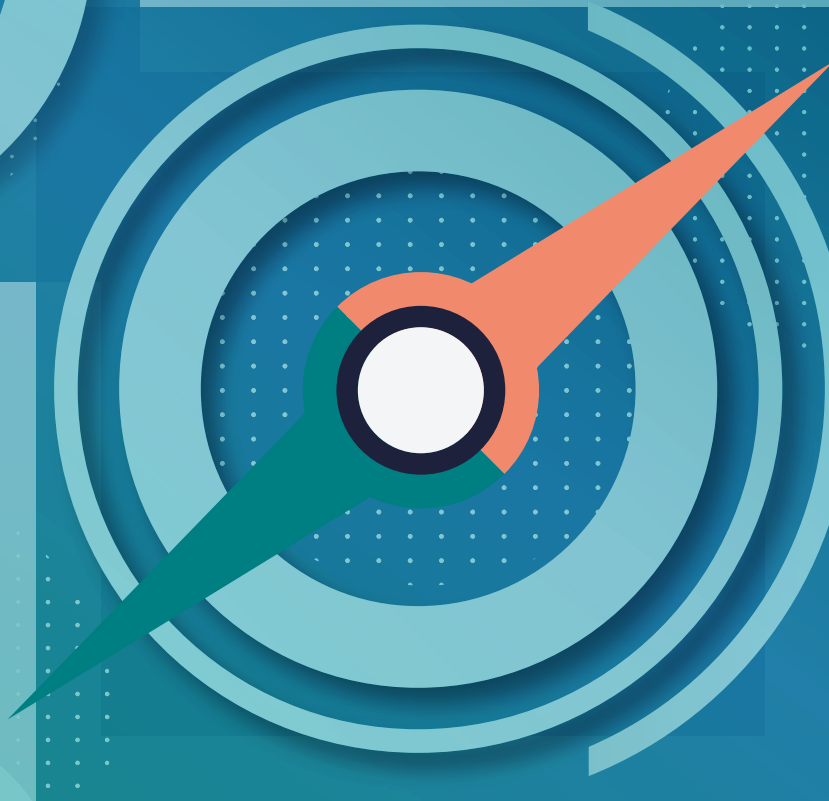


3. DEZEMBER 2024



# Monitoring der deutschen Bioökonomie – Zusammenfassung

---

STATUS, LEISTUNG, TRENDS UND AUSWIRKUNGEN  
AUF EINE NACHHALTIGE ENTWICKLUNG



# Bioökonomie Monitoring Bericht 2024

## Monitoring der deutschen Bioökonomie - Zusammenfassung: Status, Leistung, Trends und Auswirkungen auf eine nachhaltige Entwicklung



Dieser Bericht fasst die wichtigsten Ergebnisse des vom BMBF geförderten Forschungsprojekts SYMOBIO 2.0 (Konsolidierung des Systemischen Monitorings und Modellierung der Bioökonomie) zusammen. In SYMOBIO 2.0 arbeiten neun Forschungs-Partner in Deutschland zusammen, die vom CESR koordiniert werden. Siehe auch: [symbio.de](http://symbio.de)



Der Bericht umfasst auch Ergebnisse aus dem vom BMEL geförderten und vom Thünen-Institut durchgeführten Forschungsprojekt MoBi II (Aufbau eines systematischen Monitorings der Bioökonomie – Konsolidierungsphase). Siehe auch: [Thuenen.de](http://Thuenen.de)



### Herausgeber

Center for Environmental Systems Research (CESR),  
University of Kassel

**Disclaimer:** Nicht alle Inhalte und Positionen spiegeln die Ansichten des Projektträgers, aller Projektpartner, der Universität Kassel oder der beteiligten Wissenschaftler wider.

**Gestaltung und Satz:** Renata Sas

**Fotos:** Freepik, R. Sas (S. 2, 8, 21), © Adobe Stock: TheWaterMeloonaProject (S.3), Cheetose (S.10-Biopharmaka), Anna Puzatykh (S.10-Reinigungsmittel), almeera (S.19); M. Beck-O'Brien (S.10-Fleischalternativen)

**Druck:** dieUmweltDruckerei GmbH

**Herausgeber und Hauptautoren:** Meghan Beck-O'Brien und Stefan Bringezu

### Mitwirkende Autoren\*

\*Die Autoren und ihre Zugehörigkeit werden in jedem Kapitel des vollständigen Berichts im Bezug auf ihre Beiträge gesondert genannt. Hier sind sie in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt.

Martin Banse, Johna Barrelet, Alberto Bezama, Matthias Bösch, Simone Brüning, Bernhard Bührlen, Ana Cabezas, Karl-Friedrich Cyffka, Ilze Dzene, Fernando Gordillo Vera, Hanna Helander, Jan Henke, Klaus Hennenberg, Roman Hinz, Susanne Iost, Matthias Jordan, David Kilian, Susanne Köppen, Ellen Kynast, Christian Lutz, Simon Pereira, Mirjam Pfeiffer, Phuntsho, Paola Pozo Inofuentes, Thomas Reiss, Saskia Reuschel, Sören Richter, Rüdiger Schaldach, Margarethe Scheffler, Anna Schomberg, Jan Schüngel, Jörg Schweinle, Daniela Thrän, Mengxi Wang, Holger Weimar, Kirsten Wiegmann, Jayan Wijesingha, Burkhard Wilske, Sven Wydra, Walther Zeug, Christina Zinke

### Zitat der Zusammenfassung

Beck-O'Brien, M., Bringezu, S., Banse, M., Barrelet, J., Bezama, A., Bösch, B., Brüning, S., Bührlen, B., Cabezas, A., Cyffka, K.F., Dzene, Gordillo Vera, F., I., Helander, H., Henke, J., Hennenberg, K., Hinz, R., Inofuentes, P.P., Iost, S., Jordan, M., Kilian, D., Köppen, S., Kynast, E., Lutz, C., Pereira, S., Pfeiffer, M., Phuntsho, Pozo Inofuentes, P., Reiss, T., Reuschel, S., Richter, S., Schaldach, R., Scheffler, M., Schomberg, A., Schüngel, J., Schweinle, J., Thrän, D., Wang, M., Weimar, H., Wiegmann, K., Wijesingha, J., Wilske, B., Wydra, S., Zeug, W., Zinke, C. (2024). Monitoring der deutschen Bioökonomie: Status, Leistung, Trends und Auswirkungen auf eine nachhaltige Entwicklung. Center for Environmental Systems Research (CESR), Universität Kassel, Kassel, doi:10.17170/kobra-2024111510678

### Referenzen und Liste der Abkürzungen

Alle Referenzen und Abkürzungen sind im vollständigen Bericht zu finden, der unter folgender Adresse verfügbar ist: [www.monitoring-biooekonomie.de/en/](http://www.monitoring-biooekonomie.de/en/) oder [www.uni-kassel.de/ub/en/](http://www.uni-kassel.de/ub/en/) (doi.org/10.17170/kobra-2024111510679)

**Kontakt:** [meghan.beck-obrien@uni-kassel.de](mailto:meghan.beck-obrien@uni-kassel.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>Verwendung von Biomasse</b>	<b>4</b>
Lebensmittel	4
Stoffliche Nutzung	4
Energetische Nutzung	5
<b>Biomasseflüsse</b>	<b>6</b>
Landwirtschaftliche Biomasse	6
Holzbasierte Biomasse	6
Aquatische Biomasse	7
Sekundäre Biomasse	7
Kaskadennutzung, Koppelproduktion und Zirkularität	8
<b>Sozioökonomische Effekte und Innovation</b>	<b>9</b>
Beschäftigung	9
Bruttowertschöpfung	9
Innovative Anwendungen und Märkte für bio-basierte Materialien	9
Technologische Innovationen: Stand und Ausblick	10
Innovationspotenziale	10
<b>Umweltauswirkungen</b>	<b>11</b>
Effekte bei der Substitution von Biomasse	11
Umweltauswirkungen in Deutschland	12
Umweltauswirkungen im Ausland	14
<b>Fußabdrücke der Bioökonomie</b>	<b>15</b>
Landwirtschaftlicher Biomasse-Fußabdruck	15
Holzfußabdruck (Industrierundholz)	15
Agrarfußabdruck	15
Klimafußabdruck	16
Wasserfußabdruck	16
Biodiversitätsfußabdruck	17
Szenarien und Auswirkungen	17
<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>18</b>
1. Eine systemische Perspektive ist grundlegend für die Politik	18
2. Hindernisse beseitigen und in positive Treiber investieren	19
3. Die Öffentlichkeit verstärkt aufklären, einbinden und mobilisieren	19
4. Ein regelmäßiges Monitoring der Bioökonomie etablieren	20
5. Die weitere Entwicklung von Modellierungsinstrumenten unterstützen	21



## Einleitung

**Das übergeordnete Ziel der Bioökonomie ist es, Ökonomie und Ökologie zu verbinden, um eine nachhaltigere Nutzung von Ressourcen zu erreichen.**

Dieser Bericht stellt Indikatoren, Trends und Szenarien zu Stand und Leistung der deutschen Bioökonomie vor. Ziel war es, die Herausforderungen und Chancen zu identifizieren, die für politische Entscheidungsträger relevant sind, um den Übergang zu einer zirkulären und nachhaltigeren Bioökonomie wirksam gestalten zu können. Der Bericht richtet sich an ein breites Publikum (politische Entscheidungsträger, Forschende, Nichtregierungsorganisationen, Industrie und Zivilgesellschaft) und spricht eine Leserschaft mit unterschiedlichem Vorwissen über die Bioökonomie an. Langfristig soll dieser Bericht als Grundlage für die Weiterentwicklung eines regelmäßigen Monitorings der Bioökonomie in Deutschland dienen.

Die vorliegende Kurzfassung präsentiert eine Übersicht der wesentlichen Ergebnisse. Bei den Abbildungen handelt es sich um vereinfachte Versionen der ausführlicheren Darstellungen im Hauptbericht. Alle Quellenangaben und Abkürzungen sind dort zu finden. Ausführliche Methodenbeschreibungen und ergänzende Daten sind in den Zusatzinformationen zum Hauptbericht hinterlegt.

### Definition der Bioökonomie

---

Die Bioökonomie wird als Möglichkeit gesehen, den Verbrauch fossiler Ressourcen zu reduzieren, die globale Ernährungssicherheit zu gewährleisten und die Primärsektoren (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei) sowie verarbeitende Industrien zu fördern. Sie wird in der Nationalen Bioökonomiestrategie definiert als: „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“ (BMBF und BMEL 2020). Die Bioökonomie ist somit ein Querschnittsthema, das alle Bereiche umfasst, in denen Biomasse produziert, verbraucht, wiederverwendet und verwertet wird. Innovationen stehen im Mittelpunkt der Bioökonomie-Transformation, wobei das übergeordnete Ziel ist, Ökonomie und Ökologie miteinander zu verbinden, um einen nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen zu gewährleisten.





## Herausforderungen: Zielkonflikte der Bioökonomie

---

Die Art und Weise, wie die Bioökonomie umgesetzt wird, hat großen Einfluss darauf, ob die übergreifenden Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können. Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch und sozial) sind zwar für die strategischen Ziele von zentraler Bedeutung, lassen sich aber nicht immer zu idealen „Win-Win“-Situationen verbinden. Kompromisse, das Erkennen von Grenzen und Risikominderung sind vielfach notwendig, insbesondere angesichts der komplexen Lieferketten und des im weltweiten Vergleich bereits hohen Verbrauchs biogener Ressourcen in Deutschland. Aus diesem Grund ist ein systemisches Monitoring erforderlich, um die Herausforderungen im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung zu erkennen und zu bewältigen.

## Was bedeutet eine ‚nachhaltige Bioökonomie‘?

---

Eine nachhaltige Bioökonomie trägt zur Erreichung der UN-Nachhaltigkeitsziele bei. Sie ist im Idealfall klimaneutral, unterstützt die Kreislaufwirtschaft, hält den Verbrauch innerhalb ökologischer Grenzen und fördert den Einsatz von biobasierten Produkten in prosperierenden deutschen Märkten, die sich durch gesellschaftliche Akzeptanz und wirtschaftliche Tragfähigkeit auszeichnen. Die nachhaltige Bioökonomie treibt die Entwicklung Deutschlands hin zu einem Zentrum für High- und Low-Tech-Innovationen voran, schafft Arbeitsplätze und neue Chancen. Grundlage ist eine effiziente, ausreichende, gerechte und sichere Nutzung von Biomasse, denn letztlich steht das Gleichgewicht zwischen nachhaltiger Produktion und angemessenem Konsum im Mittelpunkt.

