

Gemeinsame Studie

---

# **Bioökonomie im Lichte der planetaren Grenzen und des Schutzes der biologischen Vielfalt**

Autoren:

Dr. Joachim Spangenberg (BUND)

Wolfgang Kuhlmann (denkhausbremen)



## Impressum:

denkhausbremen e.V.  
Am Wall 174  
28195 Bremen  
info@denkhausbremen.de  
www.denkhausbremen.de

## Autoren:

Dr. Joachim Spangenberg, Bund für Umwelt u. Naturschutz  
Deutschland (BUND)  
Wolfgang Kuhlmann, denkhausbremen

## Redaktion:

Peter Gerhardt, denkhausbremen  
Jana Otten, denkhausbremen  
Jonas Daldrup, denkhausbremen

## Titelbild:

Mesophiles Grünland mit Kuckuckslichtnelken und scharfem  
Hahnenfuß (Foto: Gisi Stiftung, CC BY - ND 4.0)

Diese Studie wurde erarbeitet im Rahmen des Projektes  
„Bioökonomie im Lichte der Nachhaltigkeit“ im Auftrag des  
Bundesamtes für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundes-  
ministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare  
Sicherheit (BMU).

Die Verantwortung für die Inhalte dieser Veröffentlichung liegt  
bei den Autoren. Die Inhalte geben nicht die Position des BfN  
bzw. des BMU wieder.

Köln, Bremen 2020

Das Projekt wird gemeinsam durchgeführt von:



Das Projekt „Bioökonomie im Lichte der Nachhaltigkeit“  
wird gefördert von:



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Zustand der biologischen Vielfalt auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland</b> .....	<b>7</b>
2.1    Landwirtschaft .....	8
2.2    Wälder .....	11
2.3    Treiber des Biodiversitätsverlustes.....	12
<b>3. Das Konzept der planetaren Grenzen im Hinblick auf den Rückgang der biologischen Vielfalt und seine Bedeutung für die Biomasseproduktion</b> .....	<b>14</b>
<b>4. Aktuelle Biomassenutzung in Deutschland</b> .....	<b>16</b>
4.1    Landwirtschaft .....	16
4.1.1    Energiepflanzen.....	17
4.1.1.1    Biokraftstoffe .....	17
4.1.1.2    Biogas .....	19
4.1.2    Industriepflanzen .....	20
4.1.2.1    Pflanzliche Öle und tierische Fette.....	20
4.1.2.2    Zucker und Stärke.....	20
4.2    Forstwirtschaft .....	21
4.2.1    Holzenergie oder CO <sub>2</sub> -Speicher?.....	21
4.2.2    Holzfeuerung in Großkraftwerken .....	22
4.2.3    Lignozellulose-Bioraffinerien auf der Basis von Holz .....	22
4.2.4    Lignin aus Schwarzlauge .....	23
4.3    Folgen für die Biodiversität.....	23
<b>5. Biomassebedarf bei Substitution fossiler durch biogene Rohstoffe bezogen auf das aktuelle Konsumniveau der BRD</b> .....	<b>25</b>
5.1    Energetische Nutzung.....	26
5.2    Stoffliche Nutzung .....	27
5.2.1    Tenside .....	27
5.2.2    Schmierstoffe .....	27
5.2.3    Autoreifen.....	27
<b>6. Anforderungen an eine zukunftsfähige Bioökonomie aus Biodiversitätssicht</b> .....	<b>28</b>
6.1    Landwirtschaft (Biomasseanbau).....	28
6.1.1    Geänderte Nutzungsintensität.....	29
6.1.2    Änderung der Nutzungsart .....	30
6.1.3    (Un-)Angepasste Landnutzungsformen ....	31
6.1.3.1    Bodenerosion .....	31
6.1.3.2    Kohlenstoffgehalt im Boden .....	31
6.1.3.3    Bodenverdichtung .....	31
6.1.3.4    Hitze und Feuchte .....	31
6.1.3.5    Invasive Arten.....	32
6.1.3.6    Landschafts- und Habitat-Diversität .....	32
6.1.3.7    Agrarchemikalien .....	33
6.2    Forstwirtschaft (Holznutzung).....	34
6.3    Abfall- und Restmaterialverwertung .....	36
<b>7. Flächenkonkurrenzen und Importoptionen</b> .....	<b>38</b>
7.1    Flächenkonkurrenzen .....	38
7.2    Importe aus dem EU-Binnenmarkt.....	39
7.3    Außer-EU-Importe.....	40
<b>8. Bestehende Instrumente und Standards zur nachhaltigen Biomasseproduktion innerhalb der planetaren Grenzen</b> .....	<b>42</b>
8.1    Grundüberlegungen zur landwirtschaftlichen Biomasseproduktion.....	42
8.2    Die globale Perspektive .....	43
8.3    Europa .....	43
8.3.1    Der politische Rahmen: Die Gemeinsame Agrarpolitik GAP.....	43
8.3.2    Der rechtliche Rahmen: Für die Bioökonomie relevante europäische Ziele und Vorschriften.....	44
8.3.3    Neue EU-Agrarpolitik im Rahmen des Europäischen Grünen Deal .....	44
8.4    Deutsches Recht: Umweltrecht, Düngegesetz, Düngeverordnung .....	45
8.5    Zertifikate .....	45
<b>9. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen: Vorschläge für Anforderungen des Biodiversitätsschutzes an eine nachhaltige Bioökonomie</b> .....	<b>47</b>
Literatur .....	49
Endnoten .....	54

# Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1:	Bewertung des Erhaltungszustands der Lebensraumtypen (LRT) in Deutschland und den bio-geografischen Regionen	7
Abb. 2:	Bewertung des Erhaltungszustands der Arten	7
Abb. 3:	Veränderung der Anteile der Erhaltungszustände von Lebensräumen (links) und Arten (rechts) in den FFH-Berichten 2007, 2013 und 2019	8
Abb. 4:	Vergleich der Anteile nach Trendkategorie über 12 Jahre für verschiedene Lebensräume und Zeiträume	8
Abb. 5:	Die Entwicklung der Grasland-Schmetterlingspopulationen (1990-2017)	9
Abb. 6:	Rückgang der Vogelbestände	10
Abb. 7:	Deutschlands Wälder sind kaum noch natürlich	11
Abb. 8:	Die Entwicklung des Erhaltungszustands von Habitaten in Europa	13
Abb. 9:	Der Konsum der Europäer*innen überschreitet drei von vier kritischen planetaren Grenze	15
Abb. 10:	Flächennutzung in Deutschland 2017	16
Abb. 11:	Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (2005-2018)	17
Abb. 12:	Umweltfolgen der globalen Extraktion von Biomasse und fossilen Ressourcen	22
Abb. 13:	Biodiversitätsverluste durch Landnutzung infolge inländischer Produktion und internationaler Konsumnachfrage in Deutschland	24
Abb. 14:	Inländischer Ressourcenkonsum, Importe und ihre Umweltfolgen	24
Abb. 15:	Der Beitrag von Extraktion und Verarbeitung fossiler, mineralischer, metallischer und Biomasse-Ressourcen zu Klimawandel, Luftverschmutzung, Wasserknappheit und Biodiversitätsverlust, sowie zu Wertschöpfung und Arbeitsplätzen in Deutschland	25
Abb. 16:	Potenzielle natürliche Vegetation in Deutschland	35
Abb. 17:	Ungenutztes technisches Biomasse-Reststoffpotenzial in Deutschland	36
Abb. 18:	Ausländischer Anteil der Umweltbelastung durch den europäischen Konsum	40
Tab. 1:	Biomasse- und Kraftstofftertrag verschiedener Anbauprodukte	18

# 1. Einleitung

Das Zeitalter der fossilen Rohstoffe neigt sich mit großen Schritten seinem Ende zu und auch die Endlichkeit mineralischer Ressourcen erreicht immer stärker das Zentrum der politischen Debatte. Es zeichnet sich deutlich ab, dass die Menschheit in Zukunft stärker auf nachwachsende Rohstoffe angewiesen sein wird. Für diese dann mit biogenen Ressourcen gespeiste Wirtschaft hat sich der Begriff Bioökonomie etabliert.

## Was ist Bioökonomie?

Ursprünglich ist der Begriff der Bioökonomie vom aus Rumänien stammenden Thermodynamiker Nicholas Georgescu-Roegen im Jahre 1970 in die Wissenschaft eingeführt worden. Roegen entwarf das Konzept einer Ökonomie die – als Subsystem in das globale Ökosystem eingebunden – die Bewahrung der natürlichen Ressourcen im Fokus hat.

Mittlerweile hat sich die Bedeutung des Begriffes verschoben: Die Bundesregierung definiert Bioökonomie in ihrer 2020 vorgelegten Nationalen Bioökonomiestrategie als eine Wirtschaftsform, die biologische Ressourcen, Prozesse und Systeme nutzt (BMBF, BMEL 2020b).

Bioökonomie umfasst demnach 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.<sup>1</sup> Ökologische Kriterien stehen nicht mehr im Zentrum des Konzepts der Bundesregierung, dass nun ökonomische Prinzipien stärker betont.

Gemäß der EU-Kommission umfasst Bioökonomie alle Sektoren und Systeme, die sich auf biologische Ressourcen und ihre Funktionen und Prinzipien stützen. Sie soll Industrie und Primärproduktion erneuern, gleichzeitig aber die Umwelt schützen und die Biodiversität vergrößern (European Commission 2018). Bioökonomie ist ebenfalls ein entscheidender Eckpfeiler des von EU-Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen vorgestellten European Green Deal. Die Bioökonomie soll unter “uneingeschränkter Achtung der ökologischen Grundsätze für die Förderung von Biodiversität” vorangebracht werden (Europäische Kommission 2019).

## Bioökonomie in der Praxis

Neben den Sektoren Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft, die traditionell biologische Systeme für ihre Produktion nutzen, geht es in der wissenschaftsbasierten Bioökonomie vor allem darum, neue Anwendungsbereiche für biogene Ressourcen zu erschließen. Die Bundesregierung nennt konkrete

Anwendungsbeispiele wie den Kautschuk des Russischen Löwenzahns als Substitut für petrochemische Komponenten in der Autoreifenproduktion oder Hanffasern als Konstruktionsmaterial (BMBF, BMEL 2020b). Die Bioökonomiestrategie der Bundesregierung betont darüber hinaus mögliche biotechnologische Anwendungsbereiche wie etwa bei Pharmazeutika (BMBF, BMEL 2020a). Internationale Konzerne wie Coca-Cola oder die dänische Lego Gruppe bringen bereits erste Bioökonomie-Anwendungen wie Getränkeflaschen oder Plastikbausteine in die Praxis.<sup>2</sup>

## Bioökonomie nachhaltig gestalten

Gerade weil Bioökonomie einen derart weitreichenden und universellen Anspruch als DIE Wirtschaftsordnung der Zukunft formuliert, wird sie sich daran messen lassen müssen, ob damit die Zukunft sozial gerecht und ökologisch nachhaltig gestalten kann.

Eine Wirtschaft, die verstärkt nachwachsende Rohstoffe einsetzt, kann aus Sicht der Umwelt- und Entwicklungsverbände nur dann nachhaltig sein, wenn dies mit einer sozial-ökologischen Transformation einhergeht. Gefordert werden veränderte Konsummuster, geschlossene Kreisläufe sowie stoffliche Kaskaden- und Mehrfachnutzung, um die Strukturen des fossilen Zeitalters weitgehend hinter sich lassen. Die Verbände befürchten, dass durch eine mögliche Expansion der industriellen Land- und Forstwirtschaft im Zuge der Bioökonomie Naturräume – und damit auch die Artenvielfalt – weiter zerstört werden (Aktionsforum Bioökonomie 2019).

Im verstärkten Rückgriff auf biogene Ressourcen liegt die Gefahr, dass Ökosysteme mit negativen Folgen für Artenvielfalt und Klima weiter unter Druck geraten. Einer wirkmächtigen zivilgesellschaftlichen Klimabewegung ist es mittlerweile gelungen, die menschengemachte Erderwärmung als relevantes Zukunftsthema weit oben auf die politische Agenda zu setzen. Im Gegensatz dazu gibt es bislang keine breite gesellschaftliche Diskussion darüber, wie der dramatische Verlust der Artenvielfalt aufgehalten werden kann. Dabei ist ein effizienter Biodiversitätsschutz Voraussetzung für das nachhaltige Gelingen von Bioökonomie. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf zusätzliche Rohstoffbedarfe für eine zukünftige Bioökonomie, die in der Land- und Forstwirtschaft produziert werden sollen.

Um seriöse Aussagen über zukünftige Rohstoffpotenziale von Landnutzungs- und Ökosystemen im Hinblick auf den Schutz der Biodiversität treffen zu können ist es unerlässlich, die Ausgangslage und damit den aktuellen Zustand dieser Ökosysteme in Betracht zu ziehen.

In der Bioökonomiestrategie der Bundesregierung wird der Biodiversitätsschutz als Ziel für eine zukunftsfähige Land- und Forstwirtschaft postuliert und für die Einhaltung der ökologischen Grenzen bei einer Bioökonomie vorausgesetzt. Außerdem wird Biodiversität als Indikator für die Messung der nachhaltigen Gestaltung der Bioökonomie erwähnt (BMBF, BMEL 2020a). Darüber hinaus schreibt die Bundesregierung in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie einen verstärkten Biodiversitätsschutz als Hauptempfehlung fest. Die Biodiversitätsstrategie der Europäischen Union formuliert die Forderung, dass weitere Nettoverluste an Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen zu vermeiden sind (Europäische Kommission 2011).

Viele Bioökonomie-Szenarien deuten darauf hin, dass der Bedarf an biogenen Rohstoffen bislang ungekannte Dimensionen erreichen würde. Allein um das Erdöl für die bundesdeutsche Kunststoffproduktion von 19 Millionen Tonnen mit nachwachsenden Rohstoffen zu substituieren, würde ein Drittel der deutschen Ackerfläche benötigt (Maráz 2018b). Das Beispiel macht die Notwendigkeit deutlich, den potenziellen Biomassebedarf von Wirtschaftssektoren zu kennen, um eine seriöse Diskussion über nachhaltige Bioökonomie-Szenarien führen zu können.

Es ist außerdem zu erwarten, dass die Pläne für den Ausbau der Bioökonomie nur realisierbar sind, wenn die Bundesrepublik einen erheblichen Anteil der benötigten Biomasse importieren würde, da die hiesigen Anbaukapazitäten begrenzt

sind. Schon heute werden ca. 60 % der in Deutschland stofflich eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe importiert (Gent 2018).

Dieser Anteil könnte durch den Ausbau der Bioökonomie weiter steigen und die Tendenz verstärken, biogene Ressourcen aus den Ländern des globalen Südens zu importieren. Dort sind die Ökosysteme schon heute von der globalen Nachfrage für Brennstoff, Konstruktionsmaterial oder Zellstoff für die Papierproduktion erschöpft (EEPN 2015). Auch der Weltbiodiversitätsrat identifiziert die negativen Auswirkungen heimischer Produktions- und Konsumniveaus auf die ökologische Integrität weit entfernter Regionen (IPBES 2019). Es droht eine weitere Spaltung der Weltgemeinschaft in Unten und Oben sowie die Verschärfung von Klimakrise und Artenverlust.

Aus diesem Grund benötigt die Bioökonomie eine Regulierung, die sowohl das Vorsorge- als auch das Verursacherprinzip beim Natur- und Umweltschutz durchsetzt (Berger 2018) und dabei die potenzielle Leistungsfähigkeit der Ökosysteme mit in Betracht zieht. Diese Studie stellt mögliche Leitplanken für eine Bioökonomie zur Diskussion, damit Zielkonflikte zwischen Ökologie und Ökonomie in einem verantwortungsvollen Rahmen demokratisch ausgehandelt werden können.

## 2. Zustand der biologischen Vielfalt auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland

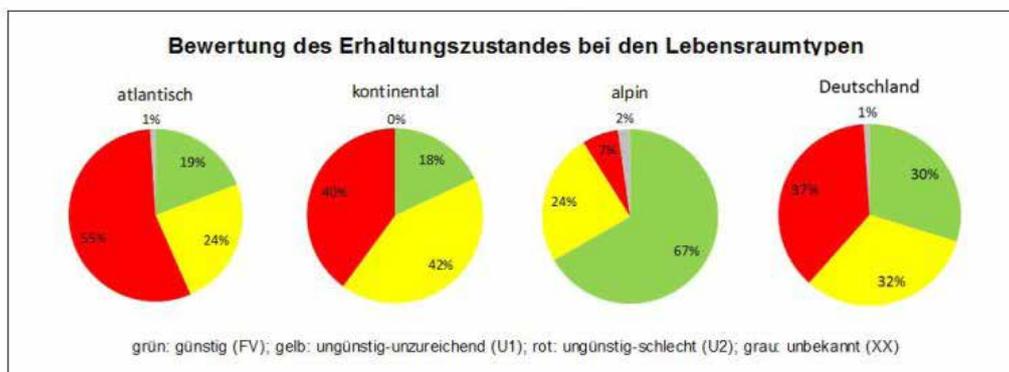
Im Mai 2020 hat die Bundesregierung den Bericht zur Lage der Natur in Deutschland veröffentlicht (BMU, BfN 2020); der eine wesentliche Datengrundlage für den folgende Text liefert. Da die Agrarpolitik europaweit von der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU bestimmt wird, ziehen wir hierzu ebenfalls Angaben aus dem europäischen Umweltzustandsbericht 2020 heran (EEA 2019).

