 6–9.
- Acatech (Hrsg.). (2016). *Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen*. München. <https://www.acatech.de/publikation/kompetenzentwicklungsstudie-industrie-4-0-erste-ergebnisse-und-schlussfolgerungen/>. Zugegriffen am 08.06.2016.
- Alt, O. (2012). *Modellbasierte Systementwicklung mit SysML*. München: Carl Hanser.

- Bollier, D. (2011). *The future of work – What it means for individuals, business, markets and governments*. Washington, DC: The Aspen Institute.
- Bothhoff, A., & Hartmann, E. (2014). Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – Neue Perspektiven und offene Fragen. In A. Bothhoff & E. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 161–163). Berlin: Springer.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS). (Hrsg.). (2015). Grünbuch Arbeit 4.0. http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen-DinA4/gruenbuch-arbeiten-vier-null.pdf?sessionid=AEAD457AD81DD810026DD129E9D95617?__blob=publicationFile&v=2. Zugegriffen am 02.05.2016.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS). (Hrsg.). (2016a). Foresight Studie – „Digitale Arbeitswelt“. Forschungsbericht 463. http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/f463-digitale-arbeitswelt.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugegriffen am 05.05.2016.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS). (Hrsg.). (2016b). Wertewelten Arbeiten 4.0. http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/wertewelten-arbeiten-vier-null.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugegriffen am 06.05.2016.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (Hrsg.). (2016a). Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft: Impulse für Wachstum, Beschäftigung und innovation. <https://www.bmw.de/BMWi/Redaktion/PDF/I/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft,property=pdf,be reich=bmw2012,sprache=de,rwb=true.pdf>. Zugegriffen am 06.05.2016.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (Hrsg.). (2016b). Grünbuch Digitale Plattformen. <https://www.bmw.de/BMWi/Redaktion/PDF/G/gruenbuch-digitale-plattformen,property=pdf,bereich=bmw2012,sprache=de,rwb=true.pdf>. Zugegriffen am 05.06.2016.
- Dejonckheere, J., Flecker, J., & Van Hootegeem, G. (2001). Der Beitrag der IKT zum Wandel der Arbeitsorganisation – Ursache, Trendsetter oder Hindernis? <http://forba.at/data/downloads/file/45-SR%201-2001.pdf>. Zugegriffen am 13.05.2016.
- Dressler, S. (2007). *Shared Services, Business-process-Outsourcing und Offshoring – Die moderne Ausgestaltung des Back-Office – Wege zu Kostensenkung und mehr Effizienz im Unternehmen*. Wiesbaden: Gabler.
- Dumitrescu, R., Tschirmer, C., Albers, A. A., & Bretz, L. (2015). Kollaborative Systemkonzipierung im interaktiven Entwicklungslabor. In A. Weisbecker, M. Burmester & A. Schmidt (Hrsg.), *Mensch und Computer 2015 – Workshopband* (S. 171–179). Berlin: de Gruyter Oldenbourg.
- Estefan, J. A. (2008). Survey of model-based systems engineering (MBSE) methodologies. *In cose MBSE Focus Group*, 25(8).
- Evans, P. C., & Gawer, A. (2016). *The rise of the platform enterprise. A global survey*. New York: The Center for Global Enterprise.
- Forrester, E. C., Buteau, B. L., & Shrum, S. (2008). *CMMI for services: Guidelines for superior service*. Boston: Addison-Wesley Professional.
- Fraunhofer-Institut für intelligente Analyse- und Informationssysteme. (Hrsg.). (2012). Big Data – Vorsprung durch Wissen. https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschungsthemen/kommunikation/bigdata/Innovationspotenzialanalyse_Big-Data_Fraunhofer-IAIS.pdf. Zugegriffen am 08.06.2016.
- Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik. (Hrsg.). (2016). Zukunft der unternehmensübergreifenden Kollaboration: Expertenmeinungen zu aktuellen Herausforderungen und zukunftsweisenden Trends in der kollaborativen Produktentwicklung.
- Friedenthal, S., Moore, A., & Steiner, R. (2012). *A practical guide to SysML. The systems modeling language* (2. Aufl.). Waltham, MA: Morgan Kaufmann.
- Fujitsu Technology Solutions (Hrsg.). (2016). Der digitale Drahtseilakt: Eine Studie von Fujitsu. <https://sp.ts.fujitsu.com/dmsp/Publications/public/br-digital-report-de.pdf>. Zugegriffen am 08.06.2016.
- Gausemeier, J. (2010). Maschinenbau braucht Systems Engineering. *Konstruktion, Ausgabe 12/2010*, 3.
- Gausemeier, J., Frank, U., Donoth, J., & Kahl, S. (2008). Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus – Teil 2. *Konstruktion*, 9, 91–108.

- Gausemeier, J., Anacker, H., Czaja, A., Waßmann, H., & Dumitrescu, R. (2013a). Auf dem Weg zu intelligenten technischen Systemen. In J. Gausemeier, R. Dumitrescu, F.-J. Rammig, W. Schäfer & A. Trächtler (Hrsg.), *9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme* (Bd. 310), 18.–19. April. Paderborn: HNI Verlagsschriftenreihe.
- Gausemeier, J., Dumitrescu, R., Steffen, D., Czaja, A., & Wiederkehr, O. (2013b). Systems Engineering in der industriellen Praxis. https://www.hni.uni-paderborn.de/fileadmin/Fachgruppen/Senior_professur_Gausemeier/systemsengineerings/Studie_Systems-Engineering.pdf. Zugriffen am 04.05.2016.
- Haag, M. (2015). Kollaborative Arbeiten mit Robotern – Vision und realistische Perspektive. In A. Bothoff & E. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 59–64). Berlin: Springer.
- Haberfellner, R., De Weck, O., Fricke, E., & Vössner, S. (2012). *Systems Engineering. Grundlagen und Anwendungen* (12. Aufl.). Zürich: Orell Füssli.
- Hall, A. D. (1962). *A methodology for systems engineering*. New York: Van Nostrand.
- Hirsch-Kreinsen, H., & ten Hompel, M. (2017). Digitalisierung industrieller Arbeit – Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0* (Bd. 3, S. 357–376). Berlin: Springer.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014. Technische Universität Dortmund, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät.
- Hitchins, D. K. (2007). *Systems engineering. A 21st century systems methodology*. Chichester: Wiley.
- IBM Global Business Service, Said Business School, University of Oxford. (2012). Analytics: Big Data in der Praxis – Wie innovative Unternehmen ihre Datenbestände effektiv nutzen. <http://www-935.ibm.com/services/de/gbs/thoughtleadership/GBE03519-DEDE-00.pdf>. Zugriffen am 09.05.2016.
- Industrie- und Handelskammer (IHK). (Hrsg.). (2015). Wirtschaft 4.0: Große Chancen, viel zu tun. http://www.dihk.de/ressourcen/downloads/ihk-unternehmensbarometer-digitalisierung.pdf/at_download/file?mdate=1453731023421. Zugriffen am 08.06.2016.
- International Council on Systems Engineering. (Hrsg.). (2007). *Systems engineering vision 2020 (Version 2.03)*. San Diego: INCOSE.
- International Council on Systems Engineering. (Hrsg.). (2015). *Systems engineering handbook – A guide for system life cycle processes and activities (Version 4)*. San Diego: INCOSE.
- International Standardisation Organisation (ISO). (2015). *International Electrotechnical Commission (IEC): Systems and software engineering – system life cycle processes. ISO/IEC 15288:2015(E)*. Genf: ISO Copyright Office.
- Kaiser, L. (2014). *Rahmenwerk zur Modellierung einer plausiblen Systemstruktur mechatronischer Systeme*. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe.
- Keijzer, W. C. (2007). *Wandlungsfähigkeit von Entwicklungsnetzwerken – ein Modell am Beispiel der Automobilindustrie*. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München.
- King, S. (2013). *Big Data – Potential und Barrieren der Nutzung im Unternehmenskontext*. Dissertation, Universität Innsbruck. München: Springer.
- King, L., & Swabey, P. (2015). Automated, creative & dispersed: The future of work in the 21st century. <https://www.eiuperspectives.economist.com/sites/default/files/EIU-Ricoh%20Future%20Work%20-%20report.pdf>. Zugriffen am 03.05.2016.
- Louis, P. (2008). *Manufacturing Execution Systems – Grundlagen und Auswahl*. Dissertation, Universität Marburg. Wiesbaden: Gabler.
- Möhringer, S. (2012). Systems Engineering im Mittelstand – ein flexibles Modell zur Rollenverteilung. Praxiserfahrungen aus Entwicklungsprojekten. In M. Maurer & S.-O. Schulze (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering* (S. 13–21). München: Carl Hanser.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2013). *Konstruktionslehre. Methoden und Anwendungen erfolgreicher Produktentwicklung* (8. Aufl.). Berlin: Springer.

- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 10, 96–114.
- Preuveneers, D., & Berbers, Y. (2008). Internet of things: A context-awareness perspective. In L. Yan, Y. Zhang & L. T. Yang (Hrsg.), *The Internet of things* (S. 287–307). New York: Auerbach.
- Ramos, A. L., Ferreira, J. V., & Barceló, J. (2012). LITHE: An agile methodology for human-centric model-based systems engineering. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 43(3), 504–521.
- Roland Berger Strategy Consultants. (Hrsg.). (2015). Die digitale Transformation der Industrie. http://bdi.eu/media/presse/publikationen/information-und-telekommunikation/Digitale_Transformation.pdf. Zugegriffen am 08.06.2016.
- Schoening, W. W., Campbell, R. B., Cogliandro, J. A., Ransijn, G. J. C., & Kögl, S. (2000). *Systems engineering – A key to competitive advantage for all industries proceedings of the 2nd European Systems Engineering Conference (EUSEC 2000)*. München: Herbert Utz.
- Sendler, U. (2013). *Industrie 4.0 – Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysML*. München: Springer.
- Sheard, S. A. (1996). Twelve systems engineering roles. In INCOSE (Hrsg.), *Proceedings of the 6th INCOSE annual international symposium*, Boston.
- Sonntag, K., Frieling, E., & Stegmaier, R. (Hrsg.). (2013). *Lehrbuch Arbeitspsychologie* (3. Aufl.). Bern: Hans Huber.
- Tschirner, C. (2016). *Rahmenwerk zur Integration des modellbasierten Systems Engineering in die Produktentstehung mechatronischer Systeme*. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe.
- Tschirner, C., Kaiser, L., Dumitrescu, R., & Gausemeier, J. (2014). Collaboration in model-based systems engineering based on application scenarios. In *NordDesign 2014*, Espoo/Melbourne.
- Ulich, E. (2010). *Arbeitspsychologie* (7. Aufl.). Stuttgart: Schaeffer-Pöschl.
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI). (2004). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. VDI-Richtlinie 2206*. Berlin: Beuth.
- Wild, F., Perey, C., Helin, K., Davies, P., & Ryan, P. (2014a). Advanced manufacturing with augmented reality. In *Proceedings of 1st AMAR workshop*, Munich.
- Wild, F., Scott, P., Karjalainen, J., Helin, K., Lind-Kohvakka, S., & Naeve, A. (2014b). An augmented reality job performance aid for Kinaesthetic learning in manufacturing work places. In C. Rensing, S. de Freitas & T. Ley (Hrsg.), *Open learning and teaching in educational communities – 9th European conference on technology enhanced learning* (S. 470–475). Graz: Springer.
- Wischmann, S. (2014). Arbeitssystemgestaltung im Spannungsfeld zwischen Organisation und Mensch-Technik-Interaktion – das Beispiel Robotik. In A. Botthoff & E. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 149–160). Berlin: Springer.

Teil IV

Folgen der digitalisierten Arbeit

Entwicklung der Beschäftigungsstruktur durch Digitalisierung von Arbeit

Martin Diewald, Björn Andernach und Eva Susanna Kunze

Inhalt

1	Einleitung	436
2	Grundlagen einer Prognose	436
3	Vorliegende Untersuchungen zum Wandel der Beschäftigungsstruktur	438
4	Fazit	448
	Literatur	449

Zusammenfassung

Wie bereits für frühere Phasen technologisch induzierter Veränderungen werden auch für digitalisierte Arbeitsmärkte weitreichende beschäftigungsstrukturelle Veränderungen angenommen. In vorrangig berufs- und tätigkeitsbasierten Prognosen wird von unterschiedlich ausgeprägten Substitutionswahrscheinlichkeiten ausgegangen. Jedoch erweisen sich, neben der Betrachtung neuer Beschäftigungsformen wie Click- und Crowdfunding, vor allem Veränderungen von organisationalen Arbeitszusammenhängen und innerhalb bestehender Berufsbilder als fundierte Analyseperspektiven auf veränderte Beschäftigungsmerkmale und -strukturen. Zudem ist technische Machbarkeit nicht mit ihrer tatsächlichen Umsetzung gleichzusetzen, die Gestaltung digitalisierter Arbeitszusammenhänge unterliegt vielmehr ökonomischen Kalkülen, verschiedenen Interessen und Interpretationsprozessen.

Schlüsselwörter

Berufe · Arbeitsplatzmerkmale · Crowdfunding · Clickwork · Beschäftigungsstruktur

M. Diewald (✉) · B. Andernach · E. S. Kunze
Fakultät für Soziologie, Arbeitsbereich Sozialstruktur und soziale Ungleichheit, Universität
Bielefeld, Bielefeld, Deutschland
E-Mail: martin.diewald@uni-bielefeld.de; bjoern.anderenach@uni-bielefeld.de;
eva.kunze@uni-bielefeld.de

1 Einleitung

Die Veränderung bisheriger Beschäftigungsstrukturen durch den digitalen Wandel stellt eines der hauptsächlichen Themen von „Industrie 4.0“ dar. Es gibt mittlerweile zahlreiche Prognosen zu diesem Wandel, inklusive einer kontroversen Diskussion über adäquate methodische Grundlagen für eine Abschätzung dieser Entwicklung. Aufgrund mehrerer Faktoren ist eine prospektive, quantifizierende Darstellung des beschäftigungsstrukturellen Wandels durch eine Digitalisierung der Arbeitswelt schwierig. Erstens handelt es sich bei der Digitalisierung der Arbeitswelt um verschiedene, sehr heterogene Entwicklungen, die von der Unterstützung einzelner Tätigkeiten über die Änderung des Zuschnitts von Aufgabenfeldern und Arbeitsabläufen bis zu völlig neuen Geschäftsmodellen reichen. Zweitens, verbunden mit dieser Heterogenität von Entwicklungen, kann sich der digitale Wandel auf mehreren Ebenen manifestieren: dem Verschwinden bisheriger und der Entstehung neuer Berufe und Tätigkeiten, dem Wandel von Berufsbildern und Arbeitsbedingungen in Tätigkeitsfeldern inklusive qualifikatorischer Voraussetzungen und Wertigkeiten, bis hin zu umfassenden Änderungen der Art und Organisation des Wirtschaftens insgesamt. Drittens ist der digitale Wandel zwar für die meisten Betriebe bereits ein Thema von hoher Bedeutung, doch ihre umfassende Umsetzung auf den verschiedenen Ebenen des Zuschnitts von beruflichen Tätigkeiten, Produktionsabläufen und flankierenden betrieblichen und staatlichen Regulierungen steht noch eher am Anfang (Pfeiffer und Suphan 2015; EY & Bitkom 2016).

Wir werden im Folgenden Untersuchungen referieren, die zu den verschiedenen Ebenen des Wandels bisher vorliegen (Abschn. 3). In einem abschließenden Fazit gehen wir auf die Lücken zwischen dem aktuellen Forschungsstand und den laufenden Digitalisierungsprozessen ein (Abschn. 4). Zuvor werden wir jedoch auf grundsätzliche Schwierigkeiten einer Abschätzung zukünftigen Wandels eingehen, die eine vereinheitlichende Wahrnehmung und Bewertung und damit auch Trendprognosen außerordentlich erschweren (Abschn. 2).

2 Grundlagen einer Prognose

2.1 Lehren aus der Vergangenheit: Industrie 3.0

Bereits im Zuge von „Industrie 3.0“, d. h. der massenhaften Einführung von Arbeitsplatzrechnern und allgemein der Mikroelektronik seit den 1970er-Jahren, wurden weitreichende Konsequenzen für die Beschäftigungsstruktur diagnostiziert. In der These eines „skill-biased technological change“ gilt die Einführung dieser neuen Technologien als Treiber einer zunehmenden Nachfrage nach (hoch)qualifizierter Arbeit, bei gleichzeitigem Sinken der Nachfrage nach niedrig qualifizierten Arbeitskräften. Als Folge hieraus wird eine Veränderung der Beschäftigungsstruktur mit einem größer werdenden Anteil an höher qualifizierter Beschäftigung sowie ein zunehmender Lohnabstand zwischen hoch qualifizierter und verbliebener niedrig

qualifizierter Arbeit und somit eine Polarisierung des Arbeitsmarktes diagnostiziert. In der Tat verlief die Einführung neuer Technologien komplementär zu einer erhöhten Nachfrage nach qualifizierten Beschäftigten. Dies gilt im Wesentlichen für alle Industriezweige in allen entwickelten Ländern (Berman et al. 1994). Allerdings fand die These einer dadurch bedingten Veränderung der Einkommensungleichheit nur partielle Unterstützung (Card und DiNardo 2002).

Eine Verfeinerung der Annahme, dass durch Technisierung insbesondere Routinetätigkeiten unter Druck geraten, stellt die Studie von Autor et al. (2003) dar. Ausgangspunkt ist hier eine für den Übergang von Industrie 3.0 zu Industrie 4.0 passende 2×2 Tätigkeitstypologie, mit manuellen vs. kognitiven Tätigkeiten und Routine- vs. Nicht-Routine-Tätigkeiten. Routinetätigkeiten sind grundsätzlich von Digitalisierung bedroht. Kognitive Routinetätigkeiten sind hierbei noch leichter durch Algorithmen erfassbar als manuelle Routinetätigkeiten. Unter der Rahmenbedingung, dass die Preise für Computertechnologie kontinuierlich sinken, geraten diese besonders unter Druck. Beschäftigte, die zuvor in einem mittleren Einkommenssegment in der Produktion beschäftigt waren, orientieren sich, so die These, in den Servicebereich im Niedrigeinkommenssektor, weil diese Tätigkeiten sich schlechter computerisieren lassen (Goos und Manning 2007; Autor und Dorn 2013). Tätigkeiten, die eine hohe Qualifikation voraussetzen, werden hingegen durch die Computertechnik unterstützt und ergänzt, sodass diese Arbeitsplätze ihre Produktivität eher steigern können. Beide Trends zusammengekommen könnten zu einer Polarisierung des Arbeitsmarktes führen, in „lousy and lovely jobs“ (Goos und Manning 2007).

Eine alternative Erklärung für die erhöhte Nachfrage nach höher qualifizierten Beschäftigten liefert der Ansatz des „skill-biased organizational change“. Das Kernargument lautet hier, dass ein Trend zu flacheren Hierarchien bzw. flexibleren und dezentraleren Strukturen die Nachfrage nach qualifizierten Arbeitskräften steigert, weil diese mehr Verantwortung übernehmen und mit Kontingenz und Unsicherheit umgehen können müssen (Greenan und Mairesse 1999; für Deutschland Bauer und Bender 2004). Da neue Produktionsweisen notwendigerweise mit einer veränderten organisationalen Struktur einhergehen, kann somit auch von Veränderungen der Mitarbeiterstruktur hinsichtlich Autonomie und Qualifikationen ausgegangen werden (Caroli und van Reenen 2001). Dass die Einführung neuerer Produktionstechnologien mit höheren Qualifikationsanforderungen verbunden ist, ist allerdings nicht zwingend (Caselli 1999). Im Gegenteil können neue Produktionstechnologien im Vergleich zu vorher eventuell auch von geringer qualifizierten Beschäftigten bedient werden. Ein Beispiel hierfür ist die Einführung von Dampfmaschinen und Fließbändern in früheren industriellen Revolutionen. Dort wurde der Produktionsprozess so umgestellt, dass ein Produkt von einer Vielzahl von gering qualifizierten Arbeitskräften hergestellt werden konnte, welches vorher der Kenntnisse eines Handwerksmeisters bedurfte.

In der Zusammenschau beider Ansätze zeigt sich ein enger Zusammenhang zwischen Qualifikationsstruktur und Veränderung der Beschäftigungsstruktur infolge technischen Wandels. Beiden Ansätzen ist gemeinsam, dass dabei Qualitäts- und Kostenvorteile einer Technisierung von Routinetätigkeiten der entscheidende

Treiber sind. Allerdings haben insbesondere Untersuchungen basierend auf dem Ansatz eines „skill-biased organizational change“ gezeigt, dass es keine Automatik gibt, durch welche vor allem niedrigqualifizierte Arbeitsplätze von einer solchen Verdrängung betroffen sein müssen. Vielmehr dürften ökonomische Überlegungen im Vordergrund stehen, welche Arbeitsplätze im Vergleich der Arbeitskosten gegen die Kosten einer Technisierung teurer erscheinen.

2.2 Machbarkeit und Gestaltung

Die Digitalisierung schafft durch die Etablierung komplexer IT-Systeme und adaptierbarer Services für den wirtschaftlichen und privaten Lebensraum Chancen für neue Produktmärkte, Geschäftsmodelle und effizientere Produktionsprozesse. Allerdings stehen diesen Potenzialversprechen auch etablierte, bewährte Organisationsroutinen, konkurrierende Interessen, geschäftliche Risiken und Risikowarnungen nichtintendierter Nebenfolgen gegenüber, sodass *nicht* von einer quasi naturgesetzlichen Umsetzung dieser Potenziale ausgegangen werden kann. Die Durchsetzung technisch möglicher Digitalisierungspotenziale ist demnach stark von Wahrnehmungen, Bewertungen und Entscheidungen beteiligter Akteure abhängig. Im Vordergrund stehen dabei ökonomische Rationalität auf Seiten der Betriebe, aber auch Interessen und Aushandlungsmacht beteiligter weiterer Akteure (industrielle Beziehungen, Marktmacht von bestimmten Berufen) sowie die Beharrungskraft eingefahrener, bewährter Denk- und Handlungsgewohnheiten (Pfeiffer und Suphan 2015). Es ist weder absehbar noch Bestandteil existierender Prognosen, welche Perspektiven und Interessen sich dabei durchsetzen werden. Die technische Machbarkeit steckt nur den Möglichkeitsrahmen für tatsächliche Entwicklungen ab.

3 Vorliegende Untersuchungen zum Wandel der Beschäftigungsstruktur

3.1 Projektionen zur Substituierbarkeit von Berufen bzw. Tätigkeiten

Substituierbarkeitsprojektionen für die USA

Das vielzitierte Paradebeispiel für Arbeiten zum Wandel der Beschäftigungsstruktur aus der Perspektive der Substituierbarkeit von Berufen bzw. Tätigkeiten ist die Projektion von Frey und Osborne (2013). Die Projektion basiert zunächst auf dem amerikanischen Berufe-Lexikon Dictionary of Occupational Titles (DOT) und seiner Fortschreibung im Onlineangebot „O*NET“. Hier ist der Anteil bestimmter Tätigkeiten an allen Tätigkeiten des jeweiligen Berufs einsehbar. Diese Tätigkeiten wurden von Fachleuten daraufhin klassifiziert, inwiefern sie durch digitale Technik automatisierbar sind.

Als Grenzen der Automatisierbarkeit, sogenannte Flaschenhälse, gelten für Frey und Osborne Kompetenzen im Bereich „Wahrnehmen und Manipulieren“, Kreative Intelligenz und soziale Intelligenz. Um dies am Beispiel des Berufs des Mechanikers (engl. „Machinists“) auszuführen: Der Grad, in welchem eine bestimmte Fähigkeit oder Kompetenz bei einer Arbeit ausgeführt werden muss, wird durch Experteneinschätzungen auf entsprechenden Bewertungsskalen eingeschätzt. Diese Skalen wurden auf einen Wertebereich von 0 bis 100 standardisiert. 0 ist hierbei die geringste und 100 die maximale Ausprägung. In der Kategorie „Wahrnehmen und Manipulieren“ bekommt die notwendige Fingerfertigkeit für die Ausübung des Berufs des Mechanikers eine 52, das handwerkliche Geschick eine 48. Es kommt im Beruf des Mechanikers selten vor, dass man im Arbeitsalltag eine ungesunde Körperhaltung auf engem Raum einnehmen muss (Wert 16 auf einer Skala von 0 bis 100). Im Bereich der Kreativen Intelligenz wird der notwendige Grad an Originalität, also die Fähigkeit, ungewöhnliche und kreative Ideen und Lösungen zu entwickeln, für den Beruf des Mechanikers mit einer 45 eingeschätzt. Künstlerische Fähigkeiten sind hingegen kein Bestandteil des Berufs. Im Bereich der sozialen Intelligenz wird der Grad der notwendigen Fähigkeiten in der Kategorie soziale Beobachtungsgabe mit 39, Verhandlungsfähigkeit mit 30, Überzeugungsfähigkeit mit 36 und „andere Unterstützen“ mit 25 Punkten auf der Hunderterskala bewertet.

Auf dieser Basis wurde mit einem statistischen Modell die Wahrscheinlichkeit berechnet, mit der alle 702 O*Net Berufe der Kategorie „automatisierbar“ zugeordnet werden. Im Endergebnis kommen die Autoren zu dem Schluss, dass 47 % der amerikanischen Beschäftigten ein Tätigkeitsprofil aufweisen, welches sich theoretisch in naher Zukunft automatisieren ließe. Für den oben beschriebenen Beruf des Mechanikers wird die Automatisierungswahrscheinlichkeit auf 65 % geschätzt.

Substituierbarkeitsprojektionen für Deutschland/EU

Der Europäische Think Tank Bruegel (Brussels European and Global Economic Laboratory) hat die Berechnungen von Frey und Osborne auf die EU angewandt, indem die verwendete amerikanische Berufsklassifikation (Standard Occupational Classification (SOC)) in die in Europa gebräuchlichere Berufsklassifikation ISCO (International Standard Classification of Occupations) übertragen wird (Bowles 2014a, b). Laut dieser Berechnungen sind 54 % der Jobs in den EU-28 Staaten von Computerisierung bedroht. Für Deutschland liegt der Anteil bei 51 %.

Bonin et al. (2015) haben die Vorgehensweise von Frey/Osborne ebenfalls auf Deutschland übertragen. In ihrer ersten Variante übertragen sie die amerikanische Berufsklassifikation SOC und die korrespondierenden Substitutionswahrscheinlichkeiten, die von Frey und Osborne berechnet wurden, in die deutsche Klassifikation der Berufe (KldB) und kommen so zu dem Schluss, dass 42 % der deutschen Berufe ein hohes Automatisierungspotenzial aufweisen. In einer zweiten Variante verwenden Bonin et al. (2015) ein tätigkeitsbasiertes Vorgehen. Datengrundlage ist die OECD Befragung PIAAC (Programme for the International Assessment of Adult Competencies). Die Automatisierungswahrscheinlichkeiten werden auf Basis eines

ökonomischen Modells geschätzt. Die Autoren kommen dieses Mal zu dem Ergebnis, dass erheblich weniger, nämlich 12 % der Berufe in Deutschland und 9 % der Berufe in den USA von Automatisierung bedroht sind. Die starken Unterschiede zwischen den beiden Prognosen erklären die Autoren so: „Die Automatisierungswahrscheinlichkeiten nehmen in der tätigkeitsbasierten Übertragung häufiger mittlere Werte an, d. h. es kommt seltener vor, dass der tätigkeitsbasierte Ansatz besonders hohe oder geringe Automatisierungswahrscheinlichkeiten zuweist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Beschäftigte in Berufen mit nach Frey und Osborne hoher Automatisierungswahrscheinlichkeit oft auch schwer automatisierbare interaktive Tätigkeiten ausüben. Aus diesem Grund weist der tätigkeitsbasierte Ansatz diesen Beschäftigten geringe Automatisierungswahrscheinlichkeiten zu, was im berufsbasierten Ansatz unberücksichtigt bleibt“ (Bonin et al. 2015, S. 14). Für Deutschland führen die Autoren aus, dass es deutliche Unterschiede hinsichtlich des Bildungsniveaus bei der Automatisierungswahrscheinlichkeit gibt. So weisen Beschäftigte mit Elementar-/Primarbildung ein Automatisierungsrisiko von 80 % auf, während das Risiko bei Beschäftigten mit Promotion nur bei 18 % liegt. Ähnliche Zusammenhänge lassen sich auch für Einkommensdezile zeigen. Die Beschäftigten im Bereich der untersten 10 % der Einkommensskala weisen ein Automatisierungsrisiko von 61 % auf, die Beschäftigten im Bereich der obersten 10 % der Einkommensskala hingegen nur 20 %.

