

Zertifikatskurs Bioökonomie



Manfred Kircher

Bioökonomie  
im Selbststudium  
Wertschöpfungs-  
ketten und  
Innovations-  
potenzial



Springer Spektrum

---

# **Zertifikatskurs Bioökonomie**

---

Manfred Kircher

# Bioökonomie im Selbststudium: Wertschöpfungsketten und Innovationspotenzial

 Springer Spektrum

Manfred Kircher  
KADIB  
Frankfurt, Deutschland

ISSN 2524-7107                      ISSN 2524-7115 (electronic)  
Zertifikatskurs Bioökonomie  
ISBN 978-3-662-61000-8              ISBN 978-3-662-61001-5 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-61001-5>

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

© 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.

Lektorat/Planung: Stephanie Preuss

Springer Spektrum 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

<b>1 Einführung und Begriffe</b> .....	1
1.1 Wertschöpfungskette .....	1
1.2 Innovationspotenzial .....	2
<b>2 Sektoren der Bioökonomie</b> .....	3
2.1 Die an der Bioökonomie beteiligten Sektoren .....	3
2.2 Umsatz und Beschäftigung in Sektoren der Bioökonomie .....	14
2.3 Arbeitsproduktivität der Sektoren der Bioökonomie .....	16
2.4 Wertschöpfung in der Bioökonomie .....	18
2.5 Das Wachstumspotenzial der Bioökonomie .....	19
2.6 Anteil der Bioökonomie in verschiedenen Sektoren .....	21
<b>3 Wertschöpfungsketten</b> .....	25
3.1 Produktion primärer Biomasse .....	25
3.2 Transformation von Biomasse .....	31
<b>4 Wettbewerbsfähigkeit und Innovationspotenzial</b> .....	39
4.1 Wettbewerbsfähigkeit .....	39
4.2 Innovationspotenzial .....	42
<b>Literatur</b> .....	45

## 1.1 Wertschöpfungskette

Der Begriff der Wertschöpfungskette (*value chain*) bezeichnet ursprünglich alle Tätigkeiten und Abläufe zur Beschaffung und Produktion innerhalb eines Unternehmens (Porter 1985).

In diesem Studienheft wird die Wertschöpfungskette allerdings umfassender diskutiert. Da an der Entstehung von Produkten nicht nur *ein* Unternehmen, sondern eine ganze Vielzahl beteiligt ist, wird die gesamte Wertschöpfungskette der Bioökonomie betrachtet. Der Begriff der Wertschöpfung impliziert dabei, dass jeder Verarbeitungsschritt zu einem Zugewinn an wirtschaftlichem Wert führt.

Die Wertschöpfungskette ist dabei eng mit der Versorgungskette (*supply chain*) verknüpft. Darunter versteht man die Lieferkette von produzierenden Unternehmen. Meist beginnt die Lieferkette bei einem Rohstoff, aus dem ein Unternehmen ein Basismaterial herstellt. Das Basismaterial wird weiterverkauft und die abnehmende Industrie produziert daraus Komponenten, die über eine Kette weiterer Unternehmen schließlich zu der Vielzahl an Konsumentenprodukten, die unseren Alltag prägen, zusammengefügt werden. Nach Gebrauch werden die Produkte entsorgt. Solche Ketten sind linear; sie beginnen bei einem Rohstoff und enden mit der Entsorgung. Zirkuläre Lieferketten verwenden Konsumentenprodukte nach Gebrauch dagegen wieder als Rohstoffquelle und schließen damit den Kreislauf. Wirtschaftlich liegt dabei die Herausforderung darin, auch den Schritt von der Entsorgung zur Rohstoffgenerierung wertschöpfend zu gestalten. Wenn das gelingt, ist eine zirkuläre Wertschöpfung erreicht. Ob die Bioökonomie diesem Anspruch gerecht wird, wird in dem vorliegenden Studienheft diskutiert.

## **1.2 Innovationspotenzial**

Eine wirtschaftliche Innovation meint eine grundsätzlich neue Produktionsweise oder ein Produkt, das sich am Markt durchsetzt und breit angewendet wird (Schumpeter 1939). Dabei kann Innovation mit der Verdrängung früherer Prozesse oder Produkte einhergehen. Innovation ist also deutlich von einer Erfindung zu unterscheiden. Erfindungen sind zwar die Grundlage von Innovationen, haben aber die Bewährung am Markt noch vor sich. Dieses Studienheft wird das Innovationspotenzial im Bereich der Bioökonomie behandeln.



## 2.1 Die an der Bioökonomie beteiligten Sektoren

Der deutsche Bioökonomierat definiert die Bioökonomie als „die Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen (auch Wissen), um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen“<sup>1</sup>. Mit Produkten und Verfahren sind dabei biologische Rohstoffe und deren Verarbeitung zu Nahrungsmitteln, biobasierten Materialien und Bioenergie gemeint. Dienstleistungen können beispielsweise die für die Bioökonomie spezifische Logistik von Ausgangsstoffen, die Entsorgung von Seitenströmen aus Produktionsverfahren oder die Recyclierung von Konsumentenprodukten nach Gebrauch sein. Die Bioökonomie umfasst also ein enormes Spektrum an Produkten und Anwendungen. Ausgangsstoffe können primäre Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei und Aquakultur sein. Sie können als Kohlenstoffquelle stofflich zu Produkten der Ernährung, der Chemie und Materialien verwertet werden oder als Energiequelle zu Treibstoff, Wärme und Bioenergie führen (Tab. 2.1).

Ein Teil dieser Produktgruppen ist traditionell bio-basiert; dazu gehören beispielsweise die Ernährung und Papier. Energieträger und Chemikalien basieren dagegen heute noch wesentlich auf fossilen Kohlenstoff- und Energieträgern wie Öl, Gas, Kohle. Die Umstellung dieser sehr großen Wirtschaftsbereiche ist eine enorme Herausforderung mit langfristigen Wirkungen. Der Bioökonomierat betont deshalb in seiner oben zitierten Definition die Notwendigkeit der Zukunftsfähigkeit der Bioökonomie als Wirtschaftssystem.

Die Erwartung, welche Wertschöpfungsketten sich in der zukünftigen Bioökonomie entwickeln werden, ist weltweit nicht einheitlich. Sie hängt stark von der

---

<sup>1</sup><http://bioekonomierat.de/biooekonomie/>

**Tab. 2.1** Biomasse-Verwertung, Anwendung und Produktbeispiele

Ausgangsstoff	Verwertung	Sektor	Produkt
Biomasse aus der Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei und daraus abgeleitete Kohlenstoff- und Energiequellen	Stoffliche Verwertung zu Materialien	Ernährung	Lebensmittel, Getränke
			Tierfutter
		Chemie	Organische Chemikalien, Kunststoff
			Pharmazeutika
			Materialien
		Papier, Papierprodukte	
	Konstruktionsholz		
Energetische Verwertung zu Energie	Energie (feste, flüssige, gasförmige Energieträger)	Treibstoff	
		Wärme	
		Bioenergie	

lokalen Verfügbarkeit bio-basierter Rohstoffe, den bereits etablierten Wirtschaftssektoren und der jeweiligen nationalen Definition der Bioökonomie ab (Tab. 2.2).

Die Niederlande beispielsweise erfassen unter der Bezeichnung Bioökonomie vornehmlich jene Sektoren, deren Anteil an der biobasierten Wirtschaft zunimmt. Sie zählen deshalb die dort schon jetzt starken Sektoren Landwirtschaft, Ernährung, Futtermittel und Bioraffination nicht zur zukünftigen Bioökonomie. Deutschland hat dagegen ein sehr viel breiteres Verständnis. Hier werden auch die etablierten traditionellen Bereiche wie Land- und Forstwirtschaft berücksichtigt. Mit der Entwicklung der Bioökonomie erweitern sich deren Wertschöpfungsketten sowohl volumenmäßig als auch bezüglich der Anwendungsfelder und entsprechend sind auch Sektoren wie beispielsweise Rohstoff- und Lebensmittelhandel, Maschinen- und Anlagenbau, Automobilbau, Bauwirtschaft, Konsumgüter- und Verpackungswirtschaft sowie Umwelt- und Entsorgungsindustrien gefordert. Konsequenterweise gilt deshalb in Deutschland auch beispielsweise die Automobilindustrie als von der Bioökonomie betroffen, weil biobasierte Autoteile an Bedeutung gewinnen.

Übereinstimmend werden von allen in Tab. 2.2 genannten Staaten Forstwirtschaft, Chemie, Pharmazeutika, Biotreibstoffe und Bioenergie als wichtige Sektoren der Bioökonomie definiert.

Diese und weitere Branchen werden auch von der EU als Teil der Bioökonomie erfasst. Zur Erfassung von Wirtschaftsdaten hat die EU eine Statistische Systematik der Wirtschaftszweige NACE (Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne) entworfen, die alle wirtschaftlichen Aktivitäten klassifiziert (Tab. 2.3), und in dieser Systematik auch Sektoren bestimmt, die als zur Bioökonomie gehörig ausgewertet werden (Tab. 2.4).

**Tab. 2.2** Zuordnung von Wirtschaftssektoren zur Bioökonomie in verschiedenen Staaten – Verwertung, Anwendung und Produktbeispiele

Sektor	Argentinien	Deutschland	Malaysia	Niederlande	Süd-Afrika	USA
Landwirtschaft	•	•	•		•	•
Forstwirtschaft	•	•	•	•	•	•
Lebensmittel, Getränke	•	•	•		•	
Fischerei	•	•	•		•	
Automobil-, Maschinenbau		•				
Futtermittel	•	•	•		•	
Papier, Zellstoff	•	•		•	•	
Bioraffination		•	•		•	•
Chemie (incl. Biokunststoffe)	•	•	•	•	•	•
Pharmazeutika	•	•	•	•	•	
Biotreibstoffe, Bioenergie	•	•	•	•	•	•
Konsumgüter	•	•			•	
Bau		•				
Gesundheit			•		•	
Bergbau					•	
Textilien	•	•		•	•	
Wissenschaft, Innovation		•	•	•	•	

**Tab. 2.3** Statistische Systematik der EU-Wirtschaftssektoren (NACE)

	WIRTSCHAFTSSEKTOR
A	LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, FISCHEREI
B	BERGBAU UND GEWINNUNG VON STEINEN UND ERDEN
C	VERARBEITENDES GEWERBE/HERSTELLUNG VON WAREN
D	ENERGIEVERSORGUNG
E	WASSERVERSORGUNG; ABWASSER- UND ABFALLENTSORGUNG UND BESEITIGUNG VON UMWELTVERSCHMUTZUNGEN
F	BAUGEWERBE/BAU
G	HANDEL; INSTANDHALTUNG UND REPARATUR VON KRAFTFAHRZEUGEN
H	VERKEHR UND LAGERHALTUNG
I	GASTGEWERBE/BEHERBERGUNG UND GASTRONOMIE
J	INFORMATION UND KOMMUNIKATION
K	ERBRINGUNG VON FINANZ- UND VERSICHERUNGSDIENSTLEISTUNGEN
L	GRUNDSTÜCKS- UND WOHNUNGSWESEN
M	ERBRINGUNG VON FREIBERUFLICHEN, WISSENSCHAFTLICHEN UND TECHNISCHEN DIENSTLEISTUNGEN
N	ERBRINGUNG VON SONSTIGEN WIRTSCHAFTLICHEN DIENSTLEISTUNGEN
O	ÖFFENTLICHE VERWALTUNG, VERTEIDIGUNG; SOZIALVERSICHERUNG
P	ERZIEHUNG UND UNTERRICHT
Q	GESUNDHEITS- UND SOZIALWESEN
R	KUNST, UNTERHALTUNG UND ERHOLUNG
S	ERBRINGUNG VON SONSTIGEN DIENSTLEISTUNGEN
T	PRIVATE HAUSHALTE MIT HAUSPERSONAL; HERSTELLUNG VON WAREN UND ERBRINGUNG VON DIENSTLEISTUNGEN DURCH PRIVATE HAUSHALTE FÜR DEN EIGENBEDARF OHNE AUSGEPRÄGTEN SCHWERPUNKT
U	EXTERRITORIALE ORGANISATIONEN UND KÖRPERSCHAFTEN

Dazu gehören die Herstellung primärer Biomasse (NACE A), die Herstellung bio-basierter Produkte (NACE C) und Bio-Elektrizität (NACE D). Diese Einteilung stimmt zwar zu großen Teilen mit der deutschen Zuordnung in Tab. 2.2 überein, aber Entsorgung (NACE E), Bau (NACE: F), Verkehr und Lagerhaltung (NACE H) werden nicht berücksichtigt.

Festzuhalten bleibt, dass das Verständnis der die Bioökonomie ausmachenden Sektoren regional unterschiedlich ist. In dem vorliegenden Studienheft orientiert sich die Darstellung der Wertschöpfungsketten an der umfassenden Vision der Bioökonomie in Deutschland.

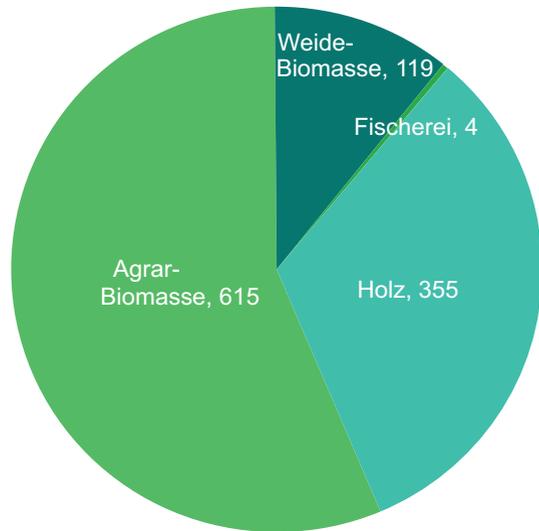
**Tab. 2.4** NACE Code der als Sektoren der Bioökonomie klassifizierten Wirtschaftssektoren (fett: übergeordnete Sektoren; \*: Sektoren, die sowohl fossile als auch bio-basierte Komponenten verwenden)

NACE Code	Sektoren der Bioökonomie
A01	<b>Landwirtschaft</b>
A02	<b>Forstwirtschaft</b>
A03	<b>Fischerei und Aquakultur</b>
A032	Aquakultur
A031	Fischerei
–	<b>Herstellung von Lebensmitteln, Getränken und Tabakprodukten</b>
C10	Herstellung von Lebensmitteln
C11	Herstellung von Getränken
C12	Herstellung von Tabakprodukten
–	<b>Herstellung bio-basierter Textilien</b>
C13*	Herstellung bio-basierter Textilien
C14*	Herstellung bio-basierter Bekleidung
C15	Herstellung von Leder
–	<b>Herstellung von Holzprodukten und Möbeln</b>
C16	Herstellung von Holzprodukten
C31	Herstellung von hölzernen Möbeln
C17	<b>Herstellung von Papier</b>
–	<b>Herstellung von bio-basierten Chemikalien, Pharmazeutika, Kunststoffen und Kautschuk</b> (außer Bio-Treibstoffe)
C20*	Herstellung von bio-basierten Chemikalien (außer Bio-Treibstoffe)
C21*	Herstellung von bio-basierten Pharmazeutika
C22*	Herstellung von bio-basierten Kunststoffen und Kautschuk
–	<b>Herstellung von flüssigen Biotreibstoffen</b>
C2014	Herstellung von Bioethanol
C2059	Herstellung von Biodiesel
D3511	<b>Produktion von Bioelektrizität</b>

### 2.1.1 Land- und Forstwirtschaft

Grundlage der Bioökonomie sind die **Land- und die Forstwirtschaft**. Zusammen mit Fischerei und Aquakultur, die in Deutschland nur eine untergeordnete Rolle spielen, stellen beide Branchen Biomasse als Material, Kohlenstoff- und Energieträger für das verarbeitende Gewerbe, den Bau und Energiesektor bereit. Dazu gehören Nahrungs-, Industrie- und Energiepflanzen wie Sojabohne (Protein, Öl), Zuckerrübe (Zucker), Kartoffel, Mais, Weizen (Stärke), Raps (Öl), Flachs

**Abb. 2.1** Erzeugung von Biomasse (EU28, 2017) in Mio. Tonnen



(Fasern), verschiedene Baumarten (Holz) sowie Nebenprodukte wie Gülle aus der Tierhaltung, Ölpressekuchen aus der Gewinnung pflanzlicher Öle und Stroh aus der Getreidebearbeitung. Rund die Hälfte der Landwirte sind zugleich Waldbesitzer und damit in beiden Branchen engagiert.

