PILOTBERICHT | zum Monitoring der deutschen Bioökonomie

BIOÖKONOMIE

JUNI 2020

UNIKASSEL VERSITÄT | CENTER FOR ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH

SYMOBIO

THÜNEN

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Gefördert durch:
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

IMPRESSUM

Dieser Bericht wurde erstellt vom Center for Environmental Systems Research (CESR) der Universität Kassel und dem Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei mit den Fachinstituten für Marktanalyse (TI-MA), für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (TI-WF) und für Seefischerei (TI-SF), zusammen mit Kooperationspartnern des SYMOBIO-Projekts (siehe Liste der beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler).

Gesamtkoordination: Prof. Dr. Stefan Bringezu (CESR) in Kooperation mit Prof. Dr. Martin Banse (TI)

Herausgeber: Center for Environmental Systems Research (CESR), Universität Kassel.

Der Bericht kann wie folgt zitiert werden:

S. Bringezu, M. Banse, L. Ahmann, N. A. Bezama, E. Billig, R. Bischof, C. Blanke, A. Brosowski, S. Brüning, M. Borchers, M. Budzinski, K.-F. Cyffka, M. Distelkamp, V. Egenolf, M. Flaute, N. Geng, L. Gieseking, R. Graß, K. Hennenberg, T. Hering, S. Iost, D. Jochem, T. Krause, C. Lutz, A. Machmüller, B. Mahro, S. Majer, U. Mantau, K. Meisel, U. Moesenfechtel, A. Noke, T. Raussen, F. Richter, R. Schaldach, J. Schweinle, D. Thrän, M. Uglik, H. Weimar, F. Wimmer, S. Wydra, W. Zeug (2020): Pilotbericht zum Monitoring der deutschen Bioökonomie. Hrsg. vom Center for Environmental Systems Research (CESR), Universität Kassel, Kassel, doi:10.17170/kobra-202005131255

Die Erstellung wurde gefördert im Rahmen des Projekts SYMOBIO vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Die Arbeiten des Thünen-Instituts wurden gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR).

Die Arbeiten von FhG-ISI basieren auf der Forschungsstudie „Ermittlung wirtschaftlicher Kennzahlen und Indikatoren für ein Monitoring des Voranschreitens der Bioökonomie“ die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in Auftrag gegeben wurde (Konsortium unter Leitung des ifo-Instituts).

Begleitet wurde die Erstellung von der Steuerungsgruppe zum Monitoring der Bioökonomie, in der die drei genannten Ministerien vertreten waren.

Zu den Kapiteln trugen folgende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei:

Kap. 1 | S. Bringezu

Kap. 2 | Koordination M. Banse
2.1: S. Iost (TI-WF) | 2.2: S. Iost, H. Weimar (TI-WF) | 2.3: A. Machmüller (TI-MA) | 2.4: S. Brüning (TI-SF) | 2.5: S. Iost, D. Jochem, Holger Weimar (TI-WF) | 2.6: N. Geng, J. Schweinle (TI-WF) | 2.7: A. Brosowski (DBFZ), T. Krause (DBFZ), U. Mantau (INFRO), B. Mahro (HS Bremen), A. Noke (HS Bremen), F. Richter (Witzenhausen-Institut), T. Raussen (Witzenhausen-Institut), R. Bischof (VAFB), T. Hering (VAFB), C. Blanke (INFRO), D. Thrän (DBFZ/UFZ)

Kap. 3 | Koordination M. Banse und S. Bringezu
3.1: S. Iost (TI-WF), M. Banse (TI-MA), J. Schweinle, H. Weimar (TI-WF) | 3.2: S. Iost, N. Geng, H. Weimar (TI-WF) | 3.3.1: N. Geng, J. Schweinle (TI-WF) | 3.3.2: M. Distelkamp, L. Ahmann (GWS) | 3.4.1: N. Geng, J. Schweinle (TI-WF) | 3.4.2: M. Distelkamp, L. Ahmann (GWS)

Kap. 4 | Koordination S. Bringezu
4.1: R. Graß (GNR), S. Bringezu (CESR) | 4.2: S. Bringezu, F. Wimmer (CESR), K. Hennenberg (Öko-Institut) | 4.3: M. Distelkamp, L. Ahmann (GWS) | 4.4: K.-F. Cyffka, A. Brosowski (DBFZ) | 4.5: W. Zeug, M. Uglik, N. | A. Bezama (UFZ), K. Meisel, S. Majer (DBFZ), D. Thrän (DBFZ/UFZ) | 4.6: U. Mantau, C. Blanke, L. Gieseking (INFRO) | 4.7.1: S. Wydra (FhG-ISI), S. Bringezu (CESR) | 4.7.2: E. Billig, M. Budzinski, M. Borchers, U. Moesenfechtel, D. Thrän (UFZ), S. Bringezu (CESR)

Kap. 5 | Koordination S. Bringezu
5.1: S. Bringezu (CESR) | 5.2: M. Distelkamp (GWS) | 5.3: V. Egenolf, S. Bringezu (CESR), M. Distelkamp (GWS) | 5.4: K. Hennenberg (Öko-Institut), F. Wimmer, R. Schaldach, S. Bringezu (CESR) | 5.5: F. Wimmer, R. Schaldach, S. Bringezu (CESR) | 5.6: N. Geng (TI-WF), C. Lutz, M. Distelkamp, M. Flaute (GWS)

PILOTBERICHT | ZUM MONITORING DER DEUTSCHEN BIOÖKONOMIE

INHALTSVERZEICHNIS

Impressum 2

Zusammenfassung – Executive Summary 7

1 Einleitung 11

2 Biogene Stoffströme in Deutschland 16

2.1 Einführung 17

2.2 Aggregierte Betrachtung 17

2.3 Agrarische Biomasse 19

2.4 Aquatische Biomasse 24

2.5 Forstliche Biomasse 28

2.6 Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten des Leitprodukts Europoolpalette 32

2.7 Rest- und Abfallströme 35

3 Sozioökonomische Entwicklung der Bioökonomie in Deutschland 37

3.1 Abgrenzung der Bioökonomie 38

3.2 Biobasierte Anteile der Wirtschaftszweige 39

3.3 Anteil der Bioökonomie an der Beschäftigung 42

3.3.1 Bisherige Entwicklung 42

3.3.2 Künftige Entwicklung 44

3.4 Anteil der Bioökonomie an der Bruttowertschöpfung 45

3.4.1 Bisherige Entwicklung 45

3.4.2 Künftige Entwicklung 47

4 Entwicklung von Trends und Treibern der Bioökonomie 48

4.1 Entwicklung der landwirtschaftlichen Erträge 49

4.1.1 Ökolandbau 49

4.1.2 Klimawandel 52

4.2 Umnutzung landwirtschaftlicher Flächen 52

4.3 Entwicklung des Konsumverhaltens 53

4.4 Nahrungsmittelabfälle 54

4.5 Energetische und stoffliche Verwendung von Biomasse 56

4.6 Recycling und kaskadenförmige Nutzung von Holzreststoffen 64

4.7 Technologische Entwicklung 69

4.7.1 Innovationen 69

4.7.2 Potenziell transformative Technologien 73

5 Die ökologischen Fußabdrücke der deutschen Bioökonomie 75

5.1 Die Bioökonomie im internationalen Kontext 76

5.2 Der Materialfußabdruck 78

5.3 Der Forstfußabdruck 80

5.4 Der Agrarfußabdruck 83

5.5 Der Wasserfußabdruck 90

5.6 Der Klimafußabdruck 95

6 Fazit 100

7 Literatur 102

8 Verzeichnisse und Glossar 107

Abbildungsverzeichnis 108

Tabellenverzeichnis 111

Abkürzungsverzeichnis 112

Glossar 114

ZUSAMMENFASSUNG – EXECUTIVE SUMMARY

ZUSAMMENFASSUNG – EXECUTIVE SUMMARY

Dieser Bericht gibt einen ersten Überblick über wesentliche Merkmale und Trends der deutschen „biobasierten Ökonomie“ im nationalen und internationalen Kontext.

In Übereinstimmung mit der Nationalen Bioökonomiestrategie[1] basiert der Bericht auf einer praktikablen Definition von Bioökonomie, indem alle Aktivitäten einbezogen werden, die mit der Produktion von Biomasse in Landwirtschaft, Fortwirtschaft, Fischerei, im Garten- und Landschaftsbau sowie den dort und in der Abfallwirtschaft anfallenden biogenen Rest- und Abfallstoffen und ihrer Verwendung im verarbeitenden Gewerbe, bei Dienstleistungen und im Konsum verbunden sind.

Der Bericht gliedert sich in eine Übersicht zu biogenen Stoffströmen (Kap. 2), Kerndaten sozioökonomischer Entwicklung (Kap. 3), Trends und Treiber der Bioökonomie (Kap. 4) und eine Gesamteinschätzung der ökologischen Fußabdrücke (Kap. 5).

In Deutschland wurden 2015 knapp 185 Mio. t Biomasse (Trockengewicht) in Land- und Forstwirtschaft und Fischerei erzeugt. Die Landwirtschaft trug 137 Mio. t, die Forstwirtschaft 48 Mio. t bei. Die Importe an Rohstoffen und verarbeiteten Waren überstiegen mit 72 Mio. t den Gesamtexport von 65 Mio. t.

Bei Getreide wurden 60 % als Tierfutter verwendet, 17 % gelangten in Nahrungsmittel, 10 % wurden stofflich und 8 % energetisch genutzt. Von produziertem Zucker wurden 87 % als Nahrungsmittel verwendet und 10 % energetisch genutzt. Pflanzenöle und -fette wurden schwerpunktmäßig (34 %) energetisch eingesetzt, in der oleochemischen Industrie stofflich genutzt (28 %) und zu gut einem Viertel als Nahrungsmittel verwendet.

Die Versorgung mit selbst gefangenem Hering reichte nicht aus, um den Bedarf der verarbeitenden Industrie zu decken. Auch an Fischnebenprodukten, die hauptsächlich zu Futter verarbeitet werden, wird deutlich mehr importiert als exportiert.

2015 wurden 69 Mio. m^3 (f) Rohholz dem Wald im Inland entnommen, wobei auch Altholz und Altpapier mit zusammen 41 Mio. m^3 (f) wesentlich zur Versorgung beitrugen. Deutschland war 2015 sowohl bei Rohholz als auch bei Reststoffen Nettoimporteur, während bei Holzhalb- und Papierfertigwaren Handelsüberschüsse vorlagen. 3,3 Mio. m^3 (f) Nadelschnittholz wurden zu Europaletten verarbeitet. 8.900 Beschäftigte waren an deren Produktion und Reparatur beteiligt. Sie erzielten eine Bruttowertschöpfung von

1 In der Definition der Bundesregierung (2020) umfasst die Bioökonomie die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen.

503 Mio. EURO bei einem Jahresverdienst, der ein Viertel unter dem deutschen Durchschnittseinkommen lag.

2017 waren insgesamt ca. 4,4 Mio. Erwerbstätige in der deutschen Bioökonomie beschäftigt (10 % der Gesamtwirtschaft). Bei Trendfortschreibung wird bis 2030 ein leichter Rückgang auf 4,3 Mio. erwartet. Das verarbeitende Gewerbe und das Gastgewerbe tragen den höchsten Anteil zur Beschäftigung bei. Je nach Abgrenzung der Bioökonomie und Modellierungsansatz lag die Bruttowertschöpfung in der Bioökonomie 2017 zwischen 165 und 265 Mrd. Euro. Das verarbeitende Gewerbe steuert hierbei über die Hälfte bei. Bis 2030 wird bei Trendfortschreibung mit einem weiteren Wachstum der Bioökonomie gerechnet – etwas niedriger als in der Gesamtwirtschaft –, wobei Energieversorgung, Gastgewerbe sowie Forschung und Entwicklung eher überdurchschnittlich wachsen würden, im Gegensatz zu Land-, Forstwirtschaft und Fischerei.

Die künftige Inanspruchnahme von agrarischen und forstlichen Rohstoffen, Land und Wasser sowie die Emission von Klimagasen wird wesentlich von der Entwicklung folgender Trends und Treiberfaktoren abhängen.

(a) Die ***Hektarerträge*** in der Landwirtschaft werden weltweit weniger stark steigen als in der Vergangenheit; der ökologische Landbau (2018 9 % der inländischen Agrarfläche) entlastet die Umwelt in verschiedener Weise, benötigt jedoch tendenziell mehr Fläche; Wetterextreme infolge des Klimawandels machen Vorhersagen unsicherer.

(b) Beim ***Konsumverhalten*** ist ein Trend zu weniger Fleisch erkennbar, der teilweise durch erhöhte Nachfrage nach Milcherzeugnissen kompensiert wird.

(c) Bei ***Nahrungsmittelabfällen*** ist die Datenbasis bezüglich Höhe und Vermeidbarkeit noch unzureichend.

(d) Die ***energetische Nutzung*** von Biomasse machte 2015 mit 738 PJ 8,3 % des Endenergieverbrauchs aus. Den größten Anteil hatte Holz für Heizzwecke (429 PJ), gefolgt von Strom und Wärme aus Biogasanlagen und Holzheizkraftwerken (186 PJ). Der Einsatz von Biokraftstoffen hat sich nach anfangs dynamischer Entwicklung in den letzten zehn Jahren stabilisiert. Insgesamt wurden 2017 Biokraftstoffe – vor allem Biodiesel und Bioethanol – mit einem Energiegehalt von 111 PJ eingesetzt, was bezogen auf die THG-Quote einem Anteil von 3,8 % im deutschen Verkehrssektor entsprach. Die Produktion von Biogas hat 2017 ein Plateau erreicht.

(e) Bei den holzbasierten Rohstoffen hat der Einsatz von Reststoffen, auch in Form von ***Kaskadennutzung***, seit 2008 die gleiche Größenordnung wie die Ernte im Wald mit ca. 80 Mio. m^3 (f). Die Holzwirtschaft insgesamt wies 2015 eine Sekundärinputrate von insgesamt 51 % auf (53,5 % bei der stofflichen und 45,7 % bei der energetischen Nutzung).

(f) Die ***technologische Entwicklung*** der Bioökonomie wird wesentlich von Innovationen bestimmt, deren Ausprägung und Wirkungen noch nicht hinreichend bestimmt werden können. Relevante Patente wurden 2010–2012 von den Wirtschaftsbereichen Pharma (30 %), Chemie (30 %) und Maschinenbau (25 %) angemeldet. Für 2016/17 lassen sich 6–7 % aller Absolventen, Studierenden und Studienanfänger direkt der Bioökonomie zurechnen. Eine Experteneinschätzung ergab, dass die stoffliche Nutzung von Biomasse gegenüber der energetischen an Bedeutung zunehmen dürfte und vom Zusammenspiel von Digitalisierung, Flexibilisierung und Prozessintegration ein effzienterer Einsatz biogener Ressourcen erwartet wird.

Die ökologischen Fußabdrücke der deutschen Bioökonomie wurden unter Berücksichtigung internationaler Handelsverflechtungen analysiert. Für die Trendprojektionen bis 2030 wurden auch mögliche Schwankungsbreiten berücksichtigt.

Der ***biotische Materialfußabdruck*** umfasst sämtliche aufgewendeten Mengen an Primärbiomasse. Ohne Holz übersteigt dieser Fußabdruck für den Konsum die inländischen Erntemengen deutlich. Von 2000 bis 2017 waren Anstiege der Rohstoffinanspruchnahme insbesondere auf Zuwächse bei den Futter- und Energiepflanzen zurückzuführen.

Der ***Forstfußabdruck*** des deutschen Konsums wird vom inländischen Einschlag und einem Nettoimport von Rohholzäquivalenten bestimmt. Bei Ausschöpfung ungenutzter Potenziale könnte er theoretisch vom eigenen Territorium gedeckt werden. Beim Forstfußabdruck der Produktion (inkl. der Aufwendungen für Exporte), der zudem bis 2030 steigen dürfte, wäre das nicht möglich.

Der globale ***Agrarfußabdruck*** umfasst die gesamten Anbau- und Weideflächen für Produktion bzw. Konsum in Deutschland. Der Agrarfußabdruck des Konsums überstieg 2015 mit 51 Mio. ha die inländische Agrarfläche von 17 Mio. ha deutlich und lag pro Person über dem globalen Durchschnitt. Bis 2030 wird mit einer deutlichen Abnahme, insbesondere von genutztem Weideland, gerechnet, wobei die pro Person belegte Ackerfläche immer noch über dem weltweiten Durchschnitt liegen würde. Auf Grund seiner Nachfrage hat Deutschland insbesondere in den 2000er Jahren erheblich zu Flächenumwandlungen von Grünland und Wald in verschiedenen Weltregionen beigetragen.

Der ***Wasserfußabdruck*** für den Konsum biomassebasierter Güter umfasst die im In- und Ausland aufgewendete Entnahme aus Gewässern in der Landwirtschaft. 2015 wurden Agrargüter, die auf Bewässerung angewiesen sind, zu 42 % aus Gebieten mit hohem Wasserstress importiert. Bis 2030 wird aufgrund veränderter Bezugsmuster mit einer absoluten Abnahme des Wasserfußabdrucks gerechnet, jedoch wird der Rückgang in Gebieten mit geringem Wasserstress stärker sein als in Gebieten mit hohem Wasserstress.

Der ***Klimafußabdruck*** in Form von THG Emissionen der Bioökonomie setzt sich in erster Linie aus den Emissionen der Landwirtschaft in Form von Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (Distickstoffmonoxid, N_2O) zusammen. Mehr als die Hälfte des Klimafußabdrucks des Konsums von Nahrungsmitteln von 150 Mio. t im Jahr 2015 entfiel auf den Konsum von Fleisch und Molkereiprodukten. Ohne zusätzliche Anstrengungen in Politik und Gesellschaft werden für die Zukunft nur langsame Rückgänge projiziert.

1

EINLEITUNG

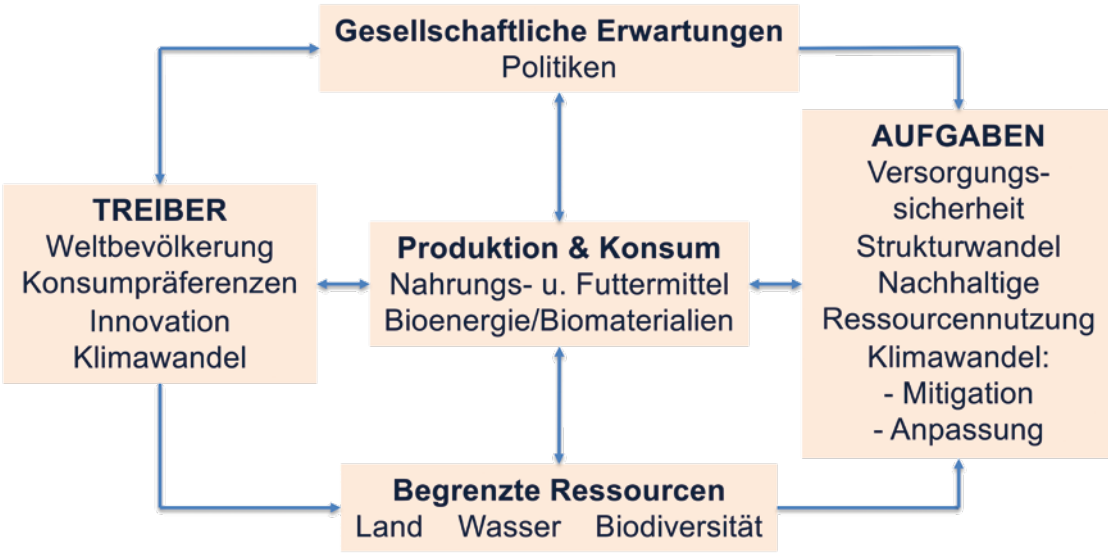
1 EINLEITUNG

Mit einer verstärkt „biobasierten Ökonomie“ werden verschiedene Erwartungen verbunden. Zum einen soll im Sinne des Klimaschutzes der nicht nachhaltige Einsatz fossiler Rohstoffe vermindert werden. Zum anderen erhoffen sich der ländliche Raum eine Stärkung und die Wirtschaftsbereiche von der Land- und Forstwirtschaft bis zur Pharma- und Kosmetikindustrie sichere Arbeitsplätze und durch technische Innovationen eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit. Zugleich ist in den letzten Jahren deutlich geworden, dass eine steigende Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen nicht allein aus dem Inland gedeckt werden kann und dass die Importe Deutschlands in den Herkunftsregionen zur Verschärfung von Umweltproblemen beitragen können.

Die deutsche Bioökonomie entwickelt sich im Kontext globaler Dynamiken wie der steigenden Weltbevölkerung und sich verändernder Konsumgewohnheiten, zunehmender Risiken in Folge des Klimawandels und vor dem Hintergrund begrenzt verfügbarer natürlicher Ressourcen. Wie sich die Produktion und der Konsum von Nahrungs- und Futtermitteln sowie von Bioenergie und nachwachsenden Rohstoffen entwickelt, entscheidet über die Versorgungssicherheit, den weiteren Strukturwandel und den Grad der erreichten Nachhaltigkeit bezogen auf Ressourcennutzung und Klimaveränderung (Abb. 1.1).

Daher hat die Bundesregierung ein umfassendes Bioökonomie-Monitoring initiiert, das die Aufgabe hat, den „Transformationsprozess hin zu einer nachhaltigen, biobasierten und an natürlichen Kreisläufen orientierten Wirtschaftsweise zu beobachten, zu messen und bewertbar zumachen“ (Bundesregierung 2020).

*Abb. 1.1 | **Kontext der Bioökonomie***



Quelle: Eigene Darstellung

Dieser Bericht soll einen ersten Überblick über wesentliche Merkmale der deutschen Bioökonomie geben und wichtige Trends beleuchten, die für eine Bewertung unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten relevant sind. Es geht weniger um die Berücksichtigung aller möglichen Aspekte als um eine Darstellung der für die Gesamtentwicklung wesentlichen Trends und die Verdeutlichung von Zusammenhängen, einschließlich der Auswirkungen bioökonomischer Aktivitäten sowohl in Deutschland als auch in anderen Regionen der Welt.

Der vorliegende Bericht bildet die physische Basis der deutschen Wirtschaft ab, soweit sie auf der Nutzung von Biomasse beruht. Die Analyse basiert auf verschiedenen Primär- und Sekundärstatistiken, gesonderten Recherchen und Modellrechnungen. Der quantitative Ansatz bietet den Vorteil, dass die Indikatorengestützten Ergebnisse für Vergleiche und ein regelmäßiges Monitoring geeignet sind, sofern die verwendeten Daten regelmäßig aktualisiert werden und verfügbar sind. Zugleich stellt er eine große methodische Herausforderung dar, denn in allen Wirtschaftsbereichen werden sowohl biomasse- wie mineralbasierte Rohstoffe und Vorleistungen eingesetzt. Eine Trennung beider Bereiche liefert bei angemessenem Aufwand lediglich Schwankungsbreiten (die gleichwohl ausreichend verlässlich sind).

Dazu kommt, dass eine umfassende Definition von Bioökonomie auch die Anwendung von entsprechendem Wissen über biologische Prinzipien einschließt[2]. So können beispielsweise evolutionär entstanden Konstruktionsprinzipien technologisch nachgeahmt werden (Stichwort Bionik), indem Oberflächen – wie bei Lotusblättern – wasserabweisend beschichtet werden und Häuser können – orientiert am Bauplan von Grashalmen – erdbebengeschützt und ressourceneffizient geplant werden. Die jeweilige Ausführung beruht in diesen Fällen jedoch oft nicht auf Biomasse, sondern verschiedenen mineralischen (inkl. metallischen) Rohstoffen. Für die Erhebung der Anwendung solchen Wissens und seiner Effekte fehlen bislang geeignete Instrumente.

Daher basiert dieser Bericht auf einer praktikablen engeren Definition von Bioökonomie, indem alle Aktivitäten einbezogen werden, die mit der Produktion von Biomasse in Landwirtschaft, Fortwirtschaft, Fischerei, im Garten- und Landschaftsbau sowie den dort und in der Abfallwirtschaft anfallenden biogenen Rest- und Abfallstoffen und ihrer Verwendung im verarbeitenden Gewerbe und im Konsum verbunden sind.

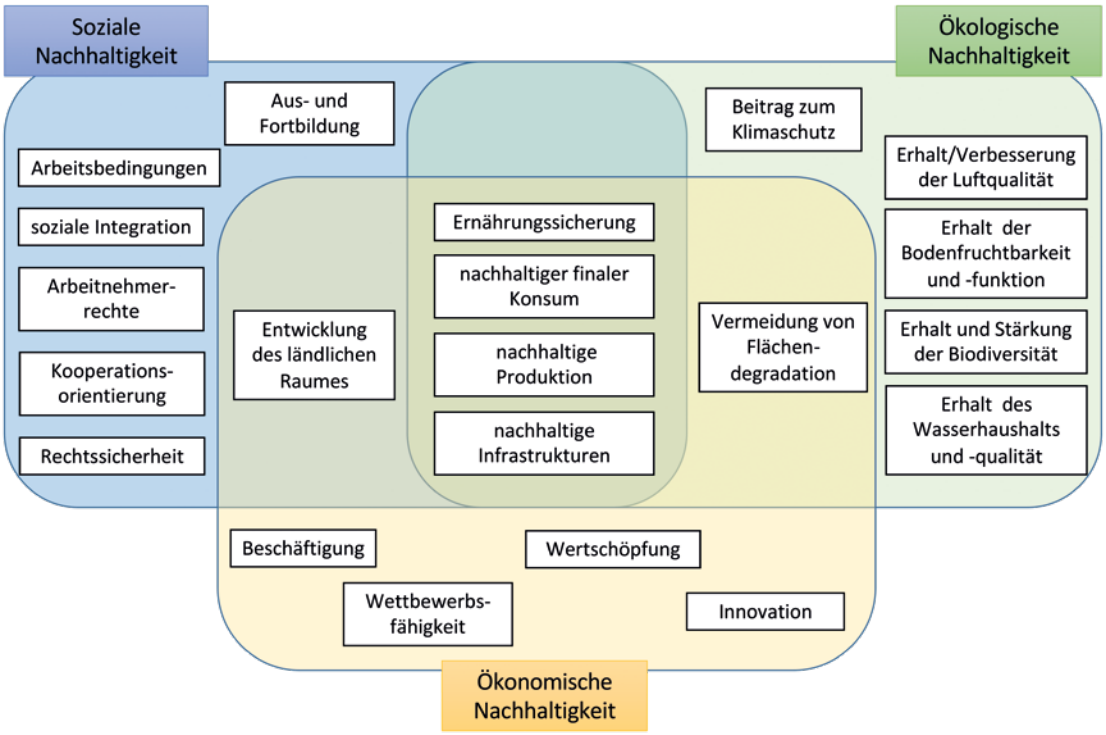
Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt auf der nationalen Ebene. Es geht um die gesamtwirtschaftliche Ausprägung der Bioökonomie in Deutschland und ihre Implikationen im In- und Ausland. Dieser Pilotbericht basiert auf Ergebnissen von Projekten dreier Ministerien, des BMEL, des BMWi und des BMBF und wurde im Rahmen des Projekts SYMOBIO koordiniert vom Center for Environmental Systems Research der Universität Kassel in Kooperation mit den Thünen-Instituten für Marktanalyse (TI-MA) in Braunschweig, Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (TI-WF) in Hamburg sowie Seefischerei (TI-SF) in Bremerhaven.

Die Auswahl der vorgestellten Kennzahlen erfolgt vor dem Hintergrund eines umfassenden Indikatorensystems, das unter Berücksichtigung politischer Strategiedokumente auf deutscher und EU-Ebene und der Agenda 2030 der Vereinten Nationen entwickelt wurde (Abb. 1.2). Im Projekt SYMOBIO wurde zudem deutlich, dass deutsche Stakeholder aus Wirtschaft, Gesellschaft und Wissenschaft ökologische, ökonomische und soziale Aspekte als zusammenhängend betrachten und für wichtig erachten. Sie messen allen ökologischen Aspekten (SDGs 12–15) sowie nachhaltigen Produktions- und Kon-

2 https://biooekonomierat.de/biooekonomie/ [Zugang 20. Jan. 2020]

summustern (SDG 12) eine besonders hohe Relevanz bei. Ebenso betonten sie die besondere Bedeutung der Aspekte „Hunger“ (SDG 2) im globalen Kontext, „Auswirkungen auf Innovationen, Industrie und Infrastruktur“ (SDG 9) sowie „Allgemeine Energie- und Versorgungsfragen“ (SDGs 6 u. 7) (Zeug et al. 2019).

Abb. 1.2 | ***Indikatorensystem zur Abbildung der Bioökonomie unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten***



Quelle: Egenolf, Bringezu (2018)

Daher stellt der vorliegende Bericht zur Bioökonomie zum einen die Entwicklung von Indikatoren vor, wie sie auch im Rahmen der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie für die Gesamtwirtschaft erhoben werden (z. B. Beschäftigung und Wertschöpfung). Zum anderen werden Indikatoren ergänzt, insbesondere zu den Ressourcenfußabdrücken des deutschen Konsums, die dort bislang keine Berücksichtigung finden. Dagegen werden Gesichtspunkte, die im innerdeutschen Kontext eher weniger problematisch erscheinen (z. B. Arbeitnehmerrechte) hier nicht näher betrachtet.

Die verwendete Datenbasis und das umfangreiche Methodeninstrumentarium werden in gesonderten Dokumentationen dargestellt, die online zur Verfügung gestellt werden (www.symobio.de und www.thuenen.de).

DER BERICHT BESTEHT AUS VIER HAUPTTEILEN:

Kapitel 2 stellt die Biomasseflüsse aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei vor, auf denen die deutsche Bioökonomie basiert. Der Fokus liegt auf der Produktion und Verwendung im Inland. Ausgewählte Leitprodukte dieser Sektoren werden hinsichtlich der zu Grunde liegenden Stoffströme und ausgewählter ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeitsaspekte betrachtet.

Kapitel 3 stellt die sozioökonomische Ausprägung der Bioökonomie, insbesondere Wertschöpfung und Beschäftigung, im Verhältnis zur Gesamtwirtschaft dar.

Kapitel 4 informiert über wichtige Trends und Treiber der Bioökonomie, die für ihre Ausprägung im nationalen und internationalen Kontext wichtig sind.

Kapitel 5 zeigt die Ressourcen- und Klimafußabdrücke der Produktion und des Konsums biobasierter Güter in Deutschland auf, ihre historischen Trends und Projektionen bis 2030. Bei den Projektionen wurden erste Bandbreiten berücksichtigt, nicht jedoch der in der Folge von COVID19 ab 2020 zu erwartende Rückgang der Wirtschaft. Es kann gleichwohl angenommen werden, dass es in den Folgejahren zu Nachholeffekten kommen wird, so dass die mittelfristige Trendprojektion bis 2030 wieder erreicht werden kann.

Der Bericht endet mit einem kurzen ***Fazit***.

2

BIOGENE STOFFSTRÖME IN DEUTSCHLAND

2 BIOGENE STOFFSTRÖME IN DEUTSCHLAND

2.1 EINFÜHRUNG

Die Darstellung von Stoffströmen liefert die Grundlage, um den Weg der biobasierten Rohstoffe über alle Wertschöpfungsketten und Verarbeitungsstufen bis hin zur Endverwendung nachvollziehen zu können. Die Datenerhebung und Darstellung orientiert sich am System der amtlichen Statistik.

Die Abbildung aller Stoffflüsse bis zur Endverwendung ist aufgrund der Fülle möglicher Zwischen- und Endprodukte sowie fehlender Informationen nur mit sehr hohem Aufwand möglich. Aus diesen Gründen werden verschiedene Stoffflüsse bis zur Endverwendung nur für ausgewählte Leitprodukte betrachtet und erstellt. Hauptkriterium für die Auswahl eines Leitproduktes ist dessen Produktionsmenge oder der Anteil eines zur Herstellung benötigten Rohstoffes am Gesamtstoffstrom.

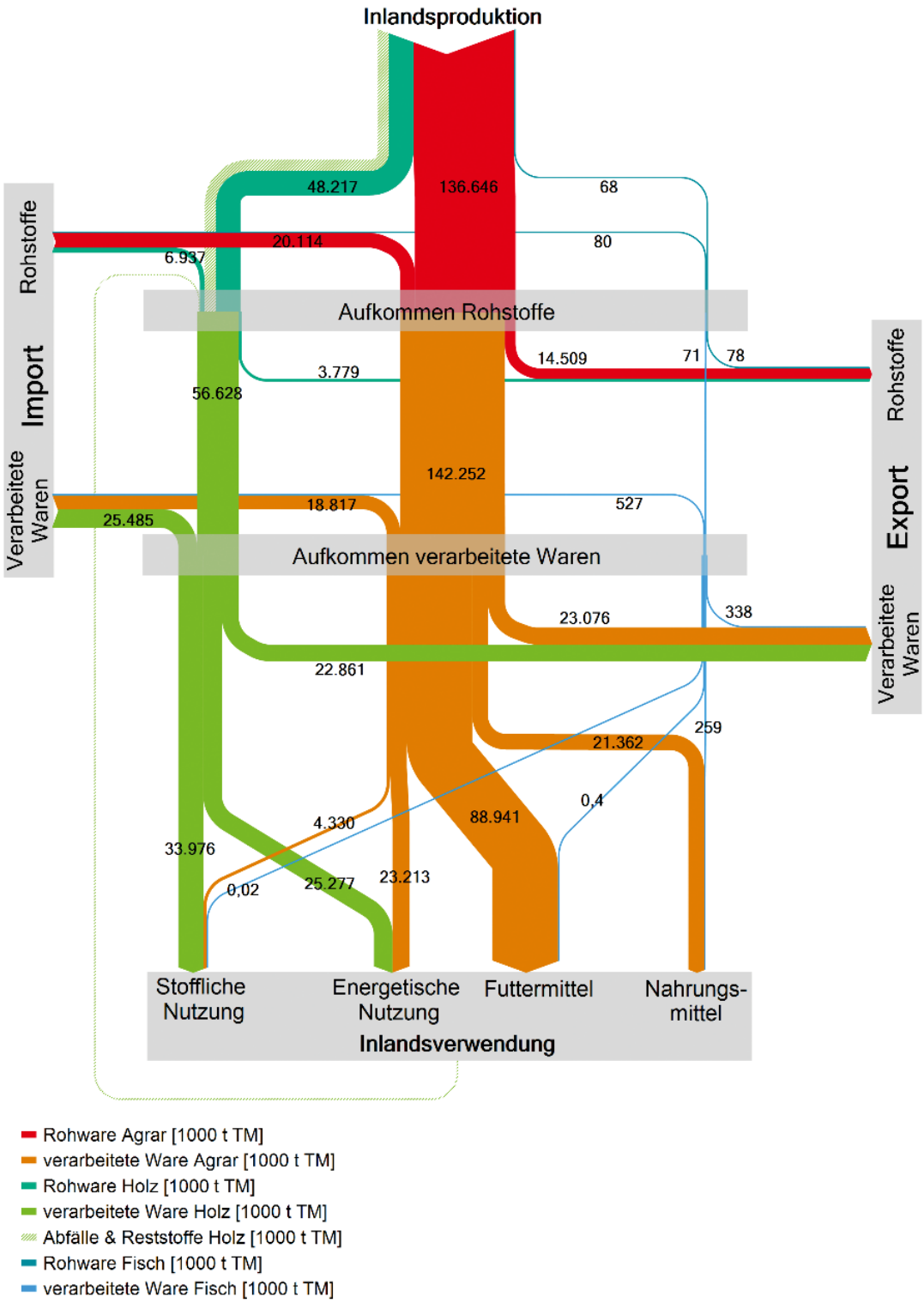
2.2 AGGREGIERTE BETRACHTUNG

Abbildung 2.1 zeigt den zusammengefassten Stoffstrom der Biomassen aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei. Beginnend bei der Inlandsproduktion wird von oben nach unten die Verarbeitung der Biomasse abgebildet. Von links fließen die Importe aller Rohstoffe in das „Aufkommen Rohstoffe“, welches ebenfalls von der Inlandsproduktion gespeist wird. Nach rechts fließen grundsätzlich die Exporte. Auf der nächsten Ebene (eine Stufe tiefer) findet sich das „Aufkommen der verarbeiteten Waren“. Dieses wird von oben durch das Aufkommen der Rohstoffe sowie von links durch Importe von verarbeiteten Waren gespeist. Nach rechts fließen wieder die Exporte der verarbeiteten Waren ab. Je nach Sektor fließen diese Waren dann in die Endverwendung, die in Nahrungsmittel, Futtermittel, stoffliche und energetische Nutzung unterschieden wird. Die Stoffströme beziehen sich auf die reine Biomasse (in Trockenmasse, TM). Massenanteile von Nicht-Biomasse z. B. in Produkten bleiben in dieser Darstellung unberücksichtigt.

Die Ergebnisse für das Jahr 2015 zeigen, dass knapp 185 Mio. t TM in Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur erzeugt wurden. Der Schwerpunkt der inländischen Produktion liegt mit 137 Mio. t TM in der Landwirtschaft. Dazu zählen sowohl die Ernte der Ackerfrüchte und des Gartenbaus als auch die Fleisch- und Milcherzeugung. Die Inlandsproduktion der Rohware Holz (48 Mio. t TM) setzt sich zusammen aus der Erzeugung von Rohholz aus dem Wald sowie aus aufbereiteten Abfallstoffen in Form von Altpapier und Altholz.

Die Importe an Rohstoffen sowie verarbeiteten Waren beliefen sich auf ca. 72 Mio. t. Dem standen Gesamtexporte von knapp 65 Mio. t gegenüber, was einen Nettoimport von knapp 7 Mio. t ergibt. Bei dem Gesamtaußenhandel lag der Schwerpunkt in Bezug auf die Mengen ebenfalls auf agrarischen Biomassen. Holzrohstoffe und verarbeitete Waren aus Holz wurden in etwas geringerem Umfang im- und exportiert. Beim Stoffstrom Holz liegt der Anteil der Im- und Exporte an der Produktion deutlich höher als bei den agrarischen Biomassen. Biomasse aus der Fischerei spielt in Bezug auf die Mengen die geringste Rolle. Während die inländische Produktion in Land- und Forstwirtschaft höher ist als die Importe, wird deutlich mehr Biomasse aus der Fischerei importiert als inländisch erzeugt wird. Der Außenhandelssaldo ist hier insgesamt aber ebenfalls leicht positiv.

Abb. 2.1 | ***Aggregierter Stoffstrom der Bioökonomie in Deutschland 2015***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie

In der Endverwendung haben die Futtermittel mengenmäßig die größte Bedeutung. Dabei ist hervorzuheben, dass mit knapp 89 Mio. t mehr als viermal so viel agrarische Biomasse für Futtermittel verwendet wird wie für Lebensmittel (21 Mio. t). Biomasse aus der Fischerei wird fast ausschließlich für Lebensmittel verwendet. In die energetische Verwendung gehen aus Land- und Forstwirtschaft mit 23 und 25 Mio. t Mengen in ähnlicher Größenordnung. Während die stoffliche Verwendung agrarischer Biomassen mit 4 Mio. t gering ist, spielt sie für die forstliche Biomasse mit 34 Mio. t die wichtigste Rolle.

Im Mengenfluss der forstlichen Produktion ist im Aufkommen der Rohstoffe in Abbildung 2.1 der Stoffstrom für Abfälle und Reststoffe bereits integriert. Dabei handelt es sich um Altpapier (ca. 10 Mio. t) und Altholz (ca. 5 Mio. t). Altpapier und Altholz sind in Deutschland wichtige und bereits gut erfasste Rohstoffquellen und entsprechen ca. einem Drittel der Inlandsproduktion an forstlichen Rohstoffen.

2.3 AGRARISCHE BIOMASSE

Der Agrarbereich ermöglicht alle vier Verwendungsmöglichkeiten biobasierter und nachwachsender Rohstoffe: (1) Nahrungsmittel, (2) Tierfutter, (3) andere stoffliche Nutzung und (4) energetische Nutzung. Stoffstromanalysen sind insbesondere für den sehr stark differenzierten Agrarbereich ein wichtiges Instrument, um die biogenen Stoffströme agrarischer Rohstoffe in Deutschland von der Produktion bis zur Endverwendung agrarische Rohstoffe enthaltender Produkte zu visualisieren. Dies schafft Transparenz und zeigt bioökonomische Zusammenhänge auf.

Entsprechend den in der deutschen Agrarstatistik dargestellten Hauptprodukten und Bilanzgruppen besitzen im Bereich der pflanzlichen Erzeugung die nachfolgenden sieben Stoffströme für den Agrarbereich eine besondere Relevanz:

- Getreide
- Zucker
- Pflanzenöle und -fette
- Hülsenfrüchte
- Kartoffeln
- Obst und Gemüse
- Pflanzliche Futtermittel

Im Bereich der tierischen Erzeugung sind es die drei Stoffströme:

- Milch
- Fleisch
- Eier

Darüber hinaus werden sechs weitere zusammenfassende Stoffströme für eine bioökonomische Analyse im Agrarbereich als relevant erachtet:

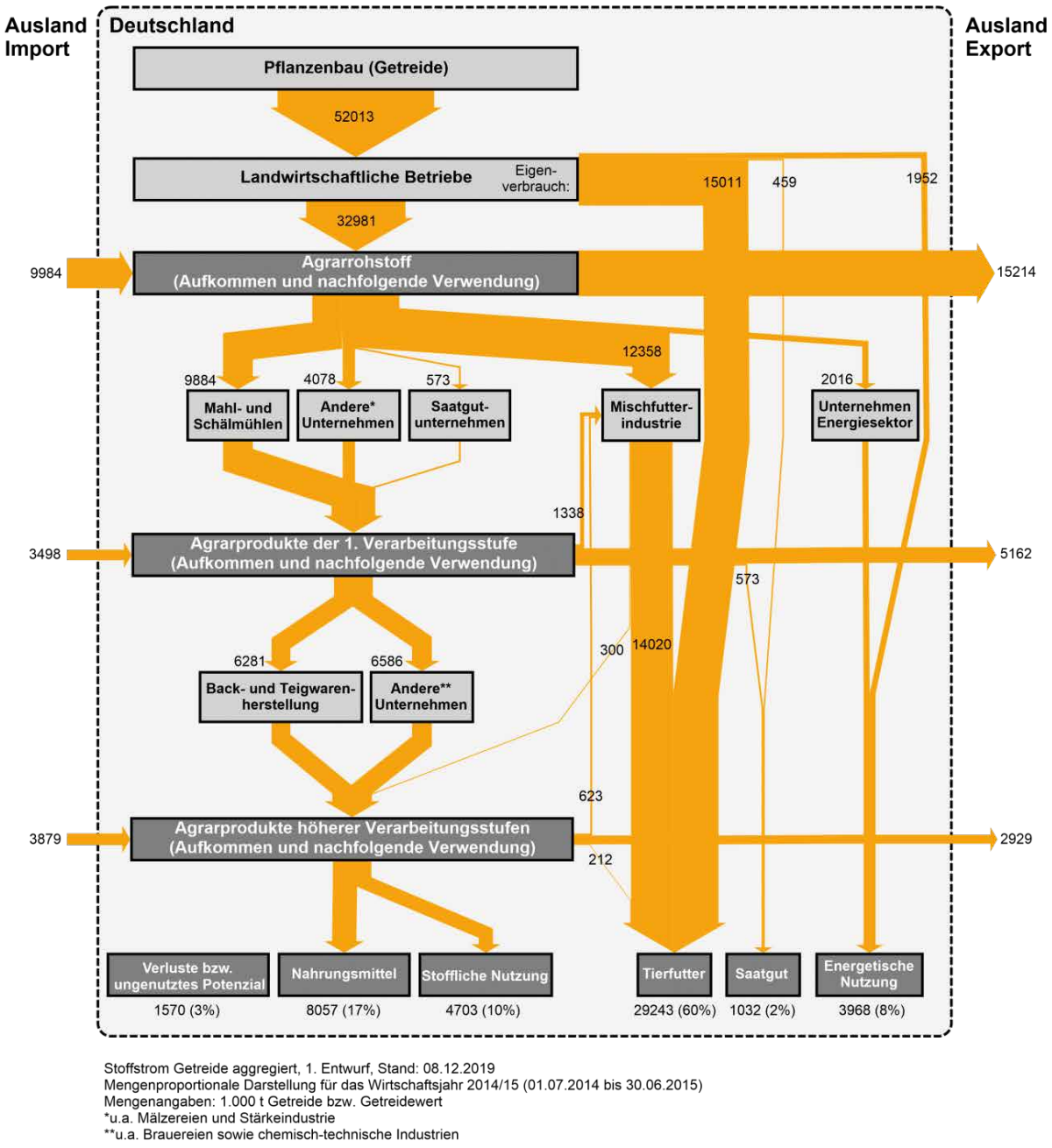
- Biomasse für energetische Nutzung
- Stärke für stoffliche Nutzung
- Öle und Fette für chemische Industrie
- Zucker für chemisch-technische Industrien
- Pflanzenfasern für Textilherstellung
- sowie ein Stoffstrom zur Darstellung aller agrarischen Rest- und Abfallstoffe

Die für Deutschland in Bezug auf die inländisch genutzte Anbaufläche mengenmäßig wichtigsten Agrarbilanzgruppen sind Getreide, Zucker sowie Pflanzenöle und -fette. Beispielhaft für die Stoffströme im Agrarbereich werden im Folgenden (Abb. 2.2 bis Abb. 2.4) daher die Stoffströme dieser drei Bilanzgruppen jeweils in einer aggregierten Form für das Wirtschaftsjahr 2014/15 wiedergegeben. Die detaillierteren Darstellungen dieser drei Stoffströme, ergänzt durch alle weiteren im Rahmen des Pilotprojekts erarbeiteten Agrarstoffströmen, werden in einem separaten Thünen Working Paper zusammengestellt.