Auch Dengler und Matthes (2015) legen eine Übertragung der Studie von Frey und Osborne auf Deutschland vor, wählen aber aufgrund der sehr unterschiedlichen Bildungssysteme und Arbeitsmärkte in Deutschland und den USA eine andere Vorgehensweise. Statt einer Übertragung der US-amerikanischen Codes in deutsche Berufscodes oder die ISCO-Klassifizierung – deren Vergleichbarkeit hinsichtlich der Tätigkeitsprofile fraglich erscheint – basiert ihre Schätzung auf den Tätigkeitsprofilen von 3900 Einzelberufen des Portals „Berufenet“ der Arbeitsagentur. Hier ist für jeden Beruf ein detailliertes Anforderungsprofil hinterlegt. Diese Anforderungen wurden daraufhin überprüft, ob sie nach derzeitigem Stand der Technik von Computern und Maschinen ausgeführt werden können. War dies der Fall, so wurden diese Anforderungen als Routinetätigkeiten klassifiziert. Auf dieser Grundlage wurde ein Task-Composition-Index berechnet, der den Anteil der Routinetätigkeiten an allen Tätigkeiten des Berufs anzeigt. Oberste Prämisse für diese Abschätzung ist, dass nur Tätigkeiten durch Computer ersetzt werden können, nicht ganze Berufe. Die Substituierbarkeitspotenziale innerhalb von Berufen können empirisch direkt anhand des Anteils der Routinetätigkeiten (d. h. der durch Computer bereits heute ersetzbaren Tätigkeiten) in den Berufen gemessen werden. Dieser wird als Maß für die Ersetzbarkeit durch Computer interpretiert. Ein geringes Substituierbarkeitspotenzial liegt vor, wenn maximal 30 % der Tätigkeiten durch Computer erledigt werden könnten. Ein mittleres Substituierbarkeitspotenzial bedeutet, dass zwischen 30 % und maximal 70 % der Tätigkeiten durch Computer ersetzt werden könnten, während man unter einem hohen Substituierbarkeitspotenzial versteht, dass mehr als 70 % der Tätigkeiten durch Computer ersetzt werden könnten. Die so gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass 15 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten mit einem sehr hohen Substituierbarkeitspotenzial behaftet sind. Das gewichtete, durch-

schnittliche Substituierbarkeitspotenzial ist im Berufssegment „Fertigungsberufe“ mit mehr als 70 % am höchsten, mit 65 % nur wenig geringer ist es bei den „fertigungstechnischen Berufen“. Am wenigsten substituierbar sind „soziale und kulturelle Dienstleistungsberufe“ mit unter 10 %. Zudem wird deutlich, dass nicht nur geringqualifizierte Berufe, sondern auch qualifizierte Fachkräfte einem hohen Substituierbarkeitspotenzial durch Digitalisierung unterliegen. Allein Spezialisten- und Expertenberufe sind mit einem niedrigeren Substituierbarkeitspotenzial verbunden. Man muss dabei allerdings – hierin sind sich beide Studien einig – sehr genau nach verschiedenen beruflichen Teilarbeitsmärkten, Berufen und Anforderungsniveaus unterscheiden. Vor allem die Erwartung, dass geringqualifizierte Tätigkeiten generell bedrohter seien als qualifizierte, hält einer solchen genaueren Überprüfung nicht stand. Die Finanzbranche kann hier als Beispiel dienen, denn hier werden durch Automatisierung und webbasierte Angebote gerade klassische qualifizierte Bankdienstleistungen im Kundengeschäft substituiert.

Wandel innerhalb von Berufen

Im Gegensatz zu den Arbeiten von Dengler und Matthes (2015) und Bonin et al. (2015) baut die Studie von Spitz-Oener (2006) auf dem oben zitierten Ansatz von Autor et al. (2003) auf. Mit den Erhebungswellen der Jahre 1979, 1985/86, 1991/92 und 1998/99 des BIBB/IAB-Survey untersucht sie, wie sich der Anteil der „non-routine analytical tasks“, „nonroutine interactive tasks“, „routine cognitive tasks“, „routine manual tasks“, und „nonroutine manual tasks“ in den Tätigkeitsprofilen der Berufe über die Zeit entwickelt hat. Sie stellt fest, dass sich der Wandel der Tätigkeiten überwiegend *innerhalb* von Berufen vollzieht. Analytische und interaktive Tätigkeiten werden hierbei aufgewertet. Hierfür wird eine höhere Qualifikation benötigt. Beschäftigte mit niedriger Bildung führen eher Routinetätigkeiten aus, und diese nehmen an Bedeutung ab. Für diese Veränderung in der Beschäftigungsstruktur spielt die zunehmende Digitalisierung eine zentrale Rolle. Die beschriebenen Änderungen in den innerberuflichen Tätigkeitsanforderungen erklären nach ihren Berechnungen die gestiegenen Bildungsanforderungen auf dem Arbeitsmarkt zu 36 %.

Schließlich verortet auch die Studie von Pfeiffer und Suphan (2015) die Auswirkung der Digitalisierung weniger im Verschwinden alter und der Entstehung neuer Berufe, sondern in der Veränderung der Tätigkeiten existierender Berufe. Allerdings hinterfragen sie darüber hinaus die Idee „einfacher“ Automatisierung von vermeintlichen Routinetätigkeiten insbesondere hinsichtlich der in den oben genannten Studien vorgenommenen Unterscheidung zwischen Routine und Nicht-Routine, da der Routinebegriff unzureichend definiert bzw. fundiert sei. Die Basis der Zuordnung von Tätigkeiten als (Nicht-)Routine sei in der Regel durch subjektive, nicht validierte Einschätzungen oder auch durch Fehlschlüsse in der Interpretation tätigkeitsbasierter Massendatensätze induziert. Fach- und Erfahrungswissen, die zum Erbringen vermeintlicher Routinetätigkeiten nötig sind, bleiben demnach in vielen Studien zum Substituierbarkeitspotenzial repetitiver Arbeit von Arbeitskräften unbeachtet. Sie bilden stattdessen auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012 zur Messung schwer automatisierbarer Tätigkeiten einen Index aus „situativem Umgehen mit Komplexität“, „situative Unwägbarkeiten“, „strukturelle Komplexi-

tätszunahme“ und „Relevanz von Erfahrungslernen“. Demnach sind für 71 % der Erwerbstätigen in Deutschland ein kompetenter Umgang mit Komplexität und Unwägbarkeiten im täglichen Arbeitshandeln relevant: Sie haben das dafür nötige Erfahrungswissen erworben und bringen es in ihre berufliche Tätigkeit ein. Erwartungsgemäß ist dies insbesondere in den hochqualifizierten Berufen der Fall. Jedoch sind auch formal gering qualifizierte und scheinbar einfache Tätigkeiten nicht pauschal zu betrachten, denn diese streuen sehr stark im von den Autorinnen entwickelten „Arbeitsvermögens-Index“ und damit in Bezug auf den Umgang mit Komplexität sowie im dafür nötigen subjektivierenden Arbeitshandeln (Pfeiffer und Suphan 2015). Die besondere Komplexität der Berufsstruktur Deutschlands, insbesondere in den Berufen mittlerer Qualifikationsstufen, stellt somit eine auch im Vergleich zu anderen Ländern besondere Ressource dar, auf die bei der Bewältigung der mit Digitalisierung verbundenen Anforderungen und der Ausschöpfung entsprechender Marktpotenziale zurückgegriffen werden kann.

Auch Düll (2013) kommt in ihrer Zusammenfassung von Expertisen und Fallstudien zu dem Fazit, dass der Wandel sich weniger über völlig neue Berufe als eine Anpassung bestehender Berufe über entsprechende Änderungen der Kompetenzprofile vollzieht. Das Internet der Dinge steigere den Bedarf an Kommunikationselektronik, Steuerungstechnik, Gebäudevernetzung, anspruchsvollen Wartungsaufgaben, nicht automatisierbaren Kontroll- und Steuerungsaufgaben sowie Materialversorgung und Wartungsaufgaben. Es reduziere sich hingegen der Bedarf an automatisierbaren Kontroll-, Steuerungs- und Dispositionsaufgaben, für die zuvor nur eine mittlere oder geringe Qualifikation nötig war.

3.2 Fallstudien zur Substituierbarkeit bei Digitalisierung

Untersuchungen zu laufenden Umsetzungen von Digitalisierung in Arbeitszusammenhängen sind bisher kaum vorhanden. Die vorliegenden Studien bestätigen allerdings die Sichtweise, dass eine einfache Logik der Substituierbarkeit entlang von Qualifikationsniveaus nicht greift. So zeigt Ahrens (2016) exemplarisch im produzierenden Gewerbe eine Verlagerung von Kompetenzen von Fachkräften in Richtung spezialisierter Akademiker/innen, was zu einem downgrading von Kompetenzen der mittleren Qualifikationsebenen führt.

Anhand von Arbeitsbeobachtungen und (Expert/innen-)Interviews mit Beschäftigten und Betriebsratsvertretungen beobachtet Ahrens (2016), dass Digitalisierung „nur in geringem Maße kompetenzaktivierend ist“, zugleich spezifisch berufliches Wissen an Bedeutung verliere, während komplexes Prozesswissen an Relevanz gewinne. Der tendenzielle Bedeutungsverlust berufsspezifischen Wissens, dessen Aktualität zehn Jahre kaum mehr übersteigt (Stich et al. 2015, S. 112), liegt in dem disruptiven Charakter der Änderung von Wertschöpfungsketten und der hohen Geschwindigkeit der Veränderung von Produktionsprozessen begründet. Generelle Kompetenz im Umgang mit Komplexität und Unwägbarkeiten wird deshalb entscheidend, um berufliche Abwertungen und Abstiege zu vermeiden. Inwiefern Vertrautheit mit dem organisationalen Umfeld und den bisherigen Geschäftsfeldern

beschäftigungssichernd wirkt, hängt dabei zum einen von der Tiefe der digitalen Durchdringung – werden einzelne Arbeitsschritte oder ganze Geschäftsstrategien substituiert? – und zum anderen von Gestaltungsstrategien und damit verbundenen Aushandlungsprozessen ab.

3.3 Zwischenfazit

Die methodischen Grundlagen gerade der meist zitierten Studien, insbesondere derjenigen von Frey und Osborne (2013) und ähnlich gelagerten Studien für Europa und Deutschland, scheinen insgesamt wenig geeignet, verlässliche Prognosen zu den Auswirkungen von Digitalisierung auf die Beschäftigungsstruktur zu erlauben. Dies hat vor allem damit zu tun, dass sie, mit unterschiedlichen Methoden und Schwerpunktsetzungen, Berufe zum Ausgangspunkt nehmen, ohne einen Blick auf konkrete Arbeitsplätze und organisationale Arbeitszusammenhänge zu werfen. Es sind jedoch diese Kontexte, in denen über die Einführung und Ausgestaltung von Digitalisierung entschieden wird.

Sicherlich wird es zum Verschwinden von Berufsfeldern, zu einem Mehrbedarf an hochqualifizierten IT-Berufen kommen, ebenso wie zum Rückgang von anderen Berufen. Die Substituierung von Arbeit durch Technik ist jedoch offensichtlich sehr häufig eher mit Folgen für den Wandel existierender Berufsbilder und organisationalen Veränderungen in der Wertschöpfungskette verbunden. Insbesondere für Deutschland mit seinem traditionell hohen Ausbildungsniveau gerade im breiten mittleren Bereich der Beschäftigung gilt es das qualifikatorische Potenzial, neue Kompetenzen und Kenntnisse und gestiegene Anforderungen an die Komplexitätsbewältigung durch innerberuflichen Wandel zu bewältigen. Aufgrund des disruptiven Charakters der Einführung von Digitalisierung erfordert dies jedoch nicht allein die entsprechende Weiterentwicklung des Ausbildungssystems für kommende Berufseintrittskohorten, sondern auch verstärkte Investitionen in die Fortbildung der bereits ins Beschäftigungssystem integrierten Geburtsjahrgänge. Diese vergleichsweise hohe Relevanz innerberuflichen und organisationalen Wandels führt zu der Frage, welche Beschäftigungsbedingungen für welche Beschäftigtengruppen durch Digitalisierung jenseits inhaltlicher Aspekte tangiert werden.

3.4 Gewinne und Verluste: Wandel von Beschäftigungsbedingungen durch Digitalisierung

Strukturelle Änderungen gehen über die Änderung von Tätigkeitsinhalten und Berufsbildern hinaus. Nicht nur das mögliche Verschwinden von Berufen und die Schaffung neuer beruflicher Einsatzfelder lassen eine „digitale Zukunft“ dem Einen als Verheißung, dem Anderen als Bedrohung erscheinen. Wie bereits im Zwischenfazit angesprochen wird sich der digitale Wandel wesentlich innerhalb beruflicher Tätigkeiten vollziehen und über inhaltliche Veränderungen und Kompetenzprofile hinaus vermutlich auch die Ungleichheitsstruktur auf dem Arbeitsmarkt beeinflus-

sen, vor allem über Veränderungen von Arbeitsplatzgratifikationen (wie Gehalt, Wertschätzung, gesellschaftlicher Berufsstatus) und -belastungen (wie psychischer Druck, häufige Störungen, fehlende Unterstützung). Die damit verbundenen Erwartungen sind extrem heterogen und schwanken zwischen ausgeprägten Hoffnungen und ebenso ausgeprägten Befürchtungen, verbunden mit der Frage, für welche Beschäftigtengruppen eher das eine oder das andere eintreffen möge. Wesentlich für die Entwicklung von Anforderungen an Erwerbstätige sind Aushandlungen darüber, a) welche Kompetenzen und Qualifikationen auf dem Arbeitsmarkt als wünschenswert geltend gemacht werden können, b) welchen Personengruppen diese zudem anerkannt werden und c) wie die Chancen, die zum Bestehen auf dem Arbeitsmarkt erforderlichen Kompetenzen und Qualifikationen zu erlangen, zwischen Personengruppen verteilt sind (Windeler 2014).

Im Folgenden werden Veränderungen von Ungleichheitsstrukturen im Zuge der Digitalisierung anhand zentraler Beschäftigungsbedingungen (Arbeitsinhalte bzw. Arbeitslosigkeit, Arbeitszeit und -ort, Grad von Autonomie und Kontrolle am Arbeitsplatz) für verschiedene Beschäftigtengruppen dargestellt.

Risiko von Arbeitslosigkeit und unterwertiger Beschäftigung versus job enrichment

Es wurde oben bereits erwähnt, dass durch die Digitalisierung von Arbeit eine durchgängige Automatisierung von Tätigkeiten repetitiven Charakters erwartbar ist. Die darauf bezogene Kritik bezog sich weniger auf entsprechende Tendenzen als auf die Definition dessen, was als „repetitiv“ bzw. „Routine“ definiert wird. Digitalisierung kann in spezifischen Geschäftsfeldern durchaus zur Substitution beruflicher Tätigkeiten sowohl in niedrigqualifizierten als auch in mittleren Beschäftigungssegmenten führen, im Falle eines „skill-biased organizational change“ sogar zum Ausdünnen unterer Managementpositionen. Dies ist jedoch nur eine Facette bzw. eine von mehreren Möglichkeiten, wie Digitalisierung konkret umgesetzt wird.

Das Argument des Wegfalls von Managementpositionen im Rahmen eines „skill-biased organizational change“ basiert auf der Annahme, dass gestiegene Anforderungen an den Umgang mit Komplexität und Unwägbarkeiten bei Fachkräften eine Anreicherung um Selbstorganisation und damit geringeren Bedarf an Management „von oben“ bedeutet. Gerade bei hochqualifizierten Tätigkeiten werden einzelne Aufgaben durch Informationstechnik leichter und effizienter (Wolter et al. 2015), Technologien haben hier eher unterstützende Funktion und bedrohen nicht den Expertenstatus und die Entscheidungskompetenz. Diese Expertentätigkeiten werden demnach vielmehr noch aufgewertet.

Allerdings erlauben es die technischen Möglichkeiten einer Digitalisierung von Produktionsprozessen im Gegenteil auch, ehemals hoch komplexe Aufgaben in viele kleinere Einheiten zu zerlegen, die separat von einer nur wenig koordinierten Gruppe von Personen bearbeitet werden können und eher repetitiven Charakter haben (Eurofound 2015a). In digitalisierten Arbeitswelten kann so das Paradox der Automation („ironies of automation“; Bainbridge 1983) sichtbar werden, wonach Beschäftigten das Improvisieren in ungeplanten Situationen umso schwieriger er-

scheint, je stärker das System, das sie für den Fall einer Störung überwachen, automatisiert ist (Hirsch-Kreinsen 2014). Die Abnahme konkreter Arbeitsanteile zugunsten abstrakter Arbeitsaspekte kann dann als Entfremdung wahrgenommen werden. Angereichert sind dann nur die Tätigkeiten derjenigen, die diese Prozessketten entwickeln und steuern. In welchen Geschäftsfeldern welche Entwicklungen eintreten, ist allerdings bisher nicht systematisch untersucht.

Flexibilität in Arbeitszeit und Arbeitsort

Eines der größten Versprechen der Digitalisierung ist mehr Flexibilität für Arbeitgeber und Arbeitnehmer/innen. Wir wissen aus der bisherigen Forschung vor Industrie 4.0, dass Flexibilitätsbedürfnisse beider Seiten nicht unbedingt in Einklang stehen und es zwischenbetrieblich große Unterschiede gibt, in welchem Umfang beide Berücksichtigung finden. Dies gilt auch für die Möglichkeiten digitalisierter Arbeitsumgebungen (Bauer et al. 2014), die einerseits die Chancen auf Arbeitszeitautonomie und selbstbestimmte Flexibilität erhöhen können, andererseits aber auch den Druck in Richtung ständiger Verfügbarkeit, Erreichbarkeit und Anpassung an Kundenanforderungen verstärken. Letzteres betont eine Unternehmensbefragung der Wirtschaftsprüfungsgesellschaft Ernst & Young und Bitkom (2016): Unternehmen haben bisher zwar weitgehend diffuse Vorstellungen über die Effekte von digitalisierter Wertschöpfung, doch bestehe eine „erstaunliche Einigkeit“ darüber, dass der große Vorteil der Digitalisierung in der Möglichkeit liege, die Flexibilität der Produktion zu erhöhen und die Reaktionszeit des Unternehmens auf Kunden- oder Marktanforderungen zu senken. Der Versuch, die Flexibilitätsbedürfnisse beider Seiten über sogenanntes „work-life-blending“, also das Aufheben einer klaren Trennung zwischen Berufs- und Privatleben (Mikfeld 2016) zu versöhnen, scheint für die meisten Beschäftigten hoch problematisch (BMAS 2015) und nur für vergleichsweise begrenzte Gruppen lebenspraktisch erstrebenswert. Ähnlich ambivalente Erfahrungen gibt es im Hinblick auf die Lösung der Arbeit aus räumlich fixen Arbeitsplätzen, wie dies bei Heimarbeit der Fall ist. Auch hier schafft die Digitalisierung erweiterte Möglichkeiten vor allem für höherqualifizierte Beschäftigte.

Autonomie und Kontrolle

Uneinheitliche Auswirkungen digitalisierter Arbeitsumwelten werden auch für die Autonomie der Berufsausübung bzw. umgekehrt die Zunahme von Überwachung und Kontrolle berichtet. Die praktische Ausprägung erweiterter Entscheidungsspielräume und individueller Arbeitsleistung wird in der Befragung des BMAS „Monitor Digitalisierung“ deutlich: Neben einem als erhöht wahrgenommen Grad an Arbeitsplatzautonomie bei 32 % der befragten Beschäftigten, nehmen zugleich auch 56 % ihre individuell erhöhte Anforderung an Arbeitsleistung wahr (BMAS 2016). Wie bereits oben angesprochen, können Handlungs- und Entscheidungsautonomie insbesondere für Beschäftigte mittlerer und höherer Qualifikation zunehmen, da Assistenzsysteme wie Cyber-Physical-Systems (CPS) eine dezentrale Steuerung von Prozessen begünstigen und den Fachkräften bisher übergeordnete untere Hierarchie-

ebenen überflüssig machen. Werden Algorithmen als Entscheidungsinstanz wirksam, wie beispielsweise in CPS, werden allerdings auch Entfremdungstendenzen zwischen Arbeitstätigkeit und Beschäftigten in diesen Beschäftigtengruppen potentiell größer. Nicht allein durch Unternehmenshierarchien werden Entscheidungen getroffen und kommuniziert, sondern nun durch als anonym wahrgenommene Systeme. Die Wahrnehmung solcher Prozesse als weitgehend transparent und nachvollziehbar bleibt dann wohl vor allem den hochqualifizierten Spezialisten vorbehalten, da diese über das dafür notwendige Fachwissen über „unsichtbare“ Systemprozesse verfügen. Quantifizierende Untersuchungen dazu, welche Beschäftigtengruppen davon auf welche Art tangiert werden, gibt es bisher jedoch noch nicht.

Insbesondere für nachgeordnete, eher gering qualifizierte Beschäftigtengruppen stellen adaptive Mensch-Maschine-Schnittstellen bzw. CPS auch eine neue Qualität von Überwachungsmöglichkeiten dar (Ortmann 2014; Krzywdzinski et al. 2015). Durch die generell als gering wahrgenommene Verhandlungsmacht von an- und ungelernten Beschäftigten besteht die Gefahr, dass gerade diese in Arbeitsbereichen, welche keine oder kaum formale Qualifikationen benötigen, auf spezifische Weise verstärkter Kontrolle unterliegen, während zugleich ihr Maß an Arbeitsautonomie sinkt bzw. unverändert niedrig bleibt.

3.5 Crowdfunding und clickworking (Klick-Arbeit)

Die bisher behandelten Aspekte des beschäftigungsstrukturellen Wandels durch Digitalisierung manifestieren sich exemplarisch in der Entwicklung und Differenzierung von crowdfunding und clickwork als neue Beschäftigungsformen, die durch Digitalisierung überhaupt erst möglich wurden und sicherlich zu den weitreichendsten Optionen einer Umgestaltung von Arbeitszusammenhängen gehören. Beide Begriffe werden in der Literatur meist synonym verwendet. Will man eine Differenzierung vornehmen, so bezeichnet Crowdfunding als umfassenderer Begriff das Outsourcing spezifischer Arbeitsaufgaben an internetbasiert verfügbare Selbständige, die Aufgaben und Projekte für Unternehmen bearbeiten, ohne bei ihnen angestellt zu sein. Clickworking bezeichnet „Mikrojobs“, die arbeitsteilig kleinteilig, tendenziell ohne besondere Kenntnisse oder formale Qualifikationen, leistbar sind. Diese Möglichkeit basiert auf einer Zerlegung bisheriger Arbeitszusammenhänge, die für den einzelnen Arbeitsplatz komplexere, interaktiv und kooperativ eingebundene Anforderungen, Rollen und Tätigkeiten beinhaltet haben, in kleinere und kleinste Arbeitseinheiten. Diese können beliebiger zugeteilt und aus bisherigen Arbeitszusammenhängen, auch über organisationale Grenzen hinweg, ausgelagert werden. Eine hier nur zusätzlich zu erwähnende Besonderheit stellt unternehmensinternes Crowdsourcing dar, wie es beispielsweise bei IBM als „Liquid“ eingeführt wurde. Hierbei werden einzelne Arbeitsaufgaben und Projekte unternehmensintern ausgeschrieben, was digital über Plattformen geschieht. Es handelt sich jedoch hierbei um „Crowdworker“, die einen organisationsinternen Arbeitnehmerstatus und entsprechende Schutzrechte haben.

Verbreitung von Crowdfunding

Es gibt bereits eine Reihe von spezialisierten Plattformen, über die Crowdfunding vermittelt wird. „Mechanical Turk“ ist eine Plattform für eher einfache Aufgaben, „oDesk“ ein Beispiel für komplexere Fachaufgaben, „Innoventive“ für projektförmerige Entwicklungsaufgaben. Die beiden größten in Deutschland betriebenen Plattformen (clickworker GmbH; wer denkt was GmbH) haben zusammen ca. eine Million registrierte Teilnehmer (Stand 2016), die jedoch nicht nur deutsche bzw. in Deutschland ansässige Crowdfunder umfassen. Es gibt bislang keine fundierten empirischen Erkenntnisse über den Umfang von Crowdfunding insgesamt (Deutscher Bundestag 2014a, b).

Unklar erscheint auch die weitere Entwicklung. Generell wird in der Literatur eine zunehmende Ausbreitung und Bedeutung von Crowdfunding in Wertschöpfungsprozessen erwartet (Eurofound 2015a). Allerdings scheint die Ausbreitung diskontinuierlich zu verlaufen. Zwischen 2012 und 2015 wird auf Basis des SOEP sowie anhand des Mikrozensus ein Rückgang von 8 % errechnet (Brenke und Beznoska 2016). Ausschlaggebend dafür scheint vor allem, abhängig von der Wirtschaftskonjunktur, die schwankende Verfügbarkeit sicherer Alternativ-Arbeitsplätze zu sein. Es könnte damit zusammenhängen, dass im gleichen Zeitraum die lange stagnierende, für innerbetriebliche Mitarbeiter angebotene Telearbeit, oder home-working, wieder zugenommen hat (Roland Berger GmbH 2015).

Beschäftigungsmerkmale von Crowd- und Clickworking

Generelle Vorteile für Click- bzw. Crowdfunder liegen in der Möglichkeit, Arbeitsleistungen quasi orts- und zeitunabhängig zu erbringen oder der Freiheit, Arbeitsaufgaben überhaupt anzunehmen. Somit können Lage und Umfang der Arbeitszeit weitgehend selbst bestimmt werden. Neben dieser Arbeitszeitautonomie besteht auch Potenzial hoher Entscheidungs- und Handlungsautonomie, beispielsweise hinsichtlich der Art der Arbeitsaufgaben und der Herangehensweise an ihre Erfüllung. Attraktiv ist diese Arbeitsform einerseits für hochqualifizierte Spezialisten, die hierin eine Möglichkeit haben, hohe Einkommenschancen mit einer ungebundenen Lebensweise, ohne starres Arbeitszeitkorsett und rigide organisationale Strukturen, zu verbinden. Andererseits ist unklar, ob sich die Attraktivität eines solchen Konzepts eher auf bestimmte Lebensphasen beschränkt oder dauerhaft für eine nennenswerte Zahl von Beschäftigten interessant ist. In diesem Zusammenhang stellt sich ebenfalls die Frage, ob Wechsel zwischen Angestelltenstatus und Crowdfunding-Selbstständigkeit im Lebenslauf eher die Regel oder die Ausnahme sind, ob sie eher Einstiegsoptionen in eine innerbetriebliche Karriere oder eine Ausstiegsoption nach einer erfolgreichen Etablierung in einem Geschäftsfeld als Angestellter sind, wobei Feldkenntnisse und Kontakte die Basis freiberuflicher Arbeit sind.