Dieses Verständnis der Bioökonomie ist in den Grundsätzen und Strategien der europäischen und deutschen Politik verankert. Es umreißt die Eigenschaften einer als „nachhaltig“ anzusehenden Bioökonomie und bildet die Ausgangsbasis für die Entwicklung eines geeigneten Monitorings. Die bereits vorhandenen Konzepte und Instrumente zum Monitoring sind sehr unterschiedlich ausgeprägt und in einigen Bereichen deutlich weiter entwickelt als in anderen. Der Bedarf für eine verbesserte Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten und für die Weiterentwicklung der dazu notwendigen Monitoring-Instrumente, Indikatoren und Daten wird in diesem Bericht ebenfalls dargestellt.

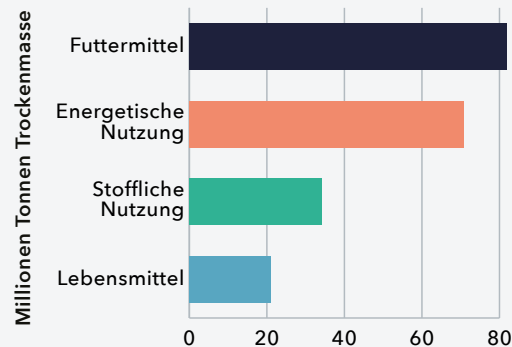
**Im Fokus stehen Klima-  
neutralität, Zirkularität  
und das Gleichgewicht  
zwischen nachhaltiger  
Produktion und angemessenem  
Konsum.**

# Verwendung von Biomasse

Über 200 Millionen Tonnen (t) biogener Trockenmasse aus Land-, Forstwirtschaft und Fischerei wurden im Jahr 2020 in der deutschen Bioökonomie genutzt. Dabei ist die Wiederverwendung von Reststoffen mit eingerechnet, die vor allem für den Papierverbrauch und die energetische Nutzung von Relevanz waren.

Für Futtermittel wird viermal so viel Biomasse eingesetzt (rund 80 Millionen t) wie für Lebensmittel (21 Millionen t). Von den verbrauchten Lebensmitteln stammen 7 Millionen t aus tierischen Produkten.

## Übersicht



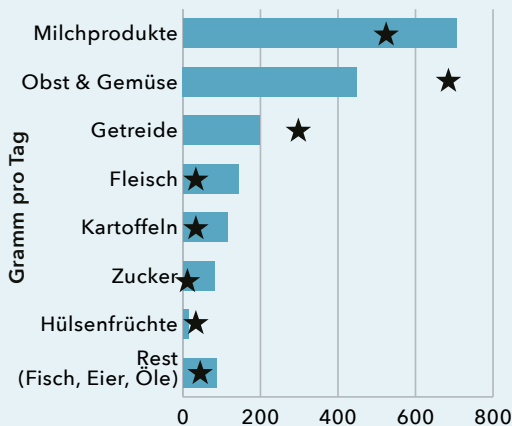
Gesamter Endverbrauch von Biomasse im Jahr 2020, einschließlich Reststoffe

## Lebensmittel

Der Fleischkonsum in Deutschland ist mit 143 Gramm (g) pro Kopf und Tag mehr als dreimal so hoch wie von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) empfohlen (26–43 g pro Tag). Der Pro-Kopf-Konsum ist zwar seit 2010 kontinuierlich zurückgegangen (um etwa 0,8 kg pro Jahr), diese Veränderungsrate reicht jedoch nicht aus, um die empfohlenen Verzehrsmengen in den kommenden Jahrzehnten zu erreichen. Würde sich der aktuelle Trend fortsetzen, würde der Fleischkonsum pro Kopf erst im Jahr 2070 den Ernährungsempfehlungen der DGE entsprechen.

Für Deutschland wurden für das Jahr 2020 Lebensmittelabfälle in Höhe von insgesamt 11 Millionen Tonnen berichtet. Die Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung zielt darauf ab, die Menge der Lebensmittelabfälle sowohl auf Einzelhandels- als auch Verbraucherebene bis 2030 zu halbieren.

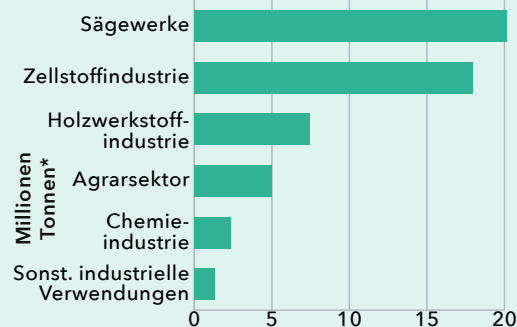
Ein gezieltes Monitoring des Ernährungsverhaltens, z. B. im Rahmen des Nationalen Ernährungsmonitorings, mit besonderem Augenmerk auf den Verzehr von Fleisch- und Milchprodukten, könnte zur politischen Prioritätensetzung beitragen und das laufende Monitoring der Lebensmittelabfälle ergänzen.



Durchschnittlicher Lebensmittelverzehr in Deutschland (2022) im Vergleich zu Ernährungsempfehlungen (★)

## Stoffliche Nutzung

Circa 54 Millionen Tonnen Trockenmasse (t TM) wurden 2020 stofflich in der verarbeitenden Industrie in Deutschland eingesetzt. Der größte Anteil entfiel auf forstwirtschaftliche Biomasse, insbesondere für die Sägewerke und die Zellstoffproduktion. Ein Teil dieser Produkte wurde für den stofflichen Endverbrauch exportiert. Rund 3,3 Millionen t TM agrarbasierte Biomasse wurden 2020 stofflich genutzt, wobei der überwiegende Teil (73%) im Chemiesektor eingesetzt wurde. Insbesondere in diesem Sektor wird in Zukunft mit einer verstärkten Nutzung von Biomasse gerechnet.



Einsatzmengen für die Verarbeitung von Biomasse in stofflichen Nutzungssektoren in Deutschland, 2020

\* Für die Agrar- und Chemiesektoren sind verarbeitete Einsatzmengen enthalten, während für die Forstwirtschaft Trockenmasse angegeben ist.

Die stoffliche Verwendung von Biomasse wird maßgeblich durch innovative Anwendungen beeinflusst. Hierdurch könnte sich die Konkurrenz für den Einsatz von Non-Food-Biomasse erhöhen. Im Vergleich zum Energiesektor wird die stoffliche Nutzung von Biomasse im Allgemeinen stärker von langfristigen Strategien und weniger von rechtlichen Rahmenbedingungen und Maßnahmen (wie Quoten, Ausschluss von Biomassen, Preisreizen oder Nachhaltigkeitsanforderungen) beeinflusst.

## Energetische Nutzung

Biomasse trug im Jahr 2023 mit insgesamt 919 Petajoule (PJ) 12 % zur Gesamtenergieproduktion und 49 % zur erneuerbaren Energiebereitstellung in Deutschland bei. Sie wurde hauptsächlich für die Wärmeerzeugung genutzt, gefolgt von der Stromerzeugung und Biokraftstoffen. Die beiden letztgenannten Sektoren weisen seit 2020 einen rückläufigen absoluten Trend auf. Der relative Anteil der Biomasse an der gesamten erneuerbaren Energieversorgung ist seit 2010 rückläufig, da Alternativen wie Wind- und Solarenergie an Bedeutung gewinnen. Das Ausmaß und die weitere Entwicklung der zukünftigen Bioenergienutzung werden hauptsächlich von den rechtlichen Rahmenbedingungen abhängen.

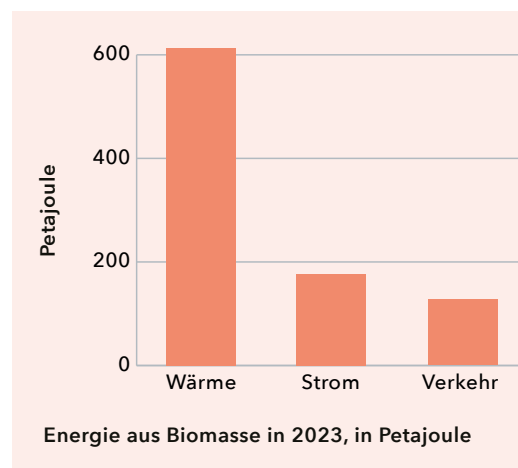
Während nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) im Jahr 2020 den größten Anteil der Einsatzmengen für Bioenergie in Deutschland ausmachten (44 % in t TM), kam es von 2020 bis 2022 zu einer deutlichen Verlagerung hin zur Nutzung von Reststoffen und Abfällen. Das Ziel der deutschen Politik, die Produktion von Bioenergie zunehmend auf Reststoffe und Abfälle zu verlagern, wird somit verfolgt.

Die Importabhängigkeit sowohl für konventionelle als auch für fortschrittliche (auf Abfällen und Reststoffen basierende) Biokraftstoffe bleibt auch im Jahr 2022 hoch, wobei mehr als 80 % der Ausgangsstoffe der genutzten Biokraftstoffe aus dem Ausland stammen. Einige der importierten Reststoffe bzw. der daraus hergestellten Biokraftstoffe (v. a. Abwässer von Palmölmühlen) bergen Betrugsrisiken, wobei für bestimmte fortschrittliche Biokraftstoffe bzw. deren Ausgangsstoffe eine Obergrenze in Betracht gezogen werden könnte. Bislang ist kein substanzieller Hochlauf der Produktionskapazitäten für fortschrittliche Biokraftstoffe in Deutschland zu erkennen, was wiederum eine Mobilisierung der für Deutschland geschätzten noch mobilisierbaren Potenziale von Rest- und Abfallstoffen einschränkt.

Die Modellierung vergleichender Szenarien für die künftige Verwendung von Biokraftstoffen zeigt, dass die bisherigen Anforderungen der THG-Quote die Verwendung von Biokraftstoffen noch nicht in Bereichen des Verkehrssektors fördern, in denen sie nach einem langfristigen Energieoptimierungsszenario kostenoptimal eingesetzt werden könnten. Biokraftstoffe werden bislang vor allem im Straßenpersonenverkehr und weniger in der Schifffahrt und im Luftverkehr eingesetzt.

Die künftige (Bio-)Energiepolitik könnte versuchen die CO<sub>2</sub>-Abscheidung, -nutzung und -speicherung zu integrieren, wo dies möglich ist (z. B. im Rahmen der deutschen Kohlenstoffmanagementstrategie), um auf einen Ausgleich der unvermeidbaren Emissionen hinzuwirken.

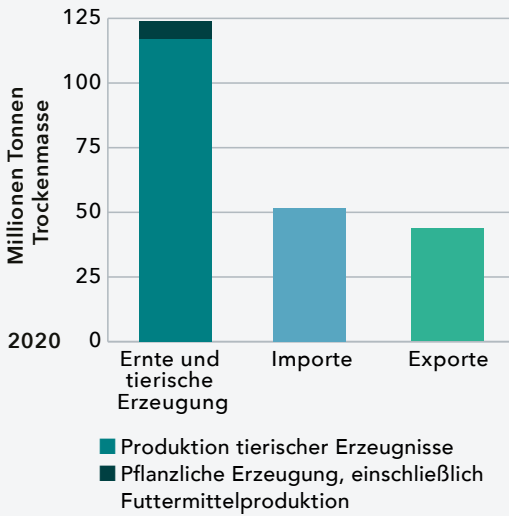
**12 %**  
der Gesamtenergieversorgung im Jahr 2023 wurde durch Biomasse gedeckt



Die derzeit hohen Importe von fortschrittlichen Biokraftstoffen (80 % im Jahr 2022) müssen im Hinblick auf die Energieunabhängigkeit und die Wettbewerbsfähigkeit sauberer Energietechnologien kritisch hinterfragt werden.

# Biomasseflüsse

## Landwirtschaftliche Biomasse



Die landwirtschaftliche Biomasse ist die mengenmäßig bedeutendste Form der Biomassenutzung in der Bioökonomie. Während die Produktion pflanzlicher Biomasse Schwankungen unterliegt, z. B. durch wetterbedingte Einflüsse, ist die Menge der produzierten tierischen Biomasse, d. h. tierischer Produkte wie Fleisch, Eier, Milch oder Felle und Pelze, im letzten Jahrzehnt mit rund 7 Millionen t nahezu konstant geblieben.

Die Produktion von pflanzlicher Biomasse betrug im Jahr 2020 117 Millionen t, wovon 67 Millionen t und damit mehr als die Hälfte (57 %) auf Rohfutter und für Nichtwiderkäufer ungenießbare Biomasse wie Gras zurückzuführen sind.

52 Millionen t Biomasse wurden im Jahr 2020 importiert und 43,5 Millionen t exportiert, so dass Deutschland insgesamt ein Nettoimporteur von Biomasse ist.

Knapp 80 Millionen t Trockenmasse landwirtschaftlicher Biomasse wurden im Jahr 2020 als Futtermittel in der Tierhaltung eingesetzt. 100 Millionen t wurden für andere Zwecke verwendet: für Energie (50 %), Lebensmittel (39 %), stoffliche Nutzung (7 %) und Heimtierfutter (4 %).