Nach den Angaben des Berichts zur Lage der Natur in Deutschland ist ein günstiger Erhaltungszustand der Lebensraumtypen nur bei 30 % der Lebensraumtypen (LRT) erreicht, 32 % weisen einen ungünstig-unzureichenden und 37 % sogar einen ungünstig schlechten Erhaltungszustand auf. Dabei ist die Situation in den Alpen (alpine Region) überwiegend günstig, in Nordwestdeutschland (atlantische Region) hingegen überwiegend schlecht (siehe Abbildung 1).

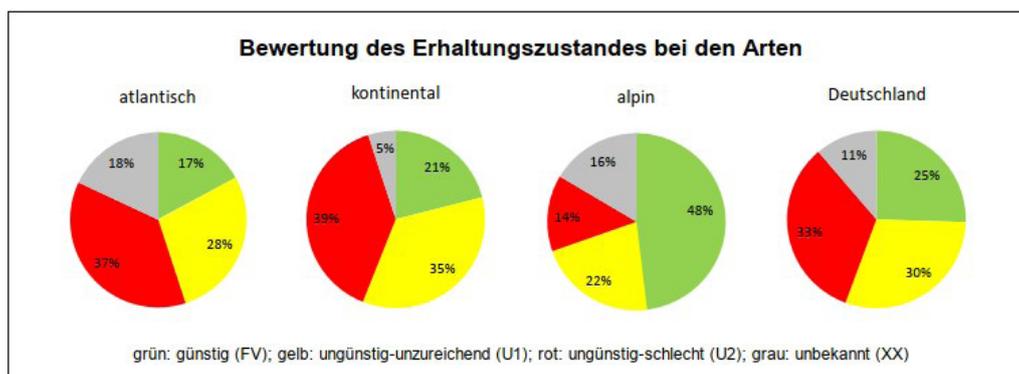
Etwas weniger dramatisch, aber keinesfalls beruhigend ist

das Bild beim Erhaltungszustand der Arten. Nur 25 % der 195 über die FFH-Richtlinie erfassten Arten von gemeinschaftlicher Bedeutung befinden sich in einem günstigen Zustand, 30 % in einem unzureichenden und 33 % in einem schlechten Zustand (siehe Abbildung 2).

Neben dem Erhaltungszustand wird im Bericht zur Lage der Natur in Deutschland dessen Trend angegeben, d.h. ob sich der Zustand der Lebensräume und Arten innerhalb der letzten zwölf Jahre auf einem bestimmten Niveau stabilisiert, verbessert oder verschlechtert hat (siehe Abbildung 3). Auch in der Tendenz zeigt sich bei den Lebensräumen eine kontinuierliche Zunahme der mit ungünstig-schlecht bewerteten Typen in den Berichten seit 2007. Bei den Arten liegt der prozentuale Anteil der Arten mit günstigem Erhaltungszustand konstant bei 25 %. Von 2013 zu 2019 nahm der Anteil der mit ungünstig-schlecht bewerteten Arten aber um vier Prozentpunkte zu.



**Abb. 1: Bewertung des Erhaltungszustands der Lebensraumtypen (LRT) in Deutschland und den biogeografischen Regionen; Quelle: BMU, BfN 2020**



**Abb. 2: Bewertung des Erhaltungszustands der Arten; Quelle: BMU, BfN 2020**

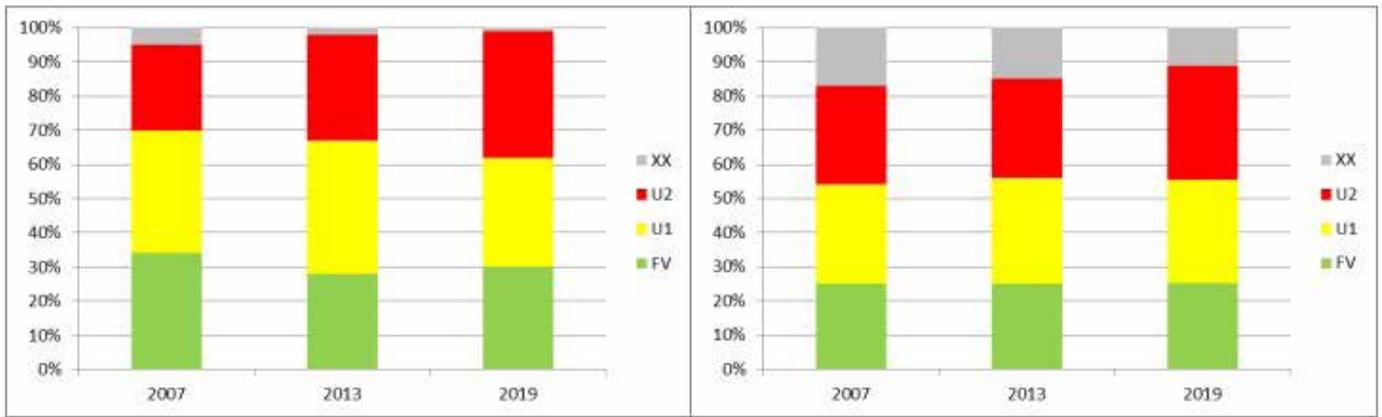


Abb. 3: Veränderung der Anteile der Erhaltungszustände von Lebensräumen (links) und Arten (rechts) in den FFH-Berichten 2007, 2013 und 2019; Quelle: BMU, BfN 2020

## 2.1 Landwirtschaft

Die Art und Weise, wie und in welchem Umfang Nutzpflanzen angebaut und Tiere gehalten werden, hat maßgeblichen Einfluss auf die Integrität globaler Ökosysteme und deren Funktionsfähigkeit wie die Klimaregulation, Bewahrung der Bodenfruchtbarkeit, Erhalt der Biodiversität und Regeneration regionaler Wasserkörper (UBA 2013). Darüber hinaus sind 50 % aller Arten in Europa auf landwirtschaftliche Lebensräume angewiesen (EEA 2006).

Während in den vergangenen Jahrhunderten die Landwirtschaft durch die Schaffung zahl- und formenreicher Kleinhabitats zur Biodiversität entscheidend beigetragen hat, ist diese Entwicklung seit Einführung der Intensivlandwirtschaft mit hohen Einsätzen an Agrarchemikalien und der Trennung

von Bodennutzung und Viehwirtschaft umgekehrt: Landwirtschaftsbedingte Umweltprobleme sind u.a. Bodenverdichtung und Erosion, Auswaschung von Nitraten und Phosphaten aus Düngemitteln in Grund- und Oberflächenwasser, und die Belastung mit Pestiziden und Pathogenen (EEA 2006). Feinstaub-erzeugende Ammoniumemissionen aus der Intensivtierhaltung sollen für jährlich 50.000 vorzeitige Todesfälle in Deutschland verantwortlich sein (Hessbrügge, Frick 2019). Wie die letzten Trockenjahre zeigen, ist Wasserknappheit für die Landwirtschaft, und bei Bewässerung infolge der Landwirtschaft, ein sich in der Klimakrise entwickelndes weiteres Problem.

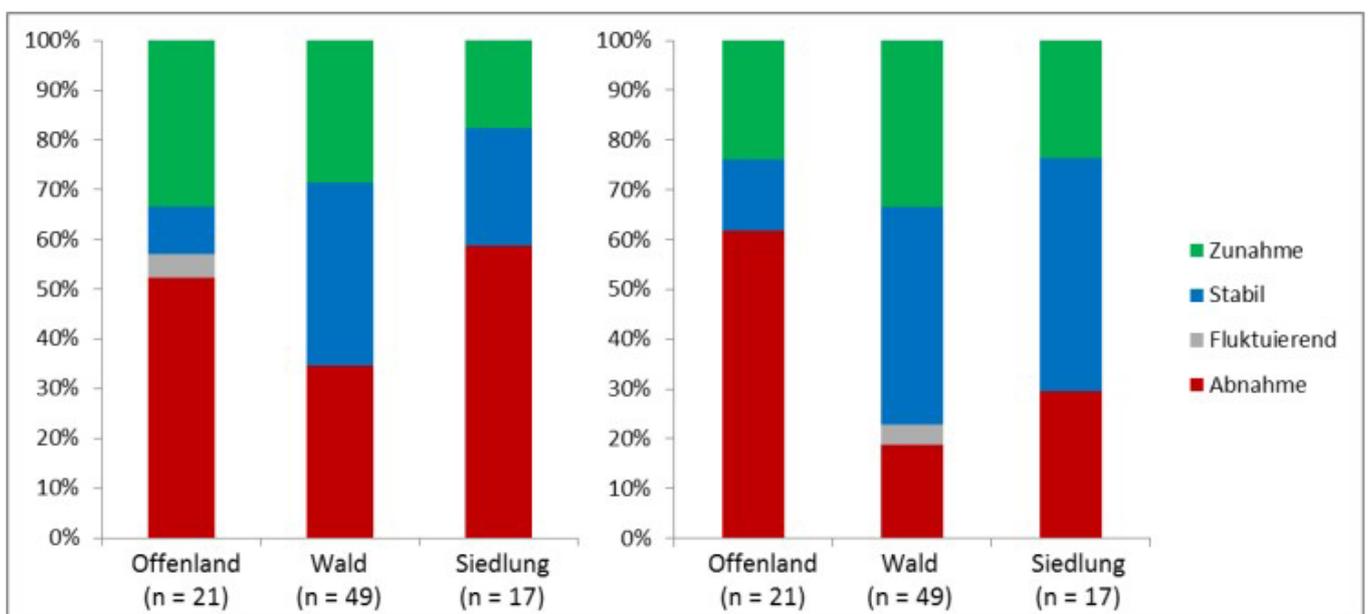


Abb. 4: Vergleich der Anteile nach Trendkategorie über 12 Jahre für verschiedene Lebensräume und Zeiträume. Die linke Grafik zeigt die Bestandstrends für den Zeitraum 1998 – 2009, in der rechten Grafik ist der Zeitraum 2004 – 2016 dargestellt; Quelle: BMU, BfN 2020

Auch die Beiträge der Landwirtschaft zur Klimakrise sind erheblich: Nicht nur der Energieverbrauch für Agrarchemikalien, landwirtschaftliche Geräte (einschließlich Gebäude) und die IT-Unterstützung der Landwirtschaft (in keinem anderen Land der Welt wird in der Landwirtschaft so viel IT und Künstliche Intelligenz eingesetzt) belastet das Klima, sondern auch die landwirtschaftlichen N<sub>2</sub>O-Emissionen (Lachgas) als Folge der Stickstoffdüngung tragen rund die Hälfte zu den globalen Emissionen dieses potenten Treibhausgases bei (Shcherbak et al. 2014).

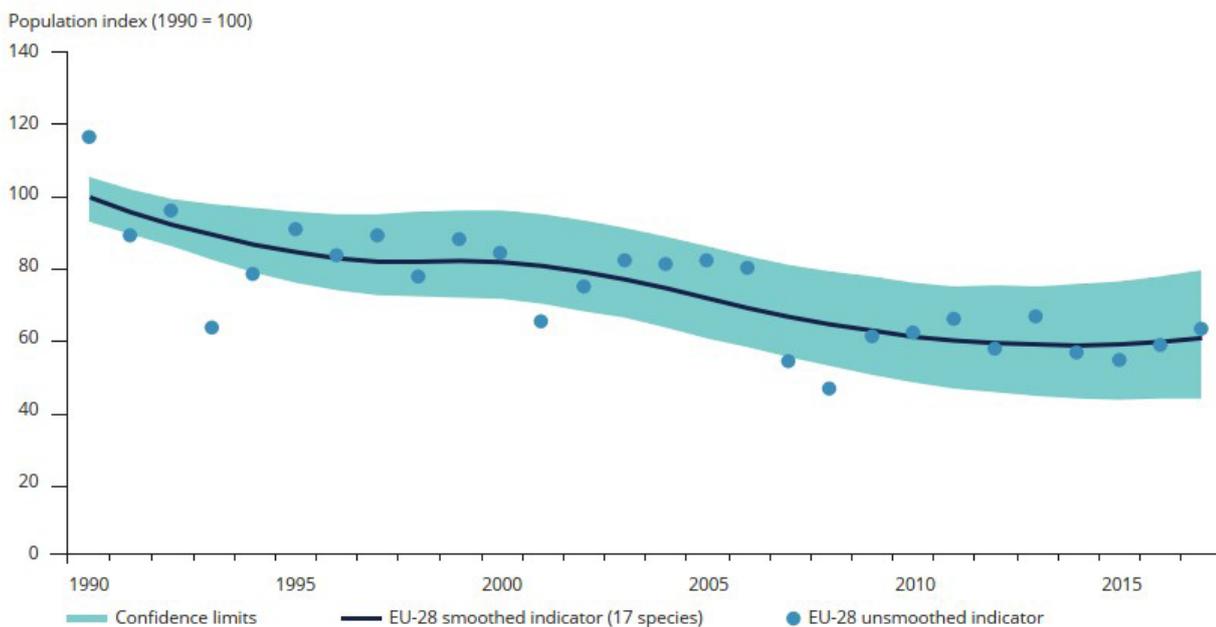
Die seit Jahrzehnten fortschreitende Spezialisierung in der Landwirtschaft und die damit (oft) einhergehende Simplifizierung der Anbausysteme haben zu signifikanten Verlusten an biologischer Vielfalt unter den genutzten Nutzpflanzen geführt (FAO 2019a), ebenso bei den Nutztieren (FAO 2019b). Dies ging einher mit einer Reduzierung der nicht bepflanzten Flächen, wie Grasland, Ackerrandstreifen, Baumreihen und Hecken. Das hat nicht nur die Diversität der Landschaftselemente deutlich verringert, sondern als Folge auch die der Lebensräume und der auf sie angewiesenen Tier- und Pflanzenarten. Der weit überdurchschnittliche Verlust an Vogelpopulationen in landwirtschaftlichen Gebieten illustriert diese Entwicklung (siehe Abbildung 4 aus dem Zustandsbericht 2020).

Die Intensiv-Landwirtschaft ist somit die wichtigste Ursache für den Verlust an Habitaten, Arten und genetischer Vielfalt (IPBES 2019; EEA 2019; BMU, BfN 2020). Im Kontext

des Zusammenhangs von Biodiversität und Bioökonomie ist besonders relevant, dass die Auswirkungen der Bioökonomie der ersten Generation, der Anbau von Feldfrüchten zur Bioenergiegewinnung, deutlich sichtbar sind und sich die Befürchtungen negativer Konsequenzen für die biologische Vielfalt verifizieren lassen. So lässt sich mittlerweile zeigen, dass der zunehmende Anbau von Mais und Raps die Zahl der Brutpaare von Ackerlandvögeln verringert. Profitieren könnten die Feldvögel dagegen von einer Ausweitung von Weideland und Brachflächen, die in den letzten Jahren geschrumpft sind – was einen wertvollen Hinweis auf mögliche Biodiversitätskriterien für die bioökonomische Landnutzung darstellt.

Diese kritische Entwicklung auf und nahe der landwirtschaftlichen Nutzflächen ist kein deutscher Sonderfall, sondern EU-weit zu beobachten. Das zeigt, dass nicht etwa regionale geographische Besonderheiten ursächlich für die Biodiversitätsverluste sind, sondern die von der EU-Agrarpolitik vorgegebene Art der Landwirtschaft (BMU, BfN 2020). Die Entwicklung der Vogelarten im Allgemeinen und der auf landwirtschaftlichen Flächen beheimateten Arten in Europa im Besonderen zeigt dies deutlich. So bestätigen Langzeitbeobachtungen an Vögeln, insbesondere solchen aus dem Agrarbereich, und an Grasland-Schmetterlingen den Trend einer kontinuierlichen europaweiten Abnahme; eine Erholung ist nicht in Sicht (siehe Abbildungen 5 und 6) (EEA 2019).

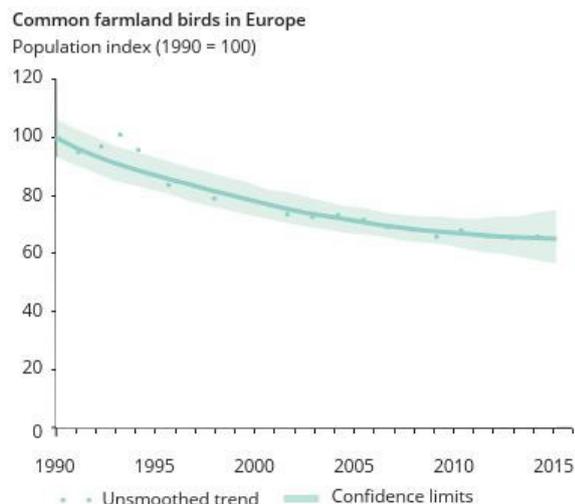
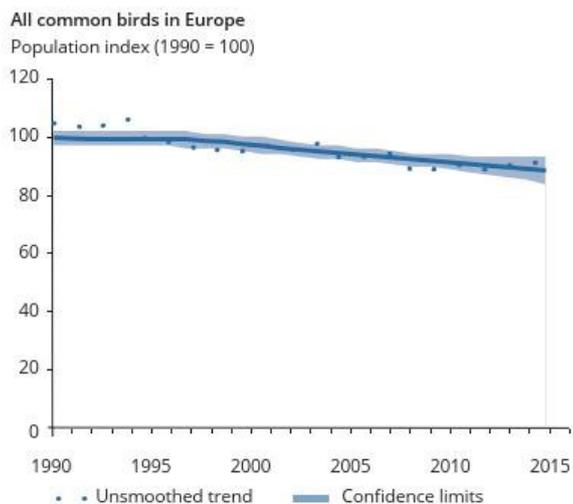
Der europäische Vergleich ist hier sinnvoll, denn die Entwicklungstrends sind wegen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP)



**Note:** The shaded area represents the confidence limits. Geographical coverage: Belgium, Estonia, Finland, France, Germany, Ireland, Lithuania, Luxembourg, the Netherlands, Portugal, Romania, Slovenia, Spain, Sweden, United Kingdom.