Eindeutiger ist die Lage bei dem vergleichsweise weniger voraussetzungsreichen Clickworking. Hier zeigen Studien, dass diesem vor allem unter folgenden Umständen nachgegangen wird (Eurofound 2015a): als Zuverdienst in der Ausbildungs- und beruflichen Etablierungsphase, beim Übergang in oder nach dem Übergang in den Ruhestand, wenn Vermögen oder gut verdienende Partner vorhanden sind sowie bei konkurrierenden und phasenweise als vordringlich wahrgenommenen

Anforderungen im Privatleben wie der Verantwortung für Kinder oder pflegebedürftige Angehörige.

Diese Heterogenität wird auch beim Blick auf die Einkommen von „Solo-Selbstständigen“, zu denen Click- und Crowdworker gehören, bestätigt (Brenke und Beznoska 2016): Im Mittel ist der Stundenlohn dieser Gruppe gestiegen. Dieser Einkommensanstieg ist angesichts einer großen Einkommensstreuung allerdings maßgeblich von einer kleinen Gruppe Solo-Selbstständiger mit hohen Einkünften getrieben. Dies sind Hochqualifizierte, die komplexen Arbeitsaufträgen nachkommen, darunter insbesondere ältere Erwerbspersonen welche auch im Ruhestand eine wachsende „Erwerbsneigung“ zeigen. Die starke Einkommensstreuung unter Solo-Selbstständigen verweist auch auf eine Gruppe, die eher einfachen Tätigkeiten nachgeht und geringe oder mittlere Einkommen je Stunde erreicht. Im Vergleich zu entsprechenden Arbeiternehmergruppen ihres Berufes verdienen diese Solo-Selbstständigen weniger als angestellte Beschäftigte in vergleichbaren Berufen. Insbesondere bei englischsprachigen Arbeitsaufträgen besteht eine weltweite Konkurrenz zwischen Klick-Arbeiter/innen um den Erhalt von Aufträgen (Eurofound 2015b). Solo-Selbstständigkeit geht zudem mit einer nur unzureichenden Absicherung für den Ruhestand einher: Versicherungszahlungen für die Altersvorsorge werden nur von etwa der Hälfte der Solo-Selbstständigen vorgenommen, in die gesetzliche Rentenversicherung zahlt lediglich knapp ein Drittel ein (Stand 2013).

4 Fazit

Obwohl die Prognosen zur Substituierbarkeit von Berufen eine breite Aufmerksamkeit erfahren, scheinen sie wenig geeignet, um die digitale Zukunft vorhersagen zu können. Digitalisierung ersetzt wohl nicht Berufe und nur manchmal Tätigkeitskomplexe als die bisher gebräuchlichen Ansatzpunkte von Analysen und Prognosen, sondern vielmehr verändern Digitalisierungsprozesse Aufgabenzuschnitte, Arbeitsteilung und Arbeitsabläufe in Arbeitsorganisationen mit vermutlich sehr heterogenen Auswirkungen auf Berufe und Jobs. Deshalb sind Auswirkungen der Digitalisierung auf Beschäftigungsstruktur und Ungleichheiten nur durch eine Untersuchung laufender Digitalisierungsprozesse, und nicht aus berufs- und tätigkeitsbasierten Prognosen, ableitbar.

Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Schnelligkeit und dem disruptiven Charakter der Digitalisierung der Arbeitswelt. Im Jahr 2003, zur Entstehungszeit des Beitrags von Autor et al., schien es beispielsweise noch unvorstellbar, dass sich die Tätigkeit des Autofahrens automatisieren ließe. Was sich 2013 aber schon andeutete, ist heute Realität. Google hat die ersten selbstfahrenden Autos zu Testzwecken bereits auf die Straße gebracht. Dies zeigt, dass auch kognitiv anspruchsvolle Aufgaben, die Erfahrungswissen und Improvisationshandeln voraussetzen, computerisiert werden können. Frey und Osborne haben dies immerhin bereits berücksichtigt, indem sie die rote Linie weit jenseits bloßer Routinetätigkeiten gezogen haben und nur noch „perception and manipulation tasks“, „creative intelligence tasks“ und „social intelligence tasks“ als nicht automatisierbar ausgeschlossen haben, und so zu entsprechend hohen Substituierbarkeiten kommen.

Allerdings beziehen sich diese Prognosen auf die technische Machbarkeit, und auch die Übertragungen dieses Ansatzes auf Deutschland berücksichtigen die Besonderheiten des deutschen Bildungs- und Beschäftigungssystems nur teilweise, beziehungsweise die besonderen industriellen Beziehungen gar nicht. Darüber hinaus machen andere Untersuchungen deutlich, dass die Veränderung der Beschäftigungsstruktur durch Digitalisierung sehr heterogene Entwicklungen umfasst, die gerade im deutschen auf qualifizierte Arbeit aufbauenden Produktionsregime hauptsächlich über veränderte Anforderungen und Aufgabenzuschnitte innerhalb von Berufen bewältigt werden dürfte.

Die Reichweite der Veränderungen und die mutmaßlich unterschiedliche Betroffenheit verschiedener Beschäftigtengruppen sind damit jedoch noch nicht geklärt. Beides wird von ökonomischen Kalkülen von Unternehmen abhängen, in Aushandlungsprozessen kollektiver Akteure gestaltet werden und sich über Diffusionsprozesse als gelungen wahrgenommene Umsetzungen verbreiten.

Was die Betroffenheit verschiedener Beschäftigtengruppen angeht, deuten bisherige Untersuchungen darauf hin, dass die Annahme einer Substituierung menschlicher Arbeit insbesondere niedrig qualifizierter Beschäftigung wohl zu einfach gedacht ist. Dagegen spricht nicht zuletzt, dass eine technisch aufwändige Rationalisierung bei geringem Lohnniveau keine raschen Erträge verspricht. Umgekehrt zeigt der Blick auf das in der Regel gute Lohnniveau im Bereich der Finanzdienstleistungen, dass die digital unterstützte Automatisierung hier wohl erhebliche Einsparpotenziale ermöglicht. Gerade im Bereich qualifizierter Arbeit können kognitive Routinetätigkeiten automatisiert und berufliche Tätigkeitsfelder in der Folge einerseits in den geringqualifizierten Bereich rein operativer Tätigkeiten ableiten, andererseits in hochqualifizierte Berufe wandern. Ob hochqualifizierte Tätigkeiten nicht nur mittelfristig sondern auch langfristig durch menschliche Arbeitsleistung erfolgen, ist derzeit nicht absehbar. Zumindest werden entsprechende Experten zu den meistgesuchten Arbeitskräften gehören und Durchsetzungspotenzial hinsichtlich Gratifikationen und Autonomie besitzen.

Auf der Ebene von Beschäftigungsbedingungen wird die große Herausforderung darin bestehen, die neuen technischen Möglichkeiten der Flexibilisierung von Beschäftigung hinsichtlich Arbeitszeit und Einsatzort so zu gestalten, dass den Flexibilitätsanforderungen beider Seiten, der Unternehmen wie der Arbeit- und Auftragsnehmer/innen, Genüge getan wird. Dies ist keineswegs ein neues Problem, und es spricht wenig dafür, dass es hier zu einem gleichförmigen Trend mit einem für alle Beschäftigten gleichen Ergebnis kommen wird.

Literatur

- Ahrens, D. (2016). Neue Anforderungen im Zuge der Automatisierung von Produktionsprozessen: Expertenwissen und operative Zuverlässigkeit. *Arbeits- und Industriesoziologische Studien*, 9(1), 43–56.
- Autor, D. H., & Dorn, D. (2013). The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market. *American Economic Review*, 103(5), 1553–1597.
- Autor, D. H., Levy, F., & Murnane, R. J. (2003). The skill content of recent technological change: An empirical exploration. *The Quarterly Journal of Economics*, 118(4), 1279–1333.

- Bainbridge, L. (1983). Brief paper: Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779.
- Bauer, T. K., & Bender, S. (2004). Technological change, organizational change, and job turnover. *Labour Economics*, 11, 265–291.
- Bauer, W., Schlund, S., & Marrenbach, D. (2014). Industrie 4.0: Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. https://www.bitkom.org/Publikationen/2014/Studien/Studie-Industrie-4-0-Volkswirtschaftliches-Potenzial-fuer-Deutschland/Studie_Industrie_40.pdf. Zugriffen am 30.04.2016.
- Berman, E., Bound, J., & Griliches, Z. (1994). Changes in the demand for skilled labor within U.S. manufacturing: Evidence from the annual survey of manufactures. *The Quarterly Journal of Economics*, 109(2), 367–397.
- BMAS. (2015). Monitor Digitalisierung am Arbeitsplatz. Aktuelle Ergebnisse einer Betriebs- und Beschäftigtenbefragung. <http://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/a875-monitor-digitalisierung-am-arbeitsplatz.html>. Zugriffen am 30.04.2016.
- BMAS. (2016). Monitor Mobiles und entgrenztes Arbeiten: Aktuelle Ergebnisse einer Betriebs- und Beschäftigtenbefragung. http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/a873.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugriffen am 30.04.2016.
- Bonin, H., Gregory, T., & Zierahn, U. (2015). Kurzexpertise Nr. 57: Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. <http://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/Forschungsberichte/Forschungsberichte-Arbeitsmarkt/forschungsbericht-fb-455.html>. Zugriffen am 28.07.2016.
- Bowles, J. (2014a). *The computerization of European jobs*. Brussels: Bruegel. <http://bruegel.org/2014/07/the-computerisation-of-european-jobs/>. Zugriffen am 28.07.2016.
- Bowles, J. (2014b). *Chart of the week: 54 % of EU jobs at risk of computerization*. Brussels: Bruegel. <http://bruegel.org/2014/07/chart-of-the-week-54-of-eu-jobs-at-risk-of-computerisation/>. Zugriffen am 28.07.2016.
- Brenke, K., & Beznoska, M. (2016). Solo-Selbständige in Deutschland – Strukturen und Erwerbsverläufe. Kurzexpertise für das BMAS. <http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/f465-solo-selbstaendige.pdf>. Zugriffen am 28.07.2016.
- Card, D., & DiNardo, J. E. (2002). *Skill biased technological change and rising wage inequality: Some problems and puzzles*. NBER working paper, no. 8769, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Caroli, E., & van Reenen, J. (2001). Skill-biased organizational change? Evidence from a panel of British and French establishments. *The Quarterly Journal of Economics*, 116(4), 1449–1492.
- Caselli, F. (1999). Technological revolutions. *American Economic Review*, 89(1), 78–102.
- Dengler, K., & Matthes, B. (2015). *Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland* (IAB-Forschungsbericht 11/2015).
- Deutscher Bundestag. (2014a). Drucksache 18/2727 18. Wahlperiode, 01.10.2014, Wandel von Arbeit im Digitalen Zeitalter und Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt, die Sozialsysteme und das Arbeitsrecht, Kleine Anfrage der Abgeordneten Klaus Ernst, Sabine Zimmermann (Zwickau), Herbert Behrens, Matthias W. Birkwald, Susanna Karawanskij, Kerstin Kassner, Jutta Krellmann, Richard Pitterle, Dr. Petra Sitte, Dr. Kirsten Tackmann, Dr. Sahra Wagenknecht, Halina Wawzyniak und der Fraktion DIE LINKE. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/027/1802727.pdf>. Zugriffen am 28.07.2016.
- Deutscher Bundestag. (2014b). Drucksache 18/3032 18. Wahlperiode, 04.11.2014, Die Antwort wurde namens der Bundesregierung mit Schreiben des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales vom 3. November 2014 übermittelt. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Klaus Ernst, Sabine Zimmermann (Zwickau), Herbert Behrens, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/030/1803032.pdf>. Zugriffen am 28.07.2016.
- Düll, N. (Hrsg.). (2013). Arbeitsmarkt 2030: Fachexpertisen und Szenarien Trendanalyse und qualitative Vorausschau. Im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales, München. https://www.wbv.de/openaccess/themenbereiche/bildungs-und-sozialforschung/shop/detail/name/_/0/1/6004384w/nb/0/category/1142.html. Zugriffen am 28.07.2016.

- Eurofound. (2015a). *New forms of employment*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. http://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_publication/field_ef_document/ef1461en.pdf. Zugegriffen am 28.07.2016.
- Eurofound. (2015b). Casestudy Clickworker.de. Luxembourg: Publications Office of the European Union. http://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/page/field_ef_documents/21_-_ef1461_-_de_-_crowd_employment_-_clickworker_-_final.pdf. Zugegriffen am 28.07.2016.
- EY (Ernst & Young), & Bitkom. (2016). Industrie 4.0: das unbekannte Wesen. <http://www.bitkom-research.de/Industrie-40>.
- Frey, C., & Osborne, M. A. (2013). The future of employment: How susceptible are jobs to computerization? Oxford: University of Oxford. www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/future-of-employment.pdf. Zugegriffen am 12.01.2017.
- Goos, M., & Manning, A. (2007). Lousy and lovely jobs: The rising polarization of work in Britain. *The Review of Economics and Statistics*, 89(1), 118–133.
- Greenan, N., & Mairesse, J. (1999). *Organizational change in French manufacturing: What do we learn from firm representatives and from their employees?* NBER working paper, no. 7285, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Wandel von Produktionsarbeit: „Industrie 4.0“. *WSI Mitteilungen*, (06), 421–429.
- Krzywdzinski, M., Jürgens, U., & Pfeiffer, S. (2015). Die vierte Revolution: Wandel der Produktionsarbeit im Digitalisierungszeitalter. *WZB Mitteilungen*, (149), 6–9.
- Mikfeld, B. (2016). Zur Einführung: Trends, Diskurse, Klärungsbedarfe. In BMAS (Hrsg.), *Arbeit 4.0 – Werkheft 1: Digitalisierung der Arbeitswelt* (S. 16–21). Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales.
- Ortmann, U. (2014). Der Leistungsanspruch von RFID: Mit Popitz durch die Informationsgesellschaft. *Arbeits- und Industriesoziologische Studien (AIS)*, 7(1), 75–86.
- Pfeiffer, S., & Suphan, A. (2015). Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0. Working Paper 2015/1 (draft v1.0 vom 13.04.2015). Universität Hohenheim, Fg. Soziologie. <https://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2015-Pfeiffer-Suphan-draft.pdf>. Zugegriffen am 28.07.2016.
- Roland Berger GmbH. (2015). Die neue Vereinbarkeit. Warum Deutschland einen Qualitätssprung bei der Vereinbarkeit von Beruf und Familie braucht. https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_die_neue_vereinbarkeit_2_0_1.pdf. Zugegriffen am 28.07.2016.
- Spitz-Oener, A. (2006). Technical change, job tasks, and rising educational demands: Looking outside the wage structure. *Journal of Labor Economics*, 24(2), 235–270.
- Stich, V., Gudergan, G., & Senderek, R. (2015). Arbeiten und Lernen in der digitalisierten Welt. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen* (S. 109–131). Baden-Baden: Nomos.
- Windeler, A. (2014). Kompetenz. Sozialtheoretische Grundprobleme und Grundfragen. In A. Windeler & J. Sydow (Hrsg.), *Kompetenz, Organisation und Gesellschaft* (S. 7–18). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Wolter, M. I., Mönnig, A., Hummel, M., Schneemann, C., Weber, E., Zika, G., . . . Neuber-Pohl, C. (2015). *Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft: Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen* (IAB-Forschungsbericht No. 08/2015). Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. <http://doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb0815.pdf>. Zugegriffen am 15.11.2015.

Digitalisierte Arbeit und private Lebensführung

Martin Diewald, Eva Susanna Kunze und Björn Andernach

Inhalt

1	Einleitung	454
2	Auswirkungen von Beschäftigungsbedingungen auf das Privatleben: Stand der Forschung	455
3	Digitalisierung und Beschäftigungsmerkmale: Was ändert sich für wen?	459
4	Neue Aspekte digitalisierter Arbeit und vorliegende Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen digitalisierter Arbeit und Privatleben	462
5	Fazit	465
	Literatur	466

Zusammenfassung

Über die Auswirkungen digitalisierter Arbeitsumgebungen auf die private Lebensführung gibt es eher vage Vermutungen als belastungsfähige empirische Untersuchungen. Wir referieren deshalb hauptsächlich Untersuchungen zu allgemeinen Beschäftigungsbedingungen, die im Zuge von Digitalisierungsprozessen an Bedeutung zunehmen werden. Wir berücksichtigen, dass sich Digitalisierungsprozesse für verschiedene Beschäftigtengruppen durchaus unterschiedlich auswirken können. Darüber hinaus diskutieren wir spezifische Begleiterscheinungen von Digitalisierung auf der Ebene von Kommunikation und Interaktion, die von bisherigen Untersuchungen nicht hinreichend abgebildet werden konnten.

Schlüsselwörter

Work-Life-Konflikt · Freizeit · Familie · Mensch-Maschine-Interaktion · Crowdwork

M. Diewald (✉) · E. S. Kunze · B. Andernach
Fakultät für Soziologie, Arbeitsbereich Sozialstruktur und soziale Ungleichheit, Universität
Bielefeld, Bielefeld, Deutschland
E-Mail: martin.diewald@uni-bielefeld.de; eva.kunze@uni-bielefeld.de; b.anderach@gmx.de

1 Einleitung

In zahlreichen Veröffentlichungen zur Digitalisierung von Arbeit werden umfassende Vernetzung und Automatisierung, Dezentralisierung und der Umgang mit adaptiven, intelligenten und autonomen Systemen als Kern digitaler Arbeit genannt (z. B. Hermann et al. 2015; Krzywdzinski et al. 2015; Kagermann et al. 2013). Digitalisierung macht Informationen maschinenoperabel; die daraus resultierende Möglichkeit umfassender Datenerhebung und -auswertung verändert sowohl Struktur und Organisation von Arbeit als auch Anforderungen an die Beschäftigten (BMAS 2016b). Anwendungsgebiete digitalisierter Arbeit liegen neben Tätigkeiten im produzierenden Gewerbe (Stichworte: Smart Factory, Roboter) und in der Logistik-/Transportbranche (Smart Transportation Logistics) bspw. auch im Handwerk (Einrichten und Warten von Technologien für das Smart Home) sowie im tertiären Sektor (internetbasierte Dienstleistungen/Smart Services, bspw. im Bereich Handel und Beratung). Es handelt sich also um ein komplexes Bündel verschiedener Entwicklungen, die jedoch zusammengenommen die Arbeitswelt zunehmend verändern und weiter verändern werden. Dabei stellt sich die Frage, inwiefern dadurch nicht nur die Arbeit selbst, sondern auch die private Lebensführung verändert wird. Damit sind die außerhalb der Sphäre der Erwerbsarbeit angesiedelten Aktivitäten und Beziehungen gemeint, die insbesondere das Eingehen und die Stabilität familialer und nichtfamilialer Beziehungen, Freizeitaktivitäten sowie soziale und politische Partizipation umfassen. Eine umfassende, aussagekräftige Empirie zu Auswirkungen der Digitalisierung auf diese Facetten privater Lebensführung steht jedoch bisher kaum zur Verfügung. Auch wenn wir im Folgenden primär, wenn auch keineswegs ausschließlich, von soziologischen Beiträgen ausgehen, scheint uns auch insgesamt zu gelten, dass der bisherige Stand der Forschung sich weitgehend auf Vermutungen, die hierzu in Experteninterviews bzw. Meinungen und Einstellungen, die in Befragungen geäußert wurden, beschränkt. Die noch spärlichen empirischen Untersuchungen konzentrieren sich auf einzelne ausgewählte Digitalisierungsprozesse. Auch sind beim derzeitigen Entwicklungsstand der Digitalisierung Aussagen schwer möglich, inwiefern sie verschiedene Beschäftigtengruppen sehr unterschiedlich betreffen.

Bevor wir diesen noch sehr lückenhaften Stand der Forschung referieren (Abschn. 4), gehen wir deshalb einen zusätzlichen Weg. Gesellschaftlicher und technischer Wandel haben nämlich in den letzten Jahrzehnten nicht nur die Erwerbsarbeit selbst (Eichhorst et al. 2013), sondern auch die Zusammenhänge zwischen Berufs- und Privatleben merklich verändert. Diese Zusammenhänge sind gut erforscht. In diese Zeit, dem Ende der 1980er-Jahre, fällt bereits die flächendeckende Einführung von Computern als Vorläufer der derzeitigen Digitalisierung der Arbeit. Ausgehend von diesen Untersuchungen lässt sich bereits dreierlei vermuten. Erstens sind einfache utopische wie dystopische Zukunftsszenarien, so plausibel sie klingen mögen, kaum einmal eingetreten. Dies gilt sowohl für Hoffnungen einer umfassenden Befreiung von Arbeitszwängen (Gortz 1973) als auch spätere Befürchtungen einer weitgehenden Bedrohung der Bindungsfähigkeit (Sennett 1998). Zweitens hat sich gezeigt, dass verschiedene Beschäftigtengruppen von Veränderungen sehr

unterschiedlich betroffen sein können. Und drittens sind sowohl die Veränderungen in der Arbeitswelt selbst als auch die Auswirkungen auf die private Lebensführung in hohem Maße von betrieblichen und überbetrieblichen Gestaltungsmaßnahmen abhängig.

Mit der Digitalisierung der Arbeitswelt, in Deutschland auch unter dem fortschrittsbetonenden Begriff von „Industrie 4.0“ verhandelt (BMBF 2015), verbinden sich wieder ebensolche Hoffnungen und Befürchtungen. Die dabei im Fokus stehenden Beschäftigungsmerkmale – vor allem flexiblere und in den Anforderungen komplexere Arbeitsformen, zeitliche Entgrenzung der Arbeit und flexiblere Arbeitszeiten jenseits der Fünftagewoche zu Normalarbeitszeiten, unsicherere Arbeitsplätze sowie vermehrte Teamarbeit und mehr Entscheidungsnotwendigkeiten – stehen auch bei der voranschreitenden Digitalisierung mit im Vordergrund der Debatte (Abschn. 3). Dies ermöglicht uns, aus bisherigen Studien, vermittelt über diese Beschäftigungsmerkmale, Rückschlüsse auf erwartbare Auswirkungen der derzeitigen Digitalisierung in verschiedenen Beschäftigtengruppen zu ziehen, die mit den noch wenigen aktuellen Untersuchungen zu Auswirkungen der Digitalisierung auf das Privatleben noch nicht möglich sind (Abschn. 2). Abschließend fassen wir zusammen, welche Argumente und Befunde es dafür gibt, dass Digitalisierung im Vergleich zur dritten industriellen Revolution die Auswirkungen des Erwerbslebens auf das Privatleben neu gestaltet oder nur bisherige Entwicklungsprozesse fortführt und verstärkt (Abschn. 4).

2 Auswirkungen von Beschäftigungsbedingungen auf das Privatleben: Stand der Forschung

Im Folgenden werden wir zunächst den Stand der Forschung hinsichtlich derjenigen Beschäftigungsmerkmale referieren, die in bisherigen Untersuchungen einen Einfluss auf das Privatleben von Beschäftigten gezeitigt haben. Hierbei gehen wir kurz auf theoretische Grundlagen wie Rollentheorie und das Job-Demands-Resources Modell ein, anschließend werden empirische Ergebnisse aus folgenden Feldern vorgestellt: Konflikte zwischen Arbeit und privater Lebensführung, Eingehen und die Stabilität von (familiären) Beziehungen, soziale Beziehungen und Netzwerke außerhalb der Familie und Freizeitaktivitäten.

2.1 Theoretische Ansätze

Für die Analyse von möglichen Auswirkungen des Berufs- auf das Privatleben hat sich in der einschlägigen Forschung vor allem ein rollentheoretischer Ansatz durchgesetzt (Greenhaus und Beutell 1985). Konflikte entstehen demnach dann, wenn Rollenanforderungen im Berufs- und Privatleben in mindestens einer Hinsicht inkompatibel sind. Dabei hat sich gezeigt, dass solche Konflikte vor allem durch bestimmte Beschäftigungsbedingungen hervorgehoben werden (Allen et al. 2000), die vor allem über Belastung oder zeitliche Inkompatibilitäten Konflikte hervorrufen

(Carlson et al. 2000). Ebenfalls im Hinblick darauf, ob Partnerschafts- und Elternbeziehungen eingegangen werden, und auch dafür, wie stabil Partnerschaften sind, spielen rollentheoretische Überlegungen eine wichtige Rolle. Dabei geht es hauptsächlich darum, ob berufliche Unsicherheit das Eingehen stabiler privater Verpflichtungen verhindert (Sennett 1998) bzw. inwiefern existierende Partnerschaften dadurch destabilisiert werden, dass private Rollenanforderungen aufgrund von beruflichen Anforderungen nicht erfüllt werden (Cooke und Gash 2010) und Belastungen die Partnerschaftsqualität beeinträchtigen (Diewald et al. 2013). Allerdings sind auch kompensatorische Zusammenhänge bekannt, wenn etwa berufliche Sozialintegration Defizite privater Sozialintegration ausgleichen soll (Diewald 2003).

In der einschlägigen Forschung wird insbesondere zwischen den mit einer bestimmten beruflichen Tätigkeit verbundenen Ressourcen und Belastungen unterschieden (Bakker und Demerouti 2007). Berufliche Ressourcen können Konflikte vermeiden helfen und das Eingehen und die Gestaltung von privaten Beziehungen erleichtern, etwa wenn Zeitsoveränität und Autonomie eine bessere Abstimmung zwischen beruflichen und privaten Anforderungen erlauben oder Geld und Status die Pflege von Beziehungen erleichtern und teurere Freizeitaktivitäten ermöglichen. Umgekehrt drohen Belastungen wie Überstunden oder psychischer Stress in das Privatleben hineingetragen zu werden bzw. dem Leben in privaten Beziehungen Zeit und Energie zu entziehen. Zusätzlich werden im Rahmen des „psychologischen Vertrags“ (Rousseau 1995) Erwartungsenttäuschungen und Verletzungen des Gerechtigkeitsempfindens als mögliche Quellen von Konflikten thematisiert, die auf das Eingehen und die Gestaltung privater Beziehungen einen zusätzlichen negativen Einfluss haben können.

Während diese Ansätze eine individuenbezogene Sicht auf den Zusammenhang zwischen Berufs- und Privatleben haben, wird vor dem Hintergrund von international und zwischenbetrieblich vergleichenden Untersuchungen deutlich, dass Konflikte und Unvereinbarkeiten auch stark durch die institutionelle Ausgestaltung von Arbeitsmarkt- und Familienpolitik durch Politik und Arbeitgeber beeinflusst werden. Maßnahmen und Praktiken halten häufig noch nicht mit veränderten Lebensentwürfen und damit auch Anforderungen an die Arbeit Schritt oder bedienen eher die Flexibilitätsbedürfnisse der Arbeitgeber als die der Arbeitnehmer (Hobson 2014). Es gibt allerdings ein hohes Maß an Gestaltbarkeit – und auch faktischer Heterogenität – in der Ausformung von Arbeitsplatzmerkmalen und ihrer Bedeutung für das Privatleben (Moen et al. 2016).

2.2 Empirische Ergebnisse

2.2.1 Wahrgenommene Konflikte zwischen Berufs- und Privatleben

Die im Hinblick auf die Wirkung von Beschäftigungsbedingungen auf das Privatleben umfangreichste und detaillierteste Forschung richtet sich auf wahrgenommene Konflikte zwischen Berufs- und Privatleben (work-family conflict). Generell hat sich dabei gezeigt, dass Ressourcen im Vergleich zu Belastungen eine vergleichsweise geringere Bedeutung haben. Berufliche Autonomie wird überwiegend als Ressource

identifiziert, die Konflikte vermeiden hilft (Voydanoff 2004; Grzywacz und Butler 2005; Schieman et al. 2009). Jedoch kann mit viel Verantwortung für andere und auch Selbstverantwortung in der Berufsausübung die Gefahr von Überlastung, Selbstausschöpfung und eines Verlusts der Grenzen zwischen Berufs- und Privatleben einhergehen (Schieman et al. 2009; Böhm und Diewald 2012). Noch uneinheitlicher sind die Auswirkungen einer flexiblen Ausgestaltung von Arbeitszeiten. Offensichtlich kommt es hier entscheidend darauf an, wessen Flexibilitätsinteressen konkret im Vordergrund stehen: die des Arbeitgebers oder die der Beschäftigten. Je nachdem sind positive oder negative Folgen dokumentiert (z. B. Schier und Jurczyk 2007; Hill et al. 2010).

