



Daniela Thrän  
Urs Moesenfechtel *Hrsg.*

# Das System Bioökonomie

 Springer Spektrum

# Das System Bioökonomie

Daniela Thrän  
Urs Moesenfechtel  
(Hrsg.)

# Das System Bioökonomie

Mit einem Vorwort von Dr. Christian Patermann

*Hrsg.*

**Daniela Thrän**

Department Bioenergie  
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung  
GmbH – UFZ  
Leipzig, Deutschland

**Urs Moesenfechtel**

BioökonomieInformationsBüro  
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung  
GmbH – UFZ  
Leipzig, Deutschland

ISBN 978-3-662-60729-9      ISBN 978-3-662-60730-5 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-60730-5>

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.

Planung/Lektorat: 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

## Geleitwort

---

Die neue, alte Bioökonomie von heute hat sich seit ihrer Einführung als wissensbasierte Bioökonomie (Knowledge-based Bioeconomy – KBBE) durch die EU im September 2005 von einer Forschungsinitiative in Vorbereitung des 7. Rahmenprogramms<sup>1</sup> zu einer beachtlichen, umfassenden Wirtschaftsstrategie politisch weiterentwickelt. Rund 60 Staaten und mehr und mehr Regionen weltweit haben entsprechende unterstützende und fördernde Strategien, Aktionspläne, Roadmaps etc. verabschiedet, die entweder direkt diesen Namen tragen oder inhaltlich identische Initiativen aufweisen. Einige unter ihnen, wie etwa die EU, Deutschland und Italien haben sogar schon eine zweite Version erarbeitet! Und die Zahl der Einrichtungen, die das System Bioökonomie, das heißt eine im weitesten Sinn stärkere Nutzung biologischer Ressourcen und das Wissen darüber, fordern und fördern, wächst ständig weiter. Das Ziel: zur Ressourceneffizienz, Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und Erreichen der Klimaziele beizutragen. Biologische Ressourcen und das Wissen über sie können auch Produkte und Verfahren mit neuen bisher nicht gekannten Eigenschaften schaffen oder „triggern“, das heißt höchst innovative Ergebnisse liefern.

Hierbei wächst allerdings die Erkenntnis, dass es nicht eine, sondern viele Bioökonomien auf der Welt gibt und geben wird. Umso notwendiger und sinnvoller ist es daher, die Grundpfeiler, die Gemeinsamkeiten beziehungsweise Alleinstellungsmerkmale des überaus komplexen Systems Bioökonomie zu erarbeiten und sich auf ihre Bedeutung und Relevanz zu verständigen: Verfügbarkeit biologischer Ressourcen mit ihren Elementen der Erneuerbarkeit, Klimaneutralität, Zirkularität, Innovation, Relevanz von Wertschöpfungsketten und -systemen – mit Auswirkungen auf Zusammenarbeit, Bildung, Ausbildung, Finanzierung und Kommunikation. Die Bioökonomie auf den Färöer-Inseln ist eben eine andere als in Finnland oder Südafrika, und die biobasierten Aktivitäten großer deutscher Chemiefirmen im Ruhrgebiet sind nicht vergleichbar mit der praktizierten Bioökonomie in der argentinischen Pampa oder den österreichischen Alpen.

Viele unterschiedliche Produkte werden heute bereits biobasiert hergestellt, weil sie deutliche Vorteile in Ressourceneffizienz und Qualität, bei den Kosten, hinsichtlich der Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt, ja auch auf die Nachhaltigkeit haben. Die Industrie wird diesen Weg weitergehen, ob mit oder ohne Strategien. Wie sieht vor diesem Hintergrund die veränderte Rolle der öffentlichen Hand etwa in der Forschung, bei Genehmigungen und der Regulierung aus? Sind die deutlich werdenden genannten Vorteile biobasierter Produkte und Dienstleistungen dem Verbraucher überhaupt schon bewusst? Wie wirkt sich diese schrittweise wachsende Realität einer biobasierten Welt auf unser akademisches und allgemeines Bildungs- und Ausbildungssystem, auf die sogenannten *soft skills* einschließlich der notwendigen Finanzierung aus? Werden wir uns angesichts der Konkurrenz der unterschiedlichen Nutzungen biologischer

---

1 Siehe ► <https://de.wikipedia.org/wiki/Forschungsrahmenprogramm> sowie ► <https://www.horizont2020.de/>.

Ressourcen, der Biomasse, ihrer Auswirkungen auf die Medien Boden und Wasser, eine oder viele Bioökonomien im großen globalen Stil überhaupt „leisten“ können, oder bleibt am Ende nur die Ressource Abfall ? Welche Rolle kann und wird hier die immer stärker ins Bewusstsein auch der Öffentlichkeit tretende digitale Transformation spielen, allein für sich oder im Zusammenwirken mit einer entsprechenden biologischen Transformation?

All diese komplexen Aspekte werden in den Ansätzen und Aufsätzen des vorliegenden Buches klar erkennbar. Das Buch unterscheidet sich dabei von vielen anderen derzeitigen Beiträgen in Europa konkret durch folgende Akzente:

- Das System Bioökonomie mit seinen vielfältigen Facetten steht im Vordergrund, nicht einzelne Module (Teilbereiche), wenn diese auch selbstverständlich intensiv behandelt werden.
- Die Unterscheidung der einzelnen Akteure in ihrer Rolle und Relevanz, von der Landwirtschaft bis zum Verbandswesen, als Erfinder oder Verbraucher, in ihren unterschiedlichen Funktionen und Interessen, wird erstmals wissenschaftlich aufgearbeitet, wobei es allerdings noch viel zu tun gibt.
- Die Differenzierung nach der wirtschaftlichen beziehungsweise instrumentellen Anwendungsform, von der abfallbasierten Bioökonomie bis zur Bioökonomie der Mikroorganismen und Pilze, geht auch auf die digitale Bioökonomie ein – ein höchst interessanter Versuch der Aktualisierung des Themas angesichts der zumindest in Deutschland immer stärker werdenden Debatte um die biologische und digitale Transformation.
- Erstmals wird die Relevanz des Begriffs Cluster, auch in praktischen regionalen Beispielen, beleuchtet, eine im Hinblick auf die Bedeutung der Wertschöpfung für die Bioökonomie sehr wichtige Arbeit, die die Wissenschaft bisher kaum vorgenommen hat, die aber recht viele praktische Konsequenzen für den praktischen Erfolg der Bioökonomien haben dürfte.
- Erstmals werden auch neue, dadurch entstehende Berufsbilder behandelt.
- Last but not least wagt sich das Buch an die Frage der Governance der Bioökonomie heran, einem Thema, in dem es bisher ganz wenig wissenschaftlich Belastbares sowohl in der deutschsprachigen als auch internationalen Literatur gibt. Hier ist also im Hinblick auf die Vielfalt der Organisationsformen und Geschäftsmodelle der Bioökonomie, auch bei Fragen der Abgrenzung, noch sehr viel Arbeit zu leisten.

Insgesamt ist das vorliegende Werk als anspruchsvoll, in der Themenwahl aber auch als mutig zu bezeichnen. Es erscheint zu einem Zeitpunkt, in dem die Bioökonomie im Wettkampf der Ideen, Strategien, Gedankenentwürfe für die Bewältigung der immensen Zukunftsfragen auf unserer Erde, in unserer heutigen Welt, sich einer weiteren Etappe ihrer Entwicklung nähert: Seit dem Beginn als Forschungsinitiative für das 7. Forschungsrahmenprogramm der EU in 2005 in Brüssel, über die Weiterentwicklung als allgemeine Wirtschaftsstrategie, als „Partner“ für die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele und bei der Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft, steht ihr nun die Aufgabe zu, sich mit den Potenzialen und Charakteristiken der digitalen Welt, der Künstlichen Intelligenz, der Robotik und Automatik zu messen und zu verbünden.

Dazu muss sie sich auf ihre eigenen einmaligen Qualitäten und Vorzüge besinnen, diese verdeutlichen und vor allem verständlich machen: Wer ein iPhone oder Tablet weiterentwickelt oder wer sich ums autonome Fahren kümmert, hat es da einfacher. Dieses Buch kann nach meiner Meinung hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

Ob und wie die Bioökonomie an Fahrt gewinnt, hängt nicht nur vom Systemverständnis der Bioökonomie ab. Die Corona-Krise hat gezeigt, dass die Bioökonomie-Transformation von weit mehr Einflussgrößen bestimmt ist, als in diesem Buch dargestellt.

**Dr. Christian Patermann**

Bonn

April 2020

# Vorwort

---

Bioökonomie will Bewährtes und Neues verbinden. Seit 2016 gibt es die internationale Vereinbarung, dass dies unter den Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeitsziele der Agenda 2030 (Sustainable Development Goals – SDGs) erfolgen soll. Dazu werden nicht nur naturwissenschaftliches Wissen und kreative technische Lösungen, sondern auch ein nachhaltiger Handlungsrahmen und ein umfassendes Zusammenspiel der Akteure benötigt. Zusätzlich gibt es viele und dynamische Entwicklungen: Innovationen im Bereich *Genome Editing* erlauben neue Erkenntnisse sowie Entwicklungs- und Steuerungsmöglichkeiten in der Bioökonomie; künftige Innovationen der synthetischen Biologie dürften diese Möglichkeiten noch beschleunigen. Mit diesen Entwicklungen sind große Chancen verbunden, aber auch Risiken, die nicht nur naturwissenschaftlich-technisch, sondern auch gesellschaftlich abgewogen werden müssen.