**Source:** EEA (2019a), Butterfly Conservation Europe, European Butterfly Monitoring Scheme partnership, Assessing Butterflies in Europe (ABLE) project.

**Abb. 5: Die Entwicklung der Grasland-Schmetterlingspopulationen (1990-2017); Quelle: EEA 2019**



**Note:** The shaded areas represent the confidence limits. Geographical coverage: EU-28 Member States (except Croatia and Malta) and Norway and Switzerland.

**Sources:** EEA (2019a), European Bird Census Council, Royal Society for the Protection of Birds, BirdLife International and Czech Society for Ornithology.

**Abb. 6: Europaweit sind die Vogelbestände weiter leicht zurückgegangen (anders als in Deutschland, wo außerhalb des Agrarbereichs eine Trendwende geschafft wurde), aber die weitaus größere Abnahme im landwirtschaftlichen Bereich zeigt, wo sich die Gefährdung der Biodiversität ballt; Quelle: EEA 2019**

gleich. Die Folgen der GAP betreffen nicht nur die Vogelarten, sondern z.B. auch Schmetterlinge und andere Insekten (Hallmann et al. 2017; Sánchez-Bayo, Wyckhuys 2019). Der Verlust von Bestäubern entwickelte sich in alten und neuen EU-Mitgliedsstaaten parallel, nachdem in den neuen die GAP eingeführt worden war (Uustal et al. 2009; IPBES 2016). Das bestätigt auch der Zustandsbericht von BMU und BfN; er zeigt, dass der Erhaltungszustand von Insekten, z.B. von Schmetterlingen und Libellen fast durchgängig schlecht ist und benennt als Ursache den Verlust von Lebensräumen infolge intensiver Landwirtschaft, mitsamt Düngern und Pestiziden.

Diese Entwicklung bestätigt auch das Assessment des Weltbiodiversitätsrates für West- und Zentraleuropa (IPBES 2018). Danach verringerte sich in fast allen Ökosystemtypen der Status der Biodiversität zwischen 2001 und 2017 deutlich (zur Bedeutung von Bienen, insbesondere von Wildbienen, für die globale Nahrungsmittelproduktion siehe IPBES 2016).

Aber nicht nur die Intensivierung der Landnutzung bedroht die biologische Vielfalt im landwirtschaftlich genutzten Raum: Die Aufgabe der Bewirtschaftung z.B. auf Grenzertragsstandorten oder in Bergregionen kann dazu führen, dass Nutzflächen mit besonderem Naturwert (High Nature Value Farmland, HN VF) aufgegeben werden und ihre typischen Landschaftsstrukturen und damit Habitate und Arten verschwinden. HN VF sind die Flächen, auf denen eine hohe Arten- und Habitatvielfalt mit der Form der landwirtschaftlichen Nutzung verbunden ist oder durch sie unterstützt wird, und die aus ökologischen eher denn aus ökonomischen Gründen erhalten werden müssen. Dazu gehören ebenfalls landwirtschaftliche

Nutzflächen auf denen europaweit besonders geschützte Arten vorkommen („species of European conservation concern“). Die landwirtschaftlichen Praktiken auf HN VF-Höfen sind in der Regel extensiver und auch mit natürlichen Prozessen und deren Fluktuationen von Jahr zu Jahr synchronisiert (Andersen 2003). Vergleichsweise niedrige Ernten sind auch deshalb ein inhärentes Merkmal der meisten Betriebe, die den HN VF schützen und erhalten. Aufgrund solcher Mechanismen ging in Deutschland die HN VF-Fläche von 2009 bis 2017 um 13% zurück (BfN 2019).

### Agrobiodiversität

Einen Sonderfall innerhalb der landwirtschaftlichen Biodiversität stellt die biologische Vielfalt der Nutztierassen und Nutzpflanzen-Varietäten dar. Agrobiodiversität und die Biodiversität des Bodenlebens sind nicht nur die Grundlage von Nahrungssicherheit und menschlicher Gesundheit, sondern auch die Voraussetzung dafür, dass sich Arten und Ökosysteme an die fortlaufenden Umweltveränderungen, darunter insbesondere an den Klimawandel, anpassen können (EEA 2019; FAO 2018). Der bisherige Schutzstatus wird dieser Bedeutung nicht gerecht.

Europa ist die Region, in der die meisten Nutztierassen als gefährdet klassifiziert werden; so werden z.B. inzwischen mindestens 130 Rinderrassen als „ausgestorben“ klassifiziert (FAO 2018). Im Nutzpflanzenbereich gibt es ähnliche Trends: Die moderne Pflanzenzucht zielt auf höhere Erträge und geringe Ausfallrisiken, was die genetische Vielfalt unter den angepflanzten Nutzpflanzen verringert hat. Viele traditionelle

Getreidevarietäten und ihre wilden Verwandten sind vom Aussterben bedroht oder bereits ausgestorben.

Die Ursachen dieses als „genetische Erosion“ bekannten Prozesses sind insbesondere die Intensivierung und Industrialisierung der Tier- und Pflanzenproduktion, sowie Urbanisierung, Umweltqualitätsbelastungen und Landnutzungsänderungen, d.h. der Verlust von Weideland.

Da die Anpassung an eine sich verändernde Umwelt auf einen großen Genpool angewiesen ist, sind Maßnahmen

zum Schutz von Nutzpflanzenvarietäten und ihrer wilden Verwandten ebenso erforderlich wie Programme zur Weiterzucht gefährdeter Nutztierarten.

Die Bodenbiodiversität ist trotz ihrer Bedeutung für die menschliche Ernährung und den Gesundheitszustand terrestrischer Ökosysteme in weiten Teilen noch unerforscht. Dennoch wurde bereits gezeigt, dass Bodenverschmutzung mit Metallen und mit Nanomaterialien die Diversität der Bodenorganismen deutlich reduzieren können.

## 2.2 Wälder

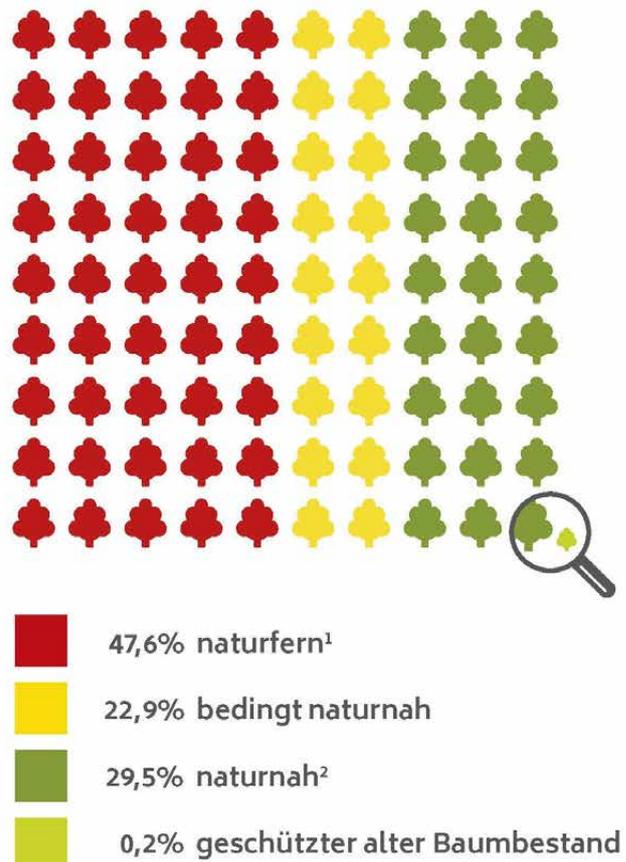
Wälder bedecken 31 % der Landfläche Deutschlands. Doch bis heute ist es nicht gelungen, das 2007 in der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt formulierte 5 %-Ziel zu erreichen (BMU 2007). Dies sieht vor, bis 2020 5 % der Waldfläche Deutschlands nicht mehr holzwirtschaftlich zu nutzen, dauerhaft seiner natürlichen Entwicklung zu überlassen und diesen Status rechtsverbindlich zu sichern. Erreicht wurden bisher gerade einmal 2 %. „Über die fehlenden drei Prozent, etwas mehr als 300.000 (von elf Millionen) Hektar wird so heftig gestritten, dass man meinen könnte, das Ende der Forstwirtschaft stünde kurz bevor“ (Maráz 2018a).

Ohne den menschlichen Nutzungseinfluss würden an den meisten Standorten Laub- und Laubmischwälder, überwiegend mit Buche, dominieren. Das natürliche Areal von Nadelwäldern ist auf mittlere und höhere Lagen der Gebirge (Fichte, Tanne, Lärche) bzw. auf sehr trockene oder sehr nasse, besonders nährstoffarme Standorte (Kiefer) beschränkt. Unsere Wälder sind bis auf wenige Bereiche durch jahrhundertelange Nutzung geprägt. Heute überwiegen mit 54 % die Nadelbäume und nur knapp ein Viertel der Wälder sind älter als 100 Jahre (siehe Dritte Bundeswaldinventur, Thünen-Institut 2012)<sup>2</sup>.

Eine besorgniserregende Verarmung der Waldökosysteme beobachtet auch eine umfangreiche Studie der Naturwald Akademie (Welle et al. 2018). Fast 90 % der Waldfläche in Deutschland ist in einem naturschutzfachlich schlechten Zustand. Denn auf den meisten deutschen Waldflächen wachsen nicht nur wenige unterschiedliche Baumarten, sondern zudem oft solche, die dort natürlicherweise nicht vorkommen würden.

Zwar werden knapp 30 % als naturnah beschrieben (siehe Abbildung 7), doch es fehlen vor allem alte Bäume (mit mehr als 140 Jahren). Sie sind existentiell für das Überleben zahlreicher Tier-, Pilz- und Pflanzenarten, die nur auf oder mit ihnen leben können. Auf nur 4,5 % der Waldfläche wachsen Bäume, die älter als 140 Jahre sind. Und nur 0,2 % dieser ökologisch besonders wertvollen Waldflächen mit altem Baumbestand sind dauerhaft geschützt (Welle et al. 2018).

### Deutschlands Wälder sind kaum noch natürlich



- (1) von Menschen gestalteter Nutzwald hat den ursprünglichen Wald ersetzt
- (2) die vorhandenen Baumarten stimmen mit den des ursprünglichen Waldes überein

**Abb. 7: Deutschlands Wälder sind kaum noch natürlich; Quelle: Welle et al. 2018**

Eine hohe Biodiversität im Wald bringt meist eine höhere Stabilität der Waldökosysteme mit sich. Sie sind gegenüber Störungen wie Wetterextremen und Schadinsekten weniger anfällig. Umgekehrt reagieren Wälder mit geringer Artenvielfalt stärker auf solche Einflüsse und sind störanfälliger, wie die großflächigen Waldschäden mit anschließendem Borkenkäferbefall seit dem Sommer 2019 zeigen, die die Fichtenmonokulturen besonders hart treffen. Daher ist eine möglichst hohe Biodiversität ein wichtiges und grundsätzlich anzustrebendes Ziel für alle Wälder – sowohl für naturnahe Wälder als auch für Wirtschaftswälder. Forstpolitisches Ziel

sind deshalb standortgerechte, strukturreiche Mischwälder. Sie werden den gegenwärtigen Anforderungen und künftigen Herausforderungen am besten gerecht. Mischwälder bieten bessere Voraussetzungen, sich an Umweltveränderungen anzupassen und waldbauliche Risiken wie Sturm, Schaderreger und Baumkrankheiten auszugleichen. Mischwälder sind vorteilhaft für den Waldboden und die Grundwasserstände. Neben ästhetisch ansprechenden Waldbildern bieten sie mannigfaltige Lebensräume und damit eine Voraussetzung für eine artenreiche Fauna und Flora.

## 2.3 Treiber des Biodiversitätsverlustes

Wie schon in der Einleitung auf Grundlage des Berichts zur Lage der Natur angerissen, ist die Landwirtschaft der wichtigste Treiber des Biodiversitätsverlustes in Deutschland. Dabei ist Deutschland kein Einzelfall – ein Blick auf die europäische Situation zeigt, dass die Gemeinsame Agrarpolitik überall zu Lasten der biologischen Vielfalt geht. Da die Agrarpolitik europäisches Recht ist, betrachten wir zunächst die Entwicklung in der EU, bevor wir auf die Lage in Deutschland eingehen.

Die Problembeschreibung der Europäischen Umweltagentur EEA nutzt das DPSIR (Driving force – Pressure – State – Impact – Response) Schema als Heuristik. Auch wenn es keine kausale Analyse bietet, veranschaulicht es Zusammenhänge und kann leicht so modifiziert werden, dass Wirkmechanismen dargestellt werden (Maxim et al. 2009), was auch empirisch gezeigt wurde (Spangenberg et al. 2009). Der EEA Umweltzustandsbericht 2020 (EEA 2019), ebenso wie das regionale und das globale Assessment des Weltnaturschutzrates zum Zustand der Biodiversität (IPBES 2018; IPBES 2019) identifizieren die Treiber des Biodiversitätsverlustes als

- Landnutzungsänderungen, einschließlich Habitatverlust, Fragmentierung und Degradation,
- Klimawandel, sowohl durch direkte Emissionen wie durch Schädigung von Senken,
- Extraktion natürlicher Ressourcen, sowohl nachwachsender wie nicht erneuerbarer,
- Umweltverschmutzung durch Emissionen in Boden, Wasser und Luft, sowie
- invasive Arten, die gezielt importiert oder versehentlich eingeschleppt wurden und sich z.B. infolge des Klimawandels etablieren und ausbreiten können.

Die am häufigsten genannte Gefährdungsursache für alle terrestrischen Arten, Habitate und Ökosysteme ist nach den Erhebungen der EEA die Landwirtschaft (EEA 2019). Abbildung 8 zeigt den Erhaltungszustand von Habitaten in Europa.

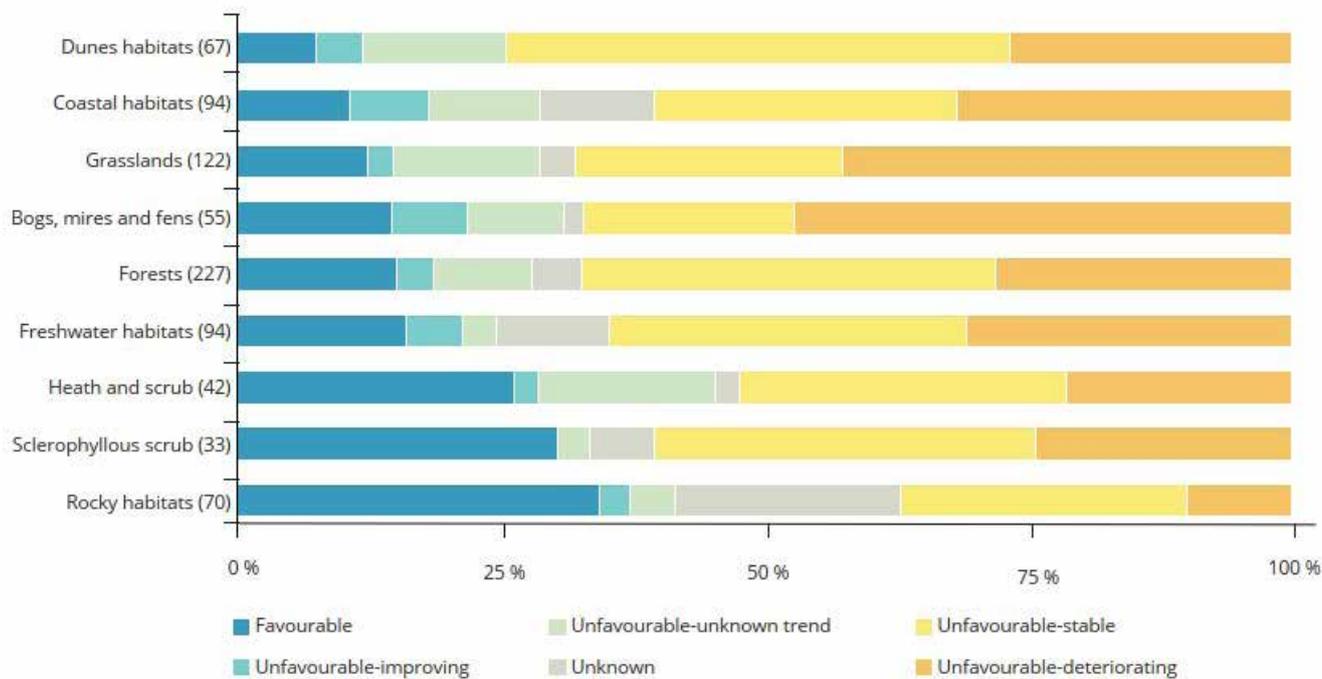
Für Süßwasserökosysteme sind die wichtigsten Gefährdungsursachen Veränderungen der Hydrologie einschließlich einer Übernutzung der Wasservorräte; für Habitate wird häufig die Verschmutzung des Oberflächenwassers genannt, und für die Arten der Verlust von Habitateigenschaften und mangelnde Beuteverfügbarkeit. Während in den vergangenen Jahren zumindest die Trends bei der Errichtung terrestrischer und mariner Schutzgebiete positiv waren, sind bis 2030 bei einer unveränderten Politik keinerlei positive Entwicklungen absehbar. Erholungen, zumindest von einem schlechten zu einem durchwachsenen Trend gibt es nur wenige, Verschlechterungen dagegen mehr.