Die drei beispielhaften Stoffströme des Agrarbereichs zeigen auf, dass sich – abhängig vom agrarischen Rohstoff – die Hauptnutzungspfade der Rohstoffe und Produkte unterscheiden. So war 2014/15 der Hauptnutzungspfad für den Agrarrohstoff Getreide die Verwendung als Tierfutter. Demgegenüber wurde der Agrarrohstoff Zucker überwiegend als Nahrungsmittel genutzt. Der Agrarrohstoff Pflanzenöle und -fette ist dagegen ein Beispiel dafür, dass neben der Nutzung als Nahrungsmittel auch die bioökonomisch relevanten Bereiche „stoffliche Nutzung“ und „energetische Nutzung“ in etwa gleiche Anteile – zwischen einem Viertel bis einem Drittel – an der Endverwendung der agrarischen Rohstoffe haben.

Folgt man den mengenproportionalen Pfeilen in Abbildung 2.2, zeigt sich für das Wirtschaftsjahr 2014/15, dass 17 % des Agrarrohstoffs Getreide als Nahrungsmittel genutzt wurde. Darüber hinaus flossen 60 % des Getreides als Tierfutter ab, 2 % wurden als Saatgut verwendet, 10 % gingen in eine stoffliche Nutzung und 8 % wurden energetisch genutzt.

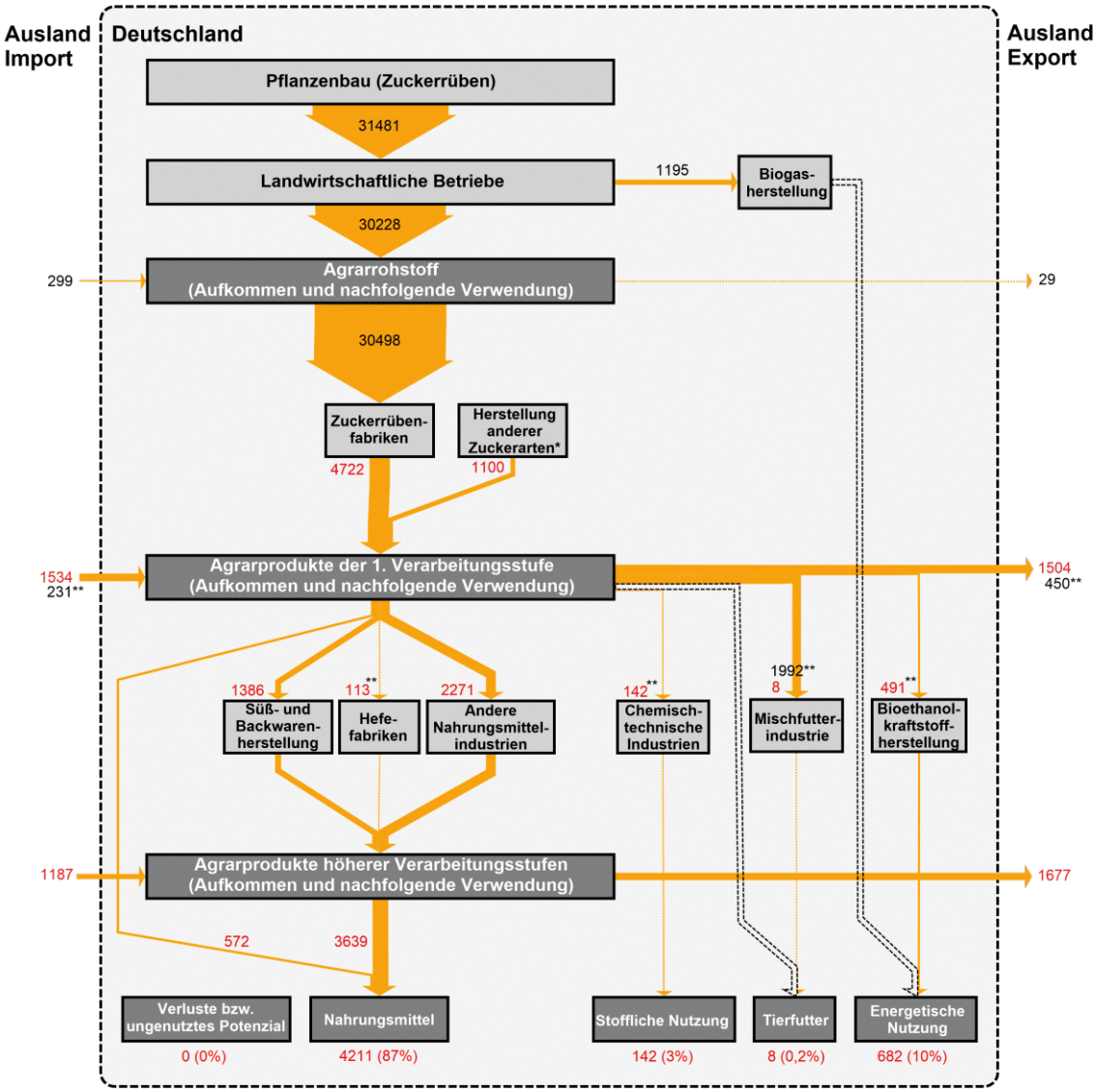
*Abb. 2.2 | **Agrarstoffstrom Getreide in Deutschland für das Jahr 2015 in 1000 t Getreide und Getreidewert***



Quelle: Thünen-Institut für Marktanalyse, A. Machmüller (2019)

Für den Agrarrohstoff Zucker ergab sich eine andere Verteilung in der Endnutzung. Die überwiegende Menge an produziertem Zucker (87 %) wurde im Wirtschaftsjahr 2014/15 als Nahrungsmittel verwendet. Im Bereich der Mischfutterindustrie wurden nur geringe Zuckermengen (‹ 1 %) eingesetzt. Als Tierfutter kamen vor allem die Nebenprodukte der Zuckerherstellung zum Einsatz. 3 % der Zuckermenge wurden stofflich und 10 % fast ausschließlich für die Produktion von Bioethanol und damit energetisch genutzt.

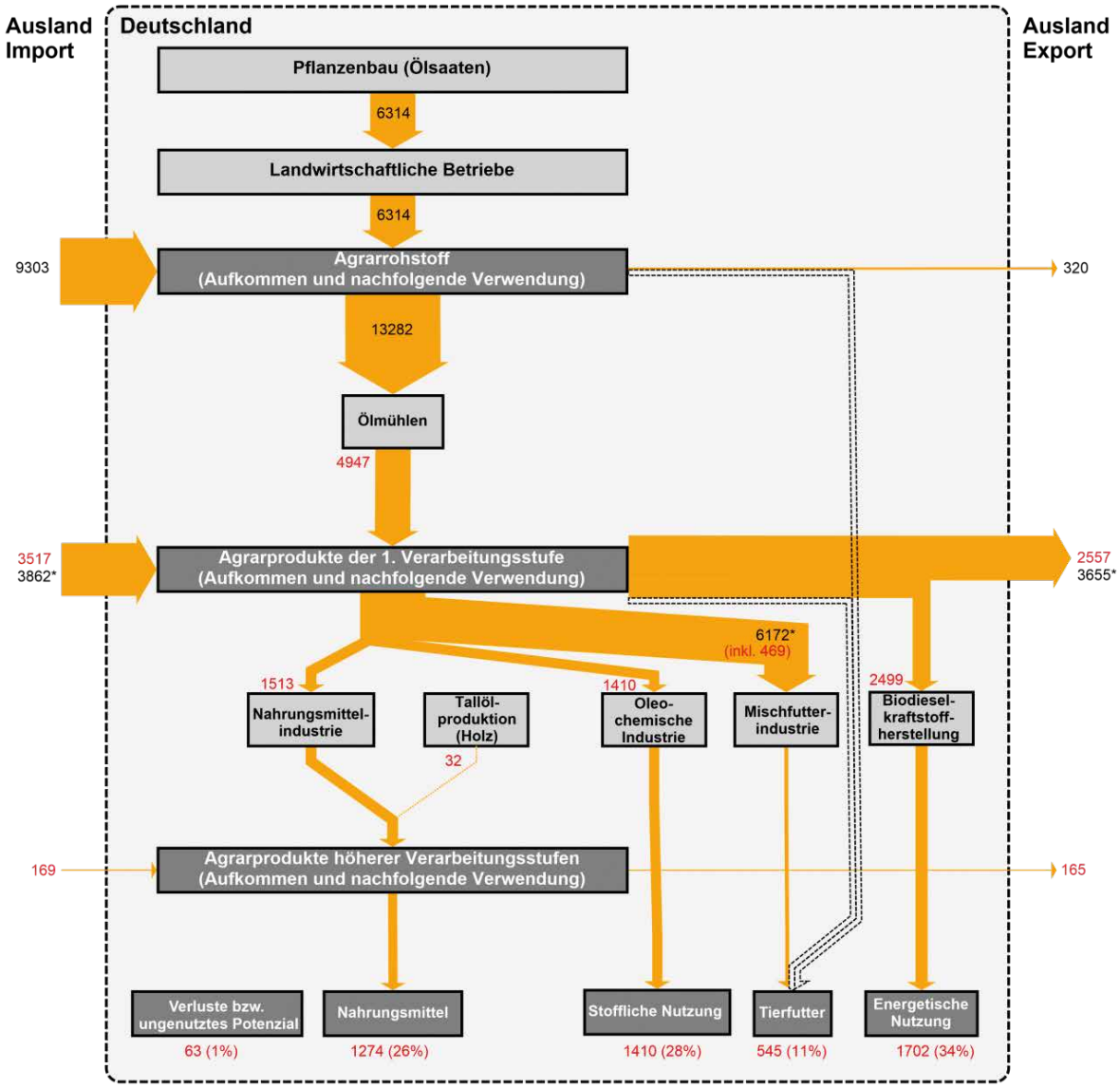
*Abb. 2.3 | **Agrarstoffstrom Zucker in Deutschland für das Jahr 2015 in 1000 t Weißzuckerwert und Produktmenge***



Quelle: Thünen-Institut für Marktanalyse, A. Machmüller (2019)

Der Stoffstrom Pflanzenöle und -fette zeigt nochmals eine ganz andere Situation in Hinblick auf die Endnutzung. Die Importmengen lagen über den einheimischen Produktionsmengen. Als Nahrungsmittel wurden pflanzliche Öle und Fette zu 26 % genutzt und 11 % gingen in die Nutzung als Tierfutter. Darüber hinaus wurden pflanzliche Öle und Fette in relevanten Mengen (28 %) in der oleochemischen Industrie (stoffliche Nutzung) eingesetzt und zeigten ihren Verwendungsschwerpunkt (34 %) in der energetischen Nutzung (Herstellung von Biodiesel).

*Abb. 2.4 | **Agrarstoffstrom Pflanzenöle und -fette in Deutschland für das Jahr 2015 in 1000 t Rohöl und Reinfett***



Quelle: Thünen-Institut für Marktanalyse, A. Machmüller (2019)

In den stärker ausdifferenzierten Darstellungen der Stoffströme (Thünen Working Paper) sind für die drei beispielhaften Stoffströme des Agrarbereichs (Getreide, Zucker, Pflanzenöle und -fette) auch vorhandene „Verbindungspunkte“ zu anderen Stoffströmen erkennbar. So gibt es zwischen den Stoffströmen Getreide und Zucker z. B. durch die Herstellung von Stärkezuckern und Bioethanol Verbindungen. Darüber hinaus gibt es auch Verbindungen zu anderen Stoffströmen, zum Beispiel zwischen dem Stoffstrom Zucker und dem Stoffstrom Holz durch den sogenannten „Holzzucker“ (Xylitol) sowie zwischen dem Stoffstrom Zucker und dem Stoffstrom Milch durch die Herstellung von Milchzucker (Laktose).

Die hier beschriebenen Agrarstoffströme sind daher eine solide Basis und können als Ausgangspunkt für eine detailliertere Ausdifferenzierung sowie die weitere Darstellung von Stoffstromverknüpfungen genutzt werden.

2.4 AQUATISCHE BIOMASSE

Die Stoffstromanalyse der aquatischen Biomasse umfasst die Rohstoffe Fisch, Krebstiere, Muscheln, Schnecken, Algen und andere wirbellose aquatische Tiere sowohl in limnischen als auch in marinen Gewässern. Die deutsche Fischproduktion setzt sich aus den Bereichen Seefischerei, Aquakultur und Binnenfischerei zusammen. Die jährliche Produktion hängt stark von der für Deutschland zugewiesenen Fangquote ab. Um dem Ziel einer nachhaltigen Fischerei gerecht zu werden, werden die Fangquoten an die Entwicklung der Bestände in den jeweiligen Fanggründen angepasst und können somit von Jahr zu Jahr stark schwanken. Ein Großteil der Fänge deutscher Fischereifahrzeuge wird in ausländischen Häfen angelandet, was dem Export zugerechnet wird. In der Aquakultur werden Fische, Krebstiere, Muscheln und Algen unter kontrollierten Bedingungen aufgezogen, was auch als Landwirtschaft unter Wasser bezeichnet werden kann. Die Binnenfischerei beinhaltet die gewerbliche Fischerei in Seen und Flüssen, welche auch künstlichen Ursprung haben können wie z. B. Baggerseen und Talsperren.

Die deutsche Produktion an Fisch und Meeresfrüchten reicht nicht aus, um den Bedarf zu decken. Der Selbstversorgungsgrad lag 2015 lediglich bei 24 %. Die wichtigsten Exporteure waren China, Dänemark, Polen und Norwegen.

In erster Linie dienen Fisch und Meeresfrüchte als Lebensmittel (siehe Leitprodukt Konserven und Marinaden aus Hering). Jedoch fallen bei der Herstellung von Produkten aus Fisch und Meeresfrüchten Abfälle wie Fischköpfe, Gräten und Innereien, sogenannte Fischnebenprodukte, an. Der Anteil der Fischnebenprodukte liegt je nach Fischart zwischen 30 und 70 % (Seafish, 2018). Diese stellen zusammen mit weiteren ungenießbaren Waren, z. B. bestimmte Algen, Fischmehl und Fischöl sowie deren Ausgangsstoffen, den Bereich Non-Food-Ware dar und dienen als Rohstoff für die Futterindustrie sowie zur Gewinnung von Waren für die stoffliche Nutzung (siehe Leitprodukt Non-Food-Ware).

LEITPRODUKT KONSERVEN UND MARINADEN AUS HERING

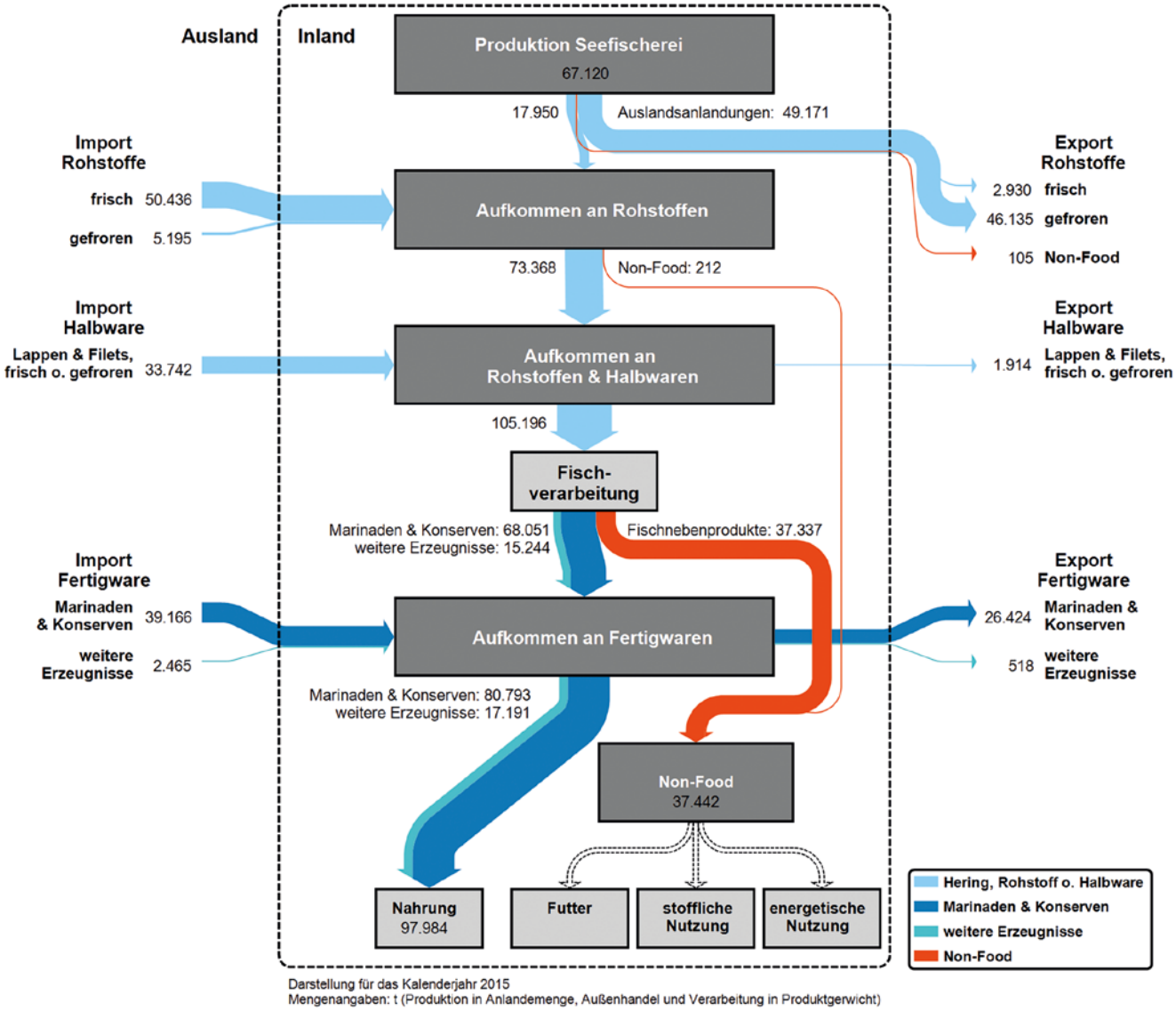
Eine der beliebtesten Fischarten in Deutschland ist der Hering. Die Produktpalette ist breit und die beliebtesten Erzeugnisse sind Matjes, Bückling, Brathering und Bismarckhering. Abbildung 2.5 zeigt den Stoffstrom des Leitprodukts Marinaden und Konserven aus Hering im Jahr 2015 in Tonnen Produktgewicht. Im Gegensatz zu anderen Fischarten, wie dem Lachs, wird Hering in großen Mengen in der Nordsee und Ostsee von der deutschen Seefischerei gefangen. Im Jahr 2015 lag die Fangmenge der deutschen Flotte bei 67.120 t Hering, wovon ca. 49.000 t in ausländischen Häfen angelandet wurden, dabei handelte es sich überwiegend um gefrorene Fische. Ein kleiner Teil des gesamten Fangs (317 t) wurde als Non-Food-Ware für die Fischmehlproduktion angelandet, dabei handelt es sich um nicht marktfähige Fische.

Die Versorgung mit selbst gefangenem Hering reichte nicht aus, um den Bedarf der heringsverarbeitenden Industrie zu decken. Mit 50.436 t macht frischer ganzer Hering 38,5 % der importierten Ware aus. Dieser wurde überwiegend von ausländischen Fangschiffen in deutschen Häfen angelandet. Zusätzlich wurden rund 5.000 t gefrorener ganzer Hering importiert. Neben ganzen Fischen wurde ca. 34.000 t Halbware in Form von gefrorenen oder frischen Heringslappen und -filets importiert. Somit betrug die ver-

fügbare Menge an Rohstoffen und Halbwaren für die Fischverarbeitung rund 105.000 t. Die Erzeugung von Heringskonserven und -marinaden belief sich laut Produktionsstatistik auf rund 68.000 t. Nach eigenen Schätzungen wurden rund 15.244 t weitere Heringserzeugnisse produziert. Bei der Verarbeitung des Herings fielen schätzungsweise ca. 37.000 t Fischnebenerzeugnisse an. Diese werden dem Stoffstrom Non-Food-Ware zugeordnet.

Zusätzlich zu den in Deutschland produzierten Heringserzeugnissen wurden 39.166 t Heringskonserven und Marinaden sowie 2.465 t weitere Heringserzeugnisse importiert. Im Gegenzug dazu wurden 26.424 t Konserven und Marinaden und 518 t weitere Heringserzeugnisse exportiert. Somit ergibt sich rechnerisch ein Verbrauch von 80.792 t Konserven und Marinaden sowie 17.191 t weitere Heringserzeugnisse.

*Abb. 2.5 | **Stoffstrom des Leitprodukts Konserven und Marinaden aus Hering in Deutschland für das Jahr 2015 in t Produktgewicht.***



Quelle: Thünen-Institut für Seefischerei

Während der Quantifizierung des Stoffstroms wurde deutlich, dass die amtlichen Daten zur Beschreibung der Fischverarbeitung und des Verbrauchs nicht ausreichend sind. Nicht alle Fischerzeugnisse aus Hering sind artenspezifischen Güternummern der Produktionsstatistik zugeordnet, wodurch Annahmen über Anteile in den unspezifischen Güternummern getroffen werden mussten. Darüber hinaus wurde der Verbrauch der einzelnen Heringsprodukte durch Bilanzierung abgeschätzt. Die Verwendungen von Roh- und Halbwaren in der Gastronomie oder privaten Haushalten konnte aufgrund von Datenlücken nicht berücksichtigt werden.

Veränderungen im Zugang zum Rohstoff, hier Hering, durch Fangquotenanpassungen, aber auch durch politische Ereignisse, wie z. B. den Brexit, haben Einfluss auf die Selbstversorgung sowie die Versorgung durch Dritte. Wie sich dies auf die in Deutschland ansässige Fischverarbeitung auswirken wird, ist derzeit ungewiss.

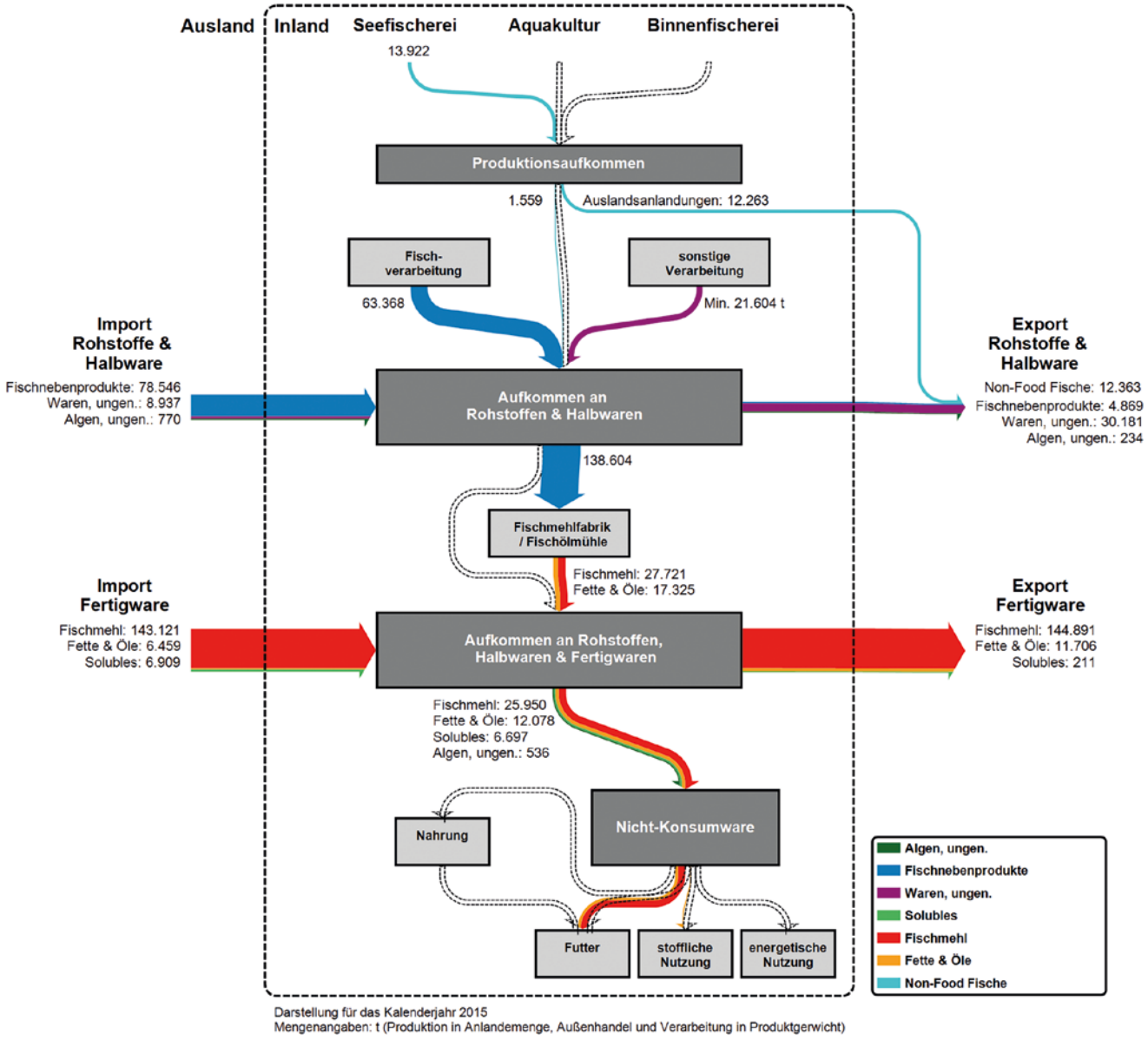
LEITPRODUKT AQUATISCHE NON-FOOD-WARE

Die Seefischerei landet neben Fischen und Meeresfrüchten für den menschlichen Konsum auch Waren an, die nicht für den unmittelbaren menschlichen Konsum verwendet werden. Dabei handelt es sich entweder um Fische, die die erforderliche Größe unterschritten haben oder Arten mit geringem Marktwert, z. B. Sandaal und Sprotte. Im Bezugsjahr 2015 wurden von den deutschen Fangschiffen 13.922 t dieser Non-Food Fische gefangen (Abb. 2.6), rund 88 % davon wurden in ausländischen Häfen angelandet.

Die fischverarbeitende Industrie hat erkannt, dass es sich bei den anfallenden Fischnebenprodukten nicht um wertlose Abfälle, sondern um wertvolle Rohstoffe handelt. Nach eigenen Berechnungen fielen 2015 ca. 63.368 t Fischnebenprodukte in Deutschland an, rund 60 % stammten aus der Heringsverarbeitung (siehe Leitprodukt Konserven und Marinaden aus Hering). Zusätzlich wurden noch weitere 78.546 t Fischnebenprodukte importiert. Aus ihnen wurde nach eigenen Schätzungen rund 28.000 t Fischmehl und 17.000 t Fischöl hergestellt. Ergänzt wurde das Fischmehlaufkommen durch Importe in Höhe von ca. 143.000 t Fischmehl und wiederum ca. 145.000 t Fischmehl wurden exportiert. Über Deutschland läuft ein Großteil der europäischen Versorgung mit Fischmehl aus Ländern wie Peru oder Marokko. Die Warengruppe „Waren ungenießbar“ ist unzureichend bekannt. Der negative Außenhandelssaldo deutet auf eine inländische Erzeugung dieser Warengruppe von mindestens 21.604 t hin. Ungenießbare Algen, bspw. Seetang, gehören ebenfalls zu Non-Food-Ware. In 2015 waren lediglich drei Betriebe für das Erzeugungsverfahren „Algen und sonstige aquatische Organismen“ in die Erhebung „Erzeugung in Aquakulturbetrieben“ einbezogen. Auf Grund der Geheimhaltungsvorschriften sind diese Mengen nicht öffentlich zugängig. Die Verarbeitung dieses Rohstoffs kann keiner Güternummer der Produktionsstatistik eindeutig zugewiesen werden, aber der positive Außenhandelssaldo lässt auf eine inländische Verwendung schließen.

Basierend auf Bilanzierungen verbleiben wenigstens 536 t ungenießbare Algen, ca. 26.000 t Fischmehl und 12.000 t Fischöl in Deutschland. Seetang wird unter anderem zur Herstellung von Hydrokolloiden (Alginat, Agar-Agar und Carrageen) verwendet, die ihren Einsatz in der Kosmetikindustrie, Modeindustrie sowie Lebensmittelindustrie finden. Informationen über eine mengenmäßige Aufteilung liegen nicht vor. Sämtliches Fischmehl wird als Futtermittel verwendet (insbesondere in der Tierfutterindustrie für Heimtiere und der Aquakultur). Ca. 13 % des Fischöls wurden auch stofflich, z. B. in der Oleochemie oder als Schmieröl genutzt. Das Fischöl für pharmazeutische Zwecke ist hier nicht enthalten, da der Rohstoff auf Grund anderer Qualitätsstandards in anderen Warengruppen enthalten ist und deren Mengen bisher nicht ermittelt werden konnten.

*Abb. 2.6 | **Stoffstrom des Leitprodukts Aquatische Non-Food-Ware in Deutschland für das Jahr 2015 in t Produktgewicht***



Quelle: Thünen-Institut für Seefischerei

Eine weitere Be- und Verarbeitung von Fisch und Meeresfrüchten findet auch in Fischgeschäften, im Einzelhandel, in der Gastronomie sowie in privaten Haushalten statt. Diese hier anfallenden Abfälle stehen überwiegend nicht der Fischmehlfabrik als Rohstoff zur Verfügung, sondern werden als Restmüll oder Bioabfall entsorgt. Die Abfallentsorgungsunternehmen nutzen diese zur Energiegewinnung durch Biogasanlagen oder Müllverbrennungsanlagen. Diese energetische Nutzung kann zurzeit jedoch nicht quantifiziert werden.

Die Analyse dieser sogenannten Non-Food-Waren ist wichtig, weil ein Großteil als Futtermittel verwendet wird. Insbesondere in der Aquakultur sind Fischmehl und Fischöl Bestandteile des Futters. Dies wird in großem Maßstab aus Wildfängen von Fischen mit geringem bis keinem Marktwert hergestellt. Global betrachtet stammen nur 33 % des

Fischmehls (und 26 % des Fischöls) aus Fischnebenprodukten, wogegen in Europa bereits 54 % des produzierten Fischmehls (und 47 % des Fischöls) aus Fischnebenprodukten stammen (Jackson und Newton 2016). Hinsichtlich der Wildfänge besteht die Problematik darin, dass Fische mit geringem Marktwert durchaus eine hohe Bedeutung im Ökosystem und der Nahrungskette haben können. Daher und auf Grund der Ressourcenknappheit wird ein zukünftiger Ausbau der Non-Food-Ware erwartet, der sowohl weitere industrielle Nutzungen von Fischnebenprodukten sowie algenbasierte Produkte einschließt.

2.5 FORSTLICHE BIOMASSE

Abbildung 2.7 zeigt den detaillierten Stoffstrom für Holz für das Jahr 2015. Basierend auf amtlichen Statistiken, Ergebnissen aus dem Rohstoffmonitoring Holz und Abschätzungen wird der Rohholzeingang in die erste Verarbeitungsstufe sowie die energetische Nutzung von Holz auf jährlicher Basis quantifiziert.

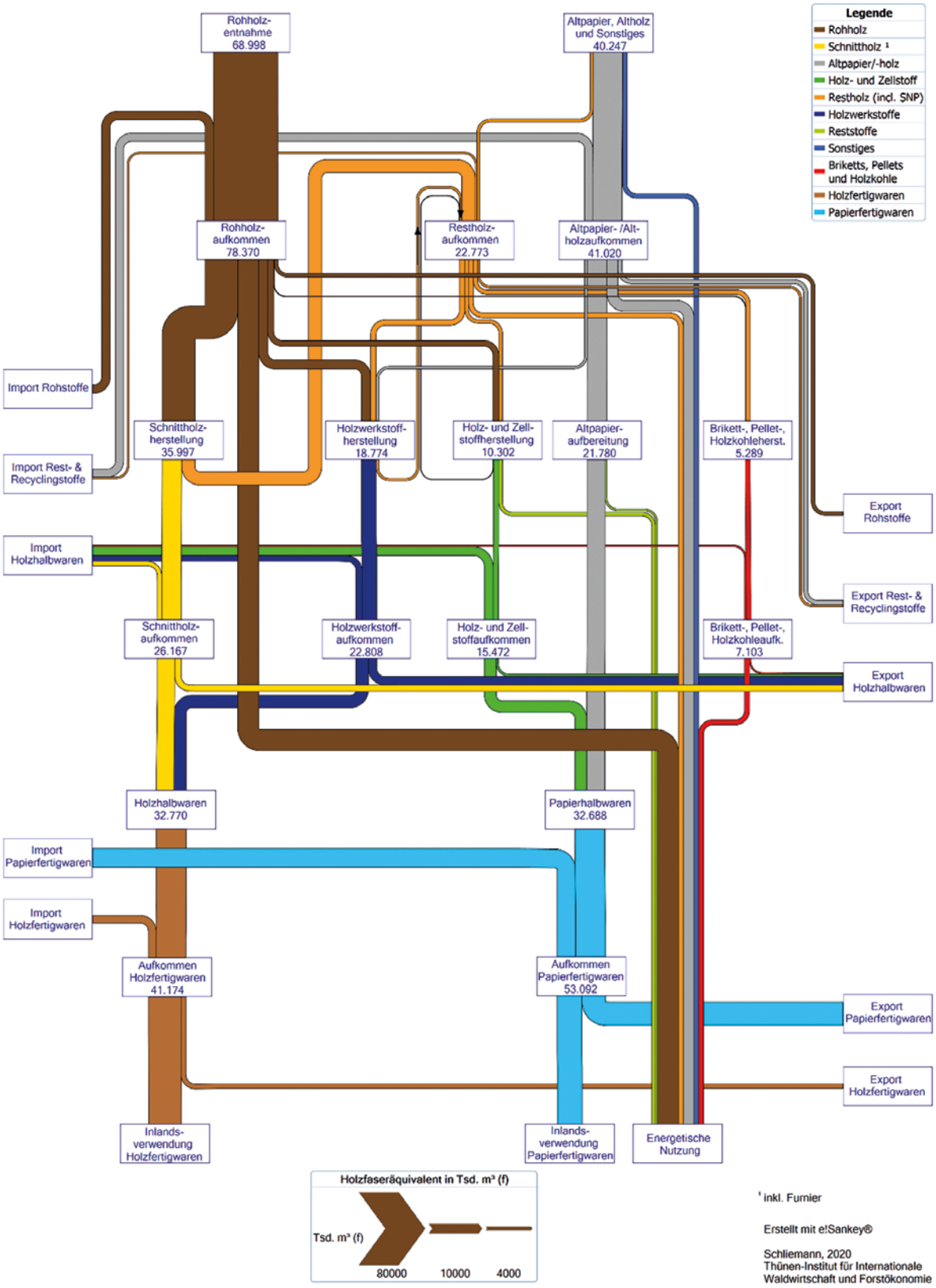
Wie bereits aus Abbildung 2.1 ersichtlich, setzt sich das verfügbare Aufkommen an Holz und Holzfasern aus der Rohholzentnahme aus dem Wald sowie Altpapier und Altholz zusammen. Abweichend zu Abbildung 2.1 wird in der detaillierten Holzflussbetrachtung die Einheit Kubikmeter Faseräquivalent m^3 (f) verwendet[3].

Im Jahr 2015 wurden 69 Mio. m^3 (f) Rohholz dem Wald entnommen, nach Berücksichtigung der Importe von Rohholz belief sich das Rohholzaufkommen auf 78,4 Mio. m^3 (f). Der größte Anteil des Rohholzes (46 %) wird in Sägewerken weiterverarbeitet. Dort wird vor allem Nadelholz eingesetzt (ca. 94 %). Weitere stoffliche Verwendung von Rohholz erfolgt in der Herstellung von Holzwerkstoffen (ca. 9 %), wobei auch hier das Nadelholz dominiert. Geringere Anteile des Rohholzaufkommens werden zu Furnieren (< 1 %) verarbeitet und in der Holz- und Zellstoffherstellung (ca. 8 %) eingesetzt, der Exportanteil liegt bei 5 %. Knapp 30 % des Rohholzaufkommens werden energetisch genutzt. Hier dominiert der Einsatz von Laubholz, vor allem in Privathaushalten (etwa zwei Drittel Laubholzeinsatz). Während Deutschland im Jahr 2015 in Bezug auf Rohholz Nettoimporteur ist, werden auf der ersten Verarbeitungsstufe (Holzhalbwaren) mehr Schnittholz und Holzwerkstoffe exportiert, als importiert (Nettoexport). Im Zuge der Schnittholz- und Holzwerkstoffherstellung fallen relevante Mengen Reststoffe (z. B. Späne, Hackschnitzel) an, die sowohl stofflich (Holzwerkstoffe, Herstellung von Pellets und Briketts) als auch energetisch (z. B. zur Deckung des Energiebedarfs von Sägewerken) genutzt werden.

Der Holzfluss in Deutschland wird nicht nur durch die Verwendung von Rohholz charakterisiert, auch Altholz und Altpapier spielen mit einem Gesamtaufkommen von 41,0 Mio. m^3 (f) eine wesentliche Rolle. Wie beim Rohholz erfolgt auch hier ein Nettoimport der Rohstoffe. Der größte Teil des Aufkommens an Altpapier wird aufbereitet und geht in die Herstellung von Papierhalbwaren. Altholz wird zumeist energetisch und zu geringen Teilen in der Holzwerkstoffindustrie stofflich genutzt. Es ist hervorzuheben, dass für die Herstellung von Papierhalbwaren mehr aufbereitetes Altpapier genutzt wird, als frische Fasern aus der Holz- und Zellstoffherstellung (in Abschnitt 4.6 weiter ausgeführt). Wie auch bei den o. g. Holzhalbwaren ist Deutschland bei den Holz- und Papierfertigwaren im Jahr 2015 Nettoexporteur.

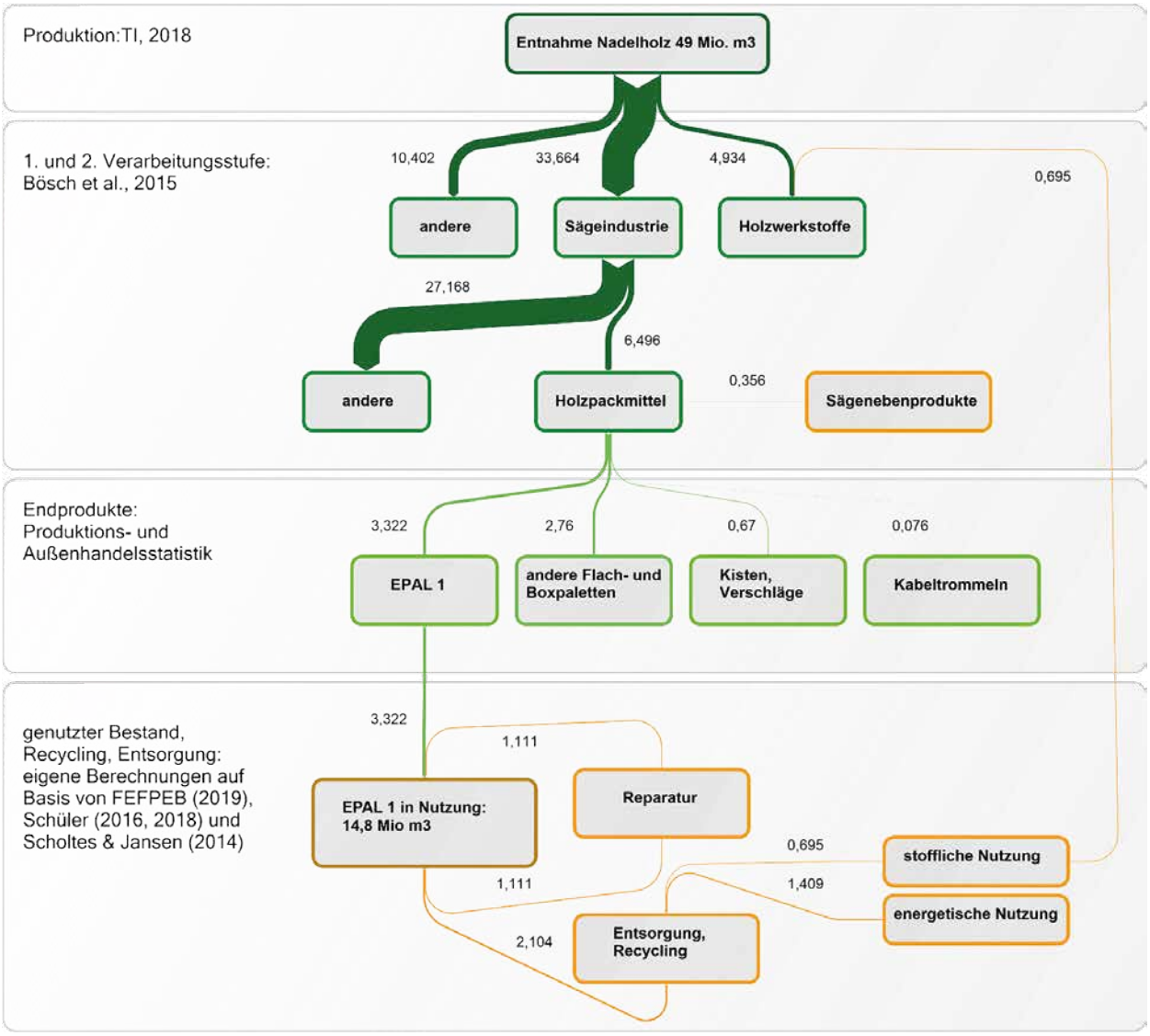
3 Diese Einheit beschreibt das äquivalente Volumen der im Produkt enthaltenen Holzfasern oder der holzbasierenden Fasern im fasergesättigten Zustand und ist daher vergleichbar mit der forstüblichen Kubikmetereinheit Festmeter (Fm ohne Rinde) (Weimar 2011). Die hier dargestellten Angaben ermöglichen somit einen Abgleich mit den Auswertungen in den Abschnitten 4.6 und 5.3

Abb. 2.7 | ***Holzfluss in Deutschland für das Jahr 2015 in m³ Holzfaseräquivalente [m³ (f)]***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie

*Abb. 2.8 | **Stoffstrom Nadelschnittholz in EPAL 1-Paletten in Deutschland für das Jahr 2015 in m³ Holzfaseräquivalente [m³ (f)])***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie

LEITPRODUKT EUROPALETTE

Aus der Fülle möglicher Endverwendungen von Holz und den zugehörigen marktgängigen Produkten wurde für den Holzbereich als Leitprodukt die Flachpalette, die sogenannte EPAL 1-Palette, gewählt. Die Palette ist in ihrer Zusammensetzung normiert und besteht aus Nadelschnittholz, Holzspan- oder Vollholzklötzchen und einer festgelegten Anzahl an Nägeln. Aktuell sind weltweit ca. 450 Mio. EPAL 1-Paletten in Nutzung, somit handelt es sich um die weltweit am meisten verbreitete Tausch-Palette (EPAL, 2019).

Abbildung 2.8 zeigt den Stoffstrom von Nadelschnittholz, der für 2015 in Deutschland mit der Herstellung von EPAL 1-Paletten verbunden war. Weiterhin sind der Abbildung auch Angaben zum genutzten Bestand, zu Reparatur, Recycling und Entsorgung zu entnehmen.

2015 wurden 50 Mio. m^3 Nadelholz in Deutschland geerntet. Der größte Teil des eingeschlagenen Nadelholzes, knapp 34 Mio. m^3, wird in der ersten Verarbeitungsstufe von der Sägeindustrie verwendet und somit stofflich genutzt. Im Zuge der weiteren Verarbeitung gehen ca. 6,5 Mio. m^3 Nadelschnittholz in die Herstellung von Holzpackmitteln, wovon gut die Hälfte zur Herstellung des Leitproduktes EPAL 1-Palette genutzt wird. Die Gegenüberstellung mit den anderen Hauptkategorien der Holzpackmittel unterstreicht die Bedeutung von Holzpaletten allgemein und von EPAL 1-Paletten im Speziellen. Holzpaletten haben eine durchschnittliche Lebensdauer von sechs Jahren (FEFPEB, 2019). In dem in Nutzung befindlichen Bestand sind knapp 15 Mio. m^3 Nadelschnittholz gebunden. Bei notwendigen Reparaturen werden durchschnittlich ca. 7,5 % des Schnittholzes ausgetauscht. Paletten, die nicht mehr repariert werden können, werden zu einem Drittel in der Herstellung von Holzwerkstoffen stofflich genutzt. Diese stoffliche Nutzung ist in Deutschland nach der Altholzverordnung aber nur möglich, wenn das Holz unbehandelt und nicht verunreinigt ist. Etwa zwei Drittel der entsorgten Paletten werden zur Energieerzeugung verbrannt.

2.6 BEWERTUNG VON NACHHALTIGKEITSASPEKTEN DES LEITPRODUKTS EUROPOOLPALETTE

Die stoffstrombasierte Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten hat zum Ziel, ökologische, soziale und ökonomische Wirkungen biobasierter Leitprodukte darzustellen. Die Bewertung folgt dem Stoffstrom des Leitproduktes von der Rohstoffbereitstellung über Herstellung, Nutzung, Reparatur, Recycling bis zur Entsorgung. Trotz der Beschränkung auf ein Leitprodukt erfasst man einen großen Anteil der ausgewählten Nachhaltigkeitseffekte eines Materialflusses, da die größte Menge des Materialflusses für die Herstellung der Leitprodukte verwendet wird.

Die EPAL 1-Palette ist eines der Leitprodukte des Stoffstroms Nadelschnittholz. Sie wird in zwei Varianten produziert. Die eine besteht ausschließlich aus Nadelschnittholz. Bei der anderen werden anstatt von Vollholzklötzen Klötze aus Holzwerkstoffen verbaut.