Die EU verarbeitet heute rund 1,1 Mrd. t Biomasse aus der Landwirtschaft (56 % Nutzpflanzen, 11 % Weide), Forstwirtschaft (32 %) und Fischerei (4 %) (Abb. 2.1). Das verarbeitende Gewerbe erzeugt aus diesen Biomassen vor allem Lebens- und Futtermittel (74 %), Materialien (23 %; davon zu 97 % Holzprodukte und zu 3 % Chemikalien) und Energie(-träger) (3 %) (Abb. 2.2)<sup>2</sup>.

### 2.1.2 Ernährungsindustrie

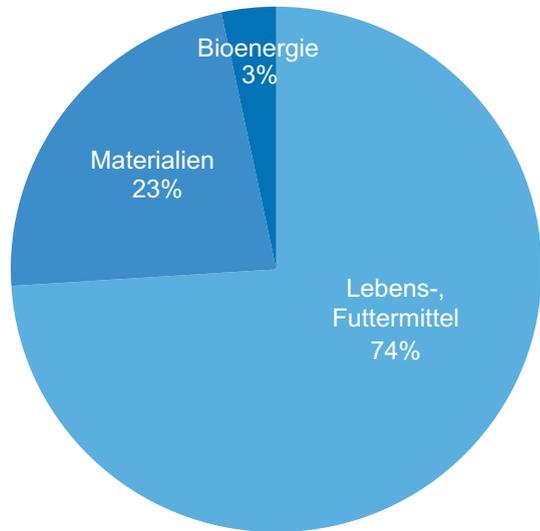
Traditionell beliefert die Landwirtschaft die **Ernährungsindustrie**, wo rund 80 % der Agrarrohstoffe zu mehr als 170.000 Lebensmittelprodukten und Futtermitteln verarbeitet werden. In Deutschland haben 95 % der Unternehmen dieser Branche weniger als 250 Beschäftigte; sie ist damit ausgesprochen mittelständisch geprägt. Teilbranchen der Ernährungsindustrie sind die Fleisch- und Fleischwarenindustrie, die Milchwirtschaft, die Süß- und Backwarenindustrie und die Verarbeitung von Obst und Gemüse. Auf landwirtschaftlicher Biomasse basierende Produkte und solche der Tierhaltung haben einen Umsatzanteil von jeweils rund 50 %<sup>3</sup> (Abb. 2.3).

<sup>2</sup><https://datam.jrc.ec.europa.eu/Bildrechte>: [Urheberrecht beim Autor].

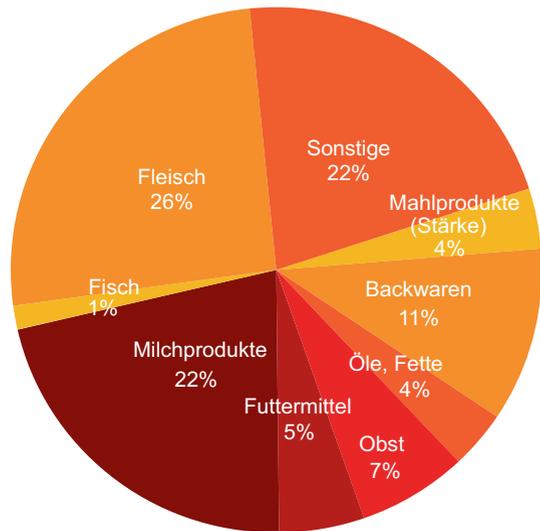
[uropa.eu/datam/mashup/BIOMASS\\_FLOWS/index.html](https://datam.jrc.ec.europa.eu/mashup/BIOMASS_FLOWS/index.html) Abdruckrechte: Nicht notwendig.

<sup>3</sup>[http://www.gws-os.com/discussionpapers/Themenreport\\_Ernährungsindustrie\\_2014\\_2.pdf](http://www.gws-os.com/discussionpapers/Themenreport_Ernährungsindustrie_2014_2.pdf)

**Abb. 2.2** Produktion auf Basis Biomasse (EU28, 2017)



**Abb. 2.3** Umsatzanteile von Sparten der Ernährungsindustrie (Deutschland, 2014)



Für die Bioökonomie sind die Ernährungsindustrien ein wichtiges Glied, weil die hier anfallenden Biomasse-Reststoffe für andere Verwerter Rohstoffpotenzial bieten. Die Ernährungsindustrie ist damit nicht nur ein Verwerter von Agrarrohstoffen, sondern auch ein (potenzieller) Rohstofflieferant.

### 2.1.3 Textilindustrie

Die Landwirtschaft ist auch ein wichtiger Zulieferer für die **Textilindustrie**. Baumwolle und Leinen sind pflanzliche Fasern. Seide ist ein tierisches Produkt auf der Rohstoffbasis der Blätter von Maulbeerbäumen. Viskose geht von Zellulose und damit von Holz aus. Damit ist die Bioökonomie in der Textilindustrie traditionell breit vertreten. Sie muss sich der Aufgabe stellen, auch synthetische Fasern biobasiert anzubieten oder durch Naturfasern zu ersetzen.

### 2.1.4 Bauindustrie

Ein direkter Verwender von Holz aus der Forstwirtschaft ist die **Bauindustrie**. 16 % der Neubauten sind in Deutschland Holzhäuser, was sich in einem Marktvolumen für Baumaterialien aus Holz von mehr als 14 Mrd. EUR spiegelt<sup>4</sup>. Für die für die Verarbeitung von Holz notwendigen Bindemittel oder Klebstoffe haben biobasierte Alternativen auf der Basis von Weizenprotein, Kartoffelstärke, Lignin oder Tannin Potenzial.

### 2.1.5 Chemie und Pharmaindustrie

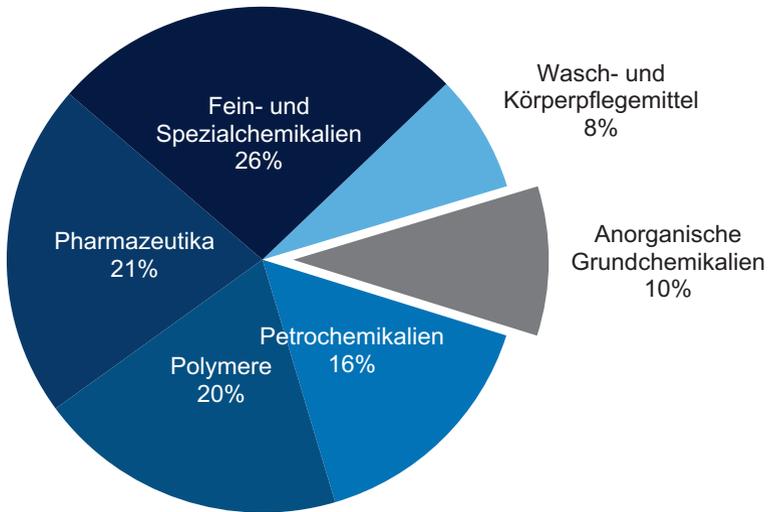
Die Ernährungs- und die Bauindustrie bearbeiten Agrar- und Forstbiomasse, ohne deren Struktur und Biomasse grundsätzlich zu verändern. Die **Chemie- und Pharmaindustrie** verwenden Biomasse dagegen als Kohlenstoffquellen, die zu Materialien mit ganz neuen Eigenschaften transformiert werden. 80 % ihrer mehr als 30.000 Produkte sind Vorprodukte für weiterverarbeitende Unternehmen (*business to business*; B2B Geschäftsmodelle) wie die Kunststoff-, Verpackungs-, Bau- oder Automobil- und Konsumgüterindustrie; nur 20 % stellen Endprodukte für den Konsumenten dar (*business to consumer*; B2C Geschäftsmodell). Die Chemieindustrie trägt damit ganz wesentlich zu sehr vielen Verarbeitungsketten bei und verknüpft zahlreiche Branchen; sie gilt deshalb als Schlüsselindustrie. Zu ihren größten Kunden gehören Kunststoffverarbeiter, die Automobil-, die Verpackungs- und die Bauindustrie. Innerhalb der Chemie ist die organische Chemie mit 90 % des Produktionswerts der bedeutendste Sektor; anorganische Chemikalien machen nur 10 % des Produktionswerts aus (Abb. 2.4).<sup>5</sup>

Petrochemikalien bestimmen heute die organische Grundchemie. Sie entstehen durch Fraktionierung in Ölraffinerien, deren Produktion je Anlage 55.000 t pro Jahr erreichen kann. Die Produktionsvolumina von Fein- und Spezialchemikalien sowie Pharmazeutika sind dagegen wesentlich geringer und liegen durchschnittlich

---

<sup>4</sup><https://biooekonomie.de/branche/bau>

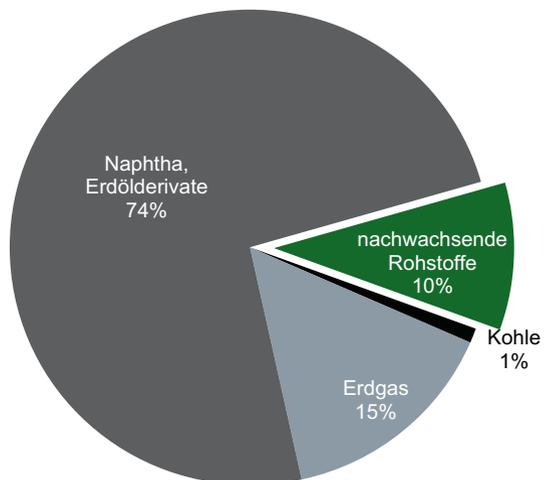
<sup>5</sup><https://biooekonomie.de/branche/chemie>



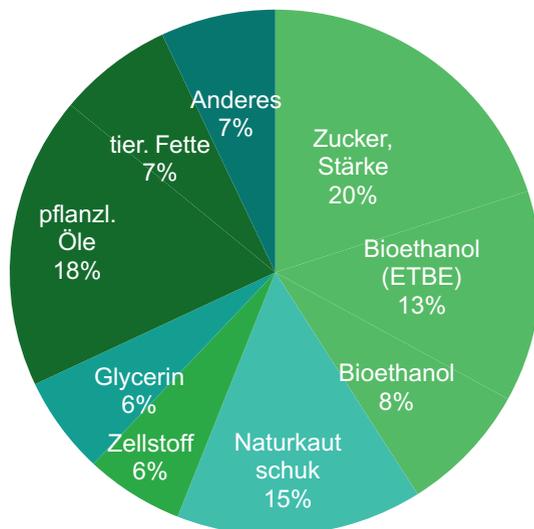
**Abb. 2.4** Wichtige Produktionsgebiete der Chemie (inkl. Pharma); Anteile am Produktionswert (2016)

im Bereich von 150 t pro Jahr (Steinbach 2013), für Pharmazeutika noch darunter. Grundsätzlich gilt, dass die Funktionalität von kleinvolumiger Fein- und Spezialchemikalien und von Pharmazeutika höher als die großvolumiger Grundchemikalien ist, was sich in der noch zu diskutierenden Wertschöpfung widerspiegelt. Auch der Wettbewerb mit bio-basierten Produktalternativen wird beeinflusst, denn der sehr große Bereich der organischen Chemie wird künftig von biogenen Kohlenstoffquellen bedient werden müssen. Heute sind die Rohstoffe im Wesentlichen fossiler

**Abb. 2.5** Rohstoffbasis der organischen Chemie (EU, 2015)



**Abb. 2.6** Anteil biobasierter Kohlenstoffquellen in der Chemieindustrie (EU, 2015)



Natur; im EU-Durchschnitt beträgt der Volumenanteil biogener Rohstoffe in der Chemieindustrie 10 % (Abb. 2.5); in Deutschland sind es 13 %<sup>6</sup>.

Die bio-basierten Rohstoffe werden von Zucker und Stärke dominiert, die einen Anteil von 20 % ausmachen, wobei der ausgehend von Zucker produzierte Bioethanol-Anteil eigentlich dazu gerechnet werden kann. Fette und Öle haben mit 25 % ebenfalls einen bedeutenden Anteil (Abb. 2.6)<sup>7</sup>.

### 2.1.6 Automobilindustrie

Zur **Automobilindustrie** trägt die Bioökonomie sowohl mit Materialien als auch mit Treibstoffen bei. Biobasierte Kunststoffe und Kompositmaterialien, die von der Chemieindustrie geliefert werden, tragen zur Gewichtseinsparung und damit auch zur Reduktion des Treibstoffverbrauchs bei. Kautschuk ist ein Reifen-Polymer, das heute synthetisch auf Basis fossiler Rohstoffe erzeugt wird. Für Hochleistungsreifen wird wegen seiner einzigartigen Eigenschaften pflanzlicher Naturkautschuk eingesetzt. In Erprobung ist neuerdings auch Kautschuk aus Löwenzahn, der landwirtschaftlich angebaut werden kann.

<sup>6</sup><https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/daten-fakten-rohstoffbasis-der-chemischen-industrie.pdf>

<sup>7</sup>CEFIC.

### 2.1.7 Konsumgüterindustrie

Dem Endkunden am nächsten kommt die **Konsumgüterindustrie**, die aus den oben genannten Vorprodukten und Komponenten die Konsumentenprodukte herstellt, die schließlich im Ladengeschäft oder auf digitalen Handelsplattformen den Endkunden angeboten werden. Neben Bekleidung und Lebensmitteln zählen Körper- und Pflegemittel zu den umsatzstärksten Bereichen, also Marktsegmente, die von der Bioökonomie bedient werden können. In Deutschland wurden im Jahr 2015 mit diesen Produkten rund 14,9 Mrd. EUR erwirtschaftet. Wasch- und Reinigungsmittel erreichen einen Marktwert von rund 4 Mrd. EUR<sup>8</sup>.