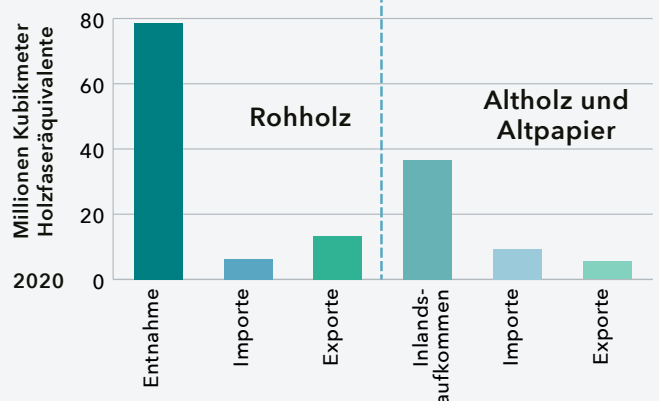
## Holzbasierte Biomasse

Die Rohholzentnahme stieg für das Berichtsjahr 2020 signifikant an. Ursache war der Schadhölzeinschlag infolge von Trockenheit und Borkenkäferkalamitäten. Im Jahr 2020 wurden deutschen Wäldern 79 Mio. m<sup>3</sup> Rohholz entnommen. Auch der Außenhandel wurde von der Schadhölzsituation beeinflusst; Deutschland wurde zum Nettoexporteur und verzeichnete im Jahr 2020 Nettoexporte (von 7 Mio. m<sup>3</sup>(f) Holzfaseraquivalente), vor allem durch den veränderten Handel mit Nadelrohholz.

Das meiste inländisch genutzte Rundholz (56 %) wird in Sägewerken verarbeitet, die vor allem Nadelholz nutzen (95 %). Weiterhin wird Rohholz für die Herstellung von Holzwerkstoffen (7 %) und Holz- und Zellstoff (7 %) eingesetzt, wobei ebenfalls vor allem Nadelholz verwendet wird. Ungefähr 28 % des inländischen Rohholzes wird energetisch genutzt. Es kommt hier vor allem Laubholz zum Einsatz.

Mehr als ein Drittel des inländischen Aufkommens an Holzfasern (37 Mio. m<sup>3</sup>(f)) bestand im Jahr 2020 aus Altpapier und Altholz. Der Handel dieser Recyclingrohstoffe zeigte Nettoimporte in Höhe von ca. 3,8 Mio. m<sup>3</sup>(f). Der Großteil des Altpapiers wird zur der Herstellung von Halbwaren aus Papier und Pappe eingesetzt. Altholz wird überwiegend zur Energieerzeugung und zu einem kleineren Anteil zur Herstellung von Holzwerkstoffen genutzt.

Die Verwendung von holzbasierten Produkten in den verschiedenen Endverwendungssektoren belief sich im Jahr 2020 auf 37 Mio. m<sup>3</sup>(f), der Nettoexport aller Holzprodukte betrug 14 Mio. m<sup>3</sup>(f).





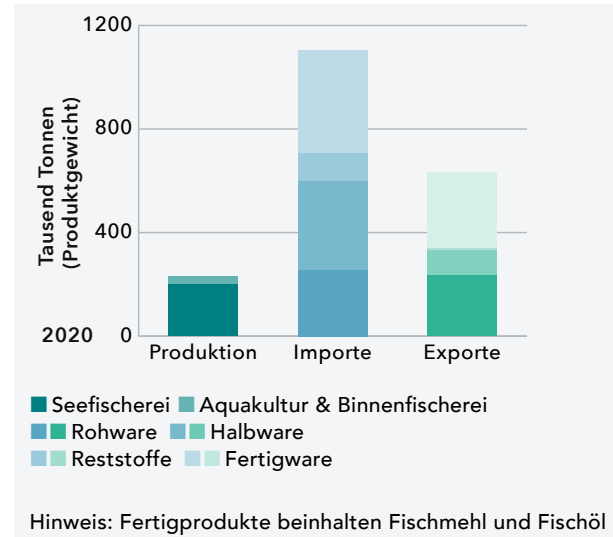
## Aquatische Biomasse

Verglichen mit dem Jahr 2015 ist der deutsche Verbrauch von aquatischer Biomasse um 11 % gestiegen, während die Produktion aquatischer Biomasse um 11 % gesunken ist. Der Rückgang der Produktion ist hauptsächlich auf reduzierte Fänge der Seefischerei zurückzuführen. Dies hängt in erster Linie mit drastischen Kürzungen der Fangquoten in der Ostsee sowie großen Schwankungen in den Fangmengen der wirtschaftlich wichtigen Nordseegarnele zusammen. Die Hochseefischerei hingegen konnte ihre Fangmengen stabil halten und gleichzeitig die Ressourceneffizienz steigern. Dies wurde unter anderem durch die Verwertung von Nebenprodukten zur Herstellung von Fischöl und -mehl auf See sowie durch die Verringerung der Flottenkapazitäten ohne Einbußen bei den Fangmengen erreicht. In der Aquakulturproduktion ist eine Stagnation bezüglich der Produktionsmengen zu beobachten.

Im Jahr 2020 wurden in Deutschland rund 230.000t aquatische Biomasse produziert. Etwa 86 % stammten aus der Seefischerei, 12 % resultierten aus der Aquakulturproduktion und 2 % aus der Binnenfischerei. Die Küstenfischerei in Deutschland kämpft um ihre wirtschaftliche Existenz und könnte durch eine höhere Wertschöpfung ihrer Produkte gestärkt werden. Ansätze wie die Regionalisierung der Wertschöpfungsketten und die Vermarktung bisher wenig genutzter Fischarten würden hierzu beitragen.

Trotz umfangreicher Fischverarbeitungsaktivitäten ist Deutschland zunehmend von Importen abhängig. Die Zusammensetzung der Importe im Zeitraum 2015–2020 zeigt einen Trend hin zu sinkenden Rohstoffimporten und steigenden Mengen an Fertigprodukten. Insgesamt ist die Selbstversorgungsquote Deutschlands von über 40 % in den 1980er Jahren im letzten Jahrzehnt auf 17–20 % gesunken.

Lachs war mit einem Marktanteil von 19 % im Jahr 2020 der beliebteste Fisch unter deutschen Verbrauchern. Der Großteil des Lachses auf dem deutschen Markt wird in Aquakulturanlagen im Ausland produziert, es handelt sich sowohl bei Zucht- als auch bei Wildlachs um ein nahezu reines Importprodukt. Eine detaillierte Analyse der Warenströme für Lachs lieferte präzise Informationen und unterstützte die Identifizierung von Lücken in den öffentlich verfügbaren Daten und eine Verbesserung des übergeordneten Monitorings. Die Daten zu den Stoffströmen aquatischer Biomasse weisen jedoch erhebliche Lücken und Ungenauigkeiten auf, die nur mittels Umfragen und/oder Annahmen ausgeglichen werden konnten.



Technisches Biomasse-Potenzial

92-129\*

Mobilisierbares technisches Biomasse-Potenzial

16-42\*

\* Millionen Tonnen Trockenmasse im Jahr 2020

## Sekundäre Biomasse

Das Potenzial von sekundärer Biomasse (technisches Potenzial biogener Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte) hat von 2015 bis 2020 leicht abgenommen. Damit steht das nationale Potenzial von sekundärer Biomasse im Kontrast zur allgemein steigenden Nachfrage

nach biogenen Kohlenstoffquellen einschließlich Abfällen, Reststoffen und Nebenprodukten. Es gibt jedoch noch ungenutzte Potenziale, die mobilisiert werden könnten, zum Beispiel mithilfe einer Erhöhung (a) der Anschlussquote der Haushalte an die obligatorische Bioabfallsammlung und (b) durch die Ausweitung der getrennten Sammlung von Alt Speiseölen und -fetten.



Das technische Potenzial von biogenen Rest- und Abfallstoffen sowie Nebenprodukten belief sich im Jahr 2020 auf 91,7–128,9 Millionen t TM, wovon 68–83 % genutzt wurden. Der größte Anteil entfällt auf Siedlungsabfälle und Klärschlamm (rund 31 % des technischen Potenzials).

Das mobilisierbare technische Potenzial lag im Jahr 2020 bei 15,7–41,9 Millionen t TM. Sechs Biomassen – Laubwälder (7 %), Rindergülle (12 %), Rindermist (14 %), Getreidestroh (15 %), Waldrestholz aus Nadelwäldern (16 %) und aus Grün-gut (20 %) – trugen 84 % zum mittleren mobilisierbaren Potenzial bei.

Die selektive Sammlung und Verwertung von Siedlungsabfällen sollte auf allen Regulierungsebenen gestärkt werden. Co-Design-Ansätze könnten bei der Entwicklung und Verbesserung von Kreislaufwirtschaft-Systemen insbesondere im Hinblick auf die Wiederverwendung von kommunalem „Abfall“ dazu beitragen, Anreize für die Bürger zu schaffen, sich an Wiederverwendungsinitiativen zu beteiligen.

## Kaskadennutzung, Koppelproduktion und Zirkularität

---

In der einschlägigen Literatur werden verschiedene Methoden zur Messung von Ressourceneffizienz durch Quantifizierung von Kaskaden, Koppelproduktion und Kreislaufwirtschaft getestet und diskutiert. In der Praxis gibt es jedoch keine Methode, die für alle Sektoren der Bioökonomie anwendbar ist, da die Datenverfügbarkeit stark variiert.

In der Forst- und Holzwirtschaft werden Roh- und Reststoff-Daten über das Holzressourcen-Monitoring überwacht, das nun als ständige Aufgabe am Thünen-Institut für Forstwirtschaft durchgeführt wird. Auf der Grundlage dieses Monitorings stehen Daten zur Verfügung, die für weitere Analysen zu Kaskaden, Koppelproduktion und Zirkularität im Rahmen eines Bioökonomie-Monitorings herangezogen werden können.

Im Lebensmittelbereich geht es bei der Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion vor allem um die Vermeidung von Abfällen und die Verwertung von industriellen Reststoffen zur Herstellung weiterer Produkte. Offizielle Statistiken über Rückstände aus der Lebensmittelproduktion sind nicht öffentlich zugänglich. Auf der Grundlage von Expertenwissen innerhalb des Sektors können Näherungswerte ermittelt werden.

Dem Prinzip der Kaskadennutzung folgend wird die stoffliche Nutzung in der Regel der energetischen Nutzung vorgezogen. Das künftige Monitoring der Bioökonomie sollte diese Ströme und ihre Trends besser widerspiegeln, um potenzielle Chancen, Brennpunkte und Nutzungskonkurrenzen aufzuzeigen. In wie weit Kaskadennutzung, Koppelproduktion und Kreislaufführung insgesamt zu einer Ressourcenschonung beitragen, kann über die Erhebung des Primärrohstoffeinsatzes in das Monitoring einfließen.

**Während die verstärkte Kreislaufführung der Biomasse im Mittelpunkt politischer Strategien steht, werden in der Wissenschaft immer noch Methoden zum Messen z. B. der Kaskadennutzung getestet.**

# Sozioökonomische Effekte und Innovation

## Beschäftigung

**2.7-2.9 Mio. Beschäftigte in Deutschland**

Abnehmender Trend

Die Bioökonomie hatte 2020 einen Anteil von mindestens **7 % an der Gesamtbeschäftigung** in Deutschland. Fast die Hälfte der Beschäftigung in der Bioökonomie entfällt auf das verarbeitende Gewerbe. Anders als in der übrigen Wirtschaft, die insgesamt einen kontinuierlichen Beschäftigungszuwachs verzeichnete (von 2010 bis 2020 um 8 %), ging die Beschäftigung in der deutschen Bioökonomie zwischen 2010 und 2017 um rund 11 % zurück. Die Entwicklung nach 2018 ist aufgrund von Datenlücken schwer abzuschätzen. Die Zahl der Beschäftigten in der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei geht langsam aber stetig zurück.

## Bruttowertschöpfung

**€ 134-150 Milliarden**

Schwankend aber weitgehend stabil

Die Bioökonomie umfasste in 2020 rund **5 % der gesamten Bruttowertschöpfung** in Deutschland. Etwa die Hälfte davon entfiel auf das verarbeitende Gewerbe. Im Gegensatz zum stetigen Wachstum der preisbereinigten Bruttowertschöpfung für Deutschland insgesamt schwankte die Bruttowertschöpfung der deutschen Bioökonomie (mit 5 % Wachstum zwischen 2010 und 2017 und danach bis 2020 wiederum Absinken auf das Niveau von 2010). Durch eine Lücke in der Datenverfügbarkeit seit 2018 ist die Zeitreihe unterbrochen, so dass eine Interpretation der Entwicklung und Rückschlüsse schwierig ist.