Die Klimawirkung wird als Treibhausgaspotenzial und der Eintrag von Stickstoff und Phosphat als Eutrophierungspotenzial gemessen. Wie groß die Beiträge der in Deutschland produzierten, genutzten und entsorgten EPAL 1-Paletten pro t und insgesamt sind, zeigt Tabelle 2.1.

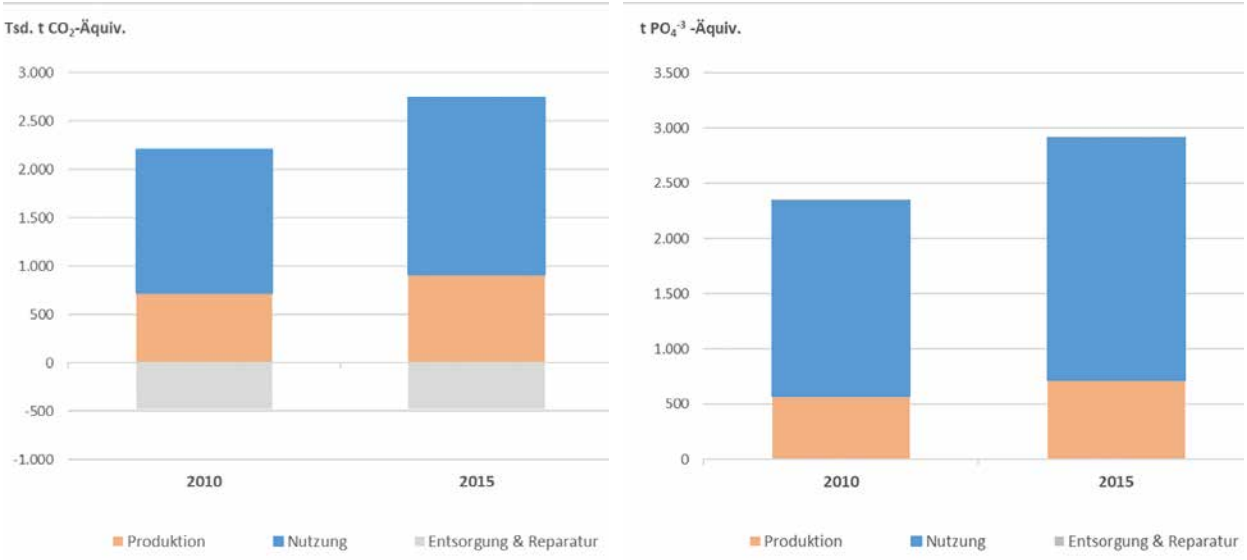
*Tab. 2.1 | **Kumulierte Treibhausgasemissionen (THG) und Eutrophierungspotenzial (EP) aus der Produktion, Nutzung und Entsorgung von EPAL 1-Paletten***

EPAL 1 PALETTE	WIRKUNG JE TONNE EPAL 1-PALETTE		GESAMTWIRKUNG DER EPAL 1-PALETTEN IN DEUTSCHLAND			
	THG	EP	THG		EP	
	t CO_2 eq	kg PO_4^{3-} eq	Tsd. t CO_2 eq		t PO_4^{3-} eq	
Jahr			**2010**	**2015**	**2010**	**2015**
EPAL 1 (nur Nadelschnittholz)	*1,06*	*1,67*	*76*	*100*	*112*	*138*
EPAL 1 (mit HWS-Klötzen)	*1,21*	*1,75*	*1.648*	*2.160*	*2.237*	*2.774*
Gesamt			***1.724***	***2.260***	***2.349***	***2.912***

Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie basierend auf Scholtes and Jansen (2014)

Betrachtet man den Beitrag einzelner Abschnitte auf dem Weg des Stoffstroms des Leitproduktes (Abb. 2.9), so hat die Nutzungsphase die größte Wirkung. Dies resultiert aus dem hohen Energieverbrauch während des Transports von Paletten.

Abb. 2.9 | ***Treibhausgasemissionen (a) und Eutrophierungspotenzial (b) aus Produktion, Nutzung und Entsorgung der EPAL 1-Paletten in Deutschland in den Jahren 2010 und 2015***

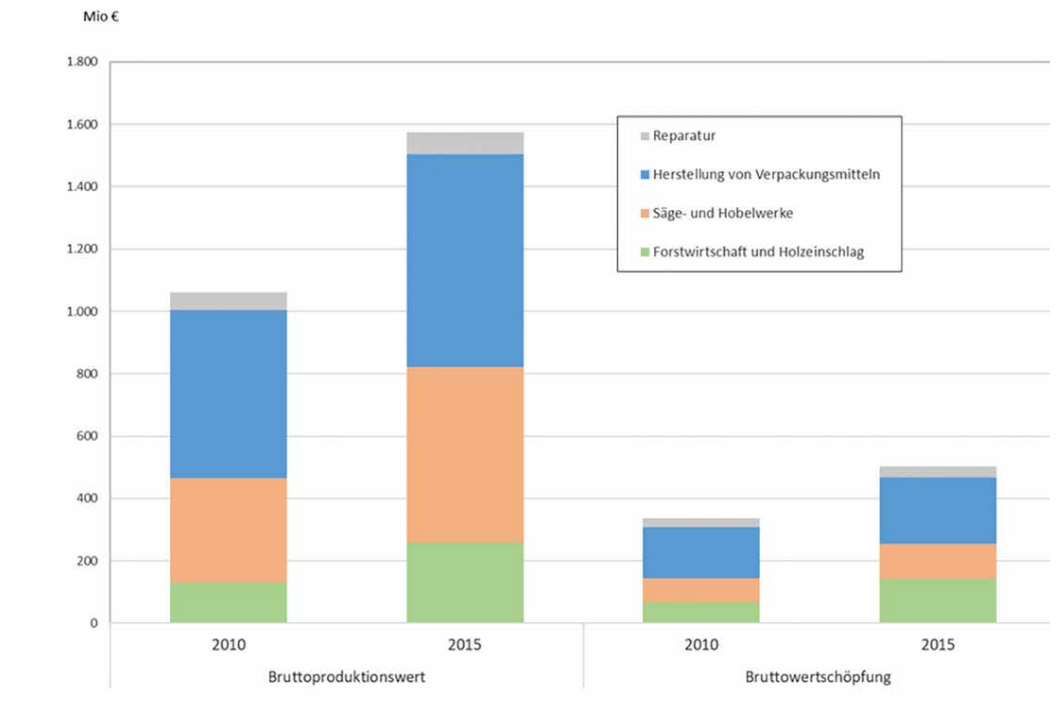


Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie basierend auf Scholtes and Jansen (2014)

Als Beispiele für ökonomische Nachhaltigkeitsaspekte der EPAL 1 werden Bruttoproduktionswert und Bruttowertschöpfung berechnet. In 2015 wurde bei der Produktion von EPAL 1 in Deutschland ein Bruttoproduktionswert in Höhe von 1,6 Mrd. EURO und eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 503 Mio. EURO erzielt (in 2010 jeweils 1,1 Mrd. EURO und 336 Mio. EURO). Der signifikante Anstieg der beiden wirtschaftlichen Größen in 2015 im Vergleich zu 2010 ist auf die angestiegene Produktionsmenge sowie Preissteigerungen zurückzuführen. Der höchste Anteil der Bruttowertschöpfung entsteht bei der Herstellung der Paletten, gefolgt von der forstwirtschaftlichen Produktion und der Sägeindustrie (Abb. 2.10).

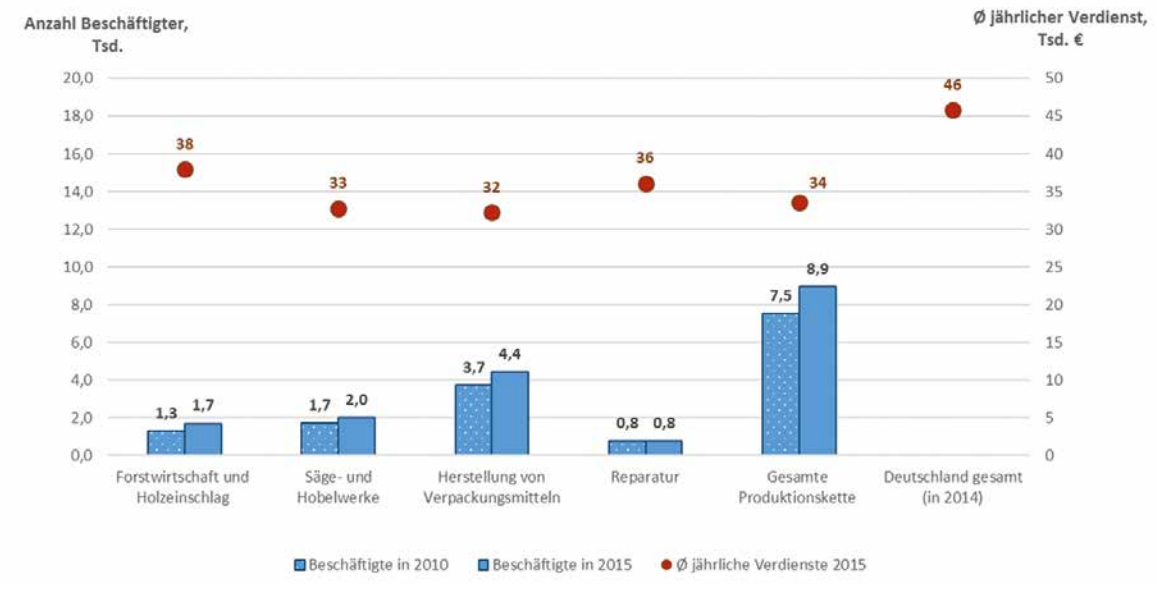
Die sozialen Nachhaltigkeitseffekte der EPAL 1 werden beispielhaft anhand der Indikatoren „Anzahl der Beschäftigten“ sowie „durchschnittliche jährliche Gehälter“ veranschaulicht (Abb. 2.11). 2015 waren in der Produktion und Reparatur von Europoolpaletten 8,9 Tsd. Beschäftigte tätig, in 2010 waren es 7,4 Tsd. Der Anstieg der Beschäftigtenzahl spiegelt die höhere jährliche Produktionsmenge wider. Analog zu den wirtschaftlichen Größen hatte die eigentliche Herstellung von Europaletten den größten Anteil an Beschäftigten in der gesamten Wertschöpfungskette. Allerdings ist dieser Wirtschaftszweig durch die niedrigsten durchschnittlichen Gehälter von 32 Tsd. EURO jährlich in der ganzen Produktionskette gekennzeichnet. Auch der durchschnittliche Verdienst in der gesamten Produktionskette der Europaletten von 34 Tsd. EURO jährlich liegt deutlich unter dem durchschnittlichen jährlichen Verdienst in Deutschland von 46 Tsd. EURO.

Abb. 2.10 | ***Bruttoproduktionswert und Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten aus der Produktion und Reparatur der EPAL 1-Paletten in den Jahren 2010 und 2015***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie basierend auf Eurostat (2018a), Rosenkranz (2018)

Abb. 2.11 | ***Beschäftigte in den Jahren 2010 und 2015 sowie durchschnittliche jährliche Gehälter im Jahr 2015 der Vollzeitbeschäftigten in der Wertschöpfungskette der EPAL 1-Paletten***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie basierend auf Eurostat (2018a) und (2018b) sowie Destatis (2010), (2014) und (2015)

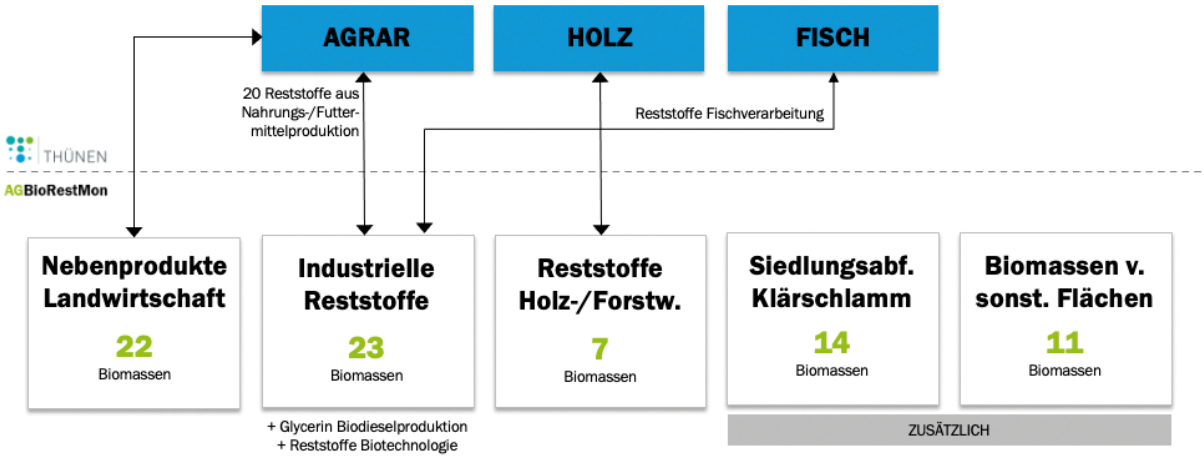
Insgesamt war die Produktion von EPAL 1 durch ein signifikantes Wachstum der Produktionsmenge gekennzeichnet, was mit einer entsprechend steigenden Bruttowertschöpfung und Erwerbstätigenzahl, aber auch höheren Umweltbelastungen einherging. Dem positiven Beschäftigungseffekt stehen die niedrigen durchschnittlichen Verdienste gegenüber.

Das Leitprodukt Europoolpalette ist ein Stellvertreter der Holzverpackungsmittel und bildet einen erheblichen Teil des Stoffstroms Nadelschnittholz ab. Jedoch lassen sich die Beobachtungen zu dem Leitprodukt „Europoolpalette“ nicht komplett auf den gesamten Stoffstrom und noch weniger auf die gesamte stoffliche Nutzung von Biomasse übertragen. Weitergehende Aussagen würden eine Ausweitung des Ansatzes auf andere Leitprodukte erfordern.

2.7 REST- UND ABFALLSTRÖME

Im Projekt der Arbeitsgruppe Biomassereststoff-Monitoring erfolgte die sektorenübergreifende Bilanzierung des Ressourcenangebots und der Ressourcennutzung von biogenen Reststoffen, Nebenprodukten und Abfällen. Insgesamt wurden 77 Biomassen aus den Bereichen Landwirtschaft, Industrie, Holz- und Forstwirtschaft, Siedlungsabfall/Klärschlamm und Biomassen von sonstigen Flächen analysiert. Abb. 2.12 zeigt die Verflechtung der Rohstoffe mit den Sektoren Agrar, Holz und Fisch, welche in den Abschnitten 2.3 bis 2.5 beschrieben werden.

*Abb. 2.12 | **Im Reststoffmonitoring betrachtete Biomassen und Verknüpfung zu den Hauptstoffströmen***



Quelle: Deutsches Biomassforschungszentrum gGmbH

Im Ergebnis steht für das Bezugsjahr 2015 ein technisch nutzbares Rohstoffangebot in der Höhe von 85,6–139,6 Mio. t TM zur Verfügung. Bis zu 84 % dieser Menge stammen aus der Land- und Forstwirtschaft. Die insgesamt hohe Bandbreite wird maßgeblich durch unterschiedliche Trockenmassegehalte, den tierspezifischen Dunganfall oder verschiedene Bergungsraten bzw. Entnahmemengen beeinflusst. Das Rohstoffangebot wurde 2015 zu etwa 67–85 % stofflich und/oder energetisch genutzt, wobei die stoffliche Nutzung bei weit über der Hälfte liegt. Die verbleibenden Mengen in Höhe von 13,9–48,2 Mio. t TM können als noch mobilisierbar bezeichnet werden. Die fünf Biomassen Getreidestroh, Waldrestholz (Nadel), Rindermist, Rindergülle und Grüngut umfassen dabei 76–95 % des mobilisierbaren Potenzials. Die hohe Relevanz dieser Rohstoffe ermöglicht u.a. auch eine Priorisierung der Forschungsaktivitäten in Bezug auf Optimierungs- und Mobilisierungsstrategien sowie hinsichtlich der Verbesserung der Berechnungsmethoden. Aus Sicht der nationalen Reststoffverfügbarkeit könnten zukünftig ca. 1.000 PJ erneuerbare Bioenergieträger bereitgestellt werden. Eine sinnvolle Kaskadennutzung ermöglicht hierbei sowohl die stoffliche als auch eine energetische Nutzung.

Für die weitere Interpretation und Nachnutzung aller Ergebnisse[4] steht eine Online-Datenbank kostenfrei zur Verfügung (http://webapp.dbfz.de/resources). Neben den Ergebnissen zum Rohstoffangebot und zur Nutzung von Rohstoffen stehen auch die Flowcharts sowie relevante Basis- und Kontextdaten zur Verfügung. Das Online-Datenangebot wird projektunabhängig betrieben und ist als langfristige Verwertungsplattform von Forschungsergebnissen zu verstehen.

4 Die Dokumentation des Projekts ist in Brosowski et al. (2019a, 2016, 2019b) verfügbar

3

SOZIOÖKONOMISCHE ENTWICKLUNG DER BIOÖKONOMIE IN DEUTSCHLAND

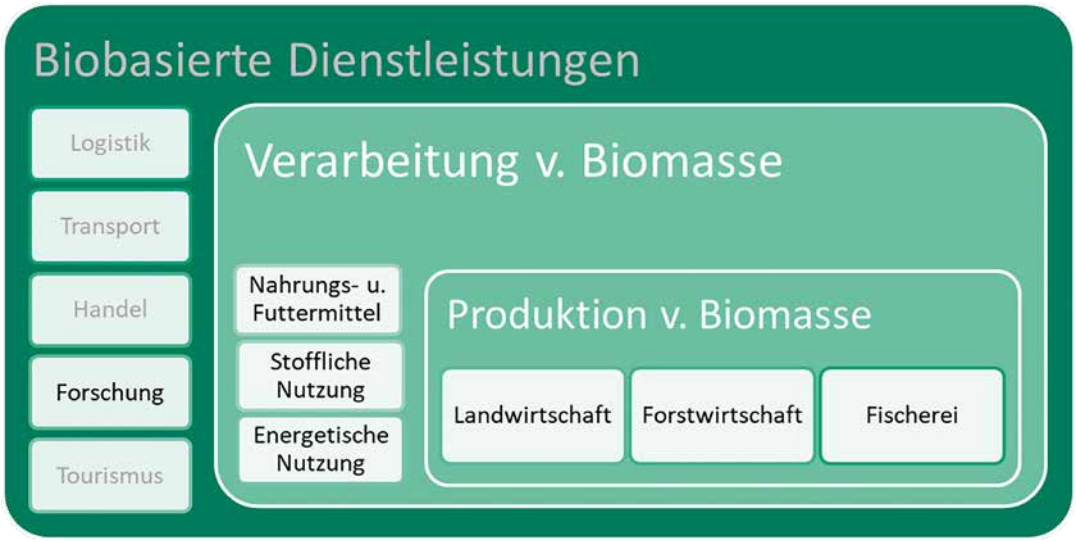
3 SOZIOÖKONOMISCHE ENTWICKLUNG DER BIOÖKONOMIE IN DEUTSCHLAND

3.1 ABGRENZUNG DER BIOÖKONOMIE

Um Bioökonomie messen und in ihrer Entwicklung beschreiben zu können, ist es notwendig, die Bioökonomie von anderen Bereichen der Volkswirtschaft abzugrenzen. Ausgangspunkt der hier präsentierten Arbeiten ist die Definition der Bioökonomie der Politikstrategie des BMEL (2014), die mit der aktuellen nationalen Bioökonomiestrategie (Bundesregierung 2020) kompatibel ist. Um Bioökonomie basierend auf amtlichen Klassifikationen abgrenzen zu können, wurde diese Definition konkretisiert. Danach sind für Bioökonomie die Produktion von Biomasse sowie die biobasierte Herstellung von Produkten entlang der gesamten Wertschöpfungskette sowie die biobasierte Bereitstellung von Dienstleistungen zu berücksichtigen, wobei „biobasiert“ bedeutet, dass Erzeugnisse vollständig oder teilweise (mindestens 10 % der eingesetzten Menge an Rohstoffen) aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Die Nutzung biobasierter Erzeugnisse und Dienstleistungen unterteilt sich in den (i) Nahrungs- und Futtermittelbereich, die (ii) stoffliche und die (iii) energetische Nutzung. Während (i) eher der traditionellen Bioökonomie zuzuordnen ist, sind neuere Entwicklungen in den letzten beiden Jahrzehnten eher mit der stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse verbunden gewesen. Neben biobasierten Stoffflüssen ist ein wesentliches Kriterium der Zuordnung zur Bioökonomie, dass wirtschaftliche Effekte (z. B. Wertschöpfung) durch den (anteiligen) Einsatz von Biomasse entstehen. Produktionsmittel und Investitionsgüter, die für die Bereitstellung von biobasierten Produkten notwendig sind, werden hier nicht mit betrachtet.

Dieser Abgrenzung liegt die Überlegung zugrunde, dass all jene wirtschaftlichen Aktivitäten, die in irgendeiner Form mit der Produktion, Verarbeitung und Verwendung von Biomasse verbunden sind, der Bioökonomie im engeren Sinne zugeordnet werden (Abb. 3.1). Eine Ausnahme bildet Forschung im Bereich der Biotechnologie und in ausgewählten naturwissenschaftlichen Disziplinen, da diese eine wichtige Grundlage bei der Entwicklung neuer Produkte und Prozesse spielt. Andere biobasierte Dienstleistungen können grundsätzlich der Bioökonomie zugeordnet werden. So werden Dienstleistungen, die z. B. mit der Verarbeitung von Lebensmitteln im Gastgewerbe in Zusammenhang stehen, berücksichtigt. Die Abschätzung biobasierter Anteile anderer Dienstleistungen, wie z. B. Transporte kann auf Basis amtlicher Daten bisher nicht, bzw. nur unter sehr allgemeinen Annahmen erfolgen. In einem möglichen weitergeführten Monitoring der Bioökonomie gälte es, den Bereich der biobasierten Dienstleistungen detaillierter zu berücksichtigen.

Abb. 3.1 | ***Abgrenzung der Bioökonomie***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie

3.2 BIOBASIERTE ANTEILE DER WIRTSCHAFTSZWEIGE

Auf Basis dieser Abgrenzung wurden mit Hilfe der amtlichen Wirtschaftszweigklassifikation eindeutig definierte wirtschaftliche Aktivitäten ausgewählt, welche in die Berechnungen einbezogen wurden. Tabelle 3.1 zeigt die aktuelle Zuordnung der Wirtschaftszweige und ihrer Anteile zur Bioökonomie für die Jahre 2010 bis 2017. Einzelheiten zur Methodik und der Verfügbarkeit amtlicher Daten sind in Iost et al. (2019) zu finden.

Das verarbeitende Gewerbe (Abschnitt C der Wirtschaftszweigklassifikation) ist für die Bioökonomie von besonderer Bedeutung. In den hier zusammengefassten wirtschaftlichen Aktivitäten findet stoffliche Nutzung von Biomasse statt. Unter Nutzung der aufgeführten amtlichen Statistiken erfolgte die Bestimmung der biobasierten Anteile einzelner Wirtschaftszweige, indem die jeweils genutzten Rohstoffe und Materialien hinsichtlich ihrer biobasierten Anteile bewertet wurden (Iost et al. 2019). Aufgrund von Datenlücken wurde ein Ansatz gewählt, der für jeden Wirtschaftszweig den minimalen und maximalen biobasierten Anteil berechnet. Der tatsächliche biobasierte Anteil liegt somit innerhalb der ausgewiesenen Spannbreite.

*Tab. 3.1 | **Einbezogene Wirtschaftszweige (WZ), Methode und Datenquellen zur Berechnung sowie Ergebnis der biobasierten Anteile***

WZ CODIERUNG	BESCHREIBUNG	BIOBASIERTER ANTEIL – METHODE UND ERGEBNIS	DATENQUELLEN
A (01, 02, 03)	Landwirtschaft u. Jagd, Forstwirtschaft u. Holzeinschlag, Fischerei u. Aquakultur	Wird vollständig der Bioökonomie zugeordnet; 100 %	
C	Verarbeitendes Gewerbe	Summe Beschaffungskosten biobasierter Inputs in die Wirtschaftszweige als prozentualer Anteil an den gesamten Rohstoffkosten Ergebnisse im Detail siehe 3.2	Material- und Wareneingangsstatistik; Produktionsstatistik
D	Energieversorgung	Prozentualer Einsatz von Biomasse an allen Energiequellen: 8–10 %	AG Energiebilanzen
F	Baugewerbe		
41.20.1 41.20.2	Bau von Gebäuden (ohne Fertigteilbau) Errichtung von Fertigteilbauten	Holzbauquote: umbauter Raum überwiegend aus Holz als Anteil an gesamten umbauten Raum: 7–10 %	Amtliche Statistik zu Baugenehmigungen
43.32.0 43.91.2	Bautischlerei Zimmerei und Ingenieurholzbau	Wird vollständig der Bioökonomie zugeordnet; 100 %	
I	Gastgewerbe		
56.1 56.2 56.3	Restaurants, Gaststätten, Imbissstuben, Cafés, Eissalons u. Ä. Caterer und Erbringung sonst. Verpflegungsdienstleistungen, Ausschank von Getränken	Wird vollständig der Bioökonomie zugeordnet; 100 %	
M	Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen		
72.11.0	Forschung & Entwicklung im Bereich Biotechnologie	Wird vollständig der Bioökonomie zugeordnet; 100 %	
72.19.0	Sonst. F&E Natur-, Ingenieur-, Agrarwissenschaften und Medizin	Interne Ausgaben in naturwissenschaftlicher und Agrarforschung Anteil zwischen 24–26 %	Amtliche Statistik zu Ausgaben der öffentlichen Einrichtungen

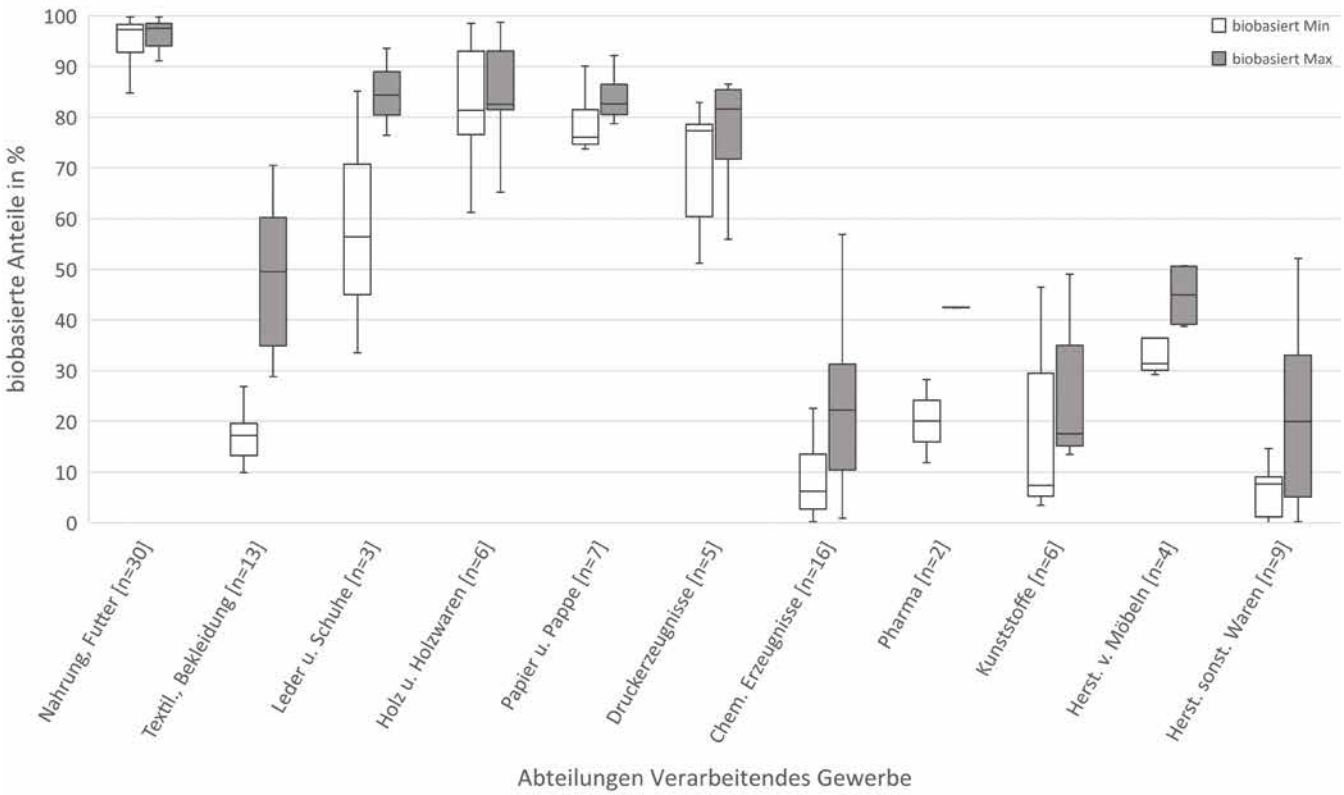
Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie

Abbildung 3.2 zeigt die Spannbreiten der biobasierten Anteile der einzelnen Wirtschaftszweige des Abschnitts C „Verarbeitendes Gewerbe“ jeweils für minimale und maximale Anteile, die getrennt abgeschätzt wurden. Vor dem Hintergrund der Gesamtspannweite gibt jede Box die Spannbreite der Daten zwischen 1. und 4. Quartil[5] an, der waagerechte

5 d. h. dass jeweils 25 % bzw. 75 % der Werte oberhalb bzw. unterhalb liegen

Strich in der Box kennzeichnet den Median. Auf der X-Achse sind für die jeweilige Abteilung der Wirtschaftszweigklassifikation (2-Steller) die biobasierten Anteile der in dieser Kategorie enthaltenen Klassen (4-Steller) zusammengefasst. So sind z. B. für die Abteilung „Papier u. Pappe“ (WZ 17) die biobasierten Anteile von sieben Wirtschaftszweigklassen (WZ 17.11 bis 17.29) dargestellt. Die biobasierten Anteile dieser Abteilung liegen zwischen 0,73 und 0,9 (Min) und 0,79 und 0,92 (Max).

Abb. 3.2 | ***Biobasierte Anteile des verarbeitenden Gewerbes 2014 (ohne Wirtschaftszweigklassen mit biobasierten Anteilen < 10 %)***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie

Große Spannbreiten bezeichnen größere Unsicherheiten bei der Bestimmung der biobasierten Anteile. Diese sind auf z. T. geringe Detailtiefe in der amtlichen Statistik, große Vielfalt an Produkten, die in den jeweiligen Wirtschaftszweigen erzeugt werden, und fehlende Angaben zur Zusammensetzung der Produkte zurückzuführen. Für Textilien und Bekleidung, Schuhe und Lederwaren und für chemische Erzeugnisse treffen diese Bedingungen besonders zu.

Nachfolgend wird der Beitrag der Bioökonomie (Wirtschaftszweige mit biobasierten Anteilen > 10 %) zur Erwerbstätigenzahl und Bruttowertschöpfung, in Deutschland abgebildet. Um die Kohärenz und Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde auf statistische Datenquellen zurückgegriffen, wie sie auch für Fortschrittsberichte zur Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie bzw. in der Berichterstattung der Vereinten Nationen zu Grunde gelegt werden.

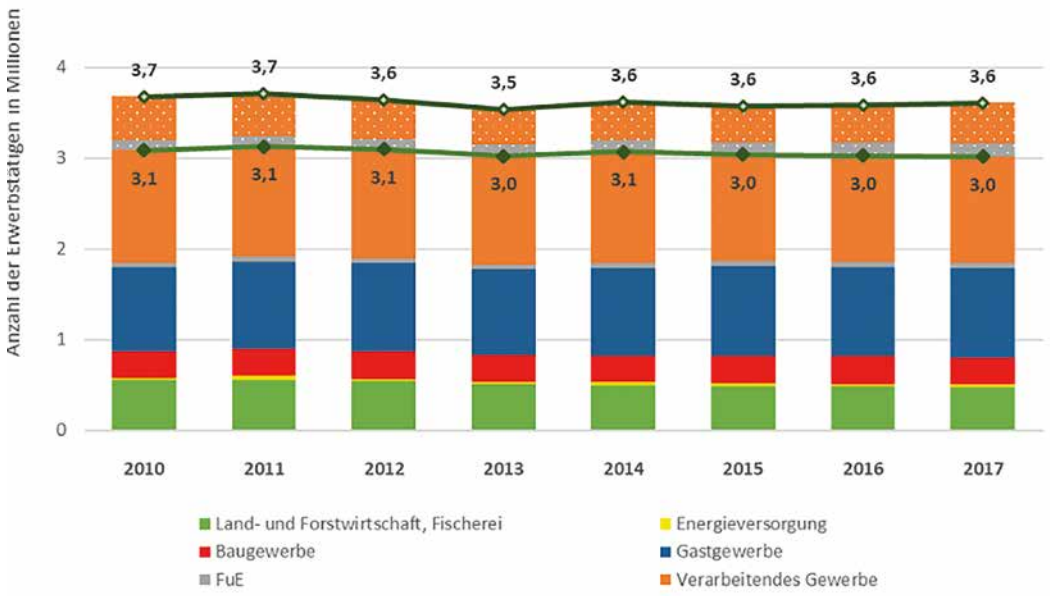
3.3 ANTEIL DER BIOÖKONOMIE AN DER BESCHÄFTIGUNG

3.3.1 BISHERIGE ENTWICKLUNG

Die Anzahl der Erwerbstätigen in der Bioökonomie (BÖ) beträgt mit 3,1–3,6 Millionen ca. 8–9 % der gesamten Erwerbstätigen in Deutschland (Abb. 3.3). Rund drei Viertel der Erwerbstätigen sind hierbei im verarbeitenden Sektor (39–45 %) und im Gastgewerbe (27–33 %) beschäftigt. Der Anteil der Landwirtschaft beträgt 13–16 %, des Baugewerbes 8–10 %. Auf Forschung und Entwicklung sowie die Energiewirtschaft entfallen insgesamt ca. 5 % der Erwerbstätigen. Über die Hälfte aller BÖ-Erwerbstätigen im verarbeitenden Sektor (51–67 %) ist in der Nahrungs-, Futtermittel- und Getränkeherstellung tätig. Der Anteil anderer Wirtschaftszweige ist gleichmäßig verteilt und beträgt nicht mehr als 10 %.

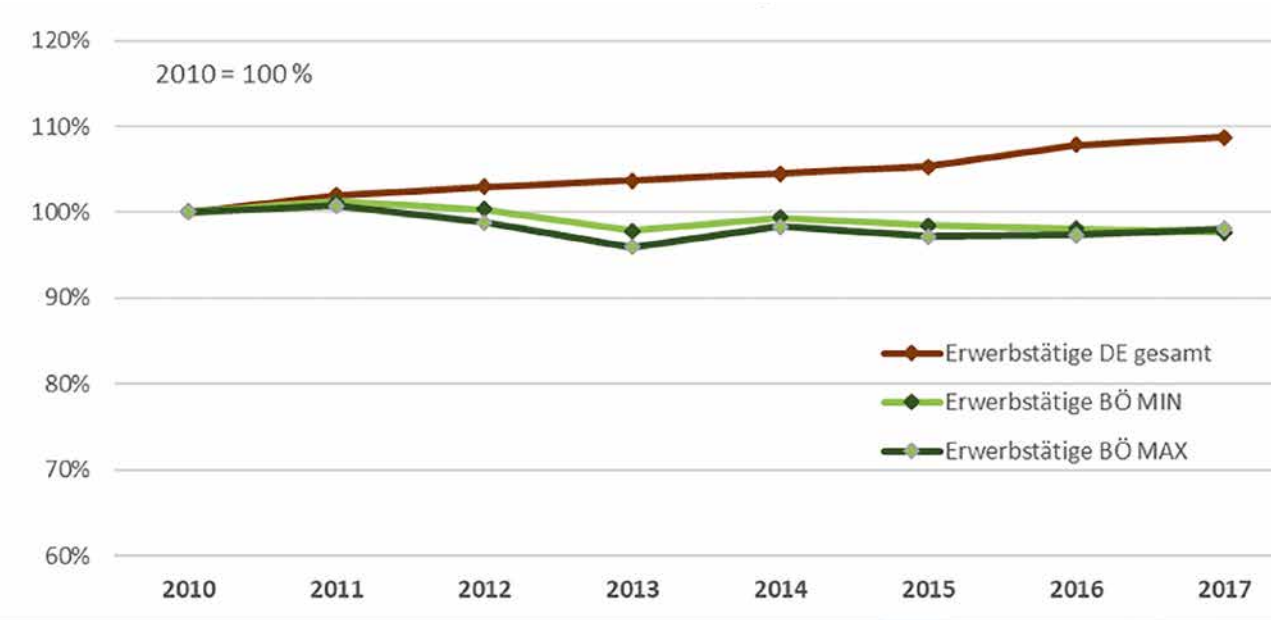
Während die Erwerbstätigenzahl in Deutschland zwischen 2010 und 2017 um 9 % angestiegen ist, war in der Bioökonomie eine stagnierende bzw. leicht sinkende Tendenz zu verzeichnen, (Abb. 3.4). Ursächlich hierfür war in erster Linie der Rückgang der Erwerbstätigen in der Landwirtschaft (–15 % im Vergleich zu 2010). Auch haben die Papier- und die Druckindustrie, die chemische Industrie sowie die Möbelproduktion zum Rückgang beigetragen. Gegenläufig hat sich vor allem der Anstieg der Erwerbstätigenzahl im Gastgewerbe (+6 % im Vergleich zu 2010), aber auch in der Lebens- und Futtermittelherstellung, im Baugewerbe sowie in der Forschung und Entwicklung ausgewirkt. Die jeweiligen biobasierten Anteile je Wirtschaftsbereich blieben beinahe unverändert.

*Abb. 3.3 | **Erwerbstätige in der Bioökonomie in Deutschland in der Altersgruppe 20–64 Jahre in den Jahren 2010 bis 2017***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie basierend auf (Eurostat 2019b)

Abb. 3.4 | ***Entwicklung der Erwerbstätigen in der Bioökonomie und in Deutschland gesamt in der Altersgruppe von 20–64 Jahren (2010 = 100 %) in den Jahren 2010 bis 2017***



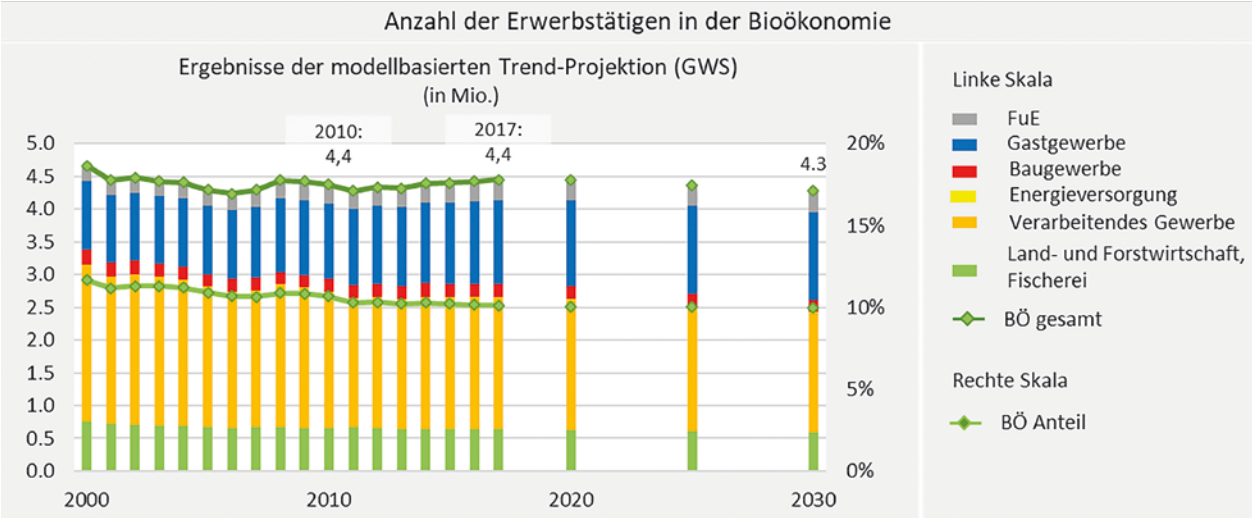
Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie basierend auf Eurostat (2019b)

3.3.2 KÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Die Abschätzung der künftigen Entwicklung der Beschäftigung beruht auf anderen Daten und Methoden und verzichtet auf die Quantifizierung eines Unsicherheitsbereichs. Für den Zeitraum von 2010 bis 2016 ergeben sich Beschäftigungszahlen, die über den oben angeführten Maximal-Werten liegen. Ein Teil dieser Unterschiede dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Abschätzungen der GWS auf Grundlage des EXIOBASE Datensatzes nicht auf die Anzahl der Erwerbstätigen in der Altersgruppe 20 bis 64 Jahren beschränkt sind.

Unabhängig von diesen Unterschieden zeigt sich, dass für die Zukunft unter Trendannahmen[6] eine leicht rückläufige Beschäftigung in der deutschen Bioökonomie projiziert wird (Abb. 3.5). Hierbei stehen sich Beschäftigungsverluste in der Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, dem Verarbeitenden Gewerbe und dem Baugewerbe, Beschäftigungszuwächsen in der Energieversorgung, dem Gastgewerbe und in Forschung und Entwicklung gegenüber.

*Abb. 3.5 | **Modellbasierte Abschätzungsergebnisse zur Entwicklung der gesamten Erwerbstätigkeit in der deutschen Bioökonomie bis 2030***



Quelle: Berechnungen der GWS auf Basis von EXIOBASE

6 Die Projektionen berücksichtigen nicht den in der Folge von COVID19 ab 2020 zu erwartenden Rückgang der Wirtschaft. Es kann jedoch angenommen werden, dass es in den Folgejahren zu Nachholeffekten kommen wird, so dass die mittelfristige Trendprojektion bis 2030 wieder erreicht werden kann. Angesichts der großen Unsicherheiten bietet sich zukünftig die Darstellung von Bandbreiten an.

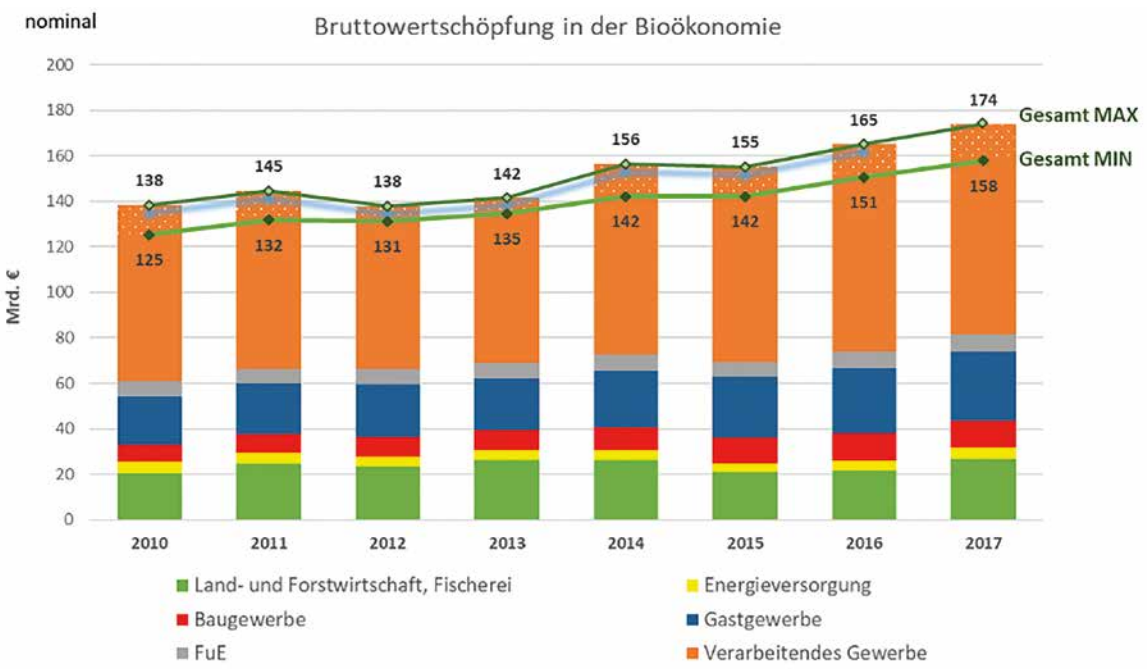
3.4 ANTEIL DER BIOÖKONOMIE AN DER BRUTTOWERTSCHÖPFUNG

3.4.1 BISHERIGE ENTWICKLUNG

Die Bruttowertschöpfung ist ein Maß für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit eines Landes und eine der wichtigsten ökonomischen Kennzahlen. Die Ermittlung der Bruttowertschöpfung zu Herstellerpreisen in der Bioökonomie beruht auf Daten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen, Kostenstrukturerhebungen, Strukturerhebungen sowie Umsatzsteuerstatistiken des Statistischen Bundesamtes.