Auf der Ebene der indirekten Treiber, die auch politische Priorisierungen beinhalten, sind die Ursachen des Arten- und Habitatverlustes einer Anzahl von Wirtschaftssektoren und Sektorpolitiken zuzuordnen. So ist das Wirtschaftswachstum allgemein nicht von Umweltstörungen entkoppelt, und eine solche Entkopplung würde sowohl einen Politikwandel wie einen Umbau des Steuersystems erfordern (EEA 2019).

Als ein Beispiel für künftige Gefährdungen nennt die EEA die Produktion von Biomasse für industrielle Zwecke, hier für die Energiegewinnung. Diese ist besorgniserregend, wenn natürliche oder semi-natürliche Ökosysteme in Produktionsflächen umgewandelt werden, sei es zur Biomasseproduktion oder als Ausweichstandorte für den Anbau von Produkten, die durch die Biomasseproduktion von ihren früheren Standorten verdrängt wurden (EEA 2019).

Die EEA beschreibt auch die ergriffenen Schutzmaßnahmen. So liegt Deutschland im oberen Drittel der EU-Mitgliedstaaten was die geschützten Flächen angeht, auch wenn der Anteil der Flächen unter internationalem Schutz (z.B. Natura 2000 oder Ramsar-Gebiete) vergleichsweise gering ist. Auch

die räumliche Gestaltung der geschützten Gebiete und ihr Management sind von Wichtigkeit; insbesondere weil mit zunehmender Klimakrise die Bedeutung von Migrationskorridoren zwischen verschiedenen Ökosystemen und Schutzgebieten wächst.



**Note:** The number of assessments is indicated in parenthesis. The total number of assessments is 804.

**Source:** EEA (2016b), based on conservation status of habitat types and species reporting (Article 17, Habitats Directive 92/43/EEC).

**Abb. 8: Die Entwicklung des Erhaltungszustands von Habitaten in Europa; Quelle: EEA 2019**

### 3. Das Konzept der planetaren Grenzen im Hinblick auf den Rückgang der biologischen Vielfalt und seine Bedeutung für die Biomasseproduktion

Die Bioökonomiestrategie der Bundesregierung benennt zwei Faktoren explizit, die als Bedingungen für den Ausbau der Bioökonomie erfüllt sein müssen: Die Biomasseproduktion für die Bioökonomie müsse gegenüber der Lebensmittelproduktion zurückstehen, und bei der Biomasseproduktion müsse die Einhaltung der planetaren Grenzen gewährleistet sein.

Die Überschreitung von Belastungsgrenzen der Natur ist kein neues Thema, sondern seit der Veröffentlichung der „Limits to Growth“ bekannt (Meadows et al. 1972) und auch regelmäßig aktualisiert worden (Meadows et al. 1992; Meadows et al. 2004). Diese Grenzen wurden seit den 1990er Jahren als Grenzen des Umweltraums ökologisch definiert (Weterings, Opschoor 1993; Spangenberg 1995) und im letzten Jahrzehnt als ökologische Grenzen des Erdsystems (Planetare Leitplanken, die den sicheren Handlungsraum der Menschheit bestimmen) quantifiziert (Rockström et al. 2009a; Steffen et al. 2015). Sie haben sich im 7. und 8. Umweltaktionsprogramm der EU niedergeschlagen, die als Ziel das Leben innerhalb der Grenzen des Planeten definieren. Sie beschreiben einen sicheren Handlungsraum („safe operating space“), innerhalb dessen mit hoher Wahrscheinlichkeit die Funktionsfähigkeit des Erdsystems in einer für den Menschen günstigen Konstellation erhalten bleibt. Die planetare Grenze, deren Überschreitung bisher am ausgeprägtesten ist, betrifft die Integrität der Biosphäre, d.h. den Verlust der biologischen Vielfalt auf Ökosystem/Habitat-, Arten- und Genomebene. Andere Grenzüberschreitungen tragen zu diesem Phänomen bei, so die Änderungen der Landnutzung, die Überschreitung der Grenzen für den planetaren Stickstoff- und Phosphorhaushalt, sowie in Zukunft die Erderhitzung und ggf. die Wasserverfügbarkeit.

Inzwischen liegen vertiefende Arbeiten für einzelne der berechneten Grenzen vor (z.B. Gerten et al. (2013) für Süßwasser, mit Betonung der lokalen Verfügbarkeiten Carpenter, Bennett (2011) für Phosphor), für einzelne Wirtschaftssektoren (z.B. Bowles et al. (2019) für die Fleischproduktion und die Folgen für die Ernährung), sowie aus politikwissenschaftlicher und juristischer Sicht (z.B. Müller, Huppenbauer (2016); Chapron et al. (2017); Hoff et al. (2017) für Stickstoff und eine deutsche Stickstoffstrategie). Dabei bleiben die Anwendungen für globale (z.B. WBGU (2015)) und regionale/europäische Governance (z.B. Hoff (2017); Höhne et al. (2014)) begrenzt; Bringezu et al. (2012) berechnen,

dass die globale Landnutzung der Europäer\*innen für den eigenen Konsum das globale Limit (unter der Annahme gleichverteilter Nutzungsrechte) um rund ein Drittel überschreitet. Das präzisiert ältere Berechnungen, die zu ähnlichen Ergebnissen kamen (z.B. Spangenberg (1995)) und stützt auch die Angaben der Europäischen Umweltagentur (EEA (2019), siehe Abbildung 9).

Nationale Umsetzungsvorschläge zur Einhaltung der planetaren Grenzen gibt es nur wenige. So diskutieren Müller et al. (2016) Zielbilder, Hy et al. (2015) machen Vorschläge für politisch zu setzende Leitplanken für die Schweiz, Lucas und Wiltung (2018) für die Niederlande sowie der WBGU (2015) für ihre Berücksichtigung in den Sustainable Development Goals. Für eine Operationalisierung und Anwendung dieser Leitplanken sind die globalen Werte herunterzukalieren, räumlich explizit darzustellen und für den jeweiligen Kontext zu übersetzen, unter Berücksichtigung der Zuständigkeiten und der einzubeziehenden Akteure (Häyhä et al. 2016). Erst dann können sie als Richtwerte dienen, mit denen der nationale Ist-Zustand der Umwelt zu vergleichen ist, und nationale Strategien gegebenenfalls entsprechend angepasst werden können (Hoff et al. 2017). Die meisten haben dabei als normative Grundannahme einen Anspruch auf gleichverteilte Nutzungsrechte angenommen, was für global wirksame Effekte wie die Erderhitzung plausibel, für regionale Probleme wie den Wasserverbrauch aber problematisch ist (Spangenberg 1995; Gerten et al. 2013).

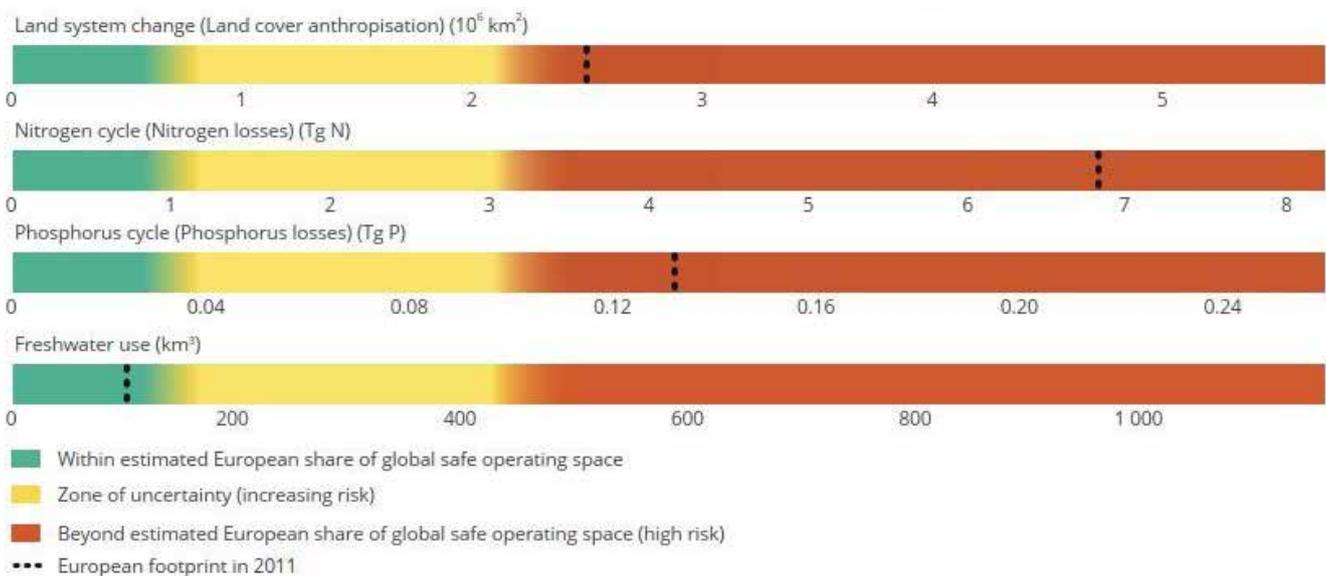
Aufgrund dieser komplexen Aufgabenstellung sind die planetaren Grenzen bisher in keinem Mitgliedsland der EU so weit konkretisiert worden, dass sie als politikleitendes Instrumentarium verwendet werden könnten. Dennoch sind die ökologischen (planetaren) Grenzen im Kontext dieser Studie insofern von Bedeutung, als sie – neben der Flächenkonkurrenz – das einzige mehrfach genannte Kriterium darstellen, das in der Bioökonomiestrategie bei der Abwägung von Anwendungsinteressen und Naturschutz explizit genannt wird (siehe Kapitel 1). Insofern ist zu fragen, wie die Grenzen, die für die Bioökonomie relevant und aus Biodiversitätssicht begründet sind, stattdessen operationalisiert werden können. Das ist am besten durch den Rückgriff auf die Assessments von IPBES und die Arbeiten der EEA zur Analyse der Ursachen des Biodiversitätsverlustes möglich: Leitplanken sind dann da zu setzen, wo die Politikentwicklung oder die Implementierung

neuer Technik droht, die Belastungsgrenzen der Biosphäre zu überschreiten oder notwendige Rücknahmen zu verhindern.

Die planetaren Grenzen und ihre Überschreitungen (für Europa z.B. in den Bereichen Landnutzung, Biodiversität, biogeochemische Flüsse von N und P, sowie Erderhitzung) weisen zwar auf wichtige Schwellwerte hin, sind aber weitgehend statisch, auch wenn sie sich gegenseitig beeinflussen (Überschreitung eines Schwellwerts senkt die Schwelle der anderen (Rockström et al. 2009b) (siehe Abbildung 9). Dennoch schlussfolgert die EEA aus der Diskrepanz von Status quo und dem Ziel, bis 2050 innerhalb der planetaren Grenzen zu leben und zu wirtschaften, dass grundsätzliche und tiefgreifende Veränderungen in der Funktion der sozio-ökonomischen Systeme Europas, der Lebensstile, Bildungssysteme und Institutionen,

sowie der Art notwendig sind, in der wir Wissen bereitstellen und nutzen. Gerade weil ein solcher Prozess komplex und langwierig sei erfordere er, jetzt damit zu beginnen (EEA 2019). Diese Schlussfolgerung für die EU als Ganzes trifft naturgemäß für ihr bevölkerungsreichstes und wirtschaftlich stärkstes Mitgliedsland in besonderer Weise zu.

Will man Schritte zur Einhaltung der planetaren Grenzen unternehmen, so reicht deren statische Betrachtung jedoch nicht aus – es geht um die Dynamiken, die zur Überschreitung der Grenzen führen, und um die Wege, ihnen Zügel anzulegen. Dazu dient die Analyse der Belastungen („pressures“ bzw. „direct drivers“ bei IPBES) und ihrer Ursachen („driving forces“ bzw. „indirect drivers“ bei IPBES).



**Notes:** The yellow zone of uncertainty represents the average range across the six principles to allocate a European share of the global safe operating space.

The study takes a conservative approach, as it calculates the European share based on the lower end values of the global zone of uncertainty defined by Steen et al. (2015). For example, the global zone of uncertainty for freshwater is defined as 4 000-6 000  $\text{km}^3$  in Steffen et al. (2015). This study uses 4 000  $\text{km}^3$  as the basis for calculating the European share. In some cases (indicated in brackets) slightly different control variables have been used than in Steffen et al. (2015).

**Source:** EEA and FOEN (forthcoming).

**Abb. 9: Der Konsum der Europäer\*innen überschreitet drei von vier kritischen planetaren Grenzen; Quelle: EEA 2019**

# 4. Aktuelle Biomassenutzung in Deutschland

Auf einer begrenzten Landesfläche kann es nur ein begrenztes Maß an Nutzungen geben, für Infrastrukturen und Siedlungen, für die Biomasseproduktion in Land- und Forstwirtschaft, für Naturschutz, für Erholung, etc. Hinzu kommen nicht nutzbare Flächen z.B. in Hochgebirgen, oder Ödland.

Auf der land- und forstwirtschaftlichen Nutzfläche wird Biomasse produziert, die als begrenzte Ressource gleichzeitig u.a. die Basis für Nahrungsmittel, Energieträger, Industrierohstoffe sowie die „Substanz“ der Biodiversität ist.

## 4.1 Landwirtschaft

Deutschland hat eine Gesamtfläche von 35,7 Millionen Hektar. Wie Abbildung 10 veranschaulicht wird knapp die Hälfte davon landwirtschaftlich genutzt (16,7 Mio. ha oder 47 %), knapp ein Drittel ist Wald (11,4 Mio. ha oder 32 %).

2016 bestand die landwirtschaftliche Nutzfläche aus 11,8 Mio. ha Ackerflächen, 4,7 Mio. ha Dauergrünland und 0,2 Mio. ha Dauerkulturen (wie Obstbäume, Weinreben oder Kurzumtriebsplantagen). Beim Ackerbau hat der Getreideanbau die größte Bedeutung, Weizen wächst auf 26 % der gesamten Ackerfläche (BMEL 2010).

Seither ist der Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, auf

denen nachwachsende Rohstoffe erzeugt wurden, geringfügig gesunken – 2018 waren es 2,4 Mio. ha. Der überwiegende Anteil davon sind Energiepflanzen (siehe Abbildung 11). Industripflanzen hingegen, die stofflich verwertet werden, wachsen nur auf rund 0,3 Mio. ha oder knapp 2 % der landwirtschaftlichen Fläche (FNR 2020).

Welchen Anteil nachwachsende Rohstoffe an der landwirtschaftlichen Produktion haben, lässt sich erst anhand ihrer Verwendung sagen. Viele Kulturen können sowohl als Futtermittel als auch als Energiepflanze eingesetzt werden – oder, wie im Fall von Getreide, auch als Nahrungsmittel.