## Innovative Anwendungen und Märkte für bio-basierte Materialien

Biomasse basierte Kunststoffe machen nur einen sehr geringen Teil der gesamten Kunststoffproduktion aus; weltweit liegt ihr Anteil bei etwa 1 %. Für Deutschland wird die damit verbundene bio-basierte Wertschöpfung auf rund 1,1 Milliarden Euro und die Beschäftigung auf rund 15.000 Mitarbeiter im Jahr 2021 geschätzt. Zwar gibt es in Deutschland derzeit keine große Produktionsanlage für bio-basierte Kunststoffe, aber es gibt eine beträchtliche Anzahl von F&E-Instituten und KMU, die in diesem Bereich tätig sind und beispielsweise bio-basierte Kunststoffe der dritten Generation (aus Reststoffen) entwickeln.

Biomasse basierte Chemikalien haben einen Anteil von schätzungsweise 6 bis 15 % am Chemiesektor in Deutschland. Bei Zugrundelegung des niedrigeren Anteils wird die Wertschöpfung im Jahr 2021 auf etwa 3 Milliarden Euro geschätzt, bei einer Beschäftigung von etwa 25.000 Mitarbeitern. In Zukunft wird erwartet, dass bio-basierte Chemikalien neben der Nutzung von CO<sub>2</sub> eine relevante Rolle auf dem Weg zur Defossilisierung der chemischen Industrie spielen werden.

Textilien aus Baumwolle (die etwa ein Fünftel der weltweiten Textilproduktion ausmachen) und Zellulosefasern (mit etwa 6 % der Produktion) sind die derzeit am häufigsten verwendeten Biomasse basierten Textilien. Für die Herstellung von Leder wurden weltweit mehr als 1,4 Milliarden Tiere im Jahr 2021 benötigt. Für den Textilbereich der Bioökonomie in Deutschland wird für das Jahr 2021 eine Wertschöpfung von etwa 3 Milliarden Euro und eine Beschäftigung von etwa 45.000 Mitarbeitern geschätzt. Deutschland ist stark in der angewandten Textilforschung.

Modularer Holzbau gewinnt in Deutschland zunehmend an Bedeutung, zum einen beim Neubau (Ein- und Zweifamilienhäuser), zum anderen im



In Leuna wird von UPM eine Bioraffinerie errichtet. In der Bioraffinerie sollen aus Holz, insbesondere von der Buche, Basismaterialien für verschiedene Industrieprodukte und Konsumgüter wie PET-Flaschen, Reinigungsmittel und Gummi hergestellt werden.

Quelle: UPM Biochemicals GmbH



Die Verwendung von 2D-Holzbau-modulen bietet gute Möglichkeiten für die serienmäßige energetische Sanierung, z.B. von Mehrfamilienhäusern in Deutschland.

© Quelle B&A Seriell GmbH



Zuge der Nachverdichtung städtischen Raumes, wie bei der Aufstockung und Erweiterung von Bestandsgebäuden. Der Holzbauanteil bei Neubauten stieg zwischen 1993 und 2021 von 4% auf 10%. Vom insgesamt im Holzbau eingesetzten Holz wird ein Drittel im Neubau verwendet und zwei Drittel werden in der Renovierung und Modernisierung von Bestandsgebäuden eingesetzt.

## Technologische Innovationen: Stand und Ausblick

Eine Vielzahl von Innovationen hat das Potenzial sowohl für inkrementelle als auch disruptive Veränderungen. Zu ersteren gehört z.B. die Substitution mineralischer durch bio-basierte Rohstoffe, zu letzteren zählen z.B. Kohlenstoffabscheidung und -nutzung (Carbon Capture and Use CCU), künstliches Fleisch, Biotechnologie im Gesundheitswesen und Mikrobiome in der Landwirtschaft. Reife, Hochskalierung und Leistungszuverlässigkeit trotz schwankender Rohstoffqualität sind zentrale Herausforderungen. Marktanreize, z. B. für die stoffliche Nutzung von biobasierten Produkten, biobasierten Kunststoffen, CCU oder Biotenside, fehlen weitgehend. Obwohl es einige Verbesserungen gegeben hat, ist es unwahrscheinlich, dass viele der betrachteten Innovationen in den kommenden Jahren preislich wettbewerbsfähig sein werden. Vorschriften und Verbraucherakzeptanz stellen zusätzliche Herausforderungen dar.

Patentanalysen zeigen, dass Deutschland einen relativ hohen und weiterhin steigenden Grad an Spezialisierung in den Bereichen aufweist, die insbesondere mit maschinenbezogenen Technologien zusammenhängen. Dennoch sind die USA in allen Technologiebereichen führend, und China holt stark auf bzw. hat die EU in einigen Fällen bereits überholt.

Insgesamt hat Deutschland eine recht starke Position bei der Entwicklung wettbewerbsfähiger Innovationen, z. B. in den Bereichen Biopharmaka, bio-basierte Tenside und CCU. Dies ist vor allem auf die recht starke pharmazeutische und chemische Industrie Deutschlands zurückzuführen, die sich in den kommenden Jahrzehnten auf einen nachhaltigen Transformationspfad einstellen muss.

### Relativ hoch\*

Innovative Holzprodukte (44)  
Landwirtschaft 4.0 (55)  
Bio-basierte Tenside (66)



Steigend seit 2009

### Relativ niedrig\*

Biotechnologie (-47)  
Biopharmaceutika (-55)  
Pflanzenzüchtung (-59)  
Mikrobiom (-71)



Abnehmend seit 2009

\*Relative Patent-spezialisierung (RPA) (2019–2022) für Deutschland



## Innovationspotenziale

### Fleischalternativen

Fleischalternativen stoßen auf großes Interesse und verzeichnen ein deutliches Wachstum. Der Umsatz in Deutschland hat sich zwischen 2019 und 2023 fast verdreifacht und liegt nun bei 580 Millionen Euro. Derzeit machen diese Alternativen erst etwa 1% des Gesamtwerts des Marktes für Fleischprodukte aus. In Deutschland gibt es einige Start-ups und auch einige führende Akteure aus der Fleischindustrie, die sowohl bei pflanzlichen Fleischalternativen als auch in der Entwicklung von künstlichem Fleisch tätig sind.

### Biopharmaka

In der Medizin zeichnet sich ein klarer Trend zu Biopharmaka ab. Die meisten der zehn umsatzstärksten Medikamente im Jahr 2028 werden voraussichtlich biotechnologisch hergestellt. Der Sektor stellt eine bedeutende und wachsende Beschäftigungsmöglichkeit in den verarbeitenden Sektoren der deutschen Bioökonomie dar (mit rund 50.000 Beschäftigten im Jahr 2022).

## Bio-basierte Tenside der zweiten Generation

Deutschland ist in der EU führend in der Produktion von Biomasse basierten Tensiden und steht bei den weltweiten Patentanmeldungen an zweiter Stelle. Tenside werden z. B. für Haushaltswaschmittel verwendet. Bio-basierte Tenside sind eine ökonomische Erfolgsgeschichte für die Marktrelevanz von bio-basierten Chemikalien. Die Investitionen in bio-basierte Tenside der 2. Generation mit biotechnologischer Herstellung haben zugenommen und eine Reihe von KMU streben die Nutzung von sekundären Rohstoffen (z. B. Lebensmittelabfällen) an, um die Nachhaltigkeit zu verbessern.



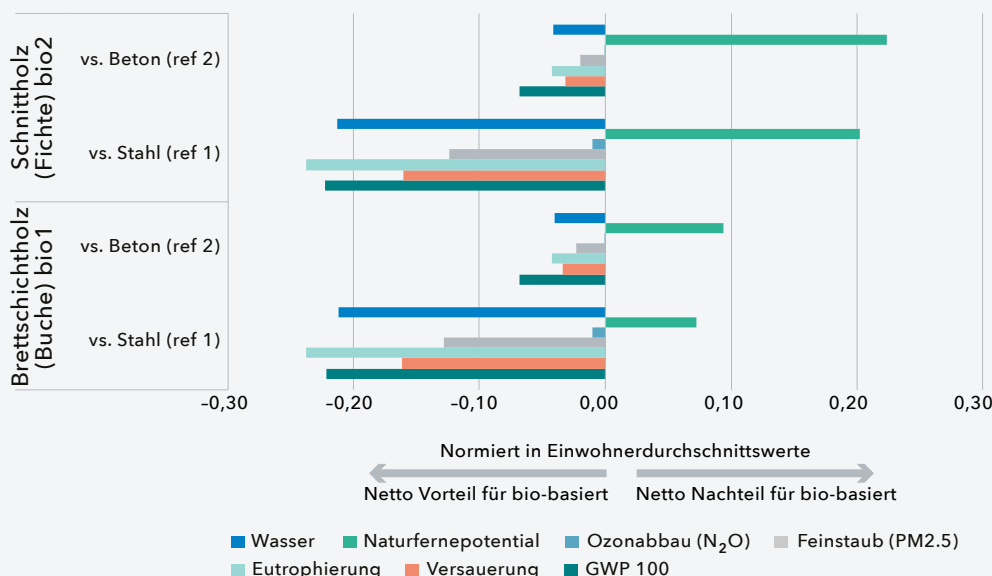
# Umweltauswirkungen

## Effekte bei der Substitution von Biomasse

Die Lebenszyklusanalyse (LCA) zeigt, dass die Substitution von Beton und Stahl durch Holz für eine Tragkonstruktion im Bausektor sowie die Substitution von Naphtha aus Mineralöl durch Ethylen auf CO<sub>2</sub>-Basis im Chemiesektor potenziell positive Umweltauswirkungen hat. Hingegen hat die konventionelle Textilproduktion (mit Baumwolle, Holz- oder Bambusfasern) im Vergleich zu Alternativen, wie z. B. CO<sub>2</sub>-basierten Fasern aus Kohlenstoffabscheidung und -nutzung, eine negative Umweltbilanz.

Eine solide Analyse von Substitutionseffekten erfordert eine Mischung methodischer Ansätze, um systemweite Auswirkungen berücksichtigen zu können. So spielen beispielsweise der Maßstab des Holzbaus sowie der Umfang der Holznachfrage eine Rolle für die Entwicklung von

Umweltauswirkungen im Zeitverlauf. Zudem kann die Art und Weise, wie biogener Kohlenstoff in Treibhausgasbilanzen behandelt wird, die Ergebnisse erheblich beeinflussen. Dies ist vor allem bei der Betrachtung von Landnutzungsänderungen von Bedeutung. Auch kann beispielsweise eine erhöhte Ernteintensität mit einer Übernutzung der Wälder für die Holznutzung deren Fähigkeit beeinträchtigen, als CO<sub>2</sub>-Senke zu fungieren. Gleichzeitig kann die Förderung langlebiger Holzprodukte auch eine Strategie zur Speicherung von Kohlenstoff im sogenannten Produktspeicher sein. Vor diesem Hintergrund müssen die Auswirkungen von Produktion und Nutzung sorgfältig gegeneinander abgewogen werden, wobei Analyseinstrumente wie die Ökobilanzierung durch Analysen auf Makroebene ergänzt werden sollten.



Die auf Einwohnerdurchschnittswerte normierten Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse für zwei bio-basierte Optionen (Brettstichtholz aus Buche und Fichtenholz), die gegen zwei Nicht-Biomasse-Optionen (Stahl und Beton) abgewogen wurden. Es zeigt sich, dass die Substitution bei einer Tragkonstruktion im Bausektor positive Auswirkungen auf die Umwelt haben kann. Diese sollten jedoch nur dann in der Breite und auf nationaler Ebene gefördert werden, wenn die systemweiten Auswirkungen berücksichtigt werden und Monitoringinstrumente und rechtliche Grenzen vorhanden sind, um Problemverlagerungen zu vermeiden.

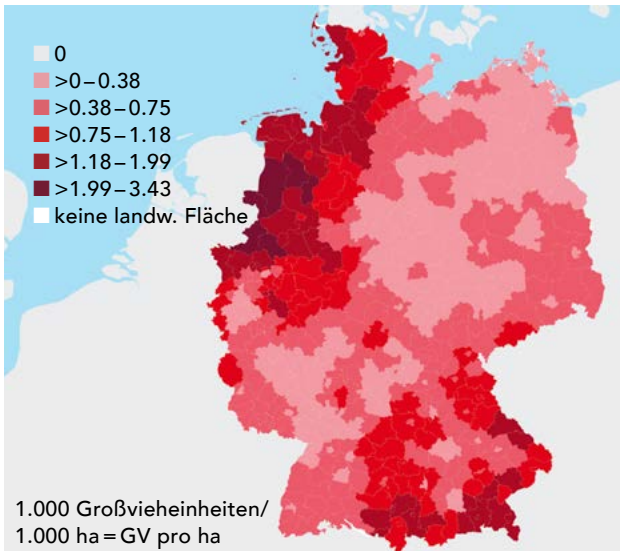


# Umweltauswirkungen in Deutschland

## Der Agrarsektor

Es wurden 243 spezifische Indikatoren für die ökologische Nachhaltigkeit ermittelt und auf einen Kernsatz von fast 20 geeigneten Indikatoren für das Monitoring der Agrarumweltauswirkungen der deutschen Bioökonomie eingegrenzt.