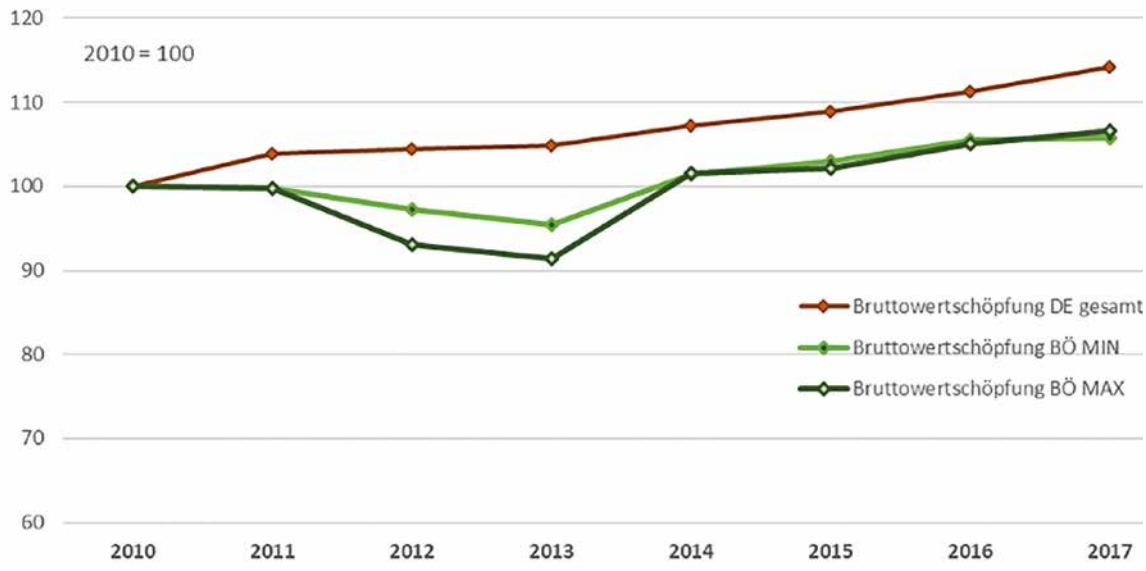
Der Anteil der Bioökonomie an der gesamten Bruttowertschöpfung in Deutschland beträgt rund 5–6 %. Im Jahr 2017 wurde die Hälfte der Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Sektor erwirtschaftet, gefolgt vom Gastgewerbe (17–19 %) und der Landwirtschaft (16–17 %). Auf Baugewerbe entfielen ca. 7–8 %. Der Beitrag der Energiewirtschaft sowie der Forschung und Entwicklung belief sich insgesamt auf ca. 7 %. Den weitaus größten Anteil an der Bruttowertschöpfung innerhalb des verbarbeitenden Gewerbes hatte die Nahrungs-, Futtermittel- und Getränkeindustrie (47–56 %). Etwa 10–11 % entfielen auf die Papierproduktion. Die restlichen Anteile verteilten sich gleichmäßig auf verschiede Wirtschaftszweige. Wie die Abbildung 3.6 zeigt, blieb die strukturelle Zusammensetzung der Bioökonomie im betrachteten Zeitraum im Wesentlichen unverändert.

*Abb. 3.6 | **Bruttowertschöpfung der Bioökonomie in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2017***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie basierend auf Eurostat (2019a), Destatis (2018a)

Abb. 3.7 | ***Bruttowertschöpfung der Bioökonomie in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2017***



Quelle: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie basierend auf Eurostat (2019a), Destatis (2018a)

Die preisbereinigte Bruttowertschöpfung in der Bioökonomie hat sich im betrachteten Zeitraum um 5–6 % erhöht (Abb. 3.7). Der Anstieg rührt insbesondere von den Zuwächsen im Gastgewerbe (+18,4 % im Vergleich zu 2010), in der Nahrungs-, Futtermittel- und Getränkeindustrie (+4–5 % im Vergleich zu 2010), in der Forstwirtschaft (+82 % im Vergleich zu 2010)[7] sowie in der Papiererzeugung (+24–27 % im Vergleich zu 2010). Gegenläufig hat sich vor allem der Rückgang in der Landwirtschaft (–17 % im Vergleich zu 2010) ausgewirkt. Die Steigerung der preisbereinigten Bruttowertschöpfung in der Bioökonomie blieb deutlich unter der Wachstumsrate in Deutschland von 114 % zurück.

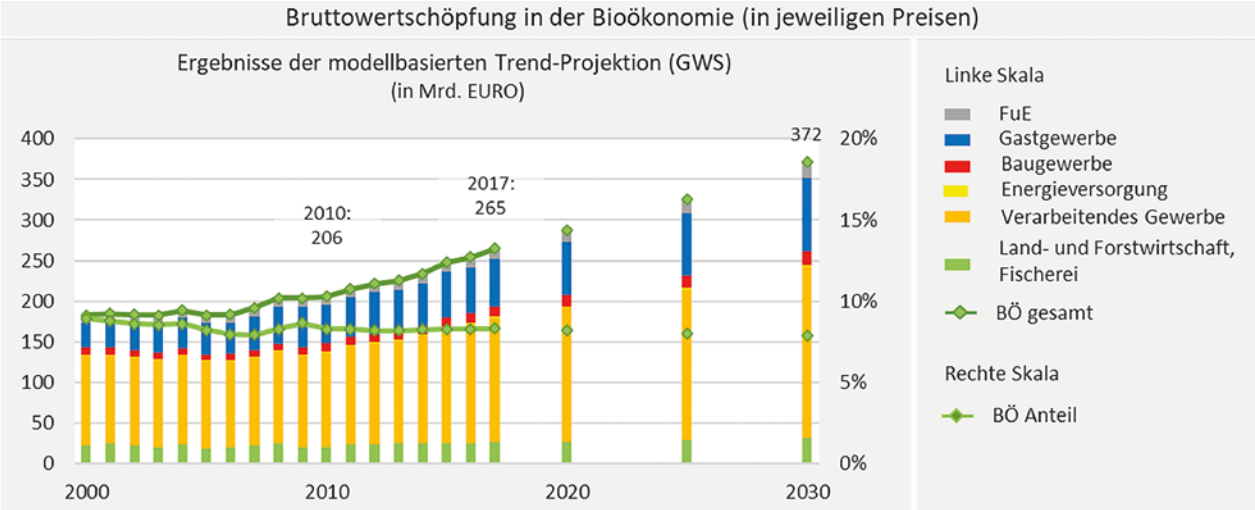
7 Der hohe Anstieg der Bruttowertschöpfung in der Forstwirtschaft ist auf einen sehr niedrigen Wert im Basisjahr 2010 zurückzuführen. In diesem Jahr brach die Bruttowertschöpfung in der Forstwirtschaft auf den niedrigsten Stand seit der Wiedervereinigung Deutschlands zusammen.

3.4.2 KÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Wie bereits bei der Beschäftigung zeigt sich, dass Abschätzungen auf Grundlage des EXIOBASE Datensatzes die Bruttowertschöpfung der deutschen Bioökonomie nochmals höher taxieren als die obere Bandbreite des Unsicherheitsbereichs in den vorangehend vorgestellten Analyseergebnissen.[8]

Für die Zukunft wird ein Anstieg der (nominalen) Bruttowertschöpfung der Bioökonomie um 2,6 % p. a. und damit um 0,5 Prozentpunkte niedriger als in der Gesamtwirtschaft projiziert[9] (Abb. 3.8). Als Wachstumstreiber erweisen sich hierbei die BÖ-Teile der Energieversorgung (+3,9 % p. a.), die BÖ-Teile des Gastgewerbes (+3,4 % p. a.) und die BÖ-Teile von FuE (+3,3 % p. a.). Eine unterdurchschnittliche Dynamik der nominalen Bruttowertschöpfung wird demgegenüber insbesondere für die Land- und Forstwirtschaft, Fischerei projiziert (+1,5 % p. a.).

*Abb. 3.8 | **Modellbasierte Abschätzungsergebnisse zur Entwicklung der Bruttowertschöpfung (Mrd. Euro) der deutschen Bioökonomie***



Quelle: Berechnungen der GWS auf Basis von EXIOBASE

8 Wie bereits erwähnt unterscheiden sich die ex-post Analysen des Thünen-Instituts und die modellbasierten Analysen der GWS sowohl methodisch als auch im Hinblick auf die Datengrundlagen. Dies gilt jedoch nicht im Hinblick auf die Abgrenzung der Bioökonomie.

9 Die Projektionen berücksichtigen nicht den in der Folge von COVID19 ab 2020 zu erwartenden Rückgang der Wirtschaft. Es kann jedoch angenommen werden, dass es in den Folgejahren zu Nachholeffekten kommen wird, so dass die mittelfristige Trendprojektion bis 2030 wieder erreicht werden kann. Angesichts der großen Unsicherheiten bietet sich zukünftig die Darstellung von Bandbreiten an.

4

ENTWICKLUNG VON TRENDS UND TREIBERN DER BIOÖKONOMIE

4 ENTWICKLUNG VON TRENDS UND TREIBERN DER BIOÖKONOMIE

Dieses Kapitel beschreibt wichtige Trends und die Entwicklung von Einflussfaktoren, die für die Ausprägung der deutschen Bioökonomie im nationalen und internationalen Kontext wesentlich sind.

Die gesamte Nachfrage nach Gütern wird grundlegend von der Zahl der Menschen und ihrem Einkommen bestimmt. Von 2017 bis 2030 wird die Weltbevölkerung von 7,5 Mrd. um 13 % auf 8,5 Mrd.[10] anwachsen und das Weltbruttoinlandsprodukt kann von 86 Trillionen US $ um 59 % auf ca. 137 Trillionen US $[11] steigen. Aufgrund der höheren Kaufkraft in Entwicklungsländern ist damit zu rechnen, dass die Nahrungsmittelnachfrage stärker steigen wird als die Bevölkerungszahl. Geht man davon aus, dass die Steigerung der Hektarerträge in der Landwirtschaft im kommenden Jahrzehnt weltweit unter 1 % jährlich liegen dürfte (USDA 2019), dann würde die bestehende Anbaufläche allein für die Nahrungsmittelproduktion kaum ausreichen.

Die Bevölkerungszahl in Deutschland hat sich in den letzten Jahren durch Zuwanderung stabilisiert und auch bis 2030 wird eine gleichbleibende Größenordnung angenommen.[12] Die Entwicklung des Volkseinkommens entspricht der in Kapitel 3 dargestellten gesamten Bruttowertschöpfung. Von 2017 bis 2030 ist danach mit einer Steigerung der biomassebasierten Bruttowertschöpfung um 40 % zu rechnen. Da die Wertschöpfung in vielen Fällen stärker steigt als die Mengen der eingesetzten Materialien, müssen für die Analyse der tatsächlichen Ressourcennutzung und Klimabelastung die mit den Stoffflüssen verbundenen Faktoren betrachtet werden.

4.1 ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGE

Wesentlich für die weitere Entwicklung der Hektarerträge sind neben den Effizienzsteigerungen der bestehenden Anbausysteme der Anteil des Ökolandbaus und die Folgen des Klimawandels.

4.1.1 ÖKOLANDBAU

Der Anteil des zertifizierten Ökolandbaus hat in Deutschland in den letzten Jahren stark zugenommen (Abb. 4.1). 2018 bewirtschafteten in Deutschland 31.713 Betriebe (12 % aller Agrarbetriebe) eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von 1,5 Mio. ha nach den Regeln des Ökologischen Landbaus, das sind ca. 9 % der Agrarfläche (BMEL 2019). Die Zahl der Betriebe des Ökologischen Landbaus und die von ihnen bewirtschaftete Fläche in Deutschland stiegen insbesondere seit 2016 wieder deutlich an.

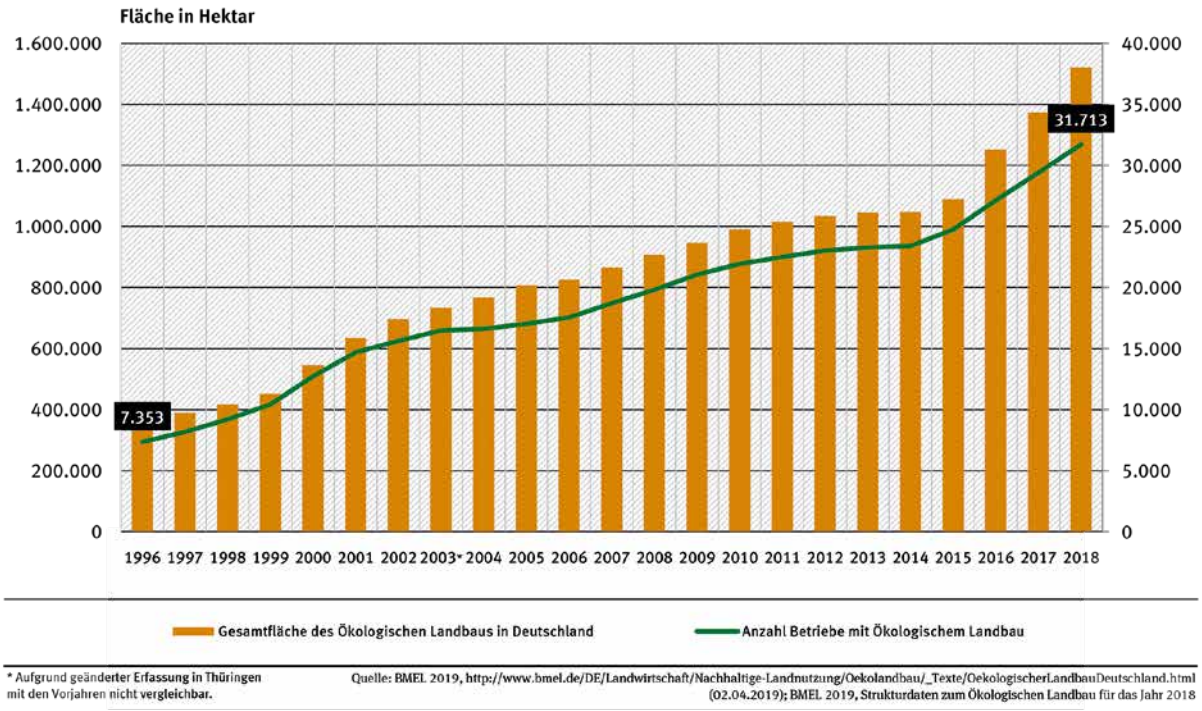
Bei Fortschreibung historischer Trends, wie in der Trendprojektion der Datengrundlagen für das Bioökonomie-Monitoring angenommen, würde sich der Anteil des Ökolandbaus in Deutschland bis zum Jahr 2030 auf knapp 13 % erhöhen. Das Ziel der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie von 20 % würde demnach ohne weitergehende politische Weichenstellungen nicht erreicht. Ökolandbau ist weltweit mit einem deutlich geringeren N-Überschuss und einer wesentlich geringeren Belastung durch Pestizideinsatz verbunden im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft (Abb. 4.2).

10 https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/ [Zugang am 22. Jan. 2020]

11 https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm [Zugang am 22. Jan. 2020]

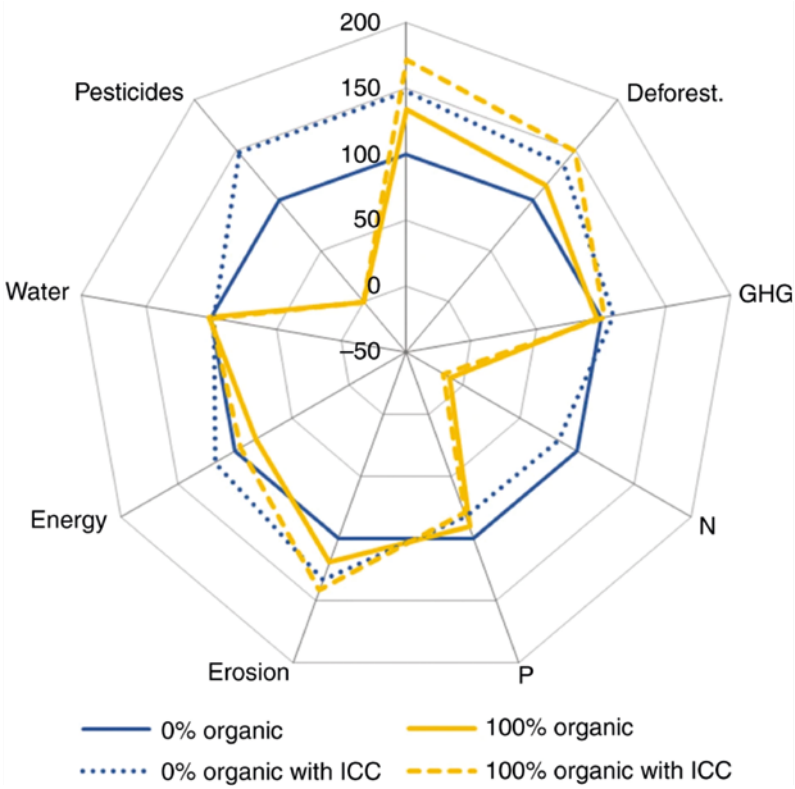
12 im Einklang mit der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Destatis 2019)

Abb. 4.1 | ***Entwicklung des Ökolandbaus in Deutschland (Betriebe und Flächen)***



Quelle: UBA (2020) nach BMEL

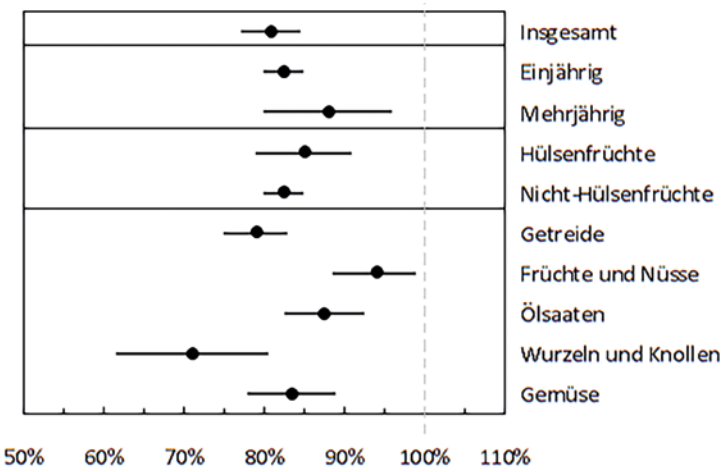
Abb. 4.2 | ***Vergleich von Ökolandbau und konventioneller Landwirtschaft.***



Quelle: ICC | integrated climate change (hier wurden die zu erwartenden Effekte durch den Klimawandel bei der Modellierung berücksichtigt); Quelle: Muller et al. (2016)

Tendenziell benötigt Ökolandbau jedoch für die gleiche Erntemenge mehr Fläche. Im weltweiten Durchschnitt und über alle Kulturen hinweg liegt seine Hektarproduktivität etwa 20 % unter der des konventionellen Landbaus, wenngleich es große Unterschiede zwischen den Kulturen gibt (Abb. 4.3). Höhere Diversifizierung im Öko-Anbau verringert die Unterschiede (Ponisio et al. 2015), auch können Dürreperioden wegen der höheren Wasserhaltekapazität besser überstanden werden (Reganold und Wachter 2016 und Quellen darin). Im Langzeitversuch können sich die Erträge sogar weitgehend annähern (Schrama et al. 2018). Dennoch trägt eine Ausweitung des Ökolandbaus – ohne Veränderungen auf der Konsumseite, z. B. durch effizientere Nutzung der Produkte – verstärkt zu den Nebenwirkungen der weltweiten Expansion von Agrarland durch Umwandlung von Savannen und Wäldern bei.

*Abb. 4.3 | **Durchschnittliche Hektarproduktivität von Ökolandbau und konventioneller Landwirtschaft im weltweiten Vergleich nach Anbaukulturen***



Quelle: Ponisio et al. (2015)

4.1.2 KLIMAWANDEL

Der Trend zur Ausweitung der Agrarfläche wird durch den Klimawandel noch verstärkt. Während das Ertragsniveau von Mais und Weizen in den gemäßigten Breiten vermutlich um 0,1 bis 0,5 % sinken dürfte, wird für die Tropen ein Rückgang von 0,5 bis 1 % erwartet (bei 2° C Steigerung bis 2100). Diese Änderungen dürften erst nach 2030 spürbar werden und sich dann je nach Erfolg des weltweiten Klimaschutzes noch erheblich verstärken (Challinor et al. 2014).

Für Deutschland ist mit einer wachsenden Unsicherheit durch Wetterextreme, insbesondere Hitzeperioden, zu rechnen (Hübener et al. 2017). Dies wurde bei den nachfolgenden Projektionen der künftigen Entwicklung bis 2030 jedoch noch nicht berücksichtigt.

4.2 UMNUTZUNG LANDWIRTSCHAFTLICHER FLÄCHEN

Die Flächennutzung in Deutschland ist durch eine anhaltende Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsfläche gekennzeichnet, die wesentlich zu Lasten einer dadurch abnehmenden Landwirtschaftsfläche geht. 2015 betrug die Siedlungs- und Verkehrsfläche insgesamt 4,9 Mio. ha und machte damit 13,7 % der gesamten Fläche Deutschlands aus (DESTATIS 2018b). Sie ist nach der Landwirtschaftsfläche (51,6 %) und der Waldfläche (30,6 %) die drittgrößte inländische Flächennutzung. Während sich von 1992 bis 2015 die Siedlungs- und Verkehrsfläche um 0,9 Mio. ha ausdehnte und die Waldfläche um 0,5 Mio. ha vergrößerte, nahm die Landwirtschaftsfläche um 1,1 Mio. ha ab.

In den letzten Jahren hat sich der Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche abgeschwächt. 2016 betrug er im gleitenden Vierteljahresdurchschnitt 62 ha pro Tag (DESTATIS 2018b). 1992 lag er noch etwa 120 ha täglich. Bei Fortsetzung der Trends zwischen 2010 und 2015 würde das ursprünglich für 2020 vorgegebene Ziel der Minderung auf 30 ha pro Tag im Jahr 2030 erreicht. Bei den nachfolgenden Berechnungen wird für die Trendprojektion daher im Mittel von einer Siedlungs- und Verkehrsfläche in 2030 von 5,15 Mio. ha ausgegangen (246 000 ha mehr als in 2015[13]).

Auch aus Gründen des Natur- und Klimaschutzes werden agrarische Flächen aus der Nutzung genommen. Dies betrifft vorrangig ehemalige moorige Standorte, die wieder vernässt werden. Dadurch wird eine Steigerung der Biodiversität (Repenning et al. 2019) und eine Verringerung der THG-Emissionen, die bei landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf staunassen Böden beträchtlich sind (Bundesregierung 2019a), erwartet. Für die Trendprojektion von 2015 bis 2030 gehen wir vom Umfang einer Wiedervernässung von ca. 160.000 ha aus. Diese Fläche ergibt sich als Mittelwert der Minimalabschätzung welche den im Klimaschutzprogramm (Bundesregierung 2019b) beschlossenen Maßnahmen entspricht, und der Maximalabschätzung, die den Flächenbedarf für die Erreichung der Ziele für 2030 laut Klimaschutzplan 2050 darstellt (Harthan et al. 2020).

Daraus ergibt sich für die mittlere Trendprojektion von 2015 bis 2030 eine Verminderung der inländischen landwirtschaftlichen Fläche von 16,3 auf 15,9 Mio. ha.

4.3 ENTWICKLUNG DES KONSUMVERHALTENS

Das Ernährungsverhalten hat sich in Deutschland seit 1990 nicht grundlegend verändert (Tab. 4.1). Die Bedeutung der Kartoffel im Speiseplan hat in dieser Zeit abgenommen, wohingegen der Reisverbrauch stetig zugenommen hat. Beim durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch von Fleisch und Fleischerzeugnissen kam es zu einem leichten Rückgang, wobei sich der beobachtete negative Trend bei zeitreihen-analytischen Überprüfungen als signifikant erweist. Auf der anderen Seite ist der Verbrauch von Milch und Milcherzeugnissen leicht gestiegen, wobei auch hier davon auszugehen ist, dass sich diese Tendenz in der Zukunft fortsetzt.

Diese Erkenntnisse sind bei der Trendprojektion bis 2030 für die Entwicklung der Fußabdruck-Indikatoren der deutschen Bioökonomie berücksichtigt worden.

Wesentlich für die aufgewendeten Ressourcen und die Klimabelastung ist das Verhältnis von tierbasierter zu pflanzenbasierter Ernährung. Denn zur Fütterung der Tiere für die Fleisch- und Milchproduktion werden erhebliche Mengen an Futtermitteln eingesetzt (Kapitel 2 hat gezeigt, dass in Deutschland mehr als die Hälfte der Getreideernte verfüttert wird.). Dadurch wird insgesamt deutlich mehr an Anbaufläche belegt und die Umwelt in höherem Umfang belastet, als wenn die pflanzliche Biomasse, z. B. Getreide in Form von Körner- oder Mehlprodukten, direkt verzehrt würde (Aleksandrowicz et al. 2016).

13 Quelle für Wert in 2015: https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#anhaltender-flachenverbrauch-fur-siedlungs-und-verkehrszwecke- [Zugang 20. April 2020]

*Tab. 4.1 | **Trends beim Verbrauch von Nahrungsmitteln in kg pro Kopf in Deutschland***

	1990	2000	2010	2017		2030
Getreideerzeugnisse (Mehlwert)	*73,5*	*76,0*	*93,4*	*82,6*	*kein Trend*	*82,6*
Reis	*2,6*	*4,0*	*5,0*	*5,6*	*+0,12 kg p. a.*	*7,2*
Kartoffeln	*73,3*	*70,0*	*64,5*	*57,9*	*–0,65 kg p. a.*	*49,4*
Gemüse, Obst (Marktanbau)	*197,1*	*204,3*	*224,1*	*199,9*	*kein Trend*	*199,9*
Zucker einschl. Rübensaft (Weißzuckerwert)	*34,7*	*35,3*	*34,6*	*33,8*	*kein Trend*	*33,8*
Fleisch- und Fleischerzeugnisse (Schlachtgewicht)	*102,1*	*91,5*	*91,2*	*87,8*	*–0,41 kg p. a.*	*82,4*
Fische und Fischerzeugnisse (Fanggewicht)	*13,8*	*13,7*	*16,0*	*13,5*	*kein Trend*	*13,5*
Milch und Milcherzeugnisse	*116,1*	*118,7*	*121,8*	*120,9*	*+0,21 kg p. a.*	*123,6*

Quelle für die historischen Werte ist das BMEL: https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/tabellen-zu-ernaehrung-und-fischerei/#c7876. Die in den letzten beiden Spalten angeführten Ergebnisse sind das Resultat eigener Zeitreihenanalysen auf Grundlage der BMEL-Daten für die Jahre 1990 bis 2017.

4.4 NAHRUNGSMITTELABFÄLLE

Vor einigen Jahren schätzten Studien den Anfall von Nahrungsmittelabfällen in Deutschland mit einer Größenordnung von 11 Mio. t/a (Verarbeitung bis Haushalte, Krahnert et al. 2012) bis 18 Mio. t/a (Landwirtschaft bis Haushalte, Noleppa und Cartsburg 2015) ab[14]. Diese Studien stuften zwei Drittel bzw. etwas mehr als die Hälfte als vermeidbar ein.

Die Arbeitsgruppe zum Biomassereststoff-Monitoring (AG BioRestMon) hat – wie in Kapitel 2 erläutert – das Aufkommen und die Nutzung von biogenen Reststoffen, Nebenprodukten und Abfällen aus fünf Sektoren analysiert. Von den betrachteten 77 Biomassen können aktuell 22 Biomassen mit Nahrungsmittelabfällen in Verbindung gebracht werden (Tab. 4.2). Das aktuellste konsistent darstellbare Bezugsjahr ist 2015. Zeitreihen sind derzeit noch nicht verfügbar. Insgesamt belaufen sich die identifizierten Rohstoffmengen auf ungefähr 16–20 Mio. t Trockengewicht.

Alle Ergebnisse stehen unter http://webapp.dbfz.de/resources vollständig und zur freien Nutzung zur Verfügung. Auch die Dokumentation der Berechnungsgrundlagen ist dort verfügbar.

14 die Zahlen beziehen sich auf das Frischgewicht

*Tab. 4.2 | **Potenziale an ausgewählten Reststoffen, Nebenprodukten und Abfällen – AG BioRestMon***

SEKTOR	BIOMASSEKATEGORIE	TECHNISCHES BIOMASSE-POTENZIAL 2015 (Mio. Tonnen Trockengewicht)
Siedlungsabfälle und Klärschlamm	*Biogut aus privaten Haushalten*	*1,53 – 4,21*
	Lebensmittelabfälle im Handel	*0,05 – 0,11*
	Küchen- und Kantinenabfälle	*0,35 – 0,79*
Industrielle Reststoffe	*Fleischverarbeitung*	*1,24*
	Fischverarbeitung	*0,06 – 0,16*
	Obstverarbeitung	*0,02*
	Gemüseverarbeitung	*0,04*
	Kartoffelverarbeitung	*0,09*
	Ölmühlen	*7,25*
	Milchverarbeitung	*0,55*
	Getreideverarbeitung	*1,41*
	Stärkeproduktion	*0,38*
	Brot- und Backwarenherstellung	*0,16 – 0,76*
	Brauereien	*0,46*
	Mälzereien	*0,09*
	Brennereien	*0,03*
	Winzereien	*0,11*
	Zuckerproduktion	*1,85*
	Kakaoproduktion	*0,03 – 0,06*
	Fertiggerichteproduktion	*0,01 – 0,02*
	Kaffeeproduktion	*0,04*
	Hefeproduktion	*0,25*
SUMME		***15,98 – 19,90****

*Quelle: DBFZ Ressourcendatenbank, webapp.dbfz.de/resources, Zugriff am 27.06.2019 | *Abweichungen durch Rundungen*

Auf dieser Grundlage kann jedoch nicht eindeutig bestimmt werden, welcher Anteil dieser Abfall- bzw. Reststoffmengen aktuell vermeidbar wäre. Je nach Definition von „Nahrungsmittelabfällen“ müssen auch weitere Verarbeitungsebenen (z. B. Anbau, Ernte, Transport) bei der Quantifizierung von Nahrungsmittelabfällen berücksichtigt werden.

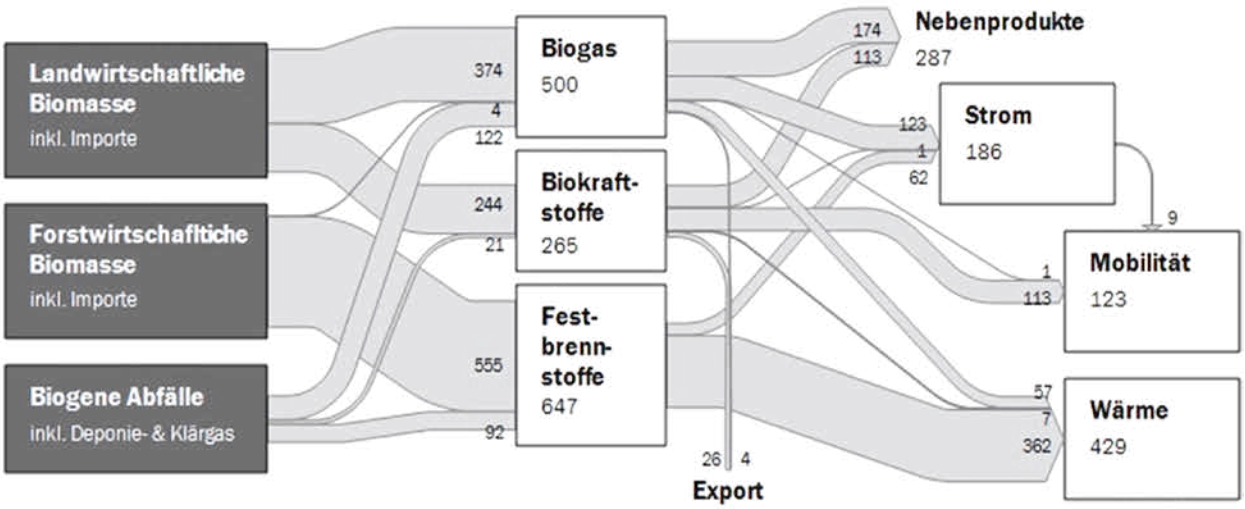
Den Nahrungsmittelabfällen im Biogut aus Haushalten, im Handel und in Küchen und Kantinen (zusammen 1,9–5,1 Mio. t Trockengewicht) kommt insofern ein besonderes Entlastungspotenzial zu, als jede eingesparte Tonne auch ihre gesamte Vorkette und die damit verbundenen Ressourcen- und Klimabelastungen vermeiden würde. Eine Verminderung des Reststoffanfalls entlang der Verarbeitungskette wäre jeweils nur anteilsmäßig im Rahmen von Effizienzsteigerungen möglich.

Auf Grund der begrenzten Datenlage wurde für die Zukunftsprojektionen keine Veränderung des Anfalls von Nahrungsmittelabfällen angenommen.

4.5 ENERGETISCHE UND STOFFLICHE VERWENDUNG VON BIOMASSE

Neben der Versorgung mit Nahrungs- und Futtermitteln werden nachwachsende Rohstoffe und biogene Abfälle auch für energetische und stoffliche Verwendungen eingesetzt. Das Ausmaß und die weitere Entwicklung werden dabei wesentlich von regulatorischen Rahmenbedingungen bestimmt, wie dem EEG und den Vorgaben zu Biokraftstoffen.

*Abb. 4.4 | **Energetische Biomassenutzung in Deutschland im Jahr 2015 (Nebenprodukte werden stofflich weiter genutzt)***



Quelle: Thrän et al. (2018)

2015 umfasste der Beitrag der energetischen Biomassenutzung in Deutschland zur Energieversorgung insgesamt 738 PJ (Thrän et al 2018). Das entsprach 8,3 % des Endenergieverbrauchs (AGEB 2019). Den größten Anteil daran hatte die Nutzung von Holz für Heizzwecke, gefolgt von Strom und Wärme aus Biogasanlagen und Biokraftstoffen (Abb. 4.4).

*Tab. 4.3 | **Einsatzmengen von Biomasse-Rohstoffen für Strom- und Wärmeerzeugung sowie Biokraftstoffe** (Einsatzmenge in 1000 t atro)*

NUTZUNG	BIOENERGIE-TRÄGER	ROHSTOFF	2012	2013	2014	2015	2016v
Strom und Wärme	Agrarische Fest-brennstoffe (FBS)	Getreide-stroh	20	35	50	90	144g*
		Holz aus KUP	16	20	20	22	
		Miscanthus	34	33	51	54	
	Biogas/ Biomethan (inkl. Biomethan zur Kraftstoff-verwendung)	Maissilage	39.800	37.200	45.800	41.100	43.700
		Grassilage	6.080	6.120	7.530	6.760	7.290
		Grasspfl.-s.	3.870	3.570	4.390	5.070	4.250
		Getreidekorn	276	1.020	1.260	1.130	1.210
		Zuckerrüben	1.660	1.020	1.260	1.130	1.210
	Flüssigbrennst.	Pflanzenöl	100	50	50	50	50
	FBS ForstBM[15]	Holz	27.310	26.783	25.350	25.794	25.604
Biokraft-stoffe	PÖ-Reinkraftst.	Pflanzenöl	24,7	1,2	5,5	2,0	3,6
	Biodiesel	Rapsöl	2.120	1.770	2.320	2.230	2.040
		Palmöl	45	436	96	121	165
		Sojaöl	87	280	160	70	132
	Ethanol	Getreide	1.370	1.510	1.770	1.740	1.990
		Zuckerrüben	2.700	3.170	2.910	3.170	2.310
Gesamtnutzung Strom & Wärme (ohne Holz)			51.900	49.100	60.400	55.400	57.900
Gesamtnutzung Strom & Wärme (inkl. Holz)			79.340	77.260	89.180	85.000	83.504
Holz für Strom & Wärme			27.310	26.783	25.350	25.794	25.604
Gesamtnutzung für Biokraftstoffe			6.330	7.160	7.250	7.330	6.630
Gesamtnutzung für Bioenergie (ohne Holz)			58.200	56.300	67.700	62.700	64.500
Gesamtnutzung für Bioenergie (inkl. Holz)			85.640	84.460	96.480	92.300	90.134

*(v – vorläufig; g – geschätzt; KUP: Kurzumtriebsplantagen. * Bilanzausgleich zwischen Aufkommen und Verwendung) | Quelle: nach Becker et al., (2018) und nach Berechnungen von INFRO (2019)*

15 Aktuelle Berechnungen aus der Holzrohstoffbilanz des INFRO 2019, ohne Energieproduktthersteller (z. B. Pellets)

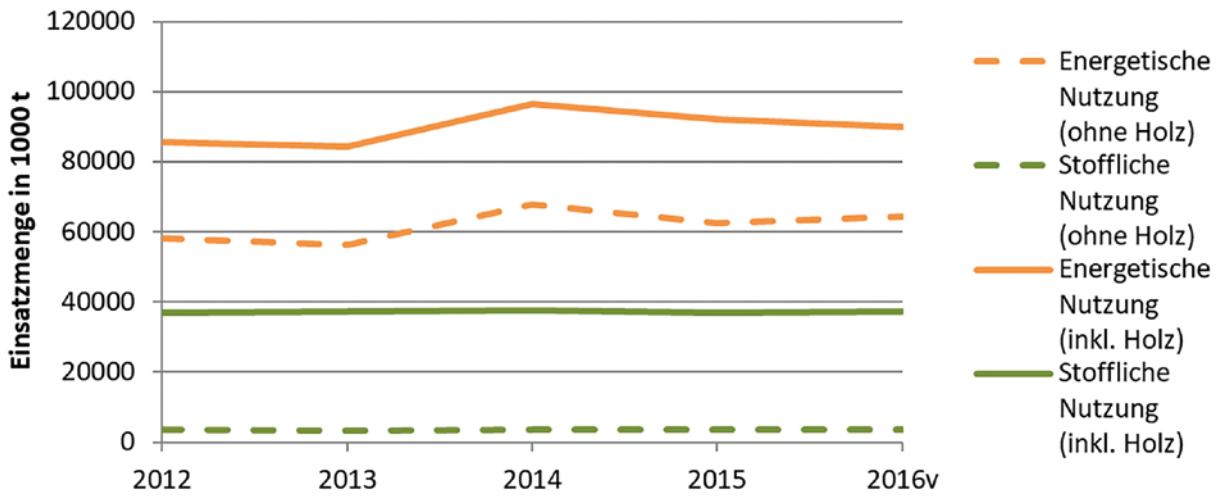
Betrachtet man die Einsatzmengen[16], so wurden für die energetische Nutzung insbesondere agrarische Rohstoffe aufgewendet, hauptsächlich Maissilage für Biogas (Tab. 4.3). Deren Einsatzmenge überstieg 40 Mio. t und übertraf damit trotz des niedrigeren Energiegehalts deutlich die energetische Nutzung von Holz (25–27 Mio. t). Den größten Anteil für die heimische Biodieselproduktion steuerte Rapsöl bei, dessen Produktionsmengen bei 2,2 Mio. t lagen. Bioethanol wird in Deutschland hauptsächlich auf der Basis von Zuckerrüben hergestellt, deren Erntemenge 2015 bei 3,2 Mio. t lag.

Insgesamt wurden 93 % der energetisch eingesetzten Biomasse für Wärme und Strom und 7 % für Kraftstoffe aufgewendet.

Die Größenordnung der energetisch genutzten Biomasse lag im Zeitraum 2012 bis 2016 bei 85–96 Mio. t, wovon 25–27 Mio. t Holz aus dem Wald beigesteuert wurden. Dagegen machte die stoffliche genutzte Menge an Holz 41–43 Mio. t aus und die von agrarischen nachwachsenden Rohstoffen lag bei ca. 3,5 Mio. t (Abb. 4.5, Tab. 4.4).

2016 wurden aus agrarischen Rohstoffen 1,2 Mio. t Fette und Öle und 1,7 Mio. t Kohlenhydrate gewonnen.

*Abb. 4.5 | **Einsatzmengen von Biomasse für die energetische und stoffliche Nutzung in t atro***



v – vorläufig | Quelle: eigene Darstellung

Die bisherige Entwicklung der Biogasnutzung deutet auf das Erreichen eines Plateaus in den letzten Jahren hin, nach einem steilen Anstieg von 2000 bis 2015 (Abb. 4.6). Die vorliegenden Studien über die mögliche künftige Entwicklung kommen mit unterschiedlichen Annahmen insgesamt zu einem weiten potenziellen Entwicklungskorridor. Ausgehend von 84,9 TWh in 2017 werden danach in 2030 Werte von 45 TWh bis 88 TWh erwartet. Auf Grund der verminderten Förderung von Biogasanlagen über das EEG dürfte eine Erhöhung der Biogasproduktion in den kommenden Jahren eher unwahrscheinlich

16 Alle Einsatzmengen in diesem Kapitel sind angegeben in t atro (absolut trocken, 0 % Feucht)

sein[17]. Wenn es zu einer Abnahme der Biogasproduktion käme, dann würden tendenziell eher Rohstoffe wie Maissilage dafür weniger eingesetzt, wodurch diese z. B. vermehrt für Futterzwecke eingesetzt werden könnte bzw. die freiwerdenden Flächen für Nahrungsmittelanbau verwendet werden könnten.

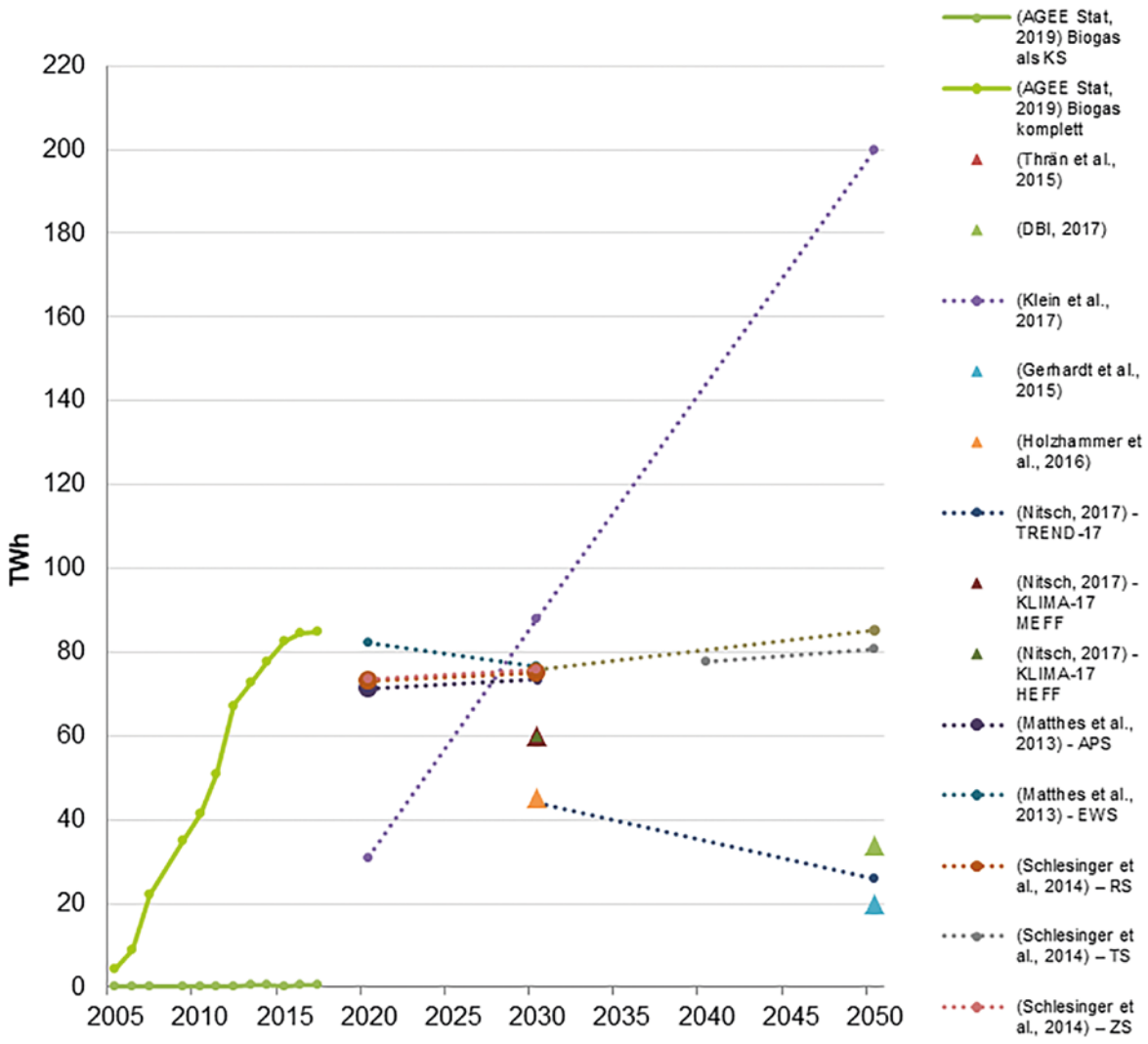
*Tab. 4.4 | **Einsatzmengen von Biomasse für die energetische und stoffliche Nutzung nach Verwendungen** (Einsatzmenge in 1000 t atro)*

NUTZUNG		2012	2013	2014	2015	2016v
Energetisch	Strom & Wärme (ohne Holz)	51.900	49.100	60.400	55.400	57.900
	Strom & Wärme (inkl. Holz)	79.340	77.260	89.180	85.000	83.504
	Biokraftstoffe	6.330	7.160	7.250	7.330	6.630
	Gesamt Bioenergie (ohne Holz)	58.200	56.300	67.700	62.700	64.500
	Gesamt Bioenergie (inkl. Holz)	85.640	84.460	96.480	92.300	90.134
Stofflich	Fette und Öle	1.290	1.090	1.170	1.210	1.170
	Kohlenhydrate	1.520	1.500	1.570	1.530	1.650
	Sonstige	757	776	777	739	793
	Holz	33.437	33.766	34.067	33.540	33.614
	Gesamt stoffl. Nutzung (ohne Holz)	3.570	3.370	3.520	3.490	3.610
	Gesamt stoffl. Nutzung (inkl. Holz)	37.007	37.136	37.587	37.030	37.224

v – vorläufig | Quellen: nach Becker et al., (2018); Angaben zu Holz von INFRO

17 Mögliche Auswirkungen des Klimapakets der Bundesregierung sowie der Umsetzung der RED II Direktive wären zu prüfen.

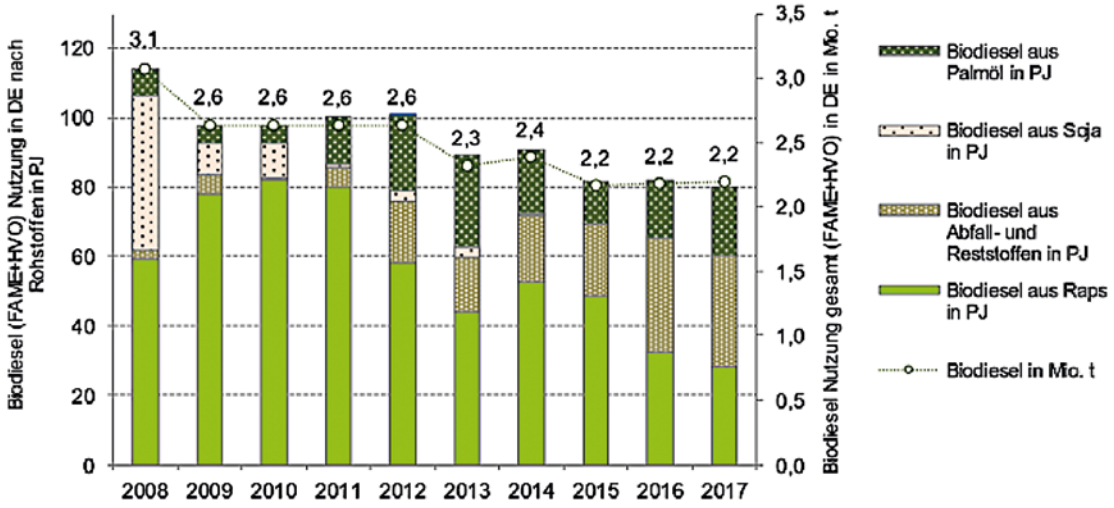
Abb. 4.6 | ***Bisherige und mögliche künftige Entwicklung des Endenergieverbrauchs von Biogas im stationären Energie- und im Verkehrssektor***

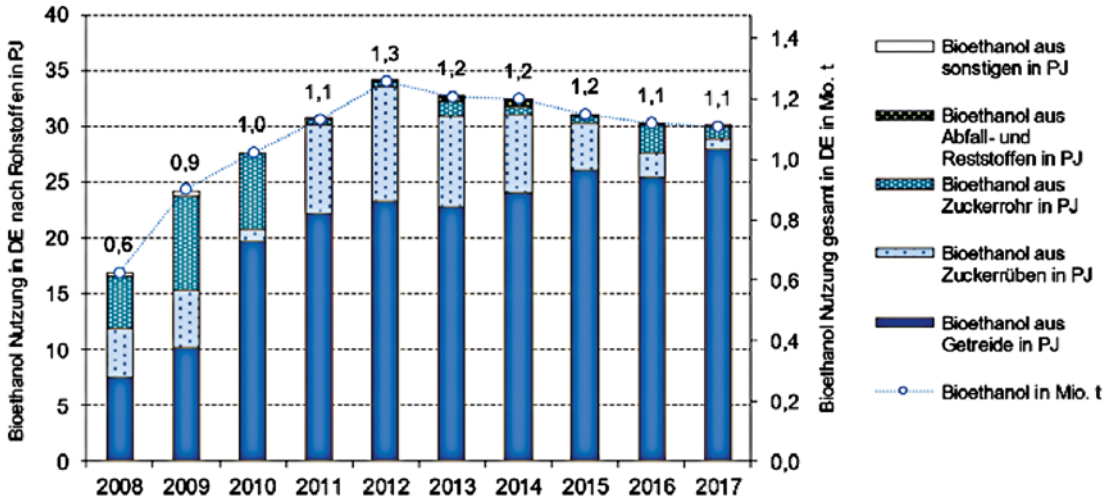


Quellen: AGEE Stat (2019), Thrän et al. (2015), DBI (2017), Klein et al. (2017), Gerhardt et al. (2015), Holzhammer et al. (2016), Matthes et al. (2013), Nitsch (2017), Schlesinger et al. (2014)

Der Einsatz von Biokraftstoffen hat sich nach einer zunächst sprunghaften Entwicklung zwischen 2002 und 2008 in den letzten Jahren auf insgesamt eher geringem Mengenniveau stabilisiert (Abb. 4.7). Insgesamt wurden 2017 Biokraftstoffe mit einem Energiegehalt von 111 PJ eingesetzt, entsprechend 3,8 % Anteil an der THG-Quote im Deutschen Verkehrssektor. Der gesamte Einsatz wird bestimmt von Biodiesel (80 PJ in 2017) und Bioethanol (31 PJ in 2017). Der direkte Einsatz von Pflanzenöl und von Biomethan für Kraftstoffzwecke spielt nur eine sehr geringe Rolle.