Auf der anderen Seite verschlechtert sich auch die Umweltsituation dynamisch: Klimawandel, Degradierung von landwirtschaftlichen Flächen, Biodiversitätsverlust schreiten bisher ungebremst voran und werden durch die zunehmende Nachfrage nach Nahrungsmitteln, Produkten und Energie noch befeuert. Das bedeutet für die Bioökonomie einerseits die klare Begrenzung ihrer zukünftigen Entwicklung im Rahmen der natürlichen Ressourcenbasis, andererseits aber auch eine höhere Erwartung an den künftigen Beitrag von biobasierten Produkten in einer zunehmend auf erneuerbaren Ressourcen basierenden Wirtschaft: für Nahrung, Baustoffe, chemische Grundstoffe, Spezialprodukte und Energie. Verbunden sind diese Erwartungen mit der großen Hoffnung die Bioökonomie umfassend zirkulär für die Transformation in ein neues Wirtschaftssystem zu verankern zu können sowie der Sorge, dass Bioökonomie als vermeintlich grünere Wirtschaft die Plünderung des Planeten weiter beschleunigt. Es sind also viele Erwartungen und Wechselwirkungen – positiv wie negativ – zu berücksichtigen, um den Weg in eine nachhaltige Bioökonomie einzuschlagen.

Dies ist nur mit einer Systemperspektive möglich, die die naturwissenschaftlich-technischen Aktivitäten der Bioökonomie entlang der biogenen Stoffströme in den gesellschaftlichen Kontext einbettet und künftige Entwicklungsmöglichkeiten und Zielkonflikte beachtet.

Dieses Buch unternimmt den Versuch das System Bioökonomie für Deutschland (und darüber hinaus) zu beschreiben und die verschiedenen Ebenen der Ressourcennutzung, der Akteure und der Rahmenbedingungen zusammen zu führen. Weil die Bioökonomie ohne Pflanzen, Holz, Mikroorganismen, aquatische Biomasse, Abfallnutzung und Daten/Informationen nicht denkbar ist, haben wir diese als Ausgangspunkt zur Beschreibung der Teilsysteme der Bioökonomie gewählt. Zur Beschreibung der konkreten Macherinnen und Macher der Bioökonomie werden Einzelperspektiven porträtiert und die Netzwerke und Cluster als Knotenpunkte des gemeinsamen Handelns dargestellt. Ebenso erfolgt eine Beschreibung der Handlungsrahmen in denen sich die Bioökonomie entwickelt. Dazu zählen beispielsweise Innovationsverständnisse, nationale und internationale Governance, Szenarien und Modelle, Monitoringaktivitäten, Berufsfelder oder Bioökonomie-Diskurse.

Schließlich erfolgt ein Blick auf das Gesamtsystem Bioökonomie und seine zukünftigen Entwicklungen – sowohl für Deutschland als auch darüber hinaus. Das Buch liefert dabei keine widerspruchsfreien Perspektiven oder ein alleingültiges Systemverständnis, sondern gibt einen Einblick in die jeweiligen, oftmals sehr dynamischen Handlungszusammenhänge von aktuellen Bioökonomie-Akteuren und ihrem jeweiligen, eigenen Verständnis davon, wie sie „das System Bioökonomie“ definieren und ausgestalten. Dadurch wird die Vielfalt der Bioökonomie anschaulich, aber auch erkennbar, wo Zielkonflikte bestehen und wie sie überwunden werden können.

Dieses Buch richtet sich an Akteure aus Politik, Verwaltung und Zivilgesellschaft, Entrepreneurs und Kommunikatoren sowie Studierende und Berufsanfänger. Es ermöglicht ihnen einen schnellen, verständlichen und fachübergreifenden Überblick über die wichtigsten Zusammenhänge der Bioökonomie. Es ist als „Orientierung in der Bioökonomie“ und somit als hilfreiche Verständnis- und Handlungsunterstützung gedacht. Es ergänzt die Bücher „Bioökonomie für Einsteiger“ von Joachim Pietzsch und „Bioeconomy Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy“ von Iris Lewandowski, die vor allem auf die Nutzbarmachung von Biomasse fokussieren. Das vorliegende Buch erscheint zur Eröffnung des „Wissenschaftsjahrs Bioökonomie 2020“ – einem weiteren Meilenstein der deutschen Bioökonomie. Wir hoffen, dass es in diesem Rahmen nicht nur zur wissenschaftlichen Weiterentwicklung, sondern auch zur praktischen Einführung der nachhaltigen Bioökonomie beiträgt. Die Bioökonomie besitzt das Potenzial notwendige Transformationsprozesse nachhaltig zu gestalten. Es gilt, diese nun auch stärker in Systemzusammenhängen zu entfalten.

Wir möchten uns an dieser Stelle bei den vielen Personen bedanken, die an der Entstehung dieses Buches mitgewirkt haben. Allen voran den Autorinnen und Autoren dieses Buches, die in mühevoller Arbeit, teils zum ersten Mal, den Versuch unternommen haben ihre Wirkzusammenhänge kompakt darzustellen. Die in diesem Buch vertretenen Autoren wurden durch zahlreiche andere Personen unterstützt: durch Ideen, Zuarbeiten, Hinweise, durch Reviews, etc. Auch wenn Sie hier nicht im einzelnen genannt werden, gebührt auch diesen ein besonderer Dank. Darüber hinaus möchten wir einigen Person im Speziellen danken. Allen voran Herrn von Braun, der dieses Buch inhaltlich und konzeptionell von Beginn an unterstützt und begleitet hat. Ebenso Frau Dr. Eva Leiritz (PtJ) und Frau Dr. Grit Zacharias (Freie Lektorin und Umweltwissenschaftlerin), die den ursprünglichen Anstoß zu diesem Buch gaben, Frau Diana Pfeiffer (DBFZ), die mit ihren Anmerkungen zu einer wesentlichen Schärfung des Buchkonzeptes sowie der inhaltlichen Qualität der einzelnen Texte beitrug sowie Herrn Björn Schinkel (UFZ), der durch seine grafischen Arbeiten ein schlüssiges, optisches Gesamtbild des Buches schuf und so dabei half die vielen Ideen und Konzepte der Autorinnen und Autoren zu veranschaulichen. Ebenso gilt unser besonderer Dank Frau Maxie Wolf (UFZ), die alle Texte auf ihre sprachliche und formale Konsistenz und Richtigkeit prüfte und auch sämtliche begleitende Arbeiten der Bucherstellung bis zur Übergabe an den Verlag übernahm.

Schließlich gilt unser Dank auch dem Springer-Verlag, der uns die Veröffentlichung dieses Buches ermöglichte und uns mit Frau Carola Lerch und Frau Dr. Stephanie Preuss stets zur Seite stand. Unser Dank gilt ebenso Ihnen, die Sie dieses Buch in den Händen halten und uns Ihr Interesse und Vertrauen schenken.

Wir möchten Ihnen mit unserem Buch einen Einstieg in die spannende Welt der Bio-ökonomie ermöglichen.

**Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän**

**Urs Moesenfechtel**

Leipzig

Januar 2020

# Inhaltsverzeichnis

---

1	<b>Einführung in das System Bioökonomie</b> .....	1
	<i>Daniela Thrän</i>	
1.1	<b>Globale Herausforderungen der Zukunft</b> .....	2
1.2	<b>Bioökonomie als Zukunftschance</b> .....	3
1.3	<b>Die Ressourcen der Bioökonomie</b> .....	8
1.4	<b>Verfahrensprinzipien einer wissenschaftsbasierten Bioökonomie</b> .....	10
1.5	<b>Bioökonomie aus systemischer Sicht</b> .....	13
	<b>Literatur</b> .....	16
<b>I</b>	<b>Teilbereiche der Bioökonomie</b>	
2	<b>Sektoren der Bioökonomie</b> .....	23
	<i>Johann Wackerbauer</i>	
2.1	<b>Einleitung</b> .....	24
2.2	<b>Der Ansatz der Europäischen Kommission</b> .....	24
2.3	<b>Der Ansatz der Bundesministerien für Bildung und Forschung und Ernährung und Landwirtschaft</b> .....	25
2.4	<b>Der Ansatz des deutschen Bioökonomierats</b> .....	26
2.5	<b>Der Ansatz des Johann Heinrich von Thünen-Instituts</b> .....	28
2.6	<b>Fazit</b> .....	31
	<b>Literatur</b> .....	32
3	<b>Pflanzenbasierte Bioökonomie</b> .....	35
	<i>Klaus Pillen, Anne-Laure Tissier und Ludger A. Wessjohann</i>	
3.1	<b>Übersichtsgrafik</b> .....	36
3.2	<b>Systembeschreibung</b> .....	38
3.3	<b>Innovationen</b> .....	41
3.4	<b>Zukunftsbilder</b> .....	45
3.5	<b>Zielkonflikte</b> .....	46
	<b>Literatur</b> .....	48
4	<b>Holzbasierte Bioökonomie</b> .....	51
	<i>Frank Miletzky, André Wagenführ und Matthias Zscheile</i>	
4.1	<b>Definitionen zu holzbasierter Bioökonomie</b> .....	52
4.2	<b>Systembeschreibung</b> .....	52
4.3	<b>Organisationsgrad der Branche</b> .....	57
4.4	<b>Innovationen</b> .....	59
4.5	<b>Zielkonflikte</b> .....	64
	<b>Literatur</b> .....	66
5	<b>Tierbasierte Bioökonomie</b> .....	69
	<i>Wilhelm Windisch und Gerhard Flachowsky</i>	
5.1	<b>Einleitung</b> .....	70