84 Studien wurden überprüft, um 18 Modelle zu identifizieren, die in der Lage sind, die identifizierten Kernindikatoren für die Landwirtschaft zu modellieren. Allerdings ist nur eine sehr begrenzte Anzahl von Szenarienergebnissen für Deutschland verfügbar, und von diesen konzentrieren sich die meisten fast ausschließlich auf Treibhausgasemissionen. Um ein regelmäßiges Bioökonomie-Monitoring zu ermöglichen, müssen relevante Aspekte der Bioökonomie, einschließlich der Abdeckung räumlicher Variationen, in bestehende landwirtschaftliche Modellierungsrahmen aufgenommen werden.



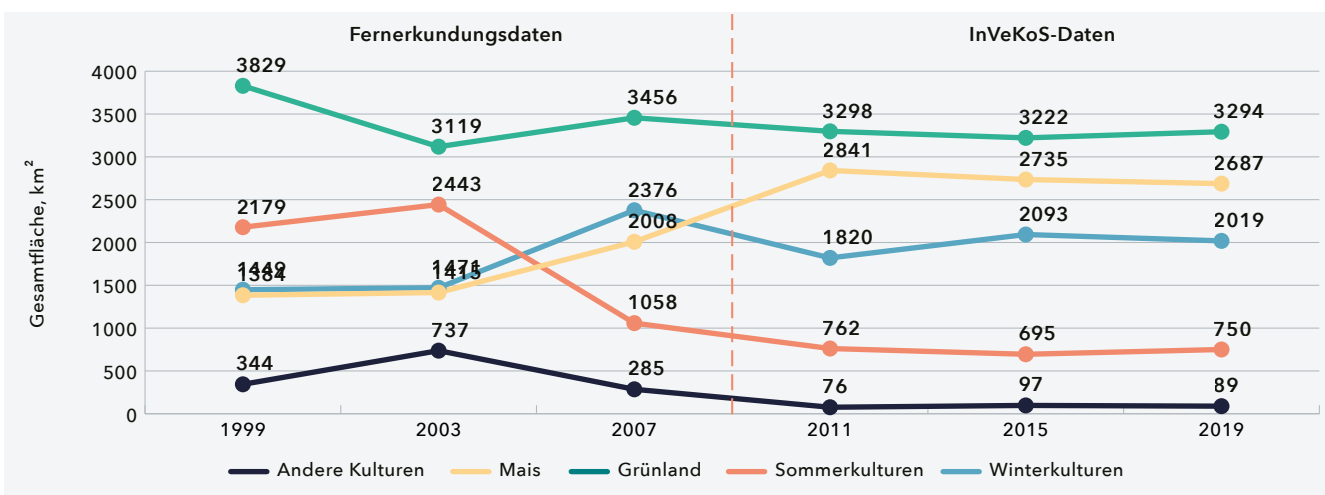
Viehichte auf regionaler Ebene für das Jahr 2020 zeigen, wie wichtig die Einbeziehung von Indikatoren ist, die detaillierte Informationen über die räumliche Variation der Auswirkungen im Zeitverlauf bieten, um ein umfassendes und maßstabsübergreifendes Monitoring der Bioökonomie zu ermöglichen.

Quelle: Thünen Atlas: Landwirtschaftliche Nutzung (2020); Methode: Gocht and Röder (2014)

## Fallstudie: Landnutzungsänderung induziert durch gesteigerte Biogasproduktion

Die Region Weser-Ems ist eine der am stärksten ausgeprägten Biogaserzeugungsregionen in Deutschland, in der mehr als 800 landwirtschaftliche Biogasanlagen in Betrieb sind. Eine Fallstudie, bei der Fernerkundungsmethoden zum Einsatz kamen, ergab, dass größere Veränderungen der Landnutzung in Gebieten mit hoher und mittlerer Biogaskapazität stattfanden, was auf einen direkten Zusammenhang zwischen der Biogasproduktion und der Veränderung der landwirtschaftlichen Bodennutzung hinweist. Die Fallstudie zeigt, dass Fernerkundungsdaten erfolgreich eingesetzt werden können, um hochwertige, räumlich explizite Landnutzungsdaten im Zeitverlauf zu generieren und zur Quantifizierung von Veränderungen auf Landschaftsebene, z. B. durch die Biogasproduktion, verwendet werden können.

Die Veränderungen der landwirtschaftlichen Bodenbedeckung in der Region Weser-Ems zeigen, dass die Maisanbaufläche zwischen 1999 und 2019 um 94 % zugenommen hat, während die Anbauflächen für andere Sommerkulturen und Grünland um 66 % bzw. 14 % zurückgegangen sind.



Anmerkung: Die Werte für die Jahre 1999–2007 wurden auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten ermittelt, während die Werte für die Jahre 2011–2019 auf der Grundlage von InVeKoS-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) bestimmt wurden.

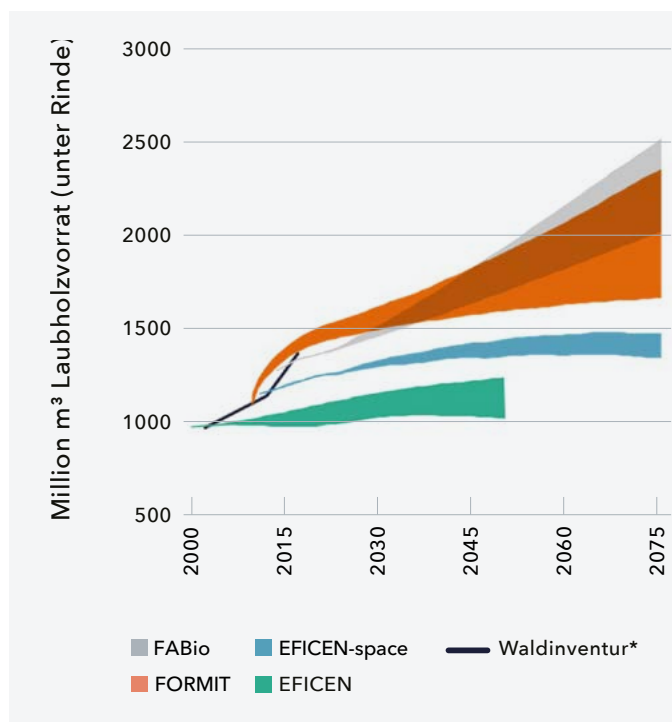
## Der Forstwirtschaftssektor

Von über 70 betrachteten Modellen wurden 10 als geeignet identifiziert, um Deutschlands Forstsektor auf nationaler Ebene abzubilden. Diese 10 Modelle können räumlich ganz Deutschland abdecken und gleichzeitig alle oder zumindest einen Teil der Indikatoren liefern, die im Expertenaustausch als relevant für das Monitoring von Wäldern und der forstlichen Bioökonomie identifiziert wurden.

Basierend auf Ergebnissen von drei Basisszenarien aus verschiedenen Studien wurde ein Set von Waldindikatoren entwickelt, wobei drei unterschiedliche Störungsempfindlichkeiten berücksichtigt wurden. Es zeigte sich, dass Ernteszenarien signifikante Variabilität bezüglich der Holzentnahme aufweisen, was die Notwendigkeit einer sorgfältigen Planung unterstreicht, um Angebot, Nachfrage und Naturschutzbemühungen zum Erhalt der Biodiversität und zur Minderung der Klimawandelauswirkungen in Einklang zu bringen. Modellergebnisse deuten darauf hin, dass die Vorräte von Laubbäumen wahrscheinlich weiterhin zur CO<sub>2</sub>-Speicherung beitragen werden, während die Vorräte von Nadelbaumbeständen anfälliger für natürliche Störungen sind.

Dürre und Borkenkäferbefall haben den Forstsektor in den letzten Jahren stark belastet. Wenn vergleichbar hohe Raten von Waldstörungen zukünftig gehäuft auftreten, könnte dies Kapazitäten beeinträchtigen, um die Nachfrage der Bioökonomie für Holz aus deutschen Wäldern zu decken, insbesondere z. B. im Bausektor, wo bisher schwerpunktmäßig Nadelholz eingesetzt wird. Das verstärkte Auftreten klimabedingter Naturkatastrophen unterstreicht die Notwendigkeit, einen strukturellen Wandel in der Zusammensetzung der deutschen Wälder – hin zu einem höheren Anteil an trockenheitsresistenten Laubbauarten – zu unterstützen sowie Innovationen zur verstärkten Nutzung solcher Arten auf den deutschen Produktmärkten zu fördern.

Aktuell nutzbare Monitoringmodelle für die waldbasierte Bioökonomie bilden Biomasse- und Kohlenstoffindikatoren gut ab, weisen aber einige Mängel bei der umfassenden Abdeckung von Biodiversitäts-, Boden- und Wasserindikatoren auf. Biodiversitätsindikatoren zeigen positive Trends in allen Szenarien, aber ein sorgfältiges Management ist erforderlich, um die Ergebnisse zu optimieren. Vorläufige Ergebnisse zur Kohlenstoffspeicherung in Waldböden deuten darauf hin, dass die Böden sich der Sättigung nähern könnten, wobei bis 2050 signifikante Abnahmen der jährlichen CO<sub>2</sub>-Speicherung prognostiziert werden.

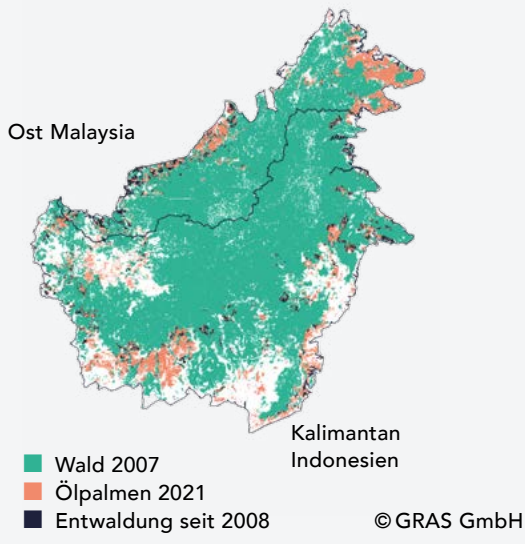


Anmerkung: \*Waldinventur ([www.bwi.info](http://www.bwi.info))

FABio: Forstwirtschafts- und Landwirtschafts-Biomasse-Modell (Forestry and Agriculture Biomass Model); FORMIT: Waldbewirtschaftungsstrategien zur Verbesserung des Minderungspotenzials europäischer Wälder (Forest management strategies to enhance the mitigation potential of European Forests); EFISCEN: Europäisches Waldinformations-Szenario-Modell (European Forest Information Scenario Model)

Szenarien, die für Deutschlands Wälder mit vier verschiedenen Waldwachstumsmodellen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Klimawandel- und Bewirtschaftungsannahmen simuliert wurden, zeigen, dass die prognostizierten Entwicklungspfade für den Laubholzvorrat erheblich voneinander abweichen. Eine allgemeine Schlussfolgerung ist, dass der Einfluss des Holzentnahme- und Bewirtschaftungsregimes auf die Entwicklung der Laubholzvorräte ebenso groß oder sogar größer sein kann als der Einfluss der vorgegebenen Klima- und Störungsszenarien.

## Umweltauswirkungen im Ausland



Die konsolidierte Karte zeigt die Abholzung, die auf den Anbau von Ölpalmen in bestimmten Regionen Indonesiens und Malaysias zwischen 2015 und 2021 zurückzuführen ist. Indonesien und Malaysia produzierten im Jahr 2022/2023 über 83 % des weltweiten Palmöls.

### Landwirtschaftlich getriebene Entwaldung und Zerstörung wertvoller Naturlandschaften

Die Quantifizierung des Ausmaßes, in dem die landwirtschaftliche Produktion zur globalen Entwaldung beiträgt, liefert einen wertvollen Kontext, um die Rolle der deutschen Bioökonomie im Rahmen globaler Trends zu verstehen. Diese Erkenntnisse helfen dabei, die damit verbundenen Risiken einzuschätzen und zeigen, wie Konsummuster die Abholzungsraten beeinflussen, basierend auf der Herkunft spezifischer Nutzpflanzen. In diesem Zusammenhang bietet die Fernerkundung einen erheblichen Vorteil gegenüber herkömmlichen statistischen Methoden bei der Verfolgung von Veränderungen von natürlichen Ressourcen und Umweltauswirkungen, indem sie nahezu in Echtzeit aktuelle Daten über Entwaldung liefert.