### 2.1.8 Entsorgungswirtschaft

Ein großer Teil der Konsumentenprodukte wird nach Gebrauch als Siedlungsmüll durch die **Entsorgungswirtschaft** verwertet. Sie nimmt auch Nebenströme und Abfälle aus der verarbeitenden Wirtschaft auf. Ein großer Teil davon wird energetisch verwertet. Lebensmittelabfälle aus Siedlungen (braune Tonne) und dem verarbeitenden Gewerbe werden häufig kompostiert oder gehen gemeinsam mit biobasierten industriellen Restströmen und Gülle in Biogas-Anlagen. Klärschlamm und Biogas-Gärrest können abhängig von ihrer Qualität als Agrardünger Verwendung finden. Damit werden die mit der Rohstoff-Biomasse dem Agrarland entnommenen Pflanzennährstoffe zurückgeführt und idealerweise der Nährstoff-Kreislauf geschlossen.

### 2.1.9 Energiewirtschaft

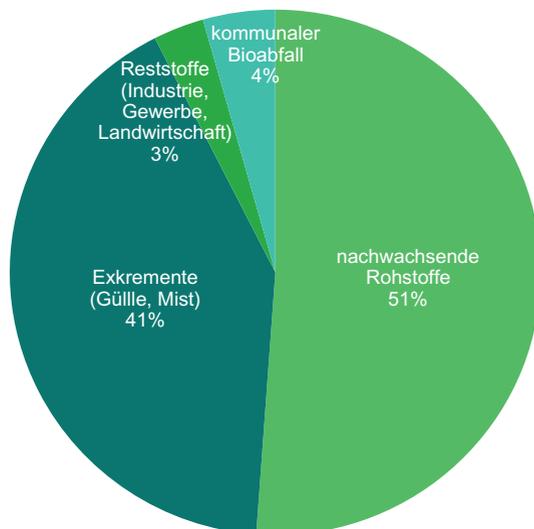
Mit Biogas ist die Entsorgung direkt mit der **Energiewirtschaft** verknüpft, die Bioenergie sowohl aus Abfällen als auch aus eigens produzierter Biomasse erzeugt. In Deutschland sind 9000 Biogas-Anlagen installiert, deren Einsatzstoffe zur Hälfte aus nachwachsenden Rohstoffen wie beispielsweise Energiemais bestehen<sup>9</sup>. (Abb. 2.7). Eine weitere biogene Energiequelle ist Holz, das industriell in kombinierten Wärme-Strom-Kraftwerken energetisch genutzt wird oder in Form von Holz-Pellets der Wärmeerzeugung für Wohnräume dient. Deutschland ist in Europa der größte Abnehmer für Holz-Pellets.

---

<sup>8</sup><https://biooekonomie.de/branche/konsumgueter>

<sup>9</sup><https://biogas.fnr.de/gewinnung/gaersubstrate/>

**Abb. 2.7** Rohstoffe für Biogasanlagen (Deutschland, 2015)



### 2.1.10 Maschinenbau

Mit allen genannten Branchen ist der Maschinen- und Anlagenbau verbunden. Er liefert sowohl die Land- und Forstmaschinen für die Erzeugung von Biomasse als auch die Anlagen für deren Transport, Lagerung, Fraktionierung, Verarbeitung und Transformation.

## 2.2 Umsatz und Beschäftigung in Sektoren der Bioökonomie

Während im vorigen Abschnitt die von der Bioökonomie erreichbaren Branchen in ihrer Gesamtheit dargestellt wurden, sollen in diesem Abschnitt nur die Bioökonomie-Anteile der beteiligten Sektoren präsentiert werden. Da für Deutschland keine derartige Analyse veröffentlicht ist, werden Daten der EU herangezogen.

Die europäische Bioökonomie erreicht heute einen Umsatz von rund 2300 Mrd. EUR und beschäftigt 18,5 Mio. Menschen (BIC 2018). Sie stellt damit 8 % aller Arbeitsplätze in der EU. Berücksichtigt wurden dabei alle Branchen, die der EU-Definition der Bioökonomie genügen. Zuarbeitende Industrien wie beispielsweise der Maschinenbau für Landwirtschafts- und Verarbeitungsmaschinen oder abnehmende Branchen wie der Automobilsektor sind also nicht berücksichtigt. Tab. 2.5 zeigt, welche Umsätze mit wie vielen Mitarbeitern von

**Tab. 2.5** Kennzahlen zur Bioökonomie in verschiedenen Branchen (EU)

EU (nur bio-basierte Branchenanteile)	Zahl Arbeitsplätze (1.000)	Umsatz (Mrd. EUR)	Beispielhafte Produkte
<b>Rohstoffproduktion</b>			
Forstwirtschaft	630	60,0	Holz
Landwirtschaft	9.490	390,0	Pflanzen-, Tierzucht
<i>Summe Land- und Forstwirtschaft</i>	<i>10.120,0</i>	<i>450,0</i>	
<b>Verarbeitendes Gewerbe</b>			
Chemie, Kunststoffe	160	50,0	Biopolymere, Schmierstoffe, kosmetische Wirkstoffe, Aminosäuren, Tenside
Textilien, Textilprodukte	970	79,0	Naturfasern, Naturfärbung, Stoffe
Pharmazeutika	240	121,0	Antibiotika, Antikörper, Infusionsmittel
Getränke	500	176,0	Nicht-alkoholische und alkoholische Getränke
Holzindustrie	1.390	178,0	Bauholz, Verbundmaterialien, Möbel
Papier, Papierprodukte	620	184,0	Papier-, Verpackungsmaterial, Etiketten
Nahrungsmittel	4.300	960,0	Lebensmittel, Konserven, Fertignahrung
<i>Summe verarbeitendes Gewerbe</i>	<i>8.180</i>	<i>1.748,0</i>	<i>Vorprodukte, End- und Konsumentenprodukte</i>
<b>Andere Branchen</b>			
Bio-Treibstoffe	50	11,0	Biogas, Bio-Diesel, Bioethanol
Bioenergie	160	72,0	Bioelektrizität

den erfassten Industrien mit bio-basierten Produkten in der EU generiert werden (BIC 2018). Forst- und Landwirtschaft, also die Bereiche, die Primär-Biomasse produzieren, erwirtschaften mit 10 Mio. Beschäftigten 450 Mrd. EUR. Dabei überwiegt die Landwirtschaft deutlich: Sie stellt 93 % der Arbeitsplätze und erwirtschaftet 84 % des Umsatzes. Noch einmal 8 Mio. Beschäftigte sind in den in Tabelle 2.6 aufgeführten verarbeitenden Gewerben tätig. Dieser Bereich erzeugt allerdings zusammen einen Umsatz von 1750 Mrd. EUR; d. h. 76 % des europäischen Umsatzes in der Bioökonomie werden von den weiterverarbeitenden Gewerben erzeugt. Innerhalb dieses Bereichs dominiert die Ernährungsindustrie. Sie erzeugt (einschl. Getränke) 65 % des Umsatzes und 59 % der Arbeitsplätze der

bio-basierten verarbeitenden Gewerbe. Materialien (Holz, Papier, Textilien) und Chemie und Pharma erwirtschaften rund 610 Mrd. EUR. Der Energiebereich trägt mit 80 Mrd. EUR Umsatz 3,5 % zur Bioökonomie der EU bei.

### 2.3 Arbeitsproduktivität der Sektoren der Bioökonomie

In diesem Abschnitt soll die Arbeitsproduktivität ermittelt werden, also wieviel Umsatz pro Arbeitsplatz erzeugt wird, und ob ein Unterschied zwischen traditionellen fossil- und bio-basierten sowie ausschließlich bio-basierten Sektoren erkennbar ist. Zur Berechnung der Arbeitsproduktivität werden die in den vorigen Abschnitten vorgestellten Kenndaten der verschiedenen Branchen verwendet (Tab. 2.6).

**Tab. 2.6** Kennzahlen zur Bioökonomie in verschiedenen Branchen (EU)

Deutschland (Gesamtbranche)	Umsatz pro Arbeits- platz (EUR)	EU (nur bio-basierte Branchenanteile)	Umsatz pro Arbeits- platz (EUR)
<b>Rohstoffproduktion</b>			
		Forstwirtschaft	98.000
		Landwirtschaft	41.000
Land- und Forstwirt- schaft	66.000		
<b>Verarbeitendes Gewerbe</b>			
		Holzindustrie	128.000
Nahrungsmittel	302.000	Nahrungsmittel	223.000
		Getränke	352.000
Textilien, Textil- produkte	271.000	Textilien, Textil- produkte	81.000
		Papier, Papierprodukte	297.000
Verpackung	226.000		
Chemie	430.000	Chemie, Kunststoffe	313.000
Pharmazeutika	322.000	Pharmazeutika	504.000
Automobil	515.000		
<b>Andere Branchen</b>			
		Bio-Treibstoffe	22.000
Bioenergie	151.000	Bioenergie	450.000
Entsorgung	214.000		
Bau	122.000		
Maschinenbau	241.000		

In Deutschland generieren die von der Bioökonomie erreichbaren Branchen mit 6 Mio. Arbeitnehmern einen Umsatz von rund 1475 Mrd. EUR (ohne Konsumgüter). Jeder Arbeitsplatz erzeugt also einen Umsatz von durchschnittlich 242.000 EUR pro Jahr. Auch wenn die das Bild möglicherweise verfälschenden Spitzenreiter und von der EU nicht erfassten Branchen Bau, Konsumgüter, Maschinenbau und Automobilbau unberücksichtigt bleiben, ergibt sich für die übrigen Sektoren eine Arbeitsproduktivität von 247.000 EUR pro Arbeitsplatz.

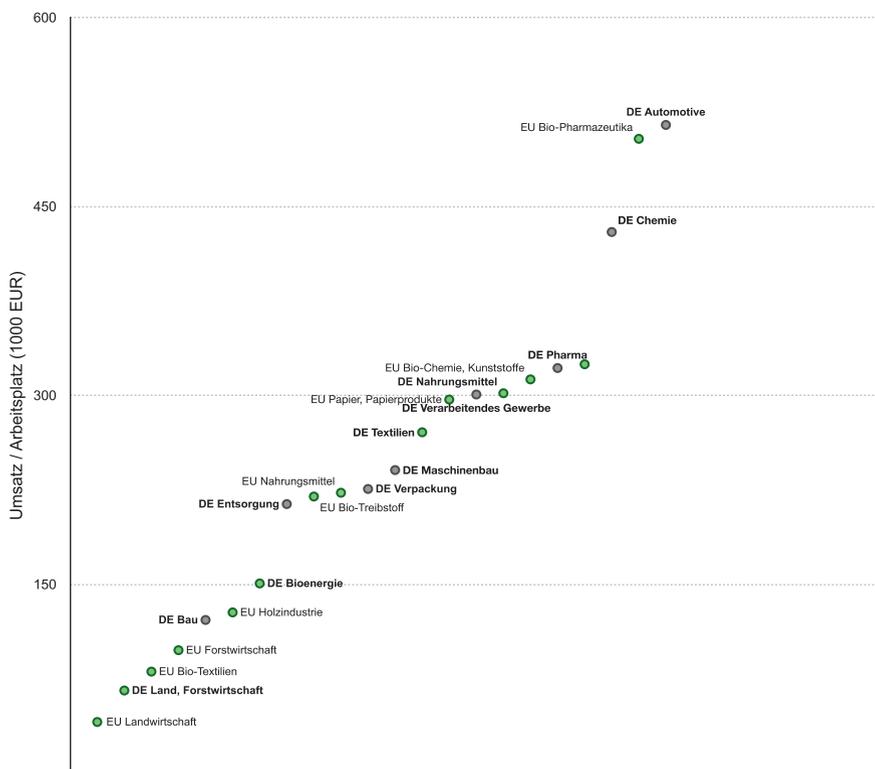
Die von der EU veröffentlichten Daten zu rein bio-basierten Wirtschaftssegmenten lassen dagegen auf eine Arbeitsproduktivität von 123.000 EUR pro Arbeitsplatz schließen. Dort erzeugen 18,5 Mio. Beschäftigte einen Umsatz von 2300 Mrd. EUR. Schon wegen der unterschiedlichen geographischen Ausgangssituation sind beide Datensätze zwar nicht direkt vergleichbar, aber die folgende Schätzung bio-basierter Wirtschaftsbereiche in Deutschland kommt zu einem ähnlichen Schluss. Demnach wird die Arbeitsproduktivität der Bioökonomie in Deutschland mit 126.000–131.000 EUR pro Arbeitsplatz angenommen (Tab. 2.7)<sup>10</sup>.

Die graphische Darstellung der Arbeitsproduktivität der dargestellten Sektoren gibt einen Hinweis, warum rein bio-basierte Sektoren zu geringeren Werten als traditionelle fossil- und biobasierte Branchen führen (Abb. 2.8). Bio-basierte Sektoren sind überwiegend in der Rohstoffproduktion (Forst-, Landwirtschaft) oder in kurzen Wertschöpfungsketten (Bioenergie, Nahrungsmittel) angesiedelt. Der durch Funktionalisierung erreichbare Mehrwert ist in diesen Bereichen noch gering. So weisen Land- und Forstwirtschaft mit weniger als 100.000 EUR pro Arbeitsplatz die geringste Arbeitsproduktivität auf. Die Erzeugung von Nahrungsmitteln erreicht zwischen 200.000 und 300.000 EUR und die von Chemikalien 300.000 bis 430.000 EUR. Das Beispiel Bio-Pharmazeutika, mit denen ein Spitzenwert von 500.000 EUR erreicht wird, bestätigt, dass hohe Funktionalisierung auch in bio-basierten Branchen zu attraktiver Arbeitsproduktivität führt (Tab. 2.6).

**Tab. 2.7** Kenndaten der Bioökonomie (Deutschland)

	Anzahl Unternehmen	Arbeitsplätze (Mio)	Umsatz (Mio EUR)	Umsatz/Arbeitsplatz (EUR)
Minimum	389.552	3,77	447.802	126.000
Maximum	396.238	3,96	520.185	131.000

<sup>10</sup>[http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC113252/jrc113252\\_eubce2018\\_proceedings\\_final\\_1.pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC113252/jrc113252_eubce2018_proceedings_final_1.pdf)



**Abb. 2.8** Umsatz pro Arbeitsplatz in Branchen der Bioökonomie (DE: gesamte Branchen) und EU (nur bio-basierte Branchenanteile)

## 2.4 Wertschöpfung in der Bioökonomie

Die EU definiert den Umsatz wirtschaftlicher Aktivitäten als Gesamtbetrag der in Rechnung gestellten Leistungen (V12110 in EUROSTAT – Structural Business Statistics) und den Mehrwert als Mehrwert zu Faktorkosten (V12150 in EUROSTAT – Structural Business Statistics). Faktorkosten sind Aufwendungen in Form von Löhnen und Gehältern für den Produktionsfaktor Arbeit, Zinsen für den Produktionsfaktor Kapital und Mieten und Pachten für den Produktionsfaktor Boden. Konkret beinhaltet die Berechnung<sup>11</sup> Umsatz, kapitalisierte Produktion, sonstige betriebliche Erträge und Lagerbestände. Davon abgezogen werden bezogene Waren und Dienstleistungen, Steuern auf Produkte, die mit dem Umsatz verbunden, aber nicht absetzbar sind und Steuern und Abgaben, die mit der Produktion verbunden sind.