5.2	<b>Systembeschreibung</b> .....	70
5.3	<b>Perspektiven für eine effizientere und nachhaltigere Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft</b> .....	75
5.4	<b>Zielkonflikte</b> .....	80
5.5	<b>Zukunftsbilder</b> .....	81
	<b>Literatur</b> .....	83
6	<b>Bioökonomie der Mikroorganismen</b> .....	87
	<i>Manfred Kircher</i>	
6.1	<b>Übersichtsgrafik</b> .....	88
6.2	<b>Systembeschreibung</b> .....	90
6.3	<b>Innovationen</b> .....	98
6.4	<b>Zukunftsbilder</b> .....	100
6.5	<b>Zielkonflikte</b> .....	103
6.6	<b>Fazit</b> .....	104
	<b>Literatur</b> .....	104
7	<b>Marine Bioökonomie</b> .....	107
	<i>Charli Kruse</i>	
7.1	<b>Übersichtsgrafik</b> .....	108
7.2	<b>Systembeschreibung</b> .....	111
7.3	<b>Innovationen</b> .....	116
7.4	<b>Zukunftsbilder</b> .....	118
7.5	<b>Zielkonflikte</b> .....	122
	<b>Literatur</b> .....	123
8	<b>Abfall- und reststoffbasierte Bioökonomie</b> .....	125
	<i>Andrea Schüch und Christiane Hennig</i>	
8.1	<b>Einleitung</b> .....	126
8.2	<b>Systembeschreibung</b> .....	126
8.3	<b>Zielkonflikte</b> .....	135
8.4	<b>Innovationen</b> .....	138
8.5	<b>Zukunftsbilder</b> .....	140
	<b>Literatur</b> .....	143
9	<b>Digitale Bioökonomie</b> .....	147
	<i>Kathrin Rübberdt</i>	
9.1	<b>Übersichtsgrafik</b> .....	148
9.2	<b>Systembeschreibung</b> .....	148
9.3	<b>Innovationen</b> .....	152
9.4	<b>Zukunftsbilder</b> .....	156
9.5	<b>Zielkonflikte und Hürden</b> .....	158
	<b>Literatur</b> .....	159

## II Organisationsformen der Bioökonomie

10	<b>Akteure der Bioökonomie</b> .....	165
	<i>Urs Moesenfechtel</i>	
10.1	<b>Einführung</b> .....	166
10.2	<b>Christian Schiffner – Forstingenieur</b> .....	166
10.3	<b>Daniela Pufky-Heinrich – Wissenschaftlerin</b> .....	168
10.4	<b>Holger Zinke – Biotechnologe</b> .....	170
10.5	<b>Steffi Ober – Netzwerkerin einer NGO</b> .....	172
10.6	<b>Viola Bronsema – Geschäftsführerin eines Branchenverbandes</b> .....	174
10.7	<b>Anne-Christin Bansleben – Firmengründerin</b> .....	176
10.8	<b>Kai Hempel – Firmengründer</b> .....	178
10.9	<b>Andrea Noske – Referatsleiterin im BMBF</b> .....	180
10.10	<b>Hans-Jürgen Froese – Referatsleiter im BMEL</b> .....	181
10.11	<b>Isabella Plimon – Aktiv für die Bioökonomie in Österreich</b> .....	183
11	<b>Cluster, Netzwerk, Plattform: Organisationsformen der Bioökonomie</b> .....	187
	<i>Manfred Kirchgeorg</i>	
11.1	<b>Einleitung</b> .....	188
11.2	<b>Organisationsformen der Bioökonomie</b> .....	188
11.3	<b>Herausforderungen des Bioökonomieclusters in Mitteldeutschland</b> .....	195
11.4	<b>Ausblick: Verknüpfung von Cluster- und Plattformstrategien</b> .....	197
	<b>Literatur</b> .....	199
12	<b>Bioökonomie in Nordrhein-Westfalen</b> .....	201
	<i>Ulrich Schurr und Heike Slusarczyk</i>	
12.1	<b>Clusterpartner und Beiträge</b> .....	202
12.2	<b>Management des Clusters</b> .....	205
12.3	<b>Vision und Mission</b> .....	206
12.4	<b>Benchmark und Erfolgskriterien</b> .....	207
12.5	<b>Erfahrungen</b> .....	208
	<b>Literatur</b> .....	208
13	<b>Bioökonomie in Mitteldeutschland</b> .....	211
	<i>Joachim Schulze und Anne-Karen Beck</i>	
13.1	<b>Vision und Mission</b> .....	212
13.2	<b>Mission (Clusterstrategie)</b> .....	212
13.3	<b>Clusterpartner und ihre Beiträge zum Cluster</b> .....	213
13.4	<b>Management des Clusters</b> .....	215
13.5	<b>Benchmark und Erfolgskriterien</b> .....	215
13.6	<b>Erfahrungen</b> .....	218
	<b>Literatur</b> .....	219

14	<b>Bioökonomie in Baden-Württemberg</b> .....	221
	<i>Annette Weidtmann, Nicolaus Dahmen, Thomas Hirth, Thomas Rausch und Iris Lewandowski</i>	
14.1	<b>Clusterpartner und Beiträge</b> .....	222
14.2	<b>Management des Clusters</b> .....	228
14.3	<b>Vision und Mission</b> .....	228
14.4	<b>Benchmark und Erfolgskriterien</b> .....	230
14.5	<b>Erfahrungen</b> .....	230
	<b>Literatur</b> .....	232
15	<b>Bioökonomie in Bayern</b> .....	235
	<i>Benjamin Nummert</i>	
15.1	<b>Clusterpartner und Beiträge</b> .....	236
15.2	<b>Vision und Mission</b> .....	241
15.3	<b>Management des Clusters</b> .....	243
15.4	<b>Benchmark und Erfolgskriterien</b> .....	244
15.5	<b>Erfahrungen</b> .....	245
	<b>Literatur</b> .....	246
16	<b>Bioökonomienetzwerke in Europa</b> .....	251
	<i>Nora Szarka und Ronny Kittler</i>	
16.1	<b>Einleitung</b> .....	252
16.2	<b>Clusterdefinitionen in Europa</b> .....	252
16.3	<b>Definitionen und Strategien der Bioökonomie</b> .....	254
16.4	<b>Kriterien für die Analyse von Bioökonomieclustern</b> .....	256
16.5	<b>Analyse von Bioökonomieclustern in Europa</b> .....	257
16.6	<b>Fazit und Ausblick</b> .....	261
	<b>Literatur</b> .....	263

### III Rahmenbedingungen und Wegweiser der Bioökonomie

17	<b>Der deutsche Bioökonomiediskurs</b> .....	267
	<i>Franziska Wolff</i>	
17.1	<b>Einleitung</b> .....	268
17.2	<b>Methode</b> .....	268
17.3	<b>Ergebnisse</b> .....	269
17.4	<b>Diskussion und Schlussfolgerungen</b> .....	274
	<b>Literatur</b> .....	274
18	<b>Innovation und Bioökonomie</b> .....	277
	<i>Stefanie Heiden</i>	
18.1	<b>Einführung</b> .....	278
18.2	<b>Kapitalmarkt, Nachhaltigkeit und Bioökonomie</b> .....	279
18.3	<b>Innovationsansätze in der Bioökonomie</b> .....	280
18.4	<b>Innovationsstandort Deutschland</b> .....	283
18.5	<b>Sustainable Finance</b> .....	286
18.6	<b>Biotechnologie – Treiber nachhaltiger Problemlösungen</b> .....	288

18.7	<b>Wird der neue Kondratieff-Zyklus ein „grüner“ Zyklus?</b> .....	290
18.8	<b>Ausblick</b> .....	292
	<b>Literatur</b> .....	293
19	<b>Szenarien und Modelle zur Gestaltung einer nachhaltigen Bioökonomie</b> .....	297
	<i>Rüdiger Schaldach und Daniela Thrän</i>	
19.1	<b>Einleitung</b> .....	298
19.2	<b>Bioökonomieszenarien</b> .....	298
19.3	<b>Modelle zur Darstellung der Bioökonomie</b> .....	303
19.4	<b>Fazit</b> .....	308
	<b>Literatur</b> .....	308
20	<b>Monitoring der Bioökonomie</b> .....	311
	<i>Daniela Thrän</i>	
20.1	<b>Einleitung</b> .....	312
20.2	<b>Monitoringsysteme für die Bioökonomie</b> .....	312
20.3	<b>Stakeholdererwartungen</b> .....	314
20.4	<b>Monitoringaktivitäten in Deutschland und international</b> .....	315
20.5	<b>Ausblick</b> .....	318
	<b>Literatur</b> .....	318
21	<b>Berufsfelder der Bioökonomie</b> .....	321
	<i>Rudolf Hausmann und Markus Pietzsch</i>	
21.1	<b>Einleitung</b> .....	322
21.2	<b>Was macht einen „Bioökonomiker“ aus?</b> .....	322
21.3	<b>Wie wird man zum Bioökonomiker bzw. dazu ausgebildet?</b> .....	323
21.4	<b>Was gibt es an Ausbildungen schon?</b> .....	324
21.5	<b>Was braucht der Bioökonomiker zusätzlich?</b> .....	325
21.6	<b>Sollte es also mehr Studiengänge „Bioökonomie“ geben?</b> .....	326
	<b>Literatur</b> .....	326
22	<b>Governance der Bioökonomie am Beispiel des Holzsektors in Deutschland</b> .....	329
	<i>Erik Gawel</i>	
22.1	<b>Governance von Bioökonomie</b> .....	330
22.2	<b>Die Rolle der Politik beim Pfadübergang</b> .....	331
22.3	<b>Governance der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland</b> .....	333
22.4	<b>Perspektiven einer aktiven Bioökonomiepolitik</b> .....	337
	<b>Literatur</b> .....	340
23	<b>Governance der Bioökonomie im weltweiten Vergleich</b> .....	343
	<i>Thomas Dietz, Jan Börner, Jan Janosch Förster und Joachim von Braun</i>	
23.1	<b>Einleitung</b> .....	344
23.2	<b>Konzeptionelle Grundlagen</b> .....	346
23.3	<b>Empirische Analyse von 41 nationalen Bioökonomiestrategien</b> .....	353
	<b>Literatur</b> .....	358