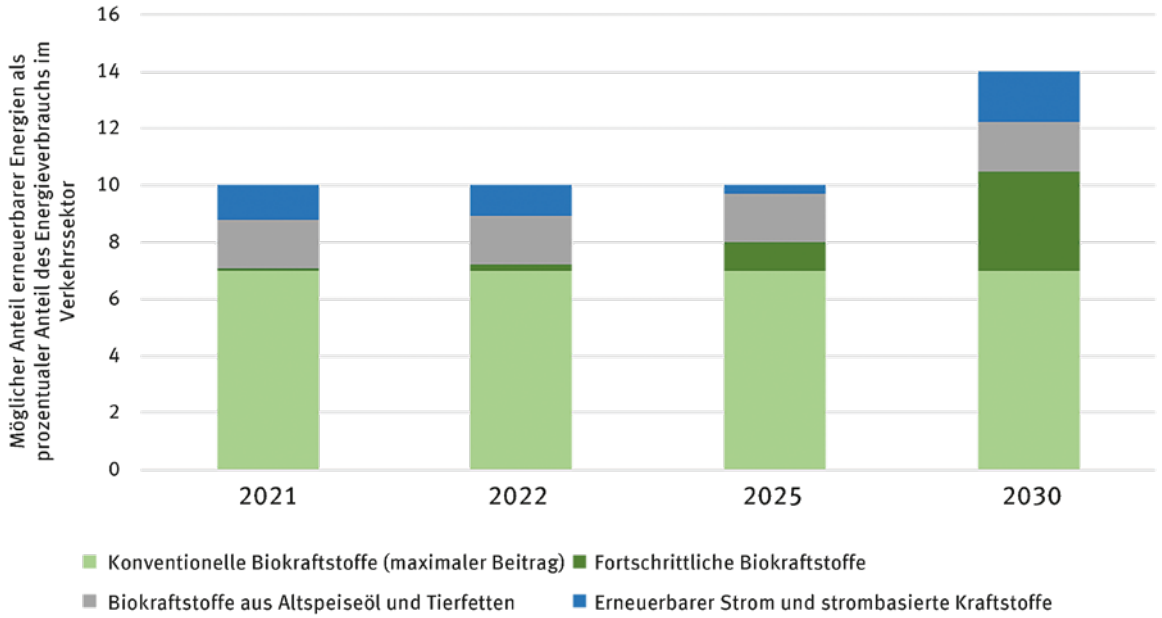
*Abb. 4.7 | **Entwicklung der Rohstoffbasis für in Deutschland eingesetzten Biodiesel und Bioethanol***





Quelle: Berechnungen DBFZ auf Basis BMU und BLE

Abb. 4.8 | ***Zeitliche Staffelung der Zielstellung der Anteile erneuerbarer Energieträger im Verkehrssektor 2021–2030 auf der Basis der RED II Richtlinie***



Theoretische Betrachtung, derzeitiger Anteil konventioneller Biokraftstoffe bei ca. 3,25 % in 2017 | Quelle: aktualisiert nach Naumann et al., (2019)

Der bisherige Einsatz von Biokraftstoffen basiert hauptsächlich auf Rohstoffen, die als solche oder deren Anbauflächen auch für Nahrungs- oder Futtermittelzwecke eingesetzt werden könnten (sog. konventionelle Biokraftstoffe) (Tab. 4.4). Aufgrund der Diskussion um die Nachhaltigkeitseffekte einer zunehmenden Nutzung dieser Kraftstoffe hat die EU-Kommission bereits 2015 eine Obergrenze für den Einsatz dieser Kraftstoffe eingeführt. Mit der Verabschiedung der RED II Richtlinie wurde weiterhin ein Rahmen für die Biokraftstoffnutzung bis zum Jahr 2030 geschaffen.

Die RED II erhöht den Mindestanteil erneuerbarer Energien im Verkehr von zehn (im Jahr 2020) auf 14 % (im Jahr 2030). Als konventionell geltende Biokraftstoffe aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen, und somit auch Bioethanol aus Zuckerrüben und Futtergetreide, sollen hierzu einen maximalen Anteil von 7 % (Anteil am Endenergieverbrauch im

Bereich Straßen- und Schienenverkehr) im europäischen Durchschnitt leisten dürfen. Für Deutschland wird sich der maximale Anteil an dem Anteil im Jahr 2020 orientieren (die mengenmäßige Obergrenze wird definiert als Anteil 2020 plus maximal 1 % jedoch maximal 7 % insgesamt). Die Richtlinie sieht zudem die Beendigung der Nutzung von Biokraftstoffen mit hohem Risiko indirekter Landnutzungsänderungen bis 2030 vor, hiervon sind vor allem Biokraftstoffe aus Palmöl betroffen.

Der Anteil von fortschrittlichen Biokraftstoffen[18] aus Rest- und Abfallstoffen soll im Jahr 2022 auf mindestens 0,2 %, im Jahr 2025 auf mindestens 1 % und bis 2030 auf mindestens 3,5 % (dabei ist zu beachten, dass hier eine Doppelanrechnung möglich ist und real daher nur von ca. 1,8 % in 2030 auszugehen ist) ansteigen. Die Richtlinie muss bis spätestens 30. Juni 2021 auf nationaler Ebene implementiert werden. Die konkrete Ausgestaltung der Umsetzung ist derzeit unklar.

In Folge der Umsetzung dieser Richtlinie ist zu erwarten, dass der Einsatz von konventionellen Biokraftstoffen bis 2030 zurückgehen wird (Abb. 4.8). Der Einsatz von Biokraftstoffen auf der Basis von Altspeiseölen wird einen wichtigen Beitrag zur Zielerreichung leisten, ist aber ebenfalls gedeckelt. Strombasierte synthetische Kraftstoffe (Power-to-Fuel, Power-to-X), welche derzeit intensiv diskutiert werden, dürften bis 2030 aufgrund fehlender Produktionskapazitäten und einem insgesamt stockenden Ausbau erneuerbarer Energien eher geringe Relevanz haben. Im Hinblick auf den Umstieg des Verkehrssektors auf erneuerbare Quellen wird insbesondere dem direkten Einsatz von regenerativ erzeugtem Strom eine sehr große Bedeutung beigemessen (ebenfalls durch Mehrfachanrechnung gefördert). Dadurch würde langfristig die biobasierte Rohstoffbasis von der energetischen Nachfrage entlastet und könnte vermehrt der Nahrungsmittelversorgung und der stofflichen Versorgung dienen.

Für die Projektionen der künftigen Biomassenutzung und ihrer Ressourcen- und Klimabelastung wurde die energetische und stoffliche Verwendung von Non-Food-Biomasse bis 2030 im Wesentlichen als konstant angesehen. Nur der Anbau von Futterpflanzen für energetische Zwecke wurde mit einer leichten Abnahme (–7,8 % von 2017 bis 2030) eingerechnet.

18 Fortschrittliche Biokraftstoffe im Sinne der RED II sind Rohstoffgrundlagen nach Anhang IX Teil A, also Algen, Biomasse-Anteile aus Abfällen (gemischte Siedlungsabfälle, Abfälle aus Industrie und Landwirtschaft), Stroh, Mist, Reststoffen aus dem Forstsektor. Es handelt sich hierbei also um Rohstoffquellen, die keinen zusätzlichen Flächenverbrauch verursachen.

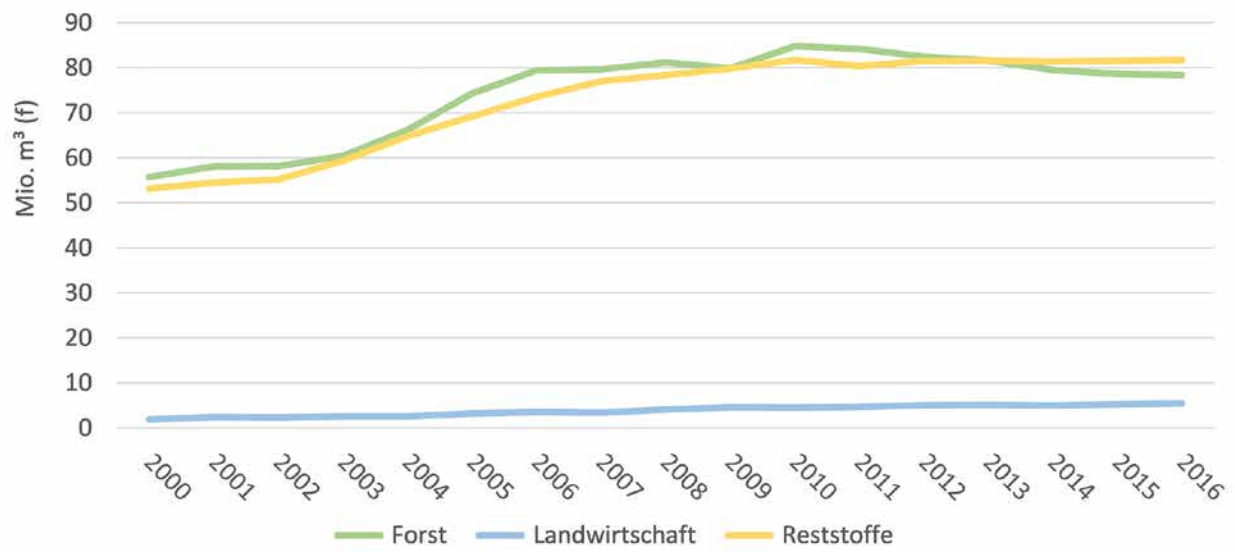
4.6 RECYCLING UND KASKADENFÖRMIGE NUTZUNG VON HOLRESTSTOFFEN

Der mengenmäßig größte Anteil der biogenen Reststoffe und Abfälle wird – wie in Kapitel 2 dargestellt – von holzbasierten Stoffen bestimmt. Diese fallen hauptsächlich im Zuge der Verarbeitung von Holz an. Die folgende Darstellung der Holzverwendung und zur Kaskadennutzung basiert auf Studien des „Rohstoffmonitorings Holz“. Die Grundlage für die Berechnung der Kaskadennutzung für die Jahre 2000 bis 2015 ist die Holzflussanalyse, die im SYMOBIO Projekt erstellt wurde.

Die zeitliche Entwicklung der Verwendung von Holzrohstoffen der stofflichen und energetischen Nutzung zeigt Abbildung 4.9. Ihre Herkunft wurde in drei Kategorien eingeteilt. Die Kategorie „Forst“ beinhaltet Wald-Derbholz, Waldrestholz und Rinde, die Kategorie „Landwirtschaft“ umfasst Landschaftspflegematerial und Holz aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) und in „Reststoffe“ sind Sägenebenprodukte, sonstiges Industrierestholz, Altholz, Schwarzlauge[19] und Altpapier inbegriffen. „Forst“ und „Landwirtschaft“ liefern Primärinput und die „Reststoffe“ gelten als Sekundärinput. Die Anteile verlaufen im Zeitablauf relativ stabil. Die Ursache dafür ist, dass Waldholz wie auch Sekundärmaterial über die Zeit gleichermaßen mobilisiert wurden. 2015 wurden nahezu die Hälfte (49,3 %) der verwendeten Holzrohstoffe aus Reststoffen gewonnen.

19 Von den eingesetzten Holzrohstoffen in Kubikmeter zur Produktion von chemischem Zellstoff wird davon ausgegangen, dass 51,4 % auf die Schwarzlauge entfallen.

Abb. 4.9 | ***Entwicklung holzbasierten Rohstoffverwendung aus Forst, Landwirtschaft und Reststoffen***



Quelle: INFRO

Die Verwertung von Holzbiomasse erfolgt durch die Nutzung von Reststoffen der Verarbeitung (z. B. Sägenebenprodukte, Schwarzlauge) und die Verwertung von Post-Consumer-Abfällen (z. B. Altpapier, Altholz) in stofflicher und energetischer Weise.

Von 2000 bis 2015 blieb die gesamte Sekundärinputrate der holzbasierten Rohstoffverwendung nahezu konstant bei etwa 50 % (Tab. 4.5). Die Sekundärinputrate der stofflichen Nutzung stieg von 50,0 % auf 53,5 %. Die Sekundärinputrate der energetischen Nutzung fiel von 47,7 % auf 45,7 %.

*Tab. 4.5 | **Kaskadennutzung in der Holzwirtschaft 2000 bis 2015***

2000

HOLZNUTZUNG in m³ (f) in Deutschland 2000	**HOLZVER-WENDUNG** Volumen	**PRIMÄR-INPUT** Volumen	**REST-HOLZ-INPUT** Volumen	**RECY-CLING-INPUT** Volumen	**KASKADEN MATERIAL INSG.** Volumen	**SEKUNDÄR-INPUT-RATE** in Prozent
Schnittholz	30,3	30,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Holzwerkstoffe	14,7	5,6	7,2	1,9	9,0	61,6
Zellstoff (aus Holzstoff)	7,2	4,4	2,8	0,0	2,8	38,9
Zellstoff (aus Altpapier)	28,5	0,0	0,0	28,5	28,5	100,0
Stoffliche Nutzung	**80,7**	**40,4**	**10,0**	**30,4**	**40,3**	**50,0**
Pellets	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	99,7
Biomasseanl. (> 1 MW)	8,0	0,4	4,7	2,9	7,6	94,4
Biomasseanl. (< 1 MW)	4,2	2,0	2,0	0,3	2,2	53,3
Haushalte	10,7	9,7	0,3	0,7	1,0	9,4
Energetische Nutzung	**23,1**	**12,1**	**7,2**	**3,8**	**11,0**	**47,7**
Gesamt	**103,8**	**52,4**	**17,2**	**34,2**	**51,4**	**49,5**

2005

HOLZNUTZUNG in m³ (f) in Deutschland 2005	**HOLZVER-WENDUNG** Volumen	**PRIMÄR-INPUT** Volumen	**REST-HOLZ-INPUT** Volumen	**RECY-CLING-INPUT** Volumen	**KASKADEN MATERIAL INSG.** Volumen	**SEKUNDÄR-INPUT-RATE** in Prozent
Schnittholz	37,2	37,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Holzwerkstoffe	16,4	6,8	7,4	2,3	9,7	58,8
Zellstoff (aus Holzstoff)	9,8	6,2	3,6	0,0	3,6	36,6
Zellstoff (aus Altpapier)	36,7	0,0	0,0	36,7	36,7	100,0
Stoffliche Nutzung	**100,1**	**50,2**	**10,9**	**39,0**	**49,9**	**49,9**
Pellets	0,9	0,0	0,8	0,0	0,8	94,2
Biomasseanl. (> 1 MW)	15,9	1,9	7,5	6,5	14,0	87,8
Biomasseanl. (< 1 MW)	4,6	2,8	1,4	0,3	1,8	38,6
Haushalte	19,0	16,7	0,7	1,6	2,3	12,2
Energetische Nutzung	**40,4**	**21,5**	**10,4**	**8,5**	**18,9**	**46,8**
Gesamt	**140,5**	**71,7**	**21,4**	**47,5**	**68,8**	**49,0**

2010

HOLZNUTZUNG in m³ (f) in Deutschland 2010	HOLZVER-WENDUNG Volumen	PRIMÄR-INPUT Volumen	REST-HOLZ-INPUT Volumen	RECY-CLING-INPUT Volumen	KASKADEN MATERIAL INSG. Volumen	SEKUNDÄR-INPUT-RATE in Prozent
Schnittholz	*37,3*	*37,3*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
Holzwerkstoffe	*15,6*	*6,6*	*7,0*	*2,0*	*9,0*	*57,7*
Zellstoff (aus Holzstoff)	*10,5*	*6,8*	*3,8*	*0,0*	*3,8*	*35,9*
Zellstoff (aus Altpapier)	*42,1*	*0,0*	*0,0*	*42,1*	*42,1*	*100,0*
Stoffliche Nutzung	***105,5***	***50,6***	***10,8***	***44,1***	***54,9***	***52,0***
Pellets	*3,9*	*0,4*	*3,5*	*0,0*	*3,5*	*90,6*
Biomasseanl. (> 1 MW)	*21,6*	*4,4*	*7,2*	*10,0*	*17,2*	*79,6*
Biomasseanl. (< 1 MW)	*6,1*	*3,3*	*2,7*	*0,1*	*2,8*	*46,1*
Haushalte	*27,5*	*24,7*	*0,8*	*2,0*	*2,8*	*10,2*
Energetische Nutzung	***59,1***	***32,8***	***14,3***	***12,1***	***26,3***	***44,6***
Gesamt	***164,6***	***83,4***	***25,1***	***56,1***	***81,2***	***49,3***

2015

HOLZNUTZUNG in m³ (f) in Deutschland 2015	HOLZVER-WENDUNG Volumen	PRIMÄR-INPUT Volumen	REST-HOLZ-INPUT Volumen	RECY-CLING-INPUT Volumen	KASKADEN MATERIAL INSG. Volumen	SEKUNDÄR-INPUT-RATE in Prozent
Schnittholz	*36,0*	*36,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
Holzwerkstoffe	*13,6*	*5,7*	*6,1*	*1,9*	*7,9*	*58,2*
Zellstoff (aus Holzstoff)	*10,0*	*6,2*	*3,8*	*0,0*	*3,8*	*38,3*
Zellstoff (aus Altpapier)	*43,3*	*0,0*	*0,0*	*43,3*	*43,3*	*100,0*
Stoffliche Nutzung	***103,0***	***47,9***	***9,9***	***45,2***	***55,1***	***53,5***
Pellets	*4,3*	*0,2*	*4,1*	*0,0*	*4,1*	*94,7*
Biomasseanl. (> 1 MW)	*22,1*	*4,7*	*6,3*	*11,1*	*17,4*	*78,6*
Biomasseanl. (< 1 MW)	*6,9*	*4,3*	*2,3*	*0,2*	*2,6*	*37,0*
Haushalte	*23,8*	*21,7*	*0,8*	*1,3*	*2,1*	*8,8*
Energetische Nutzung	***57,1***	***31,0***	***13,5***	***12,6***	***26,1***	***45,7***
Gesamt	***160,1***	***78,9***	***23,4***	***57,9***	***81,2***	***50,7***

Quelle: INFRO

Bei der stofflichen Nutzung weist die Holzwerkstoffindustrie die größte Sekundärinputrate auf. Bei der Spanplattenherstellung erreicht sie mit 66,8 % den höchsten Wert der Holzwerkstoffe. Der hauptsächlich aus Frischfasern gewonnene Zellstoff kommt bereits auf eine Sekundärinputrate von 38,3 %, während der aus Altpapier gewonnene Zellstoff definitionsgemäß eine Sekundärinputrate von 100 % hat. Pellets sind Teil einer energetischen Nutzungskaskade. Sie werden etwa zu 95 % aus Sägenebenprodukten hergestellt.

Die Sekundärinputraten der energetischen Nutzer sind höchst unterschiedlich. Während Biomasseanlagen ›1 MW (überwiegend EEG-Strom) als etablierte Altholzverwender im Jahr 2015 eine hohe Sekundärinputrate (78,6 %) hatten, kommen kleinere Anlagen auf 37 %. Sie verwenden eher Restholz. Private Haushalte setzen vorwiegend Scheitholz ein und kommen nur auf eine Sekundärinputrate von 8,8 % (Tabelle 4.5).

Die Werte zeigen, dass die kaskadenförmige Verwertung von Holz in Deutschland bereits einen hohen Stand erreicht hat.

Da sich die Mengenentwicklung von Primär- und Sekundärholzrohstoffen seit 2005 stabilisiert hat, wird für die Trendprojektionen bis 2030 auch von gleichbleibenden Verhältnissen ausgegangen.

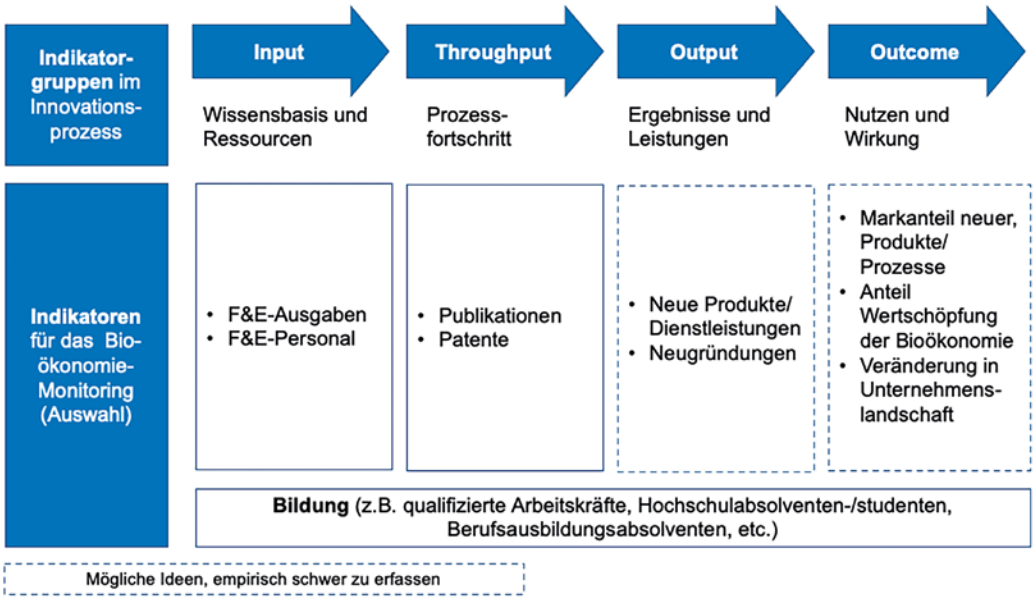
4.7 TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNG

Die weitere Entwicklung der Bioökonomie wird wesentlich von der technologischen Entwicklung abhängen. Daher werden hier ausgewählte Ergebnisse der Messung von Innovationen der Bioökonomie aus Wackerbauer et al. (2019) und einer Umfrage zu kurz- bis langfristig relevanten Technologieentwicklungen dargestellt (Billig et al. 2020).

4.7.1 INNOVATIONEN

Technische und organisatorische Innovationen sind wichtige Treiber von Fortschritt, Wettbewerbsfähigkeit und der Abkoppelung von Ressourcenverbrauch und Wertschöpfung. Um Innovationen auf gesamtwirtschaftlicher Ebene messbar zu machen, können Input-, Throughput-, Output- und Outcome-Indikatoren unterschieden werden (Abb. 4.10).

*Abb. 4.10 | **Übersicht Indikatoren zu Innovationen***



Quelle: FhG ISI, aus: Wackerbauer et al. (2019)

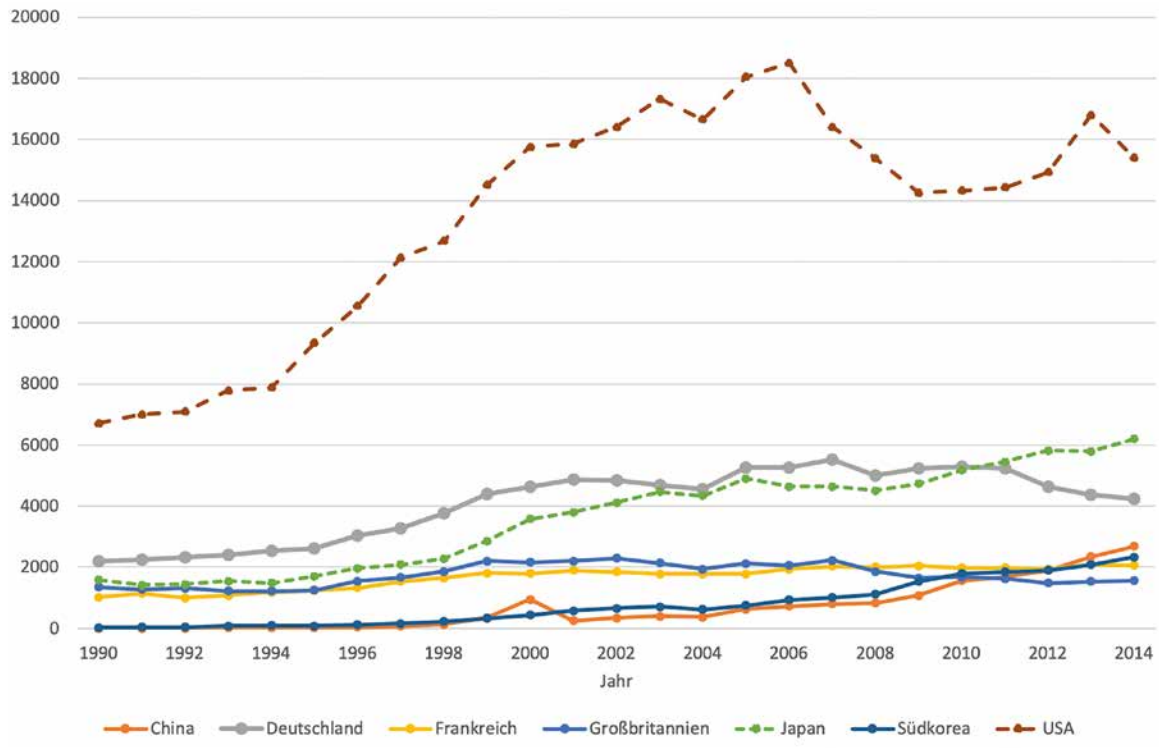
Entsprechend dem Bundesbericht Forschung und Innovation betrugen die FuE-Ausgaben des Bundes für die Bioökonomie im Jahr 2011 rund 220 Mio. EURO und sind seitdem auf 273 Mio. EURO im Jahr 2017 angestiegen (BMBF 2016; BMBF 2018). Auch in einzelnen Bundesländern findet eine dezidierte Förderung der Bioökonomie im Rahmen eigener Programme statt (z. B. Baden-Württemberg). Über die Forschungsförderung der Bioökonomie durch die EU liegen keine spezifischen Daten vor. Auch die FuE-Ausgaben der Unternehmen würden sich aktuell nur unter einigen Zusatzannahmen bezüglich ihrer bioökonomiespezifischen Anteile schätzen lassen.

Die ***Anmeldung von Patenten*** zeigt ein wirtschaftliches Interesse an der Vermarktung neuer Technologien an. Auf der Basis der Internationalen Patentklassifikation (IPC) lassen sich (a) nach einer engen Definition die Patente einordnen, die sich unmittelbar auf die Nutzung biologischer Ressourcen beziehen (z. B. neue Pflanzen, Antibiotika); und (b)

nach einer weiten Definition auch jene Patente, die sich auf Geräte und Verfahren zur Bearbeitung biogener Rohstoffe beziehen (z. B. Landwirtschaftsmaschinen, Backgeräte) (zur Methodik siehe Wackerbauer et al. 2019).

Betrachtet man die Gesamtentwicklung der transnationalen Patente in verschiedenen Ländern für die weite Definition, so war in den 1990er Jahren zunächst ein starker Anstieg zu verzeichnen (Abb. 4.11). Dieser Anstieg sollte nicht überbewertet werden, da in dieser Zeit durch eine Umstellung des Patentverhaltens (z. B. zunehmende Bedeutung von Patenten für Lizensierungen) insgesamt ein Anwachsen der Patentanmeldungen zu beobachten war (Blind et al. 2006). Soweit es nach dem Jahr 2000 zu weiterem Zuwachs kam, kann dieser als real interpretiert werden. In vielen Ländern und auch in Deutschland ist dagegen eher eine Stabilisierung zu beobachten. Insgesamt ist eine deutliche Dominanz der USA bei Patentanmeldungen zur Bioökonomie festzustellen, bedingt durch höhere Ausgaben bei der angewandten Forschung zur Biotechnologie.

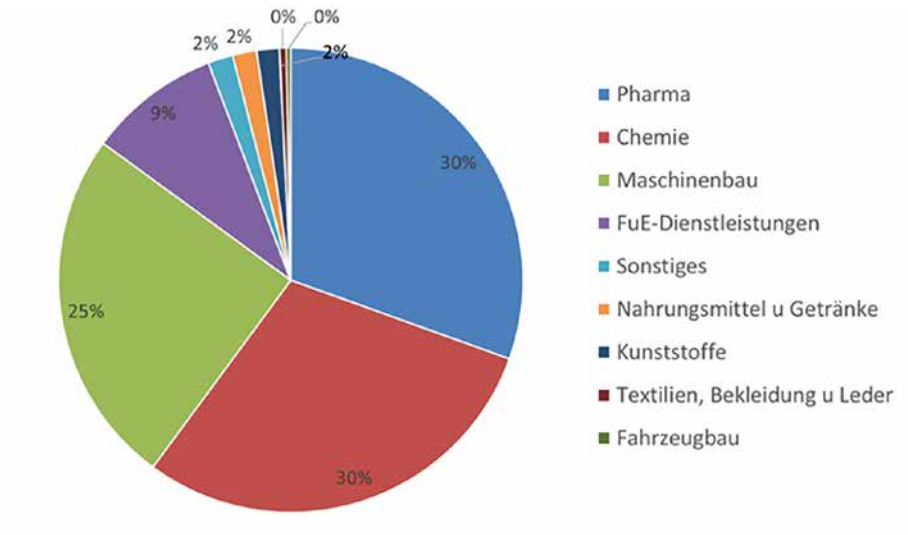
Abb. 4.11 | ***Transnationale Patentanmeldungen in der Bioökonomie für ausgewählte Länder***



Quelle: FhG-ISI nach PATSTAT, in Wackerbauer et al. (2019)

Um die Bedeutung einzelner Wirtschaftssektoren für Innovationen in der deutschen Bioökonomie näherungsweise abzubilden, wurden Wirtschaftssektoren mit geringen Patentzahlen zu größeren Bereichen (z. B. Textilien, Bekleidung und Leder) zusammengefasst (Abb. 4.12). Von 2010 bis 2012 dominierten die pharmazeutische Industrie (30 %), der Chemiesektor (30 %) und der Maschinenbau (25 %).

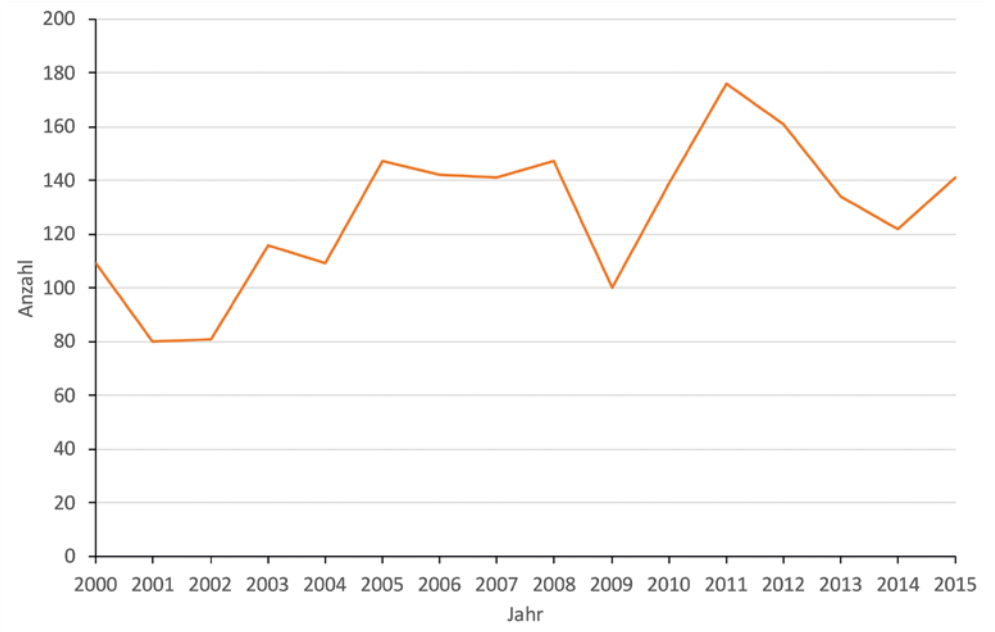
*Abb. 4.12 | **Anteil von Wirtschaftssektoren an bioökonomierelevanten Patenten in Deutschland 2010–2012***



Quelle: FhG-ISI in Wackerbauer et al. (2019)

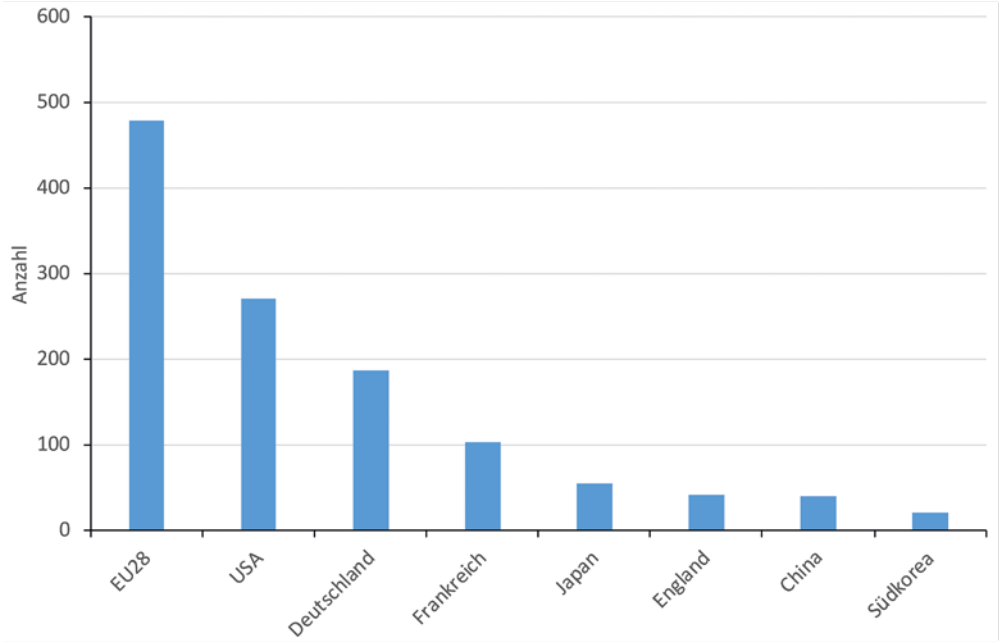
Exemplarisch wurden von Wackerbauer et al. (2019) innovationsrelevante Faktoren für pflanzenölbasierte Kunststoffe (Polyamide und Polyurethane) untersucht. Hierzu stiegen die transnationalen Patentanmeldungen weltweit seit 2000 tendenziell an (Abb. 4.13)

*Abb. 4.13 | **Weltweite transnationale Patentanmeldungen für pflanzenölbasierte Kunststoffe***



Quelle: FhG-ISI in Wackerbauer et al. (2019)

*Abb. 4.14 | **Transnationale Patentanmeldungen für Pflanzenölbasierte Kunststoffe im Zeitraum 2010–2015 für ausgewählte Länder***



Quelle: FhG-ISI in Wackerbauer et al. (2019)

Für den Zeitraum 2010 bis 2015 wurde hier eine führende Rolle der EU und eine relativ starke Position von Deutschland im Vergleich zu Frankreich, England oder den südostasiatischen Ländern festgestellt (Abb. 4.14).

Der Markt für pflanzenölbasierte Kunststoffe in Deutschland stagniert in den letzten Jahren. Nach der Studie im Auftrag der FNR (Busch 2018) ist die Menge an Ölen und Fetten für Polymere in Deutschland zwischen dem Jahr 2011 und dem Jahr 2016 konstant bei 163.000 Tonnen im Jahr geblieben. Zukünftig wird ein moderates Wachstum des weltweiten Marktes für pflanzenölbasierte Kunststoffe erwartet.

Auch bei biobasierten Tensiden/Körperpflegemitteln und Bioschmierstoffen gibt es neue Markteinführungen, deren Marktbedeutung aber unklar ist. Deutschland ist bei der absoluten Anzahl an transnationalen Patenten jeweils mit führend und weist eine eher positive Spezialisierung in den genannte drei Produktgruppen der Oleochemie auf. Allerdings gibt es Hinweise, dass neue Innovationen sich bisher nur begrenzt auf dem Markt durchsetzen (Wackerbauer et al. 2019).

Für auf Forschung beruhende Innovationen in der Bioökonomie werden insbesondere ***akademisch qualifizierte Fachkräfte*** benötigt. Über die Anzahl der Studierenden, der Studienanfänger, und der Hochschulabsolventen in Bioökonomie-relevanten Studiengängen können Aussagen dazu getroffen werden, wie hoch der Nachwuchs an hoch qualifizierten Arbeitskräften in der Bioökonomie ist.

Eine testweise generierte Auswertung für das Wintersemester 2016/2017 anhand der entsprechenden Fachserien des Statistischen Bundesamtes ergab, dass jeweils ca. 6–7 % aller Absolventen, Studierenden und Studienanfänger direkt der Bioökonomie zurechenbar sind und ca. 12 % zu Studiengängen, die zum Teil relevant für die Bioökonomie sein können (Wackerbauer et al. 2019). Der hohe letztere Wert liegt u.a. an den Studiengängen Wirtschaftsingenieurwesen und Chemie, die nur einen sehr kleinen Bezug zur Bioökonomie haben.

Das System der ***beruflichen Bildung*** ist in Deutschland von großer Bedeutung für die Ausbildung qualifizierter Fachkräfte. Für das Jahr 2016 fanden Wackerbauer et al. (2019), dass rund 10,8 % der Auszubildenden voll und rund 2,1 % teilweise der Bioökonomie zugerechnet werden können.

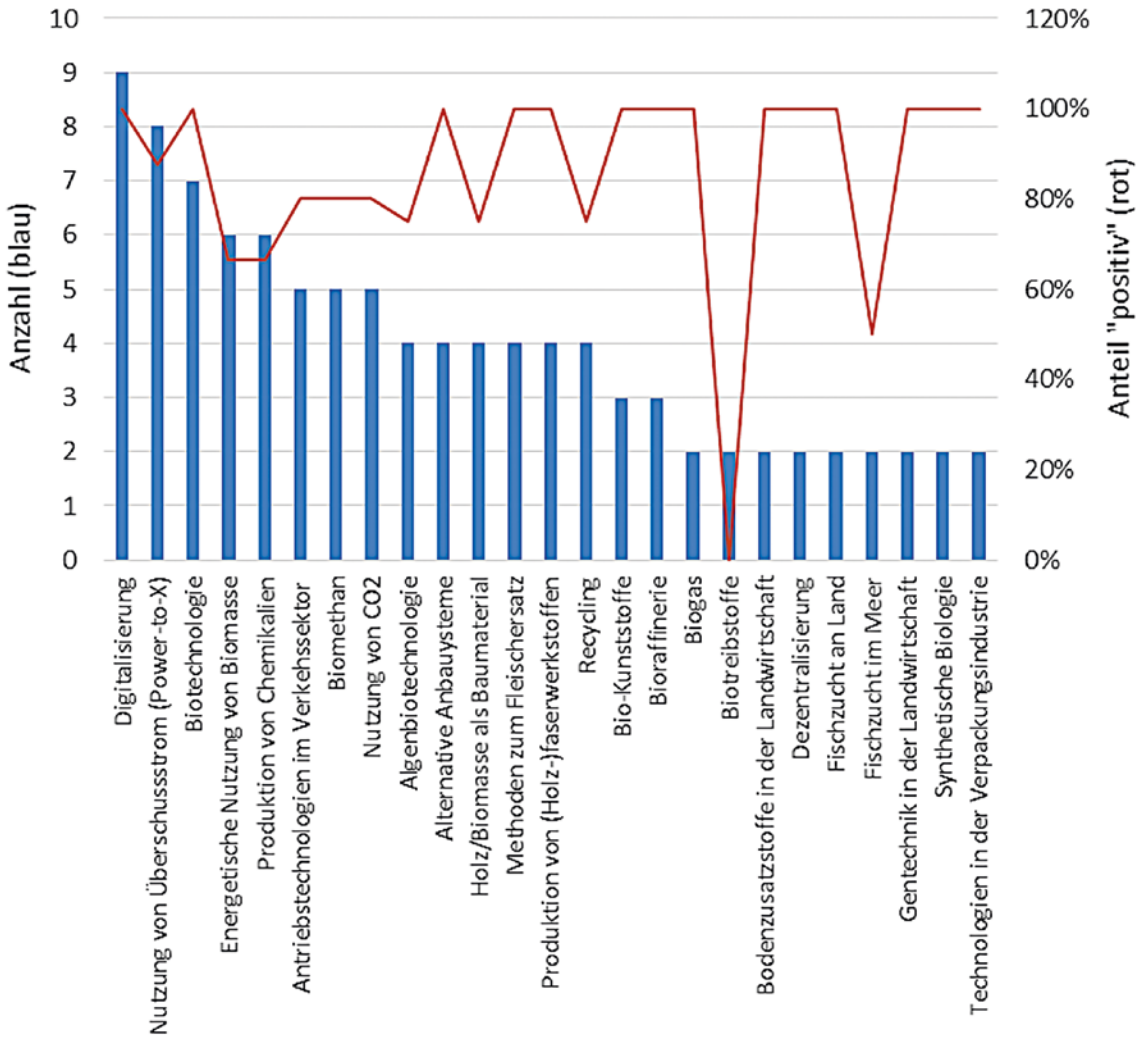
4.7.2 POTENZIELL TRANSFORMATIVE TECHNOLOGIEN

In einer Umfrage zu erwarteten Entwicklungen in der Bioökonomie gaben 31 Expertinnen und Experten ihre Einschätzung ab (Billig et al. 2020). Als künftig besonders bedeutsam wurden die Digitalisierung, Power-to-X-Technologien und die Biotechnologie angesehen, die zugleich überwiegend positiv bewertet wurden (Abb. 4.15). Weniger bedeutsam und deutlich negativ wurden Biokraftstoffe eingeschätzt.