<sup>11</sup>[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Value\\_added\\_at\\_factor\\_cost](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Value_added_at_factor_cost)

**Tab. 2.8** Kennzahlen zur Bioökonomie in verschiedenen Branchen (EU)

EU (nur bio-basierte Branchenanteile)	Umsatz (Mrd. EUR)	Mehrwert (Mrd. EUR)	Mehrwert (%)
<b>Rohstoffproduktion</b>			
Forstwirtschaft	60	28	47
Landwirtschaft	390	180	46
<b>Verarbeitendes Gewerbe</b>			
Textilien, Textilprodukte	79	29	37
Pharmazeutika	121	29	24
Holzindustrie	178	42	24
Papier, Papierprodukte	184	43	23
Nahrungsmittel	960	193	20
Chemie, Kunststoffe	50	7	14
Getränke	176	23	13
<b>Andere Branchen</b>			
Bioenergie	72	19	27

Für bio-basierte Branchenanteile sind die in Tab. 2.8 gelisteten Mehrwerte veröffentlicht. Die Daten legen nahe, dass der Mehrwert umso höher ist, je kürzer die Wertschöpfungskette des Sektors ist. So beträgt der Mehrwert in den Rohstoff-Branchen Land- und Forstwirtschaft fast 50 %, während die weiterverarbeitenden Gewerbe durchschnittlich 23 % erreichen.

## 2.5 Das Wachstumspotenzial der Bioökonomie

Die traditionellen Bereiche der Bioökonomie wie Land- und Forstwirtschaft und die Sektoren der Ernährung und der Papierindustrie, die heute schon zu 100 % bio-basiert sind, werden mit der zunehmenden Weltbevölkerung und dem gleichzeitig weltweit steigenden Wohlstand und Konsum weiter wachsen. Neue und zusätzliche Optionen ergeben sich aus dem notwendigen Rohstoffwandel in den Bereichen, die heute noch von fossilen Kohlenstoff- und Energiequellen (Kohle, Mineralöl, Erdgas) ausgehen, bzw. erst zum Teil bio-basiert sind. Dies sind vor allem die Textil-, Chemie-, Pharma- und Energiewirtschaft.

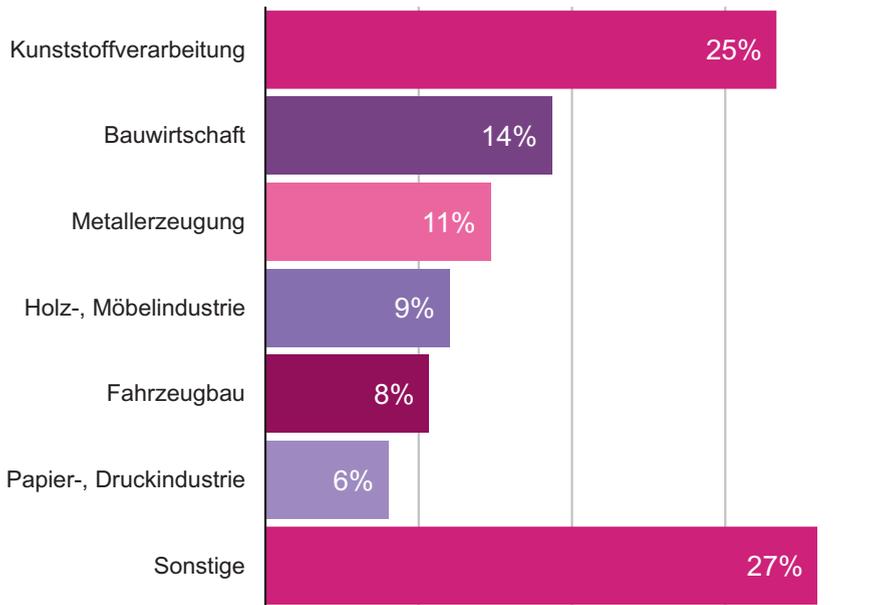
Dabei ist zu beachten, dass nicht alle Branchen in dem notwendigen Rohstoffwandel unbedingt auf bio-basierte Rohstoffe angewiesen sind. So hat die Energiewirtschaft durchaus nachhaltige Alternativen über bio-basierte Rohstoffe hinaus. Für die Stromgewinnung stehen als Kohlenstoff-freie Alternativen Wasserkraft, Solar-, Wind- und Geothermie sowie in vielen Ländern auch Kernkraft zur Verfügung. Für die Speicherung von Strom ist Wasserstoff, der mittels Stroms durch Wasser-Hydrolyse erzeugt werden kann (power2gas) ein technisch erprobter Treibstoff für die Mobilität. Nur für den Flugverkehr wird Treibstoff einer so hohen Energiedichte benötigt, wie er auf absehbare Zeit nur mit kohlenstoffhaltigen Treibstoffen (Bio-Kerosin) angeboten werden kann. Flugtreibstoff hat heute ein Marktvolumen von 300 Mio. t und macht 13 % des gesamten Treibstoffverbrauchs aus<sup>12</sup>. Insgesamt basiert der europäische Energiebereich heute erst zu 17 % auf nachhaltigen Energien; 83 % sind nach wie vor fossil-basiert. Auch dieser Anteil muss durch emissionsneutrale Quellen ersetzt werden, wobei wie bereits erwähnt Bioenergie nur eine von mehreren Optionen ist. Das Wachstumspotenzial der Bioökonomie ist deshalb in diesem Bereich kleiner als der heutige fossile Anteil anzunehmen.

Materialien produzierende Industrien wie die Textil-, Chemie-, Pharma-Industrie sind dagegen von der Verfügbarkeit von Kohlenstoff vollständig abhängig, weil ihre Produkte Kohlenstoff enthalten. Hier handelt es sich um biologische Materialien und bio-basierte Produkte, die stofflich zur organischen Chemie zählen. Deren Produkte bestehen definitionsgemäß aus Kohlenstoffverbindungen und es gibt dazu auch keine Alternative. Der Bioökonomie wird Wachstumspotenzial deshalb vor allem in diesen Industrien, die Biomasse stofflich verwerten, zugebilligt. Die Größenordnung des Potenzials entspricht dem noch fossil-basierten Produktionsanteil dieser Industrien. Textilien sind noch zu 50 %, Chemie und Kunststoffe zu 90 % und Pharmazeutika zu 70 % fossil-basiert. Die hinter diesen Zahlen stehenden Volumen sind enorm: 50 % Textilfasern entsprechen 26 Mrd. t Baumwolle oder adäquaten anderen bio-basierten Fasern. In der organischen Chemie geht es vor allem um Grundchemikalien, die zu der Vielfalt chemischer Produkte weiterverarbeitet werden. Wichtig sind die heute auf fossiler Basis gewonnenen Grundchemikalien Ethylen (19,5 Mio. t in EU-27, 2011), Propen (14,3 Mio. t, EU-27, 2011), Butadien (2,8 Mio. t, EU-27, 2011) Methan, Benzol (7,4 Mio. t, EU-27, 2011), Toluol (1,5 Mio. t., EU-27, 2011) und Xylol<sup>13</sup>. Dabei geht es sowohl darum, diese Moleküle bio-basiert herzustellen und in die etablierten Prozesse einzuspeisen (sog. *drop-ins*), als auch alternative Stoffe zu entwickeln, die als neue Grundchemikalien dienen können. Der Chemieindustrie kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, denn sie steht mit vielen Produkten am Anfang der Wertschöpfungskette bis zum Konsumentenprodukt. Nur 24 % des Absatzes gehen direkt in den Konsum; 71 % werden in der chemisch/pharmazeutischen Industrie selbst weiterverarbeitet und gehen in andere produzierende Gewerbe (Abb. 2.9).

---

<sup>12</sup><http://www.ekkw.de/umwelt/pdfs/flugverkehr.pdf>

<sup>13</sup>[https://de.wikipedia.org/wiki/Organische\\_Chemie](https://de.wikipedia.org/wiki/Organische_Chemie)



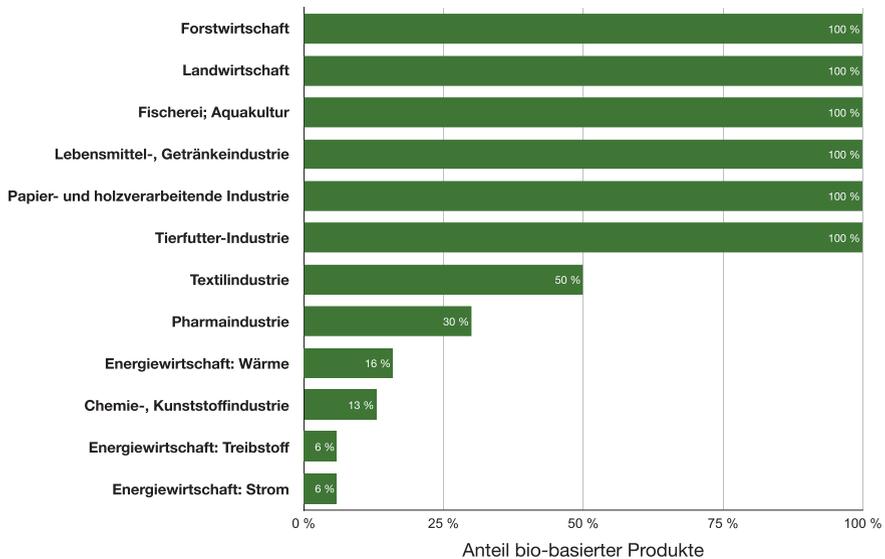
**Abb. 2.9** Absatz der Chemieindustrie in andere Chemiebranchen des produzierenden Gewerbes (Deutschland, 2014)

In der Vielfalt der Endanwendungen spiegelt sich auch die Industriestruktur der deutschen Chemieindustrie. Zwar haben 93 % der Unternehmen weniger als 500 Beschäftigte, aber die wenigen sehr großen Konzerne erreichen zusammen 73 % des Gesamtumsatzes der Branche<sup>14</sup>. Sie sind diejenigen Unternehmen, die über die großen Kapazitäten der Grundchemie verfügen. Kleinere Unternehmen sind in den spezialisierten Wertschöpfungsketten zu den vielfältigen Abnehmerindustrien tätig. Wegen der zentralen Rolle der Chemie für die verarbeitenden Gewerbe insgesamt und wegen der Abhängigkeit von nachhaltigen Kohlenstoffquellen werden Wertschöpfungsketten zu biobasierten Chemikalien in den folgenden Abschnitten in den Vordergrund gestellt.

## 2.6 Anteil der Bioökonomie in verschiedenen Sektoren

Die vorangegangenen Abschnitte haben gezeigt, dass die Bioökonomie bereits Teil der Wirtschaft ist. Dieser Abschnitt beschäftigt sich damit, welchen Anteil biobasierte Produkte in den verschiedenen Branchen heute haben (Abb. 2.10).

<sup>14</sup><https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/2018-08-08-foliensatz-branchenportraet-deutsche-chemisch-pharmazeutische-industrie.pdf>



**Abb. 2.10** Anteil biobasierter Produkte in verschiedenen Sektoren

Land- und Forstwirtschaft sowie die Fischerei sind die Bereiche, die primäre pflanzliche und tierische Biomasse erzeugen. Ihre Produkte sind vollständig biologischer Natur (die wirtschaftliche Tätigkeit in diesen Bereichen beinhaltet allerdings auch die Verwendung fossiler Treibstoffe für Maschinen und Transport, fossiler Energie für die Standardisierung und Lagerung und fossil-basierter Dünge- und Pflanzenschutzmittel). In der Textilindustrie hat Baumwolle als bedeutendster Textilrohstoff weltweit einen Anteil von 50 %<sup>15</sup>. 30 % des globalen Pharma-Umsatzes werden mit biobasierten Medikamenten von Antibiotika bis zu monoklonalen Antikörpern generiert<sup>16</sup>. Der biobasierte Rohstoffanteil der Chemieindustrie beträgt 10 % (EU<sup>17</sup>) bis 13 % (Deutschland)<sup>18</sup>. Auch die Energiewirtschaft greift auf Biomasse zurück. 16 % beträgt ihr Anteil an der weltweiten Wärmeerzeugung. In der EU ist der Anteil wesentlich höher; mit 54 % Anteil an der weltweiten Produktion von Holz-Pellets ist die EU sogar führend<sup>19</sup>. Holz wird auch in Biomasse-Heiz-Kraftwerken sowohl für die Erzeugung von Wärme als auch Strom eingesetzt. Auch Biogas wird größtenteils verstromt. Insgesamt beträgt der Anteil von Stromerzeugung auf Basis von Biomasse in der EU 6 %.

<sup>15</sup><https://www.rohstoff-welt.de/basiswissen/baumwolle-cotton.php>

<sup>16</sup><https://bioeconomie.de/branche/pharma>

<sup>17</sup>[https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=Dorothea+Arns,+Petrochemicals+Europe+\(2018\)++Chemical+raw+materials+in+Europe+%E2%80%93Trends+%26+Challenges&ie=UTF-8&oe=UTF-8](https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=Dorothea+Arns,+Petrochemicals+Europe+(2018)++Chemical+raw+materials+in+Europe+%E2%80%93Trends+%26+Challenges&ie=UTF-8&oe=UTF-8)

<sup>18</sup><https://bioeconomie.de/branche/chemie>

<sup>19</sup>[https://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/Agrarwirtschaft/EU-weltweit-fuehrend-bei-Erzeugung-von-Holzpellets\\_article1500218198.html](https://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/Agrarwirtschaft/EU-weltweit-fuehrend-bei-Erzeugung-von-Holzpellets_article1500218198.html)

**Tab. 2.9** Beitrag verschiedener Sektoren der Bioökonomie zur gesamten Bioökonomie (EU28, 2016)

Sektor	Arbeitsplätze (%)	Umsatz (%)	Mehrwert (%)
<b>traditionelle Sektoren der Bioökonomie</b>			
Landwirtschaft	51,0	16,8	28,0
Forstwirtschaft	3,0	2,2	3,8
Fischerei	1,2	0,5	1,1
Herstellung von Lebensmitteln, Getränken, Tabakwaren	25,0	51,0	37,6
Herstellung von bio-basierten Textilien	5,6	4,6	4,6
Herstellung von Holzprodukten und Möbeln	7,8	7,7	7,6
Herstellung von Papier	3,6	8,3	7,3
<b>Summe</b>	<b>97,3</b>	<b>91,2</b>	<b>90,0</b>
<b>sich entwickelnde Sektoren der Bioökonomie</b>			
Herstellung von bio-basierten Chemikalien, Kunststoffen, Kautschuk (außer Bio-Treibstoffe)	2,5	7,8	9,1
Herstellung von flüssigen Bio-Treibstoffen	0,1	0,5	0,4
Herstellung von Bio-Elektrizität	0,1	0,5	0,5
<b>Summe</b>	<b>2,7</b>	<b>8,8</b>	<b>10,0</b>

Genauso groß ist der Anteil bio-basierter Treibstoffen wie Bioethanol und Biodiesel im Treibstoff-Sektor<sup>20</sup>.