24	<b>Nachhaltigkeit und Bioökonomie</b> .....	361
	<i>Bernd Klauer und Harry Schindler</i>	
24.1	<b>Einleitung</b> .....	362
24.2	<b>Was versteht man unter Nachhaltigkeit?</b> .....	362
24.3	<b>Bioökonomie als Baustein für Nachhaltigkeit</b> .....	363
24.4	<b>Maßgebliche Nachhaltigkeitsdimension der Bioökonomie</b> .....	364
24.5	<b>Diskurse und Herausforderungen für eine nachhaltige Bioökonomie</b> .....	367
24.6	<b>Ausblick</b> .....	368
	<b>Literatur</b> .....	369
25	<b>Standortbestimmung des Systems Bioökonomie in Deutschland</b> .....	373
	<i>Daniela Thrän und Urs Moesenfechtel</i>	
25.1	<b>Einleitung</b> .....	374
25.2	<b>Ressourcen für die Bioökonomie von morgen</b> .....	374
25.3	<b>Innovationserwartungen und Zielbilder</b> .....	377
25.4	<b>Akteure als Ausgangspunkt für die Ausbildung eines Bioökonomiesystems</b> .....	378
25.5	<b>Wieviel Bioökonomie werden wir uns leisten können?</b> .....	379
25.6	<b>Ausblick auf die globalen Stoffströme</b> .....	379
25.7	<b>„Neue Spieler“ jenseits der Stoffströme</b> .....	381
25.8	<b>Aussicht auf das System Bioökonomie in Deutschland</b> .....	383
	<b>Literatur</b> .....	384
	<b>Serviceteil</b>	
	Stichwortverzeichnis .....	389

# Herausgeber- und Autorenverzeichnis

---

## Über die Herausgeber

---

### Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän

(geb. 1968) studierte Technischen Umweltschutz an der Universität Berlin und promovierte an der Bauhaus Universität Weimar. Sie erforscht, wie Biomasse möglichst nachhaltig erzeugt und verwertet werden kann. Seit 2003 ist sie Bereichsleiterin Bioenergiesysteme am Deutschen Biomasseforschungszentrum in Leipzig. Seit 2011 leitet sie das Department Bioenergie am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig und hat seitdem den Lehrstuhl Bioenergiesysteme an der Universität Leipzig inne. Ihre Expertise zur nachhaltigen Nutzung und Produktion von Biomasse bringt sie in zahlreiche Gremien ein. Sie leitet Forschungsprojekte im Bereich Bioenergie, Bioökonomie und Raumwirkungen der erneuerbaren Energien und hat u. a. das Smart-Bioenergy-Konzept entwickelt.

### Urs Moesenfechtel

(geb. 1978) studierte von 1998 bis 2005 an den Universitäten Köln und Leipzig Germanistik, Erwachsenenpädagogik und Politikwissenschaften und ist seitdem an den Schnittstellen von Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Veranstaltungsorganisation und Bildungsmanagement tätig. Die Vermittlung von Umwelt- und Naturschutzthemen bildet dabei einen Schwerpunkt seiner Arbeit. Seit 2013 arbeitet er am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) und war dort bereits als Presse- und Öffentlichkeitsreferent für die Projekte „Naturkapital Deutschland (TEEB DE)“, „Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie (BONARES)“ sowie „Netzwerk-Forum zur Biodiversitätsforschung Deutschland (NeFo)“ tätig. Ebenso arbeitet er seit 2013 am UFZ-Department Bioenergie als Wissenschaftskommunikator mit dem Schwerpunkt Bioökonomie. Dort leitete er u. a. die Kommunikationsaktivitäten im Rahmen der Begleitforschung des Spitzenclusters Bioökonomie sowie das BioökonomielnformationsBüro.

## Autorenverzeichnis

---

### Prof. Dr. Anne-Karen Beck

BioEconomy e. V.

Halle (Saale), Deutschland

[anne-k.beck@bioeconomy.de](mailto:anne-k.beck@bioeconomy.de)

Bonn, Deutschland

[jborner@uni-bonn.de](mailto:jborner@uni-bonn.de)

### Prof. Dr. Joachim von Braun

Center for Development Research (ZEF)

University of Bonn

Bonn, Deutschland

[jvonbraun@uni-bonn.de](mailto:jvonbraun@uni-bonn.de)

### Prof. Dr. Nicolaus Dahmen

Institut fuer Katalyseforschung und -technologie (IKFT)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland

[nicolaus.dahmen@kit.edu](mailto:nicolaus.dahmen@kit.edu)

### Prof. Dr. Jan Börner

ILR Institut für Lebensmittel- und

Ressourcenökonomik

Universität Bonn

### Prof. Dr. Thomas Dietz

Institute for Political Science

University of Münster

Münster, Deutschland

[thomas.dietz@uni-muenster.de](mailto:thomas.dietz@uni-muenster.de)

**Prof. Dr. Gerhard Flachowsky**

Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit,  
Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)  
Braunschweig, Deutschland  
[gerhard.flachowsky@fli.bund.de](mailto:gerhard.flachowsky@fli.bund.de)

**Dr. Jan Janosch Förster**

Center for Development Research (ZEF)  
University of Bonn  
Bonn, Deutschland  
[jforster@uni-bonn.de](mailto:jforster@uni-bonn.de)

**Prof. Dr. Erik Gawel**

Department Ökonomie  
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ  
Leipzig, Deutschland  
[erik.gawel@ufz.de](mailto:erik.gawel@ufz.de)

**Prof. Dr.-Ing. Rudolf Hausmann**

Fachgebiet Bioverfahrenstechnik (150k),  
Institut für Lebensmittelwissenschaft und  
Biotechnologie  
Universität Hohenheim  
Stuttgart, Deutschland  
[Rudolf.Hausmann@uni-hohenheim.de](mailto:Rudolf.Hausmann@uni-hohenheim.de)

**Prof. Dr. Stefanie Heiden**

Institut für Innovations-Forschung, Technologie-  
Management & Entrepreneurship ITE  
Leibniz Universität Hannover  
Hannover, Deutschland  
[stefanie.heiden@ite.uni-hannover.de](mailto:stefanie.heiden@ite.uni-hannover.de)

**Christiane Hennig**

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum  
gemeinnützige GmbH  
Leipzig, Deutschland  
[christiane.hennig@dbfz.de](mailto:christiane.hennig@dbfz.de)

**Prof. Dr. Thomas Hirth**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Karlsruhe, Deutschland  
[thomas.hirth@kit.edu](mailto:thomas.hirth@kit.edu)

**Dr. Manfred Kircher**

KADIB-Kircher Advice in Bioeconomy  
Frankfurt am Main, Deutschland  
[kircher@kadib.de](mailto:kircher@kadib.de)

**Prof. Dr. Manfred Kirchgeorg**

HHL Leipzig Graduate School  
of Management  
Leipzig, Deutschland  
[manfred.kirchgeorg@hhl.de](mailto:manfred.kirchgeorg@hhl.de)

**Prof. Dr. Ronny Kittler**

futureSAX GmbH  
Dresden, Deutschland  
[info@futuresax.de](mailto:info@futuresax.de)

**Prof. Dr. Bernd Klauer**

Department Ökonomie  
Helmholtz-Zentrum für  
Umweltforschung - UFZ  
Leipzig, Deutschland  
[bernd.klauer@ufz.de](mailto:bernd.klauer@ufz.de)

**Prof. Dr. Charli Kruse**

Institut für Medizinische und Marine  
Universität zu Lübeck  
Lübeck, Deutschland  
[charli.kruse@emb.fraunhofer.de](mailto:charli.kruse@emb.fraunhofer.de)

**Prof. Dr. Iris Lewandowski**

Nachwachsende Rohstoffe und  
Bioenergiepflanzen  
Universität Hohenheim  
Stuttgart, Deutschland  
[Iris\\_Lewandowski@uni-hohenheim.de](mailto:Iris_Lewandowski@uni-hohenheim.de)

**Prof. Dr. Frank Miletzky**

fm innovation  
Dresden, Deutschland  
[office@miletzky.de](mailto:office@miletzky.de)

**Prof. Dr. Urs Moesenfichtel**

Department Bioenergie (BEN)  
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung  
GmbH – UFZ  
Leipzig, Deutschland  
[urs.moesenfichtel@ufz.de](mailto:urs.moesenfichtel@ufz.de)

**Prof. Dr. Benjamin Nummert**

Europabüro Brüssel  
Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI)  
Bruxelles, Deutschland  
[nummert@bruessel.vci.de](mailto:nummert@bruessel.vci.de)

**Prof. Dr. Markus Pietzsch**

Department of Pharmaceutical Technology and  
Biopharmacy c/o Biozentrum  
Martin Luther University Halle Wittenberg  
Halle (Saale), Deutschland  
[markus.pietzsch@pharmazie.uni-halle.de](mailto:markus.pietzsch@pharmazie.uni-halle.de)

**Prof. Dr. Klaus Pillen**

Martin-Luther-University Halle-Wittenberg  
Halle (Saale), Deutschland  
[klaus.pillen@landw.uni-halle.de](mailto:klaus.pillen@landw.uni-halle.de)

**Prof. Dr. Thomas Rausch**

Universität Heidelberg  
Heidelberg, Deutschland  
[thomas.rausch@cos.uni-heidelberg.de](mailto:thomas.rausch@cos.uni-heidelberg.de)

**Dr. Kathrin Rübberdt**

Biotechnologie & Kommunikation  
DECHEMA e. V.  
Frankfurt am Main, Deutschland  
[ruebberdt@dechema.de](mailto:ruebberdt@dechema.de)

**Apl. Prof. Dr. Rüdiger Schaldach**

Kassel, Deutschland  
[schaldach@usf.uni-kassel.de](mailto:schaldach@usf.uni-kassel.de)

**Dr. Harry Schindler**

Deutsches  
Biomasseforschungszentrum  
gemeinnützige GmbH  
Leipzig, Deutschland  
[harry.schindler@dbfz.de](mailto:harry.schindler@dbfz.de)

**Dr. Andrea Schüch**

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät  
Universität Rostock  
Rostock, Deutschland  
[andrea.schuech@uni-rostock.de](mailto:andrea.schuech@uni-rostock.de)