Weitgehend übereinstimmend in Studien für Deutschland und für andere Länder erhöhen sich Konflikte zwischen dem Berufs- und Privatleben vor allem bei folgenden Belastungen: (1) zuvorderst psychische Belastungen durch lang anhaltenden Arbeitsdruck, hohe Arbeitsverdichtung und komplexe Abstimmungsprozesse, sowie (2) lange Arbeitszeiten, Arbeit auch an Wochenenden und Feiertagen, Wechsel- und die ständige Verfüg- und Erreichbarkeit durch moderne Informations- und Kommunikationssysteme (z. B. Böhm und Diewald 2012; Pausch et al. 2016; Gallie und Russell 2009; Schieman et al. 2009; Adkins und Premeaux 2012). Jobunsicherheit wirkt sich ebenfalls negativ aus, allerdings im Vergleich zu den anderen Belastungen in geringem Ausmaß (Beham und Drobnič 2010).

Kaum untersucht sind bisher Auswirkungen einer Verletzung des sogenannten psychologischen Vertrags, also das Enttäuschen von wechselseitigen, impliziten Erwartungen sowie die Bewertung der Fairness der Vertragsbeziehung. Eine neue Studie bestätigt für Deutschland, dass sowohl ein als unfair empfundenen Verhältnis von Geben und Nehmen in der Beschäftigungsbeziehung als auch speziell die Enttäuschung von Erwartungen hinsichtlich Autonomie und Flexibilität sowie eine angenehme Arbeitsatmosphäre Konflikte zwischen Beruf und Privatleben zusätzlich verschärfen (Reimann 2016).

Darüber hinaus hat sich auch die Organisationskultur, insbesondere in Form von Bereitschafts- und Flexibilitätserwartungen (Hobson und Fahlén 2009; für Deutschland: Drobnič und Guillén Rodríguez 2011; Pausch et al. 2016), als konfliktfördernd herausgestellt. Umgekehrt stellt die Unterstützung durch Vorgesetzte sowie durch Kolleginnen und Kollegen (z. B. Allen 2001; Goh et al. 2015; Hammer et al. 2009; für Deutschland: Reimann et al. 2017) eine wesentliche Ressource für die Vermeidung von Konflikten dar.

2.2.2 Eingehen von Partnerschaft und Elternschaft

Längsschnittliche Untersuchungen zum Eingehen von Partnerschaft und Elternschaft leiden generell darunter, dass in entsprechenden Lebenslauf- oder Panelstudien nur sehr wenige Informationen zu konkreten Beschäftigungsbedingungen enthalten sind. Diese beschränken sich im Wesentlichen auf die tatsächliche Arbeitszeit sowie die Unsicherheit von Beschäftigungsverhältnissen. Während diese Untersuchungen keinen Einfluss langer Arbeitszeiten ausweisen, kann Arbeitsplatzunsicherheit signifikant die Wahrscheinlichkeit verringern, dass Partnerschaften und eine Elternschaft eingegangen werden, Elternschaften allerdings eher bei höher qualifi-

zierten Beschäftigten und abhängig von der Paarkonstellation (Kurz 2005; Schmitt 2008, 2012; Kreyenfeld 2010). Für prekäre Beschäftigung wie Leiharbeit, Minijobs und Zeitarbeit zeigen sich ebenfalls negative Auswirkungen (Laß 2016).

2.2.3 Stabilität von Partnerschaften

Zu Auswirkungen von Beschäftigungsbedingungen auf die Stabilität von Partnerschaften liegen bisher nur rudimentäre Ergebnisse vor. Falls Leiharbeit und unsichere Beschäftigung das Trennungsrisiko erhöhen sollten, sind die Auswirkungen jedenfalls eher gering, während lange Pendelstrecken das Risiko signifikant erhöhen. Bisherigen Untersuchungen zufolge sind belastende Arbeitsbedingungen eher für die Qualität der Partnerschaft und Partnerschaftskonflikte als für das Trennungsrisiko bedeutsam (Diewald et al. 2013).

2.2.4 Freizeit

Freizeit ist die Zeit, die der Erholung von den Arbeitsanforderungen in Beruf und Haushalt dient. Sie ist notwendig, um sich von Arbeitsbelastungen erholen zu können. Diese kann passive Erholung oder auch Aktivitäten in anderen sozialen Zusammenhängen wie der sozialen Partizipation in Netzwerken und Vereinen sein. Für Erholung ebenso wie für eine gesunde Lebensführung zur Krankheitsprävention sind insbesondere soziale Aktivitäten in der Freizeit und physische Aktivität wichtig (Sonntag und Zijlstra 2006). Der Bedarf daran steigt mit hohen Arbeitsanforderungen, allerdings führen körperlich anspruchsvolle Tätigkeiten und häufige Überstunden im Gegenteil oft zu geringerer physischer Aktivität in der Freizeit (Schneider und Becker 2005).

Insgesamt sind Auswirkungen von Beschäftigungsbedingungen auf die Freizeit geringer als beim Familienleben (zusammenfassend: Sonntag und Fritz 2010). Vergleichbar zur Forschung zu wahrgenommenen Konflikten zwischen Berufs- und Privatleben hat sich auch in der Freizeitforschung gezeigt, dass eine nicht in der Verfügung der Arbeitnehmer liegende Flexibilisierung von Arbeitszeiten und Arbeitsorten zu Koordinationsproblemen von Freizeitaktivitäten insbesondere dann führt, wenn es sich um mit anderen verbrachte Zeit und regelmäßige Aktivitäten etwa im Sport und generell in Vereinen handelt (Hallberg 2003). Cornwell und Warburton (2014) stellen bezüglich Schichtarbeit hierzu fest, dass eine Spätschicht die Teilnahme an formellen Aktivitäten wie Freiwilligenarbeit oder Engagement in der Kirchengemeinde reduziert, während Nachtschichtarbeitende ihren Zeitplan um die formellen Aktivitäten herum planen können, aber dafür reduzierte informelle Aktivitäten aufweisen. Schichtarbeit während der Woche wirkt sich nicht negativ auf das Engagement am Wochenende aus.

Die meisten Akteure versuchen Arbeit und Freizeit so zu koordinieren, dass sie möglichst viel Freizeit gemeinsam mit Familie und Freunden verbringen können (Carriero et al. 2009). Speziell am Wochenende sind davon gemeinsame Familienaktivitäten betroffen (Brown et al. 2011). Am Beispiel holländischer dual-earner couples mit Kindern konnte allerdings auch eine alternative Strategie nachgewiesen werden: Hier versuchten Partner ihre Arbeitszeiten so zu koordinieren, dass sich ihre Arbeitszeiten möglichst nicht überschneiden, damit wenigstens immer ein Partner

Zeit mit den Kindern verbringen konnte (Carriero et al. 2009; van Klaveren und van den Brink 2007). Laut Lesnard (2008) ist diese Strategie weniger auf den freien Willen und die Entscheidung der Partner zurückzuführen, sondern vielmehr eine nicht intendierte Folge der von Unternehmen vorgegebenen Arbeitspläne. Lesnard (2008) findet diese Konstellation deshalb besonders häufig bei Berufsgruppen mit niedriger Qualifikation am unteren Ende der sozialen Leiter vor.

3 Digitalisierung und Beschäftigungsmerkmale: Was ändert sich für wen?

Die Digitalisierung verändert Arbeit entlang einer Reihe von Arbeitsplatz- und Tätigkeitsmerkmalen (siehe Mlekus, Ötting & Maier in diesem Band), wie sie auch vorher schon im Hinblick auf Auswirkungen auf das Privatleben thematisiert und untersucht wurden. Insofern diese mit zunehmender Digitalisierung von Arbeitsplätzen zunehmen, kann von diesen Untersuchungen auf potenzielle Auswirkungen von Digitalisierung auch für die Gegenwart und Zukunft geschlossen werden.

Im Folgenden werden zunächst Beschäftigungsmerkmale beschrieben, die durch die Einführung cyber-physikalischer Systeme (potenziell) beeinflusst werden können und auf die private Lebensführung von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern verschiedener Beschäftigtengruppen wirken.

3.1 Arbeitsaufgaben und Arbeitsbelastung

Durch die Digitalisierung von Arbeit werden repetitive Tätigkeiten weniger häufig von Menschen, sondern zunehmend von Maschinen ausgeführt, da sog. Routine-Tätigkeiten programmierbar auf diese übertragen werden können (Frey und Osborne 2013; für Deutschland Bonin et al. 2015; kritisch dazu Pfeiffer und Suphan 2015). Eine Studie des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales zeigt, dass hinsichtlich der Anforderungen (teilweise) digitalisierter Arbeit für die verbliebenen Arbeitsplätze eher Belastungssteigerungen als Arbeitserleichterungen wahrgenommen werden (BMAS 2016c). Dies ist darauf zurückzuführen, dass für Beschäftigte mit einem niedrigen Grad formaler Ausbildung und Qualifikation die Gefahr besteht, dass einfachere Aufgaben substituiert und die verbliebenen Aufgaben, etwa das Fügen und Prüfen in der automatisierten Produktion, erhebliche Konzentration und Fingerfertigkeit erfordern. Allerdings kann dies auch bei hoch qualifizierten Tätigkeiten zu einer Komplexitätssteigerung führen. Nicht-Routine-Tätigkeiten, wie es sie zum Beispiel in Berufsfeldern mittleren und vor allem hohen Qualifikationsniveaus gibt, können derzeit nicht vollkommen durch Assistenz- und Softwaresysteme übernommen, jedoch aber unterstützt werden (Wolter et al. 2015). In der Folge kann auch dort der Wegfall von Routinetätigkeiten die an sich wünschenswerte Komplexität und Vielfalt von Arbeit zu sehr verdichten.

Zahlreiche Tätigkeiten werden zudem abstrakter, da Arbeitshandlungen, -objekte und -prozesse durch Digitalisierung in abstrahierte und textuelle Information über-

setzt werden („the electronic text“; Zuboff 1988). Auch der Grad der Vernetzung mit anderen Arbeitsplätzen steigt. Zugleich sinkt der Grad der Nachvollziehbarkeit von Arbeitsprozessen für einen Großteil der Beschäftigtengruppen. In digitalisierten Arbeitswelten kann so das Paradox der Automation („ironies of automation“; Bainbridge 1983) sichtbar werden, wonach Beschäftigten das Improvisieren in ungeplanten Situationen umso schwieriger erscheint, je stärker das System, das sie für den Fall einer Störung überwachen, automatisiert ist (Hirsch-Kreinsen 2014). Daraus kann eine geringe Nachvollziehbarkeit von Arbeitsprozessen und zunehmende Entfremdung resultieren und in Form erhöhten Arbeitsdrucks oder psychischer Belastung Einfluss auf die Qualität privater Zeit haben.

3.2 Beschäftigungsunsicherheit

Bekannte Formen unsicherer Beschäftigung in Form befristeter Arbeitsverträge und prekärer Beschäftigung wie geringfügige Beschäftigung oder Leiharbeit werden derzeit ergänzt durch die Vergabe einzelner Arbeitsaufgaben über elektronische Plattformen (Leimeister und Zogaj 2013). Unter einem solchen „Crowdsourcing“ bzw. „Crowdworking“ versteht man vernetztes Arbeiten, bei dem i. d. R. Internetnutzer und -nutzerinnen bestimmte Aufgaben und Projekte für Unternehmen bearbeiten, ohne fest angestellt zu sein. Crowdworking wird derzeit vor allem von Unternehmen in der Informationswirtschaft genutzt, jedoch zeichnet sich auch ein großes Potenzial im verarbeitenden Gewerbe ab. Insofern dadurch reguläre Beschäftigung substituiert wird, nimmt unsichere Beschäftigung in Form von Solo-Selbstständigkeit zu (Albrecht und Ammermüller 2016).

Die Wahrnehmung eines steigenden Substitutionspotenzials durch Automatisierung von auch komplexen, kognitiven Tätigkeiten zeigt sich auch als subjektive Wahrnehmung in Beschäftigtenbefragungen: Daran, in den nächsten zehn Jahren aufgrund der Digitalisierung von Arbeit durch *Maschinen* ersetzt zu werden, glauben immerhin 17 % der Mittel- und 9 % der Mittelhochqualifizierten, insgesamt sind es 13 % der Beschäftigten (BMAS 2016c). In einer anderen Studie (EU Kommission 2015) gaben 26 % der befragten abhängig Beschäftigten an, dass ihre Arbeitstätigkeit in Zukunft zumindest teilweise durch „Roboter“ ausgeführt werden könnte.

3.3 Räumliche Verteilung der Arbeit

Kabellose Technologien (zum Beispiel Cloud-Speicher, mobiles Internet, Tablets und Smartphones) ermöglichen zunehmend ortsungebundenes Arbeiten vor allem im Dienstleistungsbereich. Die damit verbundenen Probleme, aber auch Möglichkeiten einer Entgrenzung von Berufs- und Privatleben werden damit zunehmen. In welche Richtung das Pendel ausschlägt, steht nicht von vorneherein fest, sondern ist entscheidend von innerbetrieblichen Gestaltungspraxen von Konzepten wie dem „Home Office“ abhängig (BMAS 2015).

3.4 Arbeitszeitumfang und -flexibilität

Es gibt keine klare Prognose, ob in digitalisierten Arbeitsumgebungen der Umfang der zu leistenden Arbeitszeit reduziert oder gesteigert ist. Jedoch wird die Lage von Arbeitszeit jenseits klar abgegrenzter Arbeitszeiten flexibilisiert und in Richtung ständiger Erreichbarkeit verschoben. Allerdings erlaubt der derzeitige Stand der Forschung noch keine Prognose, inwiefern digitalisierte Arbeitsumgebungen eher eine rein durch Rationalisierungsüberlegungen induzierte, für die Beschäftigten tendenziell „rücksichtslose“ Flexibilisierung mit sich bringen oder aber mehr selbstbestimmte Flexibilität zulassen, sodass Mitarbeiter Unternehmensanforderungen mit ihren eigenen Bedürfnissen in Einklang bringen können (für letztere Variante siehe Bauer et al. 2014). Die mit Digitalisierung einhergehenden größeren Möglichkeiten einer Permeabilität räumlicher und zeitlicher Grenzen zwischen Arbeit und privater Lebensführung in flexiblen Arbeitssettings können je nach persönlicher Lebenssituation als vor- oder nachteilig empfunden werden, unter Umständen können dabei die Bedürfnisse beider Seiten gleichermaßen zu ihrem Recht kommen (Mikfeld 2016). Zu Skepsis gibt eine Unternehmensbefragung der Wirtschaftsprüfungsgesellschaft Ernst & Young (EY & Bitkom 2016) Anlass, die hinsichtlich einer für die Beschäftigten überwiegend selbstbestimmten Flexibilisierung zeigt, dass Unternehmen weitgehend diffuse Vorstellungen über die Effekte von digitalisierter Wertschöpfung haben. „Erstaunliche Einigkeit“ bestehe jedoch darüber, dass der große Vorteil der Digitalisierung in der Möglichkeit liege, die Flexibilität der Produktion zu erhöhen und die Reaktionszeit des Unternehmens auf Kunden- oder Marktanforderungen zu senken. Insgesamt scheint deshalb eine Prognose positiver versus negativer Auswirkungen auf das Privatleben derzeit nicht möglich.

3.5 Autonomie und Kontrolle

Beschäftigte nehmen strukturellen Wandel wie die Digitalisierung von Arbeit wahr, interpretieren diesen und handeln ihrer Einschätzung und den eigenen Ressourcen entsprechend: „Es findet eine reflexive Praxis statt, in der Mitarbeiter sich die eigene Arbeitssituation quasi „aneignen“, spezifische Prioritäten entwickeln und eigene Grenzen ziehen.“ (Lohr 2013). Auch für den Umgang mit Digitalisierung wird gerade für Deutschland mit seiner breiten berufsfachlichen Qualifizierung angenommen, dass die Voraussetzungen dafür vergleichsweise günstig sind (Pfeiffer und Suphan 2015). Durch Digitalisierung beförderte Möglichkeiten flexibler Arbeitsfreiräume werden individuell als Autonomie gedeutet und zugleich unternehmerisch in Anforderungen übersetzt. Anforderungen können dabei sowohl vom Unternehmen an Beschäftigte gestellt werden, als auch Anforderungen von Beschäftigten an sich selbst bzw. die eigene Arbeitsleistung sein. Wie schon bei der Flexibilisierung der Arbeitszeit scheint es derzeit unmöglich zu entscheiden, ob sich dies primär eher als Gewinn an Gestaltungsautonomie oder als schwierige Anforderung an Selbstregulation niederschlägt. Dies wird in der Befragung des BMAS „Monitor Digitalisierung“ deutlich: 32 % der befragten Beschäftigten nehmen eine erhöhte

Arbeitsplatzautonomie wahr, aber gleichzeitig erfahren 56 % eine erhöhte Anforderung an Arbeitsleistung (BMAS 2016c). Arbeitsdruck, extrinsischen oder intrinsischen Ursprungs, erhöht als nervliche Belastung Konflikte zwischen Arbeit und privater Lebensführung. Das heißt, in Einklang mit früheren Untersuchungen scheinen auch die mit Digitalisierung verknüpften Komplexitäts-, Abstraktions-, Kommunikations- und Problemlösungsanforderungen ambivalent im Hinblick auf Auswirkungen auf das Privatleben: Unter dem Strich können die damit verbundenen Belastungen sich sowohl negativ auswirken als auch durch die gewonnenen Handlungsspielräume Vereinbarkeitschancen erhöhen.

Adaptive Mensch-Maschine-Schnittstellen bzw. CPS benötigen Zugriff auf unterschiedliche Daten zum Zustand eines Beschäftigten, um sich auf ihn einzustellen (Hörmann und Rückert 2017). Daraus resultiert eine neue Qualität von Überwachungsmöglichkeiten (Krzywdzinski et al. 2015). Neben Überwachungsinstrumenten herkömmlicher Leistungskontrolle wie visueller Monitorisierung, Messung der Leistungsgeschwindigkeit, Fehlerraten und Qualitätsmarker, stehen durch Aufmerksamkeitsüberwachungssysteme, die Messung von Bio-Daten und Standortbestimmungstechnologien (GPS, RFID) Instrumente neuer Art zur Überwachung und Kontrolle von Beschäftigten zu Verfügung. Ortman (2014) zeigt die besonderen Anforderungen, die der Einsatz dieser Technologie beinhaltet am Beispiel von Beschäftigten eines Textillagers und einer Bibliothek auf: Durch das Komprimieren und Digitalisieren von Informationen in Form von Mikro-Chips und Transpondern, die in Objekte integriert werden (z. B. bei EY und Bitkom 2016), lässt sich die Nach- und Rückverfolgbarkeit zahlreicher Schritte des Produktionsprozesses maximieren. Dies betrifft vor allem die sowieso schon eher unter Kontrolle stehenden Beschäftigten in einfacheren Berufen, ist jedoch nicht darauf beschränkt. Entgegen der in den „Umsetzungsempfehlungen für Industrie 4.0“ (Kagermann et al. 2013) vorgestellten Vision dürfte dadurch die sog. Work-Life-Balance eher erschwert als erleichtert werden.

4 Neue Aspekte digitalisierter Arbeit und vorliegende Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen digitalisierter Arbeit und Privatleben

Nachfolgend werden schlaglichtartig weitgehend neue Aspekte der Arbeitsgestaltung in digitalisierten Arbeitswelten vorgestellt. Diese beziehen sich im Kern auf neue Formen der Interaktion zwischen Mensch und Maschine, welche sich in ihrer Qualität von bisheriger unterscheidet und sowohl in das Arbeitsleben als auch die private Lebensführung reicht.

Da aussagekräftige, empirische Studien zum Zusammenhang zwischen einer Digitalisierung der Arbeit und privater Lebenswelt noch ausstehen, spiegelt sich der gegenwärtige Stand der Forschung in der Hauptsache in Experteninterviews, Unternehmensbefragungen und Expertisen in Form von allgemeinen Trendaussagen. Diese Expertisen und Unternehmensbefragungen werden abschließend von uns eingeordnet.

4.1 Algorithmen als Entscheidungsinstanz

Zukünftig werden Entscheidungen nicht mehr allein von menschlichen Entscheidungsinstanzen, zum Beispiel Führungskräften, getroffen, sondern vermehrt durch autonome technische Systeme. Beim derzeitigen Stand der Forschung ist noch ungeklärt, ob sich dadurch die Chance von Beschäftigten reduziert, Arbeitsprozesse und -entscheidungen nachvollziehen zu können, oder ob Entscheidungen technischer Systeme unter spezifischen Voraussetzungen (bspw. wenn dadurch die Leistung eines Teams verbessert wird, Gombolay und Shah 2014) begrüßt werden.

Gerade für diese Art von Entscheidungen wird es wichtig werden, sie so zu gestalten, dass sie auch als fair wahrgenommen werden (Töniges et al. 2017; Engels et al. 2018).

Wesentlich für algorithmenbasierte Entscheidungen ist die Vermeidung diskriminierender Algorithmen bezüglich bestimmter Personengruppen, wie sie zum Beispiel bei Einreisekontrollen oder Kreditvergabeentscheidungen bereits bekannt sind. Diskriminierende Effekte zeigen sich, wenn die einem System zugrunde liegenden Algorithmen auf Daten basieren, die bereits strukturelle Diskriminierung aufweisen (Dewes 2015). Algorithmen können jedoch durchaus umgekehrt Stereotypen konterkarieren und insbesondere unbewusste Diskriminierungen vermeiden helfen.

4.2 Neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion/-Kommunikation

Spezifische neue Merkmale digitalisierter Arbeit sehen wir in neuen Formen bzw. einer erhöhten Intensität der Mensch-Maschine-Interaktion und zahlreichen Varianten der Interface-Kommunikation. Die Verstärkung dieser Formen der Interface-Kommunikation mündet in eine neue Qualität mittelbarer Kommunikation. Der Einfluss solcher mittelbarer Kommunikation auf die Qualität sozialer Einbindungen, insbesondere durch sogenannte „neue Medien“, ist bisher eher für den Bereich der privaten Lebensführung untersucht worden. Dort sind die Auswirkungen gering. Entgegen kulturpessimistischer Annahmen (Kraut et al. 1998; Putnam 1995, 2000; Rice 2002) zum Einfluss sozialer Medien auf Kommunikation und die Qualität sozialer Netzwerke bleibt sowohl die Größe der Netzwerke als auch die Beziehungsqualität mit Freunden, die offline getroffen werden, und innerhalb der Familie weitgehend unverändert (Shklovski et al. 2006; Vergeer und Pelzer 2009). Die Überschneidung von online- und offline-Netzwerken ist relativ groß (Subrahmanyam et al. 2008). Soziale Medien werden vor allem dafür benutzt, soziale Kontakte aufrechtzuerhalten, wohingegen das Schließen neuer Kontakte eher die Ausnahme ist (Ellison et al. 2011; Reich et al. 2012; Subrahmanyam et al. 2008).

Allerdings scheint die digitale Anbindung an die Arbeit rund um die Uhr das Abschalten in Familie und Freizeit zu beeinträchtigen. Dazu trägt auch bei, dass Unberechenbarkeit und ein Autonomieverlust dadurch entstehen, dass im Voraus unklar ist, wann und von wem man kontaktiert und zu Reaktionen herausgefordert wird. Allerdings spielen auch hier wieder persönliche Lebensumstände und

Organisationspraktiken eine große moderierende Rolle, sodass es wohl keine uniformen Auswirkungen auf das Privatleben gibt bzw. geben wird (Derks et al. 2014; Demerouti et al. 2014).

4.3 Konkurrenz in Mensch-Maschine-Interaktion

Inwieweit dies auch für weiter entwickelte digitale Dienstleistungen mit dem Anspruch gilt, grundlegende, emotionale Bedürfnisse (wie zum Beispiel emotionale Nähe, körperliche Intimität oder Aufmerksamkeit) zunehmend befriedigen zu können, ist derzeit nicht abzusehen – und nicht auszuschließen. Im Bereich der Aufmerksamkeitsökonomie stehen menschliche Akteure und Akteurinnen zunehmend in Konkurrenz zu maschinell erstellten Inhalten.¹ Digitale Formen der Zuwendung erscheinen durch ihre konstante Verfügbarkeit im Vergleich zu den reziproken Prozessen zwischenmenschlicher Kontakte, deren Optimierung und Personalisierung zudem kaum in dem Maße möglich ist wie durch Algorithmen, quantitativ und qualitativ überlegen. Visionen einer solchen emotionalen Überlegenheit humanoider Systeme gegenüber menschlichen sozialen Fähigkeiten bietet Hollywood bereits in Filmen wie „Ex-Machina“ (2015) und „her“ (2013) an.

4.4 Vorliegende Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen digitalisierter Arbeit und Privatleben: Expertisen und Unternehmensbefragungen

Unternehmens- und Expertenbefragungen zu Stand und Perspektiven der Digitalisierung stellen keine aussagekräftigen Untersuchungen dar, doch können sie widerspiegeln, inwiefern potenzielle Auswirkungen auf das Privatleben überhaupt thematisiert werden, und ob dabei eher Hoffnungen oder Befürchtungen eine Rolle spielen. Einen umfassenden Überblick solcher Expertisen bieten Ittermann et al. (2015). Es zeigt sich, dass Auswirkungen der Digitalisierung auf die private Lebensführung quasi nie thematisiert werden. Die „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ (Kagermann et al. 2013) stellen Visionen und Handlungsempfehlungen dar, die weitgehend auf Expert/innen-Meinungen von Unternehmens- und Branchenvertreter/innen und der Autoren selbst basieren. Private Lebensführung in digitalisierten Arbeitswelten findet hier nur am Rande in den Umsetzungsempfehlungen als „Work-Life-Balance“ Erwähnung, ohne dass geklärt würde, wo und warum digitalisierte Arbeitsumgebungen eine besondere Herausforderung hierfür darstellen würden.

Expliziter wird das Thema Work-Life-Balance in der Studie „Wertewelten Arbeit 4.0“ (2016) angesprochen, die im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales veröffentlicht wurde. Dabei wurden 1200 Personen zu Vorstellungen zu

¹Zum Beispiel durch das rtr text Programm, durch welches Sportberichterstattung automatisiert wird (http://www.retresco.de/rtr_textengine. Zugegriffen am 01.04.2016).

Arbeit in gegenwärtigen, früheren und künftigen Jahrzehnten befragt. Die dabei gebildeten Wertewelten erheben den Anspruch, Ideale, Hoffnungen und Befürchtungen zum Thema Arbeiten abzubilden. Einige der vorgestellten Wertewelten enthalten Vorstellungen zu Aspekten der Synchronisation und Verwirklichungsmöglichkeiten privater Lebensziele in Arbeit (BMAS 2016d). Die Wertewelten-Perspektive verweist damit implizit auf die Abhängigkeit der Wahrnehmung von Digitalisierungsprozessen von persönlichen Lebenszielen, was eine grundlegende Perspektive der Digitalisierungsdebatte sein sollte. Insgesamt sind Befürchtungen hinsichtlich negativer Auswirkungen auf das Privatleben eher gering ausgeprägt.