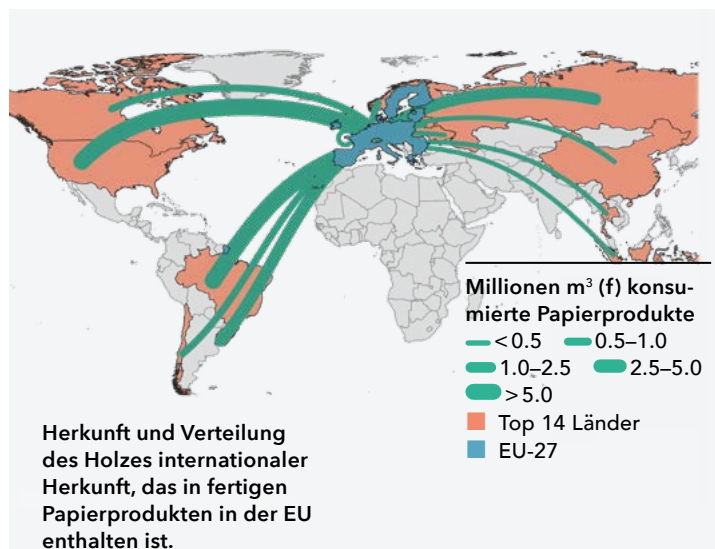
Landwirtschaftlich getriebene Entwaldung im Zusammenhang mit Ölpalmen in Indonesien und Malaysia sowie mit Sojabohnen und Zuckerrohr in Brasilien erreichte 2012 ihren Höhepunkt und ist infolge gezielter politischer Maßnahmen seitdem rückläufig. Kartierungen zeigten eine erhebliche Überschneidung zwischen der durch Sojabohnen und Zuckerrohr verursachten Abholzung und erhaltungswürdigen Ökosystemen mit hoher Artenvielfalt in Brasilien.

Die breitere Anwendung und Weiterentwicklung des halbautomatisierten Fernerkundungswerkzeugs könnte die Entwicklung nachhaltigerer Lieferketten sowie die Priorisierung gezielter Naturschutzmaßnahmen unterstützen, insbesondere in Gebieten, in denen die Zerstörung natürlicher Ökosysteme mit wertvollen Naturschutzgebieten zusammenfällt. Ein solches Monitoring bietet Einblicke, wie sich Veränderungen in Konsum- und Handelsmustern auf die Entwaldungsraten in bestimmten Regionen auswirken, was effektivere Reaktionen ermöglicht.

## Rückverfolgung von Holzprodukten

Um die Auswirkungen der mit der deutschen Bioökonomie verbundenen Produktion im Ausland besser erfassen zu können, wurde ein neuartiger Ansatz entwickelt, der ein physisches Input-Output-Modell mit einem Materialfluss-Ökobilanzierungsansatz kombiniert. Dieser Ansatz wird verwendet, um die Herkunftsorte bestimmter Holzströme und die damit verbundenen Nachhaltigkeitseffekte zu ermitteln.

Der Ansatz zeigt, dass in der EU-27 im Jahr 2018 fast 113 Millionen m<sup>3</sup> Holzfaseräquivalente in fertigen Papierprodukten verbraucht wurden. Rund 65% davon stammten aus dem Inland und 35% aus anderen Ländern (insbesondere aus den USA, Brasilien und Uruguay). Deutschland war der größte Verbraucher in der EU (26% des Gesamtverbrauchs). Zur Bewertung der sozioökonomischen und ökologischen Auswirkungen wurden in einer Fallstudie die Beschäftigung, die Wertschöpfung und das Treibhausgaspotenzial der in Uruguay produzierten und der EU verbrauchten Papierprodukte untersucht, um zu unterstreichen, dass Wirkungen der Bioökonomie nicht auf nationale Grenzen beschränkt sind.



Quelle: Pozo et al. (2024)

# Fußabdrücke der Bioökonomie

Fußabdrücke umfassen neben den direkten auch die indirekten Ressourcen, die zur Herstellung der in Deutschland konsumierten Produkte verwendet werden. Sie werden

auf der Grundlage eines globalen Handelsmodells berechnet und stellen eine ergänzende Perspektive zur detaillierteren Verfolgung der nationalen physischen Ströme dar.

## Landwirtschaftlicher Biomasse-Fußabdruck

Der gesamte landwirtschaftliche Biomasse-Fußabdruck in Deutschland betrug im Jahr 2021 341 Millionen t. Er ist in den letzten zwei Jahrzehnten um 24 % gesunken, was vor allem auf einen Rückgang bei Futterpflanzen und Weidebiomasse sowie bei Obst und zurückzuführen ist.

Die mengenmäßig wichtigsten landwirtschaftlichen Produkte waren Futterpflanzen und Weidebiomasse (103 Millionen t), Stroh (74 Millionen t), Zuckerpflanzen (34 Millionen t), Getreide (35 Millionen t) sowie Gemüse, Obst und Nüsse (54 Millionen t). Insgesamt stammen 30 % des landwirtschaftlichen Biomasse-Fußabdrucks im Jahr 2021 aus Deutschland, 21 % aus dem Rest der EU-27 und 4 % aus dem restlichen Europa. Insbesondere der Anteil aus dem Nahen Osten und Nordafrika ist gestiegen, von 7 % im Jahr

2000 auf 11 % im Jahr 2021. Bei den pflanzlichen Erzeugnissen stammen Weizen, sonstiges Getreide, Zuckerpflanzen, Gemüse, Futterpflanzen und Weidebiomasse überwiegend aus Deutschland und der EU, während Reis, Tabak, Gewürze, Schalenfrüchte und Fasern größtenteils von außerhalb Europas stammen.

Im Jahr 2021 lag der Pro-Kopf-Fußabdruck des Verbrauchs landwirtschaftlicher Biomasse bei 4,1 t pro Person. Im Vergleich zum weltweiten Durchschnitt (3,1 t landwirtschaftliche Biomasse pro Person) liegt der deutsche Gesamtverbrauch um fast ein Drittel höher. Er ist mehr als doppelt so hoch wie der vorgeschlagene Referenzwert (von 2 t land- und forstwirtschaftlicher Biomasse), um das globale Verbrauchsniveau innerhalb der planetaren Grenzen zu halten.



Tonnen pro Kopf im Jahr 2021

## Holzfußabdruck (Industrierundholz)

Betrachtet man nur die industrielle Nutzung von Holz – also ohne Brennholz – so wurde für Deutschland ein vorläufiger Fußabdruck von 62 Millionen m<sup>3</sup> Rundholzäquivalenten im Jahr 2021 geschätzt. Rund 35 % davon stammen aus Deutschland, 40 % aus der übrigen EU-27 und 6 % aus dem übrigen Europa. Durch die Verfolgung von Trends in den Verbrauchsmustern sowie von indirekten Strömen, die mit dem Holzverbrauch verbunden sind, könnte das Monitoring des Holzfußabdrucks dazu beitragen, Deutschlands Anteil am Druck auf die

globalen Wälder zu beobachten und die Diskussion darüber zu unterstützen, wie der Verbrauch von Holz aus Wäldern in Deutschland am besten priorisiert werden kann. Dazu müssen jedoch die Methode und die zugrunde liegende Datenbasis verbessert werden. Insbesondere die Umstellung auf die GLORIA-Datenbank hat zu einigen Herausforderungen in Bezug auf Teilspektoren, Umrechnungswerte und die inländische Entnahme nach 2018 geführt.



Kubikmeter Rundholzäquivalente für die industrielle Nutzung pro Kopf im Jahr 2021

## Agrarfußabdruck

Im Jahr 2021 betrug die gesamte Agrarfußabdruck der deutschen Bioökonomie ca. 468 Tausend km<sup>2</sup>, wovon etwa 40 % auf Ackerland und 60 % auf Grünland entfielen. Zum Vergleich: Die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland betrug 166 Tausend km<sup>2</sup>. Damit war der Agrarfußabdruck des Konsums 2,8-mal größer als die landwirtschaftliche Flächennutzung im Jahr 2021 in Deutschland.

Das Land mit der größten landwirtschaftlichen Gesamtfläche für den deutschen Konsum im Jahr 2021 war Argentinien (89,5 Tausend km<sup>2</sup>), gefolgt von Deutschland selbst (61 Tausend km<sup>2</sup>), den USA (34,4 Tausend km<sup>2</sup>) und China (27 Tausend km<sup>2</sup>). Die vorherrschende Landnutzung, die zum Fußabdruck in Argentinien, den USA und China beiträgt, ist die Beweidung. Zwischen 2000 und 2021 verringerte sich der Agrarfußabdruck um fast 38 %, was in erster Linie auf die Verringerung



Tausend m<sup>2</sup> pro Kopf im Jahr 2021



des Fußabdrucks von Futterpflanzen und Weideflächen zurückzuführen ist.

Rund 68 % der für den deutschen Konsum belegten landwirtschaftlich genutzten Flächen wiesen mindestens ein mittleres Risiko für Bodenerosion auf, wobei 1,4 % der Flächen im Jahr 2021 in Gebieten mit hohem Risiko lagen. Da die Boden-degradation ein kritisches Problem für den Erhalt landwirtschaftlicher Produktionssysteme darstellt, sollten Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenqualität und zur Minimierung von Bodenverlusten in landwirtschaftlichen Betrieben als Teil nachhaltiger Lieferketten aktiv unterstützt werden.

Der Agrarfußabdruck pro Kopf in Deutschland betrug im Jahr 2021 5.635 m<sup>2</sup>, wovon rund 2.200 m<sup>2</sup> auf Ackerland entfielen. Im Vergleich dazu lag die weltweit verfügbare Ackerfläche pro Person im Jahr 2021 bei 2.000 m<sup>2</sup>, womit der deutsche Agrarfußabdruck rund 10% höher lag. In der Literatur wird ein globaler Richtwert für den Ackerflächenverbrauch pro Person von 1.600 m<sup>2</sup> im Jahr 2050 als sicher und gerecht (innerhalb der planetarischen Grenzen) vorgeschlagen. Legt man diesen Wert als Richtmarke zugrunde, würde der deutsche Agrarfußabdruck im Jahr 2050 diesen Wert im Referenzszenario nur geringfügig um 1,25 % überschreiten (siehe unten).

## Klimafußabdruck

Der Klima-Fußabdruck der deutschen Bioökonomie betrug im Jahr 2021 152 Millionen t CO<sub>2</sub>-Äquivalente, was 1,85 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Kopf entspricht. Er ist seit dem Jahr 2000 um 35 % gesunken. Während die CO<sub>2</sub>-Emissionen und die N<sub>2</sub>O-Emissionen um 22 % bzw. 18 % zurückgingen, wurden die Methanemissionen um 55 % reduziert.

Durch Landnutzungsänderungen bedingte Emissionen wurden nicht in den ausgewiesenen Fußabdruck einbezogen. Sonst wäre der Fußabdruck größer. Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass zusätzlich etwa 0,5 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kopf im Jahr 2021 auf den deutschen Verbrauch im Ausland zurückzuführen waren, der mit den annualisierten Landnutzungsänderungen zusammenhing.

Der deutsche Klimafußabdruck war im Jahr 2021 um 76 % höher als die inländischen produktionsbedingten THG-Emissionen der Bioökonomie. Insgesamt stammten 33 % des Klima-Fußabdrucks

im Jahr 2021 aus Deutschland, 22 % aus dem Rest der EU-27 und 3 % aus dem restlichen Europa. Die Anpassung des Fleischkonsums und des Energieverbrauchs könnten zentrale Reduktionspotenziale erschließen.

Die Bioökonomie gilt als zentraler Hebel zur Reduktion der THG-Emissionen des fossilen Energiesystems. Gleichzeitig verursacht die Bioökonomie aber auch THG-Emissionen in einem Ausmaß, das höher ist als ihr Beitrag zu Wertschöpfung und Beschäftigung: Die Bioökonomie macht circa 5 % der gesamten Bruttowertschöpfung, 7 % der Gesamtbeschäftigung und rund **15 % des gesamten Klimafußabdrucks** aus. Auch wenn der Klimafußabdruck der deutschen Bioökonomie rückläufig ist, müssen die Auswirkungen auf die Landnutzung weiterhin sorgfältig berücksichtigt werden, insbesondere um zu verhindern, dass Substitutionsvorteile zunichte gemacht werden.



Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kopf im Jahr 2021



Kubikmeter pro Kopf im Jahr 2020

## Wasserfußabdruck

Der gesamte Wasserfußabdruck der deutschen Bioökonomie umfasste 2020 37 km<sup>3</sup>, wovon circa 8 % für Bewässerung eingesetzt wurde. Die Differenz und damit den größten Teil (34 km<sup>3</sup>) machte jenes Wasser aus, das die genutzten Pflanzen aus dem Boden aufnehmen und von Regen stammt. Der Anbau von Ölpflanzen, gefolgt von Getreide, Wurzeln und Knollengemüse sowie Obst trugen das Meiste zum Wasserfußabdruck bei.

Der Anteil des Wasserfußabdrucks, der in Deutschland der Umwelt entnommen wurde, betrug 14 %.