Einige Technologien haben das Potenzial, Biomasseströme künftig wesentlich zu ändern. Hierzu wurden die energetische Nutzung und die stoffliche Umwandlung von Lignocellulose, die künstliche Fotosynthese, Power-to-X-Technologien und die Herstellung von Chemikalien und Kraftstoffen gezählt (Billig et al. 2020). Langfristig kommt Technologien zur Nutzung von CO_2 als Rohstoff eine besondere Bedeutung zu, die in Verbindung mit der Nutzung von erneubar erzeugtem Strom, praktisch eine industrielle Fotosynthese darstellen und die Nachfrage nach landbasierter Non-Food-Biomasse entlasten könnten (Bringezu et al. 2020).

Insgesamt gingen die Befragten davon aus, dass die stoffliche Nutzung von Biomasse gegenüber der energetischen an Bedeutung zunehmen wird, die energetische Nutzung langfristig eher abnehmen dürfte und ein effizienterer Umgang mit Biomasse durch kaskadenförmige Nutzung von Reststoffen und Abfällen zunehmen dürfte (Billig et al. 2020). Von dem Zusammenspiel von Digitalisierung, Flexibilisierung und Prozessintegration wird ebenfalls ein effizienterer Einsatz biogener Ressourcen erwartet.

Abb. 4.15 | ***Umfrage als künftig besonders bedeutsam eingeschätzte Technologien***



Quelle: Billig et al. (2020)

5

DIE ÖKOLOGISCHEN FUSSABDRÜCKE DER DEUTSCHEN BIOÖKONOMIE

5 DIE ÖKOLOGISCHEN FUSSABDRÜCKE DER DEUTSCHEN BIOÖKONOMIE

5.1 DIE BIOÖKONOMIE IM INTERNATIONALEN KONTEXT

Wie jeder Wirtschaftsraum ist auch die deutsche Bioökonomie weltweit mit anderen Regionen verflochten. Die deutsche Landwirtschaft produziert in relevantem Umfang für den Export. Kapitel 2 hat aufgezeigt, dass sie auch mit erheblichen Importen, z. B. von Futtermitteln, verbunden ist. Daher stellt sich die Frage, mit welchem Aufwand natürlicher Ressourcen (landwirtschaftlicher Fläche, forstwirtschaftlicher Kapazität, Wasser) und mit welcher Klimabelastung die Produktion und der Verbrauch biobasierter Güter in Deutschland im In- und Ausland insgesamt verbunden sind.

Zu diesem Zweck werden die sogenannten ***Fußabdrücke der Produktion und des Konsums in Deutschland*** bestimmt. Für die Bestimmung eines Fußabdrucks der Produktion werden den Ressourcenaufwendungen bzw. Emissionen der inländischen Produktion diejenigen der Importe hinzugezählt. Für die Ermittlung eines Fußabdrucks des Konsums werden von dieser Summe die Ressourcenaufwendungen bzw. Emissionen der Exporte abgezogen (Galli et al. 2012, Bringezu et al. 2016, Flaute et al. 2017). Um die Importe bis zu den Ursprungsländern der Rohstoffe zurückzuverfolgen, wurde der globale multiregionale Input-Output-Datensatz der Datenbank ***EXIOBASE*** herangezogen. Deren letzter Datenstand bezieht sich auf 2011, sodass die Daten für aktuellere Jahre (bis 2017) durch die sog. ***Now Casting Methode*** ermittelt wurden. Die künftige Entwicklung bis 2030 wurde unter Annahme der Fortführung aktueller Trends[20] und in Anlehnung an den globalen sozioökonomischen Pfad – SSP: Shared Socioeconomic Pathways – „Middle of the Road“ (Riahi et. al. 2017) mit Hilfe von Modellen wie GINFORS[21], PANTA RHEI[22], LandSHIFT und WaterGAP berechnet. Eine ausführliche Beschreibung der Methodik erfolgt im separaten Methodenteil.

20 Die Projektionen berücksichtigen nicht den in der Folge von COVID19 ab 2020 zu erwartenden Rückgang der Wirtschaft. Es kann jedoch angenommen werden, dass es in den Folgejahren zu Nachholeffekten kommen wird, so dass die mittelfristige Trendprojektion bis 2030 wieder erreicht werden kann. Angesichts der großen Unsicherheiten bietet sich zukünftig die Darstellung von Bandbreiten an.

21 s. z. B. Distelkamp, Meyer 2018 oder Distelkamp et al. 2017

22 s. z. B. Lehr, Lutz 2020 oder Lutz et. al. 2019, 2018.

Deutschland bezieht biogene Rohstoffe und Produkte aus anderen Regionen und exportiert insbesondere tierbasierte Produkte. Für diese Materialströme werden weltweit Agrarflächen, Wald und Wasser genutzt und es entstehen Treibhausgasemissionen entlang der Produktionsketten.

Um die globalen Ressourcen- und Klimabelastungen der deutschen Bioökonomie in ihrer Größenordnung zu beschreiben, werden hier erstmals fünf Fußabdrücke von Produktion und Konsum biomassebasierter Güter in Deutschland dargestellt:

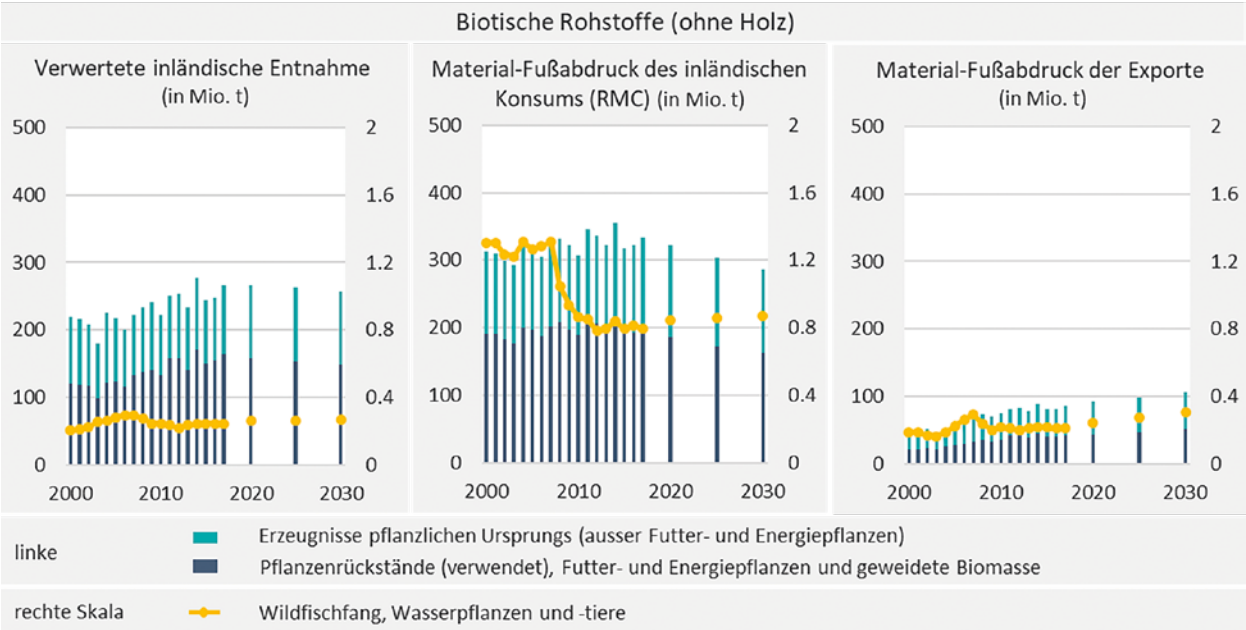
- der Materialfußabdruck umfasst sämtliche Primärrohstoffe[23], die die Grundlage des inländischen Verbrauchs an Produkten und der Produktion von Exporten bilden (beides zusammen ergibt den Fußabdruck der inländischen Produktion);
- der Forstfußabdruck quantifiziert den Aufwand an Primärholzrohstoff oder „Rohholz“, das hier und anderswo für die Produktion bzw. den Verbrauch holzbasierter Produkte eingeschlagen wird;
- der Agrarfußabdruck quantifiziert die im In- und Ausland belegte Acker- und Weidefläche für den Endverbrauch von Gütern in Deutschland; auch der Agrarfußabdruck der Exporte wird ausgewiesen;
- der Wasserfußabdruck beschreibt die Wasserentnahme insbesondere für die Bewässerung agrarischer Güter in den Ursprungsregionen für Produktion und Konsum in Deutschland;
- der Klimafußabdruck umfasst alle relevanten weltweit emittierten Treibhausgase, die mit der Produktion der biogenen Güter verbunden sind, die in Deutschland verbraucht bzw. von hier exportiert werden.

23 Er wird hier ohne den Anteil an forstlichen Primärrohstoffen ausgewiesen, weil dafür ein gesonderter Fußabdruck betrachtet wird.

5.2 DER MATERIALFUSSABDRUCK

Der Materialfußabdruck des Konsums[24] umfasst sämtliche für den Inlandsverbrauch aufgewendete Mengen an Primärbiomasse in Tonnen. Hier wird die von Landwirtschaft und Fischerei im In- und Ausland geerntete Biomasse erfasst.[25] Der Materialfußabdruck der Produktion[26] umfasst zusätzlich die Aufwendungen für die Produktion der Exporte[27]. Diese Stoffströme bestimmen den Umfang der verschiedenen mit ihnen verbundenen Umweltbelastungen und bilden auch die Basis für die Berechnung der weiteren ökologischen Fußabdrücke (zur Flächenbelegung, zur Wassernutzung etc.).

Abb. 5.1 | ***Biotische Rohstoffe: (a) Entnahme biotischer Rohstoffe (ohne Holz) in Deutschland, (b) Materialfußabdruck an biotischen Rohstoffen (ohne Holz) durch den Inlandsverbrauch der daraus hergestellten Güter und (c) Materialfußabdruck biotischer Rohstoffe (ohne Holz) der deutschen Exporte. Reale Entwicklung 2000 bis 2017, Zukunftsprojektionen bis 2030***



Quelle: GWS

Gemäß der Trendprojektion wird die inländische verwertete Entnahme (Ernte) der Landwirtschaft bis 2030 geringfügig abnehmen (Abb. 5.1). Der Materialfußabdruck des Konsums übersteigt die inländische Entnahme und zeigt damit an, dass Deutschland durch seinen Verbrauch ein Nettoimporteur von landwirtschaftlicher Primärbiomasse ist. Für den Materialfußabdruck der biotischen Rohstoffe wird bei Fortschreibung der aktuellen Trends für die kommenden Jahre ein Rückgang um rund 1,2 % p. a. projiziert, wobei die Rückgänge bei den Futter- und Energiepflanzen etwas stärker ausfallen (–1,5 % p. a.) und diejenigen der Primärpflanzen vom Acker, die sowohl für Nahrungsmittel als auch

24 In der Ressourcenberichterstattung spricht man üblicherweise vom „Rohstoffbedarf für inländischen Konsum und Investitionen (Raw Material Consumpton, RMC)“. Im Folgenden wird der Begriff Materialfußabdruck (ohne Zusatz) synonym hierzu verwendet.

25 Siehe Fußnote 15.

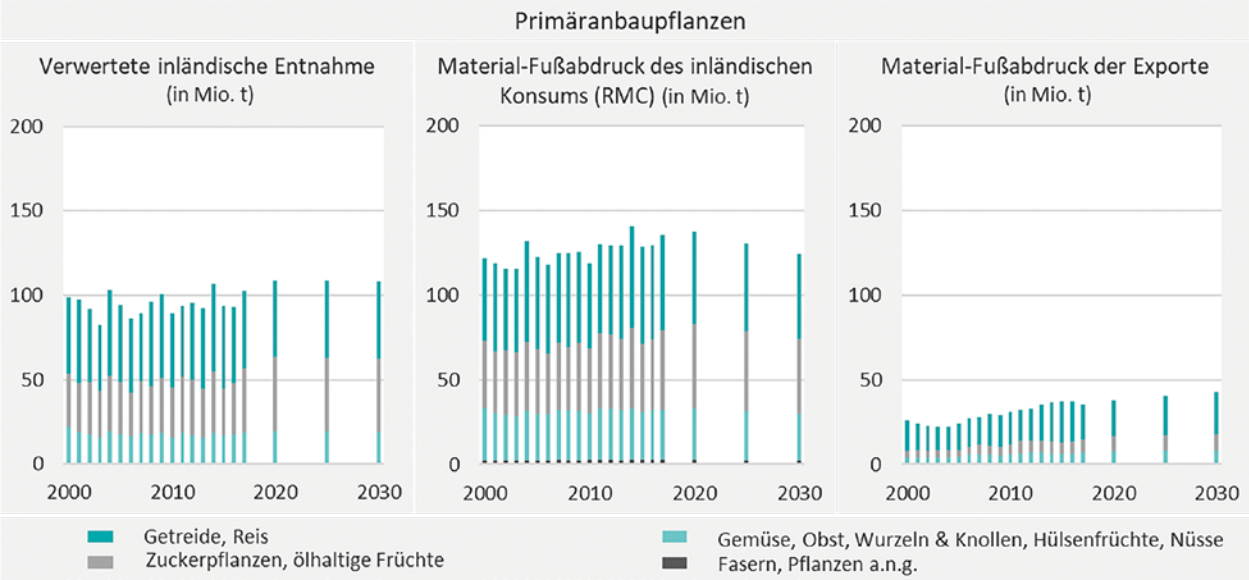
26 In der Ressourcenberichterstattung wird dies als „Rohstoffbedarf für inländische Produktion und Investitionen (RMI, Raw Material Input)“ bezeichnet.

27 Synonym zu „Exporte in Rohstoffäquivalenten“.

Futtermittel eingesetzt werden können (z. B. Getreide), weniger stark zurückgehen (–0,7 % p. a.). Der biotische Materialfußabdruck der deutschen Exporte liegt wesentlich niedriger als der des inländischen Konsums und wird laut Projektion im Gegensatz zur inländischen Entnahme und dem Materialfußabdruck des inländischen Konsums auch in Zukunft weiter ansteigen (+1,6 % p. a.). Wie bereits in Kapitel 2 deutlich geworden ist, weist die Materialkategorie „Wildfischfang, Wasserpflanzen und -tiere“ eine deutlich niedrigere Größenordnung auf als die agrarischen Güter. Die inländische Entnahme liegt bei rund 0,2 Mio. t und der Materialfußabdruck im Bereich von 0,8 bis 1,3 Mio. t. Bis 2030 wird unter Trendannahmen ein Zuwachs von 0,7 % p. a. projiziert.

Im Inland wird die Entnahme von Primäranbaupflanzen durch Getreide und Ölsaaten dominiert, während der Materialfußabdruck des inländischen Konsums in etwa je zu einem Drittel von Getreide (einschl. Reis), Gemüse/Obst und Ölsaaten/Zucker bestimmt wird (Abb. 5.2). Beim Materialfußabdruck der Exporte liegt der Schwerpunkt auf Getreide und Zuckerpflanzen bzw. ölhaltigen Früchten. Diese Relationen verschieben sich bis 2030 nur unwesentlich. Laut Trendprojektion bleibt die verwertete Ernte aus Deutschland bis 2030 in etwa stabil, während beim Materialfußabdruck des inländischen Konsums ein gegenläufiger Trend von –0,7 % p. a. erwartet wird. Der Materialfußabdruck der Exporte wird laut Projektion auch bis 2030 weiter steigen (+1,5 % p. a.).

Abb. 5.2 | ***Primäranbaupflanzen: (a) Verwertete inländische Entnahme, (b) Materialfußabdruck des inländischen Konsums und (c) Materialfußabdruck der Exporte von agrarischen Erzeugnissen pflanzlichen Ursprungs (außer Futterpflanzen)***

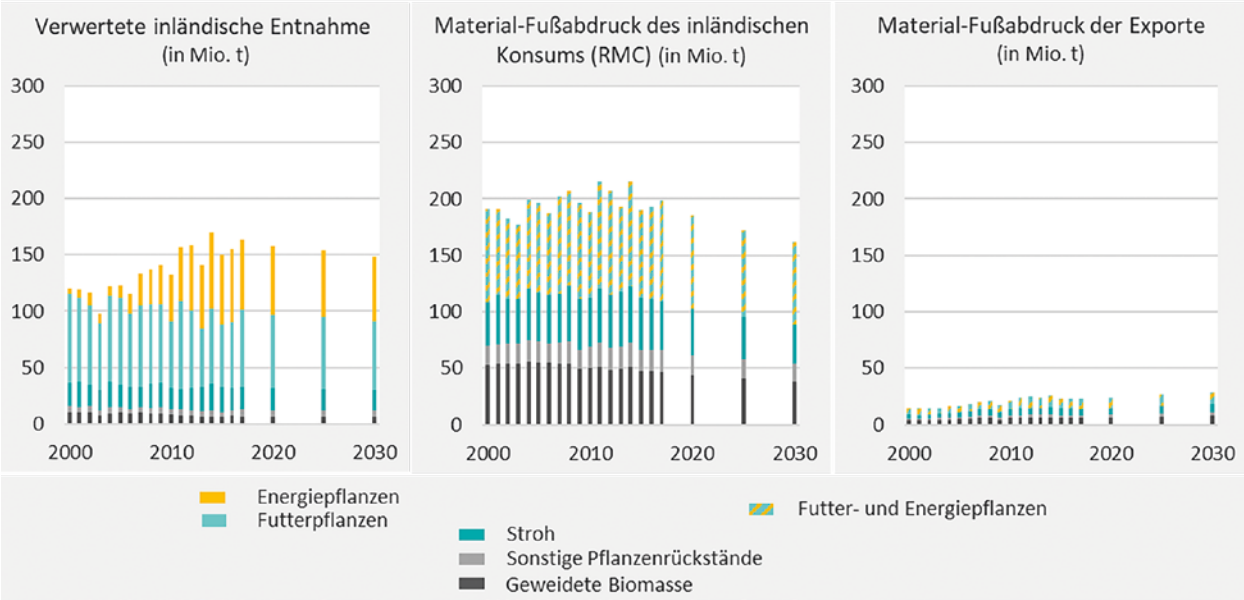


Quelle: GWS

Im Inland werden hauptsächlich Futterpflanzen und in den letzten Jahren vermehrt auch Energiepflanzen, in beiden Fällen insbesondere Mais, für die tierische Produktion und Energiegewinnung geerntet. Doch auch weltweit werden erhebliche Mengen an Futter- und Energiepflanzen für den deutschen Konsum geerntet (Abb. 5.3 b). Werden mit der Betrachtung des Materialfußabdrucks auch importierte tierische Lebensmittel einbezogen, so wird deutlich, dass im Ausland zusätzlich relevante Mengen an Weidebiomasse dafür aufgewendet werden.

Sowohl die Abnahme des inländischen Fleischkonsums als auch die Annahme einer leicht rückläufigen Biogasproduktion machen sich in der Trendprojektion bemerkbar. Für die Zukunft wird so ein leichter Rückgang der inländischen Entnahme projiziert (–0,8 % p. a.), der alle Biomassearten gleichermaßen betrifft. Der Materialfußabdruck der inländischen Endnachfrage geht laut Projektion noch deutlicher zurück (–1,5 % p. a.). Dieser Trend zeigt sich jedoch nicht beim Materialfußabdruck der Exporte, welcher laut Projektion weiterhin deutlich steigen wird (+1,9 % p. a.). Hier wird die anhaltende Exportnachfrage nach tierbasierten Erzeugnissen aus Deutschland sichtbar.

Abb. 5.3 | ***Pflanzenrückstände, Futter- und Energiepflanzen und geweidete Biomasse: (a) Inländische Entnahme, (b) Materialfußabdruck des inländischen Konsums und (c) Materialfußabdruck der Exporte von verwendeten Pflanzenrückständen, Futterpflanzen und geweideter Biomasse.***



Quelle: GWS

5.3 DER FORSTFUSSABDRUCK

Der ***Forstfußabdruck des Konsums*** umfasst die Menge an Rohholzeinschlag im In- und Ausland für den Endverbrauch holzbasierter Güter in Deutschland. Dies wird in Rohholzäquivalenten ohne Rinde [m³ (r)][28] angegeben. Die hier dargestellten Werte sind konsistent zu den in Abschnitt 2.5 dargestellten Holzflüssen. Sie ergänzen diese durch die Rückverfolgung der direkten Handelsströme bis zu ihrem Ursprung im Aus- und Inland.

Abbildung 5.4 weist neben dem Rohholzaufwand des inländischen Verbrauchs auch den Aufwand an Rohholzäquivalenten für den Export aus und damit den gesamten ***Forstfußabdruck der Produktion*** (Summe von Konsum und Exporten) in Deutschland. Als Basisdaten der inländischen Entnahme von Rohholz wurden die Ergebnisse der Einschlagsrückrechnung des Thünen Instituts verwendet.

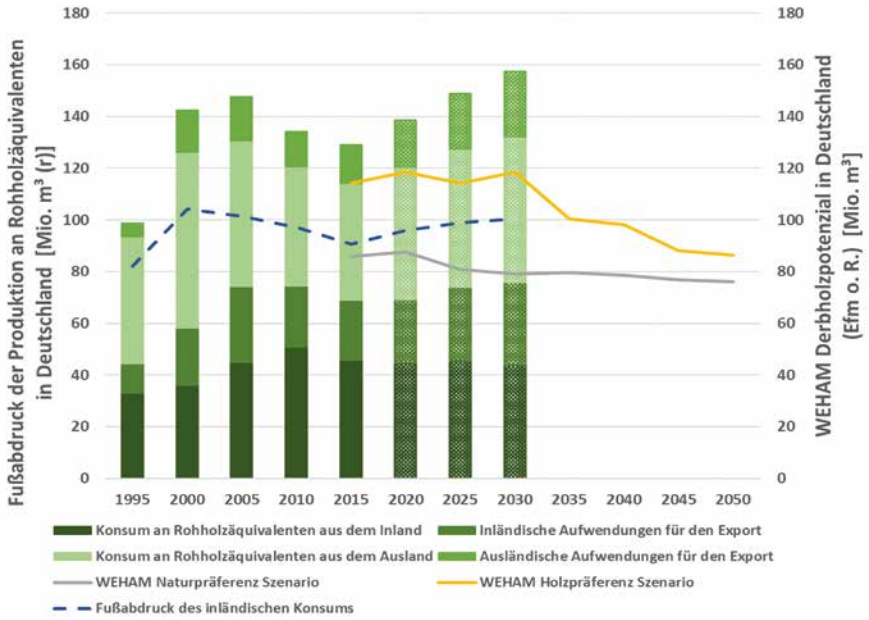
2015 wurden vom inländischen Einschlag 45,6 Mio. m³ für den Konsum in Deutschland verwendet. Der Import überstieg mit 44,9 Mio. m³ Rohholzäquivalenten den mengen-

28 In den Rohholzäquivalenten ist die Nutzung von durchschnittlich ca. 5 % Nichtderbholz mit inbegriffen.

mäßigen Aufwand für den Export (38,5 Mio. m³) um 17 %. Der Forstfußabdruck für den inländischen Konsum betrug damit 90,6 Mio. m³. Von 1995 bis 2015 stieg dieser Fußabdruck um ca. 10 %. Bis 2030 wird ein weiterer Anstieg um ca. 11 % erwartet.

Betrachtet man den Fußabdruck der Produktion[29] von Holzprodukten in Deutschland, so stieg dieser von 98,7 Mio. m³ in 1995 bis 147,6 Mio. m³ in 2005 deutlich an und sank bis 2015 auf 129,1 Mio. m³ Rohholzäquivalente. Bis 2030 wird eine deutliche Steigerung dieses Fußabdrucks um 22 % erwartet, infolge einer Ausweitung des Exports um 49 %.

Abb. 5.4 | ***Produktion u. Konsum an Rohholzäquivalenten in Deutschland 1995 bis 2030***



Historischer Trend (ausgefüllte Balken) und Projektion bis 2030 (schraffierte Balken) der Produktion an Rohholzäquivalenten (r) in Deutschland auf Basis von EXIOBASE 3.4 und Prognose des Derbholzpotenzials (Efm (r)) aus dem WEHAM Naturpräferenz Szenario und dem WEHAM Holzpräferenz Szenario. Quelle: CESR

Die WEHAM-Studie (Oehmichen et al. 2018) hat mit zwei Szenarien das Derbholzpotenzial[30] (Efm (r)) bestimmt, das unter Nachhaltigkeitsbedingungen in Deutschland eingeschlagen werden könnte[31]. Vergleicht man diesen Korridor mit den errechneten Rohholzäquivalenten des inländischen Einschlags und der Fußabdrücke von Konsum und Produktion, so lässt sich feststellen: (1) Die im Inland eingeschlagene Menge für Konsum und Export liegt bislang und vermutlich bis 2030 unter dem nachhaltig nutzbaren Potenzial, d. h. der inländische Einschlag könnte auch unter Nachhaltigkeitsbedingungen etwas erhöht werden. (2) Der Forstfußabdruck des deutschen Konsums verläuft innerhalb des von den WEHAM Szenarien aufgespannten Rahmens. Die Größenordnung des eigenen Konsums an Rohholz könnte also theoretisch vom eigenen Territorium gedeckt werden. Nach 2040 wäre dies eher ungewiss. (3) Der Forstfußabdruck der Produktion überstieg bereits 2015 den von den WEHAM Szenarien aufgespannten Korridor einer

29 dieser beinhaltet im Gegensatz zum Fußabdruck des Konsums keine Außenhandelsbilanzierung, sondern stellt die Summe aller Aufwendungen dar

30 Derbholz bezeichnet in Deutschland die oberirdische Holzmasse von Bäumen mit einem Durchmesser von › 7 cm mit Rinde auf Brusthöhe (BHD). Bäume mit einem geringeren Durchmesser werden als Nichtderbholz bezeichnet.

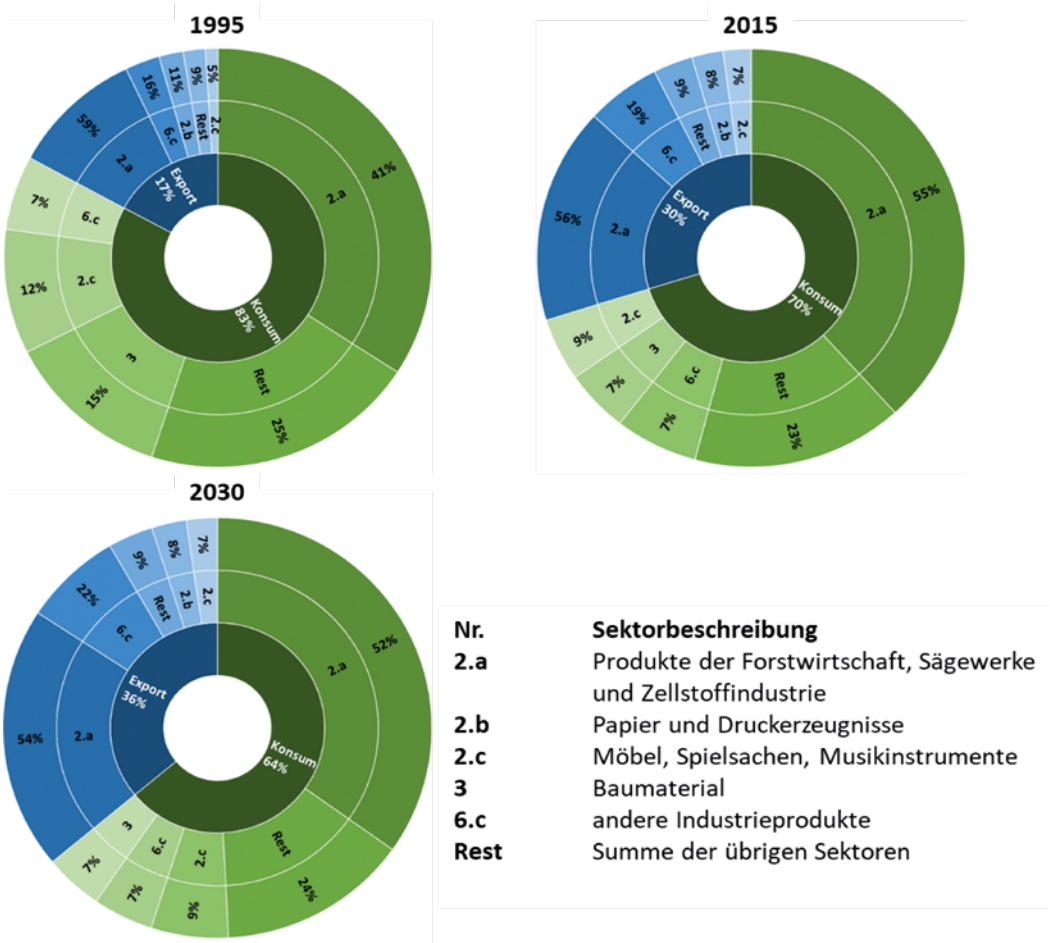
31 Nicht inbegriffen ist dabei per Definition die Menge an verwendetem Nichtderbholz.

potenziell nachhaltigen inländischen Entnahme und wird sich voraussichtlich bis 2030 noch deutlich erhöhen.

Von 1995 bis 2015 stieg der Anteil des Exports am gesamten Forstfußabdruck der deutschen Produktion von 17 % auf 30 %. Es wird erwartet, dass er 2030 ca. 36 % ausmachen wird (Abb. 5.5). Während 1995 Produkte der Forstwirtschaft, Sägewerke und der Zellstoffindustrie 59 % des Exportfußabdrucks bestimmten, waren es 2015 56 % und dieser Anteil dürfte sich bis 2030 kaum ändern. Papier und Druckerzeugnisse bestimmten 1995 noch 11 % des Exportfußabdrucks. Dieser Wert verringerte sich bis 2015 auf 8 % und bleibt voraussichtlich bis 2030 konstant.

Der Forstfußdruck des Konsums wurde 1995 zu 41 % von Produkten der Forstwirtschaft, Sägewerke und der Zellstoffindustrie bestimmt, die in 2015 55 % ausmachten und sich anteilsmäßig bis 2030 nur geringfügig auf 52 % verringern dürften (Abb. 5.5). Baumaterial aus Holz hatte 1995 einen Anteil von 15 % am inländischen Konsum vom Primärholz, 2015 waren es noch 7 % und dieser Anteil wird sich bis 2030 voraussichtlich nicht ändern. 1995 bestimmten Möbel (zusammen mit Spielsachen und Musikinstrumenten) noch 12 % des Fußabdrucks des Konsums, in 2015 machten sie 9 % aus und bis 2030 dürfte sich das auch nicht verändern.

*Abb. 5.5 | **Forstfußabdruck der deutschen Bioökonomie 1995, 2015 und 2030 nach inländischem Konsum (grün) und Export (blau) sowie nach Hauptprodukten.***



Quelle: CESR

5.4 DER AGRARFUSSABDRUCK

Der Agrarfußabdruck (***agricultural land footprint, aLF***) umfasst die Acker- und Grünlandflächen, die für die Produktion bzw. den Verbrauch von Agrargütern in Deutschland im Inland und im Ausland belegt werden. Bei Importen nach Deutschland werden anhand internationaler Handelsverflechtungen die Ursprungsregionen[32] und die Anbaukulturen[33] ermittelt. Die Flächenbelegung wird zudem Produktgruppen[34] zugeordnet. Der Agrarfußabdruck wird ebenso für exportierte Agrargüter bzw. Produkte berechnet.

In den Agrarfußabdruck werden Information zur Eigenschaft der belegten Fläche integriert, die eine Risikoeinschätzung zu Auswirkungen auf die biologische Vielfalt erlauben. So wird angenommen, dass die Umwandlung von Primärwald, biodiversem Wald, biodiversem Grünland, anderem biodiversem Land, Torfmoor, Feuchtgebieten, Wald, ungenutztem Grünland und genutztem Grünland zu Ackerland mit einem erhöhten Risiko für die biologische Vielfalt verbunden ist (Risikoflächen). Für Flächen „in Nutzung“ wie genutzte Ackerflächen (inklusive Brache) und Siedlungsflächen wird dieses Risiko als deutlich geringer eingeschätzt. Bei einer neuen Grünlandnutzung wird bereits genutztes Grünland generell als „in Nutzung“ angenommen. Eine Flächenumwandlung in Schutzgebieten wird in den Berechnungen ausgeschlossen.

Die dargestellten Ergebnisse wurden auf Basis historischer Zeitreihen von 1995 bis 2010 berechnet und von 2015 bis 2030 durch Modellierung von Projektionstrends ermittelt. Zwei Aspekte werden unterschieden:

Flächenbelegung: Fläche, die am Ende eines Zeitschritts von 5 Jahren für die Produktion von Agrargütern belegt wird. Differenziert wird dabei nach Herkunftsregionen, Anbaukulturen und Produktgruppen. Zudem wird die Flächeneigenschaft (Primärwald etc.) ausgewiesen, die zu Beginn des Zeitschritts gegeben war.

Flächenumwandlungsrate: Negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt sind insbesondere zu erwarten, wenn die oben genannten Risikoflächen neu in Nutzung genommen werden. Es wird berechnet, mit welcher jährlichen Rate Risikoflächen von Beginn bis Ende eines Zeitschritts umgewandelt werden. Die Zuweisung von Risikoflächen im Herkunftsland berücksichtigt die Veränderungen der Importe nach Deutschland und die Veränderung der Produktion im Herkunftsland (z. B. Ertragssteigerung). Steigen z. B. Importe nach Deutschland nicht oder nur im Umfang der Produktionssteigerung im Herkunftsland an, wird den Importen nach Deutschland nur Fläche der Kategorie „in Nutzung“ und keine Flächenumwandlung zugewiesen. Importanstiege, die darüber hinaus gehen, werden der Umwandlung von Risikoflächen zugeordnet.

Die weltweite Flächenbelegung für die Produktion von Agrargütern betrug inklusive Deutschland im Jahr 2000 4,34 Mrd. ha und stieg bis zum Jahr 2010 leicht an (4,38 Mrd. ha). In der Trendfortschreibung ab dem Jahr 2015 fällt der Anstieg der Flächenbelegung deutlich stärker aus und lässt im Jahr 2030 einen Wert von 4,92 Mrd. ha erwarten (Abb. 5.6 a). Dieser Anstieg resultiert aus dem global stark ansteigenden

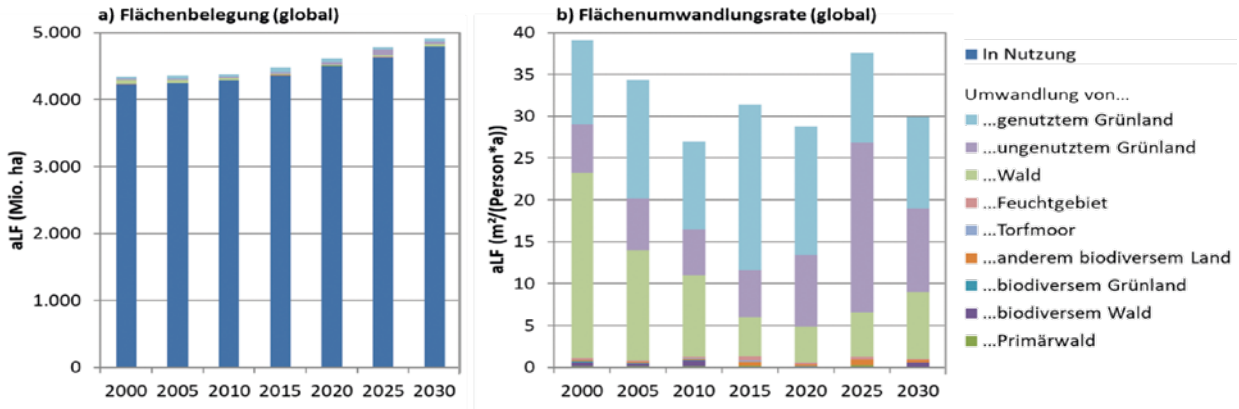
32 Herkunftsregionen: 28 EU-Mitgliedsstaaten, Norwegen, die Schweiz und der Rest von Europa; Russland, China, Indien, Japan, Südkorea, Taiwan, Indonesien und Rest der asiatisch-pazifischen Region; USA, Kanada, Mexiko, Brasilien und der Rest von Amerika; Türkei und der Rest des Nahen Ostens; Südafrika und das übrige Afrika; Australien.

33 Anbaukulturen: Ölpflanzen; Weizen; andere Getreide; Zuckerpflanzen; Reis; die Gruppe der Gemüse, Früchte und Nüsse; Faserpflanzen; sonstige Feldfrüchte; Futterpflanzen; Grünland.

34 Produktgruppen: Pflanzliche Nahrung; Fleisch, Fisch; Milchprodukte; Getränke, Tabak; Sonstige Nahrung; Konstruktion; Kraftstoff, Energie; Sonstige Produkte; Bergbau, mineralische Produkte; Service; Holz, Holzprodukte.

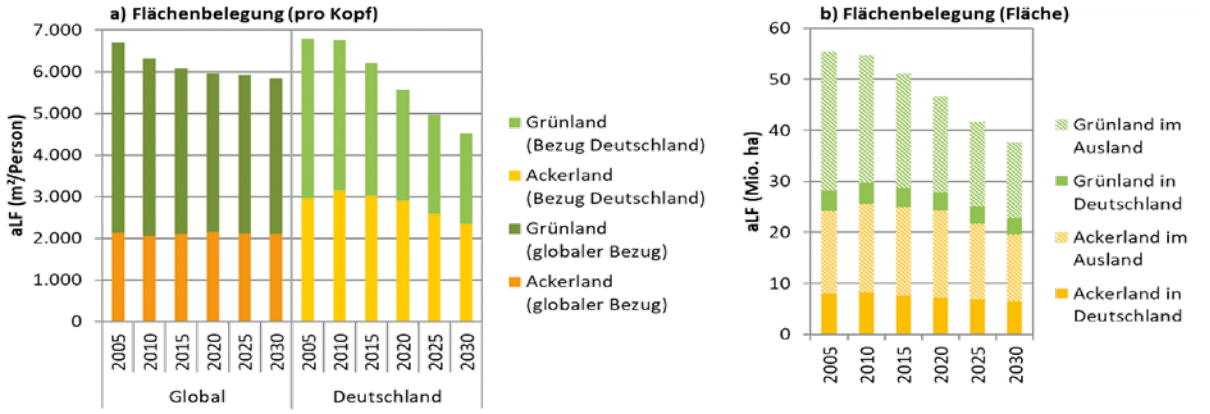
Konsum von Biomasse. Er geht zudem einher mit einer deutlichen Zunahme der Umwandlung von Risikoflächen. In dem betrachteten Zeitraum von 2005 bis 2030 liegt die globale Flächenumwandlungsrate zwischen 27 und 39 m^2/(Person*a) (Abb. 5.6 b). Flächenumwandlungen fanden in den 2000er Jahren vorrangig auf Wald statt, seit 2015 vorwiegend auf ungenutztem und genutztem Grünland. Besonders sensible Flächen wie Primärwälder oder biodiverse Flächen werden deutlich seltener umgewandelt, da sie geringere Flächenanteile einnehmen, in wenig erschlossenen Gebieten liegen oder nach Umwandlung niedrige Erträge für Anbaukulturen aufweisen.

Abb. 5.6 | ***Globaler Agrarfußabdruck (aLF) des weltweiten Konsums (= der weltweiten Produktion) von Agrargütern. (a) absolute Flächenbelegung, (b) Flächenumwandlungsrate je Person und Jahr.***



Summenwerte für alle Anbaukulturen, alle Produktgruppen und alle Herkunftsregionen. Die zeitliche Auflösung beträgt 5-Jahresschritte. Quelle: Öko-Institut und CESR

Abb. 5.7 | ***Flächenbelegung mit Acker- und Grünland (a) pro Kopf für den globalen und den deutschen Konsum und (b) für den deutschen Konsum differenziert nach Flächen im In- und Ausland.***



Summenwerte für alle Anbaukulturen, alle Produktgruppen und alle Herkunftsregionen. Die zeitliche Auflösung beträgt 5-Jahresschritte. Quelle: Öko-Institut, CESR, GWS auf Basis von EXIOBASE

Zwar nimmt wie oben gezeigt, die globale Flächenbelegung für agrarische Aktivitäten zu (Abb. 5.6), auf Grund des weltweiten Bevölkerungswachstums sinkt jedoch die pro Person genutzte Fläche deutlich (Abb. 5.7 a, links). Im Jahr 2005 lag die globale Flächenbelegung pro Kopf bei 6.700 m^2/Person und sie wird voraussichtlich bis 2030 auf etwa 5.850 m^2/Person abnehmen (Abb. 5.7 a). Dies resultiert hauptsächlich aus einer kontinuierlichen Abnahme der pro Kopf genutzten Grünlandfläche (2005: 4.550 m^2/Person; 2030: 3.750 m^2/Person), während die Flächenbelegung für Ackerland über die Zeitreihe recht konstant bei 2.100 m^2/Person liegt (Abb. 5.7 a).

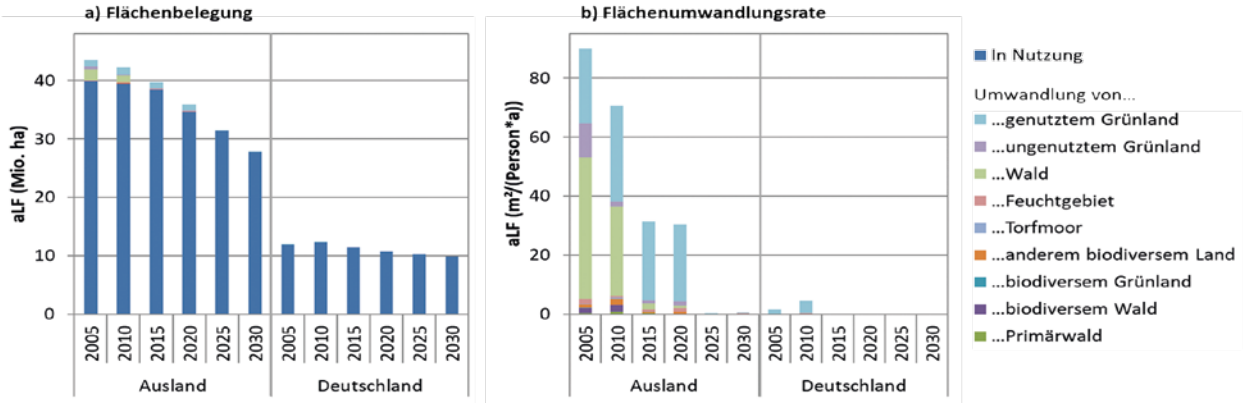
Für den Konsum in Deutschland lag die Flächenbelegung in den Jahren 2005 und 2010 bei etwa 6.800 m^2/Person (Abb. 5.7 a, rechts). Bis 2030 wird mit einer Abnahme bis auf ca. 4.500 m^2/Person gerechnet. In den 2000er Jahren wurde für den Konsum in Deutschland etwa 40 % mehr an Ackerfläche als im globalen Durchschnitt belegt. Diese überdurchschnittliche Belegung wird voraussichtlich bis 2030 auf 12 % abnehmen. Da die deutsche Flächenbelegung pro Person für Grünland besonders stark zurückgeht, wird bis 2030 zur Deckung des deutschen Konsums voraussichtlich eine pro Person kleinere Flächenbelegung erreicht werden als im globalen Mittel (Abb. 5.7 a).

Die landwirtschaftliche Fläche in Deutschland betrug im Jahr 2016 etwa 16,7 Mio. ha (72 % Ackerland, 28 % Grünland; BMEL 2017). Für den Konsum von Agrargütern in Deutschland wurden im Inland in den Jahren 2005 und 2010 12 Mio. ha bzw. 12,5 Mio. ha an Acker und Grünland genutzt (Abb. 5.8 a, rechts). Dieser Wert sinkt voraussichtlich bis 2030 auf knapp 10 Mio. ha. Die übrige landwirtschaftliche Fläche in Deutschland wird für Exportprodukte verwendet (siehe Abb. 5.10 a, rechts). Die Flächenbelegung im Ausland für den Konsum in Deutschland lag im Jahr 2005 bei 43 Mio. ha (Abb. 5.8 a, links), wovon 16 Mio. ha Ackerland und 27 Mio. ha Grünland waren (Abb. 5.7 b). Diese Flächenbelegung im Ausland nimmt in der Trendfortschreibung bis 2030 auf einen Wert von 28 Mio. ha ab (13 Mio. ha Ackerland, 15 Mio. ha Grünland). Diese Ergebnisse spiegeln die Abnahme des Materialfußabdrucks für den inländischen Konsum im In- und Ausland wider (Kap. 5.2).

Parallel zur Entwicklung der Flächenbelegung nimmt die Flächenumwandlungsrate für Importe nach Deutschland in der Trendfortschreibung deutlich von über 90 m^2/Person im Jahr 2005 auf Werte unter 1 m^2/Person in den Jahren 2025 und 2030 ab (Abb. 5.8 b, links). Dies liegt daran, dass die Zunahme der Importe nach Deutschland zurückging und die Importe ab 2020 abnehmen dürften. Dadurch werden Deutschland geringere Flächenanteile der in den Herkunftsländern umgewandelten Flächen zugewiesen.

Deutschland hat insbesondere in den 2000er Jahren durch seine Importe erheblich zu Flächenumwandlungen in anderen Regionen beigetragen. Die Flächenumwandlungsraten vor 2015 lagen um das Doppelte über dem globalen Durchschnitt (Abb. 5.6 b und Abb. 5.8 b, links). Die Flächenumwandlung im Inland war und ist dagegen sehr klein. Bis zum Jahr 2010 wurde vor allem genutztes Grünland in geringem Umfang in Ackerland umgewandelt (Abb. 5.8 b, rechts).