5 Fazit

Insgesamt steht der möglichen Relevanz von Digitalisierungsprozessen in der Arbeitswelt für die Gestaltung des Privatlebens bisher eine äußerst magere Forschungslage gegenüber. Zudem zeigt der Überblick über die Beschäftigungsmerkmale, dass die Digitalisierung häufig wohl eher bereits längere Zeit bestehende Tendenzen – vor allem räumliche und zeitliche Flexibilisierung und Beschäftigungsunsicherheit – weiter vorantreibt als völlig neue Tendenzen generiert (BMAS 2016a). Aufgrund des noch sehr geringen Umfangs methodisch anspruchsvollerer empirischer Studien sind wir allerdings bisher weitgehend auf indirekte Schlussfolgerungen aus früheren Studien zu Beschäftigungsmerkmalen angewiesen, die sich, noch ohne den derzeitigen Stand der Digitalisierung, als einflussreich für verschiedene Aspekte der Gestaltung des Privatlebens erwiesen haben. Hierbei haben wir so weit wie möglich berücksichtigt, dass ein und dieselben Digitalisierungsprozesse für verschiedene darin involvierte Beschäftigtengruppen gänzlich unterschiedliche Konsequenzen haben können.

Auch angesichts der Heterogenität und Komplexität der unter dem Stichwort Digitalisierung subsumierten Prozesse lassen sich die bisherigen Evidenzen kaum zu einer Gesamteinschätzung zusammenfassen. Am wahrscheinlichsten scheint uns, dass zunehmende Click-/Cloud-/Crowdworking Auswirkungen auf das Privatleben haben können. Zum einen könnten die damit einhergehenden Beschäftigungsunsicherheiten das Eingehen stabiler, verpflichtungsreicher Beziehungen verzögern. Zum anderen werden damit aber auch Gestaltungsfreiräume wachsen, die eine den eigenen Bedürfnissen folgende Freizeit- und Beziehungsgestaltung erleichtern. Damit ist diese anwachsende Gruppe auch ein Beispiel für eine bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen vielen älteren und neuen, direkt auf Digitalisierung bezogene Untersuchungen: Es dürfte wohl gar keinen uniformen Effekt verschiedener Digitalisierungsprozesse auf verschiedene Beschäftigtengruppen mit unterschiedlichen beruflichen und privaten Lebensverhältnissen geben. Vielmehr dürften sich im Zusammenspiel mit diesen Lebensverhältnissen sehr unterschiedliche Konsequenzen ergeben. Diese wiederum dürften in erheblichem Umfang von der konkreten Ausgestaltung und begleitenden Regelung der Digitalisierung durch rechtliche Rahmenbedingungen, industrielle Beziehungen und organisationale Praktiken abhängig sein.

Literatur

- Adkins, C. L., & Premeaux, S. F. (2012). Spending time: The impact of hours worked on work-family conflict. *Journal of Vocational Behavior*, 80(2), 380–389.
- Albrecht, T., & Ammermüller, A. (2016). Kein Ende der Arbeit in Sicht. In BMAS (Hrsg.), *Arbeit 4.0 – Werkheft 1: Digitalisierung der Arbeitswelt* (S. 40–46). Berlin: Bonifatius GmbH.
- Allen, T. D. (2001). Family-supportive work environments: The role of organizational perceptions. *Journal of Vocational Behavior*, 58(3), 414–435.
- Allen, T. D., Herst, D. E. L., Bruck, C. S., & Sutton, M. (2000). Consequences associated with work-to-family conflict: A review and agenda for future research. *Journal of Occupational Health Psychology*, 5(2), 278–308.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19, 775–780.
- Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2007). The Job Demands-Resources model: State of the art. *Journal of Managerial Psychology*, 22(3), 309–328.
- Bauer, W., Schlund, S., & Marrenbach, D. (2014). Industrie 4.0: Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Studie. Berlin/Stuttgart. https://www.bitkom.org/Publikationen/2014/Studien/Studie-Industrie-4-0-Volkswirtschaftliches-Potenzial-fuer-Deutschland/Studie_Industrie_40.pdf. Zugegriffen am 17.11.2015.
- Beham, B., & Drobnič, S. (2010). Satisfaction with work-family balance among German office workers. *Journal of Managerial Psychology*, 25(6), 669–689.
- BMAS. (2015). Monitor Digitalisierung am Arbeitsplatz. Aktuelle Ergebnisse einer Betriebs- und Beschäftigtenbefragung. <http://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/a875-monitor-digitalisierung-am-arbeitsplatz.html>. Zugegriffen am 30.04.2016.
- BMAS. (2016a). Foresight-Studie Digitale Arbeitswelt. http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/f463-digitale-arbeitswelt.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugegriffen am 30.04.2016.
- BMAS. (2016b). Grünbuch Arbeiten 4.0. http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen-DinA4/gruenbuch-arbeiten-vier-null.pdf?__blob=publicationFile. Zugegriffen am 30.04.2016.
- BMAS. (2016c). Monitor Mobiles und entgrenztes Arbeiten: Aktuelle Ergebnisse einer Betriebs- und Beschäftigtenbefragung. http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/a873.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugegriffen am 30.04.2016.
- BMAS. (2016d). Wertewelten Arbeit 4.0. <https://www.arbeitenviernull.de/mitmachen/wertewelten/studie-wertewelten.html>. Zugegriffen am 30.04.2016.
- BMBF. (2015). *Industrie 4.0. Innovationen für die Produktion von morgen* (2. Aufl.) (April 2015). https://www.bmbf.de/pub/Industrie_4.0.pdf. Zugegriffen am 20.02.2017.
- Böhm, S., & Diewald, M. (2012). Auswirkungen belastender Arbeitsbedingungen auf die Qualität privater Lebensverhältnisse. *WSI-Mitteilungen*, 22, 103–112.
- Bonin, H., Gregory, T., & Zieran, U. (2015). Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland: Kurzepertise Nr. 57 im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzepertise_BMAS_ZEW2015.pdf. Zugegriffen am 17.11.2015.
- Brown, K., Bradley, L., Lingard, H., Townsend, K., & Ling, S. (2011). Labouring for leisure? Achieving work-life balance through compressed working weeks. *Annals of Leisure Research*, 14(1), 43–59.
- Carlson, D. S., Kacmar, K. M., & Williams, L. J. (2000). Construction and initial validation of a multidimensional measure of work-family conflict. *Journal of Vocational Behavior*, 56(2), 249–276.
- Carriero, R., Ghysels, J., & van Klaveren, C. (2009). Do parents coordinate their work schedules? A comparison of Dutch, Flemish, and Italian dual-earner households. *European Sociological Review*, 25(5), 603–617.
- Cooke, L. P., & Gash, V. (2010). Wives' part-time employment and marital stability in Great Britain, West Germany and the United States. *Sociology*, 44(6), 1091–1108.

- Cornwell, B., & Warburton, E. (2014). Work schedules and community ties. *Work and Occupations*, 41(2), 139–174.
- Demerouti, E., Derks, D., Lieke, L., & Bakker, A. B. (2014). New ways of working. Impact on working conditions, work-family balance, and well-being. In C. Korunka & P. Hoonakker (Hrsg.), *The impact of ICT on quality of working life* (S. 123–141). Dordrecht/Netherlands: Springer.
- Derks, D., ten Brummelhuis, L. L., Zecic, D., & Bakker, A. B. (2014). Switching on and off. Does smartphone use obstruct the possibility to engage in recovery activities? *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 23(1), 80–90.
- Dewes, A. (2015). Say hi to your new boss: How algorithms might soon control our lives. <https://events.ccc.de/congress/2015/Fahrplan/events/7482.html>. Zugegriffen am 18.10.2017.
- Diewald, M. (2003). Kapital oder Kompensation? Erwerbsbiographien von Männern und die sozialen Beziehungen zu Verwandten und Freunden. *Berliner Journal für Soziologie*, 2003(2), 213–238.
- Diewald, M., Böhm, S., Graf, T., & Hoherz, S. (2013). Paarbeziehungen und Erwerbsarbeit. *Gender Zeitschrift für Geschlecht, Kultur und Gesellschaft, Sonderheft*, 2, 99–119.
- Drobníć, S., & Guillén Rodríguez, A. M. (2011). Tensions between work and home: Job quality and working conditions in the institutional contexts of Germany and Spain. *Social Politics: International Studies in Gender, State and Society*, 18(2), 232–268.
- Eichhorst, W., Kendzia, M. J., Schneider, H., & Buhlmann, F. (2013). *Neue Anforderungen durch den Wandel der Arbeitswelt. Kurzexpertise für die Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“ des Deutschen Bundestages* (IZA Research Report No. 51). Bonn: IZA.
- Ellison, N. B., Steinfield, C., & Lampe, C. (2011). Connection strategies: Social capital implications of Facebook-enabled communication practices. *New Media & Society*, 13(6), 873–892.
- Engels, G., Maier, G. W., Ötting, S., Steffen, E., & Teetz, A. (2018). Gerechtigkeit in flexiblen Arbeits- und Managementprozessen. In S. Wischmann & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit: Eine praxisnahe Betrachtung* (S. 221–231). Berlin: Springer.
- Europäische Kommission. (2015). Special Eurobarometer 427. Autonomous systems. Report. http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_427_en.pdf. Zugegriffen am 29.04.2016.
- EY (Ernst & Young), & Bitkom. (2016). Industrie 4.0: das unbekannte Wesen. <http://www.bitkom-research.de/Industrie-40>. Zugegriffen am 18.10.2017.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf. Zugegriffen am 18.10.2017.
- Gallie, D., & Russell, H. (2009). Work-family conflict and working conditions in Western Europe. *Social Indicators Research*, 93(3), 445–467.
- Goh, Z., Ilies, R., & Schwind Wilson, K. (2015). Supportive supervisors improve employees' daily lives: The role supervisors play in the impact of daily workload on life satisfaction via work-family conflict. *Journal of Vocational Behavior*, 89, 65–73.
- Gombolay, M. C., & Shah, J. A. (2014). Challenges in collaborative scheduling of human-robot teams. In *Artificial intelligence for human-robot interaction: Papers from the 2014 AAAI fall symposium* (S. 73–75). Palo Alto, CA: AAAI.
- Gortz, A. (1973). *Wege ins Paradies. Thesen zur Krise, Automation und Zukunft der Arbeit*. Berlin: Rotbuch.
- Greenhaus, J. H., & Beutell, N. J. (1985). Sources of conflict between work and family roles. *The Academy of Management Review*, 10(1), 76–88.
- Grzywacz, J. G., & Butler, A. B. (2005). The impact of job characteristics on work-to-family facilitation: Testing a theory and distinguishing a construct. *Journal of Occupational Health Psychology*, 10(2), 97–109.
- Hallberg, D. (2003). Synchronous leisure, jointness and household labor supply. *Labour Economics*, 10, 185–203.
- Hammer, L. B., Kossek, E. E., Yragui, N. L., Bodner, T. E., & Hanson, G. C. (2009). Development and validation of a multidimensional measure of family supportive supervisor behaviors (FSSB). *Journal of Management*, 35(4), 837–856.

- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). *Design principles for Industrie 4.0 scenarios: A literature review* (Working Paper Nr. 01/2015).
- Hill, E. J., Erickson, J. J., Holmes, E. K., & Ferris, M. (2010). Workplace flexibility, work hours, and work-life conflict: Finding an extra day or two. *Journal of Family Psychology*, 24(3), 349–358.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Wandel von Produktionsarbeit: „Industrie 4.0“. *WSI Mitteilungen*, (06), 421–429.
- Hobson, B. M. (2014). *Worklife balance: The agency & capabilities gap*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Hobson, B., & Fahlén, S. (2009). Competing scenarios for European fathers: Applying Sen's capabilities and agency framework to work-family balance. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 624(1), 214–233.
- Hörmann, T., & Rückert, U. (2017). Vernetzte Arbeitsumgebungen: Körpernahe und tragbare Sensorik in der Arbeitswelt. In G. W. Maier, G. Engels & E. Steffen (Hrsg.), *Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten*. Heidelberg: Springer.
- Ittermann, P., Niehaus, J., & Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Arbeiten in der Industrie 4.0: Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder. <http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/de/forschung/gebiete/fp-hirschkreinsen/aktuelles/meldungsmedien/20150721-Ittermann-et-al-2015-Arbeiten-in-der-Industrie-4-0-HBS.pdf>. Zugegriffen am 29.04.2016.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. Berlin: Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft. http://www.forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_umsetzungsempfehlungen.pdf. Zugegriffen am 18.10.2017.
- Klaveren, C. van, & van den Brink, H. (2007). Intra-household work time synchronization. *Social Indicators Research*, 84(1), 39–52.
- Kraut, R., Patterson, M., Lundmark, V., Kiesler, S., Mukophadhyay, T., & Scherlis, W. (1998). Internet paradox: A social technology that reduces social involvement and psychological well-being? *American Psychologist*, 53, 1017–1031.
- Kreyenfeld, M. (2010). Uncertainties in female employment careers and the postponement of parenthood in Germany. *European Sociological Review*, 26(3), 351–366.
- Krzywdzinski, M., Jürgens, U., & Pfeiffer, S. (2015). Die vierte Revolution: Wandel der Produktionsarbeit im Digitalisierungszeitalter. *WZB Mitteilungen*, (149), 6–9. https://www.wzb.eu/sites/default/files/publikationen/wzb_mitteilungen/s6-9juergensua.pdf. Zugegriffen am 16.11.2015.
- Kurz, K. (2005). Die Familiengründung von Männern im Partnerschaftskontext. Eine Längsschnittanalyse zur Wirkung von Arbeitsmarktsicherheiten. In A. Tölke & K. Hank (Hrsg.), *Männer – Das ‚vernachlässigte‘ Geschlecht in der Familienforschung. Sonderheft 4 der Zeitschrift für Familienforschung* (S. 178–197). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Laß, I. (2016). *Waiting for the right moment? The effect of employment-related insecurity on first childbirth among couples in West Germany*. Unveröff. Manuskript, Universität Bielefeld.
- Leimeister, J. M., & Zogaj, S. (2013). *Neue Arbeitsorganisation durch Crowdsourcing. Eine Literaturstudie* (Arbeitspapier Nr. 287). Düsseldorf: Hans Böckler Stiftung.
- Lesnard, L. (2008). Off-scheduling within dual-earner couples: An unequal and negative externality for family time. *American Journal of Sociology*, 114(2), 447–490.
- Lohr, K. (2013). Subjektivierung von Arbeit. In H. Hirsch-Kreinsen & H. Minssen (Hrsg.), *Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie (LAIS)* (S. 430–437). Berlin: Edition Sigma.
- Mikfeld, B. (2016). Zur Einführung: Trends, Diskurse, Klärungsbedarfe. In BMAS (Hrsg.), *Arbeiten 4.0 – Werkheft 1: Digitalisierung der Arbeitswelt* (S. 16–21). Berlin: Bonifatius GmbH.
- Moen, P., Kelly, E. L., Fan, W., Lee, S.-R., Almeida, D., Kossek, E. E., & Buxton, O. M. (2016). Does a flexibility/support organizational initiative improve high-tech employees' well-being? Evidence from the work, family, and health network. *American Sociological Review*, 81(1), 134–164.

- Ortmann, U. (2014). Der Leistungsanspruch von RFID: Mit Popitz durch die Informationsgesellschaft. *Arbeits- und Industriosozilogische Studien (AIS)*, 7(1), 75–86. http://www.ais-studien.de/uploads/tx_nfxstarbsoznetzeitung/AIS-14-01-6Ortmannfinal.pdf. Zugegriffen am 18.10.2017.
- Pausch, S., Reimann, M., Abendroth, A., & Diewald, M. (2016). Work-life integration of dual-earner couples. Spillover, crossover, and accumulation of workplace demands and resources within partnerships. *Psychosociological Issues in Human Resource Management*, 4(1), 70–95.
- Pfeiffer, S., & Suphan, A. (2015). Der AV-Index: Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0 (Working Paper der FG Soziologie No. 01/2015). Universität Hohenheim. <http://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2015-Pfeiffer-Suphan-draft.pdf>. Zugegriffen am 16.11.2015.
- Putnam, R. D. (1995). Tuning in, tuning out: The strange disappearance of social capital in America. *Ps-Political Science & Politics*, 28(4), 664–683.
- Putnam, R. D. (2000). *Bowling alone: The collapse and revival of American community*. New York: Simon & Schuster.
- Reich, S. M., Subrahmanyam, K., & Espinoza, G. (2012). Friending, IMing, and hanging out face-to-face: Overlap in adolescents' online and offline social networks. *Developmental Psychology*, 48(2), 356–368.
- Reimann, M. (2016). The moderating role of overcommitment in the relationship between psychological contract breach and employee mental health. *Journal of Occupational Health*, 58(4–5), 425–433.
- Reimann, M., Pausch, S., & Diewald, M. (2017). Work-family conflict in Germany: Psychological contracts as part of employment relationships in work-family research. *Psychosociological Issues in Human Resource Management*, 5(2), 127–153.
- Rice, R. E. (2002). Primary issues in Internet use: Access, civic and community involvement, and social interaction and expression. In L. Lievrouw & S. Livingstone (Hrsg.), *Handbook of new media: Social shapings and consequences of ICTs* (S. 105–129). London: Sage.
- Rousseau, D. M. (1995). *Psychological contracts in organizations. Understanding written and unwritten agreements*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Schieman, S., Milkie, M. A., & Glavin, P. (2009). When work interferes with life: Work-nonwork interference and the influence of work-related demands and resources. *American Sociological Review*, 74(6), 966–988.
- Schier, M., & Jurczyk, K. (2007). „Familie als Herstellungsleistung“ in Zeiten der Entgrenzung. *Aus Politik und Zeitgeschichte*, Nr. 34. Bundeszentrale für politische Bildung, 20.08.2007.
- Schmitt, C. (2008). *The effects of labour market participation on fertility decisions: Gender differences in cross-national perspective*. Dissertation, Bielefeld.
- Schmitt, C. (2012). Labour market integration, occupational uncertainty, and fertility choices in Germany and the UK. *Demographic Research*, 26, 253–292.
- Schneider, S., & Becker, S. (2005). Prevalence of physical activity among the working population and correlation with work-related factors: Results from the First German National Health Survey. *Journal of Occupational Health*, 47, 414–423.
- Sennett, R. (1998). *Der flexible Mensch. Die Kultur des neuen Kapitalismus*. Berlin: Berlin-Verlag.
- Shklovski, I., Kiesler, S., & Kraut, R. (2006). The Internet and social interaction: A meta-analysis and critique of studies, 1995–2003. In R. Kraut, M. Brynin & S. Kiesler (Hrsg.), *Computers, phones, and the Internet: Domesticating information technology* (Oxford series in human-technology interaction, S. 251–264). New York: Oxford University Press.
- Sonnentag, S., & Fritz, C. (2010). Arbeit und Privatleben: Das Verhältnis von Arbeit und Lebensbereichen außerhalb der Arbeit aus Sicht der Arbeitspsychologie. In N. Birbaumer, D. Frey, J. Kuhl, W. Schneider & R. Schwarzer (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie* (Bd. 1: Arbeitspsychologie, S. 669–704). Göttingen: Hogrefe.
- Sonnentag, S., & Zijlstra, F. R. H. (2006). Job characteristics and off-job activities as predictors of need for recovery, well-being, and fatigue. *Journal of Applied Psychology*, 91(2), 330–350.

- Subrahmanyam, K., Reich, S. M., Waechter, N., & Espinoza, G. (2008). Online and offline social networks: Use of social networking sites by emerging adults. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 29(6), 420–433.
- Töniges, T., Ötting, S., Wrede, B., Maier, G. W., & Sagerer, G. (2017). An emerging decision authority. Adaptive cyber-physical system design for fair human machine interaction and decision processes. In H. Song, D. B. Rawat, S. Jeschke & C. Brecher (Hrsg.), *Intelligent data-centric systems. Sensor collected intelligence* (S. 419–430). Amsterdam: Elsevier.
- Vergeer, M., & Pelzer, B. (2009). Consequences of media and Internet use for offline and online network capital and well-being. A causal model approach. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 15(1), 189–210.
- Voydanoff, P. (2004). The effects of work demands and resources on work-to-family conflict and facilitation. *Journal of Marriage and Family*, 66(2), 398–412.
- Wolter, M. I., Mönnig, A., Hummel, M., Schneemann, C., Weber, E., Zika, G., . . . Neuber-Pohl, C. (2015). *Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft: Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen* (IAB-Forschungsbericht No. 08/2015). Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. <http://doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb0815.pdf>. Zugegriffen am 15.11.2015.
- Zuboff, S. (1988). *In the age of the smart machine: The future of work and power*. Oxford, UK: Heinemann.

Assistierende Technologie zur Förderung beruflichen Entwicklungspotenzials

Kai Essig, Benjamin Strengé und Thomas Schack

Inhalt

1	Einleitung	472
2	Nutzerzentrierte Gestaltung Assistierender Technologien	476
3	Erfassen und Fördern des beruflichen Entwicklungspotenzials durch Dynamisches und Adaptives Testen	480
4	Interaktive kognitive Assistenzsysteme	482
5	Aspekte und Komponenten von AT-Systemen am Beispiel von ADAMAAS	484
6	Chancen, Grenzen und Risiken von Assistierenden Technologien	493
	Literatur	496

Zusammenfassung

Die Veränderung der Arbeitswelt durch neue Entwicklungen im digital unterstützten Produktionsprozess erfordert lebenslanges Lernen und flexiblen Kompetenzerwerb seitens der Arbeitnehmer (im Folgenden wird aus Gründen der sprachlichen Vereinfachung nur die männliche Form verwendet. Es sind jedoch stets Personen männlichen und weiblichen Geschlechts gleichermaßen gemeint). Assistierende Technologien und adaptive Systeme, die sich an individuelle kognitive Voraussetzungen anpassen, können Tätigkeiten und Lernprozesse ge-

Diese Arbeit wurde unterstützt vom Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie ‚CITEC‘ (EXC 277) der Universität Bielefeld, der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. Die Forschung im Rahmen von Projekt ADAMAAS wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert.

K. Essig (✉)

Fakultät Kommunikation und Umwelt, Hochschule Rhein-Waal, Kamp-Lintfort, Deutschland

E-Mail: kai.essig@hsrw.eu

B. Strengé · T. Schack

Neurokognition und Bewegung – Biomechanik, Abteilung Sportwissenschaft, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

E-Mail: benjamin.strengé@uni-bielefeld.de; thomas.schack@uni-bielefeld.de

zielt unterstützen und berufliches Entwicklungspotenzial erschließen – insbesondere bei der Inklusion von älteren Menschen und Menschen mit Behinderungen in Gesellschaft, Bildung und Arbeitsmarkt. Dieses Kapitel führt in geeignete Gestaltungskonzepte für Assistierende Technologien ein und skizziert beispielhaft neuartige Ansätze und Techniken.

Schlüsselwörter

Assistenzsysteme · Kognitiv-adaptive Handlungsunterstützung · User Experience · Dynamisches Testen · Intelligente Datenbrille

1 Einleitung

Aufgrund des digitalen Strukturwandels hat sich die Arbeitswelt in den letzten Jahren grundlegend verändert. Dominierten bisher eher strukturierte Prozessabläufe, so wird zunehmend von den Arbeitnehmern eine erhöhte Flexibilität hinsichtlich der Arbeitstätigkeiten und -inhalte erwartet (Frauenhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO 2015, S. 105). Dies führt zu neuen Herausforderungen im Bereich der arbeitsbezogenen Flexibilität und damit an ein lebenslanges Lernen: Arbeitnehmer müssen heutzutage in der Lage sein, sich den schnell ändernden technischen Gegebenheiten in der Arbeitswelt anzupassen und in einem immer komplexer werdenden Arbeitsumfeld mit Maschinen und Menschen kommunizieren. Die Bundesministerium für Arbeit und Soziales sieht den Beginn eines erneuten grundlegenden Wandels in der Produktionsweise seit Beginn des 21. Jahrhunderts. Die Zukunft der Arbeit wird vernetzter, digitaler und flexibler sein, wobei sich durch die wachsende Vernetzung und zunehmende Kooperation von Mensch und Maschine nicht nur die Ansprüche an die Arbeit und Art des Produzierens ändern, sondern auch ganz neue Produkte und Dienstleistungen geschaffen werden. Wie dabei die zukünftige Arbeitswelt im Einzelnen aussehen wird, ist allerdings noch offen (BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2015, S. 35). Die Vorbereitung der Arbeitnehmer auf diese Veränderungen kann nicht mehr alleine durch Fortbildungsmaßnahmen geschehen. Vielmehr werden neue Wissensmanagement-Systeme benötigt, die Änderungen in den Prozessabläufen dynamisch erfassen, abbilden und auswerten können (Hartmann 2015), um in der Lage zu sein, die Arbeitnehmer gezielt zu unterstützen.

1.1 Unterstützung durch Assistierende Technologien

Technische Unterstützung ist in der Berufs- und Freizeitwelt seit langem üblich. So zeigen sogenannte Assistierende Technologien (AT) (Cook und Polgar 2015) bedarfsgerecht und nutzerspezifisch Informationen an, z. B. eine Montageanleitung. Dabei können Lernsequenzen unterschiedlichen Umfangs und unterschiedlicher Komplexität eingebettet werden, wobei die Grenzen zwischen Unterstützung und

Lernen fließend sind. Die Vision ist dabei, dass softwarebasierte AT-Systeme mittels sensorischer Erfassung des Kontextes und anhand des spezifischen Wissensstandes von Mitarbeitern den jeweiligen Unterstützungsbedarf ermitteln. Auf diese Weise könnten Unterstützung und Lernprozesse für unterschiedlichste Aufgaben und Anforderungen automatisch erfolgen, etwa Inbetriebnahme, Betrieb, Wartung, Reparatur und vorbeugende Instandhaltung von Maschinen und Anlagen. Dies führt zur Unterscheidung von konventionellen IT-basierten und *prozessorientierten* Assistenzsystemen (Tutorsysteme), wobei letztere in der Lage sind, Probleme oder Fehler bei der Tätigkeitsausführung zu erkennen. Derartige Systeme können spezifische Nutzerprofile erstellen sowie bedarfsgerecht und kontextsensitiv unterstützen (Apt et al. 2016).

Bezogen auf absehbare Entwicklungen menschlicher Arbeit tragen insbesondere zwei miteinander eng verknüpfte Aspekte dazu bei, dass zukünftig ein verstärkter Bedarf an technischer Assistenz zu erwarten ist: die avisierte Etablierung der „Industrie 4.0“ sowie der demografische Wandel. Botthof und Hartmann (2015, S. 162) konstatieren diesbezüglich, dass vor dem Hintergrund immer längerer Erwerbstätigkeit und zunehmender technologischer Dynamik zwei Aspekte der Arbeitsgestaltung von besonderer Bedeutung seien: Die Vermeidung physischer und psychischer Fehlbeanspruchungen sowie lernförderlich ausgelegte Arbeitsprozesse, die lebenslanges Lernen und eine Anpassung an neue Gegebenheiten ermöglichen.

Definierende Kernaspekte und Ziele der Industrie 4.0 als „vierte industrielle Revolution“ stellen die umfassende Kundeneinbeziehung und Individualisierung von (Massen-)Produkten dar, die unter dem Stichwort „Losgröße 1“ zusammengefasst werden können. Dies soll durch eine „Smart Factory“ realisiert werden, die aus sogenannten „Cyber-Physischen Systemen“ (CPS) besteht, d. h. aus selbststeuernden, selbstorganisierenden und/oder selbstoptimierenden, in Betriebsmittel und Werkstoffe eingebetteten Systemen, die untereinander durch das „Internet der Dinge“ vernetzt sind (VDE/VDI Gesellschaft Mess und Automatisierungstechnik 2013, S. 4), wobei der Arbeitsgestaltung in der Entwicklung des Konzepts *Industrie 4.0* von Anfang an hohe Bedeutung beigemessen wurde (Hartmann 2015, S. 9). Dabei sind als konzeptuelle Extremfälle zwei Szenarien denkbar, mit denen das zukünftige Verhältnis zwischen Mensch und Technik beschrieben werden kann (vgl. Kärcher 2015):

1. Der Mensch als „Bediener“ und Befehlsempfänger der Technik wird immer perfekter in Prozessen überwacht; er benötigt keine besonderen Kompetenzen oder Fähigkeiten. Dieses Szenario reflektiert eine *technikzentrierte Gestaltungsphilosophie*.
2. Der Mensch wird als (mit)entscheidender „Nutzer“ der Technik verstanden; er erhält für ihn individuell aufbereitete Informationen und Kompetenzen, übt abwechslungsreichere und interessantere Tätigkeiten aus. Dieses Szenario ergibt sich aus einer *menschzentrierten Gestaltungsphilosophie*.