Die nächstgrößten Beiträge kamen mit jeweils ca. 5 % von der Elfenbeinküste, von Brasilien, dem Kongo, Spanien und Nigeria. Deutschland trug selbst nur 4 % zum Bewässerungsfußabdruck bei, d.h. 96 % wurde im Ausland aufgewendet. Spanien, USA, Türkei, Iran, Indien und Griechenland waren die Länder, in denen das meiste Bewässerungswasser für in Deutschland konsumierte Agrarprodukte eingesetzt wurde.

16 % des gesamten Wasserfußabdrucks der deutschen Bioökonomie wurde 2020 in Regionen mit



hoher Wasserknappheit umgesetzt, angeführt von Iran, Ägypten, Pakistan, Tunesien, Libyen und Syrien. In den Ländern mit großer Wasserknappheit beträgt der mediane Anteil der Bewässerung am gesamten Wasserfußabdruck 53%. Weiteres Monitoring ist wichtig, um sicherzustellen, dass die Entwicklung der deutschen Bioökonomie die globale Wasserknappheit nicht weiter verschärft.

Der Beitrag der deutschen Bioökonomie zur Wasserverschmutzung (z. B. durch Überdüngung und den Einsatz

von Pestiziden bewirkte Überschreitungen von sicheren Richtwerten) sollte größere Beachtung finden. Der Wasserqualitätsfußabdruck kann dabei helfen, prioritäre Hotspots zu erkennen. Das gesamte Wasservolumen, das 2020 nötig gewesen wäre, um die mit der Agrarproduktion für die deutsche Bioökonomie verbundene Wasserverschmutzung auf unschädliche Konzentrationen zu verdünnen, betrug 4.000 km<sup>3</sup>. Das entspricht dem 90-fachen Volumen des Bodensees.

## Biodiversitätsfußabdruck

Als neue Ergänzung zu den bereits mehr etablierten Umweltfußabdrücken stellt der Biodiversitätsfußabdruck einen Prototyp dar, dessen Methodik und Datenbasis weiter entwickelt werden. Er zielt darauf ab, die Auswirkungen von gehandelten Gütern in einem bisher nicht erreichten Detaillierungsgrad zu bestimmen. Dabei werden spezies-spezifische Empfindlichkeiten auf räumlich engmaschig erfasste Landschaftsveränderungen berücksichtigt, um die Wirkungen von Landnutzungs-expansion ebenso wie von Intensivierung auf die Verdrängung und die Degradation von Ökosystemen zu erfassen. Dazu werden umfangreiche Daten zur Biodiversität und aus Fernerkundung mit Ansätzen maschinellen Lernens verküpft.

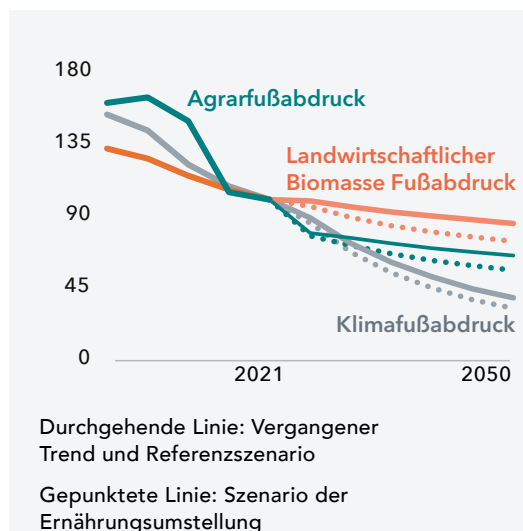
Eine Fallstudie fand heraus, dass der Biodiversitätsfußabdruck des deutschen Verbrauchs von brasilianischem Soja von der Periode 1997–2007 bis zur Periode 2008–2018 um 134% anstieg, obwohl die Importe um 55% abgenommen hatten. Das resultierte hauptsächlich aus der Expansion der Sojaanbaugelände in biodiversitätsreiche Landschaften. Es zeigt, dass diese Art der Analyse einzigartige Einsichten gewährt und das Monitoring z. B. der Anbau bedingten Entwaldung und der Landfußabdrücke ergänzt. Die vorläufigen Ergebnisse unterstreichen die wichtige Rolle regionaler Landnutzungs-dynamiken (Expansion, Intensivierung, Nutzungswechsel) und Gradienten der Biodiversität samt unterschiedlicher Sensitivitäten der verschiedenen Spezies. Dadurch können größere Fußabdruckänderungen ausgelöst werden als durch Änderungen der reinen Import- und Verbrauchsmengen.

## Szenarien und Auswirkungen

Es wurden Zukunftsszenarien für die Fußabdrücke bis zum Jahr 2050 modelliert. Das Referenzszenario basiert weitgehend auf einer Kontinuität hinsichtlich der für die Entwicklung der Bioökonomie in Deutschland, Europa und der Welt wichtigen Einflussgrößen. Abweichungen von Trendentwicklungen werden dann berücksichtigt, wenn sie gesetzlich verankert sind, wie dies bei der Energiewende in Deutschland und der EU der Fall ist (z. B. durch das Klimaschutzgesetz und den Green Deal), so dass sich das Referenzszenario an den beschlossenen Klimazielen orientiert.

Einfache Was-wäre-wenn-Szenarioelemente wurden verwendet, um alternative Pfade zum Referenzszenario aufzuzeigen. Ziel war es, durch die Isolierung von Parametern, die zu einem nachhaltigen Wandel beitragen (oder ihm schaden) könnten, in einer komparativ-statischen Analyse wichtige Hebel für Veränderungen zu erkunden. Das Szenario „Ernährungsumstellung“ beispielsweise berücksichtigt eine verstärkte Ernährungsumstellung hin zu weniger Fleisch und Milchprodukten, die sich an den

Ernährungsempfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung orientiert. Das Szenario „Ökologischer Landbau“ soll die Auswirkungen testen, die ein 100-prozentiger ökologischer Landbau in Deutschland bis zum Jahr 2050 (linearer Anstieg bis dahin) auf die Größe des Agrarfußabdrucks haben würde.



Die Szenarien zeigen einen weiteren Rückgang des landwirtschaftlichen Biomasse-Fußabdrucks, des Land-Fußabdrucks und des Klima-Fußabdrucks. Die Verringerung des Fleischkonsums ist eindeutig einer der größten Hebel, um den globalen Flächendruck, der von Deutschland ausgeht, zu verringern. Würde der Pro-Kopf-Fleischkonsum in Deutschland auf 300 Gramm pro Woche reduziert, wäre der landwirtschaftliche Biomasse-Fußabdruck um 13 %, der Agrarfußabdruck um 14 %, und der Klimafußabdruck um 17 % geringer als im Referenzszenario im Jahr 2050.

Im Szenario 100 % ökologischer Landbau in Deutschland ist der Land-Fußabdruck im Jahr 2050 um 5,9 % höher als im Referenzszenario. Dies ist eine Folge der angenommenen geringeren Ernteerträge. Potenziell positive Auswirkungen auf den im Boden gebundenen Kohlenstoff, auf die biologische Vielfalt landwirtschaftlicher Systeme und durch den geringeren Einsatz von Mineraldünger wurden in der Analyse nicht berücksichtigt.

## Schlussfolgerungen

Die Politik spielt eine zentrale Rolle bei der Umsetzung der Bioökonomie. Sie ist entscheidend für die Schaffung eines Förderrahmens, der biobasierte Innovationen vorantreibt. Gleichzeitig können Maßnahmen, die auf eine verstärkte Biomassenutzung abzielen, weitreichende Auswirkungen auf Landschaften und Ressourcen haben, sowohl in Deutschland als auch im Ausland. Dies wurde in mehreren Fällen nachgewiesen, z. B. bei den Auswirkungen der Biogaserzeugung in der Weser-Ems-Region und beim Sojaanbau in Brasilien. Wenn Deutschland den

Übergang zur Bioökonomie vorantreibt, ist es von entscheidender Bedeutung, potenzielle zukünftige Auswirkungen sorgfältig gegen die erklärten Ziele abzuwägen, um einen ganzheitlichen und nachhaltigen Wandel hin zu einer balancierten Bioökonomie zu gewährleisten. Diese Abwägung ist entscheidend für die Entwicklung einer Bioökonomie, die mit den UN-Nachhaltigkeitszielen übereinstimmt und unbeabsichtigte negative Folgen minimiert. Fünf Kernaussagen des Berichts werden hier zusammengefasst.

### 1. Eine systemische Perspektive ist grundlegend für die Politik

Die Politik sollte sich nicht auf einen einzigen Indikator oder wenige herausgegriffene Aspekte stützen, sondern auf eine umfassende Perspektive und skalenübergreifende Analysen, wofür zumeist verschiedene methodische Ansätze kombiniert werden müssen, wie sie in diesem Bericht beschrieben werden („Stoffstromanalyse“, „Lebenszyklusanalyse“, „Fernerkundung“, „Innovationsanalyse“, „Beteiligung von Interessengruppen“, „Szenariomodellierung“ usw.). Nur so können Problemverlagerungen vermieden werden. Das Monitoring von Substitutionseffekten steht beispielsweise vor der Herausforderung, dass es auf Annahmen beruht, die die Komplexität der realen Welt möglicherweise nicht vollständig erfassen, insbesondere im Hinblick auf die Ausweitung von Produktinnovationen. In diesem Fall ist es besonders wichtig, die Systemgrenzen und Einschränkungen der jeweiligen Methode zu beachten, wenn es darum geht, wichtige Erkenntnisse für politische Entscheidungen zu gewinnen. Vor diesem Hintergrund sind vielfältige und flexible politische Strategien erforderlich, die im Laufe der Zeit an neue Gegebenheiten angepasst werden können.

Biobasierte Ressourcen sind zwar potenziell nachwachsend, aber nicht unbegrenzt verfügbar. Daher müssen Synergien und Widersprüche zwischen verschiedenen

Optionen der Biomassenutzung sorgfältig geprüft werden. Dies gilt insbesondere für die Entscheidung zwischen stofflicher versus energetischer Nutzung. Neue politische Strategien zielen darauf ab, der stofflichen Wiederverwendung von Biomasse in Kaskaden den Vorrang zu geben, wobei die energetische Verwertung die letzte Stufe darstellt. Allerdings ist der Zugang zu Biomasse zwischen konkurrierenden Endverwendungen derzeit nicht gleichermaßen möglich. Im Vergleich zum Energiesektor wird die stoffliche Nutzung von Biomasse im Allgemeinen stärker von langfristigen Strategien und weniger von rechtlichen Rahmenbedingungen und Maßnahmen (wie Quoten und Preisanreizen) beeinflusst. Als erster Schritt zur Schaffung von Anreizen für die kaskadische Nutzung sind einheitlichere Wettbewerbsbedingungen erforderlich.

Die Politik sollte sich nicht nur auf die Verbesserung der nachhaltigen Biomasseerzeugung konzentrieren, sondern auch auf das Monitoring und die Förderung der nachhaltigen Verarbeitung und des nachhaltigen Verbrauchs biomassebasierter Produkte. Dies schließt ihre Nutzung, Wiederverwendung und Vermeidung ein, z. B. durch Bewusstseinsbildung in Bezug auf Übermaß und Suffizienz sowie durch Anreize für Geschäftsmodelle, die eine effizientere Biomassenutzung fördern.

## 2. Hindernisse beseitigen und in positive Treiber investieren

Es sollte in Bildungs- und Qualifizierungsprogramme investiert werden, um die deutschen Arbeitskräfte, insbesondere in der Industrie, mit dem notwendigen Fachwissen in den Bereichen Biotechnologie, Digitalisierung und anderen biobasierten Innovationen auszustatten, die für die Umsetzung der künftigen Bioökonomie erforderlich sind. Gleichzeitig, in Anbetracht des Beschäftigungsrückgangs in der Primärproduktion, sollten Initiativen zur Entwicklung des ländlichen Raums unterstützt werden, z. B. durch die Förderung neuer kreativer Unternehmensstrategien (Start-ups im Sinne der Zielsetzung einer nachhaltiger Bioökonomie). Eine gerechte Transformation für die betroffenen Regionen ist zu fördern, indem sichergestellt wird, dass die Bioökonomie nicht zu unsicheren Arbeitsbedingungen führt oder die Lohnungleichheit verschärft.

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Schaffung von Anreizen für Investitionen des Privatsektors in Produkt- und Prozessinnovationen, die auf eine intelligente, strategische und nachhaltige Biomassenutzung ausgerichtet sind. Hierzu ist es wichtig, bestehende irreführende Vorschriften zu überdenken und einen unterstützenden Rechtsrahmen

zu entwickeln, unter anderem durch steuerliche Anreize, vereinfachte Genehmigungsverfahren und Vorschriften für biobasierte Produkte. Dabei sollte die Erfüllung von Nachhaltigkeitskriterien die Voraussetzung für eine Finanzierung sein, um eine verantwortungsvolle Entwicklung zu gewährleisten. Breit angelegte Maßnahmen, die einen übermäßigen Konsum fördern können, sollten vermieden werden. Stattdessen sollten gezielte Ansätze verfolgt werden, die nachhaltige Arbeitsmethoden fördern und von klaren Indikatoren – einschließlich der Ressourcen- und Klimafußabdrücke – begleitet werden, um neue Wertschöpfungsketten von Anfang an zu bewerten.