**Dr. Joachim Schulze**

BioEconomy e. V.  
Halle (Saale), Deutschland

**Prof. Dr. Ulrich Schurr**

Forschungszentrum Jülich, IBG-2  
Jülich, Deutschland  
[u.schurr@fz-juelich.de](mailto:u.schurr@fz-juelich.de)

**Dr. Heike Slusarczyk**

Geschäftsstelle BioSC c/o Forschungszentrum  
Jülich, IBG-2  
Jülich, Deutschland  
[h.slusarczyk@fz-juelich.de](mailto:h.slusarczyk@fz-juelich.de)

**Dr. Nora Szarka**

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum  
gemeinnützige GmbH  
Leipzig, Deutschland  
[nora.szarka@dbfz.de](mailto:nora.szarka@dbfz.de)

**Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän**

Department Bioenergie (BEN)  
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung  
GmbH – UFZ  
Leipzig, Deutschland  
[daniela.thraen@ufz.de](mailto:daniela.thraen@ufz.de)

**Dr. Anne-Laure Tissier**

Martin-Luther-University Halle-Wittenberg  
Halle (Saale), Deutschland  
[anne-laure.tissier@sciencecampus-halle.de](mailto:anne-laure.tissier@sciencecampus-halle.de)

**Dr. Johann Wackerbauer**

Ifo Zentrum für Energie, Klima und Ressourcen  
München, Deutschland  
[wackerbauer@ifo.de](mailto:wackerbauer@ifo.de)

**Prof. Dr. André Wagenführ**

Fakultät Maschinenwesen, Institut für  
Naturstofftechnik, Professor für Holztechnik  
und Faserwerkstofftechnik  
Technische Universität Dresden  
Dresden, Deutschland  
[andre.wagenfuehr@th-rosenheim.de](mailto:andre.wagenfuehr@th-rosenheim.de)

**Dr. Annette Weidtmann**

Landesgeschäftsstelle  
Forschungsprogramm Bioökonomie  
Baden-Württemberg  
Stuttgart, Deutschland  
[annette.weidtmann@uni-hohenheim.de](mailto:annette.weidtmann@uni-hohenheim.de)

**Prof. Dr. Ludger A. Wessjohann**

Leibniz-Institut für Pflanzenbiochemie  
Halle (Saale), Deutschland  
[Wessjohann@ipb-halle.de](mailto:Wessjohann@ipb-halle.de)

**Prof. Dr. Dr. Wilhelm Windisch**

Department für Tierwissenschaften  
Technischen Universität München  
Freising-Weihenstephan, Deutschland  
[wilhelm.windisch@wzw.tum.de](mailto:wilhelm.windisch@wzw.tum.de)

**Franziska Wolff**

Freiburg – Darmstadt – Berlin

Öko-Institut/Institute for Applied Ecology  
Berlin, Deutschland  
[f.wolff@oeko.de](mailto:f.wolff@oeko.de)

**Prof. Dr. Matthias Zscheile**

BCM BioEconomy Cluster Management GmbH  
Halle (Saale), Deutschland  
[matthias.zscheile@bioeconomy.de](mailto:matthias.zscheile@bioeconomy.de)



# Einführung in das System Bioökonomie

*Daniela Thrän*

- 1.1 Globale Herausforderungen der Zukunft – 2
- 1.2 Bioökonomie als Zukunftschance – 3
- 1.3 Die Ressourcen der Bioökonomie – 8
- 1.4 Verfahrensprinzipien einer wissensbasierten Bioökonomie – 10
- 1.5 Bioökonomie aus systemischer Sicht – 13
- Literatur – 16

## 1 1.1 Globale Herausforderungen der Zukunft

Der Mensch sammelt und speichert seit Jahrmillionen Wissen, das er zur Verbesserung seiner Lebenssituation einsetzt. Das Wissen, der Wohlstand und auch die Menschheit sind in der Vergangenheit dramatisch gewachsen. Jedoch wird ein solches Wachstum, wie wir es aus der Vergangenheit kennen, insbesondere von den Umweltwissenschaftlern als endlich angesehen. Bereits der Club of Rome hat im Jahr 1972 in seiner Schrift „Grenzen des Wachstums“ darauf hingewiesen, dass das unbegrenzte Wachstum in einer Welt mit begrenzten Ressourcen unmöglich sei (Meadows et al. 1972). Heute sind die unterschiedlichen Wirkungen der Ressourceninanspruchnahme vielfältig nachgewiesen (International Resource Panel 2017). Die drängendsten globalen Herausforderungen die sich daraus in der Zukunft für die Menschheit ergeben, beziehungsweise schon jetzt bestehen, sind vor allem

1. die Erhaltung einer vielfältigen, leistungsfähigen Natur als Lebensgrundlage,
2. die Überwindung der hohen Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen und des damit verbundenen Klimawandels mit seinen weltweiten Folgen,
3. die Versorgung einer wachsenden Weltbevölkerung mit zunehmend alternden Gesellschaften und
4. die Reduzierung der Widersprüche zwischen Wirtschaftswachstum und Nachhaltigkeit (BMBF 2014).

Das Ziel, in Zukunft die Erde so zu nutzen, dass alle Länder der Erde gerechte Entwicklungschancen erhalten und ohne dass dadurch die Entfaltungschancen zukünftiger Generationen geschmälert werden (Vereinte Nationen 2015a), haben die Vereinten Nationen (UN) bereits in der Erklärung von Rio de Janeiro im Jahr 1992 verabschiedet (Vereinte Nationen 1992). Infolge dieser Erklärung – als Antwort auf die zunehmend komplexeren weltweiten Herausforderungen

– wurden im Herbst 2015 die *Sustainable Development Goals* (SDGs) beschlossen (Vereinte Nationen 2015b), die für alle Staaten gelten und bis 2030 umgesetzt werden sollen. Die 17 Ziele und 169 Unterziele untermauern das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung in umfassender Weise, auch wenn sie bisher noch nicht vollständig differenziert wurden und teilweise widersprüchlich sind (Pfauf et al. 2014). Sie bilden einen weltweit vereinbarten Rahmen, der sowohl die Ressourcenbasis als auch Gesellschaft und Wirtschaft in ihren Entwicklungsmöglichkeiten einbezieht (Abb. 1.1). Zwar haben sich die Lebensbedingungen (Lebenserwartung, Wassermangel, Wirtschaftswachstum, Armut etc.) vieler Menschen global gesehen im letzten Jahrzehnt signifikant verbessert<sup>1</sup>. Gleichwohl sind die globalen Herausforderungen um eine nachhaltige Wirtschaftsweise so prekär wie nie zuvor. Das Global Footprint Network berechnete, dass die Zeitspanne, in der die für das Jahr global verfügbaren Ressourcen verbraucht sind, sich seit 1987 jährlich um ein bis sechs Tage verkürzt und im Jahr 2018 auf den 1. August fiel (Mosbergen 2016).

Um die Herausforderungen zu bewältigen, muss an vielen Stellschrauben gedreht werden – in die richtige Richtung und in einem abgestimmten Zusammenspiel. Dies erfordert, sowohl das große Ganze im Blick zu haben, als auch für die verschiedenen Schrauben die richtigen Dreher zu aktivieren. Um in dem technischen Bild zu bleiben: Der Maschinenraum der Transformation hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft ist ein komplexes System, das man als Ganzes im Blick haben, aber auch an den richtigen Stellen justieren muss. Es ist ein Raum in Bewegung, in dem nicht nur eingestellt und gesteuert, sondern auch pausenlos umgebaut wird, sodass grundlegend Neues entsteht.

Das ist unsere Motivation dieses Buch zu schreiben: Wir wollen die Bioökonomie am

1 Für weitere Informationen siehe: ► <https://ourworldindata.org/>



■ **Abb. 1.1** Die Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (UN). (Quelle: Vereinte Nationen 2015c)

Beispiel Deutschlands in ihren Möglichkeiten und Risiken zur Bewältigung der globalen Herausforderung als System umreißen, aber auch die Teilsysteme beleuchten, die mit ihren verschiedenen Errungenschaften, und Erwartungen die erforderlichen Räder in Bewegung setzen. Wir wollen die vielen Informationen über Bioökonomie ordnen, für verschiedene Akteure verstehbar machen und damit die „undurchdringliche“ Komplexität mindern, sodass Entwicklungsperspektiven deutlicher werden. Systemwissen ist die entscheidende Voraussetzung für die Gestaltung einer nachhaltigen Bioökonomie.

## 1.2 Bioökonomie als Zukunftschance

Das immer wieder neue Entstehen von Leben, die Wechselwirkung mit der Natur und das Gleichgewicht biologischer Prozesse sind die zentrale Grundlage für das menschliche Dasein. Der Naturhaushalt hat diese über Jahrmillionen bereitgestellt. Diese Prinzipien der belebten Natur als Vorbild für menschliches Wirtschaften zu nutzen, wird als ein

wichtiger Ansatz beim Umgang mit den globalen Herausforderungen gesehen (Bio-diversity in Good Company 2016).

Betrachtet man die biologischen Prozesse im Detail, so hat sich in den vergangenen Jahrhunderten und insbesondere in den letzten Jahrzehnten ebenfalls ein umfassend besseres Verständnis entwickelt: Genetik, Biotechnologie und Materialwissenschaften bieten heute die Möglichkeit, die natürlichen Prozesse nicht nur nachzubilden, sondern auch weiterzuentwickeln und eröffnen damit einen weiteren Blick auf die Frage, welchen Beitrag der Naturhaushalt bei der Lösung der globalen Herausforderungen liefern kann.

Die Idee der Bioökonomie befindet sich genau in diesem Spannungsfeld. Auch wenn der Begriff „Bioökonomie“ in unterschiedlicher Weise verwendet wird (► **Infobox: Was ist Bioökonomie?**), beinhalten zumindest die umfassenderen Definitionen darin ein wichtiges Element des gesellschaftlichen Wandels hin zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise. Gemeinhin werden der Bioökonomie natürliche Kreisläufe zugrunde gelegt und der Anspruch formuliert, dass diese im Sinne des Umwelt- und Ressourcenschutzes erhalten werden (Berger 2018).