Je nach konkreter Ausgestaltung können AT-Systeme prinzipiell die Realisierung jedes dieser beiden Szenarien befördern. Auch Kagermann et al. (2013, S. 99 f.)

haben bei ihren konsolidierten Empfehlungen bezüglich des Forschungsbedarfs im Bereich Industrie 4.0 erkannt, dass der Erforschung „innovativer multimodaler industrieller Assistenzsysteme“ besondere Bedeutung beizumessen ist, mit einer klaren Präferenz für die menschenzentrierte Gestaltung. So wird angenommen, dass in künftigen Smart Factories neue Arten kollaborativer Fabrikarbeit entstehen und durch intelligente Assistenzsysteme gestützt werden. Die Entwicklung von auf spezielle Zielgruppen adaptierbaren und personalisierten Interaktionssystemen, die „dem Einzelnen mehr Abwechslung und Freude an der Arbeit bei gleichzeitig höherer Effizienz erlauben“, soll dabei helfen, einer heterogenen Belegschaft angemessen gerecht zu werden.

Nimmt man Bezug auf die unterschiedlichen Menschenbilder, die im industriellen Produktionsprozess seit Beginn des 20. Jahrhunderts eine Rolle gespielt haben, erscheint die oben genannte Gegenüberstellung vom Mensch als Bediener (technikzentrierte Gestaltung) und menschenzentrierter Gestaltung jedoch überhöht. Im technischen Produktionsprozess wurden mit dem Taylorismus in den 1920er-Jahren des letzten Jahrhunderts (Herbst 1920) zunächst zwar produktions- und fließbandorientierte Arbeiter benötigt und gesucht, doch wurde dieses Menschenbild schnell überwunden. Die motivierenden Auswirkungen von wechselnden Tätigkeiten wurden schnell genutzt, um den Fertigungsprozess von Fließbandarbeit auf überschaubare Produktionseinheiten mit wechselnden Tätigkeiten umzustellen. Spätestens Ende der 1970er- und Anfang der 1980er-Jahre wurden dann Modelle von selbstregulierten und sich selbst entfaltenden Produktivkräften entwickelt und im Bereich von Führung und Produktion implementiert. Hier hat sich gezeigt, dass die Selbstregulationsbedürfnisse von Menschen für innovative Perspektiven und als Motivationselemente im Produktionsprozess wesentlich sind. Eingeordnet in ein solches Verständnis von Technikentwicklung und Menschenbild stellt sich die Frage, ob der Mensch Bediener oder selbstreguliertes Subjekt bleibt, weniger drastisch. Es wäre also nicht ganz zu verstehen, warum mit einer neuen technologischen Revolution erneut Fehler und Probleme wiederholt werden sollten, die wir bereits in der technischen Entwicklung des 20. Jahrhunderts durchlebt haben.¹

Dementsprechend ist es von entscheidender Bedeutung zu verstehen, wie Assistenzsysteme die arbeitsbezogene Selbstregulation von Menschen intuitiv unterstützen und wie dabei Handlungs- und Interaktionsziele von Menschen angemessen erfasst und berücksichtigt werden können. Existierende mobile Assistenzsysteme sind häufig nur „Insellösungen“, denen es aufgrund einer zumeist vergleichsweise starren Spezifikation an Flexibilität und Adaptivität mangelt (vgl. BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung 2013). Diese Systeme gehen von Anforderungen und Randbedingungen aus, die sich meist nicht individuell auf den Nutzer einstellen oder über Lebensphasen hinweg ändern können und deren Anwendungsparameter sich nur schwer auf andere Einsatzfelder übertragen lassen. Roboter, Avatare und andere technische Helfer werden in Zukunft eine immer größere Rolle dabei spielen, ältere Personen und Menschen mit körperlichen oder geistigen Ein-

¹Für einen tiefergehenden Überblick siehe Weidner et al. (2014).

schränkungen ein möglichst selbstbestimmtes Leben zu erlauben (von Stösser 2011). Dabei ist zu beachten, dass unsere Gesellschaft im Durchschnitt zwar immer älter wird, aber Menschen im hohen Alter auch ein hohes Risiko haben, gleichzeitig an mehreren chronischen Krankheiten zu leiden (WHO – World Health Organisation 2016). Andererseits werden die Menschen in Zukunft immer agiler sein und die Technikaffinität, d. h. das Grundwissen im Umgang mit technischen Systemen, wird zunehmen (Apt et al. 2016). Dabei ist es wichtig, die Alltagstauglichkeit und soziale Akzeptanz der technischen Helfer bei den Zielgruppen zu erproben. Obwohl über die letzten Jahre viele technische (Weiter-)Entwicklungen auf diesem Gebiet stattgefunden haben (Cook und Polgar 2015), sind noch viele Fragen offen: Zum einen sind die meisten Systeme stationär und decken nur einen bestimmten Anwendungsbereich ab, d. h. sie sind für neue oder alternative Einsatzszenarien oft nicht flexibel genug. Zum anderen werden solche Systeme häufig nur unzureichend mit potenziellen Nutzern evaluiert und damit nicht bedarfsgerecht entwickelt. Vielfach benötigen Menschen im mobilen Alltagsleben statt kontinuierlicher Unterstützung nur einige gezielte Hilfestellungen, um eine Handlung erfolgreich selbstbestimmt durchführen zu können. Bei der Entwicklung von AT-Systemen sollte ggf. auch der Arbeitskontext der Nutzer fokussiert werden: Die Systeme dürfen die Arbeitnehmer nicht über- oder unterfordern, fachliche und kognitive Schwächen sollen individuell erfasst und Benutzer nicht durch zu viele Eingriffe und Meldungen des Systems bevormundet oder gar zu Fehlern animiert werden. Weiterhin sollten Nutzer weder in ihrer persönlichen Autonomie und Privatsphäre eingeschränkt, noch in der Ausführung ihrer Tätigkeiten behindert werden (Martin et al. 2010). Hier zeigt sich, dass Gebrauchstauglichkeit und Datenschutz bei der Entwicklung assistierender technischer Systeme entscheidende Aspekte sind.

Die oben beschriebenen Eigenschaften führen zu vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von AT-Systemen, um Menschen zu helfen, sich den schnell ändernden technischen Gegebenheiten in der Arbeits- und Privatwelt anzupassen, Herausforderungen wie den demografischen Wandel zu bewältigen, und ein selbstbestimmtes Leben von Menschen mit körperlichen und geistigen Einschränkungen zu ermöglichen.

1.2 Definitionen zu Assistierenden Technologien

Vergleicht man die einschlägige Literatur, so fällt auf, dass es bis heute keine eindeutige, allgemeingültige Definition von Assistierenden Technologien (AT) gibt. Eine Vielzahl von Definitionen beschreibt AT als technische Hilfsmittel, die zu einer Aufrechterhaltung und/oder Verbesserung funktionaler Ressourcen eines Menschen führen und Einschränkungen ausgleichen, wobei der Fokus auf unterschiedlichen Schwerpunkten liegt. So werden bei der Definition von AT-Systemen Umgebungsveränderungen, Dienstleistungen und Prozesse berücksichtigt, die den Einsatz solcher Systeme durch Personen mit Einschränkungen und Ältere ermöglichen und diese in die Lage versetzen, an sozialen, politischen und ökonomischen Tätigkeiten teilzunehmen (U.S. Congress 1998; WHO – World Health Organization 2001).

Assistierende Technologien können Menschen helfen, die Schwierigkeiten beim Sprechen, Tippen, Schreiben, Erinnern, Zeigen, Sehen, Hören, Lernen, Wandern oder Kaffeekochen haben. Unterschiedliche Einschränkungen und Fähigkeiten erfordern dementsprechend unterschiedliche AT-Systeme (Cook und Polgar 2015).

In Kontext von digitalisierter Arbeit spricht man auch von Adaptiven Arbeitsassistentensystemen (AAS) und bezeichnet damit „Methoden, Konzepte und rechnergestützte Arbeitssysteme, die die Arbeitstätigkeiten kontextabhängig und zum Teil sogar selbstständig unterstützen“ (BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2015). Dabei handelt es sich laut BAuA um nutzerzentrierte Systeme, die über Sensorik eine oder mehrere Facetten des jeweiligen Arbeitskontextes erfassen, insbesondere Merkmale oder Zustände des Nutzers, der Arbeitsaufgabe oder -umgebung, und sich entsprechend adaptieren. AAS sind typischerweise in das Arbeitsumfeld integriert und vernetzt aufgebaut, um kontextbezogene Daten zu erhalten und Nutzer durch Informationen oder Aktoren zu unterstützen. Die Nutzergruppen von AAS sind dabei nicht auf bestimmte Branchen oder Arbeitsbereiche beschränkt. Als Ziele von AAS nennt die BAuA die Unterstützung der Sicherheit, Gesundheit, des Wohlbefindens und/oder der Leistungsfähigkeit des arbeitenden Menschen. Vor dem Hintergrund dieser mannigfaltigen Zielsetzungen werden im Folgenden grundlegende Ansätze beschrieben, wie AAS bzw. AT-Systeme in Abhängigkeit vom Einsatzkontext so gestaltet werden können, dass sie für potenzielle Anwender leicht zu verwenden und nützlich sind.

2 Nutzerzentrierte Gestaltung Assistierender Technologien

2.1 Motivation

Um AT-Systeme zielgruppengerecht gestalten zu können, ist es wichtig, Nutzer frühzeitig in den Entwicklungsprozess einzubeziehen. Vielfach werden technische Lösungen von Entwicklern gestaltet, die im Laufe des Produktdesigns und der Entwicklung durch „Tunnelblick“ die Bedürfnisse und Probleme der Zielgruppen aus den Augen verlieren. So kommt es vor, dass Systeme aus Nutzersicht unnötig komplizierte Bedienungsschritte enthalten, diese von den Entwicklern aber als vollkommen eindeutig und intuitiv empfunden werden, da sie diese selbst entwickelt und entsprechend häufig verwendet haben. Über die wiederholte Nutzung und Bewertung eines Produktes durch unerfahrene Nutzer können diese Probleme aufgedeckt werden, um zu verhindern, dass das System an den Bedürfnissen der Zielgruppen vorbei entwickelt wird. Der grundlegende Ansatz nutzerzentrierter Gestaltung ist daher, das Feedback der Testpersonen sukzessive in den Gestaltungsprozess einfließen zu lassen und neu zu evaluieren, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis vorliegt (vgl. Abschn. 2.3). Dies lohnt sich auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht: Als Faustregel gilt, dass sich jede monetäre Investition in Maßnahmen zur Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit (*Usability*) 10- bis 100-fach amortisiert. Dabei sind die Kosten 10- bzw. 100-mal geringer, wenn Bedienungsprobleme

bereits während der Gestaltungsphase eines Systems ausgeräumt werden und nicht erst, wenn das System bereits entworfen bzw. veröffentlicht ist (Gilb 1988). Im Durchschnitt enthält eine typische Benutzungsschnittstelle bis zu 40 Fehler. Werden die Hälfte dieser Fehler bereits durch früh angesetzte Zielgruppentests behoben, so ergibt sich eine Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit um 50 %. Werden Evaluationsmaßnahmen bereits von Beginn an verwendet, beträgt die Verbesserung sogar 700 % (Landauer 1995; Bias und Mayhew 2005).

2.2 Zugänglichkeit, Gebrauchstauglichkeit und User Experience

Gebrauchstauglichkeit bzw. Usability ist eine Eigenschaft von Produkten. Die Normenreihe DIN EN ISO/IEC 9241 (2012) definiert Gebrauchstauglichkeit als „Ausmaß, in dem ein System, ein Produkt oder eine Dienstleistung durch die Zielpopulation in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um festgelegte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ Anhand dieser Definition wird unmittelbar deutlich, dass die durch Assistenzsysteme unterstützte Barrierefreiheit bzw. Zugänglichkeit (*Accessibility*) eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für Gebrauchstauglichkeit darstellt. Die gegenwärtige Forschung im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion erweitert den bisherigen Blickwinkel: Über die reine Gebrauchstauglichkeit hinaus werden unter dem Schlagwort *User Experience* (UX) verstärkt auch menschliche Emotionen, Ästhetik und ähnliche Aspekte einbezogen, die zu einer positiven Einstellung gegenüber einem System führen. Unterstützt durch neue Werkzeuge, wie etwa die Fragebögen AttrakDiff (Hassenzahl et al. 2003) und VisAWI (Thielsch und Moshagen 2011), sollen im Rahmen der Entwicklung die hedonische bzw. ästhetische Qualität von Software und technischen Plattformen ermittelt und verbessert werden. Auf diese Weise wird die in der „klassischen“ Usability-Sichtweise dominierende oder gar exklusive Betrachtung von Hygienefaktoren, wie etwa effizienzmindernden Benutzbarkeitsmängeln, zugunsten relevanter Motivatoren aufgeweicht.² Dabei wird nicht nur der Moment der eigentlichen Verwendung eines Systems betrachtet, sondern es werden auch die Einstellungen und Werturteile der Nutzer vor und nach der Benutzung einbezogen. Die UX kann daher als (echte) Obermenge der Usability betrachtet werden (vgl. Sarodnick und Brau 2006). Insgesamt ergibt sich somit folgende hierarchische Beziehung zwischen den drei Begriffen: Zugänglichkeit $\subset$ Gebrauchstauglichkeit $\subset$ User Experience. Je nach Einsatzzweck und Komplexitätsgrad haben diese Eigenschaften bei der Entwicklung von AT-Systemen offensichtlich unterschiedliche Bedeutung, was sich in der Wahl der Vorgehensweise und der Methoden niederschlagen sollte.

²Nach Herzberg (1964) kann menschliche Motivation als Wechselwirkung von zwei Arten von Faktoren erklärt werden: Motivatoren, deren Vorhandensein Zufriedenheit erzeugt (z. B. Anerkennung und beruflicher Erfolg), und Hygienefaktoren, deren Abwesenheit zu Unzufriedenheit führt (z. B. Bezahlung und Sicherheit).

2.3 Vorgehensmodelle nutzerzentrierter Gestaltungsprozesse: Charakteristische Eigenschaften und Gemeinsamkeiten

Analog zum *Software Engineering* versteht man unter *Usability Engineering* die systematisch-ingenieurmäßige Erzeugung der Eigenschaft Gebrauchstauglichkeit bei der Entwicklung (sozio-)technischer Systeme. Ähnlich wie beim *Software Engineering* gibt es auch beim *Usability Engineering* verschiedene Vorgehensmodelle. Diese sehen in der Regel zunächst eine Ermittlung der Aufgaben- und Nutzercharakteristiken sowie der spezifischen Bedürfnisse späterer Nutzer vor. Daraufhin werden Designvorschläge erarbeitet und anschließend anhand der zuvor ermittelten Anforderungen evaluiert.

Eine gemeinsame Eigenschaft aller Modelle des *Usability Engineering* ist dabei ein iteratives Vorgehen. Die Gründe dafür können gut anhand des Modells aus der ISO 9241-210 (2010; vormals ISO 13407) veranschaulicht werden. So ist in der Regel nicht im Voraus bekannt, ob die erarbeiteten Gestaltungsvorschläge, etwa für das Design der GUI (*Graphical User Interface*, grafische Benutzeroberfläche), bei einer anschließenden Evaluation alle Nutzungsanforderungen erfüllt werden. Daher sind eventuell mehrere vollständige oder teilweise Wiederholungen des Prozesses notwendig, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis vorliegt. Zu beachten ist, dass bei diesem Modell explizit auch die initiale Planung des gesamten Prozesses vorgesehen ist. Ein ähnliches Modell wurde von Sarodnick und Brau (2006) entwickelt. Bei diesem werden besonders die Evaluation als zentrale Aktivität des *Usability Engineering* und die Integration von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen hervorgehoben. Projektplanung und -management sind dabei nebenläufig zu den sonstigen *Usability-Engineering*-Aktivitäten. Ein sehr detailliertes Modell ist der *Usability Engineering Lifecycle* von Mayhew (1999), dessen grafische Darstellung einem Zustandsdiagramm ähnelt. Eingeteilt in die Phasen *Requirements Analysis*, *Design/Testing/Development* und *Installation* sind hier zahlreiche Aktivitäten und deren Verknüpfungen aufgeführt. Der iterative Charakter entsteht bei diesem Modell dadurch, dass nach bestimmten festgelegten Sequenzen von Aktivitäten die Frage beantwortet werden muss, ob das jeweilige Teilziel bereits erreicht wurde. Wenn dies nicht der Fall ist, erfolgt ein Rücksprung zu früheren Aktivitäten.

Um die einzelnen Aktivitäten im Rahmen des *Usability Engineering* durchzuführen, stehen häufig zahlreiche verschiedene Methoden zur Verfügung. Anhand dieses Zusammenhangs wird deutlich, wie stark die Auswahl von Methoden mit der Gesamtplanung des *Usability Engineering* verknüpft ist. Für ein zufriedenstellendes Ergebnis sollten bei der Methodenauswahl daher auch die übergeordneten Prozesse berücksichtigt werden (vgl. Bevan 2009; Fischer et al. 2013). Für gewöhnlich müssen mehrere Methoden kombiniert eingesetzt werden, um alle geplanten Aktivitäten abzudecken. Wenn mehrere Iterationen nötig sind, können mehrfach dieselben Methoden oder Alternativen verwendet werden. Im Vergleich zum *Software Engineering* ist jedoch insgesamt zu bemerken, dass die Praxis des *Usability Engineering* häufig weniger systematisch verläuft und nicht selten aus einem eher opportunistischen Einsatz einzelner Methoden besteht (vgl. Nebe 2009). Sofern dabei geeignete Methoden verwendet werden, kann sich aber auch dies durchaus

positiv auf das Resultat auswirken. Oder wie Nielsen (1994) es formulierte, „*anything is better than nothing*“. Ein hilfreicher Überblick über diverse Methoden findet sich online unter www.usabilitybok.org (UXPA 2012) sowie in ISO TR 16982 (2002).

2.4 Ethische, rechtliche, sicherheitsrelevante und soziale Fragestellungen (ELSI-Aspekte)

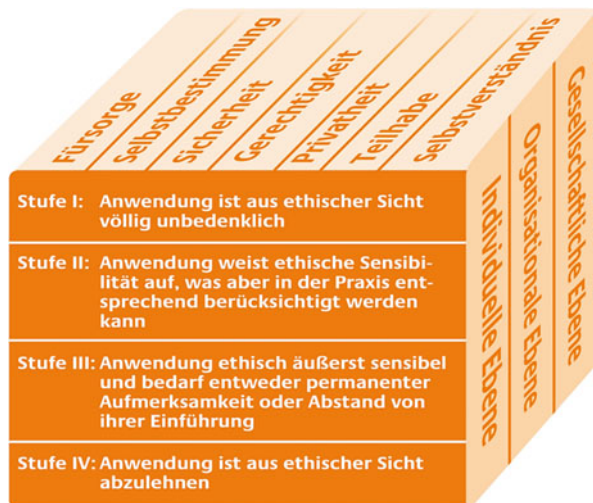
AT-Systeme können besonders älteren Personen und Personen mit Behinderungen bei der Ausführung alltäglicher oder beruflicher Aufgaben wertvolle Unterstützung bieten. Bei der Aufnahme und Speicherung von nutzerspezifischen Daten spielen ethische Aspekte und Fragen der Datensicherheit und des Datenschutzes eine zentrale Rolle. Diese werden häufig unter dem Stichwort ELSI – *Ethical, Legal and Social Implications* – subsumiert. Dies trifft im Besonderen zu, wenn Daten aus dem Arbeitsumfeld oder über (mögliche) Krankheiten bestimmter Menschen erfasst werden.

Der Begriff Ethik kann definiert werden als „the constructed norms of internal consistency regarding what is right and what is wrong“ (Martin et al. 2010, S. 65). Übertragen auf berufliche Tätigkeiten bedeutet dies „code values and norms that actually guide practical decision when they are made by professionals“ (Airaksinen 2003, S. 2).

Nach Kitchener (2000) gibt es fünf ethische Prinzipien bezüglich der Verbreitung und Nutzung von AT-Systemen: Gutartigkeit (*beneficence*), Schadlosigkeit (*non-maleficence*), Gerechtigkeit (*justice*), Autonomie (*autonomy*) und Ehrlichkeit (*fidelity*). Dies gilt in besonderem Maße in Bezug auf überdurchschnittlich verletzbare Bevölkerungsgruppen wie Menschen mit Demenz oder intellektuellen Einschränkungen. Ein Hilfsmittel zur Bewertung ethischer Auswirkungen von Anwendungen der Mensch-Technik-Interaktion ist das von Manzeschke et al. (2013) vorgeschlagene „Modell zur ethischen Evaluation sozio-technischer Arrangements“ (MEE-STAR; s. Abb. 1). Dieses gibt ein strukturiertes Rahmenwerk vor, um ethisch problematische Effekte bei der Entwicklung von AT-Systemen zu identifizieren. Das Modell besteht aus drei Achsen: Auf der x-Achse befinden sich sieben zentrale ethische Dimensionen (Fürsorge, Selbstbestimmung, Sicherheit, Gerechtigkeit, Privatheit, Teilhabe und Selbstverständnis), denen auf der y-Achse vier Stufen der ethischen Sensibilität zugewiesen werden (von völlig unbedenklich bis zur unbedingten Ablehnung). Ergänzt wird das Modell auf der z-Achse um drei Verantwortungsausprägungen bzw. -ebenen, die individuelle, organisatorische und gesellschaftliche Ebene. Denn nicht nur der Einzelne, sondern auch korporative Akteure (bspw. Unternehmen) und die Gesellschaft müssen ihre Handlungen verantworten.

Darüber hinaus wurden in den letzten Jahren auch Ideen zur Erweiterung der bisher fokussierten ELSI-Aspekte um Fragen eines angemessenen Bezuges zur aktuellen Situation von Mensch und Natur adressiert. Dabei geht es neben der Nachhaltigkeit von Technologieentwicklung im Sinne von Umweltverträglichkeit der verwendeten Materialien auch um die Frage, inwieweit AT einen strategisch

Abb. 1 Darstellung des MEESTAR-Modells aus Manzeschke et al. (2013)



angemessenen Umgang und ein Leben mit der Natur anregen können. Weiterhin werden in die Evaluation von AT verstärkt sozialwissenschaftliche qualitative Methoden, wie teilnehmende Beobachtung und qualitatives Experiment, einbezogen.

Nachdem in diesem Kapitel die nutzerzentrierte Gestaltung von AT-Systemen diskutiert wurde, wird im Folgenden beschrieben, auf welche Art und Weise Assistierende Technologien das berufliche Entwicklungspotenzial erfassen können, um darauf aufbauend konkrete Hilfestellungen ableiten zu können.

3 Erfassen und Fördern des beruflichen Entwicklungspotenzials durch Dynamisches und Adaptives Testen

Berufliche Tätigkeit und Ausbildung ist mit explizit angezielten, aber auch mit impliziten Lernprozessen verbunden, die auf verschiedenen Ebenen ablaufen und damit beispielsweise motorische, aufmerksamkeitsbezogene oder geistige Arbeitsleistungen verbessern. Dabei unterscheiden sich nicht nur die Voraussetzungen für solche Lern- und Entwicklungsprozesse zwischen einzelnen Personen, sondern auch deren Verlauf und Ergebnis. Die Frage ist hier, wie im Rahmen digital unterstützter Arbeitsprozesse Ressourcen für individualisierte Lern- und Entwicklungsprozesse nicht nur für gesunde Personen, sondern auch für Personen mit Behinderung oder ältere Arbeitnehmer erschlossen werden können. Eine wesentliche Möglichkeit, das Entwicklungs- und Lernpotenzial zu studieren, liegt darin diese Personen zu unterstützen und zu trainieren. In solchen Phasen der Interaktion zeigt sich am deutlichsten, inwieweit bestimmte Personen in der Lage sind, Anleitungen von Experten (z. B. Kolleginnen oder Ausbildern) aufzugreifen und über welches spezifische

Lern- und Entwicklungspotenzial sie verfügen (Guthke und Wiedl 1996; Haywood und Lidz 2007; Schack und Guthke 2001; Schack 2012; Sternberg und Grigorenko 2002). Obwohl für die Beurteilung von Leistungsfähigkeit auch ein solches Maß für das Veränderungspotenzial oder die Plastizität wichtig ist, wurde die Frage nach der Diagnostizierbarkeit des Lern- und Handlungspotenzials in Arbeits-, Trainings-, Schul-, Rehabilitations- und vor allem arbeitsbezogenen Settings bisher kaum systematisch gestellt. Gegenstand diagnostischer Praxis ist es vielmehr, verschiedene Aspekte und Komponenten von Leistungsfähigkeit und Befähigung vorrangig aus vereinzelt Messungen des gegenwärtigen Leistungsniveaus abzuschätzen. Wie heute bekannt ist, setzen beispielsweise zuverlässige Aussagen über den Blutdruck eines Menschen die mehrmalige Messung (möglichst unter verschiedenen Belastungsbedingungen) im Sinne eines ambulanten Monitoring voraus. Analog stellt sich die Frage, ob eine einmalige Testung genügen kann, um valide Aussagen über solch komplexe psychische Sachverhalte wie beispielsweise Intelligenz, Handlungsfähigkeit oder Kompetenzerwartung zu treffen. Dabei wird oft vernachlässigt, dass eine solche Diagnostik weniger etwas über die potenziellen und damit künftigen Möglichkeiten der Personen aussagt, sondern eher den gegenwärtigen Entwicklungsstand markiert (siehe allerdings auch Goertz et al. 2014).

In der Psychodiagnostik werden seit einigen Jahren Alternativen und Ergänzungen zur herkömmlichen Statusmessung gesucht. Solche Ansätze wurden zunächst weitgehend unabhängig voneinander in verschiedenen Ländern entwickelt und sind unter Namen wie beispielsweise „Testing the Limits“ oder „Dynamic Assessment“ bekannt geworden. Diese Testprozeduren werden seit kurzem in Europa (Guthke und Wiedl 1996; Schack und Guthke 2003; Schack 2012) und in den USA (Grigorenko und Sternberg 1998; Haywood und Lidz 2007; Sternberg und Grigorenko 2002) unter dem Begriff „Dynamisches Testen“ subsumiert. In einem Übersichtsartikel von Grigorenko und Sternberg (1998) heißt es dazu einleitend: *„Often, one wishes to know the extent to which developed abilities reflect latent capacity and the extent to which they do not – in other words, the difference between latent capacity and developed abilities. Dynamic testing has been proposed as a way of uncovering this information. If it is successful, then it is also revolutionary“*. Dynamisches Testen bezieht sich deshalb, ergänzend zur herkömmlichen Psychodiagnostik, zunächst auf die Erfassung eines Merkmals zu mehreren Messzeitpunkten. Dabei geht es aber nicht nur im Sinne einer Statusdiagnostik darum, einen psychischen Ist-Zustand zu markieren. Vielmehr versucht Dynamisches Testen im Rahmen einer Prozessdiagnostik Aussagen über die Veränderbarkeit eines Merkmals bzw. das Lernpotenzial der Testanden zu treffen. Es ist also neben der aktuell gegebenen Ausprägung eines Merkmals insbesondere die noch nicht unmittelbar sichtbare, aber potenziell vorhandene Ausprägung eines Merkmals interessant. Obgleich im Kontext von Intelligenz- und Eignungsdiagnostik entwickelt, erweist sich Dynamisches Testen inzwischen als experimentelle Diagnosestrategie, die generell auf Fragestellungen im Bereich der Leistungs-, als auch der Persönlichkeitsdiagnostik anwendbar ist. Theoretische Begründungen für das Dynamische Testen und methodische Unterschiede zwischen den einzelnen Ansätzen des „dynamic“ bzw. „interactive assessment“ finden sich bei Grigorenko und Sternberg (1998) sowie Guthke und Wiedl (1996).