Geschäftsmodelle und Infrastrukturen für die Wiederverwendung sollten durch Investitionen in Forschung und Entwicklung gefördert werden. Hierzu gehören technische, sektorübergreifende und soziale Innovationen. Es sollte sichergestellt werden, dass die Qualität von Werkstoffen wie Textilien, Papier und holzbasierten Produkten für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft geeignet ist, um ihre wiederholte Verwendung zu unterstützen.

## 3. Die Öffentlichkeit verstärkt aufklären, einbinden – und mobilisieren

Technologische Innovationen können einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten, müssen aber durch Verhaltensänderungen und strategische Prioritätensetzung bei der Biomassenutzung ergänzt werden. Die Einbeziehung der Öffentlichkeit sowohl in die Ausgestaltung des Monitorings als auch in die politischen Entscheidungsprozesse fördert einen inklusiveren und effektiveren Übergang zu einer nachhaltigen Bioökonomie. Es wird damit sichergestellt, dass verschiedene Stimmen, Wissensgebiete, Werte, Interessen und Perspektiven in dem Prozess berücksichtigt werden.

Die Öffentlichkeit sollte darüber aufgeklärt werden, dass die biologischen Ressourcen vielerorts auf der Welt übernutzt werden. Insbesondere die Fußabdrücke des Konsums bezogen auf landwirtschaftliche Flächen (Agrarfußabdruck) und landwirtschaftliche Biomasse zeigen, dass die Gesamtnutzung der primären landwirtschaftlichen Biomasse in Ländern mit hohem Verbrauch wie Deutschland nicht nachhaltig gesteigert werden kann, sondern eher vermindert werden sollte. Hierzu können ineffiziente und exzessive Nutzungsmuster angepasst

und der Fokus auf sekundäre Biomasse verlagert werden. Zu diesem Zweck sollte die allgemeine Botschaft vermittelt werden: „Biomasse ist begrenzt. Es gibt keinen ‚Abfall‘, nur sekundäre Ressourcen“. Dieser Perspektivwechsel kann zu nachhaltigeren Verhaltensweisen anregen.

### BOX 1. WAHRNEHMUNGEN DER STAKEHOLDER

Die Beteiligung von Interessenvertretern trägt dazu bei, ein Monitoring aufzubauen, das glaubwürdig und transparent ist und mehrere Perspektiven abdeckt. Die Stakeholder-Beteiligung ist seit 2017 ein Teil des SYMOBIO-Projekts. Die aktuellen Ergebnisse zeigen, dass die Wahrnehmung der Stakeholder in Bezug auf die Narrative und die Umsetzung der EU- und deutschen Bioökonomie-Strategien sehr unterschiedlich sind. Obwohl der ausdrückliche Wunsch nach einer „sozial-ökologischen Transformation“ besteht, ist die Wahrnehmung der aktuellen Leistung der Bioökonomie eher das eines „grünen Kapitalismus“. Die Beteiligten haben auch Lücken im Monitoring festgestellt, und zwar in Bezug auf den Erfassungsbereich und die Robustheit der sozialen Indikatoren im Vergleich zu den ökologischen und wirtschaftlichen Dimensionen.

## 4. Ein regelmäßiges Monitoring der Bioökonomie etablieren

Bisherige Forschungsprojekte in Deutschland, wie SYM-OBIO 2.0 und MoBi II, haben die verfügbaren Methoden, Daten und Indikatoren für ein Monitoring der Bioökonomie aus einer Systemperspektive bewertet und sich auf die Weiterentwicklung der Analysemethoden und der zugrunde liegenden Daten konzentriert. Dieses Wissen soll nun genutzt werden, um ein regelmäßiges Bioökonomie-Monitoring zu entwickeln, welches sich durch ein robustes, umfassendes und überschaubares Indikatorenset auszeichnet, das für verschiedene Akteursgruppen (Gesellschaft, Politik, Wirtschaft und Wissenschaft) nutzbar ist.

Zu diesem Zweck müssen Daten- und Indikatorlücken, z. B. in etablierten Statistiken, geschlossen werden. So ist beispielsweise die breitere Verfügbarkeit von amtlichen statistischen Daten, insbesondere für Forschungszwecke, von entscheidender Bedeutung. Derzeit gibt es z. B. keine amtlichen Statistiken über Rückstände aus der Lebensmittelproduktion von aquatischer Biomasse. Stattdessen verlässt sich die Erfassung auf Schätzungen, die auf Expertenwissen basieren. Ebenso sollten die statistischen Klassifikationen weiterentwickelt und regelmäßig aktualisiert werden, um besser zwischen biobasierten und fossilbasierten Sektoren und Produkten unterscheiden zu können, und zwar sowohl in monetären Einheiten als auch in physikalischen Mengen. Daten sind oft nur auf hoch aggregierten Ebenen verfügbar, was die Fähigkeit einschränkt, kleinere biobasierte Sektoren zu berücksichtigen

oder regionale Daten zur Bioökonomie zu verfolgen. Die Kontinuität der methodischen Ansätze in der statistischen Berichterstattung ist ebenfalls von wesentlicher Bedeutung. Die Unterbrechung der in diesem Bericht dargestellten Zeitreihen für die Bruttowertschöpfung und die Beschäftigung im Jahr 2018 erschwert die Ableitung politisch relevanter Implikationen hinsichtlich der Trends. Das Statistische Bundesamt (Destatis) spielt in diesem Prozess eine wesentliche Rolle und könnte durch eine verstärkte Unterstützung im Rahmen des Monitorings profitieren. Dies könnte auch dazu beitragen, die international vergleichbare Bereitstellung von Indikatoren für die Ressourcenfußabdrücke (Biomasse, Wasser, Land) zu verbessern.

Für die Erörterung und Einigung auf eine prägnante Auswahl von Kernindikatoren, die sich für eine regelmäßige Berichterstattung eignen, ist eine Priorisierung und Kompromissbereitschaft der daran beteiligten Akteure erforderlich. Die Festlegung von Prioritäten kann nur unter breiter Beteiligung der Interessengruppen gelingen. Aufgrund möglicher Lücken zwischen den idealen Indikatoren für das Monitoring der Bioökonomie und den derzeitigen Monitoring-Kapazitäten, die sich in einigen Fällen noch in der Entwicklung befinden und derzeit nur Näherungswerte liefern können, können Kompromisse erforderlich sein. Das Monitoring der sozioökonomischen Entwicklungen sollte insgesamt stärker berücksichtigt werden.

### BOX 2. DIE LANDSCHAFT DES BIOÖKONOMIEMONITORINGS

Existierende Berichterstattungsinitiativen, -programme und -aktivitäten beobachten verschiedene spezielle Aspekte der Bioökonomie (von der Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen bis hin zu Innovationen und sozialem Wandel). Während sie einzeln keinen systemischen Überblick über Transformation zu einer nachhaltigen Bioökonomie bieten, können sie tiefe Einblicke in Detailspekte sowie Synergien und Anknüpfungspunkte für das Bioökonomiemonitoring als Ganzes liefern. Zu diesem Zweck wurden über 100 spezifische Monitoringsysteme in Deutschland, der EU und auf globaler Ebene untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die sechs in diesem Bericht vorgestellten Umweltfußabdrücke thematische Verbindungen zu mehr als 60 untersuchten Monitoring-Initiativen mit Relevanz für die Bioökonomie aufweisen, was das Potenzial des in diesem Bericht vorgestellten Monitorings zur Ergänzung laufender Aktivitäten verdeutlicht. Im Allgemeinen wurden in Bezug auf Umweltauswirkungen große Schnittmengen und eine starke Abdeckung festgestellt, während sozioökonomische Faktoren, einschließlich von Aspekten wie Dynamiken des Konsums, als unterrepräsentiert identifiziert wurden.





## 5. Die weitere Entwicklung von Modellierungsinstrumenten unterstützen

In diesem Bericht wurden mehrere Monitoring-Ansätze vorgestellt. Es besteht ein dringender Bedarf, die bestehenden Modellierungs- und Monitoringkapazitäten aufrechtzuerhalten, zu erweitern und anzupassen, um speziell auf Kernfragen der Bioökonomie einzugehen. Obwohl in angrenzenden Forschungsbereichen bereits einige ähnliche Indikatoren und Modelle entwickelt wurden, sind diese nicht unbedingt darauf ausgelegt, direkt in ein Monitoring der gesamten Bioökonomie zu münden. Um einen Überblick zu schaffen, hinreichende Detaileinblicke zu ermöglichen und die strategische Entscheidungsfindung besser zu unterstützen, müssen zweckdienliche Indikatoren weiter entwickelt werden, die auf die einzigartigen Ziele und Bedürfnisse der Bioökonomie abgestimmt sind. Zu den wichtigsten Aktionsbereichen gehören die Erweiterung der Analyseinstrumente für das Monitoring, z. B. für die hinreichend detaillierte Bewertung der biologischen Vielfalt, die Festlegung gemeinsamer Standards für die Modellierung, die Harmonisierung von Handelsdaten und Umrechnungsfaktoren, die bessere Einbeziehung der Auswirkungen von Landnutzungsänderungen in die Bewertung von Treibhausgasemissionen und die Weiterentwicklung quantitativer Vergleichswerte für global sichere und gerechte Verbrauchsniveaus.

Gleichzeitig ist es von entscheidender Bedeutung, Überschneidungen und Doppelarbeit in der Forschung zu vermeiden. Durch die Verknüpfung des Bioökonomie-Monitorings mit etablierten und anerkannten Monitoring-Systemen können bestehende Lücken in der Monitoring-Landschaft geschlossen und das Verständnis für zusammenhängende Themen verbessert werden. Auf der Ebene der Bundesländer würde eine grenzüberschreitende Zusammenarbeit innerhalb Deutschlands auch dazu beitragen, Synergien zwischen verschiedenen Regionen zu heben.

Beide Ansätze, die Verbesserung neuer, auf die Bioökonomie zugeschnittener Methoden, sowie die Verknüpfung mit etablierten Monitoringsystemen, sollten weiter entwickelt werden. Dieser duale Ansatz wird ein umfassenderes, präziseres und effektiveres Monitoring ermöglichen, das politische Entscheidungen im Bereich der Bioökonomie besser unterstützt.

**Insgesamt haben sich die in dem vorgelegten Bericht aufgezeigten Trends und Botschaften auf die kritischen Herausforderungen der Zukunft konzentriert. Dies sollte jedoch nicht von dem dargestellten Gesamtbild ablenken. Die Bioökonomie bietet eine ganze Reihe von nachhaltigen Entwicklungspotenzialen für Deutschland - z. B. in der Biotechnologie. Die Voraussetzung dabei ist, dass die Biomassenutzung die wirtschaftliche und soziale Entwicklung innerhalb der ökologischen Grenzen unterstützt. Zudem steigen unsere Monitoringkapazitäten stetig. Zukünftige Anstrengungen sollten sich auf eine intelligentere, effizientere und kreislauforientierte Nutzung von Biomasse konzentrieren. Das Monitoring der deutschen Bioökonomie auf nationaler Ebene sollte weiterhin einen Überblick über die sozio-ökonomischen und ökologischen Entwicklungen aus einer Systemperspektive und im Kontext der UN-Nachhaltigkeitsziele geben.**

Den Hauptbericht und weitere Informationen zum Monitoring der Bioökonomie finden Sie unter: [www.monitoring-biooekonomie.de/en/](http://www.monitoring-biooekonomie.de/en/)



## IMPRESSUM

Dieser Bericht fasst die wichtigsten Ergebnissen des vom BMBF geförderten Forschungsprojekts SYMOBIO 2.0 (Konsolidierung des Systemischen Monitorings und Modellierung der Bioökonomie) zusammen. In SYMOBIO 2.0 arbeiten neun Forschungs-Partner in Deutschland zusammen, die vom CESR koordiniert werden.

Der Bericht umfasst auch Ergebnisse aus dem vom BMEL geförderten und vom Thünen-Institut durchgeführten Forschungsprojekt MoBi II (Aufbau eines systematischen Monitorings der Bioökonomie – Konsolidierungsphase).

### DISCLAIMER

Nicht alle Inhalte und Positionen spiegeln die Ansichten des Projektträgers, aller Projektpartner, der Universität Kassel oder der beteiligten Wissenschaftler wider.

### HERAUSGEBER

Center for Environmental Systems Research (CESR)  
Universität Kassel

3. Dezember 2024