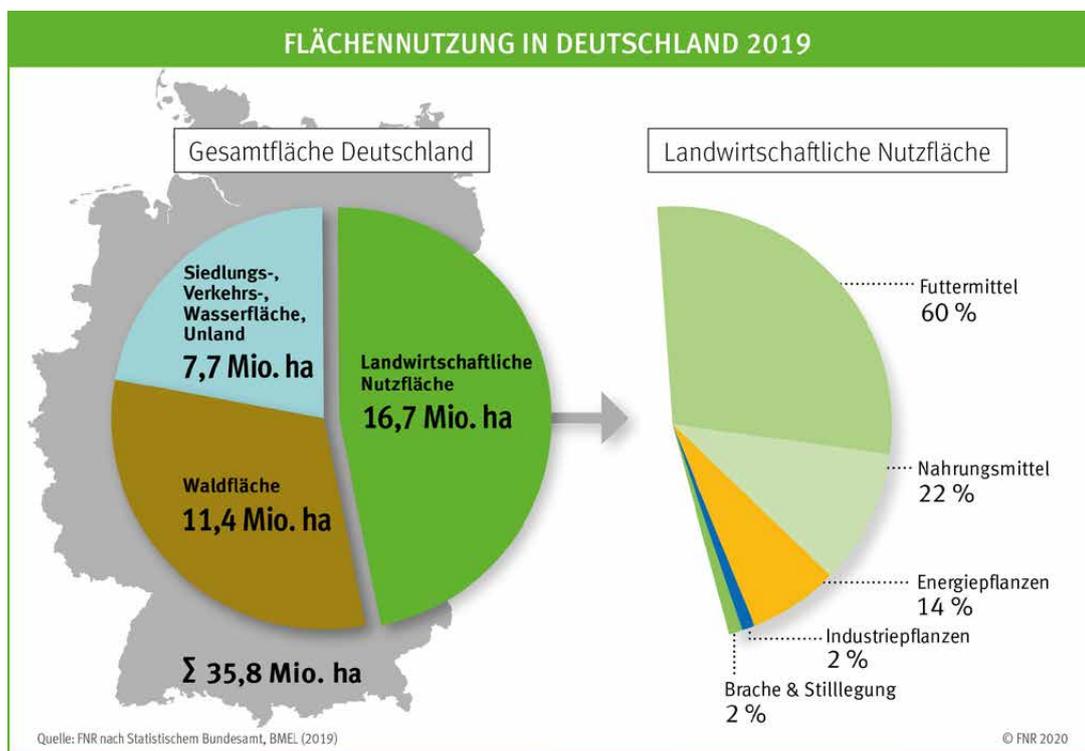
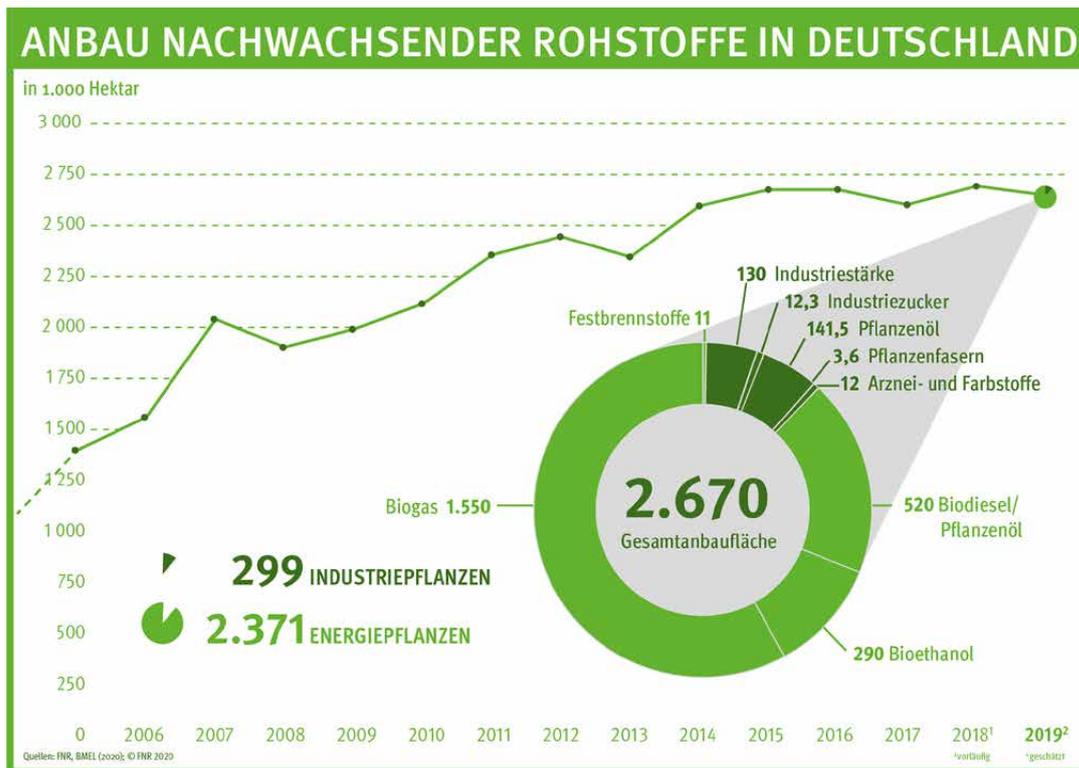


Abb. 10: Flächennutzung in Deutschland 2017; Quelle: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR)



**Abb. 11: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (2005-2019); Quelle: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR)**

## 4.1.1 Energiepflanzen

Über 90 % der in Deutschland angebaute nachwachsenden Rohstoffe werden energetisch genutzt, in erster Linie zur Herstellung von Biokraftstoffen und Biogas. Landwirtschaftlich produzierte Festbrennstoffe, die zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden, haben bislang noch einen eher marginalen Anteil. Dazu gehören rund 6.600 Hektar Kurzumtriebsplantagen, auf denen hauptsächlich Weiden und Pappeln angebaut werden, sowie rund 4.400 Hektar Miscanthus (Chinaschilf).

### 4.1.1.1 Biokraftstoffe

Bei dem überwiegenden Teil des in Deutschland hergestellten Biodiesels oder -ethanols handelt es sich um Biokraftstoffe der 1. Generation, die aus Anbauprodukten hergestellt werden. Als Rohstoff für Biodiesel dienen Pflanzenöle (Raps-, Soja- und Palmöl), die chemisch umgewandelt werden. Der Ausgangsstoff für Bioethanol ist der in Pflanzen enthaltene Zucker, der mit Hilfe von Hefen und Enzymen zu Alkohol vergoren wird. Bei stärkehaltigen Pflanzen wie Getreide wird die Stärke zuerst enzymatisch in Zucker umgewandelt.

Bei Biokraftstoffen der 2. Generation sollen landwirtschaftliche und organische Reststoffe zum Einsatz kommen oder Energiepflanzen, die auf Flächen angebaut werden können,

die für die herkömmliche Landwirtschaft unbrauchbar sind. Bei Biodiesel gelingt dies zum Teil durch den Einsatz von Alt Speisefetten. Für die Herstellung von Bioethanol sollen in Zukunft verstärkt die zellulosehaltigen Teile der Pflanzen genutzt werden (Stroh, Holzreste oder Energiepflanzen wie Miscanthus).

Die Zellwände dieser Pflanzen bestehen aus drei Hauptbestandteilen: Cellulose und Hemicellulose bilden ein Gerüst, in das sich Lignin als eine Art Kitt einlagert. So bildet sich eine feste Struktur, die als Lignocellulose bezeichnet wird. Diese Struktur muss zuerst aufgebrochen werden, um Zellulose und Hemicellulose dann mit Hilfe von Enzymen in einzelne Zuckermoleküle aufzuspalten. Die können anschließend zu Bioethanol vergoren werden. Je nach Ausgangsstoff werden hierfür spezifische Enzyme benötigt, die derzeit noch sehr teuer sind.

Viele der Probleme, die mit der Herstellung von Kraftstoffen aus verholzten Pflanzenteilen verbunden sind, konnten noch nicht gelöst werden. Nach einer Studie des Joint Research Center der Europäischen Kommission sind von 20 Anlagen, die im industriellen Maßstab Bioethanol aus Lignocellulose herstellen wollen, derzeit nur 4 in Betrieb (Padella et al. 2019). Drei davon (Raízen und Gran Bio in Brasilien und POET-DSM in den USA) produzieren weit weniger als die

## Widerstandsfähiges Holz

Ein Blick ins Tierreich zeigt: Wenn die Verdauung von Holz einfach wäre, hätten sich mehr Tierarten auf diese in großen Mengen verfügbare Ressource spezialisiert. Neben den Larven einiger Schmetterlings- und Käferarten gelingt das vor allem den Termiten. Sie produzieren das Enzym Cellulase, mit dem Holz vorverdaut wird. Die weitere Verarbeitung übernehmen Bakterien in ihrem Darmtrakt (Brune 2003).

Weltweit bemühen sich Forscher, dieses System besser zu verstehen, Bakterien mit hoher cellulolytischer Aktivität zu identifizieren und gentechnologisch zu verändern, um sie möglicherweise industriell nutzen zu können (Sebastian 2015).

angegebene Kapazität (Ernstig et. al 2018). Bei der vierten Anlage (Borregaard AS) handelt es sich um eine norwegische Bioraffinerie, in der Bioethanol als Nebenprodukt hergestellt wird (pro 1.000 kg Fichtenholz sind es 50 kg Ethanol) (European Biofuels undatiert).

In Deutschland ist bisher eine Demonstrationsanlage in Betrieb, in der jährlich bis zu 1000 t Zellulose-Ethanol aus rund 4.500 t Agrarreststoffen produziert werden (Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern 2017). Im rumänischen Podari baut die Firma Clariant derzeit eine Großanlage zur Produktion von Zellulose-Ethanol. Wenn sie den Betrieb aufnimmt, sollen dort pro Jahr 250.000 t Getreidestroh zu 50.000 t Bioethanol verarbeitet werden.<sup>3</sup>

Bei einem durchschnittlichen Ertrag von 5 t Stroh pro Hektar würde eine Anbaufläche von 50.000 ha benötigt (d.h. 1 ha pro Tonne Bioethanol). Wenn zum Erhalt von Bodenfruchtbarkeit und Humusbilanz das Stroh nur jedes dritte Jahr abgefahren wird, erhöht sich die Fläche auf 150.000 ha.<sup>4</sup>

## Biodiesel

2018 wurden in Deutschland 3,2 Mio. t Biodiesel hergestellt. Nach Schätzungen des Verbandes der Deutschen Biokraftstoffindustrie (VDB) ist Raps mit 58 % der wichtigste Rohstoff, gefolgt von Altspeisefetten (27 %), Soja (8 %) und sonstigen Rohstoffen, die u.a. 2 % Palmöl enthalten.<sup>5</sup>

Nach Angaben der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) werden pro Hektar rund 3,5 t Rapssaat geerntet, aus denen 1.500 l Biodiesel sowie 2 t Futtermittel (Rapskuchen) und 130 kg Glycerin entstehen.<sup>6</sup>

Laut FNR wurde 2018 für die Produktion von Biodiesel auf 560.000 ha Raps angebaut (FNR 2020). Diese Fläche liefert aber nur 740.000 t Biodiesel.<sup>7</sup> Wenn 58 % der 3,2 Mio. t Biodiesel aus deutscher Produktion aus Raps hergestellt werden (1,86 Mio. t), ergibt sich eine Differenz von 1,12 Mio.

t Biodiesel. Sie wird durch den Import von knapp 3 Mio. t Raps ausgeglichen.<sup>8</sup> Der Import von Rapssaat nach Deutschland belief sich 2018 auf 5,3 Mio. t.<sup>9</sup> Würde der gesamte für die Produktion von Biodiesel benötigte Raps in Deutschland angebaut, läge die Anbaufläche bei 1,4 Mio. ha oder 8,4 % der heimischen Ackerfläche.

## Bioethanol

In sieben Anlagen wurden 2018 in Deutschland 754.000 t Bioethanol produziert. 82 % davon wurde Kraftstoffen beigemischt, 12 % in Nahrungsmitteln und Getränken verarbeitet und 6 % industriell genutzt.<sup>10</sup>

Rund 80 % der hierfür genutzten Rohstoffe sind Getreide, die auf 225.000 ha Ackerfläche angebaut wurden. 20 % sind Zuckerrüben, für die 21.000 ha benötigt wurden (FNR 2020). Vergleicht man den Kraftstoffenergieertrag pro Hektar, schneiden Zuckerrüben deutlich besser ab als Getreide (siehe Tabelle 1).<sup>11</sup> Dazu kommt ein nicht genau quantifizierbarer Anteil aus Rest- und Abfallstoffen z.B. aus der Lebensmittelindustrie, der für 2018 auf rund 9.000 t geschätzt wird (BDBe 2019).

Derzeit werden dem Benzin bei den Sorten E5 und Super plus 5 % und bei der Sorte E10 10 % Bioethanol beigemischt. Bei einem Absatz von 17,8 Mio. t im Jahr 2018 waren das rund 1,2 Mio. t Bioethanol. Rund die Hälfte davon wird derzeit hauptsächlich aus dem europäischen Ausland importiert.<sup>12</sup>

Rohstoffe	Biomasseertrag (FM) [t/ha]	Kraftstoff ertrag [l/ha]	erforderliche Biomasse pro Liter Kraftstoff [kg/l]
Körnermais	9,0	3.740	2,4
Weizen	7,2	2.760	2,6
Roggen	4,9	2.030	2,4
Triticale	5,6	2.230	2,5
Zuckerrüben	58,0	6.250	9,3
Zuckerrohr	73,0	6.380	11,4
Stroh	7,0	2.310	3,0

**Tab. 1: Biomasse- und Kraftstoffenergieertrag verschiedener Anbauprodukte; Quelle: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR)**

## Biokraftstoffe aus Algen

Biokraftstoffe der 3. Generation könnten in Zukunft aus Algen hergestellt werden. Dabei muss zwischen phototrophen und heterotrophen Algen unterschieden werden. Erstere nutzen Sonnenlicht als Energie und CO<sub>2</sub> (aus der Luft oder den Abgasen von Kraftwerken) als Kohlenstoffquelle. Letztere nutzen organischen Kohlenstoff sowohl als Energie- als auch als Kohlenstoffquelle. Der kann aus Abwässern stammen oder muss in Form von zucker- oder stärkehaltigen Anbauprodukten oder Reststoffen zugefügt werden.

Bisher sind solche Anlagen nicht über ein Pilotstadium hinausgekommen. Der Flächenbedarf ist deutlich geringer als bei Biokraftstoffen der 1. der 2. Generation und es werden keine Pestizide benötigt. Allerdings müssen Nährstoffe (insbesondere Stickstoff) zugefügt werden.

Auch die Nettoenergiebilanz ist bisher negativ. Das heißt, dass für Kultivierung, Ernte und Extraktion mehr Energie benötigt wird, als letztlich in den aufbereiteten Inhaltsstoffen der Algen enthalten ist, die zu Kraftstoffen weiterverarbeitet werden können. Darüber hinaus sind die Produktionskosten der Algenbiomasse noch so hoch, dass die daraus entstehenden Kraftstoffe nicht wettbewerbsfähig sind. So sind etwa die Kosten für die Erzeugung von Algenlipiden drei- bis viermal so hoch wie bei Rapsöl (Deutscher Bundestag 2019).

### Teure Rohstoffe

In Deutschland liegt der Preis für Stroh derzeit bei 50 bis 100 € pro Tonne.<sup>43</sup> Wenn 5 Tonnen Stroh zu einer Tonne (oder 1.265 l) Bioethanol werden, liegt allein der Rohstoffpreis pro Liter bei mindestens 20 Cent. Da wegen des geringeren Brennwertes 1 Liter Ethanol nur 0,66 l Benzin ersetzt, steigt der Preis auf 30 Cent pro Liter Benzinäquivalent. Der durchschnittliche Einkaufspreis für Benzin lag vor der Coronakrise bei rund 40 Cent pro Liter.

Angesichts der Kosten für Transport, Lagerung und Verarbeitung scheint die Produktion von Zellulose-Ethanol nur mit Hilfe erheblicher Subventionen zu einem Geschäft werden zu können.

## 4.1.1.2 Biogas

Seit dem Jahr 2000 ist die Zahl der Biogasanlagen in Deutschland von rund 1.000 auf über 9.400 gestiegen. Der überwiegende Teil des Biogases wird vor Ort in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen verwertet. Die installierte Kapazität liegt bei rund 4.800 MW.

Biogas besteht zu rund 50 % aus Methan und etwa 45 % aus CO<sub>2</sub>. In rund 200 Anlagen wird Biogas zu Biomethan aufbereitet, das in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden kann. Damit kann über 1 % des deutschen Gasbedarfs gedeckt werden.<sup>13</sup>

Mit 1,35 Mio. ha oder 8 % der landwirtschaftlichen Fläche beanspruchen Energiepflanzen für Biogasanlagen die größte Fläche zum Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Den größten Anteil hat Silomais, der auf rund zwei Dritteln der Fläche angebaut wird (FNR 2020).

Mengenmäßig liefern Anbauprodukte knapp die Hälfte der Substrate, die in Biogasanlagen eingesetzt werden. Die andere Hälfte besteht zum überwiegenden Teil aus Gülle und Mist (44,5 %), kommunalem Bioabfall (4,2 %) sowie industriellen und landwirtschaftlichen Reststoffen (2,4 %).<sup>14</sup> Bezogen auf die produzierte Energie liefern Bioabfälle, Reststoffe und Gülle aber nur rund 20 % des Biogases.<sup>15</sup> So liegt etwa der Gasertrag pro Tonne Frischmasse bei Maissilage zwischen 100 und 400 m<sup>3</sup>, während es bei Rindergülle nur zwischen 20 und 34 m<sup>3</sup> sind.<sup>16</sup>

Bei Gülle und Mist gibt es noch erhebliche Potenziale, diese zukünftig energetisch zu nutzen. Aktuell wird ca. 1/3 des vorhandenen Potenzials genutzt und nach Meinung von Expert\*innen ist ein weiteres Drittel mit angemessenem Aufwand für die Biogasnutzung erschließbar (DBFZ 2015).

Schwierig wird es allerdings, wenn man die aktuelle Produktion aufrechterhalten, aber bei der Produktion von Biogas komplett auf Anbauprodukte verzichten wollte. Dann müssten nicht nur die bei Gülle und Mist sowie kommunalen und industriellen Reststoffen vorhandenen Potenziale komplett ausgeschöpft, sondern zusätzlich auch Getreidestroh eingesetzt werden (DBFZ et al. 2019).

## 4.1.2 Industriepflanzen

2018 wurden nur rund 11 % der in Deutschland angebaute nachwachsenden Rohstoffe stofflich genutzt. Industriepflanzen wurden auf 275.000 ha oder rund 0,2 % der landwirtschaftlichen Fläche angebaut. Die größten Anteile entfallen dabei auf die Rohstoffe für Pflanzenöle (120.000 ha) sowie Industriestärke und -zucker (141.000 ha). Dazu kommen 12.000 ha, auf denen Arzneipflanzen und Farbstoffe angebaut werden, sowie 2.200 ha Faserpflanzen wie Flachs und Hanf (FNR 2020). Damit wird nur ein geringer Teil der in der chemischen Industrie eingesetzten Rohstoffe gedeckt.