Gemeinsam aber ist allen Ansätzen die Forderung nach Einbau von Feedbacks und Lernanregungen in den Testprozess, um einen Lernprozess beim Testanden zu provozieren (Schack 2012). Lernhilfen und Feedbacks stellen daher im Dynamischen Testen keine Störgröße, sondern ein wesentliches Element der Testprozedur dar. Damit weicht die dynamische Testsituation von der konventionellen Testsituation ab. Man könnte auch sagen: während der herkömmliche Statustest eher eine Prüfung simuliert, verbindet Dynamisches Testen die Prüfung mit einer Unterrichts- oder Ausbildungssituation. Diese Vorgehensweise ist mit der Erwartung verbunden, dass man das tatsächliche Potenzial der Testanden akkurat diagnostizieren und dadurch die Ausbildungs- bzw. Trainingssituation adaptiv und individualisiert in deren Sinne gestalten kann. Die individualisierte Förderung beruflichen Entwicklungspotenzials setzt also eine potenzialorientierte Perspektive und eine angemessene dynamische und differenzielle Diagnostik voraus. Darüber hinaus wird es wichtig, technische Systeme zu entwickeln, die sich in die Handlung „hineinbegeben“ statt aufgrund eines stationären, immobilen Charakters spezifische Handlungen zu generieren. So bleibt eine PC-basierte Unterstützung beispielsweise eines Auszubildenden mit Behinderung zumeist an diesen Computer gebunden und von daher in gewissen Grenzen auch stationär. Besser wären also Systeme, die nicht nur die Diagnostik und Förderung von Personen innerhalb einer Zone der nächsten Entwicklung adressieren, sondern darüber hinaus „mithandeln“, also den Aufbau neuer Fähigkeiten auch dynamisch unterstützen. Dies erfordert gewisse kognitive Fähigkeiten, um natürlich mit dem Menschen interagieren und sich an wechselnde Situationen anpassen zu können.

4 Interaktive kognitive Assistenzsysteme

Die Prognosen für Deutschland sagen voraus, dass im Jahr 2060 bereits jeder Dritte 65 Jahre oder älter sein wird und fast doppelt so viele 70-Jährige leben, als Kinder geboren werden. Die Zahl der mindestens 80-Jährigen wird bis 2050 voraussichtlich kontinuierlich auf fast 10 Millionen steigen, wobei auch die Bevölkerung im Erwerbsalter massiver Alterung unterliegt (Statistisches Bundesamt 2015). Dies führt im privaten und beruflichen Umfeld zu großen Herausforderungen. Zum einen wollen die Menschen länger am allgemeinen Leben partizipieren, zum anderen suchen Unternehmen Menschen, die langfristig verfügbar sind und tätigkeitsspezifische Anforderungen erfüllen können. Hierbei können AT-Systeme helfen, sowohl die beruflichen Anforderungen zu erfüllen, als auch die Teilhabe (Inklusion) an anderen Lebensbereichen zu ermöglichen. Um präventiv und reaktiv unterstützen zu können, müssen Systeme sich individuell an Nutzer anpassen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen technischen Systemen, die menschliche Arbeit substituieren, wie bspw. bestimmte Industrieroboter, und solchen, die den Menschen bei seinen Tätigkeiten unterstützen, ohne ihn zu ersetzen, z. B. Hilfswerkzeuge wie Akkuschauber, Exoskelette, Telemanipulatoren oder Hebehilfen (d. h. der Mensch behält die Hoheit über den Entscheidungsprozess; vgl. Weidner et al. 2013, 2014). Im Rahmen der Produktion werden beide Arten von Systemen eingesetzt. Bei

Vorgängen, die voll automatisiert werden, handelt es sich vorzugsweise um kraftintensive, gefährliche oder stark repetitive Tätigkeiten. Bei kooperierenden Ansätzen wird der Arbeitsraum zwischen Mensch und Maschine sinnvollerweise räumlich und zeitlich getrennt, um ein gemeinsames Arbeiten zu ermöglichen. Die ersten Ansätze für eine räumliche und zeitliche Kooperation werden zur Zeit erforscht (Thomas et al. 2012). Neuere Entwicklungen sind die sogenannten *Human Hybrid Robot* (HHR)-Systeme (Weidner et al. 2013), die durch eine serielle oder parallele und intelligente Kopplung von Menschen mit technischen Systemen, Werkzeugen und Funktionalitäten charakterisiert sind. Dabei zeigt sich im industriellen wie auch im privaten Bereich eine immer engere Verknüpfung von Mensch und Maschine. Zu den Systemen, die Menschen im privaten Bereich unterstützen können, zählen Treppenlifte, Elektrofahrräder, Spurhalteassistenten im Automobil, Rollatoren und Elektrozahnbürsten. Als Substitutionslösungen können insbesondere autonome Maschinen wie Staubsaugroboter, selbstfüllende Kühlschränke oder autonome Kraftfahrzeuge angesehen werden (Weidner et al. 2013).

Die Einführung von Assistenzsystemen erfolgte bisher oft technologiegetrieben anhand von Bedarfsanalysen. Nutzer wurden hierbei zwar teilweise in den Entwicklungsprozess einbezogen, doch die Entscheidung über die Technik wurde bereits im Vorhinein getroffen. Das führte dazu, dass Technik eingeführt wurde, die zwar nach technischen und ökonomischen Kriterien einen Vorteil bieten konnte, sich aber nicht in diesem Maße rentierte, da sie durch Anwender nicht hinreichend akzeptiert und benutzt wurde (Weidner et al. 2013). Um das Potenzial neuer Technologien besser nutzen zu können, müssen die Bedürfnisse der Zielgruppen konsequent berücksichtigt werden (vgl. Abschn. 2). Die Zukunft liegt dabei in Systemen, die sich mittels frei kombinierbarer und austauschbarer Soft- und Hardwarekomponenten in unterschiedlichen Kontexten nutzen und sich in Stärke und Umfang des Unterstützungsgrades an den Nutzer anpassen lassen, bspw. an den Alterungsgrad oder zirkadiane Leistungsschwankungen (Weidner et al. 2014). Derartige Systeme setzen kognitive Komponenten voraus, die es ihnen ermöglichen, sich bedarfs- und kontextgerecht an den Nutzer anzupassen. Hierfür können automatisierte Diagnostikverfahren, Blickbewegungsmessung, Messung von Handlungsstrukturen im Langzeitgedächtnis, Sensorik, Objekt- und Handlungserkennung sowie maschinelle Lernverfahren verwendet werden. Die prinzipielle Möglichkeit, tragbare und dynamisch mithandelnde Systeme für eine kognitive Assistenz anzubieten, besteht nun seit ziemlich genau einer Dekade (Satyanarayanan et al. 2009). Aus den folgenden drei Gründen gibt es aber bisher kaum nennenswerte Fortschritte auf diesem Gebiet: 1.) Die notwendigen zugrunde liegenden Techniken (wie Computer Vision, sensorbasierte Aktivitätserkennung, Spracherkennung) erreichen erst jetzt die notwendige Effizienz und Genauigkeit; 2.) die Leistungsfähigkeit mobiler Geräte war bisher für komplexe Berechnungen nicht ausreichend; 3.) geeignete tragbare Hardware war nicht vorhanden. Die sich aktuell vollziehende Konvergenz dieser drei Faktoren ermöglicht weitreichende Forschungen und Entwicklungen zu interaktiven kognitiven Assistenzsystemen. Dabei sind die Anwendungsbereiche für solche Systeme scheinbar grenzenlos: Mehr als 20 Millionen Amerikaner sind von einer Verschlechterung der kognitiven Leistungsfähigkeit betroffen, was signifikante Auswirkungen

darauf hat, wie sie als Individuen an Arbeit und der Gesellschaft teilhaben können. Kognitive Einschränkungen können sich dabei in vielfältiger Form manifestieren, wie z. B. dem Verlust der Fähigkeit, Menschen, Lokalitäten und Objekte zu erkennen, Einschränkungen im Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis sowie Änderungen im Aussehen und Verhalten (Ha et al. 2014).

Die Europäische Union hat das Ziel, eine inklusive, reflexive und innovative Gesellschaft zu schaffen. Hierzu können AT-Systeme, wenn sie richtig entwickelt und eingesetzt werden, einen wichtigen Beitrag leisten (Nierling et al. 2016). Zu diesem Zweck hat der Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie (CITEC) der Universität Bielefeld in den letzten Jahren eine fruchtbare Zusammenarbeit mit den v. Bodelschwinghschen Stiftungen Bethel, der größten diakonischen Organisation Europas, etabliert, um die besonderen Bedürfnisse bei der gesellschaftlichen, Bildungs- und Arbeitsintegration von Menschen mit Behinderungen genauer zu erfassen. Der sogenannte *Bethel-CITEC Approach* orientiert sich dabei an folgenden Richtlinien: AT-Systeme haben das Ziel, eine Zone der nächsten Entwicklung“ zu öffnen, indem sie vorhandene individuelle (motorische, kognitive, soziale, kommunikative) Kompetenzen aufgreifen und weiterentwickeln. Nutzer- und kontextspezifische AT-Systeme unterstützen ein individuelles und adaptives Lernen. AT-Systeme müssen in das tägliche Leben integrierbar sein, soziale Teilhabe und Interaktion fördern und sozial akzeptiert werden. Ziel ist, dass Menschen möglichst lange selbstständig, selbstbestimmt und aktiv bleiben. In diesem Kontext werden auch Fragen von Inklusion, Identität und Ethik diskutiert. Ein Beispiel für ein im Rahmen dieser Kooperation entwickeltes mobiles interaktives kognitives Assistenzsystem ist ADAMAAS, das im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

5 Aspekte und Komponenten von AT-Systemen am Beispiel von ADAMAAS

Bei der Gestaltung von mobilen und kognitiven AT-Systemen müssen zahlreiche Komponenten zielgerichtet entwickelt und integriert werden. Im Folgenden wird anhand des ADAMAAS-Systems (*Adaptive and Mobile Action Assistance*; Essig et al. 2016) veranschaulicht, welche (sozio-)technischen Aspekte hierbei zu berücksichtigen sind und wie dadurch berufliche Entwicklungspotenziale gefördert werden können.

Es gibt im Alltag viele Situationen, in denen wir Unterstützung benötigen, um einen Vorgang erfolgreich abschließen zu können. Beispielsweise, wenn wir uns beim Kuchen backen nicht an das genaue Rezept erinnern, eine Mahlzeit mit einer modernen Küchenplatte zubereiten oder ein Fahrrad reparieren möchten. In solchen Fällen wäre es hilfreich, entsprechende Hinweise von einem mobilen adaptiven technischen System zu erhalten, ohne unsere Handlungsmöglichkeiten einzuschränken. Das Projekt ADAMAAS beschäftigt sich mit der Entwicklung und Evaluation einer intelligenten und mit-handelnden Brille (Smartglasses) für eben diese Zwecke. Dabei werden Techniken aus den Bereichen Blickbewegungsmessung (*Eye-tracking*), Objekt- und Handlungserkennung (*Computer Vision*) und Erweiterter

Abb. 2 Illustration einer Handlungsunterstützung durch ADAMAAS



Realität (*Augmented Reality*) mit Techniken aus der Gedächtnisforschung und der Erfassung von Vitalparametern (z. B. Pulsveränderungen) kombiniert. In der *Augmented Reality* (AR) werden Objekte der realen Welt mit virtuellen Informationen angereichert (siehe Abb. 2 und 7). Konkret werden Zusatzinformationen auf einer transparenten virtuellen Ebene in das Sichtfeld des Nutzers eingeblendet und bei Kopf- und Körperbewegungen kontinuierlich angepasst (vgl. Wiesend 2016). Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten des ADAMAAS-Systems genauer beschrieben.

5.1 Hardware und Systemplattform

Die Hardware für das ADAMAAS-System besteht aus einer AR-Eyetracking-Kombination von Sensomotoric Instruments (SMI). Diese integriert die Datenbrille Epson Moverio BT-200³ mit der mobilen binokularen Eyetracking-Plattform von SMI.⁴ Das System erlaubt nicht nur die Aufzeichnung von Augenbewegungen in der realen Welt, sondern auch auf der transparenten virtuellen Ebene im Gesichtsfeld des Benutzers, auf dem kontext- und nutzerspezifische Hilfshinweise dargestellt werden (Abb. 2). Ein entsprechendes Software Development Kit (SDK) erlaubt es, den Inhalt im AR-Display mit den in Echtzeit erfassten Blickbewegungen zu synchronisieren und bei Bedarf dynamisch zu aktualisieren. Da der Umgang mit bzw. die Aufnahme und Speicherung von sensiblen Daten im Kontext technischer Assistenzsysteme ein besonderes Problem darstellt, ist diesem Punkt (Datenschutz und Datensicherung) besondere Aufmerksamkeit zu widmen (siehe Abschn. 2.4). Die von ADAMAAS aufgezeichneten Daten werden über gesicherte Datenverbindungen auf ein Host-System übertragen, das sich je nach Einsatzzweck an der Arbeitsstätte oder

³<http://www.epson.com/MoverioBT200>.

⁴<http://www.smivision.com>.

in der eigenen Wohnung befindet. Damit ist gewährleistet, dass keine unberechtigte Person Zugriff auf die sensiblen Daten erhält, sodass diese nicht an anderer Stelle protokolliert und vermarktet werden können.

5.1.1 Technische Details zum ADAMAAS-System

Das System verfügt über eine Abtastrate von 30 Hz bei einer Genauigkeit von $0,6^\circ$ auf dem AR-Display und $0,5^\circ$ in der realen Welt. Das Gewicht beträgt ca. 110 Gramm. Das System benutzt eine 1- bis 5-Punkt-Kalibrierung auf der virtuellen Ebene. Die Epson Moverio BT-200 erzeugt eine „Projektionsgröße von 40“ in 2,5 m Entfernung. Die ADAMAAS-Brille und der Epson Moverio Controller sind über USB mit einem Microsoft Surface Pro 4 Windows-Computer verbunden. Der Eyetracking-Server und die ADAMAAS Remote Control Komponente wurden auf dem Surface-Computer installiert. Der Anwendungsserver wird auf dem Epson Controller unter Android ausgeführt. Die Komponenten kommunizieren über die Android Debug Bridge (ADB). Das Szenenbild und die Blickdaten werden von der ADAMAAS-Brille zum Surface-Computer gesendet. Dort findet die Analyse der Blickbewegungsdaten und Computer Vision statt. Anschließend werden die entsprechenden Anpassungen am AR-Inhalt zum Epson Controller gesendet.

5.2 Software

5.2.1 Auswertung von Blickbewegungsmessungen

Das ADAMAAS-System erlaubt den Zugriff auf das Szenenvideo und die Blickbewegungsdaten in Echtzeit. Da die Augen als Indikatoren für Gedächtnisleistungen angesehen werden können („*eyes are a window to the mind*“; Holmqvist et al. 2011), kann die Fixationsdauer als Maß für den Aufwand der Informationsverarbeitung verwendet werden. Je länger die visuelle Aufmerksamkeit auf einen Objektbereich gelenkt wird, desto mehr Zeit wird benötigt, um die angezeigten Informationen zu verarbeiten („*Eye-Mind-Hypothese*“; Just und Carpenter 1987). Weiterhin reflektieren die Anzahl an Fixationen und deren Verteilung den Aufwand an kognitiver Verarbeitung, der für das Verständnis der jeweiligen Szenenregion nötig ist. Lange Fixationen und kurze Sakkaden deuten auf eine feine und tiefe Verarbeitung einer bestimmten Bildregion hin, z. B. wenn das Verständnis der jeweiligen visuellen Informationen recht schwierig ist. Im Gegensatz dazu deuten lange Sakkaden und kurze Fixationen auf ein schnelles und grobes Scannen einer bestimmten Bildregion hin, z. B. wenn der Informationsgehalt einfach zu verarbeiten oder weniger wichtig für die aktuelle Aufgabe ist. Dabei ist zu beachten, dass kognitive Defizite, Aufmerksamkeitsstörungen oder unkontrolliertes Verhalten zu Missinterpretationen der aufgenommenen Blickbewegungen führen können (Reinert 1993).

Studien haben gezeigt, dass bei Menschen, wenn sie eine Handlung ausführen, der Blick auf das Ziel der eigentlichen Handlungsausführung vorausseilt, beispielsweise beim Greifen von Objekten oder beim Bewegen von Gegenständen (Auge-Hand-Koordination; Johansson et al. 2001). Dies gilt auch beim Beobachten der Handlungen von anderen Personen, besonders bei strukturierten zielgerichteten

Handlungen (Flanagan und Johansson 2003). Informationen aus Eigenbewegungen und die dadurch mögliche Vorhersage von sensorischen Auswirkungen werden benutzt, um Sequenzen von Sakkaden zu lenken. Dies gilt auch für die Anpassung von Sakkadenamplituden als Antwort auf Zielfehler (Collins 2014). Auf diese Weise lässt sich aus den Augenbewegungen vorhersagen, welche Objekte ein Nutzer analysieren oder greifen wird, bzw. welche Handlungen er ausführen wird. Auf Basis dieser Informationen kann ein AT-System vorausschauend unterstützen oder korrigieren.

5.2.2 Objekt- und Handlungserkennung

Um die aktuelle Handlungsumgebung zu erkennen und angemessenes Feedback bereit zu stellen, muss das ADAMAAS-System in der Lage sein, aus den von der Szenenkamera gelieferten Daten robust die Szenenobjekte und Nutzerhandlungen zu erkennen. Obwohl Szenensegmentierung sowie Objekterkennung und -verfolgung in Echtzeit in dynamisch wechselnden Umgebungen wichtig für die Mensch-Maschine-Interaktion sind, existieren nur wenige echtzeitfähige und robuste Ansätze, die danach unterschieden werden, auf wie viel Weltwissen, d. h. allgemeines Wissen, Kenntnisse und Erfahrungen über Umwelt und Gesellschaft, sie zurückgreifen (Kuzmič und Ude 2010; Ückermann et al. 2013).

Im ADAMAAS-System wird eine Tiefenkamera vom Typ Intel RealSense SR300⁵ (Structured Light Sensor) verwendet, die eine 3D-Punktwolke der betrachteten Szene liefert. Auf Basis dieser Daten erfolgt eine Erkennung der Hand des Benutzers sowie deren Interaktionen mit interessanten Regionen und Objekten (z. B. Holzplatten oder Tassen). Auf den Kameradaten wird zunächst eine Background Subtraction durchgeführt (Zivkovic und van der Heijden 2006), sowie eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der erwarteten Tiefenwerte im Kamerabild modelliert, die zur pixelweisen Klassifikation von Hintergrund (z. B. Werk Tisch) und Vordergrund (z. B. Hand oder Arm) genutzt wird. Nach dem Entfernen des Rauschens werden in dem nun vorliegenden gefilterten Binärbild Regionen detektiert (Connected Components Verfahren; Suzuki und Keiichi 1985). Um falsch detektierte Regionen auszuschließen, sodass nur die Hand (bzw. der Arm) übrig bleibt, wird angenommen, dass die Hand von oben ins Bild hineinragt und nach unten zum Objekt zeigt. Als letztes wird die Fingerspitze der Hand gefunden. Erst wird die Zeigerichtung mittels PCA (Principle Component Analysis; Dunteman 1989) im Hand-Bild berechnet und derjenige 3D-Punkt gewählt, welcher dem Objekt am nächsten ist (rotationsinvariantes Verfahren). Für die Handlungserkennung werden in der zuvor klassifizierten Hintergrund-Punktwolke einige „Points of Interest“ markiert, die zu bestimmten Regionen des Objektes korrespondieren (z. B. Bohrmaschine auf einer Werkbank). Kommt die Handposition in den vorher bestimmten Aktivitätsradius eines solchen Punktes, wird dieser als „aktiv“ markiert und damit als Hand-Maschine-Interaktion zum ADAMAAS-System kommuniziert. Ein „Point of Interest“ kann zusätzlich zur Hand auch Änderungen in seiner lokalen Umgebung

⁵<https://click.intel.com/intelrealsensetm-developer-kit-featuring-sr300.html>.

detektieren. Dieses wird dann als das Auftreten eines Objekts in der Region interpretiert (bspw. der Griff zur Bohrmaschine) und an das ADAMAAAS-System gemeldet. Die Arbeiten von Bansal et al. (2013) und Yamakata et al. (2010) zeigen, wie die Einbindung von domänenspezifischem Kontextwissen Erkennungsraten für Handlungen oder das Verfolgen von Objekten verbessern bzw. unter schwierigen Bedingungen (z. B. Formveränderung durch Schneiden) überhaupt erst ermöglichen und die Handlungserkennung deutlich verbessern kann.

5.2.3 Nutzeraktivität durch neuro-kognitive Messung von Handlungswissen

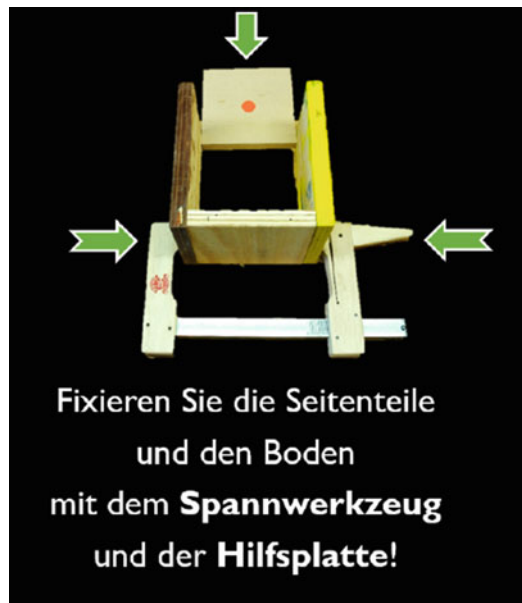
Wissen spielt eine zentrale Rolle in der Steuerung von Handlungen. Im Rahmen der unterschiedlichsten Handlungsfelder wird es durch Wissen möglich, einwirkende Informationen schnell zu bewerten und zu selektieren. Aus zahlreichen Untersuchungen im Rahmen der Expertiseforschung ist bekannt, dass Experten über größere Wissensbestände als Novizen verfügen (z. B. Ericsson und Smith 1991; Schack und Mechner 2006). Diese Aussage entspricht auch unserer Alltagserfahrung. Performanz geht scheinbar mit Wissen einher und Experten wissen offensichtlich mehr über die Handlungsfelder, in denen sie aktiv sind. Ein wesentliches Problem ist aber, dass Experten (z. B. Ausbilder) und Novizen (z. B. Auszubildende) oft aneinander vorbeireden, wenn sich z. B. beim Auszubildenden neue oder problematische Wissensstrukturen etabliert haben und die verwendeten Begriffe diese Wissens- und Gedächtnisstrukturen nicht angemessen treffen. Im Kontext von Ausbildungsprozessen werden gezielt Wissensstrukturen aufgebaut, die die relevanten Handlungen unterstützen. Daher wurden Möglichkeiten zur Erfassung solcher Wissensbestände im Kontext von Ausbildungsprogrammen untersucht und eine geeignete neuro-kognitive Messmethode auf Basis eines computergestützten automatisierten Befragungsverfahrens weiterentwickelt, die sogenannte struktur-dimensionale Analyse mentaler Repräsentationsstrukturen (SDA-M; Schack 2010, 2012). Dieses Verfahren ist leicht anwendbar: Ausgehend von einer konkreten Aktivität (z. B. „Bau eines Vogelhauses“) werden zuerst einzelne Arbeitsschritte, sog. „Knotenpunkte“, und die zugehörigen korrekten Handlungssequenzen identifiziert. Anschließend werden Probanden bzw. Nutzern in zufälliger Reihenfolge jeweils zwei dieser Arbeitsschritte in Form von Bildern und textuellen Beschreibungen auf einem Bildschirm präsentiert, z. B. „Seitenteile und Boden fixieren“ sowie „Frontteil anschrauben“ (siehe Abb. 3). Die Teilnehmer müssen nun lediglich entscheiden, ob diese unmittelbar zusammengehören oder nicht (siehe Abb. 5 und 6).

Gehören die dargestellten Tätigkeiten für die Auszubildenden zusammen, so drücken sie beispielsweise die Pfeiltaste nach links und das entsprechende Bild wird in der linken Spalte (positiver Zusammenhang) eingeordnet. Andernfalls drücken die Auszubildenden die Pfeiltaste nach rechts und das Bild erscheint auf der rechten Seite (negativer Zusammenhang). Diese Entscheidungen sind in verschiedenen Konstellationen und über eine Gesamtmenge von relevanten Arbeitstätigkeiten zu treffen. Die SDA-M ist also ein Verfahren, das die strukturdimensionalen Zusammenhänge konzeptuell (begrifflich) geordneten Wissens psychometrisch darzustellen versucht. Dazu bedient sich die SDA-M multidimensionaler Analysetechniken

Abb. 3 Zusammenbau eines Vogelhauses mit der ADAMAAS Brille



Abb. 4 Hilfsinweis auf der AR-Ebene beim Zusammenbauen eines Vogelhauses. Der schwarze Hintergrund ist transparent



(vgl. Schack 2012). Anwendungen dieser Methode sind u. a. in der neuro-kognitiven Handlungsforschung (Schack und Mechsner 2006), der Sportpsychologie (Schack und Hackfort 2007), der Trainingswissenschaft (Schack und Bar-Eli 2007) und in der Rehabilitation (Braun et al. 2008) zu finden.

Abb. 6 Ausschnitt eines SDA-M-Dendrogramms bzgl. Zusammenbau eines Vogelhauses



funktion aktiviert werden. Statt abzuwarten, bis tatsächlich Fehler aufgetreten sind, und zu versuchen, diese anschließend zu korrigieren, können entsprechende Fehler von vornherein vermieden werden. Dies ist bei gefährlichen oder schwer reversiblen Handlungen besonders hilfreich, aber auch weniger kritische Handlungen können auf diese Weise flüssiger und somit für Nutzer befriedigender ausgeführt werden. Dazu müssen interne Repräsentation des Systems, Echtzeit-Beobachtung mittels Eyetracking, Objekterkennung (Computer Vision) und Prompting permanent aufeinander abgestimmt werden. Durch diese Abstimmung erhält das System seine adaptiven Eigenschaften, die sich sowohl in Hinsicht auf die individuelle Anpassung an den Nutzer, als auch in Hinblick auf die kontextsensitive Abstimmung des Feedbacks auf den spezifischen Struktur- und Handlungskontext manifestieren. Basierend auf diesen Informationen, dem augenblicklichen visuellen Fokus und den in der Szene detektierten aufgabenspezifischen Objekten ist das System dann in der Lage, adäquates Feedback zu generieren und in Form von Handlungshinweisen auf der transparenten Ebene im Gesichtsfeld des Nutzers darzustellen (Abb. 2 und 4). Somit ist nicht nur eine alters- und fehlergerechte Anpassung des Systems, sondern auch eine Anpassung an individualisierte Handlungsstile (Gewohnheiten) möglich. Im Vogelhaus-Beispiel (Abb. 6) würde der Proband unmittelbar nach dem Fixieren der Seitenteile und des Bodens (2) aufgefordert, das Frontteil aufzulegen (3) und anzuschrauben (4). Je deutlicher die mentalen Repräsentationen des Probanden von der idealtypischen Handlungsstruktur eines Experten abweichen, desto stärker werden Probleme in der Handlungsausführung zutage treten und desto hilfreicher werden entsprechende Hinweise zur Verbesserung der Handlungsausführung sein. Da sowohl die Messung der Gedächtnisstrukturen mittels SDA-M als auch jegliche menschliche Tätigkeit naturgemäß einem gewissen Rauschen unterliegt, ist eine perfekte Fehlervorhersage und -vermeidung jedoch nicht möglich.