In diesen Bereichen beschäftigt die Bioökonomie in Europa (EU28) 18 Mio. Menschen und erzeugt einen Umsatz von 2300 Mrd. EUR mit einem Mehrwert von 620 Mio. EUR (27 % vom Umsatz). Dies entspricht einem Anteil an der Beschäftigung von 8,2 % und am Bruttosozialprodukt von 4,2 % (Ronzon 2018). Den Beitrag einzelner Branchen weist Tab. 2.9 aus (Ronzon 2018).

Landwirtschaft und der Ernährungssektor dominieren und machen zusammen rund zwei Drittel des Umsatzes und des Mehrwerts und drei Viertel der Beschäftigung aus. Der Beitrag der anderen traditionell bio-basierten Sektoren ist sehr unterschiedlich und wegen der spezifischen Arbeitsproduktivität variiert auch das Verhältnis von Beschäftigung zu Mehrwert stark. Insgesamt beträgt der Anteil der etablierten Bioökonomie an der Beschäftigung 97 %, am Umsatz 91 % und am erzeugten Mehrwert 91 %. Die sich neu in die Bioökonomie entwickelnden Branchen binden zwar nur 2,7 % der Arbeitskräfte, erzeugen aber 10 % des Mehrwerts.

<sup>20</sup><http://www.europeanbioenergyday.eu/bioenergy-facts/bioenergy-in-europe/what-is-the-eu28-bioenergy-consumption/>



## 3.1 Produktion primärer Biomasse

Wesentliche, aber nicht alle Wertschöpfungsketten der Bioökonomie beginnen mit der Land- und Forstwirtschaft. Es geht um die Produktion pflanzlicher und tierischer primärer Biomasse für die Ernährung sowie die industrielle stoffliche und energetische Verwertung. Die Verarbeitungsstufen dieser Wertschöpfungsketten fraktionieren die Biomasse in Haupt- und Nebenprodukte; Zusammensetzung und Funktionalität der Biomasse an sich werden aber nicht verändert.

### 3.1.1 Land- und Forstwirtschaft

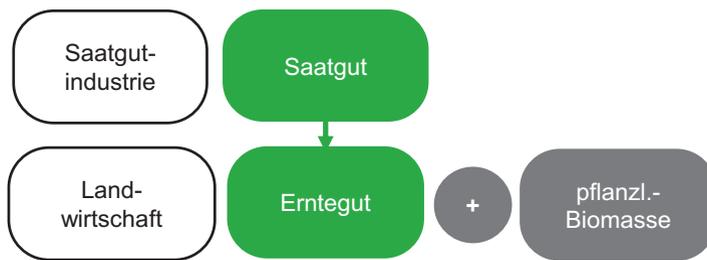
Wichtige pflanzliche Agrarprodukte sind Getreide, Ölsaaten und Zucker-/Stärkepflanzen sowie Fleisch. Tab. 3.1 zeigt, welche großen Flächen bewirtschaftet werden und nennt die Produktionsvolumina wichtiger Agrarprodukte. Dabei ist zu beachten, dass diese Flächen für den Rohstoffbedarf der Bioökonomie nicht beliebig erweiterbar sind und der größte Teil der heutigen Agrarproduktion in den Ernährungssektor geht.

### 3.1.2 Landwirtschaft

Die Produktion der pflanzlichen Agrarprodukte erfordert eine relativ kurze Wertschöpfungskette: Der Landwirt kultiviert von Saatgut ausgehend Nutzpflanzen und produziert das Erntegut. So baut er beispielsweise die Nutzpflanze Weizen an und produziert das Erntegut Weizenkorn. Die restliche Biomasse der Nutzpflanze wird im Allgemeinen als Nebenprodukt bewertet. Auch die vorgelagerte Herstellung des Saatguts gehört in die landwirtschaftliche Wertschöpfungskette, wie Abb. 3.1

**Tab. 3.1** Kennzahlen der Land- und Forstwirtschaft (EU) ([https://www.maikomitee.de/Fakten/Statistik/Europäische\\_Union](https://www.maikomitee.de/Fakten/Statistik/Europäische_Union), <https://www.gabot.de/ansicht/news/kartoffeln-anbauflaeche-und-nachfrage-in-europa-gestiegen-386589.html>, <http://www.staerkeverband.de/html/staerke.html>, <http://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/eu-zuckermarkt.html>, <https://www.ama.at/getattachment/beab514d-55b6-4aef-b164-43a8b9ba8654/welt18.pdf>, [https://www.proplanta.de/Fotos/Anbauflaeche-Ertrag-und-Erntemenge-von-Zuckerrueben-und-Futtermueben-in-den-EU-Mitgliedslaendern\\_Bild1226062039.html](https://www.proplanta.de/Fotos/Anbauflaeche-Ertrag-und-Erntemenge-von-Zuckerrueben-und-Futtermueben-in-den-EU-Mitgliedslaendern_Bild1226062039.html), <https://www.topagr.com/news/Home-top-News-EU-ist-weltweit-zweitgroesster-Fleischerzeuger-1640300.html>, <https://de.statista.com/outlook/40020000/102/fleisch--wurstwaren/europa>, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farm\\_structure\\_statistics/de#Landwirtschaftliche\\_Arbeitskr.C3.A4fte](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farm_structure_statistics/de#Landwirtschaftliche_Arbeitskr.C3.A4fte))

	Fläche (Mio ha)	Produktion (Mio t)
Getreide	57,4	315,2
Mais	14,5	65,0
Ölsaaten	11,6	35,5
Zuckerrüben	1,8	15,8
Fleisch	130 Mio Großvieheinheiten	44,0



**Abb. 3.1** Wertschöpfungskette zu landwirtschaftlichem Erntegut und Biomasse

zeigt. In dieser und allen folgenden Abbildungen sind die beteiligten Industrien weiß, die Zielprodukte grün und die Nebenprodukte grau dargestellt.

Die Wertschöpfung der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette soll am Beispiel von Weizen beispielhaft dargestellt werden. Für die Bestellung von 1 ha werden 150 kg Weizensaat<sup>1</sup> zum Preis von 150 EUR<sup>2</sup> ausgebracht. Bei einem Ertrag von 8 t/ha<sup>3</sup>, die zu 200 EUR/t<sup>4</sup> vermarktet werden, beträgt der Umsatz pro Hektar 1600 EUR. Damit ist das Verfahren der Landwirtschaft zwar sehr vereinfacht beschrieben, aber genau in dieser Erzeugung von Biomasse liegt die Wertschöpfung.

<sup>1</sup><https://de.wikipedia.org/wiki/Tausendkornmasse>

<sup>2</sup><https://www.saaten-union.de/index.cfm/action/varshop.html>

<sup>3</sup><https://agrarheute.landlive.de/boards/thread/65943/page/1/>

<sup>4</sup><https://www.finanzen.net/rohstoffe>

Sie ist umso höher, je wertvoller die Inhaltsstoffe der Biomasse sind. So führt als Lebensmittel geeigneter Körnermais (180 EUR/t)<sup>5</sup> im Vergleich zu Energiemais (100 EUR/t)<sup>6</sup>, der für die Erzeugung von Biogas angebaut wird, zu höherer Wertschöpfung. Obwohl die moderne mechanisierte Landwirtschaft nicht sehr arbeitsintensiv ist, bleibt die Wertschöpfung für unverarbeitete Biomasse pro Arbeitsplatz im Vergleich zu anderen Branchen gering. Mit durchschnittlich 41.000 EUR belegt sie den letzten Platz unter den in Tab. 2.6 aufgelisteten Sektoren. Dazu tragen der hohe Anteil an Nebenprodukten und die hohe Flächenintensität bei. Bei der Produktion von Weizen beträgt beispielsweise der holzartige Anteil in Form von Stroh rund 50 %<sup>7</sup>, hat aber mit 80 EUR/t<sup>8</sup> nur einen geringen Wert. Die Wertschöpfung basiert deshalb im Wesentlichen nur auf einem Teil der landwirtschaftlichen Produktion; im Beispiel des Weizens auf den Weizenkörnern. Eine weitere Bedingung der Landwirtschaft ist die Bearbeitung sehr großer Flächen (insgesamt 40 % der EU sind landwirtschaftliche Flächen<sup>9</sup>). Diese Flächenintensität bedingt eine dezentrale Wirtschaftsstruktur; ein Umstand, der in dem der Wettbewerbsfähigkeit der Bioökonomie mit der fossil-basierten Wirtschaft gewidmeten Abschn. 4.1 noch zu bedenken sein wird.

Mit der Ernte der Biomasse und einer groben Fraktionierung endet die Wertschöpfungskette eines rein landwirtschaftlichen Betriebs. Zu Fraktionierung gehört beispielsweise die Abtrennung von Stroh und durch Dreschen die Trennung von Korn und Spreu. Hier bietet die Bioökonomie das Potenzial, dass diese bisher geringwertigen Nebenprodukte als industrielle Kohlenstoffquelle an Wert gewinnen.

Die Fraktionierung von Öl oder Zucker aus Öl- oder Zuckerpflanzen wird dagegen von Ölpresen und Zuckerfabriken durchgeführt, die damit in der gesamten Wertschöpfungskette eine eigene Stufe darstellen. Sie zählen zu den weiterverarbeitenden Industrien, obwohl sie das landwirtschaftliche Produkt Öl oder Zucker zwar aus der Biomasse fraktionieren und aufreinigen, aber nicht transformieren. Auch hier entstehen geringwertige Nebenprodukte, die in der Bioökonomie Rohstoffpotenzial entwickeln können. In der Zuckerraffination sind dies u. a. Rübenschnitzel. Presskuchen aus der Ölpresung werden als Tierfutter vermarktet und können zukünftig auch eine wirtschaftliche Quelle für Phosphat darstellen (Abb. 3.2 und 3.3).

---

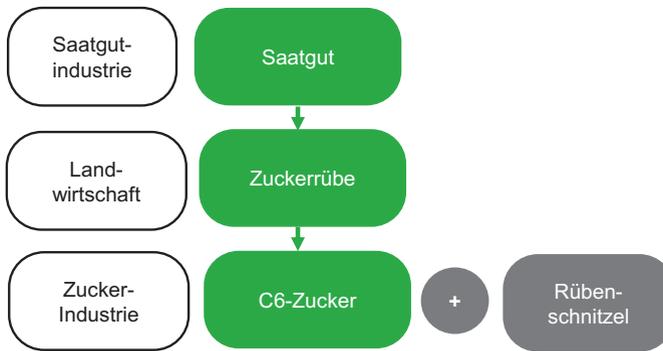
<sup>5</sup>[http://www.raiffeisen.com/markt/telegramm/produkt/euronext/mais/index\\_html](http://www.raiffeisen.com/markt/telegramm/produkt/euronext/mais/index_html)

<sup>6</sup><https://www.saaten-union.de/index.cfm/action/varshop.html>

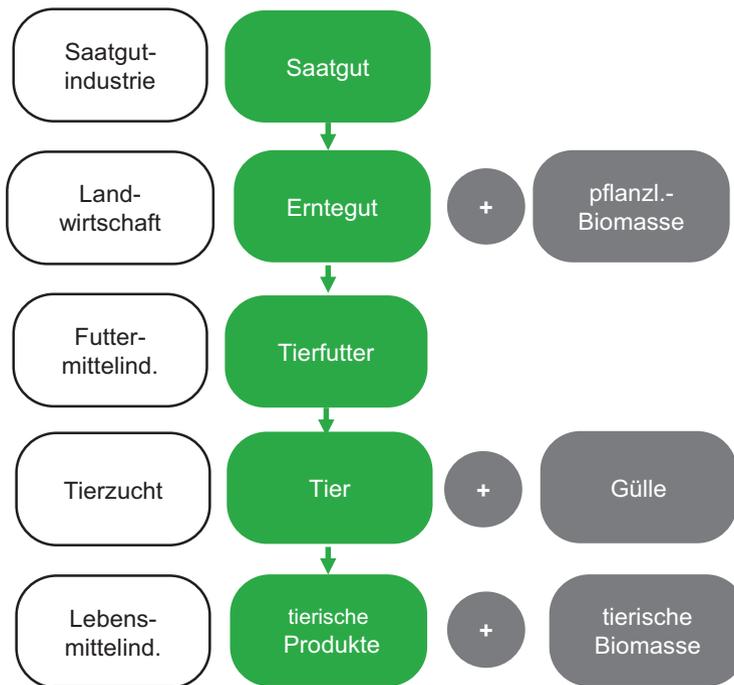
<sup>7</sup><https://de.wikipedia.org/wiki/Stroh>

<sup>8</sup><https://www.agrarheute.com/pflanze/strohpreise-soviel-kostet-grossballen-441423>

<sup>9</sup>[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farm\\_structure\\_statistics/de#undefined](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farm_structure_statistics/de#undefined)



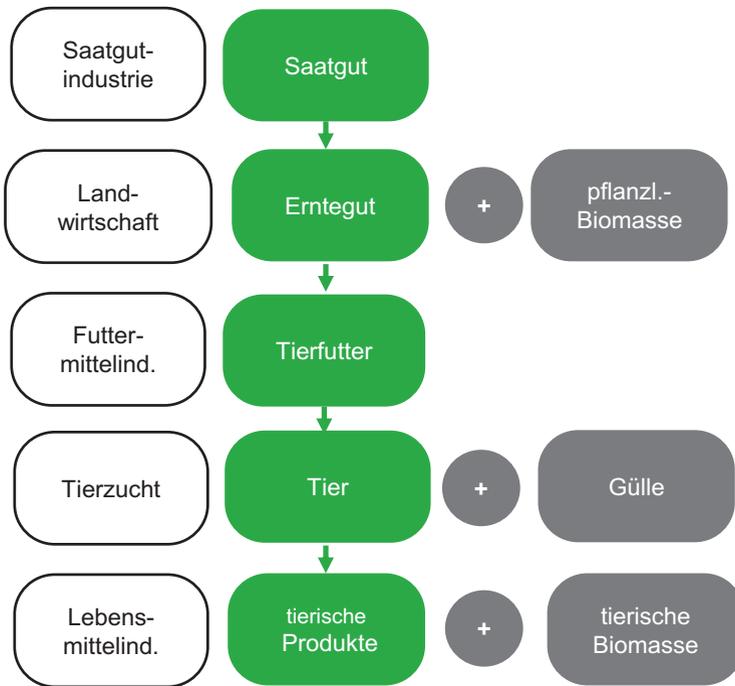
**Abb. 3.2** Wertschöpfungskette zu C6-Zucker aus Zuckerrübe



**Abb. 3.3** Wertschöpfungskette zu Rapsöl aus Raps

### 3.1.3 Tierhaltung und tierische Produkte

Landwirtschaftliche Betriebe die Tierhaltung betreiben, verlängern ihre Wertschöpfungskette, indem sie pflanzliches Tierfutter in tierische Produkte wie Milch, Eier oder Fleisch transformieren. Die damit einhergehende Qualitätssteigerung



**Abb. 3.4** Wertschöpfungskette zu tierischen Produkten

bezüglich Protein-, Fett- und Vitamingehalt sowie die Befriedigung eines bedeutenden Marktbedarfs erlauben eine höhere Wertschöpfung. So ist der auf den Proteingehalt bezogene Nährwert von Fleisch mit rund 180 g/kg<sup>10</sup> zwar nur um 60 % höher als der von Weizen (110 g/kg<sup>11</sup>), aber ein gutes Steak erlöst im Supermarkt mit 40 EUR/kg<sup>12</sup> im Vergleich zu Bio-Weizen (1,20 EUR/kg<sup>13</sup>) einen um Faktor 33 höheren Preis. Nebenprodukte sind Reststoffe aus der Tierhaltung (Gülle) und Schlachtabfälle (Abb. 3.4).