## Was ist Bioökonomie?

Bioökonomie leitet sich aus den Begriffen bios (Leben), oikos (Haus) und nomos (Gesetz) ab. Als Prinzip wurde der Begriff erstmals in den 1960er-Jahren von Zeman verwendet (Bonaiuti 2014), der damit die biologische Basis fast aller ökonomischen Aktivitäten hervorhob. Eine andere Genese des Begriffs wird im Zusammenhang mit den Entdeckungen der Genetik in den späten 1990er-Jahren und der damit verbundenen Erwartung einer umfassenden Revolution des Industriesektors beschrieben. Heute definiert der Bioökonomierat der Bundesregierung 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 (Bioökonomierat 2019). Er benennt Land- und Forstwirtschaft, Energiewirtschaft, Fischerei und Aquakultur, Chemie und Pharmazie, Nahrungsmittelindustrie, Industrielle Biotechnologie, Papier- und Textilindustrie sowie den Umweltschutz als wichtige Anwendungsfelder. In ihrer volkswirtschaftlichen Breite, der Berücksichtigung unterschiedlichster Nutzung und zukünftiger Bedarfe vertritt diese Definition einen umfassenden (systemischen) Anspruch. Daher folgen wir ihr in diesem Buch – sowohl bei den Gesamtbetrachtungen der Bioökonomie in Deutschland als auch bei den Darstellungen einzelner Aspekte. Darüber hinaus gibt es viele weitere Definitionen, die sich

zwischen dieser umfassenden Definition und einem deutlich schmaleren Verständnis der Weiterentwicklung der industriellen Biotechnologie aufspannen. Der Begriff der „biobasierten Wirtschaft“ wird häufig synonym verwendet. Der Begriff „biologische Transformation“ (Biologisierung) ist ein Sammelbegriff für die zunehmende Integration von Prinzipien der Natur in moderne Wirtschaftsbereiche, beziehungsweise die Entwicklung von Produkten oder Problemlösungen, angetrieben durch den Erkenntnisgewinn in den Lebenswissenschaften und insbesondere der Biotechnologie. So wird etwa von der Biologisierung der Wirtschaft, der Biologisierung der Industrie oder der Biologisierung der Technik gesprochen.

Bioökonomie soll demnach nicht als Wirtschaftszweig verstanden werden, sondern als Zeugnis eines Umdenkprozesses zu einer „grünen Wirtschaft“, der durch weitere wichtige Elemente zu ergänzen ist (Bioökonomierat 2019): Wenn ein nachhaltiger Umgang mit den natürlichen Lebensgrundlagen Wasser, Luft und Boden, der Schutz der Biodiversität sowie die Berücksichtigung sozialer Aspekte eingeschlossen werden, kann Bioökonomie einen Beitrag zu Klimaschutz, Ressourcenschonung und globaler Ernährungssicherheit leisten.

Die Chancen die dem Konzept der Bioökonomie erwachsen, zielen auf unterschiedliche Handlungsfelder (■ Abb. 1.2):

- Die sichere Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung bedarf sowohl der ständigen Weiterentwicklung der bestehenden landwirtschaftlichen Produktion als auch der Entwicklung

neuer Produktionssysteme, zum Beispiel für die Bereitstellung von Proteinen aus Aquakulturen, Algen, Insekten und anderen Rohstoffen oder die Etablierung von Produktionssystemen in wachsenden Städten (*urban farming*).

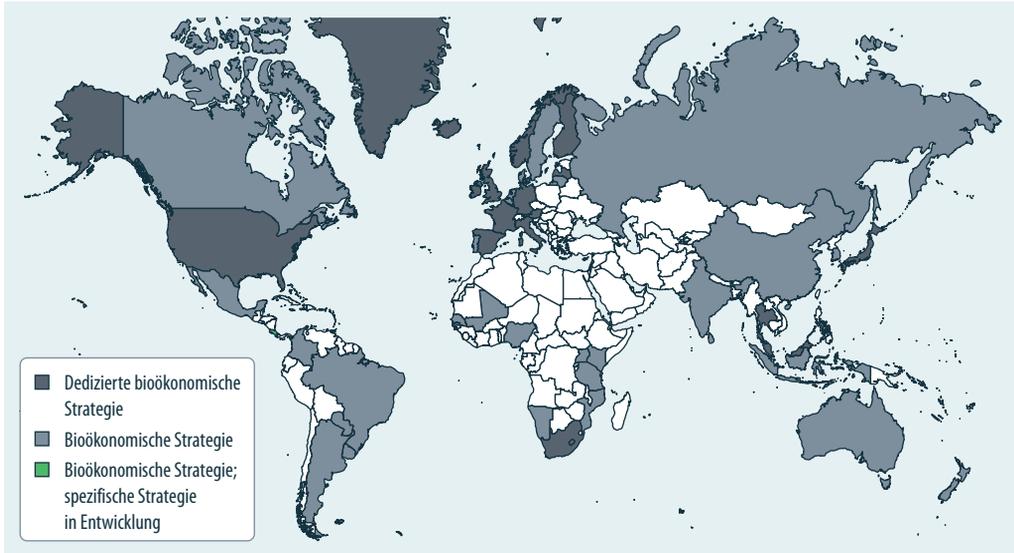
- Die Substitution fossiler Rohstoffe ist eine zentrale Herausforderung zur Erreichung der international vereinbarten Klimaschutzziele. Biologische Baumaterialien, aber auch biobasierte Chemieprodukte, die in Bioraffinerien erzeugt werden, gelten hier als wichtige Handlungsfelder. Energie aus Biomasse kann fossile Energieträger substituieren, ist jedoch durch die verfügbare Biomasse begrenzt, sodass ein flächendeckender Einsatz nicht möglich sein wird. Eine entsprechende Nutzung von Biomasse als Energieträger sollte daher zielgerichtet erfolgen, zum

- 
- ▶ Sichere Welternährung
  - ▶ Substitution fossiler Rohstoffe
  - ▶ Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit
  - ▶ Arbeitsplätze im ländlichen Raum
  - ▶ Baustein für grünes Wachstum
- ▶ Konflikte um Biomasse und Land
  - ▶ Risiken der Gentechnik
  - ▶ Ökonomisierung der Natur
  - ▶ Gefährdung der individuellen Grundrechte

■ **Abb. 1.2** Chancen und Risiken der Bioökonomie. (Quelle: eigene Darstellung)

Beispiel zur Schließung von Stoffkreisläufen oder von Versorgungslücken in einem nachhaltigen Energiesystem.

- Neue, intelligentere Produkte und Prozesse bieten Chancen für Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit. Materialien mit verbesserten Eigenschaften gegenüber denen aus Erdöl oder Beton können zum Beispiel ein weniger materialintensives und gleichzeitig langlebigeres Bauen ermöglichen. In der Medizin und der Pharmazie werden mit Therapien und Wirkstoffen, die individuell auf die einzelne Person abgestimmt sind, höhere Heilungserfolge als mit bis dato üblichen Produkten erzielt. Jedoch liegt ein Großteil des Innovationspotenzials noch im Dunkeln: Zum Beispiel ist nur ein sehr kleiner Teil der schätzungsweise mehreren Hundert Millionen Mikroorganismenarten, die auf der Erde leben, klassifiziert (Kallmeyer et al. 2012).
- Die nachhaltige Erzeugung und Verarbeitung von biogenen Ressourcen bietet auch die Chance, Arbeitsplätze im ländlichen Raum zu erhalten beziehungsweise neue dezentrale Wertschöpfungsketten zu schaffen. Dabei sind, das hat die Vergangenheit gezeigt, weniger technische Innovationen als vielmehr neue organisatorische und gesellschaftliche Konzepte notwendig.
- Als Baustein für „grünes Wachstum“ kann Bioökonomie dann dienen, wenn die größeren Stoffkreisläufe entsprechend gestaltet werden. Recycling und Kreislaufwirtschaft bilden hier wichtige Elemente. Die Bioökonomie, die sich an den natürlichen Stoffhaushalten orientiert, erfordert auch die Verbrauchsreduktion und Änderung im Konsumverhalten (Grefe 2016). Dafür bedarf es die notwendigen Änderungen in den Einstellungen jedes Einzelnen.
- Besondere Dynamik erhält die Bioökonomie durch ihre Entwicklungsgeschwindigkeit – aktuell im Bereich der industriellen Biotechnologie und Genetik. Dies lässt sich beispielsweise durch die Entwicklung der Kosten für die Genomsequenzierung illustrieren. Die Leistungssteigerung und Kostensenkung verläuft wesentlich rascher als beim Moore’schen Gesetz, das die Geschwindigkeit der Verdopplung der Leistungsfähigkeit in der IT-Industrie in seiner Etablierungsphase beschrieben hat (Schaller 1997). Im Jahr 2006 kostete eine Genomsequenzierung rund 14 Mio. US\$, 2015 waren es nur noch 1.500 US\$ (Thrän und El-Chichakli 2017). Kurzfristig ist eine weitere Kostensenkung auf 100 US\$ zu erwarten (Ropers 2018). Vielfach wird davon ausgegangen, dass mithilfe der Bio- und Informationstechnologie in den kommenden Jahren technische Entwicklungen möglich werden, „die jenseits der Vorstellungskraft früherer Generationen liegen“ (Fritsche und Rösch 2017 in Berger 2018, S. 7; Harari 2018; MPG 2019).



▣ **Abb. 1.3** Übersicht über verabschiedete Bioökonomiestrategien auf der Welt. (Quelle: eigene Darstellung)

Entsprechend des Potenzials und der Herausforderungen sind nicht nur in Deutschland (BMBF 2010), sondern in den letzten Jahren auch in vielen Ländern Bioökonomiestrategien verabschiedet worden (▣ Abb. 1.3).