Abb. 5.8 | ***Globaler Agrarfußabdruck des deutschen Konsums (a) absolute Flächenbelegung in Deutschland und im Ausland, (b) Flächenumwandlungsrate je Person und Jahr in Deutschland und im Ausland.***

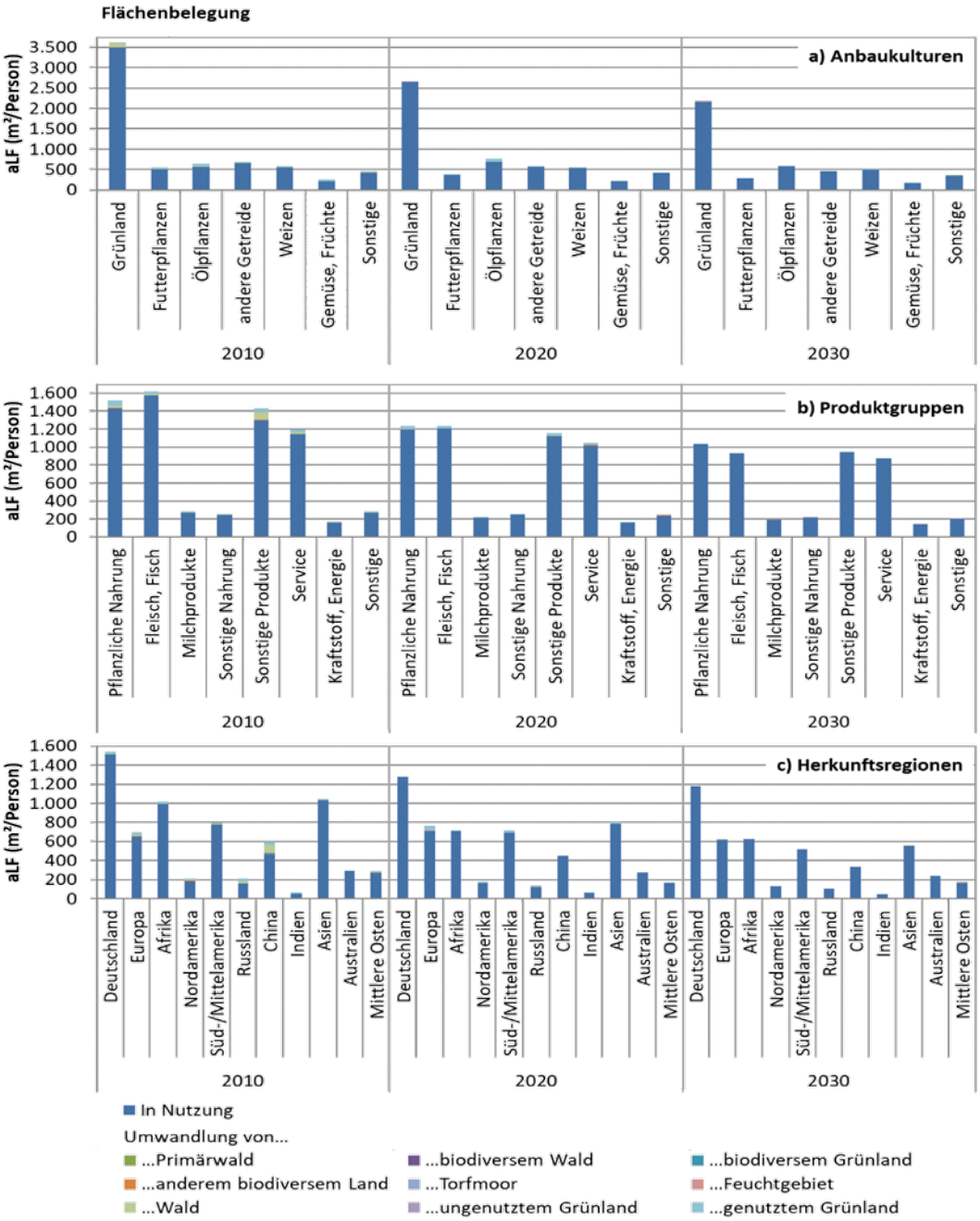


Summenwerte für alle Anbaukulturen und alle Produktgruppen. Die zeitliche Auflösung beträgt 5-Jahresschritte | Quelle: Öko-Institut, CESR, GWS auf Basis von EXIOBASE

Für die Zeitschnitte 2010, 2020 und 2030 – jeweils bezogen auf die fünf vorherigen Jahre – stellt Abbildung 5.9 die Flächenbelegung differenziert nach Anbaukulturen, Produktgruppen und Herkunftsregionen dar. Neben der Herkunft aus Deutschland und Europa stammt Biomasse zu großen Anteilen aus Asien, Afrika und Süd-/Mittelamerika (Abb. 5.9 c). Eingesetzt wird die Biomasse vor allem für die Lebensmittelproduktion (Abb. 5.9 b). Auch in sonstigen Produkten und Dienstleistungen ist Biomasse für Nahrungsmittel enthalten, da für diese Produktgruppen in der Datenbasis z. B. Kantinenessen berücksichtigt wird. Die Anteile der umgewandelten Flächen an der Gesamtflächennutzung sind relativ gering.

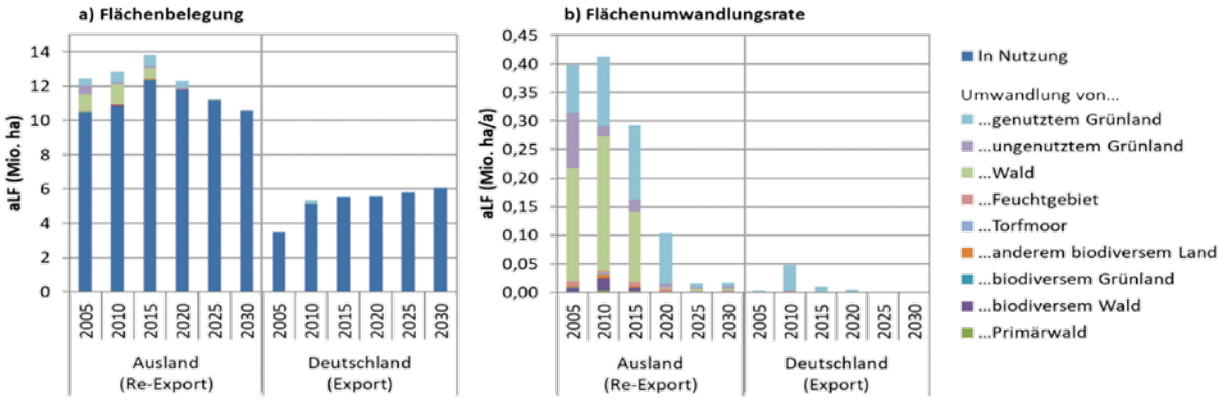
Zusätzlich zu der Flächenbelegung, die mit dem Konsum von Agrargütern in Deutschland verbunden ist, werden in- und ausländische Flächen auch für Exporte aus Deutschland genutzt. Die Flächenbelegung in Deutschland für Exporte nimmt voraussichtlich von unter 4 Mio. ha in 2005 auf knapp 6 Mio. ha in 2030 zu (Abb. 5.10 a, rechts). Für Biomasse, die nach Deutschland importiert, dort verarbeitet und wieder exportiert wird (Re-Exporte) sinkt die Flächenbelegung von über 12 Mio. ha bei anhaltenden Trends auf etwa 10,5 Mio. ha in 2030 (Abb. 5.10 a, links). Wie bereits für den inländischen Konsum festgestellt (Abb. 5.8), treten auch für Re-Exporte in den Jahren 2005 bis 2020 deutliche Flächenumwandlungen auf (Abb. 5.10 b).

*Abb. 5.9 | **Flächenbelegung für Importe nach Deutschland je Anbaukultur, Produktgruppe und Herkunftsregion***



Daten der Abb. 5.8a werden hier weiter aufgeschlüsselt. Sonstige Anbaukulturen = Zuckerpflanzen, Reis, Faserpflanzen, sonstige Feldfrüchte; Sonstige Nahrung inklusive Getränke, Tabak; sonstige Produktgruppen = Sonstige Produkte inklusive Bergbau, mineralische Produkte und Holz, Holzprodukte | Quelle: Öko-Institut, CESR, GWS auf Basis von EXIOBASE.

Abb. 5.10 | ***Globaler Agrarfußabdruck des deutschen Exports (a) absolute Flächenbelegung in Deutschland (Export) und im Ausland (Re-Export), (b) Flächenumwandlungsrate in Deutschland (Export) und im Ausland (Re-Export).***



Summenwerte für alle Herkunftsregionen inklusive Deutschlands, alle Anbaukulturen und alle Produktgruppen. Die zeitliche Auflösung beträgt 5-Jahresschritte | Quelle: Öko-Institut, CESR, GWS auf Basis von EXIOBASE

VARIATIONSBREITE DER TRENDPROJEKTION

Die künftige Entwicklung wichtiger Einflussfaktoren, die die Ausprägung der ökologischen Fußabdrücke bestimmen, ist mit Unsicherheiten verbunden, die zunehmen, je weiter man in die Zukunft schaut. Um die mögliche Variationsbreite der Trendprojektion bis 2030 abzubilden, wurden daher, ausgehend von einer als im Mittel erwartbaren Entwicklung, Variationen der Einflussgrößen in einer realistischen Spannweite angenommen.

Diese Bandbreiten ergeben sich aus

- der Variation der Ertragsänderungen,
- der Variation der Annahmen zur Ausbreitung von Siedlung und Verkehr sowie Flächennutzung für Wiedervernässung agrarischer Flächen,
- der möglichen Substitution von Importen durch zusätzlichen Anbau in Deutschland, und
- für den Wasserfußabdruck zusätzlich aus der Variation der Annahmen zur Änderung der Wasserintensität bei Ertragsänderung.

Je nach Projektion der Erträge ändert sich bis 2030 die Agrarfläche, die im In- und Ausland für die erwartete Nachfrage agrarischer Güter belegt würde.

Die inländische Produktion ist bei einer unterdurchschnittlichen Steigerung der Erträge sowie bei einer stärkeren Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen und der Flächen für Wiedervernässung geringer als im Mittel projiziert. Hieraus resultieren erhöhte Materialflüsse von importierten Agrargütern bzw. eine erhöhte Flächenbelegung im Ausland. Umgekehrt ist mit einer höheren inländischen Produktion mit verringerten Materialflüssen von importierten Agrargütern bzw. einer verringerten Flächenbelegung im Ausland zu rechnen. Die Vorgehensweise der multiregionalen Input-Output-Analyse für die Berechnung der Fußabdrücke bleibt dabei unverändert.

Für alle Länder außer Deutschland beruhen die Annahmen zu Ertragsänderungen auf einer Projektion für „Business As Usual“ der FAO (2018). Als Variationsspanne wurden +/–20 % angenommen. Für Deutschland wurden eigene Trendprojektionen für die Hauptfeldfrüchte auf der Basis linearer Regressionen für den Zeitraum 1995–2017 durchgeführt, die bis 2030 extrapoliert wurden. Ausgehend von der mittleren Projektion wurden +/–20 % angenommen. Diese Spanne berücksichtigt auch mögliche Ausweitungen des Ökolandbaus und damit verbundener etwas geringerer Erträge. Dem Trend der letzten 5–10 Jahre zufolge ist ein Anstieg des Ökolandbaus von ca. 1 Mio. ha in 2015 auf 2–3 Mio. ha in 2030 zu erwarten.

Für die Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsfläche wurde ausgehend von der mittleren Projektion, deren Entwicklung in Abschnitt 4.2 dargestellt wurde, ebenfalls eine Spanne von +/–20 % angenommen; für die Ausweitung der Wiedervernässung entspricht die Spanne von Minimal- bis Maximalabschätzung einer Variation von +/–34 % gegenüber der mittleren Trendprojektion.

Daraus ergeben sich folgende Variationsspannen für den Agrarfußabdruck (Tab. 5.1). Der Gesamtfußabdruck für die agrarische Produktion, die mit der Bioökonomie in Deutschland in Zusammenhang steht, würde im Mittel 45 Mio. ha betragen und sich in einem Schwankungsbereich von +/–14 bis 15 % bewegen. Die Schwankungsbreite wäre beim Fußabdruck des Konsums vergleichbar, beim Export jedoch leicht vermindert. Da die Parametervariation jeweils von Schwankungen von +/–20 % ausgegangen ist, lässt dieses Ergebnis die projizierten Ergebnisse als durchaus valide erscheinen.

*Tab. 5.1 | **Variationsspannen des projizierten Agrarfußabdrucks von Konsum, Export und Produktion in 2030***

MIO. HEKTAR	KONSUM IN DEUTSCHLAND	EXPORT (INKL. RE-EXPORT)	PRODUKTION
Maximal	*43,1*	*18,6*	*51,8*
Mittel	***37,6***	***16,7***	***45,0***
Minimal	*33,1*	*15,4*	*38,7*
Spanne um Mittel	*–12 % bis +15 %*	*–7,8 % bis +11 %*	*–14 % bis +15 %*

Mittel: Trendprojektion; Minimal: im Vergleich zur Trendprojektion +20 % Ertragssteigerung und –20 % weniger Flächennutzung für Siedlung bzw. –34 % Wiedervernässung agrarischer Fläche; Maximal: im Vergleich zur Trendprojektion –20 % Ertragssteigerung und +20 % mehr Flächennutzung für Siedlung bzw. 34 % mehr für Wiedervernässung agrarischer Fläche | Quelle: CESR, GWS, Öko-Institut

5.5 DER WASSERFUSSABDRUCK

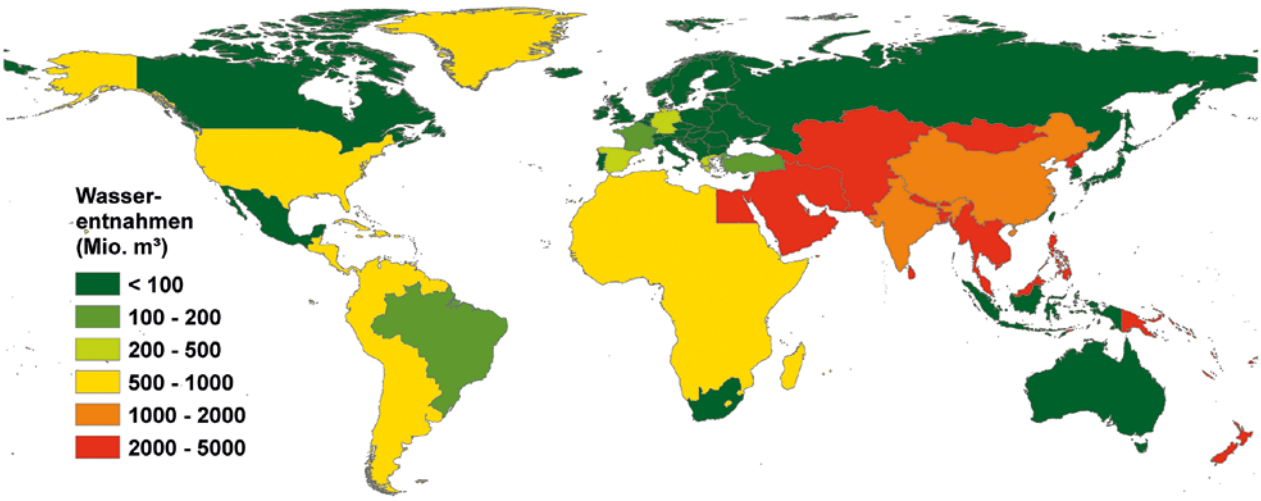
Der Wasserfußabdruck für den Konsum von biomassebasierten Gütern in Deutschland umfasst die im In- und Ausland aufgewendete Entnahme aus Gewässern für Bewässerung in der Landwirtschaft.

Der Wasserfußabdruck der deutschen Bioökonomie wurde mit Hilfe von EXIOBASE-Daten für die Jahre 1995, 2000, 2005 und 2010 sowie mit fortgeschriebenen Daten für 2015 analysiert. Die Trends der Nachfrage wurden wie beim Materialfußabdruck berücksichtigt.

Für die Beurteilung der Wasserverfügbarkeit in der Anbauregion wurden neben dem Bewässerungswasser die Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern oder aus Grundwasser (sog. „blaues Wasser") für Haushalte, Industrie und Viehhaltung berücksichtigt. Die Wasserentnahme wurde ins Verhältnis zur Wasserverfügbarkeit in der jeweiligen Anbauregion gesetzt („withdrawal-to-availability" wta Relation): Ist wta kleiner als 0,2, liegt kein Wasserstress vor; bei wta zwischen 0,2 und 0,4 geht man von einer mittleren Wasserstresssituation aus; und wenn wta gleich oder größer 0,4 ist (d. h. 40 % des verfügbaren Wassers oder mehr entnommen wird), muss von hohem Wasserstress ausgegangen werden.

Für die Abschätzung der künftigen Wirkung des Klimawandels wurden die zu erwartenden Veränderungen im Wasserdargebot[35] und die daraus erhöhten Erfordernisse von Bewässerung berücksichtigt.

Abb. 5.11 | ***Wasserfußabdruck für Bewässerung landwirtschaftlicher Güter, die 2015 in Deutschland konsumiert wurden***



Quelle: CESR

35 Das Wasserdargebot bezeichnet die Menge des in einer Region oder einem Flusseinzugsgebiet natürlicherweise verfügbaren Wassers. Es wird im Wesentlichen bestimmt durch Zuflüsse, Niederschlag und Verdunstung.

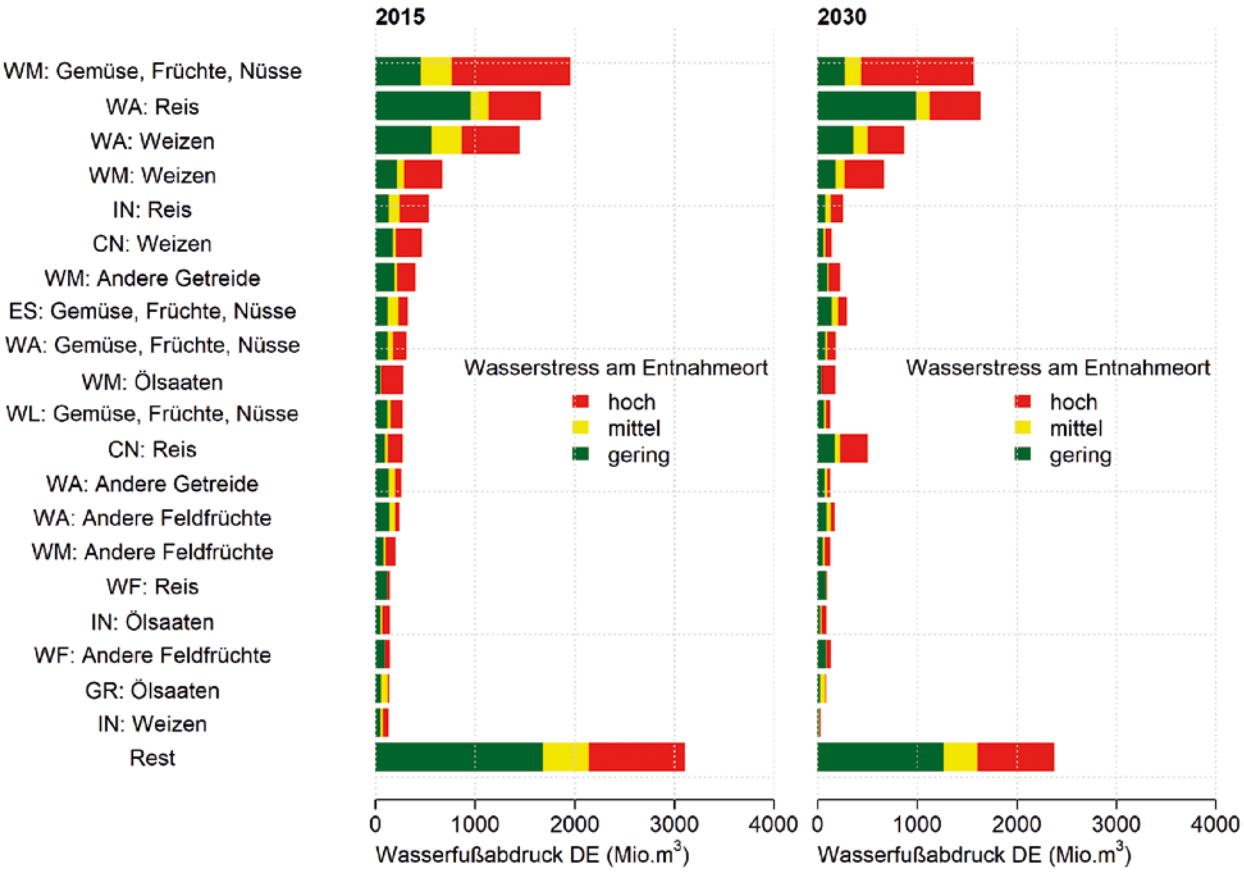
Die größten Mengen an Bewässerungswasser für deutsche Agrarimporte werden in Zentralasien und Südostasien aufgewandt (Abb. 5.11). Dies betrifft insbesondere den Anbau von Reis, Baumwolle, Weizen sowie Früchten und Gemüse (Abb. 5.12).

An zweiter Stelle der Mengen an Bewässerungswasser liegt der Nahe Osten (Abb. 5.11). Von dort werden insbesondere Früchte und Gemüse importiert (Abb. 5.12). Allein für die in Deutschland verbrauchten Kartoffeln, Tomaten und Pistazien werden dort rund 61.000 Hektar bewässert.

Die wichtigsten Anbauländer in dieser Region sind Iran, Ägypten und Irak. Die drei Länder nutzen insgesamt etwa 3,4 Mio. ha bewässerte Anbaufläche, wovon etwa 6 % auf Produkte, die in Deutschland konsumiert werden, entfallen.

In dieser Region ist der Wasserstress besonders hoch. Knapp zwei Drittel des für deutschen Konsum aufgewendeten Bewässerungswassers wird dort in Gebieten mit hohem Wasserstress eingesetzt (Abb. 5.12).

*Abb. 5.12 | **Aufwand an Bewässerungswasser für den deutschen Konsum nach Herkunftsregion und Feldfruchtklasse (Herkunftsregion: Feldfruchtklasse), differenziert nach Wasserstress am Ort der Wasserentnahme***



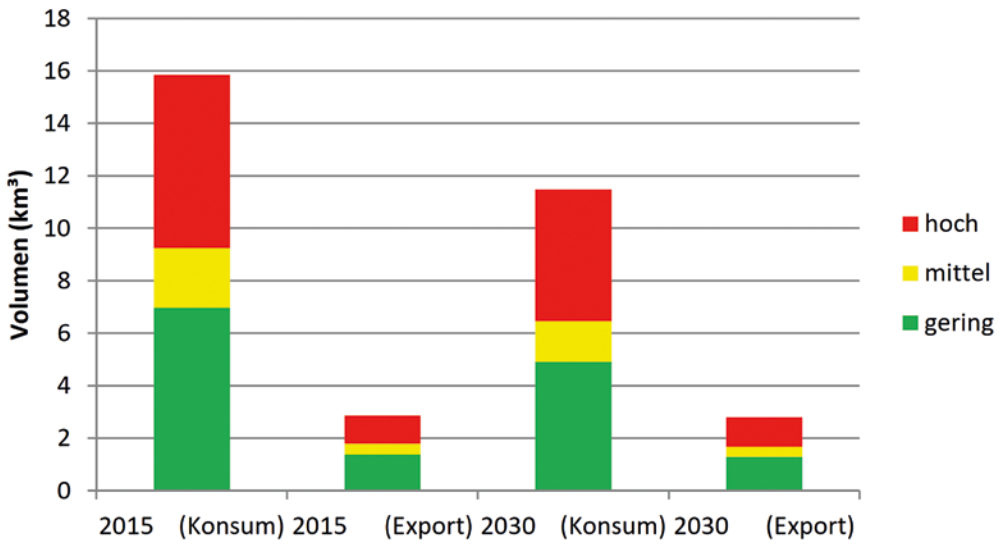
WM: Naher Osten., WA: Asien und Pazifkraum., WF: Afrika, WL: Lateinamerika, CN: China, IN: Indien, ES: Spanien, GR: Griechenland. Siehe auch Abkürzungsverzeichnis | Quelle: CESR

Im Zuge des Klimawandels werden sich die Niederschlagsmengen in den Weltregionen und damit die Wasserverfügbarkeit ändern. In ariden Regionen wird die Notwendigkeit der Bewässerung häufig zunehmen. Die Modellierung der Trendprojektion lässt bis 2030 erwarten, dass sich die globalen Wasserentnahmen für Bewässerung im Vergleich zu 2015 (ca. 1935 km³) um bis zu ca. 21 % erhöhen werden. Veränderte Importmuster in der Trendprojektion führen jedoch dazu, dass sich der Wasserfußabdruck des deutschen Konsums im Vergleich zu 2015 um 28 % verringern dürfte (von 15,9 km³ auf 11,5 km³). Für den Wasserfußabdruck der deutschen Produktion ist ein geringerer Rückgang um etwa 24 % zu erwarten, weil der Wasserfußabdruck der deutschen Exporte voraussichtlich nur um ca. 3 % (von 2,9 km³ auf 2,8 km³) absinken wird (Abb. 5.13). Bezogen auf die Einwohnerzahlen ergibt sich für den Wasserfußabdruck des deutschen Konsums ein Wert von 192 m³ pro Person in 2015, der bis 2030 voraussichtlich auf ca. 140 m³ pro Person abnehmen wird.

Insgesamt wird für alle in Deutschland konsumierten Agrargüter, die auf Bewässerung angewiesen sind, zu 42 % Wasser aus Hochstressregionen eingesetzt. Dieser Anteil ist annähernd so hoch wie der Anteil der Wasserentnahmen in Gebieten mit ausreichendem Wasserdargebot (44 %) (Abb. 5.13). Dies betrifft sowohl die Wasserentnahme insgesamt als auch den Wasserverbrauch (ca. 40 % der Entnahmen), also jenen Teil der Entnahme, der nicht wieder den Gewässern zugeführt wird, sondern durch Verdunstung für das jeweilige Gebiet verloren ist.

Die Anteile der mit dem Konsum verbundenen Wasserentnahmen aus Bereichen mit unterschiedlichem Wasserstressniveau werden sich von 2015 bis 2030 etwas verschieben. Der Rückgang des Wasserfußabdrucks ist in Gebieten mit geringem Wasserstress stärker (30 %) als in Gebieten mit hohem Wasserstress (24 %).

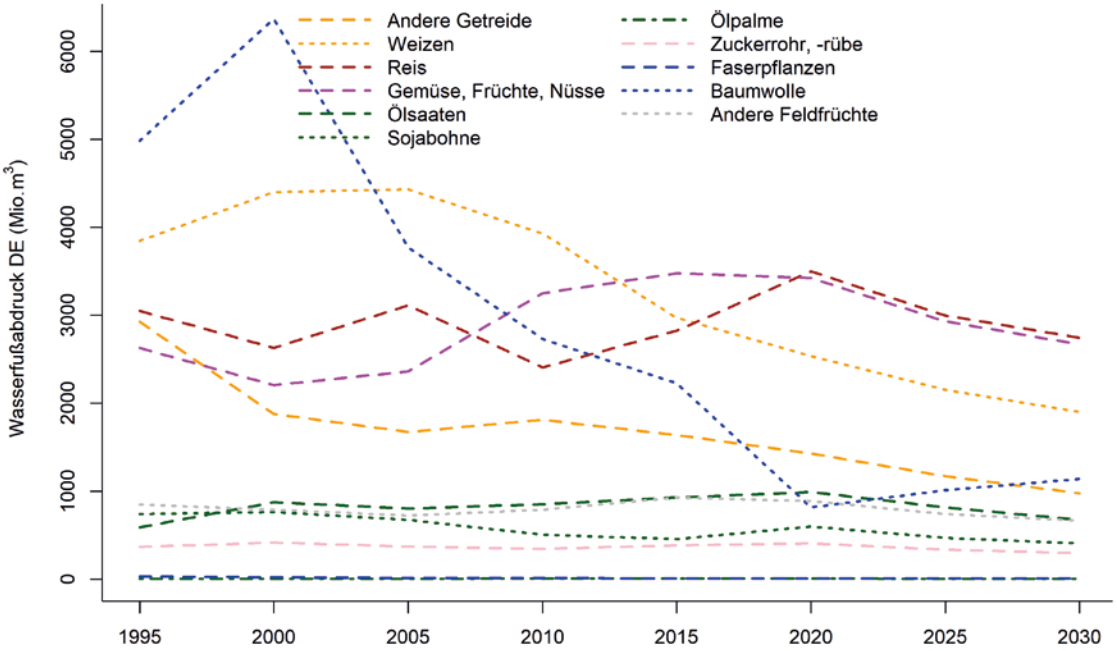
Abb. 5.13 | ***Vergleich des Wasserfußabdrucks für den Konsum und den Export Deutschlands in 2015 und 2030, unterteilt nach Wasserstressniveau am Ort der Wasserentnahme***



Quelle: CESR

Betrachtet man den Bewässerungsaufwand für die verschiedenen Feldfrüchte, die von Deutschland seit 1995 bezogen werden, so fallen zwei Trends ins Auge (Abb. 5.14). Zum einen ist der Wasserfußabdruck der konsumierten Baumwolle deutlich gesunken. Dies beruht auf einem Rückgang der Importe um mehr als 45 % und einem steigenden Anteil der Importe aus Bezugsregionen mit geringerem Wassereinsatz pro produzierter Menge Baumwolle. Zum anderen ist bis 2015 der Wasserfußabdruck für Importe von Gemüse, Früchten und Nüssen um 60 % gestiegen. Es steht auf Grund sich verändernder Konsummuster zu erwarten, dass von 2020 bis 2030 für die meisten Feldfrüchte ein abnehmender Trend einsetzt, der zu Reduktionen um 22 % (Reis, Gemüse, Früchte und Nüsse) bis zu 35 % (Ölpalmprodukte) führt. Ab 2020 zunehmende Tendenz lassen die Wasserfußabdrücke für Baumwolle (+40 %) und sonstige Faserpflanzen (+3 %) erwarten.

*Abb. 5.14 | **Entwicklung des Wasserfußabdrucks Deutschlands nach Feldfruchtklassen***

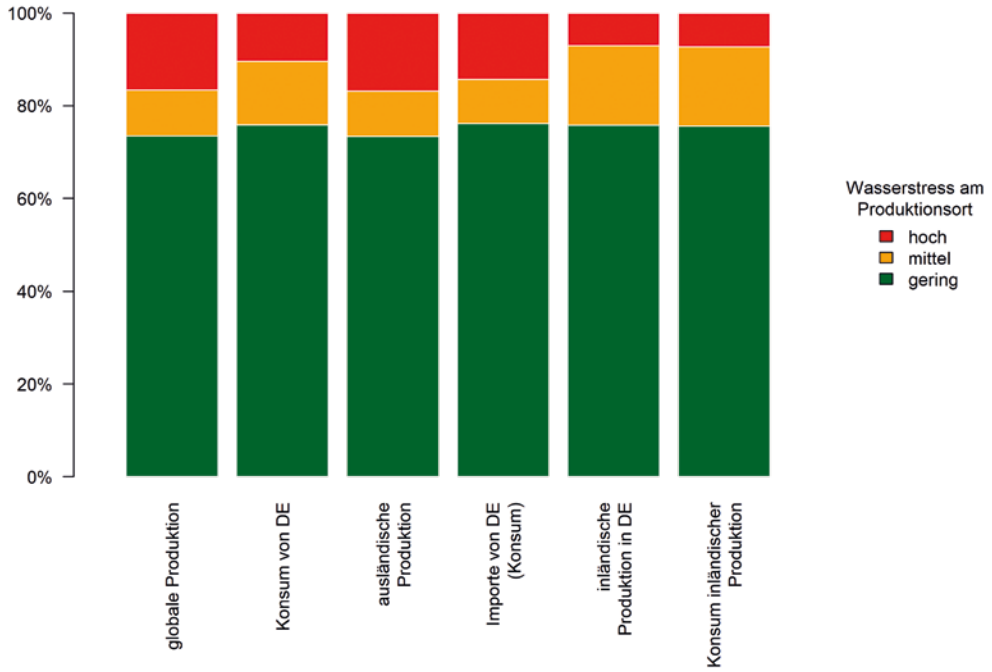


Quelle: CESR

In Deutschland spielt die Bewässerung bislang nur eine untergeordnete Rolle. Dies kann sich bei weiter verstärkten Wetterextremen in den kommenden Jahren ändern. Die östlichen Bundesländer erhalten auf Grund ihrer geografischen Lage im Schnitt deutlich weniger Niederschlag als die westlichen. Die Gesamtproduktion agrarischer Güter innerhalb von Deutschland ist aktuell nur zu 25 % wasserstressgefährdet und zu 7 % hoch wasserstressgefährdet (Abb. 5.15).

Das Wasserstressmuster der deutschen Importe spiegelt im Wesentlichen das der weltweiten Agrarwirtschaft wider. Es fällt etwas günstiger aus, da Deutschland auch von europäischen Nachbarn mit eher geringem Wasserstress Agrargüter bezieht. Der Konsum agrarischer Güter, die aus dem Inland stammen, ist mit etwas höherem Wasserstress verbunden als die inländische Produktion, was damit zusammenhängt, dass die deutschen Exporte eher aus Regionen mit weniger Wasserstress stammen.

Abb. 5.15 | ***Anteile landwirtschaftlicher Produktion von Feldfrüchten nach Wasserstressklasse im Anbaugebiet (bewässerte und nicht bewässerte Flächen) weltweit und nach Konsum, ausländischer Produktion, Importen und inländischer Produktion und Konsum davon***



Quelle: CESR

VARIATIONSBREITE DER TRENDPROJEKTION

Die Erfordernisse der Bewässerung zur Deckung des agrarischen Bedarfs basieren auf der Flächenbelegung im In- und Ausland. Daher sind die oben geschilderten Parametervariationen auch hierfür grundlegend (Abschnitt 5.3).

Zusätzlich wurden für den Wasserfußabdruck die Annahmen zur Änderung der Wasserintensität bei Ertragsänderung variiert. In der mittleren Variante wurden der Wasserbedarf der Pflanze pro Flächeneinheit und auch die Bewässerungseffizienz als konstant angenommen. Diese Variante wurde als Grundlage der oben ausgeführten Ergebnisse herangezogen.

Für eine Maximalabschätzung wurde angenommen, dass der Wasserbedarf pro Flächeneinheit mit dem Ertrag steigt, während die Bewässerungseffizienz gleichbleibt. Für eine Minimalabschätzung wurde angenommen, dass der Wasserbedarf der Pflanzen pro Flächeneinheit konstant bleibt und die Bewässerungseffizienz um den gleichen Faktor wie der Ertrag steigt, jedoch auf maximal 90 % begrenzt bleibt.

Daraus ergeben sich für den Wasserfußabdruck folgende Variationsspannen (Tab. 5.2). Diese sind deutlich höher als jene des Agrarfußabdrucks, nicht zuletzt, weil sie auf dessen Variationsbreite aufbauen und diese durch die Unsicherheiten bei der Entwicklung von Bewässerungseffizienz und Wasserbedarf der Pflanzen noch erhöht. Das bedeutet, dass die Wasserfußabdrücke von Konsum, Export und Produktion bis 2030 um die Hälfte geringer oder bis zu einem Drittel höher ausfallen könnten als in der mittleren Projektion.

*Tab. 5.2 | **Variationsspannen des projizierten Wasserfußabdrucks von Konsum, Export und Produktion agrarischer Güter in 2030***

WASSERENTNAHME MIO. M³	KONSUM	EXPORT	PRODUKTION
Maximal	*15.132*	*3.579*	*18.711*
Mittel	***11.482***	***2.786***	***14.269***
Minimal	*5.421*	*1.269*	*6.689*
Spanne um Mittel	*–53 % bis +32 %*	*–54 % bis +28 %*	*–53 % bis +31 %*

Quelle: CESR, GWS, Öko-Institut

5.6 DER KLIMAFUSSABDRUCK

Die Bundesregierung hat sich laut Deutscher Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) zum Ziel gesetzt, die Emissionen von Treibhausgasen (THG)[36] in Deutschland, also nach dem Territorialkonzept, bis zum Jahr 2020 um mindestens 40 % (gegenüber 1990) zu senken. Für 2030 lautet das entsprechende Minderungsziel mindestens 55 %. In dem der DNS zu Grunde liegenden Indikatorkonzept finden weder Emissionen/Absorptionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF), noch Emissionen aus Seeschifffahrt und internationalem Luftverkehr Berücksichtigung. Diese werden auch nachfolgend nicht berücksichtigt.

Die CO_2-Emissionen aus der energetischen Verwendung von Biomasse werden weder in der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) noch in der DNS betrachtet, da diese Emissionen aufgrund des vorher bei der Photosynthese der Pflanzen der Atmosphäre entnommenen Kohlendioxids netto nicht zur Klimabelastung beitragen. Sie werden hier zur Information und als Vergleichsgröße separat ausgewiesen, jedoch nicht in die Berechnung des Klimafußabdrucks einbezogen.

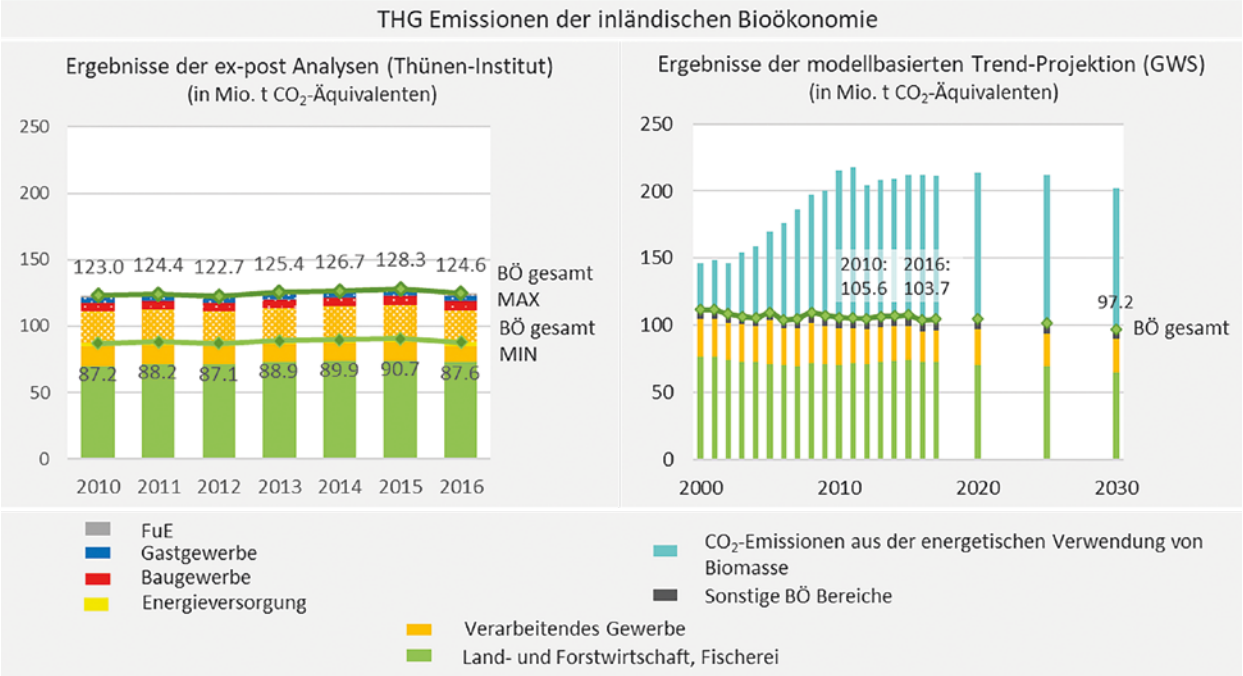
Die linke Grafik in Abbildung 5.16 zeigt in diesem Kontext zunächst, dass sich die gesamten THG-Emissionen der inländischen Bioökonomie auf Grundlage der Berechnungen des Thünen Instituts für die Jahre 2010 bis 2016 in einer Bandbreite von 87 bis 128 Mio. t CO_2-Äquivalenten bewegt haben. Im Gegensatz zu den gesamten THG-Emissionen Deutschlands, für die in diesem Zeitraum ein Rückgang um 3,4 % zu beobachten war, stiegen die Emissionen der Bioökonomie leicht an. Der Großteil entfiel hierbei auf die THG-Emissionen der Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei. Mit einem Anteil von mindestens 9 % bis maximal 13 % an den gesamten THG-Emissionen kommt der Bioökonomie ein höheres Gewicht zu als ihrer ökonomischen Bedeutung entsprechen würde. In der rechten Grafik der Abbildung werden diese Ex-post-Analysen den Abschätzungs- und Modellergebnissen der GWS zum selben Sachverhalt für den gesamten Zeitraum von 2000 bis 2030 gegenübergestellt. Für den Zeitraum von 2010 bis 2016 zeigt sich, dass diese auf anderen Daten und Methoden fußenden Ergebnisse, die zudem (bis dato) auf die Quantifizierung eines Unsicherheitsbereichs verzichten, sich sehr gut in die vom Thünen-Institut aufgezeigte Bandbreite einpassen.

36 Zu den Treibhausgasen zählen Kohlendioxid (CO2), Methan (CH4), Lachgas (N2O), Stickstofftrifluorid (NF3), teil-halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC) sowie Schwefelhexafluorid (SF_6).

Zudem ergänzt die rechte Grafik die Darstellung um die CO_2-Emissionen aus der energetischen Verwendung von Biomasse. Diese Emissionen werden in den Berichterstattungen gemäß Klimarahmenkonvention nicht erfasst, sind aber durchaus Gegenstand des THG Berichtswesens im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes[37].

Die modellbasierte Trendprojektion lässt erwarten, dass sich die THG-Emissionen der inländischen Bioökonomie ohne effektive zusätzliche Maßnahmen kaum verringern werden.

*Abb. 5.16 | **Beitrag der Bioökonomie zu den inländischen THG Emissionen***



Quelle: historische Werte Thünen Institut und GWS, Projektionen GWS

Die folgende Abb. 5.17 verdeutlicht den Beitrag der Bioökonomie zur Entwicklung der THG-Emissionen aus verschiedenen Perspektiven historisch und in der Trendprojektion insgesamt. Die linke Grafik zeigt die inländischen THG-Emissionen, wie sie in der internationalen Berichterstattung nach Territorialkonzept bislang üblich sind. Die Emissionen der gesamten Volkswirtschaft (grau) gehen deutlich weniger stark zurück, als (rot) angestrebt wird. Die THG-Emissionen der Bioökonomie bleiben bis 2030 weitgehend unverändert (dunkelgrün), und auch ihr Anteil (hellgrün, rechte Achse) bleibt in einer Größenordnung von etwa 12 %.

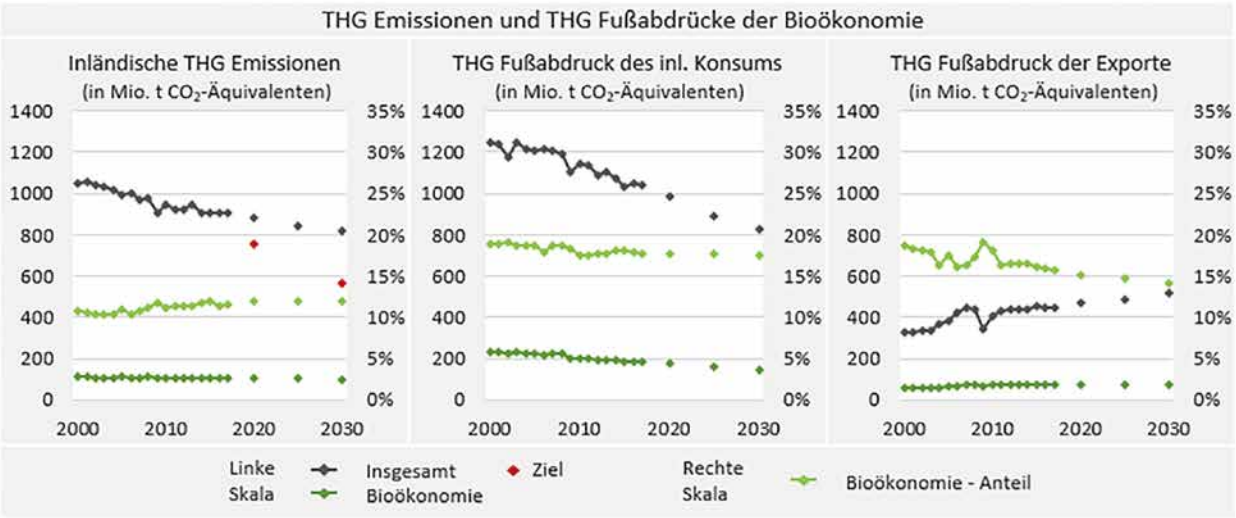
Die mittlere Grafik der Abbildung verdeutlicht, dass der Klimafußabdruck des deutschen Konsums[38] die gesamten territorialen THG Emissionen deutlich übersteigt. Das liegt daran, dass quasi ein Nettoimport von THG-Emissionen besteht, der zusätzlich zu den inländischen Emissionen angerechnet wird. Jedoch ist mit einer Annäherung von territorialen Emissionen und Klimafußabdruck bis 2030 in der Trendprojektion zu rechnen,

37 Gegenwärtig ist unklar, ob und ggfs. in wie weit diese Emissionen zu den THG Emissionen der Bioökonomie zu zählen sind. Im Extremfall, also bei kompletter Zuordnung zur Bioökonomie, würden sich die THG-Emissionen der Bioökonomie auf über 200 Mio. t in etwa verdoppeln.

38 Globale THG Emissionen aufgrund der gesamten inländischen Endnachfrage in Deutschland.

jener Nettoimport dürfte auf Grund von veränderten Produktions-, Konsum- und Handelsmustern also zurückgehen. Der Anteil der Bioökonomie am gesamten Klimafußabdruck des deutschen Konsums liegt mit knapp einem Fünftel (18 %) deutlich höher als der Anteil ihrer Emissionen allein auf deutschem Territorium (12 %). Das bedeutet, dass die Bioökonomie nicht nur bei territorialer Betrachtung im Verhältnis zu ihrem ökonomischen Beitrag zur Gesamtwirtschaft eine überdurchschnittliche Klimabelastung aufweist, sondern auch, dass der Konsum biobasierter Güter einen noch größeren Anteil an allen verbrauchsbedingten THG-Emissionen aufweist.