Die Wertschöpfung liegt in der Verlängerung der Wertschöpfungskette und der damit verbundenen Qualitätssteigerung. Auch hier fallen Nebenprodukte wie Gülle in der Tierzucht und Schlachtabfälle in der Fleischerzeugung an. Dabei ist Gülle

<sup>10</sup><https://novafeel.de/ernaehrung/kalorientabelle/kalorientabelle-fleisch-fisch.htm>

<sup>11</sup><http://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/C110000/Weizen-roh.php>

<sup>12</sup>[https://shop.rewe.de/p/rewe-bio-rinder-rumpsteak-200g/1287126?ecid=pla\\_google\\_ls\\_Frische-Kuehlung-Fleisch\\_Rind\\_REWE-Bio\\_1287126\\_nn\\_nn&gclid=CjwKCAjwo\\_HdBRBjEiwAiPPXpB9sZWVJ6ulV7YVPP\\_a84dsHQ8AFJGvJaTGus5BjL\\_PU7Oyd-P7A2AjxoCPU4QAvD\\_BwE&s\\_kwid=AL!903!3!219237785517!!g!356463581983!&ef\\_id=W7zPAGAAAUyF5jaw:20181009155338:s](https://shop.rewe.de/p/rewe-bio-rinder-rumpsteak-200g/1287126?ecid=pla_google_ls_Frische-Kuehlung-Fleisch_Rind_REWE-Bio_1287126_nn_nn&gclid=CjwKCAjwo_HdBRBjEiwAiPPXpB9sZWVJ6ulV7YVPP_a84dsHQ8AFJGvJaTGus5BjL_PU7Oyd-P7A2AjxoCPU4QAvD_BwE&s_kwid=AL!903!3!219237785517!!g!356463581983!&ef_id=W7zPAGAAAUyF5jaw:20181009155338:s)

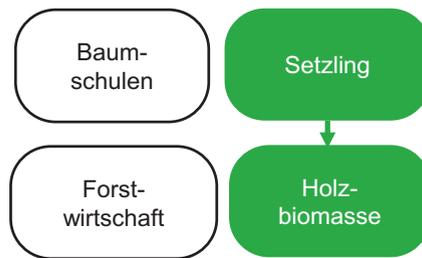
<sup>13</sup>[https://biogewinner.de/Bio-Weizen-25-kg-Bioland?gclid=CjwKCAjwo\\_HdBRBjEiwAiPP-XpAFkBIRrQqUhMwyd8lw-yMK0b-s7fFSzQ-S3g0kg1WhR8Kh-B9eMlhoCfZYQAvD\\_BwE](https://biogewinner.de/Bio-Weizen-25-kg-Bioland?gclid=CjwKCAjwo_HdBRBjEiwAiPP-XpAFkBIRrQqUhMwyd8lw-yMK0b-s7fFSzQ-S3g0kg1WhR8Kh-B9eMlhoCfZYQAvD_BwE)

nicht nur als geringwertiges Nebenprodukt problematisch, sondern auch schwierig umweltgerecht zu entsorgen. Auch hier bietet die Bioökonomie Lösungen an.

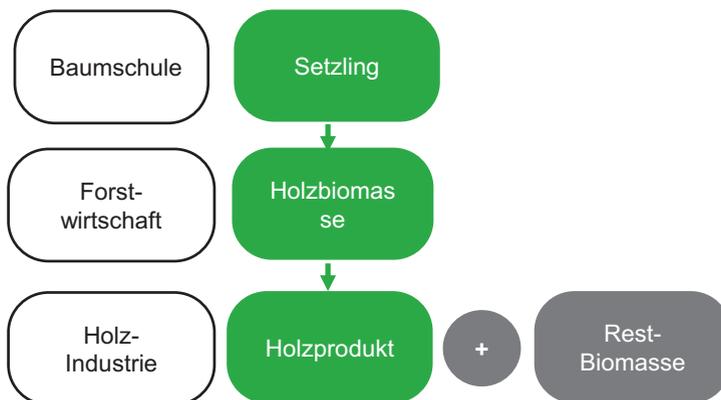
### 3.1.4 Forstwirtschaft

Die Wertschöpfung in der Forstwirtschaft hat eine ähnliche Struktur; sie liegt in der Vermehrung holzartiger Biomasse vom Setzling zum Baum (die Erzeugung des Setzlings in der Baumschule wird hier der Einfachheit halber ausgeklammert; Abb. 3.5).

Auch diese Produktionsweise ist sehr flächenintensiv; 40 % der EU-Flächen sind bewaldet<sup>14</sup> und werden größtenteils bewirtschaftet. Die Wertschöpfung pro Arbeitsplatz ist höher als in der Landwirtschaft angegeben (Tab. 2.6), weil die Zahlen zur Forstwirtschaft auch weiterverarbeitende Industrien wie Sägewerke beinhalten. Deren Wertgenerierung liegt in der Standardisierung des Baumholzes zu Konstruktionsholz und anderen Holzprodukten. Reststoffe sind Restholz (Äste) und Rinde (Abb. 3.6).



**Abb. 3.5** Wertschöpfungskette der Forstwirtschaft



**Abb. 3.6** Wertschöpfungskette zum Holzprodukt

<sup>14</sup><https://www.forstwirtschaft-in-deutschland.de/waelder-entdecken/wald-weltweit/forstwirtschaft-in-der-eu/>

Dabei wird die Funktionalität des Holzes an sich nicht verändert. Mit Restholz, Rinde, Sägemehl etc. fallen wieder geringwertige Reststoffe an, die ebenfalls Rohstoffpotenzial für die Bioökonomie haben. Auch Holz insgesamt hat eine Zukunft als industrielle Kohlenstoffquelle für die Erzeugung von Wärme, Treibstoff und Chemieprodukten.

### 3.2 Transformation von Biomasse

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, führt die traditionelle Bioökonomie zu Produkten auf Basis land- und forstwirtschaftlicher Biomasse, die in ihrer Zusammensetzung und Funktionalität nicht wesentlich verändert sind. Lebensmittel, Tierfutter und Textilien bestehen aus aufgereinigten und verarbeiteten pflanzlichen Fraktionen wie gedroschenen und gemahlene Getreidekörnern (Mehl), pelletierten Tierfuttermischungen oder Leinenfasern aus aufbereitetem Flachs. Holz wird direkt werkstofflich verwendet, zu Cellulose fraktioniert oder zu Papier verarbeitet.

Heute		Morgen	
Produkte auf Basis		Produkte auf Basis	
forstwirtschaftliche Biomasse und landwirtschaftliche Reststoffe (Lignocellulose)	landwirtschaftliche Biomasse	forstwirtschaftliche Biomasse und landwirtschaftliche Reststoffe (Lignocellulose)	landwirtschaftliche Biomasse
	Lebensmittel		Lebensmittel
	Tierfutter		Tierfutter
	Textilien	Textilien	
	Pharmazeutika	Pharmazeutika	
	Chemikalien	Chemikalien	
	Kunststoffe	Kunststoffe	
	Treibstoff	Treibstoff	
Werkstoffe		Werkstoffe	
Strom		Strom	
Wärme		Wärme	
Papier		Papier	
Cellulose		Cellulose	
Konstruktionsholz		Konstruktionsholz	

Abb. 3.7 Beispiele bio-basierter Chemieprodukte

Erst die Transformation von Biomasse zu Chemikalien, Pharmazeutika, Kunststoffen und Treibstoff verändert die stoffliche Zusammensetzung, den Aggregatzustand, die Kohlenstoff- und Energiedichte auf eine Weise, die zu neuen Funktionalitäten führt. Beispiele sind flüssige Treibstoffe hoher Energiedichte (Bioethanol, Biodiesel), enantiomerenreine Chemikalien mit hohem ernährungsphysiologischem Wert (essentielle Aminosäuren), Pharmazeutika mit antibiotischer Funktionalität (Penicillin) oder Polymere hoher Gasdichtigkeit (Polyethylenfuranat (PEF)).

Abb. 3.2 gibt einen Überblick über die sich verändernden Wertschöpfungsoptionen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Holz wird heute fast ausschließlich werkstofflich für die Produktion von Konstruktionsholz, Papier, Cellulose oder energetisch verwendet; Transformationsprodukte wie Treibstoffe, Chemikalien, Pharmazeutika und Kunststoffe gehen im Wesentlichen von landwirtschaftlicher Biomasse aus. Allerdings ist absehbar, dass auch Holz und holzartige Biomasse zukünftig als Rohstoff für Transformationsverfahren dienen. Dies ist zum einen dem wachsenden Bedarf an bio-basierten Rohstoffen geschuldet, der von konventionellen Agrarprodukten nicht bedient werden kann. Zum anderen sind neue Transformationsverfahren in der Entwicklung, die auch die Verwendung dieser Kohlenstoffquellen ermöglichen. Erste Anlagen zur Bioethanol-Herstellung auf Basis von Holz und Stroh sind bereits im Betrieb.

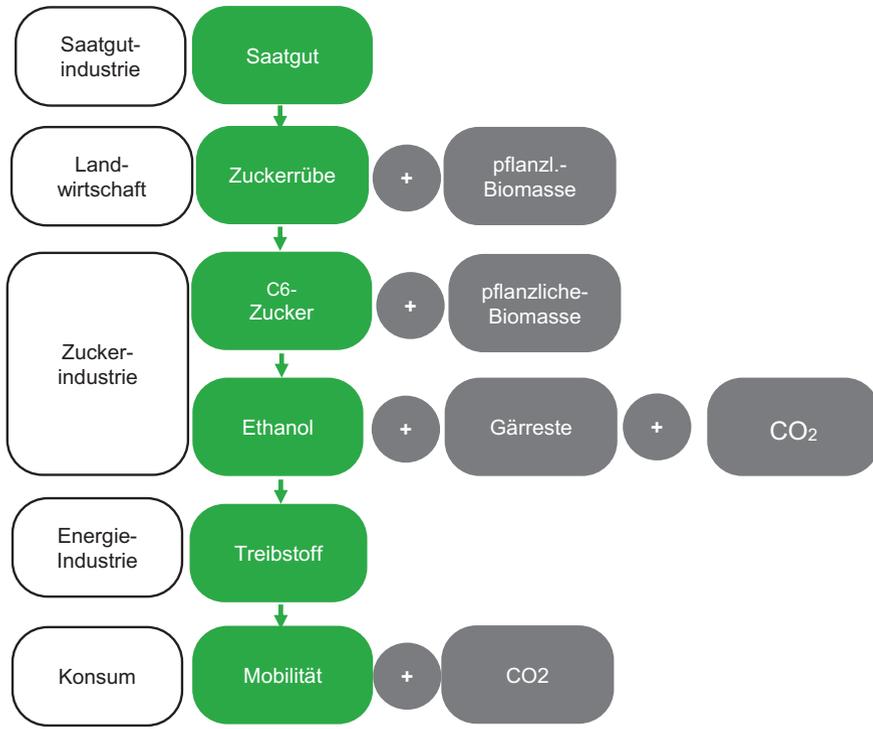
Im Folgenden werden entsprechende Wertschöpfungsketten detailliert betrachtet.

### 3.2.1 Transformation von Zucker

Heutige Transformationsverfahren von Zucker verwenden landwirtschaftlich hergestellten Zucker, der von den in biotechnologischen Fermentationsverfahren eingesetzten Mikroorganismen natürlicherweise umgesetzt werden kann. Er ist dadurch gekennzeichnet, dass er sechs Kohlenstoffatome enthält (C6-Zucker); ein Umstand, der bei der Verwendung anderer Zuckerquellen zu beachten ist (siehe unten).

Zucker lässt sich bekanntlich zu Ethanol transformieren, ein Prozess, mit dem Bioethanol als Treibstoff-Zusatz weltweit in sehr großen Volumina hergestellt wird. Die in Abb. 3.2 dargestellte Wertschöpfungskette zum Zucker verlängert sich also (Abb. 3.8). Als Nebenprodukte fallen wie in jeder aeroben fermentativen Transformation der Gärrest und  $\text{CO}_2$  an. Der Gärrest besteht aus der Biomasse der Mikroorganismen, die einen Teil des Zuckers in das Produkt Ethanol transformieren. Dabei setzt der mikrobielle Stoffwechsel  $\text{CO}_2$  frei. Insgesamt wird also nur ein Teil des Zucker-Kohlenstoffs in das angestrebte Produkt überführt; der Rest verbleibt in Nebenprodukten.

Bezüglich des Nebenprodukts  $\text{CO}_2$  ist anzumerken, dass bei fermentativen Verfahren  $\text{CO}_2$  in einem relativ konzentrierten Gasstrom aus einer technischen Anlage emittiert wird (eine sogenannte Punktquelle), während der Gebrauch als Treibstoff die Emission auf sehr viele Kraftfahrzeuge verteilt. Dies wird bei der Diskussion der Nutzung von Nebenprodukten von Bedeutung sein.

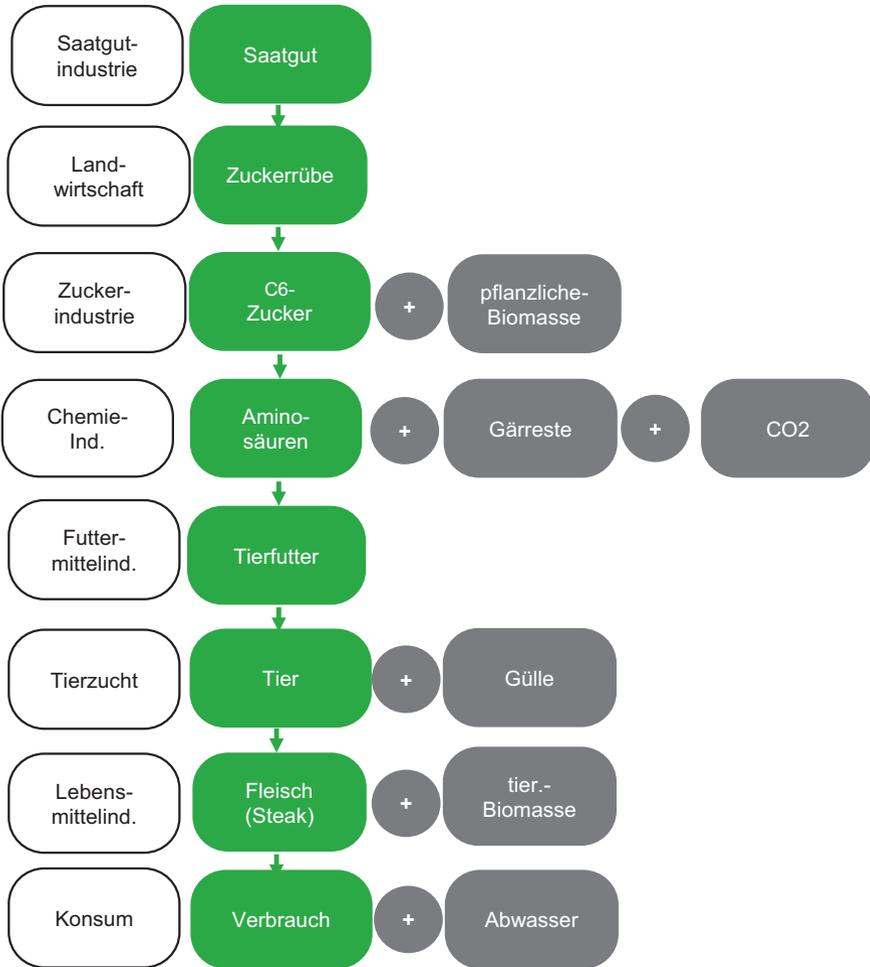


**Abb. 3.8** Wertschöpfungskette zu Ethanol

Ein Beispiel für eine weit längere Wertschöpfungskette ist die Transformation von Zucker zu essenziellen Aminosäuren. Sie werden in der Medizin als Bestandteil von Infusionslösungen und als Nahrungs- und Futtermitteladditiv benötigt und werden fermentativ ausgehend von Zucker hergestellt (Abb. 3.9). Die Wertschöpfungskette zum Zucker (110 EUR/t) verlängert sich also wertsteigernd bis zur Aminosäure (2000 EUR/t) und ggf. – unter Beteiligung weiterer Sektoren – bis zum Steak-Fleisch, das zu 40.000 EUR/t vermarktet werden kann.