Daher verfügt das ADAMAAS-System unter Verwendung von Objekt- und Handlungserkennung auch über reaktive Komponenten, die dem Nutzer im Falle eines aufgetretenen Fehlers dabei helfen sollen, dies zu korrigieren und den korrekten Handlungsschritt durchzuführen.

5.2.4 Handlungsunterstützung mittels Erweiterter Realität (Augmented Reality)

Während VR- (Virtual Reality) und AR- (Augmented Reality) Techniken im Bereich der Computer- und Videospiele zur Zeit einen regelrechten Hype erleben, sind Einsätze in Unternehmen noch selten – auch wenn es zahlreiche Ideen, Entwicklungen und Testläufe gibt (Wiesend 2016). Beispielsweise können Montage- und Wartungsinstruktionen durch 3D-Visualisierungen lagerichtig an Maschinen dargestellt oder Experten über Remote-Unterstützung verfügbar gemacht werden. So kann ein Konstrukteur etwa bei der Montage von Spannsystemen sofort erkennen, ob er die Schritte korrekt ausgeführt hat und welche Schritte als nächstes anstehen (HYPERRAUM.TV). Durch den Einsatz dieses Systems wurden nicht nur die Konstruktionsfehler minimiert, sondern auch der Aufwand für notwendige Produktprüfungen reduziert. Die Vorteile liegen dabei in der kontextbezogenen visuellen Unterstützung von Tätigkeiten bei gleichzeitiger Handfreiheit (Abb. 7).

Wichtige Anwendungsbereiche für AR sind die Darstellung von Informationen zur Reparatur, Service, Training und Bedienungsanleitungen, da moderne Produkte immer komplexer werden und die aktuelle Art der Beschreibung diesen Produkten nicht mehr gerecht wird (Wiesend 2016). Zusätzlich gibt es bereits viele Ansätze, virtuelle Agenten und AR-Methoden für die Unterstützung bei gesunden und Menschen mit Behinderungen und Lernschwierigkeiten oder im Sport- und Trainingsbereich (Schack et al. 2008) einzusetzen.

Die AR-Komponente in ADAMAAS erlaubt die Darstellung von adaptivem Feedback in textueller, visueller oder Avatar-basierter Form (Abb. 2). Für das Rendering wird in ADAMAAS das Unity3D-Framework⁶ verwendet. Ein Marker-basierter Ansatz, der virtuelle Einblendungen in der realen Welt verankert, erlaubt die angemessene Adjustierung des AR-Feedbacks bei Kopf- und Körperbewegungen.

Insgesamt ist der Einsatz von AR-Techniken im Arbeitsumfeld und für die Gestaltung von Diagnostik- und Handlungshinweisen trotz großer technischer Fortschritte bisher kaum untersucht. Auch existieren bisher nur wenige Arbeiten, die untersuchen, welche Formen der Informationsdarstellung und des Promptings via AR unter verschiedenen Bedingungen am effektivsten sind und wie diese auf unterschiedliche Zielgruppen zugeschnitten werden sollten.

⁶<https://unity3d.com>.



Abb. 7 Einsatz von AR bei der Bedienung einer Kaffeemaschine. Über Markierungen und Pfeile wird erklärt, wie die Milchflasche entfernt werden kann

6 Chancen, Grenzen und Risiken von Assistierenden Technologien

Die bisherigen Ausführungen in diesem Kapitel haben verdeutlicht, dass wir durch den demografischen Wandel und die sich abzeichnenden Veränderungen im Arbeits- und Privatleben vor großen Herausforderungen stehen, die den Einsatz von Assistierenden Technologien in Zukunft verstärkt erforderlich machen. Hierbei geht es nicht nur um die direkte Unterstützung im Arbeitsprozess und beim lebenslangen Lernen, bei der Verbesserung beruflicher Chancen und bei der Unterstützung im Falle von körperlichen Einschränkungen, sondern auch darum, älteren Menschen und Menschen mit Behinderungen und Krankheiten ein selbstbestimmtes Leben und die Teilhabe an der Gesellschaft zu ermöglichen. Aufgrund rasanter Entwicklungen, die mit den Schlagworten „Internet of Things“, „Industrie 4.0“ und „Arbeit 4.0“ bezeichnet werden, sowie gesellschaftlicher Veränderungen finden aktuell vielfältige Neuentwicklungen und -orientierungen statt, die großen Einfluss auf unser Berufs- und Privatleben haben werden. Hierbei werden die Anwendungsfälle und -anforderungen entscheiden, welche Lösungsansätze sich letztendlich durchsetzen werden. Dabei spielen natürlich auch wirtschaftliche Gesichtspunkte wie Preis, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Flexibilität und zu erwartende Einsparungen eine wesentliche Rolle.

Gerade für den Bereich der mobilen Assistenz entwickeln sich Techniken und Verfahren, die unter rechtzeitiger Einbeziehung der Zielgruppen vielversprechende Möglichkeiten für „Arbeit 4.0“ eröffnen, um Nutzern beispielsweise neue Handlungsoptionen aufzuzeigen und Lernprozesse zu induzieren. Hierbei liegt eine wesentliche Herausforderung und Chance darin, multimodale Daten von Menschen

in geeigneter Weise und unter Einhaltung des Datenschutzes zu erfassen, lokal zu speichern, zu integrieren und zu interpretieren. AT-Systeme wie das im letzten Kapitel beschriebene ADAMAAS-System erlauben nicht nur das berufliche Entwicklungspotenzial zu fördern, sondern zeigen auch neue Wege in der Inklusion auf. Durch das Einblenden von Informationen auf einer virtuellen Ebene in das Gesichtsfeld können Arbeitsprozesse unterstützt werden, wobei die Nutzer mobil bleiben und ihre Hände frei einsetzen können. Schaut der Nutzer beispielsweise auf das falsche Werkzeug, so kann das AT-System ihn darauf aufmerksam machen und seine Aufmerksamkeit auf das korrekte Werkzeug lenken. Über die Blickbewegungen kann erfasst werden, welche Informationen der Nutzer wahrnimmt und wie diese präsentiert werden müssen, um eine maximale Hilfestellung zu erreichen. Ist der Benutzer laut Sensorik des AT-Systems unter Stress, so kann die Hilfestellung entsprechend angepasst werden, z. B. verzögert oder in einer leichter zu erfassenden Darstellung präsentiert werden, oder das System kann beruhigend auf den Nutzer einwirken. Diese sensibilisierte Form der Unterstützung ist besonders bei älteren und körperlich oder geistig beeinträchtigten Menschen erforderlich. Über die Messung mentaler Repräsentationsstrukturen ist beispielsweise das ADAMAAS-System in der Lage, individuelle Handlungsfehler zu antizipieren und das Auftreten von Fehlern durch zeitnahe Einblendung vorbeugender Hilfshinweise zu vermeiden (siehe Abb. 4). Wenn AT-Systeme über Kopfkameras und Mikrofone verfügen, können sie auch zur Unterstützung von Technikern beim Kunden eingesetzt werden. Durch Übermittlung der Daten kann beispielsweise ein Experte dem Techniker vor Ort helfen, indem er durch Sprache oder das Aufzeigen möglicher Fehlerquellen aus der Ferne unterstützend eingreifen kann. Gerade im Hard- und Softwarebereich finden zur Zeit entscheidende Veränderungen statt, die vielfältige Entwicklungen auf diesem Gebiet ermöglichen. Aufgrund steigender Technikakzeptanz und -wissens werden Personen zukünftig voraussichtlich aufgeschlossener gegenüber Assistierenden Technologien sein und diese gewinnbringender einsetzen.

Da Nutzer zu Recht immer selbstverständlicher erwarten, dass sich die Technik auf sie einstellt und nicht umgekehrt, werden kognitive Systemkomponenten sowie adaptive Systeme in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen. Dabei besteht die Gefahr, dass unrealistisch hohe Erwartungen an Technologie als Allheilmittel gestellt werden, obwohl sie den erforderlichen Reifegrad (noch) nicht erreicht hat. AT-Systeme sollten Hilfe für ein selbstbestimmtes Lernen anbieten, anstatt den Nutzer zu bevormunden und in Abhängigkeit zu führen. So schwindet beispielsweise durch die intensive Nutzung von Navigationsgeräten die Kompetenz, mit analogen Karten zu navigieren.

Obwohl AT-Systeme bereits in Ansätzen Objekte, Umgebungen und Handlungssequenzen erkennen können, ist es ihnen oftmals nicht möglich Kausalitäten zu detektieren. Dies führt dazu, dass unklar ist, in welchem Umfang und mit welchem Ziel Unterstützung angeboten werden soll. Für das Lernen von Konzepten, Objektkategorien und Kausalitäten spielen unter anderem funktionale Eigenschaften bzw. sogenannte *Affordances* – darunter versteht man die mit einem Gegenstand assoziierten Gebrauchseigenschaften, z. B. das Sitzen beim Anblick eines Stuhls – eine entscheidende Rolle (Grabner et al. 2011). Zusätzlich kann das Beobachten der

Interaktion von Menschen mit Objekten wichtige Informationen zu deren Kategorien, Beziehungen sowie dem Szenenverständnis beitragen (Yao et al. 2013). Es existieren zwar bereits ein paar Arbeiten zur Erkennung von Objektfunktionalitäten, doch diese sind bisher auf eher simple Anwendungsbereiche beschränkt, z. B. Interaktion mit musikalischen Instrumenten oder automatische Erfassung von kausalen Ereignissen bei Videomaterial aus Überwachungskameras (Yao et al. 2013; Robertson und Reid 2011). Die Ausweitung solcher Ansätze auf komplexere Szenen, wie z. B. die Interaktion mit einer modernen Arbeitsmaschine oder innerhalb eines komplexen Arbeitsvorganges, erfordern weitere Forschung und die Einbindung von zusätzlichem Weltwissen, um Fehlinterpretationen seitens des AT-Systems zu vermeiden.

Vielfach sind die möglichen Anwendungsbereiche für AT-Systeme sehr breit gefächert und noch nicht im Detail untersucht. Es existieren für sie oft keine Produktspezifikationen aus Marktanalysen; vielmehr reifen Produkt und Dienste erst durch Aktivitäten einer Community, wie es auch bei den Smartphone-Apps der Fall war. Wenn es viele unterschiedliche Systeme und Spezifikationen gibt (Insellösungen), führt dies meist zu einer fehlenden Interoperabilität (Wallhoff 2011). Daher ist ein Fokus auf sinnvolle und wichtige Systemmerkmale notwendig, um die Systeme nicht an relevanten Anwendungsbereichen vorbei zu entwickeln. Dies gilt insbesondere für die rechtzeitige Einbindung der Nutzeranforderungen in den Entwicklungsprozess über Usability- und User-Experience-Methoden, da die Zielgruppen höchst inhomogen sind. Nach wie vor wird vielfach an den Bedürfnissen der Nutzer vorbei entwickelt, wie bspw. jüngst die Entwicklung „intelligenter“ Stromzähler eindrücklich belegt. Mangelnde Nutzung kann daran liegen, dass Nutzer die Produkte ablehnen, aber auch daran, dass sie sich diese nicht leisten können. Eine Lösung könnten modulare Systeme sein, die sich flexibel an die Wünsche und Bedürfnisse der jeweiligen Personen anpassen lassen.

Besonderer Fokus muss auf die Einhaltung sicherheitsbezogener und ethischer Grundsätze gelegt werden, beispielsweise beim Umgang mit personenbezogenen Daten, die ein AT-System niemals durch unnötigen Einsatz externer Cloud-Speicherung o. ä. der Kontrolle durch die Nutzer entreißen sollte. Nutzer erwarten, dass sich die Technik auf sie einstellt und eine Kommunikation auf natürliche Art und Weise möglich ist. Daher werden in Zukunft auch adaptive kognitive Eigenschaften in AT-Systemen ein wesentlicher Bestandteil für deren Akzeptanz sein. Auf diese Weise können assistierende Technologien zukünftig dabei helfen, das berufliche Entwicklungspotenzial jedes Menschen bestmöglich auszuschöpfen. Aufgrund dieser Anforderungen sowie der notwendigerweise umfangreichen Evaluationsstudien in verschiedenen Anwendungskontexten und mit unterschiedlichen Zielgruppen kann es bis zur Serienreife eines Produktes zu langen Entwicklungszeiträumen kommen.

Vor allem der schnelle Fortschritt bei intelligenten Datenbrillen könnte als Motor für die Entwicklung mobiler kognitiver Assistenzsysteme wirken. Sowohl Augmented- als auch Virtual Reality-Anwendungen stehen derzeit noch relativ am Anfang und werden zukünftig eine wesentliche Rolle spielen. Gerade wenn es um AR geht, sind auch Speziallösungen erfolgsversprechend: Eine auf konkrete Zielgruppen und

spezifische Anwendungen abgestimmte Kombination von kognitiven und technischen Merkmalen wird entscheidend dafür sein, um zeitnah die benötigten Unterstützungsoptionen zu bieten. Die Entwickler von Assistenzsystemen stehen also in gewissem Sinne bereits jetzt vor ähnlichen Herausforderungen wie die Arbeiter der nahen Zukunft, die sich dynamisch immer neuen Gegebenheiten und technologischen Entwicklungen anpassen und stetig dazulernen müssen.

Literatur

- Airaksinen, T. (2003). The philosophy of professional ethics. In R. C. Elliot (Hrsg.), *Institutional issues involving ethics and justice – UNESCO encyclopedia of institutional and infrastructural resources* (Bd. 1, S. 201–215). Oxford: Eolss.
- Apt, W., Bovenschulte, M., Hartmann, E. A., & Wischmann, S. (2016). Forschungsbericht 463 – Forsicht-Studie „Digitale Arbeitswelt“. <http://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/Forschungsberichte/Forschungsberichte-Arbeitsmarkt/fb-463-digitale-arbeitswelten.html>. Zugegriffen im Februar 2016.
- Bansal, S., Khandelwal, S., Gupta, S., & Goyal, D. (2013). Kitchen activity recognition based on scene context. In *20th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (S. 3461–3465). Melbourne: IEEE.
- BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. (2015). *Forschungsentwicklungsprogramm 2014–2017*. Dortmund: BAuA. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Intern/I28.html>. Zugegriffen am 04.08.2016.
- Bevan, N. (2009). Criteria for selecting methods in user centered design. In S. Abrahão, K. Hornbaek, E. Law & J. Stage (Hrsg.), *Proceedings of the second international workshop on the interplay between usability evaluation and software development (I-USED) 2009*, (Bd. 490). Uppsala: CEUR Workshop Proceedings.
- Bias, R. G., & Mayhew, D. J. (2005). *Cost-justifying usability – An update for the internet age* (1. Aufl.). San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
- BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2015). Grünbuch Arbeiten 4.0 – Arbeit weiter denken. https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen-DinA4/gruenbuch-arbeiten-vier-null.pdf?__blob=publicationFile. Zugegriffen im April 2016.
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2013). *Von der Begleitforschung zur integrierten Forschung – Erkenntnisse aus dem Förderschwerpunkt Altersgerechte Assistenzsysteme für ein gesundes und unabhängiges Leben*. Bonn: BMBF.
- Botthof, A., & Hartmann, E. (2015). Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – Neue Perspektiven und offene Fragen. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 161–163). Berlin: Springer Vieweg.
- Braun, S. M., Kleynen, M., Schols, J. M., Schack, T., Beurskens, A. J., & Wade, D. T. (2008). Using mental practice in stroke rehabilitation: A framework. *Clinical Rehabilitation*, 22(7), 579–591.
- Cook, A., & Polgar, J. (2015). *Assistive technologies: Principles and practice* (4. Rev.). Maryland Heights: Mosby.
- Collins, T. (2014). Trade-off between spatiotopy and saccadic plasticity. *Journal of Vision*, 14(12), 28.
- Duntelman, G. H. (1989). *Principle component analysis*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Ericsson, K. A., & Smith, J. (1991). *Toward a general theory of expertise*. New York: Cambridge University Press.
- Essig, K., Streng, B., & Schack, T. (2016). ADAMAAS – Towards smart glasses for mobile and personalized action assistance. In *9th international conference on pervasive technologies related to assistive environments (PETRA'16)*, June 29th–July 1st, Corfu, Greece.

- Fischer, H., Strenge, B., & Nebe, K. (2013). Towards a holistic tool for the selection and validation of usability method sets supporting human-centered design. In A. Marcus (Hrsg.), *Design, user experience, and usability. Design philosophy, methods, and DUXU 2013, lecture notes in computer science* (Bd. 8012, S. 252–261). Berlin: Springer.
- Flanagan, J. R., & Johansson, R. S. (2003). Action plans used in action observation. *Nature*, 424, 769–771.
- Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. (2015). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer.
- Gillb, T. (1988). *Principles of software engineering management*. In *Usability is good business*. Harlow: Pearson.
- Goertz, W., Hülshager, U. R., & Maier, G. W. (2014). The validity of specific cognitive abilities for the prediction of training success in Germany: A meta-analysis. *Journal of Personnel Psychology*, 13, 123–133.
- Grabner, H., Gall, J., & Van Gool, L. (2011). What makes a chair a chair. In *IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR)* (S. 1529–1536). Colorado Springs: IEEE.
- Grigorenko, E. L., & Sternberg, R. (1998). Dynamic testing. *Psychological Bulletin*, 124(1), 75–111.
- Guthke, J., & Wiedl, K. H. (1996). *Dynamisches Testen. Zur Psychodiagnostik der intraindividuellen Variabilität. Grundlagen, Verfahren und Anwendungsfelder*. Göttingen: Hogrefe.
- Ha, K., Chen, Z., Hu, W., Richter, W., Pillai, P. S., & Satyanarayanan, M. (2014). Towards wearable cognitive assistance. In *Proceedings of the 12th annual international conference on mobile systems, applications, and services* (S. 68–81). New York: Association for Computing Machinery.
- Hartmann, E. (2015). Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 9–20). Berlin: Springer Vieweg.
- Hassenzahl, M., Burmester, M., & Koller, F. (2003). AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In G. Szwillus & J. Ziegler (Hrsg.), *Mensch & Computer 2003* (S. 187–196). Wiesbaden: Springer.
- Haywood, C. H., & Lidz, C. S. (2007). *Dynamic assessment in practice: Clinical and educational applications*. New York: Cambridge University Press.
- Herbst, E. (1920). *Der Taylorismus in unserer Wirtschaftsnot* (2. Aufl.). Leipzig: Anzengruber.
- Herzberg, F. (1964). The motivation-hygiene concept and problems of manpower. *Personnel Administration*, 27, 3–7.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Halszka, J., & van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking – A comprehensive guide to methods and measures*. New York: Oxford University Press.
- ISO 9241-210. (2010). *Ergonomics of human-system interaction. Part 210: Human-centred design for interactive systems*.
- ISO/IEC 9241. (2012). *Ergonomics of human system interaction*.
- ISO/TR 16982. (2002). *Ergonomics of human-system interaction – Usability methods supporting human-centred design*.
- Johansson, R. S., Westling, G., Bäckström, A., & Flanagan, J. R. (2001). Eye-hand co-ordination in object manipulation. *Journal of Neuroscience*, 21, 6917–6932.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1987). *The psychology of reading and language*. Newton: Allyn and Bacon.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (Hrsg.). (2013). *Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. Berlin: Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft.
- Kärcher, B. (2015). Alternative Wege in die Industrie 4.0 – Möglichkeiten und Grenzen. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 47–58). Berlin: Springer Vieweg.
- Kitchener, K. S. (2000). *Foundations of ethical practice, research, and teaching in psychology*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

- Kuzmič, E., & Ude, A. (2010). Object segmentation and learning through feature grouping and manipulation. In *10th IEEE-RAS international conference on humanoid robots* (S. 371–378). Nashville: IEEE.
- Landauer, T. K. (1995). *The trouble with computers: Usefulness, usability, and productivity*. Cambridge, MA: MIT.
- Manzeschke, A., Weber, K., Rother, E., & Fangerau, H. (2013). Ergebnisse der Studie „Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme“. Berlin: VDI/VDE.
- Martin, S., Bengtsson, J. H., & Dröes, R. M. (2010). Assistive technologies and issues relating to privacy, ethics and security. In M. D. Mulvenna & C. D. Nugent (Hrsg.), *Supporting people with dementia using pervasive health technologies, advanced information and knowledge processing* (S. 63–76). London: Springer.
- Mayhew, D. J. (1999). *The usability engineering lifecycle: A practitioner's handbook for user interface design* (1. Aufl.). San Francisco, CA: Morgan Kaufmann
- Nebe, K. (2009). *Integration von Usability Engineering und Software Engineering – Konformitäts- und Rahmenanforderungen zur Bewertung und Definition von Softwareentwicklungsprozessen*. University of Paderborn, Dissertation.
- Nielsen, J. (1994). Guerrilla HCI: Using discount usability engineering to penetrate the intimidation barrier. In R. G. Bias & D. J. Mayhew (Hrsg.), *Cost-justifying usability* (S. 245–272). Orlando: Academic Press.
- Nierling, L., Maria, J. M., Hennen, L., & Wolbring, G. (2016). *Assistive Technologien für die Inklusion von Menschen mit Behinderungen in Gesellschaft, Bildung und Arbeitsmarkt*. https://www.itas.kit.edu/projekte_nier16_asstech.php. Zugegriffen im Feb. 2016.
- Reinert, G. (1993). *Augenbewegungen bei geistig behinderten Kindern*. Bericht Nr. 28/1983, Psychologisches Institut der Ruhr-Universität Bochum, Arbeitseinheit Kognitionspsychologie.
- Robertson, N. M., & Reid, I. D. (2011). Automatic reasoning about causal events in surveillance video. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2011:530325.
- Sarodnick, F., & Brau, H. (2006). *Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung*. Bern: Huber.
- Satyanarayanan, M., Bahl, P., Caceres, R., & Davies, N. (2009). The case for VM-based cloudlets in mobile computing. *IEEE Pervasive Computing*, 8, 14–23.
- Schack, T. (2010). *Die kognitive Architektur menschlicher Bewegungen – innovative Zugänge für Psychologie, Sportwissenschaft und Robotik*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Schack, T. (2012). Measuring mental representations. In G. Tenenbaum, R. C. Eklund & A. Kamata (Hrsg.), *Measurement in sport and exercise psychology* (S. 203–214). Champaign: Human Kinetics.
- Schack, T., & Bar-Eli, M. (2007). Psychological factors in technical preparation. In B. Blumenstein, R. Lidor & G. Tenenbaum (Hrsg.), *Psychology of sport training* (S. 62–103). Oxford, UK: Meyer & Meyer.
- Schack, T., & Guthke, J. (2001). Dynamisches Testen im Sport – Zugänge zur Diagnostik des individuellen Lernpotentials [Dynamic testing in sport: Ways of diagnosing individual learning potential]. *Psychologie und Sport: Zeitschrift für Sportpsychologie*, 8(2), 46–56.
- Schack, T., & Guthke, J. (2003). Dynamic testing. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1, 40–60.
- Schack, T., & Hackfort, D. (2007). An action theory approach to applied sport psychology. In G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Hrsg.), *Handbook of sport psychology* (3. Aufl., S. 332–351). New York: Wiley.
- Schack, T., & Mechsner, F. (2006). Representation of motor skills in human long-term memory. *Neuroscience Letters*, 391, 77–81.
- Schack, T., Bockemühl, T., Schütz, C., & Ritter, H. (2008). Augmented Reality im Techniktraining – experimentelle Implementation einer neuen Technologie in den Leistungssport. In BISP (Hrsg.), *BISP-Jahrbuch-Forschungsförderung 2017/18* (S. 235–240). Bonn: BISP.
- Statistisches Bundesamt. (2015). *Bevölkerung Deutschlands bis 2060: 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204159004.pdf>. Zugegriffen im Feb. 2016.

- Sternberg, R., & Grigorenko, E. L. (2002). *Dynamisches Testing*. New York: Cambridge University Press.
- Stösser, A. von (2011). Roboter als Lösung für den Pflegenotstand? Ethische Fragen. *Archiv für Wissenschaft und Praxis der sozialen Arbeit*, 42(3), 99–107.
- Suzuki, S., & Keiichi, A. (1985). Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 30, 32–46.
- Thielsch, M. T., & Moshagen, M. (2011). Erfassung visueller Ästhetik mit dem VisAWI. In H. Brau, A. Lehmann, K. Petrovic & M. C. Schroeder (Hrsg.), *Usability Professionals* (S. 260–265). Stuttgart: German UPA e.V.
- Thomas, C., Busch, F., Kühlenkoetter, B., & Deuse, J. (2012). Ensuring human safety with offline simulation and real-time workspace surveillance to develop a hybrid robot assistance system for welding of assemblies. In H. ElMaraghy (Hrsg.), *Enabling manufacturing competitiveness and economic sustainability* (S. 464–470). Berlin: Springer.
- U. S. Congress. (1998). Assistive technology act of 1998. <https://www.congress.gov/bill/105th-congress/senate-bill/2432/text>. Zugegriffen im Feb. 2016.
- Ückermann, A., Haschke, R., Ritter, H. (2013). Realtime 3D segmentation for humanrobot interaction. In *IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)* (S. 2136–2143). Karlsruhe: IEEE.
- User Experience Professionals' Association (UXPA). (2012). Usability body of knowledge. <http://www.usabilitybok.org/methods>.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. (2013). *Thesen und Handlungsfelder: Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation*. Düsseldorf: VDI.
- Wallhoff, F. (2011). Assistive Technologien und Assistenzsysteme im häuslichen Bereich sowie Tendenzen im Stationären Bereich. Vortrag auf der 17. Fachtagung der DAWG. <https://docplayer.org/42167500-Assistive-technologien-und-assistenzsysteme-im-haeuslichen-bereich-sowie-tendenzen-im-stationaeren-bereich.html>. Zugegriffen im Feb. 2016.
- Weidner, R., Kong, N., & Wulfsberg, J. P. (2013). Human hybrid robot: A new concept for supporting manual assembly tasks. *Production Engineering*, 7(6), 675–684.
- Weidner, R., Redlich, T., & Wulfsberg, J. P. (2014). Technik, die die Menschen wollen. Unterstützungssysteme für Beruf und Alltag. In R. Weidner & T. Redlich (Hrsg.), *Erste Transdisziplinäre Konferenz zum Thema: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen* (S. 1–8). Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität Hamburg.
- WHO - World Health Organization. (2001). International classification of functioning, disability and health. <http://apps.who.int/classifications/icfbrowser/>. Zugegriffen am 04.08.2016.
- WHO – World Health Organisation. (2016). *Weltbericht über Altern und Gesundheit*. Geneva: WHO.
- Wiesend, Stephan. (04. Februar 2016). AR- & VR-Lösungen in Unternehmen. *Computer Woche*. <http://www.computerwoche.de/a/ar-und-vr-loesungen-im-unternehmen,3217983,2>. Zugegriffen am 21.08.2016.
- Yamakata, Y., Kakusho, K., & Minoh, M. (2010). Object recognition based on object's identity for cooking recognition task. In *12th IEEE international symposium on multimedia (ISM), Tai-chung* (S. 278–283). Taiwan: IEEE.
- Yao, B., Ma, J., & Fei-Fei, L. (2013). Discovering object functionality. In *The IEEE international conference on computer vision (ICCV)* (S. 2512–2519). Sydney: IEEE.
- Zivkovic, Z., & van der Heijden, F. (2006). Efficient adaptive density estimation per image pixel for the task of background subtraction. *Pattern Recognition Letters*, 27, 773–778.