Abb. 5.17 | ***THG Emissionen und Klima-Fußabdrücke der deutschen Bioökonomie: (a) inländische THG Emissionen, (b) THG Fußabdruck des inländischen Konsums und (c) THG Fußabdruck der Exporte***



Quelle: GWS

Die rechte Grafik stellt die THG-Emissionen dar, die mit dem Export von in Deutschland produzierten Gütern verbunden sind. Sie sind mit rund 450 Mio. t THG-Äquivalenten am aktuellen Rand deutlich niedriger als die inländischen und konsumbedingten Emissionen. In der Trendprojektion steigt der gesamte THG-Fußabdruck aller deutschen Exporte auf 518 Mio. t THG-Äquivalente im Jahr 2030 an. Für die Exporte der Bioökonomie bleibt der THG-Fußabdruck weitgehend unverändert, sodass der Anteil (hellgrün) von rund 16 % in der Historie auf 14 % im Jahr 2030 sinkt.

Dass die THG Emissionen der Landwirtschaft ganz wesentlich für die THG Emissionen der Bioökonomie sind, wurde bereits deutlich. Die Abbildung 5.18 zeigt, welche Ernährungsgüter für die territorialen und Fußabdruck bezogenen Indikatoren besonders relevant sind. Die Abbildung entspricht der Abbildung 5.17, wobei nur die Nahrungs- und Futtermittel und nicht die Bioökonomie insgesamt betrachtet werden.

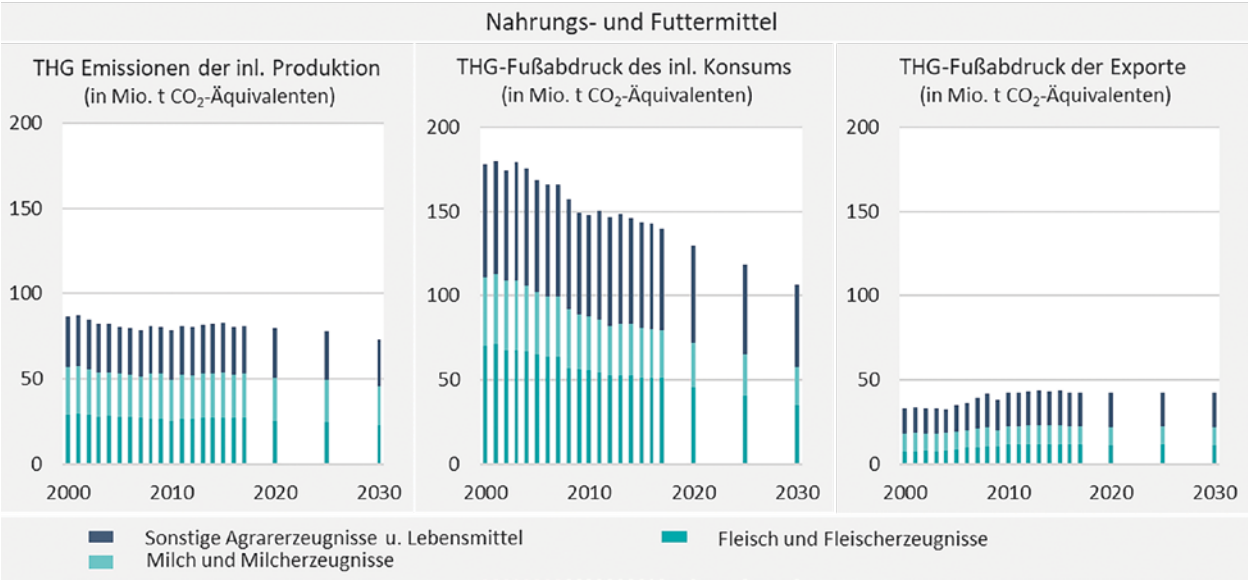
Die THG Emissionen der inländischen Produktion sind zu etwa gleichen Teilen mit Fleisch und Fleischerzeugnissen, Milch und Molkereiprodukten und sonstigen Agrarerzeugnissen und Lebensmitteln verbunden (Abb. 5.18 a). In der Trendprojektion ändert sich daran nur wenig.

Der Klimafußabdruck der inländischen Nachfrage (Abb. 5.18 b) übersteigt die inländischen THG-Emissionen der Produktion dieser Güter deutlich. Dies wird insbesondere bedingt durch die Emissionen, die bei der Produktion von importierten Futtermitteln und Fleischwaren entstehen.

Seit 2000 ist der Trend des Klimafußabdrucks der in Deutschland konsumierten Nahrungsmittel leicht rückläufig (–1,4 % p. a.). In der Trendprojektion ergibt sich eine weitere Verminderung bis 2030 um ca. 24 % gegenüber 2017. Ursächlich hierfür ist insbesondere, dass national wie international von (weiteren) Energieeffizienz-Fortschritten und einer (moderaten) Energiewende hin zu erneuerbaren Energien auszugehen ist.[39] Auch in 2030 würde der Klimafußabdruck der inländischen Nachfrage die inländischen THG Emissionen erheblich (+45 %) übersteigen, jedoch deutlich weniger markant als noch zur Jahrtausendwende. Die Anteile der Erzeugnisse am Ernährungs-Klimafußabdruck verschieben sich gegenüber dem Jahr 2017 bis 2030 voraussichtlich etwas von Fleisch (von 37 % auf 33 %) hin zu sonstigen Agrarerzeugnissen und Lebensmitteln (von 43 % auf 46 %).

Der THG-Fußabdruck der deutschen Nahrungs- und Futtermittelexporte (Abb. 5.18 c) bleibt mit 42–43 Mio. t THG-Äquivalente zwischen 2017 und 2030 in der Trendprojektion nahezu unverändert. Auch an der Struktur ändert sich voraussichtlich wenig.

Abb. 5.18 | ***THG Emissionen der (a) Nahrungs- und Futtermittelproduktion in Deutschland, (b) Klimafußabdruck des deutschen Konsums und (c) der Exporte von Nahrungsmitteln. Historische Trends bis 2017, Projektionen bis 2030***



Quelle: GWS

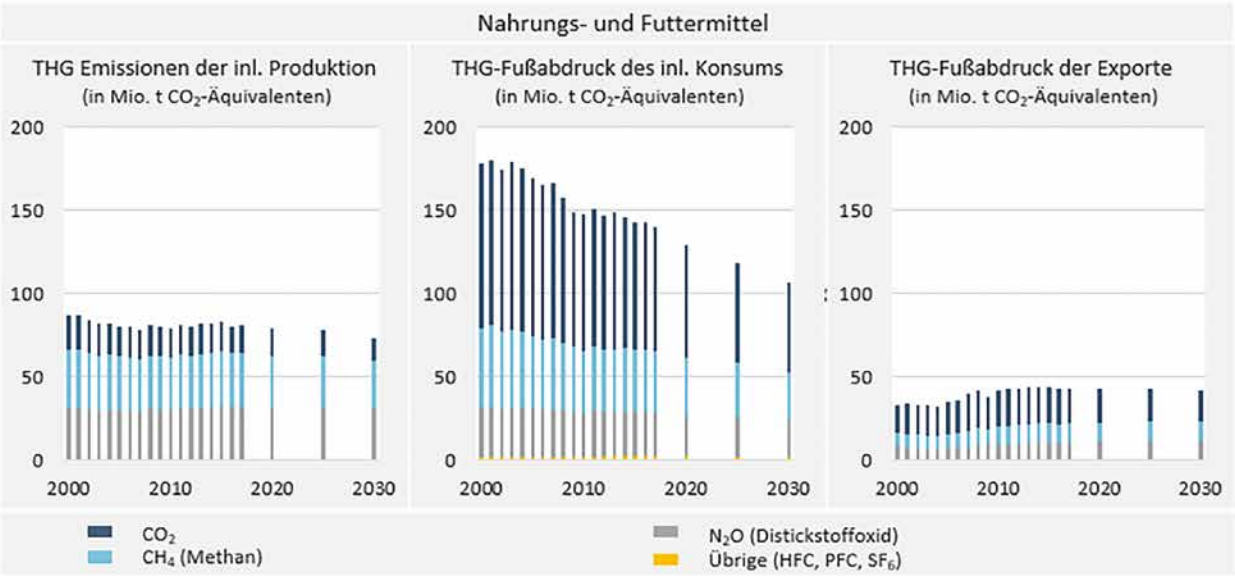
39 In Anlehnung an den sozioökonomischen Pfad (SSP: Shared Socioeconomic Pathways) „Middle of the Road".

Die THG-Emissionen durch Nahrungs- und Futtermittel lassen sich auch nach den verschiedenen Treibhausgasen unterteilen. Danach machen Methan und Lachgas bzw. Distickstoffoxid (N_2O) den größten Teil an den entsprechenden inländischen THG Emissionen aus (Abb. 5.19 a). Methan stammt vorwiegend aus der Tierhaltung. Lachgas kommt vor allem von vernässten Ackerflächen, wo stickstoffhaltige Dünger durch Mikroorganismen in das flüchtige N_2O umgewandelt werden.

Das Bild ändert sich beim THG-Fußabdruck des Konsums deutlich (Abb. 5.19 b). CO_2 macht im Jahr 2017 fast 50 % der Emissionen aus. Zwar wird im Ausland auch vermehrt Methan und ein wenig mehr Lachgas für deutsche Nahrungs- und Futtermittel ausgestoßen, besonders bei der Verarbeitung und im Transport fallen im Ausland aber vor allem CO_2-Emissionen an.

Bei den Exporten macht CO_2 knapp die Hälfte der Emissionen aus (Abb. 5.19 c). In Zukunft verändern sich die Emissionen des Exports in der Trendprojektion kaum.

Abb. 5.19 | ***Beitrag der wichtigsten Klimagase zu (a) den territorialen THG Emissionen der Nahrungs- und Futtermittelproduktion und (b) dem Klimafußabdruck der Nachfrage nach sowie (c) der Exporte von Nahrungs- und Futtermittelprodukten***



Quelle: GWS

6

FAZIT

6 FAZIT

Der Pilotbericht hat gezeigt, wie wichtige Ausprägungen der deutschen Bioökonomie abgebildet werden können. Es wird deutlich, dass neben der Produktionsseite auch der Konsum und der Außenhandel biobasierter Güter und ihre ökologischen Auswirkungen im In- und Ausland betrachtet werden müssen.

Im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung konnten positive und negative Trends festgestellt werden. Wenn der bisherige Trend zu weniger fleischbasierter Ernährung anhält, so wird sich das günstig auf einen verringerten Agrarflächenfußabdruck auswirken. Veränderte Konsummuster könnten auch zu einer Verringerung des Wasserfußabdrucks führen, wenngleich der Anteil der Importe aus Regionen mit hohem Wasserstress tendenziell eher steigt. Auch werden die Treibhausgasemissionen durch die Erzeugung biobasierter Güter – vorwiegend in der landwirtschaftlichen Produktion – ohne effektive Minderungsmaßnahmen im Vergleich zum sozioökonomischen Gewicht der Bioökonomie überproportional hoch bleiben.

Mit dem Pilotbericht wurde die Grundlage für ein kontinuierliches Monitoring der Bioökonomie gelegt. Für eine regelmäßige Berichterstattung ist es jedoch erforderlich, dass die Datenbasis konsolidiert und das Analyseinstrumentarium weiter verfeinert werden.

7

LITERATUR

7 LITERATUR

AGEB – AG Energiebilanzen (2019): Energie in Zahlen. [https://ag-energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html; Zugriff 20. Januar 2020]

AGEE STAT – Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (2019). Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J., Smith, P., & Haines, A. (2016). The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: a systematic review. PloS one, 11(11).

Becker, A., Peters, D., Kemnitz, D. (2018): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Gülzow: FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V).

Billig, E., Budzinski, M., Borchers, M., Moesenfechtel, M., Thrän, D. (2020). SYMOBIO Arbeitspapier, Ergebnisse WP 3.6, UFZ

BMBF (2016) Bundesbericht Forschung und Innovation 2016. Ergänzungsband 1: Daten und Fakten zum deutschen Innovationssystem, Berlin/Bonn: BMBF.

BMBF (2018) Datenband Bundesbericht Forschung und Innovation 2018. Daten und Fakten zum deutschen Forschungs- und Innovationssystem, Berlin/Bonn: BMBF.

BMEL (2017): Daten und Fakten. Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft mit Fischerei und Wein- und Gartenbau. BMEL, Berlin.

Blind, K.; Edler, J.; Frietsch, R.; Schmoch, U. (2006): Motives to patent: Empirical evidence from Germany. Research Policy, Vol. 35, S. 655–672.

Bringezu, S., Kaiser, S., Turnau, S. (2020): Zukünftige Nutzung von CO_2 als Rohstoffbasis in der deutschen Chemie- und Kunststoffindustrie. Eine Roadmap. Hrsg. von CESR, Universität Kassel, erstellt im Begleitforschungsprojekt zum BMBF Programm CO_2plus. DOI: 10.17170/kobra-202002211019

Bringezu, S., Potočnik, J., Schandl, H., Lu, Y., Ramaswami, A., Swilling, M., Suh, S. (2016): Multi-Scale Governance of Sustainable Natural Resource Use – Challenges and Opportunities for Monitoring and Institutional Development at the National and Global Level. Sustainability 8 (8), pp. 778. DOI: 10.3390/su8080778.

Brosowski A., Thrän D., Mantau U., Mahro B., Erdmann G., Adler P., Stinner W., Reinhold G., Hering T., Blanke C. (2016): A review of biomass potential and current utilisation – Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany. Biomass Bioenergy, 95, pp. 257–272.

Brosowski, A., Krause, T., Mantau, U., Mahro, B., Noke, A., Richter, F., Raussen, T., Bischof, R., Hering, T., Blanke, C., Müller, P., Thrän, D. (2019a): Schlussbericht zum Vorhaben Arbeitsgruppe Biomassereststoffmonitoring (AG BioRestMon), [https://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22019215.pdf; Zugriff 22. April 2020]

Brosowski, A.; Krause, T.; Mantau, U.; Mahro, B.; Noke, A.; Richter, F.; Raussen, T.; Bischof, R.; Hering, T.; Blanke, C.; Müller, P.; Thrän, D. (2019b): How to measure the impact of biogenic residues, wastes and by-products: Development of a national resource monitoring based on the example of Germany. Biomass Bioenergy 2019, 127, 105275.

Bundesregierung (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. Berlin.

Bundesregierung (2019a): Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. [https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxnw7wq/Projektionsbericht-der-Bundesregierung-2019.pdf; Zugriff 22. April 2020]

Bundesregierung (2019b): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. [https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1; Zugriff 22. April 2020]

Busch, R. (2018): Sektorstudie zum Aufkommen und zur stofflichen und energetischen Verwertung von Ölen und Fetten in Deutschland (2011–2016), Erstellt im Rahmen des BMEL-Auftrages: „Erhebung, Aufbereitung und Analyse statistischer Daten zum Anbau und zur Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe und Energiepflanzen in Deutschland sowie Weiterentwicklung von Methoden hierzu (NRstat)“ FKZ 22004416.

Challinor, A. J. et al. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. Nat. Clim. Change 4, 287–291 (2014).

DBI (2017): KonStGas – Integration fluktuierender erneuerbarer Energien durch konvergente Nutzung von Strom- und Gasnetzen – Konvergenz Strom- und Gasnetze –. Freiberg: DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg.

DESTATIS (1) (2015): Earnings survey. Sonderauswertung auf Anfrage, erhalten am 01. Mai 2018.

DESTATIS (2) (2010): Earnings survey. Sonderauswertung auf Anfrage, erhalten am 01. Mai 2018.

DESTATIS (3) (2014): Structural Earnings survey. Sonderauswertung auf Anfrage, erhalten am 05. Juni 2018.

DESTATIS (4) (2018b): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Fachserie 18, Reihe 1.4, Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse. [https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/_inhalt.html#sprg233858; Zugriff 18. Oktober 2019]

DESTATIS (2018b): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2018. Statistisches Bundesamt.

Distelkamp, M. & Meyer, M. (2018): Langfristszenarien und Potenziale zur Ressourceneffizienz in Deutschland im globalen Kontext – quantitative Abschätzungen mit dem Modell GINFORS. Modelle, Potentiale und Langfristszenarien für Ressourceneffizienz (SimRess) – Bericht 2. UBA Texte 50/2018, Dessau-Roßlau.

Distelkamp, M., Meyer, M. & Meyer, B. (2017): On the Road to a Resource Efficient Europe: Recent Findings from POLFREE Research. In: Ludwig, C. & Matasci, C. (eds.): Boosting Resource Productivity by Adopting the Circular Economy, pp. 26–35.

Egenolf, V., Bringezu, S. (2019): Conceptualization of an Indicator System for Assessing the Sustainability of the Bioeconomy. Sustainability 11, 443.

EPAL (2019): Hardfacts System. Online verfügbar unter https://www.epal-pallets.org/das-erfolgssystem/epal-system/, Zugriff 06. Mai 2019.

Eurostat (1), Structural Business Statistics. Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) (sbs_na_ind_r2), Zugriff 02. Februar 2018.

Eurostat (2), Labor Force Survey, Employment in forestry and forest-based industry (for_emp_lfs), Zugriff 02. Februar 2018.

Eurostat (3), Structural Business Statistics. Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) (sbs_na_ind_r2), Zugriff 01. Oktober 2019.

Eurostat (4), Employment by sex, age and detailed economic activity, Sonderauswertung auf Anfrage, erhalten am 16. Juni 2019.

FAO (2018) The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome. 224 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. [http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf; Zugriff 22. April 2020]

FEFPEB (2019): Facts & Figures. Hg. v. European Federation of Wooden Pallet and Packaging Manufacturers. [https://www.fefpeb.eu/cms/files/Factsheets/facts-figures.pdf; Zugriff 17. Mai 2019]

Flaute, M., Lutz, C., Distelkamp, M. (2017): Der Einsatz von MRIO zur Berechnung der Fußabdrücke von Nationen – Eine Anwendung der EXIOBASE-Datenbank. GWS Discussion Paper 2017/7, Osnabrück.

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., Giljum, S. (2012): Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a "Footprint Family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. Ecol. Indic. 2012, 16, 100–112.

Gawel, E., Purkus, A., Pannicke, N., Hagemann, N. (2016): Die Governance der Bioökonomie – Herausforderungen einer Nachhaltigkeitstransformation am Beispiel der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland. UFZ-Diskussionspapier, 32, Umweltforschungszentrum Leipzig, Leipzig.

Gerhardt, N., Sandau, F., Scholz, A., Hahn, H., Schumacher, P., Sager, C., Bergk, F., Kämpfer, C. (2015): Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr. Kassel: Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Fraunhofer IBP), IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung, Stiftung Umweltenergierecht.

Harthan, R.O., Repenning, J., Blanck, R., Böttcher, H., Bürger, V., Emele, L. et al. (2020). Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 (Kurzbericht). Teilbericht des Projektes „THG-Projektion: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der EU-Effort Sharing Decision im Projektionsbericht 2019 („Politikszenarien IX")". CLIMATE CHANGE 12/2020. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-05_climate-change_12-2020_treibhausgasminderungswirkungen-klimaschutzprogramm-2030.docx_.pdf; Zugriff 22. April 2020]

Hübener, H., Bülow, K., Fooken, C., Früh, B., Hoffmann, P., Höpp, S., Keuler, K., Menz, C., Mohr, V., Radtke, K., Ramthun, H., Spekat, A., Steger, C., Toussaint, F., Warrach-Sagi, K., Woldt, M. (2017): ReKliEs-De. Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland. Ergebnisbericht. [DOI: 10.2312/WDCC/ReKliEsDe_Ergebnisbericht]

Holzhammer, U., Krautkremer, B., Jentsch, M., Kasten, J. (2016): Beitrag von Biogas zu einer verlässlichen erneurbaren Stromversorgung. Kassel: Fraunhofer IWES – Institutsteil Energiesystemtechnik.

Iost, S., Labonte, N., Banse, M., Geng, N., Jochem, D., Schweinle, J., et al. (2019): German Bioeconomy: Economic Importance and Concept of Measurement. In: German Journal of Agricultural Economics 68 (4), S. 275–288. [https://www.gjae-online.de/articles/german-bioeconomy-economic-importance-and-concept-of-measurement/; Zugriff 28. Januar 2020]

Jackson A., Newton, R.W. (2016): Project to model the use of fisheries by-products in the production of marine ingredients, with special reference to the omega 3 fatty acids EPA and DHA. Institute of Aquaculture, University of Stirling, UK and IFFO, The Marine Ingredients Organisation.

Klein, S., Klein, D. S. W., Steinert, T., Fricke, D. A., Peschel, D. (2017): Erneuerbare Gase – ein System-update der Energiewende. In: E.V., I. I. E. E. V. B. B. W. (ed.). Berlin: enervis energy advisors GmbH.

Kranert, M.; G. Hafner; J. Barabosz; H. Schuller; D. Leverenz; A. Kölbig et al. (2012): Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Lehrstuhl für Abfallwirtschaft und Abluft; Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Abfallwirtschaft.

Lehr, U. & Lutz, C. (2020): Macro-econometric and structural models. In: Soytas, U, Sari, R. (eds.): Routledge Handbook of Energy Economics. Routledge, London, New York, pp. 472–480.

Lutz, C., Becker, L., Ulrich, P. & Distelkamp, M. (2019): Sozioökonomische Szenarien als Grundlage der Vulnerabilitätsanalysen für Deutschland – Teilbericht des Vorhabens „Politikinstrumente zur Klimaanpassung“. Climate Change 25/2019, Dessau-Roßlau.

Lutz, C., Flaute, M., Lehr, U., Kemmler, A., Kirchner, A., auf der Maur, A., Ziegenhagen, I., Wünsch, M., Koziel, S., Piégsa, A. & Straßburg, S. (2018): Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende. GWS Research Report 2018/4, Osnabrück, Basel.

Mantau, U. (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015. Hamburg: INFRO Informationssysteme für Rohstoffe, Universität Hamburg.

Matthes, F., Busche, J., Döring, U., Emele, L., Gores, S., Harthan, R. O., Hermann, H., Jörß, W., Loreck, C., Scheffler, M. (2013): Politikszenarien für den Klimaschutz VI Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Öko-Institut, Institut für Angewandte Ökologie.

Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, K.-H., et al. (2017): Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. NATURE COMMUNICATIONS. [DOI: 10.1038/s41467-017-01410-w]

Naumann, K., Schröder, J., Müller-Langer, F., Oehmichen, K., Remmele, E., Thuneke, K., Etzold, H., Raksha, T., Schmidt, P. (2019): Monitoring Biokraftstoffsektor. DBFZ Report Nr. 11, 4. Auflage. Leipzig: DBFZ.

Nitsch, J. (2017): Erfolgreiche Energiewende nur mit verbesserter Energieeffizienz und einem klimagerechten Energiemarkt – Aktuelle Szenarien 2017 der deutschen Energieversorgung. Stuttgart.

Noleppa, Steffen; Cartsburg, Matti (2015): Das Grosse Wegschmeißen. Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland. Hg. v. WWF. agripol – network for policy advice GbR.

Oehmichen, K., Klatt, S., Gerber, K., Polley, H., Röhling, S., & Dunger, K. (2018). Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung. Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse. Thünen Report 59 (Vol. Thünen Rep). Braunschweig. [DOI: 10.3220/REP15276 86002000]

ÖKO-INSTITUT & ISI, F. (2015): Klimaschutzszenario 2050. Berlin/Karlsruhe: Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

Ponisio, L. C., M´Gonigle, L. K., Mace, K.C., Palomino, J., de Valpine, P., Kremen, C. (2015): Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. Proc. R. Soc. B 282: 20141396.

Reganold, J. P., Wachter, J. M. (2016): Organic agriculture in the twenty-first century. Nature Plants 2, 15221. [DOI: 10.1038/NPLANTS.2015.221]

Repenning, J., Schumacher, K., Bergmann, T., Blanck, R., Böttcher, H., Bürger, V., Cludius, J., Emele, L., Jörß, W., Hennenberg, K., Hermann, H., Loreck, C., Ludig, S., Matthes, F., Nissen, C., Scheffler, M., Wiegmann, K., Zell-Ziegler, C., Fleiter, T., Sievers, L., Pfaff, M., Thamling, N., Rau, D., Hartwig, J., Welter, S., Lösch, O., Wirz, A. (2019): Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. Endbericht. Öko-Institut, Berlin.

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Del-

link, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., KC S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L. A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J. C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M. (2017): The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. Global Environmental Change 42, pp. 153–168.

Rosenkranz, L. (2018): Produktionswert der Forstwirtschaft leicht rückläufig: Ergebnisse der forstwirtschaftlichen Gesamtrechnung 2016 – Nettounternehmensgewinn weiterhin auf hohem Niveau. Holz-Zentralblatt 2018, 144, (17), 383.Scholtes, R.; Jansen, K. Vergelijkend LCA onderzoek houten en kunststof pallets; Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie: 2014; p 97.

Schlesinger, M., Lindenberger, D., Lutz, C. (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Basel/Köln/Osnabrück: Prognos/EWI/GWS.

Scholtes, R.; Jansen, K. Vergelijkend LCA onderzoek houten en kunststof pallets; Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie: 2014; p 97.

Seafish (2018): Fishmeal and fish oil facts and figures. [https://www.seafish.org/media/Publications/Seafish_FishmealandFishOil_FactsandFigures2018.pdf; Zugriff 22. April 2020]

Schrama, M., de Haan, J.J., Kroonen, M., Verstegen, H., Van der Putten, W.H. (2018): Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 256: 123–130.

Thrän, D., Arendt, O., Ponitka, J., Braun, J., Millinger, M., Wolf, V., Banse, M., Schaldach, R., Schüngel, J., Gärtner, S., Rettenmaier, N., Hünecke, K., Hennenberg, K., Wern, B., Baur, F., Fritsche, U., Gress, H.-W. (2015): Meilensteine 2030 – Elemente und Meilensteine für die Entwicklung einer tragfähigen und nachhaltigen Bioenergiestrategie. Leipzig: DBFZ.

Thrän, D., Billig, E., Brosowski, A., Klemm, M., Seitz, S. B., Witt, J. (2018): Bioenergy Carriers – From Smoothly Treated Biomass towards Solid and Gaseous Biofuels. Chemie Ingenieur Technik, 90, 68–84.

UBA (2020): Betriebe und Fläche des Ökolandbaus in Deutschland. [https://www.umweltbundesamt.de/daten/landforstwirtschaft/oekologischer-landbau#anzahl-und-nutzflache-der-oko-betriebe-in-deutschland; Zugriff 16. April 2020]

USDA (2019): International long-term projections. [https://www.ers.usda.gov/data-products/international-baseline-data/international-baseline-data/#2019%20International%20Long-Term%20Projections%20to%202028; Zugriff 29. Januar 2020]

Wackerbauer, J., Rave, T., Dammer, L., Piotrowski, S., Jander, W., Grundmann, P., Wydra, S., Schmoch, U. (2019): Ermittlung wirtschaftlicher Kennzahlen und Indikatoren für ein Monitoring des Voranschreitens der Bioökonomie. ifo Forschungsberichte 104/2019.

Weimar H. (2011): Der Holzfluss in der Bundesrepublik Deutschland 2009: Methode und Ergebnis der Modellierung des Stoffflusses von Holz. Hamburg: vTI, 36 p, Arbeitsber Inst Ökon Forst Holzwirtsch vTI 2011/06.

Zeug, W., Bezama, A., Mösenfechtel, U., Jähkel, A., Thrän, D. (2019): Stakeholders Interests and Perceptions of Bioeconomy Monitoring Using a Sustainable Development Goal Framework. Sustainability 11, 1511.

8

VERZEICHNISSE & GLOSSAR

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1.1: Kontext der Bioökonomie 12

Abb. 1.2: Indikatorensystem zur Abbildung der Bioökonomie unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten 14

Abb. 2.1: Aggregierter Stoffstrom der Bioökonomie in Deutschland 2015 18

Abb. 2.2: Agrarstoffstrom Getreide in Deutschland für das Jahr 2015 in 1000 t Getreide und Getreidewert 21

Abb. 2.3: Agrarstoffstrom Zucker in Deutschland für das Jahr 2015 in 1000 t Weißzuckerwert und Produktmenge 22

Abb. 2.4: Agrarstoffstrom Pflanzenöle und -fette in Deutschland für das Jahr 2015 in 1000 t Rohöl und Reinfett 23

Abb. 2.5: Stoffstrom des Leitprodukts Konserven und Marinaden aus Hering in Deutschland für das Jahr 2015 in t Produktgewicht. 25

Abb. 2.6: Stoffstrom des Leitprodukts Aquatische Non-Food-Ware in Deutschland für das Jahr 2015 in t Produktgewicht 27

Abb. 2.7: Holzfluss in Deutschland für das Jahr 2015 in m³ Holzfaseräquivalente [m³ (f)] 29

Abb. 2.8: Stoffstrom Nadelschnittholz in EPAL 1-Paletten in Deutschland für das Jahr 2015 in m³ Holzfaseräquivalenten) 30

Abb. 2.9: Treibhausgasemissionen (a) und Eutrophierungspotenzial (b) aus Produktion, Nutzung und Entsorgung der EPAL 1-Paletten in Deutschland in den Jahren 2010 und 2015 33

Abb. 2.10: Bruttoproduktionswert und Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten aus der Produktion und Reparatur der EPAL 1-Paletten in den Jahren 2010 und 2015 34

Abb. 2.11: Beschäftigte in den Jahren 2010 und 2015 sowie durchschnittliche jährliche Gehälter im Jahr 2015 der Vollzeitbeschäftigten in der Wertschöpfungskette der EPAL 1-Paletten 34

Abb. 2.12: Im Reststoffmonitoring betrachtete Biomassen und Verknüpfung zu den Hauptstoffströmen 35

Abb. 3.1: Abgrenzung der Bioökonomie 39

Abb. 3.2: Biobasierte Anteile des verarbeitenden Gewerbes 2014 (ohne Wirtschaftszweigklassen mit biobasierten Anteilen < 10 %) 41

Abb. 3.3: Erwerbstätige in der Bioökonomie in Deutschland in der Altersgruppe 20–64 Jahre in den Jahren 2010 bis 2017 42

Abb. 3.4: Entwicklung der Erwerbstätigen in der Bioökonomie und in Deutschland gesamt in der Altersgruppe von 20–64 Jahren (2010 = 100 %) in den Jahren 2010 bis 2017 43

Abb. 3.5: Modellbasierte Abschätzungsergebnisse zur Entwicklung der gesamten Erwerbstätigkeit in der deutschen Bioökonomie bis 2030 44

Abb. 3.6:	Bruttowertschöpfung der Bioökonomie in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2017	45
Abb. 3.7:	Entwicklung der preisbereinigten Bruttowertwertschöpfung in Deutschland gesamt und in der Bioökonomie in den Jahren 2010 bis 2017	46
Abb. 3.8:	Modellbasierte Abschätzungsergebnisse zur Entwicklung der Bruttowertschöpfung (Mrd. Euro) der deutschen Bioökonomie	47
Abb. 4.1:	Entwicklung des Ökolandbaus in Deutschland	50
Abb. 4.2:	Vergleich von Ökolandbau und konventioneller Landwirtschaft.	51
Abb. 4.3:	Durchschnittliche Hektarproduktivität von Ökolandbau und konventioneller Landwirtschaft im weltweiten Vergleich nach Anbaukulturen	52
Abb. 4.4:	Energetische Biomassenutzung in Deutschland im Jahr 2015 (Nebenprodukte werden stofflich weiter genutzt)	56
Abb. 4.5:	Einsatzmengen von Biomasse für die energetische und stoffliche Nutzung in t atro	58
Abb. 4.6:	Bisherige und mögliche künftige Entwicklung des Endenergieverbrauchs von Biogas im stationären Energie- und im Verkehrssektor	60
Abb. 4.7:	Entwicklung der Rohstoffbasis für in Deutschland eingesetzten Biodiesel und Bioethanol	61
Abb. 4.8:	Zeitliche Staffelung der Zielstellung der Anteile erneuerbarer Energieträger im Verkehrssektor 2021–2030 auf der Basis der RED II Richtlinie	62
Abb. 4.9:	Entwicklung holzbasierten Rohstoffverwendung aus Forst, Landwirtschaft und Reststoffen	65
Abb. 4.10:	Übersicht Indikatoren zu Innovationen	69
Abb. 4.11:	Transnationale Patentanmeldungen in der Bioökonomie für ausgewählte Länder	70
Abb. 4.12:	Anteil von Wirtschaftssektoren an bioökonomierelevanten Patenten in Deutschland 2010–2012	71
Abb. 4.13:	Weltweite transnationale Patentanmeldungen für pflanzenölbasierte Kunststoffe	72
Abb. 4.14:	Transnationale Patentanmeldungen für Pflanzenölbasierte Kunststoffe im Zeitraum 2010–2015 für ausgewählte Länder	72
Abb. 4.15:	Umfrage als künftig besonders bedeutsam eingeschätzte Technologien	74
Abb. 5.1:	Biotische Rohstoffe: (a) Entnahme biotischer Rohstoffe (ohne Holz) in Deutschland, (b) Materialfußabdruck an biotischen Rohstoffen (ohne Holz) durch den Inlandsverbrauch der daraus hergestellten Güter und (c) Materialfußabdruck biotischer Rohstoffe (ohne Holz) der deutschen Exporte. Reale Entwicklung 2000 bis 2017, Zukunftsprojektionen bis 2030	78

Abb. 5.2: Primäranbaupflanzen: (a) Verwertete inländische Entnahme, (b) Materialfußabdruck des inländischen Konsums und (c) Materialfußabdruck der Exporte von agrarischen Erzeugnissen pflanzlichen Ursprungs (außer Futterpflanzen) 79

Abb. 5.3: Pflanzenrückstände, Futter- und Energiepflanzen und geweidete Biomasse: (a) Inländische Entnahme, (b) Materialfußabdruck des inländischen Konsums und (c) Materialfußabdruck der Exporte von verwendeten Pflanzenrückständen, Futterpflanzen und geweideter Biomasse. 80

Abb. 5.4: Produktion und Konsum an Rohholzäquivalenten in Deutschland 1995 bis 2030. 81

Abb. 5.5: Forstfußabdruck der deutschen Bioökonomie 1995, 2015 und 2030 nach inländischem Konsum (grün) und Export (blau) sowie nach Hauptprodukten. 82

Abb. 5.6: Globaler Agrarfußabdruck (aLF) des weltweiten Konsums (= der weltweiten Produktion) von Agrargütern. (a) absolute Flächenbelegung, (b) Flächenumwandlungsrate je Person und Jahr. 84

Abb. 5.7: Flächenbelegung mit Acker- und Grünland (a) pro Kopf für den globalen und den deutschen Konsum und (b) für den deutschen Konsum differenziert nach Flächen im In- und Ausland. Summenwerte für alle Anbaukulturen, alle Produktgruppen und alle Herkunftsregionen. 84

Abb. 5.8: Globaler Agrarfußabdruck des deutschen Konsums (a) absolute Flächenbelegung in Deutschland und im Ausland, (b) Flächenumwandlungsrate je Person und Jahr in Deutschland und im Ausland. 86

Abb. 5.9: Flächenbelegung für Importe nach Deutschland je Anbaukultur, Produktgruppe und Herkunftsregion 87

Abb. 5.10: Globaler Agrarfußabdruck des deutschen Exports (a) absolute Flächenbelegung in Deutschland (Export) und im Ausland (Re-Export), (b) Flächenumwandlungsrate in Deutschland (Export) und im Ausland (Re-Export). 88

Abb. 5.11: Wasserfußabdruck für Bewässerung landwirtschaftlicher Güter, die 2015 in Deutschland konsumiert wurden 90

Abb. 5.12: Aufwand an Bewässerungswasser für den deutschen Konsum nach Herkunftsregion und Feldfruchtklasse (Herkunftsregion: Feldfruchtklasse), differenziert nach Wasserstress am Ort der Wasserentnahme 91

Abb. 5.13: Vergleich des Wasserfußabdrucks für den Konsum und den Export Deutschlands in 2015 und 2030, unterteilt nach Wasserstressniveau am Ort der Wasserentnahme 92

Abb. 5.14: Entwicklung des Wasserfußabdrucks Deutschlands nach Feldfruchtklassen 93

Abb. 5.15: Anteile landwirtschaftlicher Produktion von Feldfrüchten nach Wasserstressklasse im Anbaugebiet (bewässerte und nicht bewässerte Flächen) weltweit und nach Konsum, ausländischer Produktion, Importen und inländischer Produktion und Konsum davon 94

Abb. 5.16: Beitrag der Bioökonomie zu den inländischen THG Emissionen 96

Abb. 5.17: THG Emissionen und Klima-Fußabdrücke der deutschen Bioökonomie: (a) inländische THG Emissionen, (b) THG Fußabdruck des inländischen Konsums und (c) THG Fußabdruck der Exporte 97

Abb. 5.18: THG Emissionen der (a) Nahrungs- und Futtermittelproduktion in Deutschland, (b) Klimafußabdruck des deutschen Konsums und (c) der Exporte von Nahrungsmitteln. Historische Trends bis 2017, Projektionen bis 2030 98

Abb. 5.19: Beitrag der wichtigsten Klimagase zu den territorialen THG Emissionen der Nahrungs- und Futtermittelproduktion und dem Klimafußabdruck der Nachfrage nach sowie der Exporte von Nahrungs- und Futtermittelprodukten 99

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 2.1: Kumulierte Treibhausgasemissionen (THG) und Eutrophierungspotenzial (EP) aus der Produktion, Nutzung und Entsorgung von EPAL 1-Paletten 32

Tab. 3.1: Einbezogene Wirtschaftszweige (WZ), Methode und Datenquellen zur Berechnung sowie Ergebnis der biobasierten Anteile 40

Tab. 4.1: Trends beim Verbrauch von Nahrungsmitteln in kg pro Kopf in Deutschland 54

Tab. 4.2: Potenziale an ausgewählten Reststoffen, Nebenprodukten und Abfällen – AG BioRestMon 55

Tab. 4.3: Einsatzmengen von Biomasse-Rohstoffen für Strom- und Wärmeerzeugung sowie Biokraftstoffe 57

Tab. 4.4: Einsatzmengen von Biomasse für die energetische und stoffliche Nutzung nach Verwendungen 59

Tab. 4.5: Kaskadennutzung in der Holzwirtschaft 2000 bis 2015 66

Tab. 5.1: Variationsspannen des projizierten Agrarfußabdrucks von Konsum, Export und Produktion in 2030 89

Tab. 5.2: Variationsspannen des projizierten Wasserfußabdrucks von Konsum, Export und Produktion agrarischer Güter in 2030 95

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a	Jahr
aLF	Agrarfußabdruck (agricultural land footprint)
atro	absolut trocken
BÖ	Bioökonomie
CN	China
CESR	Center for Environmental Systems Research
DE	Deutschland
DNS	Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
Efm	Erntefestmeter Holz
EPAL	European Pallet Association e.V.
ES	Spanien
EXIOBASE	globale multi-regionale umweltbezogen erweiterte Input-Output-Datenbasis
FBS	Festbrennstoffe
GR	Griechenland
GWS	Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung
ha	Hektar
IN	Indien
IPC	Internationale Patentklassifikation
kg	Kilogramm
KUP	Kurzumtriebsplantage
m^2	Quadratmeter
m^3 (f)	Kubikmeter Holz als Faserholzäquivalent
m^3 (r)	Kubikmeter Holz als Rohholzäquivalent
Mio.	Million
Mrd.	Milliarden
n. s.	nicht spezifiziert
p. a.	per annum – pro Jahr
PJ	Petajoule (10^{15} Joule)
PÖ	Pflanzenöl
RED	Renewable Energy Directive
RMC	Raw Material Consumption
t	Tonne
THG	Treibhausgase
TM	Trockenmasse
TWh	Terawattstunde (10^{12} Wattstunden)
Tsd.	Tausend

WA Asien und Pazifikraum ohne China, Indien, Indonesien, Taiwan und Japan (Regionbezeichnung in EXIOBASE: Rest of the World Asia and Pacific)

WF Afrika ohne Ägypten (WM) und Republik Südafrika (Regionsbezeichnung in EXIOBASE: Rest of the World Africa)

WM Naher Osten bestehend aus Ägypten, Bahrain, Iran, Irak, Jordanien, Katar, Kuwait, Libanon, Oman, Palästina, Saudi-Arabien, Syrien, Vereinigte Arabische Emirate, Jemen (Regionsbezeichnung in EXIOBASE: Rest of the World Middle East)

WL Lateinamerika ohne Brasilien und Mexiko (Regionsbezeichnung in EXIOBASE: Rest of the World Latin Amerika)

wta withdrawal-to-availability

GLOSSAR

Agrarfußabdruck Landwirtschaftliche Fläche, die für Produktion, Konsum bzw. Export eines Wirtschaftsraumes im In- und Ausland belegt wird [ha].

Derbholz Oberirdische Holzmasse von Bäumen mit einem Durchmesser von ≥ 7 cm mit Rinde auf Brusthöhe; „Nichtderbholz“: Bäume mit einem Durchmesser < 7 cm mit Rinde.

Erntefestmeter Ein Festmeter Holz entspricht 1 m^3 massivem Holz, d. h. ohne Zwischenräume in der Schichtung. Ein Erntefestmeter entspricht einem Vorratsfestmeter abzüglich ca. 10 % Rindenverluste und ca. 10 % Verluste bei der Holzernte. Das Holzmaß Erntefestmeter (Efm = 1 m^3) dient der Abschätzung des verwertbaren Derbholzes.

Faserholzäquivalent Einheit des Holzverbrauchs, bezeichnet das äquivalente Volumen des in einem Produkt enthaltenen Holzes, der Holzfasern oder der holzbasierenden Fasern im fasergesättigten Zustand; Kurzbezeichnung der Einheit ist m^3 (f). Damit werden die verschiedenen Maßeinheiten von Holz in ein einheitliches Maß überführt, das einem Kubikmeter fester Holzmasse (Festmeter ohne Rinde, Fm o. R.) entspricht.

Forstfußabdruck Menge an Primär- oder Rohholzäquivalenten ohne Rinde, die in In- und Ausland für Produktion, Konsum bzw. Export holzbasierter Güter aufgewendet wird [m^3 (r)].

Getreidewert Menge an pflanzlichen Erzeugnissen, die dem kalorischen Äquivalent einer Tonne Getreide (in der Regel Weizen) entspricht.

Klimafußabdruck Menge an Treibhausgasen, deren Emission mit der Produktion, Konsum bzw. Export von Gütern in einem Land im In- und Ausland verbunden ist [Treibhausgasäquivalente].

Konsum Im Kontext der Fußabdrücke wird im vorliegenden Bericht vereinfachend vom Fußabdruck des inländischen Konsums gesprochen. Volkswirtschaftlich bezeichnet dies die „gesamte letzte inländische Verwendung“ (privater und öffentlicher Verbrauch sowie Investitionen).

Leitprodukt Endprodukt biobasierter Stoffströme, für dessen Herstellung ein hoher Rohstoffanteil eines Stoffstroms benötigt wird. Leitprodukte fungieren als Stellvertreter eines Stoffstroms und können für das Monitoring von Nachhaltigkeitsaspekten bis zur End-of-Life Phase verwendet werden.

Materialfußabdruck Menge an primären Rohstoffen, die für Produktion, Konsum bzw. Export der Güter eines Landes im In- und Ausland der Umwelt entnommen werden; dieser Bericht fokussiert auf den Materialfußabdruck aus Biomasse ohne Holz [t].

Rohholzäquivalent Einheit des Holzverbrauchs, die sich auf die Aufwendungen an im Wald eingeschlagenem Holz unter Berücksichtigung von Aufbereitungsverlusten bezieht; Kurzbezeichnung der Einheit ist m^3 (r).

Selbstversorgungsgrad Anteil der inländischen Produktion am inländischen Verbrauch.

Wasserdargebot Das Wasserdargebot bezeichnet die Wasserverfügbarkeit, d. h. die Menge des in einer Region oder einem Flusseinzugsgebiet natürlicherweise verfügbaren Wassers. Es wird im Wesentlichen bestimmt durch Zuflüsse und Niederschlag.

Wasserfußabdruck Volumen der Wasserentnahmen, die für Produktion, Konsum bzw. Export von Gütern im In- und Ausland aufgewendet werden [Mio. m^3 oder km^3]. Dieser Bericht fokussiert auf die Wasserentnahmen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen.

Wasserstress Der Indikator für Wasserstress ist definiert als das dimensionslose Verhältnis des Volumens der Wasserentnahmen zum Volumen der Wasserverfügbarkeit („withdrawal-to-availability“, wta-Relation): bei wta kleiner als 0,2 liegt kein Wasserstress vor; bei wta zwischen 0,2 und 0,4 zeigt eine mittlere Wasserstresssituation an; bei wta gleich oder größer 0,4 (d. h. 40 % des verfügbaren Wassers oder mehr wird entnommen), muss von hohem Wasserstress ausgegangen werden.

Weißzuckerwert Bezugsgröße für die Umrechnung von Zwischenprodukten der Zuckerherstellung, wie z. B. Dicksaft oder Rohzucker auf der einheitlichen Rechenbasis einer Tonne (raffinierten) Weißzucker.

Dieser Bericht wurde erstellt vom Center for Environmental Systems Research (CESR) der Universität Kassel und dem Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei mit den Fachinstituten für Marktanalyse (TI-MA), für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (TI-WF) und für Seefischerei (TI-SF), zusammen mit Kooperationspartnern des SYMOBIO-Projekts.

Layout: www.3fdesign.de

Gesamtkoordination: Prof. Dr. Stefan Bringezu (CESR) in Kooperation mit Prof. Dr. Martin Banse (TI)

Herausgeber: Center for Environmental Systems Research (CESR), Universität Kassel.