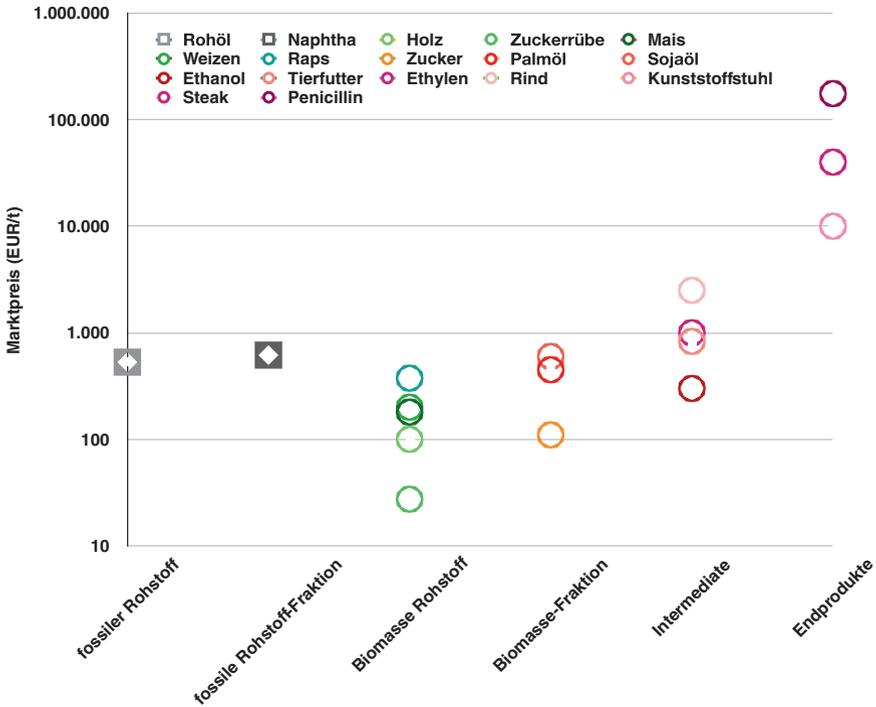
Abb. 3.10 zeigt die Marktpreise beispielhafter Produkte entlang von Wertschöpfungsketten. Zum Vergleich werden auch fossile Rohstoffe gezeigt, auf die weiter unten eingegangen wird. Biomasse-Rohstoffe wie Holz, Weizen, Zuckerrübe kosten zwischen 30 und 400 EUR/t. Daraus erzeugte Biomasse-Fractionen sind zu 100–600 EUR/t am Markt erhältlich. Weiterverarbeitete Fractionen wie Ethanol oder Schlachtvieh gewinnen an Wert und erreichen 300–2500 EUR/t. Die höchste Wertschöpfungsstufe ist mit Konsumentenprodukten erreicht. Ihr Wert liegt für die genannten Beispiele zwischen 10.000 und 176.000 EUR/t.

Zwar werden mit höheren Wertschöpfungsstufen höhere Preise erzielt. Das bedeutet aber nicht, dass auch der Mehrwert automatisch steigt. Wie Abschn. 2.4 zum Mehrwert in den verschiedenen Sektoren gezeigt hat, sinkt der Anteil des Mehrwerts am Umsatz sogar mit der Wertschöpfungskette. Die Ursache liegt



**Abb. 3.9** Wertschöpfungskette zur organischen Chemikalie Aminosäure und weiter bis zum Fleisch (Steak)

darin, dass jede Wertschöpfungsstufe ihr Vorprodukt von der vorhergehenden Stufe einkauft. Deshalb ist der Anteil des Mehrwerts am Umsatz am Anfang der Wertschöpfungskette höher als in deren weiterem Verlauf. Während der Mehrwertanteil in der Landwirtschaft, deren Rohstoffeinsatz und Verfahrensaufwand sich auf Saatgut, Agrarchemie und auf die Bestellung der Felder und Ernte beschränkt, durchschnittlich bei 46 % liegt, erreicht die Chemie nur 14 %. Hier liegt der Kostenanteil der Rohstoffe 30–60 % wesentlich höher und die Verfahren sind hinsichtlich Investitionsaufwand und Betrieb im Vergleich aufwendiger.



**Abb. 3.10** Marktpreise biobasierter Rohstoffe und Zwischenprodukte bis zum Marktprodukt und fossiler Rohstoffe und Fraktionen zum Vergleich

### 3.2.2 Lignocellulose

Dieser Zusammenhang ist zu berücksichtigen, wenn im folgenden Wertschöpfungsketten vorgestellt werden, die von holzartigen Biomassen als Kohlenstoffquelle ausgehen. Potenzial haben Holz und pflanzliche Restbiomasse (Stroh, Spreu, Maisspindeln usw.). Diesen Materialien ist gemeinsam, dass sie im Wesentlichen aus Lignocellulose bestehen, dem volumenmäßig bedeutendsten pflanzlichen Polymer. Lignocellulose wiederum besteht im Wesentlichen aus drei kohlenstoffhaltigen Komponenten unterschiedlicher Struktur: Lignin, Cellulose und Hemicellulose. Lignin, das in Holz einen Anteil von rund 30 % hat, hat das Potenzial, zukünftig als Ausgangsmaterial für aromatische Grundchemikalien und Asphalt zu dienen. Heute wird Lignin fast ausschließlich energetisch verwertet und trägt damit nur wenig zur Wertschöpfung bei. Technisch als Kohlenstoffquelle nutzbar sind Cellulose und Hemicellulose, die rund 70 % der Lignocellulose ausmachen. Sie sind aus Zucker-Molekülen aufgebaut, die sowohl sechs als auch fünf Kohlenstoff-Atome enthalten (C5, C6-Zucker; dies ist von Belang, weil C5-Zucker fermentativ aufwändiger zu transformieren sind). Mit diesen Inhaltsstoffen sind Holz und jede holzartige Biomasse also eine alternative Zuckerquelle

und fügen damit dem Rohstoff-Portfolio der Bioökonomie eine bedeutende Biomasse-Quelle hinzu. Voraussetzung für die technische Nutzung ist dabei die Verzuckerung der Lignocellulose, was naturgemäß die Wertschöpfungskette weiter verlängert. Abb. 3.11 zeigt das Schema der Wertschöpfungskette zu Ethanol aus Holz (auch als *lignocellulosic ethanol* bezeichnet).

Die Holzbiomasse kann aus der Land- und Forstwirtschaft kommen sowie durch die Entsorgungswirtschaft in Form von Grünabfall, beispielsweise Grünschnitt aus städtischen Parks oder pflanzlichem Siedlungsabfall (braune Tonne) bereitgestellt werden. Es kommen also auch Reststoffe und Abfälle infrage; eine Rohstoffart, die im nächsten Abschnitt angesprochen werden wird. Anders als bei der Verarbeitung von Zuckerrüben, in denen der C6-Zucker in löslicher Form frei vorliegt, müssen die C5- und C6-Zucker aus Lignocellulose allerdings aufwendig in Bio Raffinerien freigesetzt werden. Hierzu sind u. a. Enzyme notwendig, die ihrerseits aus Zucker produziert werden und eine eigene Wertschöpfungskette hinzufügen. Offensichtlich vervielfältigt und verlängert die Verwendung von Holz die Wertschöpfungskette erheblich.

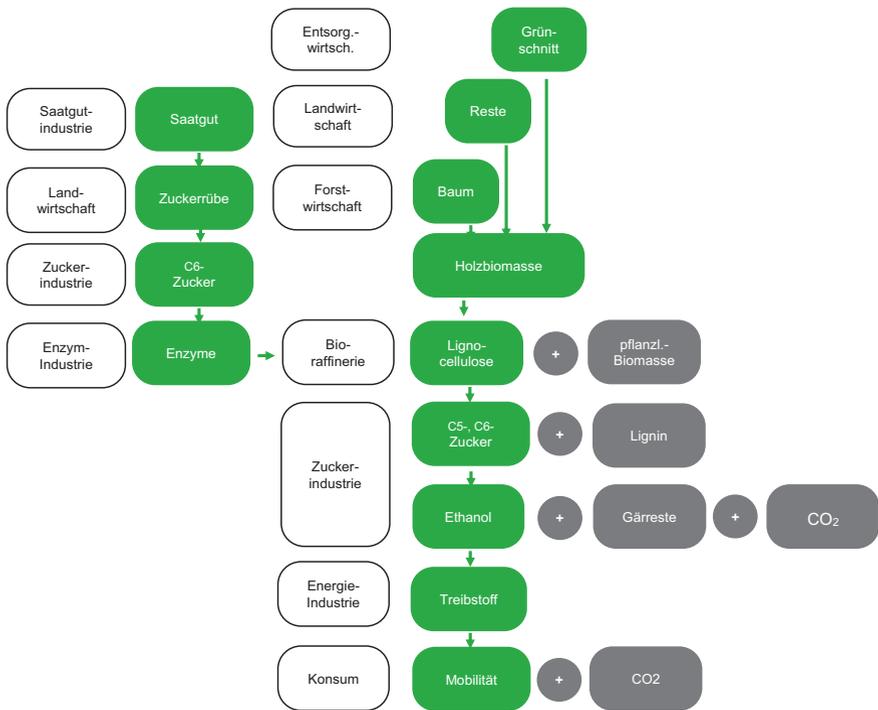


Abb. 3.11 Wertschöpfungskette zu *lignocellulosic ethanol*

### 3.2.3 Rest- und Nebenprodukte, Abfälle

Die bisherigen Beispiele haben sich auf die zum Zielprodukt führenden Wertschöpfungsketten konzentriert und die auf jeder Verarbeitungsstufe anfallenden festen, flüssigen und gasförmigen Nebenströme nur benannt. Wie oben beispielsweise für Lignin erwähnt, haben diese Materialien einen erheblichen Anteil am Rohstoff oder fallen, wie für  $\text{CO}_2$  aus der Fermentation erwähnt, mit signifikanten Volumen bei der Verarbeitung an. Potenzial haben pflanzliche Biomasse, tierische Biomasse, mikrobielle Biomasse (Gärreste aus der Fermentation und Abwasserklärung). Abb. 3.12 zeigt am Beispiel der Wertschöpfungskette zu Aminosäuren und Fleisch, wie die Nebenprodukte in weitere Wertschöpfungsketten eingespeist werden können. Eine derartige Vernetzung von Prozess- und Wertschöpfungsketten wird als Kaskadennutzung bezeichnet.

Rest-Biomasse aus der Landwirtschaft und der Zucker-Raffination sowie Gärreste aus Fermentationsverfahren der Chemieindustrie gehen sowohl als Tierfutter in die Tierhaltung als auch als Rohstoff in Biogas-Anlagen. Diese nehmen auch Gärreste aus Abwasser-Kläranlagen der Entsorgungsindustrien sowie Gülle aus der Tierhaltung auf. Gärreste der Biogas-Anlagen können als Dünger für die Landwirtschaft dienen. Biogas wird üblicherweise verstromt, sodass hier die Energiewirtschaft ins Spiel kommt. Das von aeroben Fermentationsverfahren der Chemieindustrie und anaeroben Fermentationen der Entsorgungsindustrie (Biogas-Fermentation) emittierte  $\text{CO}_2$  bleibt üblicherweise ungenutzt. Das in großen Mengen anfallende Lignin wird heute fast ausschließlich energetisch verwertet.

Diese Darstellung zeigt erstens die komplexe Vernetzung der verschiedenen Wirtschaftssektoren und zweitens die Möglichkeit, Stoffe kaskadenartig zu nutzen und zu recyceln. Drittens wird deutlich, dass Stoffe, die für die eine Branche ein Nebenprodukt darstellen, für eine andere ein Rohstoff sind. Das sich daraus ergebende Potenzial für Wertschöpfung ist der Motor für die Nutzung scheinbar wertloser „Abfälle“.



# Wettbewerbsfähigkeit und Innovationspotenzial

# 4

## 4.1 Wettbewerbsfähigkeit

Der beeindruckende Umsatz von 2300 Mrd. EUR der europäischen Bioökonomie belegt, dass die darin etablierten Wertschöpfungsketten wettbewerbsfähig sind. Dies sind insbesondere die Sektoren der Land- und Forstwirtschaft, der Ernährung, der Holzindustrie und die Papierbranche, die vollständig bio-basiert sind. Weitere Bereiche, die ebenfalls mit kohlenstoff-haltigen Materialien umgehen und deshalb in die Bioökonomie integriert werden sollten, sind die Chemie-, Kunststoff-, Pharma-, Textil und Energiewirtschaft. In diesen Bereichen hat die bio-basierte Wertschöpfung insbesondere deshalb einen noch eingeschränkten Stellenwert, weil fossil-basierte Wertschöpfungsketten Wettbewerbsvorteile haben. Wo diese liegen und wie sie überwunden werden können, soll in diesem Abschnitt angesprochen werden.