### 4.1.2.1 Pflanzliche Öle und tierische Fette

Nach Angaben der FNR wurde 2016 auf 132.000 ha Raps für die stoffliche Nutzung angebaut. Bei einem durchschnittlichen Ertrag pro Hektar von 3,5 t Rapssaat, die zu 1.500 l Rapsöl verarbeitet werden können, werden auf dieser Fläche rund 198 Mio. l (oder 182.000 t) Rapsöl produziert.<sup>17</sup> Dazu kommen 7.700 ha Sonnenblumen mit einem Ertrag von rund 2,5 t Sonnenblumensamen pro Hektar. Bei einem Ölgehalt von 44% liefert diese Fläche rund 8.500 t Sonnenblumenöl.

In der chemischen Industrie werden pflanzliche Öle und tierische Fette als Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln, als Schmierstoffe oder in Lacken und Farben eingesetzt. 2016

waren es in Deutschland 988.000 t Pflanzenöle und 183.000 t tierische Fette (Busch 2018a).

Die heimische Produktion von Pflanzenölen für eine industrielle Nutzung deckt also weniger als 20 % des Bedarfs. Zum überwiegenden Teil wird er aus Importen von Ölsaaten (hauptsächlich Raps und Soja) bzw. Ölen (hauptsächlich Palm- und Sonnenblumenöl) gedeckt.<sup>18</sup>

### 4.1.2.2 Zucker und Stärke

Die chemisch-technische Verwendung von Zucker (über die Produktion von Bioethanol hinaus) lag 2016 bei rund 80.000 t. Rund 75 % werden in der Herstellung von Pharmazeutika und Kosmetikprodukten eingesetzt, der Rest hauptsächlich in der Bauchemie (Busch 2018b).

Für den Anbau von Produkten zur Erzeugung von Industriestärke wird von der FNR eine Fläche von 129.000 ha angegeben (s.o.). Überwiegend aus Kartoffeln, Weizen und Mais wurden 2019 1,51 Mio. t Stärke hergestellt. Dazu kommen Import z.B. von Reis- und Maniokstärke, die einen seit mehreren Jahren wenig schwankenden Inlandsbedarf von knapp 2 Mio. t decken. 60 % davon wird in der Lebensmittelindustrie eingesetzt, der Rest zum größten Teil in der Papierproduktion.<sup>19</sup>

## 4.2 Forstwirtschaft

Die Bereitstellung von Biomasse zur stofflichen oder energetischen Nutzung ist das ökonomische Ziel der Forstwirtschaft als etablierter Teil der Bioökonomie. Traditionelle Verwerter sind die Bauwirtschaft, die Möbelindustrie, und die Herstellung von Papier und Zellstoff für die stoffliche sowie Brennholz (inzwischen auch Holzpellets) für die energetische Nutzung.

Nach der letzten Bundeswaldinventur von 2012 wachsen in Deutschland auf 11,4 Mio. ha Wald jedes Jahr 121,6 Vorratsfestmeter Derbholz nach (Holz mit > 7 cm Durchmesser). Davon wurden zwischen 2002 und 2012 im Durchschnitt 95,9 Vorratsfestmeter Holz geerntet. Nach Abzug von Ernteverlusten und Rinde entspricht das 75,7 Mio. Erntefestmetern.<sup>20</sup>

Die fundiertesten Informationen zur Holznutzung in Deutschland wurden vom Team um Prof. Mantau für die Holzrohstoffbilanz für das Jahr 2016 zusammengestellt (Mantau 2018). Danach wurden 2016 66,6 Mio. m<sup>3</sup> Derbholz verwendet. Die Differenz zum oben genannten Wert ergibt sich zum einen aus in offiziellen Statistiken nicht erfassten Stoffströmen und zum anderen aus dem „Werkseingangsmaß“, das geringer ist als das Erntefestmaß, da ein Teil des geernteten Holzes mit geringer Qualität im Wald bleibt.

Rund ein Viertel des Derbholzes (15,4 Mio. m<sup>3</sup>) wird direkt zu Brennholz verarbeitet und zum überwiegenden Teil in privaten Öfen und Kaminen verbrannt. Insgesamt liegen die stoffliche und die energetische Verwertung von Holz seit 2008 ungefähr gleich auf, denn Holzreststoffe, die bei der Verarbeitung in Sägewerken (rund 40 %) und bei der Weiterverarbeitung (rund 20 %) entstehen, werden zum größten Teil verbrannt. Dies ist auch die überwiegende Nutzung von Altholz und Landschaftspflegematerial (3 Mio. m<sup>3</sup>). Die energetische Verwendung

entfällt zu 47,5 % auf Hausbrand (28,3 Mio. m<sup>3</sup>), 38,7 % auf Großfeuerungsanlagen (23,0 Mio. m<sup>3</sup>) und zu 13,8 % auf Kleinfeuerungsanlagen (8,2 Mio. m<sup>3</sup>).<sup>21</sup> Während der Brennholzbedarf von Privathaushalten zu rund drei Vierteln durch Derb- und Restholz aus Wald und Garten gedeckt wird, hat Altholz mit knapp 50 % den höchsten Anteil bei den in Großfeuerungsanlagen eingesetzten Holzsortimenten.

Inzwischen wird Holz auch als Baustoff wiederentdeckt. Während ein Auto mit Holzkarosserie (der Setsuna von Toyota) eher als Imageprojekt denn als Prototyp erscheint, werden inzwischen Holzhäuser mit 20 und mehr Stockwerken in verschiedenen Ländern gebaut. Grundlage dafür ist ein Verbundmaterial aus Holz und Klebstoffen, das Brettsperrholz (Cross-Laminated Timber, CLT), ein standardisierter High-Tech-Werkstoff konstanter Qualität, was die Anwendung in der industriellen Produktion ermöglicht. Häuser aus behandeltem Holz sind sogar weniger brandgefährdet als konventionelle Bauten, und die Anwender versprechen Vorteile bei Energiebedarf und Recycling. Ob durchsichtige Fenster aus behandeltem Fichten- und Lindenholz jemals einen Massenmarkt erobern scheint fraglich, ob Kompressionsholz, das in jede beliebige Form gebracht werden kann und an Härte Stahl aussticht wirklich im Flugzeugbau Karriere macht, wie es Techniker aufgrund der Laborbefunde erhoffen, ebenfalls. Dagegen könnte der Einsatz von Holzmembranen zur energiesparenden Meerwasserentsalzung und Wasserentgiftung wirtschaftliche Chancen haben (Breuer 2020). All diesen Entwicklungen ist jedoch gemein, dass sie neue Verwendungsmöglichkeiten des Werkstoffs Holz explorieren, ohne zu diskutieren woher das Holz kommen soll, das dafür benötigt würde, und ohne eine lebenszyklusweite Umweltfolgenanalyse vorzunehmen (Breuer 2020).

### 4.2.1 Holzenergie oder CO<sub>2</sub>-Speicher?

Eine nachhaltige Waldbewirtschaftung kann von unterschiedlichen Zielsetzungen geleitet sein. Die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) hat das zu erwartende Holzaufkommen der nächsten Jahrzehnte sowohl unter der Annahme einer stärkeren Holznutzung als auch eines erweiterten Naturschutzes berechnet.<sup>22</sup> In beiden Fällen übersteigt das mittlere jährliche Nutzungspotenzial den aktuellen Wert von 66,6 Mio. m<sup>3</sup>: Im Naturschutz-Präferenzszenario wären es 78,2 Mio. m<sup>3</sup> und im Holz-Präferenzszenario 104,7 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr.

Unter Gesichtspunkten des Klimaschutzes führt diese Entwicklung in die falsche Richtung. Denn Wälder sind derzeit die einzige verlässlich funktionierende Senke für CO<sub>2</sub> – und

die wird dringend benötigt, wenn das 1,5 °C Ziel in erreichbarer Nähe bleiben soll. Wenn der Wald in Deutschland über das bisherige Maß hinaus genutzt wird, speichert er weniger CO<sub>2</sub>. Das bleibt zwar für einen gewissen Zeitraum auch in Holzprodukten gespeichert, doch der überwiegende Teil davon hat nur eine Lebensdauer von wenigen Jahren. Mit zunehmender Holznutzung steigt nicht nur die Menge der Rest- und Abfallstoffe, sondern auch das Aufkommen an Altholz. Beim Verbrennen wird das hierin gespeicherte CO<sub>2</sub> unmittelbar freigesetzt.

Wie der Wald in Zukunft besser zu Klima- und Naturschutz beitragen kann, hat Greenpeace in seiner Waldvision berechnet. Bei einer Verringerung der Holzernte um rund ein

Viertel und einer effizienteren Nutzung ließe sich die Speicherung von CO<sub>2</sub> in Waldbiomasse und Holzprodukten auf 56,3

Mio. t pro Jahr steigern. Bei erhöhter Holznutzung wären es dagegen nur 17,2 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr (Greenpeace 2018).

## 4.2.2 Holzfeuerung in Großkraftwerken

Pläne zum Kohleausstieg und CO<sub>2</sub>-Minderungsziele haben in einigen EU-Staaten zur Bewilligung hoher Subventionen für die Zuführung von Holz in Kohlekraftwerken bzw. zu deren kompletter Umrüstung geführt. Damit ist das englische Drax zum größten Biomassekraftwerk Europas geworden. Von sechs Kraftwerksblöcken mit einer Leistung von jeweils 660 MW sind bisher vier auf die Verbrennung von insgesamt 7,5 Mio. t Holzpellets pro Jahr umgerüstet worden.<sup>23</sup>

Ein Schüttraummeter Pellets wiegt 650 kg und entspricht

rund 1,5 Festmetern Holz.<sup>24</sup> Für eine Tonne Pellets werden also etwa 2,3 Festmeter Holz benötigt. Für die Befuerung von vier Kraftwerksblöcken mit einer Leistung von 2,64 GW werden demnach rund 17,3 Mio. Festmeter Holz eingesetzt (oder rund 6,5 Mio. fm für 1 GW). Bei diesem Wirkungsgrad würde die jährliche Holzernte in Deutschland (75,7 Mio. Festmeter) nicht einmal für 12 GW Kraftwerksleistung reichen. Für den Kohleausstieg in Deutschland kann eine Umrüstung auf Biomasse also keine Option sein.

## 4.2.3 Lignozellulose-Bioraffinerien auf der Basis von Holz

Ein Weg für die Umwandlung von Holz in Rohstoffe für die chemische Industrie könnte das Organosolv-Verfahren sein. Holzhäcksel werden dabei unter Druck erhitzt, um es in seine Bestandteile aufzulösen. Im Gegensatz zu Verfahren, die mit der Herstellung von Sulfitzellstoff verbunden sind (siehe oben Borregaard AS), kann hierbei die Verunreinigung von Zellulose und Lignin mit Schwefel vermieden werden. Die Reinheit des Lignins ist entscheidend etwa bei der Herstellung von Carbonfasern.

2012 konnten mit diesem Verfahren pro Woche aus 315 kg trockenem Buchenholz 151 kg Zucker (aus Zellulose) und 81 kg Lignin gewonnen werden.<sup>25</sup> Aktuell arbeitet das Fraunhofer Zentrum für chemisch-biotechnologische Prozesse (CBP) an der Entwicklung einer Demonstrationsanlage, in der eine energieeffiziente und wassersparende Ausfällung des Lignins dabei helfen soll, die Kosten zu senken.<sup>26</sup> Von einer Umsetzung im industriellen Maßstab scheint dieses Verfahren noch weit entfernt.

Einen anderen Weg beschreitet das finnische Unternehmen UPM, das in den kommenden Jahren 550 Millionen Euro in den Aufbau einer Bioraffinerie im Chemiepark Leuna investieren

will. Pro Jahr sollen dort 220.000 t Buchenholz zu Biochemikalien verarbeitet werden. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf Bio-Monoethylenglykol, das zu Textilien, Verpackungen und Enteisungsmitteln verarbeitet werden kann.<sup>27</sup>

Aus wirtschaftlichen Gründen (economies of scale) dürfte die Größe solcher Bioraffinerien der zweiten Generation mindestens der moderner Sägewerke entsprechen, mit einem Produktionsvolumen von über 200.000 t pro Jahr, entsprechend einem Rohstoffeinsatz von ca. 500.000 t pro Jahr an Holzbiomasse oder einer LKW-Ladung alle 10 Minuten (Spangenberg et al. 2014). Das wiederum würde eine Plantagenfläche von rund 35.000 ha je Bioraffinerie erfordern, die möglichst nah am Verarbeitungsort liegt – diese räumliche Struktur lässt eine regionale Verarbeitung der Biomasse in Bioraffinerien und den Weitertransport der Zwischenprodukte zu etablierten Produktionsstätten in den Ballungsräumen als die wahrscheinlichste Entwicklung erwarten. Die leichtere Verarbeitung von homogenem Substrat lässt erwarten, dass der Biomassepflanzenanbau in den die Raffinerien umgebenden Plantagen tendenziell auf Monokulturen ausgerichtet wird, mit den entsprechenden Folgen für die biologische Vielfalt.

## 4.2.4 Lignin aus Schwarzlauge

Das häufigste Verfahren zur Herstellung von Papierzellstoff (> 80 %) ist der Kraft-Aufschluss (Sulfatverfahren), bei dem Holzschnitzel mehrere Stunden in Natronlauge gekocht werden. Daneben gibt es den Sulfit-Aufschluss, bei dem die Bestandteile des Holzes im sauren Milieu voneinander getrennt werden. Der Einsatz von Schwefel führt zu einer Verunreinigung des Lignins, dass aus der Schwarzlauge gewonnen werden könnte.

Mit Hilfe von Verfahren wie Lignoboost<sup>28</sup> lässt sich Lignin aus der Schwarzlauge ausfällen, um es anschließend als Brennstoff einzusetzen oder als Biopolymer zu nutzen. Seit

2015 wird das Verfahren im finnischen Zellstoffwerk Sunila eingesetzt, um neben 375.000 t Zellstoff auch 50.000 t Lignin zu produzieren. Damit können z.B. fossile Phenole bei der Herstellung von Klebstoffen ersetzt werden. Seit 2019 wird eine Pilotanlage aufgebaut, die Kohlenstoffanoden für Lithium-Ionenbatterien aus Lignin herstellen soll.<sup>29</sup>

Da sich mit diesem Verfahren auch die Produktivität der Zellstoffproduktion erhöht, erscheint ein Umbau von Zellstoffwerken in Bioraffinerien naheliegend – zumal wenn für den Rohstoff Lignin höhere Preise erzielt werden können als für die bei seiner Verbrennung erzeugte Energie.

## 4.3 Folgen für die Biodiversität

Der globale Biomasseverbrauch ist zwischen 1970 und 2017 um das 2,7-fache gestiegen (siehe Abbildung 12), von 9 Milliarden t auf 24 Milliarden t. Zum Vergleich: Die Extraktion fossiler Brennstoffe stieg im selben Zeitraum um das 2,5-fache, von 6 auf 15 Milliarden t. Heute trägt die Extraktion beider Stoffgruppen etwa gleich viel zum Klimawandel bei (fossile Rohstoffe: 16 %, Biomasse: 17 %). Während hingegen die Extraktion der fossilen Brennstoffe 5 % zum weltweiten Wasserstress und weniger als 5 % zum Biodiversitätsverlust beiträgt, sind es bei der Biomasseextraktion über 85

% (Wasserstress) und über 80 % (Biodiversitätsverlust) (UNEP-IRP 2019a). Diese globalen Daten sind für den deutschen Konsum relevant, weil Deutschland bereits jetzt einen Importüberschuss aufweist und die bei Ausbau der Bioökonomie zu erwartende steigende Nachfrage durch weitere Importe gedeckt werden müsste. Die häufige Annahme, dass die Substitution fossiler Ressourcen durch biologische auch im Rahmen der gegenwärtigen Produktionsstrukturen a priori für Umwelt und Klima gut sei, sollte deshalb durch eine reflektierte und differenzierte Einschätzung ersetzt werden (UNEP-IRP 2019).

Unterschiedliche Teilbereiche der Land- und Forstwirtschaft haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Entwicklung der biologischen Vielfalt. Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen hat die Folgen des deutschen Verbrauchs differenziert aufgezeichnet (siehe Abbildung 13). Dabei wird deutlich, dass die Schäden, die die Produktion in Deutschland anrichtet, zwar (wie oben gezeigt) erheblich sind, aber weitaus geringer ausfallen als der Biodiversitätsverlust, den der inländische Konsum international verursacht. Aus der Konsumperspektive sind z.B. auch die Artenverluste im Nassreisenaubau auf den deutschen Beitrag zum globalen Verlust an Lebensräumen und Arten anzurechnen (UNEP-IRP 2019b).