Während in vielen Teilen der Welt das Innovationspotenzial nicht zuletzt wegen dieser Aussichten auf neue Märkte uneingeschränkt positiv eingeschätzt wird (Zinke et al. 2016), besteht insbesondere in Deutschland und in der Europäischen Union zusätzlich erhebliche Kritik an der Bioökonomie, die eine ganze Bandbreite von Risiken adressiert:

- Die Nutzung von Pflanzen und ihren Produkten in vielfältigen Anwendungsbereichen birgt Konflikte um Biomasse und Land, das zur Bereitstellung der Biomasse benötigt wird. Artenverlust und Verschlechterung der Bodenqualität sind weltweit die Folgen einer intensiven landwirtschaftlichen Produktion.
- Aber auch Einschränkungen bei der Verteilung und beim Zugang zu Land und Nahrungsmitteln stellen erhebliche Risiken dar, wie die sogenannte „Teller-oder-Tank“-Debatte in den 2000er-Jahren gezeigt hat. Damals war

durch politische Anreize in vielen Ländern gleichzeitig der Anbau von Energiepflanzen, insbesondere Palmöl und Mais, für die Biokraftstoffproduktion propagiert und gefördert worden. Weil es gleichzeitig zu einer verstärkten Nachfrage nach Nahrungsmitteln kam, stiegen die Weltmarktpreise für Agrarprodukte innerhalb kurzer Zeit drastisch. Auch wenn die tatsächlichen Auswirkungen auf die Ernährungssicherheit umstritten sind, hat das Bild des hungernden Menschen neben dem Tankdeckel eines Hochpreis-PKWs den Eindruck von ethisch unvertretbaren Nutzungskonkurrenzen gefestigt.

- Durch die Möglichkeiten einer gezielten Veränderung des Erbguts von Mikroorganismen, Pflanzen und anderer Organismen durch molekularbiologische Werkzeuge (*genome editing*<sup>2</sup>) hat sich

2 Diesen Begriff verstehen wir hier als Sammelbegriff für die Anwendung neuer molekularbiologischer Werkzeuge (wie zum Beispiel Zinkfinger-Nukleasen, TALEN und CRISPR/Cas. Siehe dazu auch: ► <https://www.dialog-gea.de/themen/inhalte> und ► [https://de.wikipedia.org/wiki/Genome\\_Editing](https://de.wikipedia.org/wiki/Genome_Editing).

die Züchtung von Nutzpflanzen und die Konversion ihrer Produkte signifikant verändert. Viele Biotechnologieverfahren wurden überhaupt erst ermöglicht. Neuere Techniken – insbesondere CRISPR/Cas<sup>3</sup> – besitzen ein enormes Entwicklungs- und Anwendungspotenzial, da sie, verglichen mit bisherigen Methoden, weniger aufwendig und präziser einsetzbar sind und ihre Anwendung mit einer erheblichen Zeit- und Kostenersparnis verbunden ist. Absehbar wird diese Technologie den Transformationsprozess hin zur Bioökonomie entscheidend prägen, vielfältigen und beschleunigen. Dabei wird die zentrale Frage des 21. Jahrhunderts sein, wie sich Wirtschaft und Gesellschaft diesen Entwicklungen regional bestmöglich stellen, wenn diese Technologie unsere gesamten Agrar- und Bioproduktionssysteme (und gegebenenfalls auch Ökosysteme) weltweit verändern und damit alle gesellschaftlichen Lebensbereiche tangieren wird. *Genome editing* löst schon jetzt moralische Fragestellungen von großer Tragweite aus. So birgt die Nutzung der biologischen Informationen der einzelnen Person das Risiko der Gefährdung der individuellen Grundrechte. Die Frage des Umgangs mit persönlichen genetischen Informationen ist gesellschaftlich noch nicht entschieden.

- Auch bergen die konsequente Erforschung und Erschließung der biologischen Prinzipien und Prozesse weitergehende gesellschaftliche Gefahren einer umfassenden Ökonomisierung der Natur. Die Sequenzierung der Gene als Grundbausteine des Lebens und ihre Freigabe zur Vermarktung durch Patentierung werden als Umwertung alles Lebendigen zum Rohstoff „Biomasse“ beschrieben, die das Leben kurzfristigen Renditezielen unterwirft und damit eine Fortsetzung

und Ausweitung des an schnellen Gewinnen orientierten Systems darstellt (Gottwald und Krätzer 2014).

Bei der Bandbreite der Erwartungen verwundert es nicht, dass umfassende und widersprüchliche Wechselwirkungen zwischen den SDGs und der Bioökonomie gesehen werden. In Deutschland erwarten bioökonomieinteressierte Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft vor allem Beiträge der Bioökonomie zu „Kein Hunger“ (SDG 2), „Sauberes Wasser und Sanitärversorgung“ (SDG 6), „Verantwortungsvolle Konsum- & Produktionsmuster“ (SDG 12), „Maßnahmen zum Klimaschutz“ (SDG 13) und „Leben unter Wasser und an Land“ (SDG 14 und 15) als einstimmig sehr wichtig eingeschätzt, während zum Beispiel bei „Keine Armut“ (SDG 1), „Bezahlbare und saubere Energie“ (SDG7) und „Industrie, Innovationen und Infrastruktur (SDG 9)“ die Meinungen deutlich auseinander gehen (Zeug et al. 2019).

Die vielfältigen Wechselwirkungen mit den SDGs verweisen auch auf ein zentrales Spannungsfeld. Es sind Akteure in verschiedensten Lebensbereichen mit der Bioökonomie befasst: Bioökonomie wird im Kontext von Land- und Forstwirtschaft, Mikrobiologie, mariner Wirtschaft und ihren jeweiligen Produkten verstanden, aber auch als Teil der Abfallwirtschaft, Energiewirtschaft und der Digitalisierung.

Im System wirken in den verschiedenen Wirtschaften beziehungsweise wirtschaftlichen Sektoren jeweils unterschiedliche Akteure zusammen. Sie bauen ihr Handeln auf ihre jeweiligen Errungenschaften und Erwartungen auf – und das kann zu Spannungen führen, aber auch beflügeln: Um die Zukunftschance der Bioökonomie zu nutzen, sind es genau diese Sektoren und Akteure, die in geeigneter Weise zusammenspielen müssen, also die in vorherigen Kapitel beschriebenen Schrauben drehen. Der zweite Teil dieses Buches ist daher dem Systemblick auf die Teilbereiche der Bioökonomie gewidmet.

Der Blick über den Tellerrand der Experten hinaus liefert aber auch noch ein ganz

3 Für weitere Informationen siehe: ► <https://www.mpg.de/11018867/crispr-cas9>.

anderes Bild: In der Vergangenheit kannte die Mehrheit der Deutschen, laut Umfrageergebnissen von 2013 (IfD 2013), das Konzept der Bioökonomie nicht (Bioökonomierat 2013). Neuere Untersuchungen liegen nicht vor, doch es gibt kaum Hinweise, dass sich das Bild grundlegend verändert hat. Bis heute fehlen klare Visionen oder Leitbilder, wie eine bioökonomische Zukunft aussehen soll. So zielt zwar die überarbeitete Strategie der Europäischen Union aus dem Jahr 2018 auf eine umfassende Betrachtung der Bioökonomie in einer gesunden Umwelt und auch auf die Beachtung des städtischen und ländlichen Umfeldes ab, enthält aber nach wie vor keine konkreten Ziele oder Transformationspfade (EK 2018). Auch die neue nationale Bioökonomiestrategie hat einen ähnlichen Tenor. Öffentliche Dialog- und Diskursveranstaltungen sind selten und Kritiker bezeichnen die Bioökonomie als Nebelwand (denkhausbremen 2018). Auch jüngere Untersuchungen unter Akteuren des Forst- und Holzsektors ergaben, dass große Unklarheit besteht, wie die zukünftigen Entwicklungen aussehen werden (Stein et al. 2018).

Die Bioökonomie entwickelt sich trotzdem – angetrieben von Akteuren und in regionalen Kooperationen – mit verschiedenen Motivationen und Handlungsfeldern quer durch die Wirtschaften. Diesen Machern und Organisationsformen der Bioökonomie in Deutschland widmen wir den dritten Teil dieses Buches.

### 1.3 Die Ressourcen der Bioökonomie

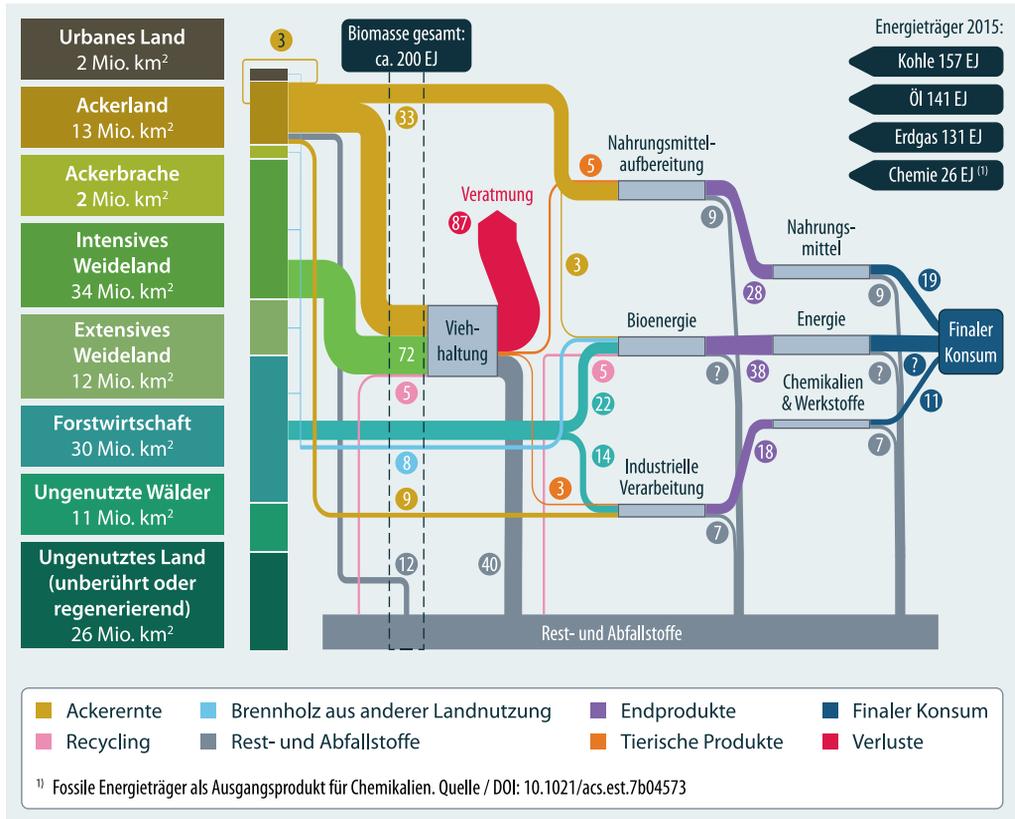
Landflächen, Biomasse, Mikroorganismen, Technologien, Wissen etc. bilden die Ressourcen der Bioökonomie. Sie werden von der Natur immer wieder neu bereitgestellt oder können durch Kreislaufschließung am Ende der Nutzung durch den Menschen generiert werden. Beide Elemente bilden gemeinsam die Ressourcenbasis.