### 4.1.1 Chemie-, Kunststoff-, Pharma-, Textilindustrie

Die Wertschöpfungsketten der Chemie-, Kunststoff-, Pharma- und Textilindustrie haben gemeinsam, dass sie noch zu einem erheblichen Teil von fossil-basierten Chemieprodukten gespeist werden. Kunststoffe gehen von fossil-basierten Grundchemikalien aus. Die Pharmaindustrie ist, was die Produktionsverfahren angeht, ein Teil der Chemiebranche und ebenfalls in die entsprechenden Wertschöpfungsketten integriert. Im Textilsektor haben Polymerfasern, also ebenfalls ein größtenteils fossil-basiertes Chemieprodukt einen erheblichen Anteil. Produkte der organischen Chemie stehen also oft am Anfang der hier angesprochenen Wertschöpfungsketten. Ihre Wettbewerbsvorteile liegen in den Rohstoff- und

**Tab. 4.1** Kosten und Kohlenstoffgehalt von Mineralöl und Biomasse

Rohstoff	Produktionskosten EUR/t	Kohlenstoff-Gehalt	Davon als Chemie-Rohstoff nutzbar
Mineralöl	60 EUR/t	83–87 %	100 %
Holz	70 EUR/t	50 %	70 % C5-, C6-Zucker
Zuckerrübe	32 EUR/t	45 %	15 % C6-Zucker

**Tab. 4.2** Raffineriefractionen von Mineralöl

	25 °C	>	>	>	>	350 °C
Fraktion	Raffineriegas	Benzin	Naphtha	Kerosin	Diesel	Reste
Anwendung	Heizgas	Autotreibstoff	Chemierohstoff	Flugtreibstoff	Schwerlasttreibstoff	Bitumen

Produktionskosten. In Tab. 4.1 werden Mineralöl und Biomasse beispielhaft verglichen. Zunächst erscheinen die Produktionskosten von 32 EUR/t Zuckerrübe<sup>1</sup> im Vergleich zu Mineralöl (60 EUR/t<sup>2</sup>) vorteilhaft. Auch die Kosten für Holz (70 EUR/t<sup>3</sup>) wirken zunächst nicht prohibitiv. Allerdings ist der Gehalt an Kohlenstoff in Biomasse nur halb so hoch wie in Mineralöl und davon sind mit den heute zur Verfügung stehenden Technologien nur 20 % (Zuckerrübe) bis 70 % (Holz) technisch als Rohstoff nutzbar, wenn man von den Nebenprodukten Biomasse und Wasser (Zuckerrübe) und Lignin (Holz) absieht.

Hinzu kommt, dass Mineralöl in einer sehr kurzen Wertschöpfungskette gefördert werden kann und kostengünstig zu verarbeiten ist. Tab. 4.2 zeigt die Fraktionen, die die Raffination von Mineralöl zwischen 25 °C und 350 °C ergibt. In einer Wertschöpfungskette, die nur einen Schritt umfasst, liefert eine Ölraffinerie Treibstoffe, Rohstoff für die Chemie und Konstruktionsmaterial – und zwar in sehr großen Anlagen, die mit ihrem Skaleneffekt die Wirtschaftlichkeit unterstützen (*economy of scale*).

Wie aufwendig die Produktion biobasierter Kohlenstoff-Quellen ist, hat die Diskussion der diesbezüglichen Wertschöpfungsketten gezeigt. Dabei bleibt zu bemerken, dass die eher dezentrale Produktionsstruktur der Bioökonomie die Kostensituation weiter belastet, weil die im Vergleich zu Ölraffinerien relativ kleinen Anlagen den erheblichen Kostenvorteil der *economy of scale* nicht im selben Maß aufweisen können. Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen haben biobasierte Kohlenstoffquellen also grundsätzliche Kostennachteile. Dies könnte

<sup>1</sup><https://www.praxisnah.de/index.cfm/article/7162.html>

<sup>2</sup><https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118698600.ch1>

<sup>3</sup>[https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/energie/lwfproduktion\\_scheitholz/index\\_DE](https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/energie/lwfproduktion_scheitholz/index_DE)

sich ändern, wenn die durch die fossilen Rohstoffe verursachten Klimaschäden in die Kostenrechnung einbezogen würden. Mit dem Handel von Emissionsrechten ist ein erster Schritt in diese Richtung bereits getan.

Allerdings behaupten sich auch bio-basierte Produkte trotz dieser Kostenprobleme erfolgreich am Markt und Industrien unternehmen erhebliche Anstrengungen, bio-basierte Wertschöpfungsketten zu entwickeln und Produkte auf den Markt zu bringen. Dies zeigt, dass Kosten nicht der einzige Wettbewerbsfaktor sind. Mitentscheidend ist das Leistungsprofil eines Produkts. So vertreibt die Fuchs Schmierstoffe GmbH in Mannheim bio-basierte Schmierstoffe, weil sie für bestimmte Anwendungen eine bessere Qualität als die fossil-basierte Alternative aufweisen. Das früher bereits erwähnte bio-basierte Polymer Polyethylenefuranoat ist erfolgreich, weil es eine für Getränkeflaschen gefragte sehr gute Gasdichtigkeit aufweist. Weitere Beispiele ließen sich für Kosmetikwirkstoffe und weitere Anwendungen aufzählen.

Ein weiterer Wettbewerbsfaktor ist ein reduzierter ökologischer Fußabdruck. So ist Poly-Milchsäure ein Bio-Polymer mit ähnlichen, aber nicht verbesserten Eigenschaften wie fossil-basiertes Polyethylenterephthalat (PET) und biobasiertes Poly-Ethylen (PE) unterscheidet sich weder chemisch noch in der Funktion von der fossil-basierten Variante. Allerdings ist der Kohlenstoff-Fußabdruck deutlich reduziert. Weil dies den abnehmenden Unternehmen im Wettbewerb einen Differenzierungsvorteil verspricht, haben sich auch diese Chemikalien trotz höherer Herstellkosten am Markt etabliert. Der Reduzierung der Umweltbelastung wird also ein ökonomischer Wert beigemessen. Dies gilt insbesondere dann, wenn dies dem Endkunden im (*B2C-Business*) sichtbar gemacht werden kann. Deshalb kommt Markeninhabern in der Vermarktung eine besondere Bedeutung zu. Sie gleichen die Kostennachteile, die biobasierte Chemieprodukte häufig noch mit sich bringen, durch Differenzierungsvorteile im Wettbewerb aus.

### 4.1.2 Energiewirtschaft

Bio-basierte Wertschöpfungsketten haben sich auch in der Energiewirtschaft etabliert. Kraftwerke werden mit Holz betrieben, Biogas wird verstromt und Bioethanol sowie Biodiesel dienen als Treibstoff, obwohl Biomasse an sich keinen vorteilhaften Energiegehalt hat (Tab. 4.3) und der Weg zu flüssigen Treibstoffen eine kostentreibende Wertschöpfungskette braucht. Der Energiegehalt nachwachsender Rohstoffe ist also kein Wettbewerbsvorteil.

**Tab. 4.3** Energiegehalt fossiler und nachwachsender Energieträger

Fossile Energieträger		Bio-basierte Energieträger	
	MJ/kg		MJ/kg
<b>Kohle</b>	25–33	<b>Torf</b>	4
<b>Erdgas</b>	25–33	<b>Pflanzliche Biomasse</b>	7
<b>Mineralöl</b>	43	<b>Holz</b>	15

Treiber ist hier die Reduktion des ökologischen Fußabdrucks, denn die Emissionsbilanz aus bio-basierten Energiequellen ist weitgehend neutral. Es liegt deshalb nahe, Bioenergien einen grundsätzlichen Wettbewerbsvorteil und damit großes Wachstumspotenzial zuzubilligen. Dabei sollte man allerdings die Größenordnung des Energiemarkts im Blick haben. Während fossile Rohstoffe heute zu 93 % der Erzeugung von Energie (Wärme, Treibstoff, Strom) und zu 7 % der Herstellung von Materialien (org, Chemie und Asphalt)<sup>4</sup> dienen, ist das Verhältnis für Biomasse gerade umgekehrt: Nur 3 % gehen in die energetische Verwertung<sup>5</sup>; 97 % werden für die Produktion von Nahrungsmitteln, Materialien und organischen Chemikalien verwendet. Um den Energiemarkt mit bio-basierten Rohstoffen zu versorgen, müsste die Produktion von Biomasse also erheblich gesteigert werden, was seinerseits an ökologische Grenzen stößt. Potenzial liegt allerdings in der energetischen Verwertung der in vielen Wertschöpfungsketten und auch in der Entsorgung anfallenden Reststoffen. Hier kommt u. a. Biogas eine Schlüsselrolle zu, denn dessen Herstellungsverfahren akzeptieren eine Vielzahl verschiedenster Biomassen, sind für dezentrale, kleine Anlagen geeignet und produzieren mit Methan ein Gas, das in das laufende Erdgasnetz eingespeist werden kann. Auch eine solche Kompatibilität mit der bestehenden Infrastruktur ist ein nicht zu unterschätzender Wettbewerbsfaktor.

---

## 4.2 Innovationspotenzial

Die Bioökonomie zeichnet sich dadurch aus, dass sie neue sektorübergreifende Wertschöpfungsketten entstehen lässt. Das Innovationspotenzial liegt dabei 1) in biogenen Rohstoffen, 2) in Transformationsverfahren und bio-basierten Produkten und 3) in einer den neuen Wertschöpfungsketten angepassten Infrastruktur.

### 4.2.1 Verfahren

Land- und Forstwirtschaft liefern primäre Biomasse als Kohlenstoffquelle an die Chemie- und als Energiequelle an die Energieindustrie. Für die stoffliche Verwertung wird meist auf Fraktionen der Biomasse wie Zucker und Öle zurückgegriffen; die meisten Inhaltsstoffe der komplexen Biomassematrix werden aber nicht wertschöpfend genutzt. Hier könnten innovative Extraktionsverfahren helfen, auch dieses Potenzial zu heben.

In der möglichst vollständigen Verwertung von Biomasse und der Recyclingung der daraus abgeleiteten Produkte liegt möglicherweise das größte Innovationspotenzial der Bioökonomie. Pflanzliche und tierische Reststoffe können deshalb

---

<sup>4</sup><https://www.chemanager-online.com/themen/strategie/chemie-ohne-erdoel>

<sup>5</sup><https://de.wikipedia.org/wiki/Bioenergie> (Anteil der weltweiten Anbaufläche für die Energieerzeugung).

zu gesuchten Rohstoffen für die Chemie- und Energieindustrie werden. Während diese Reststoffe und auch Siedlungsabfälle heute vorwiegend energetisch zur Erzeugung von Wärme und Strom eingesetzt werden, wächst das Interesse an der stofflichen Verwertung zu Chemikalien. Als organische Grundchemikalie ist dabei beispielsweise Methanol von besonderem Interesse. Wenn bio-basiertes Methanol wettbewerbsfähig und in ausreichenden Mengen verfügbar ist, kann dieser Alkohol die heute wichtige fossil-basierte Grundchemikalie Ethylen ergänzen und langfristig ablösen, denn ein bedeutender Teil des Produkt-Portfolios der organischen Chemie lässt sich auch von Methanol ableiten. Ähnliches gilt für die Herstellung von Aromaten aus Lignin. Es besteht deshalb Innovationsbedarf sowohl zur Herstellung biogener Grundchemie als auch in von neuen Grundchemikalien ausgehenden Synthesen.

Auch Verfahren, die gasförmige biogene Kohlenstoffquellen transformieren, gewinnen an Interesse. Fermentationsverfahren stellen attraktive Punktquellen für die Nutzung von Kohlenstoffdioxid dar. Kohlenstoffdioxid findet traditionell in der Getränkeindustrie Anwendung, wird aber neuerdings auch als Kohlenstoffquelle für die Chemieindustrie interessant. Noch ist das von Kohlenstoffdioxid ausgehende Produktspektrum begrenzt, bietet aber ein großes Innovationspotenzial.

Kohlenstoffmonoxid ist ebenfalls als biogene Kohlenstoffquelle von Interesse. Es kann durch Gasifizierung beliebiger Biomasse zu Synthesegas hergestellt werden. Gasifizierung bietet damit die Möglichkeit, sehr komplexe Materialmischungen, wie sie beispielsweise in Siedlungsmüll (braune Tonne) vorliegen, zu „standardisieren“. Für derartige Methoden, die zu standardisierten und spezifizierten Rohstoffen führen, besteht großer industrieller Bedarf.

Die Transformation gasförmiger Kohlenstoffquellen braucht häufig Wasserstoff, dessen Herstellung sehr energieintensiv ist. Deshalb ist auch die Verknüpfung der Chemieindustrie mit den Sektoren erneuerbarer Energien ein zukunftsweisendes Innovationsfeld.

### 4.2.2 Infrastruktur

Die heutige Infrastruktur für eine fossil-basierte Wirtschaft ist darauf ausgelegt, günstig über weite Entfernungen zu transportierende Energie- und Kohlenstoffträger zu sehr großen Industriestandorten zu bringen. Gas, Kohle und Öl werden mittels Pipelines und Tankern weltweit zu zentralen Industrie-Standorten transportiert, wo Energieträger (Benzin, Diesel), Grundchemie (Ethylen) und Baumaterialien (Asphalt) in großen Volumen hergestellt werden.

Wertschöpfungsketten der Bioökonomie beginnen dagegen in der Land- und Forstwirtschaft, d. h. auf sehr großen Flächen. Wegen der geringeren Kohlenstoff- und Energiedichte ist der Transport wesentlich aufwendiger, was eher für dezentrale Produktionsstandorte spricht. Hier wirtschaftlich optimale Lösungen zu finden, ist nach wie vor eine offene Aufgabe.

Dass industrielle Reststoffe und städtische Siedlungsabfälle zukünftig eine Ressource für die stoffliche Verwertung sein können, wurde bereits erwähnt.

Die Entsorgungswirtschaft ist aber derzeit fast ausschließlich auf die energetische Nutzung eingestellt. Diesen Sektor und die mit ihm verbundene öffentliche Verwaltung auf neue Nutzungskonzepte einzustellen, erfordert innovative Anpassungen der entsprechenden Infrastruktur.

Auch wenn im Sinne der Kreislaufwirtschaft Rest- und Abfallstoffe zukünftig intensiv genutzt werden, ist zu erwarten, dass eine exportorientierte Wirtschaft wie die Deutschlands ihren Rohstoffbedarf nicht ausschließlich aus den im Land angebauten und recycelten Kohlenstoffträgern befriedigen kann. Die Wirtschaft wird deshalb weiterhin Rohstoffe importieren müssen. Dabei ist zu erwarten, dass sich die weltweite Versorgungsinfrastruktur von Regionen fossiler Lagerstätten (beispielsweise Saudi-Arabien) zu Regionen, die reich an Biomasse sind (z. B. Brasilien) verlagern wird. Dies allein führt schon bei Transportmitteln, Lade- und Lagereinrichtungen zu Anpassungsbedarf. Hinzu kommt, dass Biomasse nicht in unverarbeiteter Form über lange Strecken transportiert werden wird, also eine geeignete Vorbereitung und Standardisierung notwendig ist. Bis zu welcher Wertschöpfungsstufe die Verarbeitung in einer Biomasse-Region stattfindet, und ab welcher Stufe weiterverarbeitende Industrien in anderen Regionen ein Vorprodukt aufnehmen, wird sich erst mit den sich entwickelnden Lieferketten herausbilden. Derartige Fragen sind Teil des Aufbaus globaler Lieferketten für die Bioökonomie, ein Feld, für das ebenfalls innovative Lösungen gesucht werden.

---

# Literatur

- Michael E. Porter (1985) *Competitive Advantage*
- Joseph A. Schumpeter (1939) *Business Cycles. A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process*. New York
- Steinbach, A. *Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit in der Chemie: durch systematisches Process Life Cycle-Management*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2013
- BIC (2018) *European Bioeconomy in Figures 2018–2015 (update April 2018)*. <https://biconsortium.eu/library/bioeconomy-figures>
- Ronzon, T.; M'Barek, R. Socioeconomic Indicators to Monitor the EU's Bioeconomy in Transition. *Sustainability* **2018**, *10*, 1745