Deutschland ist ein Land, das in fast allen Kategorien des Ressourcenkonsums ein Niveau aufweist, das den Durchschnitt der G20-Staaten weit übersteigt und zu erheblichen Teilen durch Netto-Importe

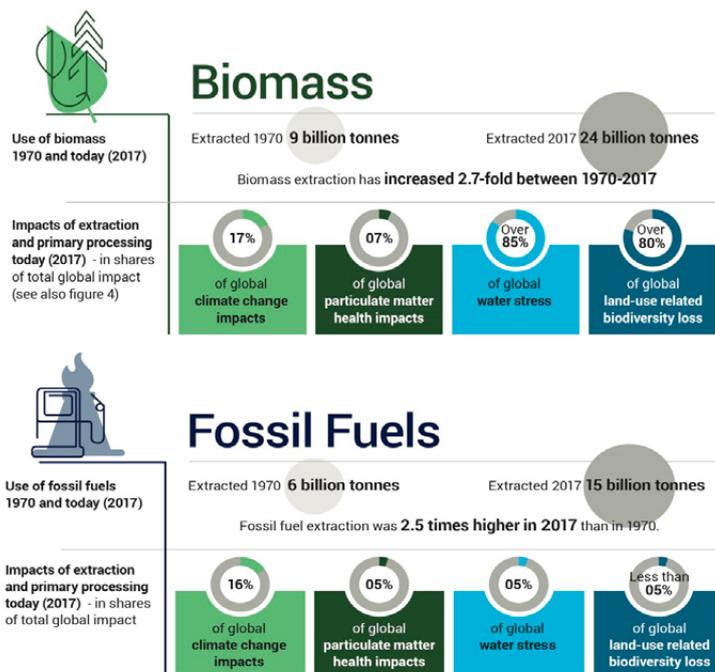
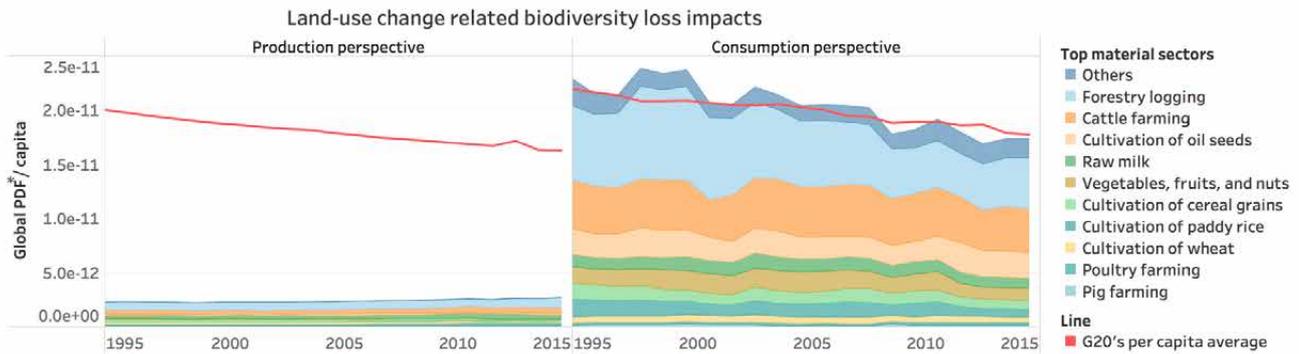


Abb. 12: Umweltfolgen der globalen Extraktion von Biomasse und fossilen Ressourcen; Quelle: UNEP-IRP 2019a.

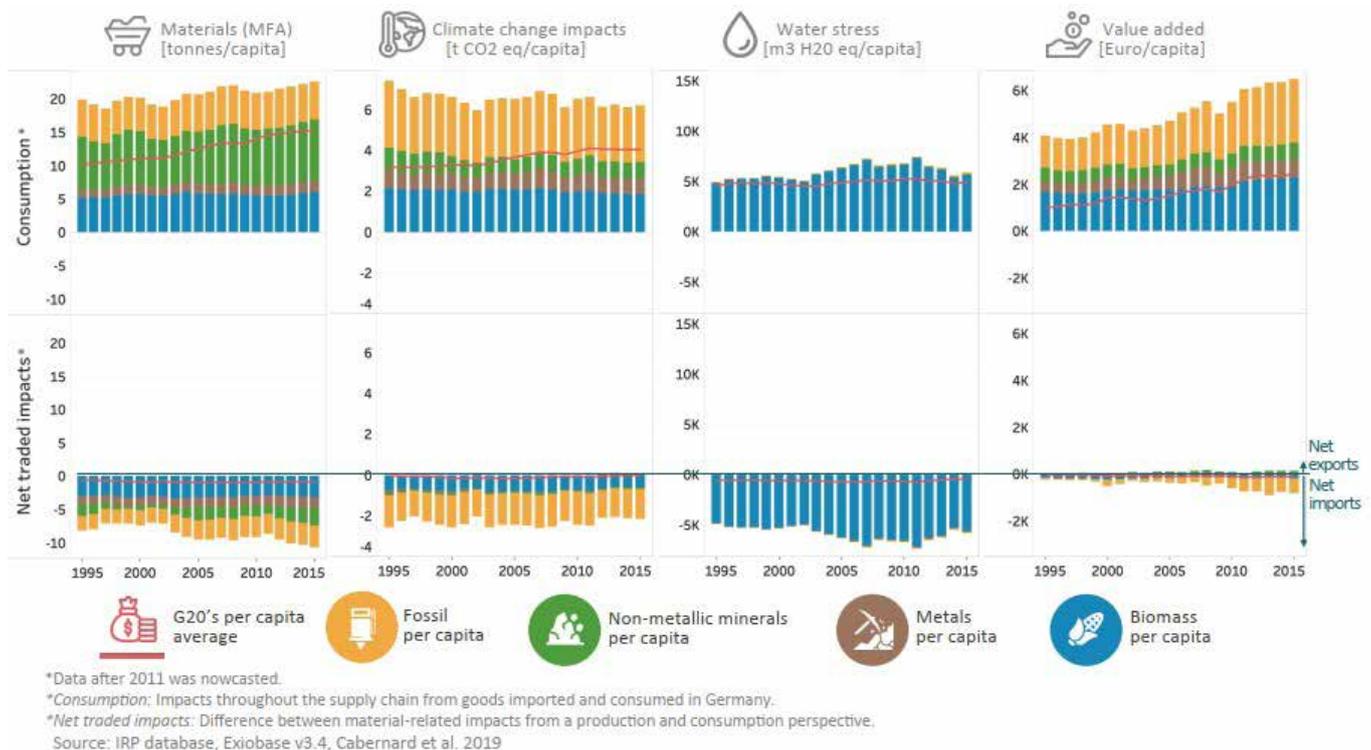


**Abb. 13: Biodiversitätsverluste durch Landnutzung infolge inländischer Produktion und internationaler Konsumnachfrage in Deutschland; Quelle: UNEP-IRP 2019b**

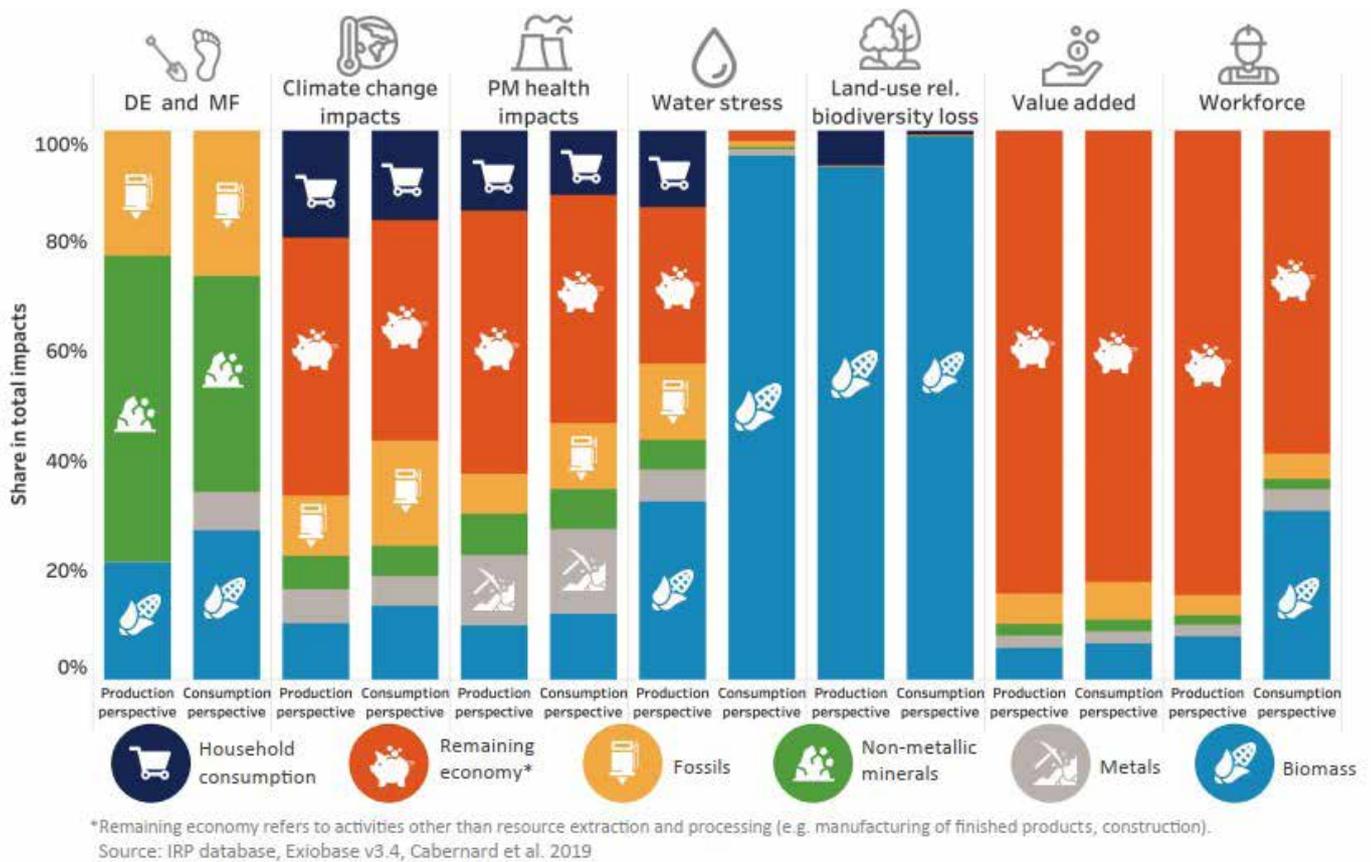
gedeckt wird (siehe Abbildung 14). Das trägt dazu bei, dass die Berechnung der deutschen Rolle unterschiedlich ausfällt, je nachdem ob die Produktions- oder die Konsumseite betrachtet wird.

Wie unterschiedlich diese Betrachtungen ausfallen sieht man in Abbildung 15, die Produktion und Konsum aus diesem Grund nebeneinander anzeigt. Dort ist erkennbar, dass die inländische Biomasseproduktion sowie der internationale Biomassekonsum wenig zur Wertschöpfung beitragen, und die Produktion im Inland auch wenige Arbeitsplätze bietet. Das ist in der Konsumperspektive anders, weil Deutschland signifikante Mengen an Biomasse aus Ländern mit einer

höheren Arbeitsintensität im Agrarsektor importiert. Dort ist auch fast der gesamte von Deutschland verursachte Biodiversitätsverlust auf die Biomassegewinnung zurückzuführen; im Inland ist es mit über 90 % nicht viel weniger. Wasserstress ist in Deutschland in der Regel temporär und regional begrenzt, auch wenn die letzten Trockenjahre eine für Land- und Forstwirtschaft teilweise kritische Abweichung von diesem Langfristtrend darstellen. Dennoch ist der Biomasseimport in dieser Hinsicht nicht unproblematisch, denn in der Konsumbetrachtung liegt der Beitrag der Biomasseerzeugung zum Wasserstress international bei weit über 90 %.



**Abb. 14: Inländischer Ressourcenkonsum, Importe und ihre Umweltfolgen. Die Rolle des Biomassekonsums (blau) ist deutlich; Quelle: UNEP-IRP 2019b**



**Abb. 15: Der Beitrag von Extraktion und Verarbeitung fossiler, mineralischer, metallischer und Biomasse-Ressourcen zu Klimawandel, Luftverschmutzung, Wasserknappheit und Biodiversitätsverlust, sowie zu Wertschöpfung und Arbeitsplätzen in Deutschland (DE = Domestic Extraction, inländische Extraktion, MF = Material Footprint, Material-Fußabdruck, PM = Feinstaub. Value added ist die Wertschöpfung, also der Beitrag zum BIP); Quelle: UNEP-IRP 2019b**

# 5. Biomassebedarf bei Substitution fossiler durch biogene Rohstoffe bezogen auf das aktuelle Konsumniveau der BRD

Um eine seriöse Diskussion über nachhaltige Bioökonomie-Szenarien führen zu können ist es unumgänglich, den potenziellen Biomassebedarf der einzelnen Wirtschaftssektoren zu kennen.

## 5.1 Energetische Nutzung

2017 wurden in Deutschland 397 Mio. t fossiler Rohstoffe eingesetzt, der überwiegende Teil davon (95 %) zur Produktion von Energie und Kraftstoffen (VCI 2020). Der Kraftstoffverbrauch belief sich 2018 auf 35,2 Mio. t Diesel und 16,6 Mio. t Benzin. Sie wurden durch 2,3 Mio. t Biodiesel und 1,2 Mio. t Bioethanol ergänzt<sup>30</sup>, die nur zum Teil aus heimischer Produktion stammen (s.o.).

Wollte man die gesamte Menge des in Deutschland verbrauchten Diesels durch Biodiesel ersetzen, müsste dies zum weitaus überwiegenden Teil auf der Basis von Raps geschehen, da die zusätzlich verfügbaren Mengen an Altspeiseölen als gering eingeschätzt werden (DBFZ 2015).

Bei einem Ertrag von 3,5 t Rapssaar pro Hektar, aus denen 1.500 l oder 1,32 t Biodiesel entstehen, würde hierfür eine Anbaufläche von 26,7 Mio. ha benötigt. Das ist das 1,6-fache der landwirtschaftlichen Nutzfläche Deutschlands.

Sollten auch die 16,6 Mio. t Benzin durch Bioethanol ersetzt werden, würden aufgrund des geringeren Brennwertes rund 26,3 Mio. t Ethanol benötigt (1 t Bioethanol ersetzt 0,63 t Benzin). Den höchsten Kraftstoffenergieertrag pro Hektar aller heimischen Rohstoffe liefern Zuckerrüben mit 6.250 l oder 4,9 t pro

ha. Insgesamt würde hierfür eine Anbaufläche von 5,4 Mio. ha benötigt.

Biokraftstoffe der 2. Generation sind hier auch keine Alternative. Während bei der Nutzung von Stroh maximal 1 t Bioethanol pro Hektar gewonnen werden könnte, sollen es bei Miscanthus bis zu 3,16 t Bioethanol pro Hektar sein.<sup>31</sup> Die in Dauerkulturen über einen Zeitraum von 20-30 Jahren angebaute Pflanze soll ab dem dritten Jahr Trockenmasseerträge von 12-18 t pro Hektar erreichen können.<sup>32</sup> Um das fossile Benzin zu ersetzen, würden 8,3 Mio. ha Anbaufläche benötigt.

Damit schneidet Miscanthus nicht nur deutlich schlechter ab als Zuckerrüben. Um als Biokraftstoff der 2. Generation zu gelten, sollten diese Energiepflanzen auf Flächen angebaut werden, die für die herkömmliche Landwirtschaft unbrauchbar sind. In diesem Umfang gibt es die in Deutschland nicht.

Wie unter 4.2.2 beschrieben, reicht die jährliche Holzernte in Deutschland (75,7 Mio. Festmeter) nicht aus, um Kohlekraftwerke mit einer Leistung von 12 GW mit Holz zu befeuern. Bei einer aktuellen Kohlekapazität von 43 GW kann eine Umrüstung auf Biomasse keine Option für den Kohleausstieg sein.

## 5.2 Stoffliche Nutzung

Wie oben bereits erwähnt, werden nur etwa 5 % der in Deutschland verbrauchten fossilen Rohstoffe stofflich genutzt. 2017 waren das 18,1 Mio. t oder 87 % der in der chemischen Industrie eingesetzten Rohstoffe. Der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe lag bei 13 % oder 2,7 Mio. t (VCI 2020).

Die organische Chemie basiert auf Kohlenstoff, der sowohl aus fossilen wie aus nachwachsenden Rohstoffen bereitgestellt werden kann. Aus ökonomischen Gründen fällt die

Wahl dabei überwiegend auf fossile Rohstoffe. Preislich kann allenfalls Glycerin konkurrieren, das als Nebenprodukt bei der Herstellung von Biodiesel anfällt.

Aus Sicht der chemischen Industrie werden politische Vorgaben für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe von den meisten Akteuren abgelehnt. Staatliches Handeln sollte sich neben der Förderung von Forschung und Entwicklung auf den Abbau von Handelshemmnissen konzentrieren, „um nachwachsende Rohstoffe zu wettbewerbsfähigen

Weltmarktpreisen bekommen zu können“ (IZT 2018).

Welche Auswirkungen eine möglichst vollständige Umstellung auf nachwachsende Rohstoffe hätte, lässt sich wegen der Vielzahl unterschiedlicher Verfahren und Endprodukte pauschal nicht sagen. Die folgenden Beispiele sollen das verdeutlichen.

## 5.2.1 Tenside

Tenside machen rund ein Drittel der Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln aus. Allein für die in Deutschland genutzten Produkte waren das 2015 rund 184.000 t. 7 % davon wurden ausschließlich aus organischen Rohstoffen hergestellt, 50 % ausschließlich aus petrochemischen Rohstoffen und der Rest aus einer Mischung aus beiden.<sup>33</sup>

Für die Produktion von Tensiden kann allerdings nicht jedes Pflanzenöl eingesetzt werden. Wegen ihres hohen Anteils an Laurinsäure eignen sich Kokos- und Palmkernöle am besten. Eine heimische Alternative könnte gentechnisch veränderter Raps sein, der aber bisher gegenüber den tropischen Ölen nicht wettbewerbsfähig ist (Meo Consulting 2014).