Biomasse wird als Rohstoff in verschiedensten Verarbeitungsstufen gehandelt und auch vielfach nach Deutschland importiert. Eine nationale Betrachtung der Rohstoffe bleibt immer unvollständig.  Abb. 1.4 gibt daher einen Überblick über die Landnutzung und die globalen, vom Menschen verwerteten Biomasseströme. Die abgebildeten Daten stammen aus dem Jahr 2000, da keine neueren konsistenten Bilanzen verfügbar sind. Die gesamte Menge der geernteten Biomasse ist seit 2000 angestiegen; das Gesamtbild, insbesondere im Hinblick auf die Landnutzung sowie die Größenordnungen und die Relationen der Flüsse zueinander, sollte aber im Wesentlichen nach wie vor gültig sein (Angerer et al. 2016).

Dreiviertel der globalen Landfläche – außer Grönland und Antarktis – werden bereits durch den Menschen genutzt (Erb et al. 2017). Die noch ungenutzten Landflächen bestehen zum einen aus unproduktiven Böden wie Wüsten, zum anderen aus den letzten unberührten Urwäldern. Zusätzliche Landflächen können und sollten daher größtenteils nicht kultiviert werden (Angerer et al. 2016).

Insgesamt werden jährlich 235 EJ/Jahr Biomasse vom Menschen global geerntet (Zeddies und Schönleber 2014). Diese Menge besteht zur Hälfte aus Kulturpflanzen von Ackerland, die wiederum zur Hälfte als Viehfutter verwendet werden. Die geerntete Biomasse beinhaltet weiterhin zu einem Drittel von Nutztier verzehrte Gräser und zu einem Sechstel Holz. Damit werden insgesamt 135 EJ, also mehr als die Hälfte der insgesamt genutzten Biomasse, zur Fütterung von Vieh verwendet. Hiervon wiederum gelangen nur 5 EJ (4 %) in Form tierischer Produkte in die menschliche Ernährung. Der Rest wird von den Tieren veratmet oder endet als Abfallprodukt (Angerer et al. 2016).

Diese Zahlen zeigen den starken Einfluss der Ernährungsgewohnheiten auf den aktuellen und künftigen Landbedarf zur Nahrungsmittelproduktion. So könnten rechnerisch bei einer rein pflanzlichen Ernährung weltweit etwa doppelt so viele Menschen von der gleichen Fläche ernährt werden wie heute.



■ **Abb. 1.4** Flussdiagramm der geernteten globalen Biomasseflüsse in Exajoule pro Jahr für das Jahr 2000. Die linke Spalte illustriert die Nutzung der globalen Landflächen. (Quelle: eigene Darstellung, basierend auf den Daten aus Angerer et al. 2016)

Es würden Agrarflächen frei, die zur Bioenergieproduktion oder anderweitig genutzt werden können. Beispielsweise könnte, wenn der Fleischkonsum halbiert würde, die Biokraftstoffproduktion um das 7,7-Fache steigen, was 14 % der Treibhausgase im Verkehrssektor eindämmen würde (Zech und Schneider 2019). Im Hinblick auf das Bevölkerungswachstum und die steigende Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln in bevölkerungsreichen Ländern wie Indien und China geht die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) jedoch davon aus, dass die globale Agrarproduktion bis 2050 gegenüber 2005 um 60 % steigen muss (Alexandratos und Bruinsma 2012).

Aus ■ Abb. 1.4 wird ebenfalls ersichtlich, dass weniger als die Hälfte der geernteten Biomasse (86 EJ/Jahr) in Form von Nahrungsmitteln, Energieträgern, Chemikalien und Werkstoffen beim Menschen ankommt. Ein Großteil der Reststoffe der Pflanzen- und Holzernte verbleiben auf dem Feld oder im Wald und tragen unter anderem zur natürlichen Düngung des Bodens, zur Humusbildung und zum Erhalt der Artenvielfalt (zum Beispiel Totholzkäfer) bei (IEA 2017). Nutzbare Rest- und Abfallstoffe fallen bei der Ernte und Weiterverarbeitung der Biomasse an, aber auch bei oder nach der Nutzung (Angerer et al. 2016). So werfen Verbraucher beispielsweise in Deutschland pro Einwohner jährlich etwa 70 bis 90 kg an Nahrungsmitteln weg (Kranert et al. 2012). Gleichzeitig entsteht

eine vergleichbare Menge an Gebraucht- und Altholz am Ende der Nutzungsphase, das in Nutzungskaskaden weiterverwendet werden kann (Umweltbundesamt 2019).

Die Zahlen zeigen eindrucksvoll, dass die Biomassenutzung durch den Menschen im großen Bild bisher wenig kreislauforientiert und ressourcenschonend erfolgt. Jedoch gibt es bereits erfolgreiche Nischenprodukte: Phosphor ist einer jener Stoffe, deren Vorkommen sehr begrenzt ist, welcher jedoch für die Bodendüngung und Nahrungsmittelproduktion von großer Bedeutung ist. Mikroorganismen ermöglichen die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm. So werden beispielsweise in einer Anlage der Berliner Wasserbetriebe aus dem städtischen Abwasser Phosphorverbindungen biologisch mithilfe von Mikroorganismen herausgelöst und anschließend mit einem chemisch-physikalischen Verfahren kristallisiert. Das daraus entstehende Recyclingprodukt heißt Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP). Die Wasserbetriebe vertreiben es als mineralischen Langzeitdünger zu geringem Preis unter der Marke „Berliner Pflanze“ auch an Landwirte oder Kleinkunden (Berliner Wasserbetriebe o. D., in Thrän und El-Chichakli 2017). Zur Ressourcenschonung können künftige Ansätze zur Entwicklung nahr- und schmackhafter sowie gesunder Lebensmittelalternativen einen wichtigen Beitrag leisten. Ein Beispiel liegt in der Entwicklung von anderen Proteinquellen wie pflanzlicher Ei-, Milch- und Fleischersatz, Lebensmittel aus Pilz- oder Insektenproteinen oder im Labor gezüchtetes Fleisch (Bioökonomierat 2015).

Auch zeigt der Vergleich von Biomasse und fossilen Stoffströmen deutlich, dass es nicht nachhaltig ist, unsere aktuelle Wirtschaftsweise komplett mit Biomasse zu versorgen: Der gesamten Biomassernte von 235 EJ/Jahr stand im Jahr 2000 ein Verbrauch an fossilen Rohstoffen von 440 EJ/Jahr gegenüber, der bis zum Jahr 2015 auf 550 EJ/Jahr gestiegen ist (Our Finite World 2018).

Die Gegenüberstellung der Stoffströme liefert eine Einschätzung der Ressourcenverfügbarkeit, Effizienz und des Substitutionspotenzials der Bioökonomie. Stoffstromanalysen haben allerdings das Darstellungsproblem, dass kleine Stoffflüsse mit hohem Wertschöpfungspotenzial schwer erkennbar sind, und damit die Chancen, die sich aus einer sehr rohstoffeffizienten Nutzung der Biomasse ergeben, leicht übersehen werden. Biologisches Wissen ist in den Analysen naturgemäß nicht enthalten.

Eine nachhaltige Bioökonomie – so die Schlussfolgerung – muss daher die begrenzten Ressourcen als Ausgangspunkt verstehen und mit starkem Nachdruck technische und gesellschaftliche Innovationen forcieren, um Ressourcen zu schonen, Kreisläufe zu schließen und gleichzeitig die Bedürfnisse einer wachsenden Weltbevölkerung zu erfüllen. Die Beschreibung möglicher Innovationen und ihrer Realisierungschancen sind daher ein zentrales Element in den kommenden Kapiteln. Die ihnen zugrunde liegenden Verfahrensprinzipien sind im folgenden Kapitel dargestellt.

## 1.4 Verfahrensprinzipien einer wissensbasierten Bioökonomie

Stoffwechselaktivitäten von verschiedensten Organismen bilden den Ausgangspunkt für das Leben auf unserem Planeten, für Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere und Menschen. Ein zentraler Stoffwechsel stellt die natürliche *Photosynthese* dar: Pflanzenzellen nutzen die Sonnenenergie, um CO<sub>2</sub> aus der Luft zusammen mit Wasser zu Sauerstoff und Kohlenwasserstoffen umzubauen. Letztere stellen die Basis für das Pflanzenwachstum dar: Wurzeln, Stängel und Stämme, Blätter, Blüten und Früchte werden gebildet (biologische Synthese) sowie der Transport von Nährstoffen, Informationen und Abwehrstoffen organisiert. Weil die Pflanze verschiedenste Aufgaben erfüllen muss, wird die Energiegewinnung aus dem Sonnenlicht