Weder erscheint der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen in Deutschland wünschenswert, noch der Import von Ölen, bei denen sich nicht ausschließen lässt, dass ihre Produktion für den Verlust von Tropenwäldern verantwortlich ist.

## 5.2.2 Schmierstoffe

Der Markt für Schmierstoffe ist in Deutschland seit vielen Jahren gleichbleibend und liegt bei rund einer 1 Million t. Der Anteil der organischen Rohstoffe hat sich von 2011 bis 2016 auf rund 5 % verdoppelt. „Vom technischen Standpunkt aus könnten mehr als 90 % aller Schmierstoffe auf biogener Basis sein. Das Hauptproblem beim breiten Einsatz der marktreifen Bioschmierstoffe ist der höhere Preis gegenüber den etablierten Produkten auf Basis von Mineralöl. Dass dieser Nachteil sowohl durch technische Vorteile als auch durch ein gutes Ölmanagement weitestgehend ausgeglichen werden kann, ist immer noch zu wenig bekannt“ (Busch 2018a).

Wollte man dieses Ziel ausschließlich auf der Basis von Rapsöl erreichen, würden dafür zusätzliche 850.000 t benötigt. Dafür müssten 770.000 Hektar Land oder 4,6 % der landwirtschaftlichen Fläche Deutschlands bereitgestellt werden.

## 5.2.3 Autoreifen

Naturkautschuk ist ein sehr elastisches Biopolymer, dessen exzellente technische Eigenschaften bislang von erdölbasierten Synthetikgummen nicht erreicht werden. Die weltweite Produktion lag 2019 bei rund 28 Mio. t, knapp die Hälfte davon ist Naturkautschuk.<sup>34</sup>

Die wichtigste Quelle hierfür ist der Kautschukbaum *Hevea brasiliensis* mit Erträgen von 500 bis 1.500 kg pro Hektar. Der Baum wächst nur in Regionen mit hohen Niederschlagsmengen und hohen Temperaturen. Allein die bis 2024 zusätzlich benötigten Anbauflächen werden auf 8,5 Millionen ha geschätzt. Hierfür gehen in der Regel Regenwaldflächen verloren.<sup>35</sup>

Eine Alternative könnte die Wurzel des Kaukasischen Löwenzahns (*Taraxacum koksaghyz*) sein, die Erträge bis zu 150 kg Latex pro Hektar liefern soll. Der Reifenhersteller Continental arbeitet gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie an einer kommerziellen Nutzung.<sup>36</sup>

2018 lag der Verbrauch von Naturkautschuk für die Reifenherstellung in Deutschland bei 160.000 t.<sup>37</sup> Wollte man den durch Latex aus Löwenzahn ersetzen, wäre eine Anbaufläche von 1,1 Millionen Hektar notwendig. Wollte man zusätzlich auch den Verbrauch an Synthetikgummen für die Reifenherstellung ersetzen (2018: 185.000 t), kämen weitere 1,2 Mio. ha dazu.

Das wären fast 14 % der landwirtschaftlichen Anbaufläche in Deutschland. Nach Angaben der Entwickler sei der Anbau auch auf marginalen Böden möglich. Das soll wahrscheinlich heißen, dass Flächen in Deutschland hierfür nicht vorgesehen sind. Angesichts eines durchschnittlichen Weltmarktpreises von weniger als 2 Euro pro Kilogramm Naturkautschuk scheint dies auch wenig lukrativ.<sup>38</sup>

# 6. Anforderungen an eine zukunftsfähige Bioökonomie aus Biodiversitätssicht

Die Menge an Biomasse, die für eine zukünftige Bioökonomie zur Verfügung steht, bemisst sich nach der Größe der (potenziellen) Quellströme und der Effizienz ihrer Nutzung. Während die Effizienz ein technisches und logistisches Problem darstellt, ist die Größe der Quellströme auch von den politischen Rahmenbedingungen abhängig. Wird z.B. eine Orientierung der Wirtschaftspolitik in Richtung auf eine Kreislaufwirtschaft konsequent umgesetzt, so wird sich voraussichtliche die Menge an organischen Abfallmaterialien verringern, die für eine Nutzung in der Bioökonomie zur Verfügung stehen. Da Bioabfälle die erste, schnell zu erschließende Rohstoffquelle der Bioökonomie darstellen, ist dieser Einfluss nicht zu unterschätzen. Ähnlich ist der Einfluss der Weltmärkte und der Preise: Auch wenn bioökonomische Produktion gefördert wird, sind die erhofften positiven Wirkungen von erhöhter Wertschöpfung im ländlichen Raum insbesondere dann nicht realisierbar, wenn Importe die Preise der heimischen Produktion unterbieten, ohne dass dies durch administrative oder fiskalische Instrumente verhindert würde.

Letzteres ist hier von besonderer Bedeutung, da einige Maßnahmen zum Schutz der biologischen Vielfalt die Bereitstellung von Biomasse verteuern würden<sup>39</sup>. Das ist insbesondere immer dann der Fall, wenn aus Gründen des Natur- und Umweltschutzes, teilweise auch des Gesundheitsschutzes,

eine deintensivierte Landnutzung erforderlich ist. Diese ist auch deshalb von zentraler Bedeutung für den Erhalt der biologischen Vielfalt, weil die Erfahrung der letzten Jahrzehnte gezeigt hat, dass trotz Ausweitung der geschützten Gebiete die Biodiversität nicht auf „Naturschutzinseln“ in einer „ökologischen Wüste“ erhalten werden kann, sondern eine nachhaltige Bewirtschaftung der Gesamtfläche eine Bedingung für den Erfolg der Maßnahmen zum Schutz der biologischen Vielfalt darstellt. Es kommt also vorrangig darauf an, die Belastungen durch die Treiber des Biodiversitätsverlustes zu reduzieren, die bereits in Kapitel 2.3 dargestellt wurden.

Das bedeutet in der Konsequenz, dass von vornherein naturschutzfachliche Rahmenbedingungen definiert werden müssen, nach denen die Biomassegewinnung gestaltet wird, und die diesen einen Rahmen setzen, der Form und Umfang der Biomasseherstellung naturverträglich gestaltet. Dazu gehört auch, dass wann immer und soweit aus Gründen des Schutzes der biologischen Vielfalt notwendig, auch Ertragsminderungen und Zusatzkosten für Biomasse in Kauf genommen werden müssen. Nur mit solchen Rahmenbedingungen und ihrer Durchsetzung kann sichergestellt werden, dass die Bioökonomie sich im Einklang mit Umwelt, Natur und ihrer biologischen Vielfalt entwickelt.

## 6.1 Landwirtschaft (Biomasseanbau)

Die Landwirtschaft steht vor der Herausforderung, mit den gleichzeitig wachsenden Ansprüchen aus sich ändernden Ernährungsgewohnheiten und Kundenpräferenzen, Nachernteverlusten und der Nachfrage nach Rohstoffen für die Bioökonomie umzugehen. Letztere beinhalten erneuerbare Rohstoffe für Niedertemperaturwärme, Elektrizitätsgewinnung, Kraftstoffe, Pharmazeutika und umweltverträgliche Chemierohstoffe. Das ist zumindest chemisch plausibel, denn Biomasse enthält alle Bestandteile, die man auch in fossilen Ressourcen findet, wenngleich in unterschiedlichen Kombinationen und Konzentrationen und ist insofern als Substitut geeignet (Popp et al. 2014).

Mit 16,6 Millionen Hektar (2018) besteht rund die Hälfte der Fläche Deutschlands aus landwirtschaftlicher Nutzfläche. Dabei nimmt die Anzahl der bäuerlichen Kleinbetriebe stetig ab, und auch branchenfremde Firmen werden zu Großgrundbesitzern, insbesondere in den neuen Bundesländern. In

beiden Fällen ist die landwirtschaftliche Nutzfläche Privatbesitz (natürlicher oder juristischer Personen), der von den Eigentümer\*innen nach eigenen Prioritäten bewirtschaftet wird. Dazu zählt selbstverständlich neben der Einhaltung geltender Rechtsvorschriften der finanzielle Ertrag (Bauernhöfe sind Betriebe, die Mitarbeitende und Inhaber\*innen ernähren müssen). Die zunehmende Diskrepanz zwischen notwendigen Beschränkungen z.B. im Düngemittelrecht und einem Landwirtschaftsmodell, das nur bei maximaler Intensivierung ökonomisch überleben kann, wird immer offensichtlicher. In diesem Spannungsfeld siedelt sich auch die Rohstoffproduktion für die Bioökonomie an.

Wie gezeigt, gibt es einen inhärenten Interessengegensatz von möglichst hoher landwirtschaftlicher Produktion (Intensivierung) und möglichst viel Biodiversitätsschutz, der z.T. auf extensive Nutzung angewiesen ist (Ekroos et al. 2014). Bei der Entwicklung der Bioökonomie geht es aus ökonomischer

Sicht um eine möglichst hohe Produktion zu geringstmöglichen Kosten, was in vielen Fällen zu Konflikten mit den Zielen des Umwelt- und Biodiversitätsschutzes führen kann. Im Folgenden wird angenommen, dass grundsätzlich eine Hierarchie der Nutzungsformen etabliert wird, nach der die Selbstversorgung Europas mit Nahrungsmitteln Vorrang vor anderen Nutzungsformen hat. An zweiter Stelle stehen die Belange des Natur- und Umweltschutzes, der Flächen von der industriellen Nutzung ausschließt oder die Nutzungsintensität begrenzt. Erst wenn diese Bedingungen erfüllt sind ist auf den verbleibenden Flächen der Anbau von Biomasse für die Bioökonomie unter sozial-ökologischen Bedingungen möglich und zulässig.

Die Umweltfolgen von Biomasseproduktion für die Bioökonomie hängen zu erheblichen Teilen von der Anbauregion, den gewählten Pflanzen und den Anbaumethoden ab. Intensivanbau kann die Schäden vergrößern, der Anbau mehrjähriger Pflanzen kann – im Vergleich zum Intensivanbau – zur Verringerung der Belastungen führen. Gerade deshalb ist es notwendig, von vornherein eine qualitative und räumliche Rahmensetzung vorzugeben, innerhalb derer sich die bioökonomische Produktion etablieren kann.

## 6.1.1 Geänderte Nutzungsintensität

Die derzeitigen Intensiv-Agrarflächen sind auch als "ökologische Wüsten mit eingesprenkelten Naturinseln" bezeichnet worden; dass diese Dichotomie auch bei inkrementeller Ausweitung der Naturschutzflächen keine nachhaltige Lösung ist, zeigen die Bestandsentwicklungen der Biodiversität. Eine Ausweitung der biodiversitäts-freundlich bewirtschafteten Flächen mit hohem Naturwert und des Ökolandbaus ist notwendig zum Biodiversitätserhalt (eine Ökologisierung der Landwirtschaft in der Fläche wäre wünschenswert). Die Rolle der Bioökonomie ist aus Sicht des Naturschutzes danach zu beurteilen, wie weit sie mit diesen Zielsetzungen kompatibel ist und ggf. zu ihnen beiträgt.

Positive Wirkungen der Biomasseproduktion für die Bioökonomie können sich ergeben, wenn durch die mögliche Ausweitung des angebauten Artenspektrums eine Diversifizierung erfolgt und die Fruchtfolgen angereichert werden (EEA 2006). Die Einführung von Strukturelementen wäre ebenfalls hilfreich für die biologische Vielfalt und kann auch die ackerbaulichen Erträge steigern, ist aber störend bei Aussaat, Behandlung und Ernte. Ob dieses Argument, das in der Vergangenheit zur großflächigen „Ausräumung“ von Landschaften beigetragen hat, im Rahmen der Automatisierung und zunehmender Steuerung von Landbearbeitungsmaschinen durch KI an Bedeutung verliert ist noch nicht absehbar. Entsprechende Forschungsarbeiten werden schon länger vom BMBF gefördert – ob sie sich in der landwirtschaftlichen Praxis (die dann mit bäuerlicher Landwirtschaft nur noch wenig gemein hätte) durchsetzen bleibt abzuwarten.

Auswirkungen der Bioökonomie auf Natur und Umwelt können grundsätzlich aus drei Prozessen entstehen (EEA 2006; EEA 2007):

1. Änderung der Nutzungsintensität bei unveränderter Landnutzungsart, z.B. wenn die steigende Nachfrage nach Biomasse zur weiteren Intensivierung der Bewirtschaftung führt;
2. Änderung der Nutzungsart, z.B. wenn durch den Nachfragedruck und die daraus entstehenden Preisverhältnisse Anreize entstehen, extensiv genutztes Grasland umzubrechen und in Ackerland für die Bioökonomie umzuwandeln;
3. Unangepasste Landnutzungsform, insbesondere wenn Pflanzen als Biomasseproduzenten angebaut werden, deren Ansprüche nicht mit den ökologischen Gegebenheiten der Region verträglich sind oder die mit sonstigen ökologischen Problemen verbunden sind.

Dementsprechend sind vorsorgende Schutzmaßnahmen notwendig, die sich auf alle drei Bereiche beziehen.

Wie eingangs erwähnt gehen wir in dieser Untersuchung davon aus, dass die zur Selbstversorgung Europas notwendigen Agrarflächen weiterhin vorrangig für die Nahrungsmittelerzeugung zur Verfügung stehen - auch wenn unklar bleiben muss, wie eine solche Priorisierung rechtlich gestaltet werden könnte. Ob dies für den Futtermittelanbau in gleicher Weise gilt wird u.a. davon abhängen, wie sich die Konsumgewohnheiten in Deutschland und Europa entwickeln, insbesondere was die Nachfrage nach Fleisch- und Milchprodukten betrifft<sup>40</sup>. Sollten hier Flächen frei werden könnten sie für den industriellen Biomasseanbau genutzt werden; Ähnliches gilt für Flächen, die bisher der Exportproduktion dienen. Die ökologischen Folgen einer derartigen Umwidmung unterscheiden sich nicht von denen, die in diesem Abschnitt schon beschrieben wurden, da es sich hierbei nahezu ausschließlich um eine Umstellung von Intensivlandwirtschaft zur Nahrungsmittelproduktion auf eine Intensivlandwirtschaft für die Bioökonomie handeln würde.

Ein anderer Fall sind extensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen, die spezielle und regionaltypische Agrarlandschaften darstellen und auf die viele Tier- und Pflanzenarten angewiesen sind. Infolge der mangelnden Wirtschaftlichkeit werden solche „Flächen mit hohem Naturwert“ (High nature value farmland; HNVF) aufgegeben und wandeln sich dann im Laufe der natürlichen Sukzession in Busch- und Waldstandorte, in denen die auf das extensiv genutzte Grünland angewiesenen Arten, darunter zahlreiche bedrohte Arten, keinen geeigneten Lebensraum mehr finden. Werden die

Erträge solcher Flächen, vor allem der Grünschnitt, bioökonomisch genutzt, kann sich die finanzielle Ertragssituation der HNMF Bewirtschaftung verbessern, während die extensive Bewirtschaftungsform beibehalten wird. Da die Kosten für die so gewonnene Biomasse im Vergleich zu der aus intensivem Anbau jedoch deutlich höher liegen dürften, sind für die Realisierung dieser Option entsprechende Maßnahmen unter dem „Greening“-Paket der Gemeinsamen Agrarpolitik erforderlich.

Da die Düngung mit Kunstdünger und Gülle in Deutschland vielerorts zu einer Nitratbelastung von Grund- und Oberflächenwasser führt, die planetaren Grenzen überschreitet und die Biodiversität beeinträchtigt, ist eine konsequente Umsetzung der bestehenden Rechtsvorschriften ebenfalls eine wichtige Voraussetzung für den Schutz der biologischen Vielfalt im ländlichen Raum (zu den relevanten Rechtsregelungen siehe Kapitel 8 dieser Studie).

## 6.1.2 Änderung der Nutzungsart

Wie erwähnt ist aus Sicht der Biodiversität, aber auch des Landschaftsschutzes, der Erhalt extensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen trotz der tendenziell geringeren Hektarerträge von besonderer Bedeutung. Das betrifft sowohl die „Flächen mit hohem Naturwert“ (HNMF-Flächen) wie die Bewirtschaftung im Rahmen des ökologischen Landbaus, die ebenfalls eine höhere Biodiversität (nicht zuletzt im Bodenleben) zur Folge hat. Da nur unzureichend durch Rechtsvorschriften geschützt sind die EU-Zahlungen ein wesentlicher Schutzmechanismus für HNMF, allerdings bisher ohne spezielle Unterstützung der mit höherem Arbeitsaufwand und geringeren Erträgen verbundenen Produktion auf diesen Standorten. Zudem ist die nationale Ausgestaltung der Kriterien nicht immer hilfreich für den Erhalt von HNMF und auch die Ausgestaltung nationaler Zuschussprogramme ist nicht immer erfolgreich (Keenleyside et al. 2014)

Insbesondere Dauergrünlandflächen (Wiesen und Weiden) müssen als solche erhalten bleiben, da sie unersetzliche Lebensräume für eine Vielzahl von Arten bieten, die sowohl

bei Intensivierung wie bei Nutzungsaufgabe verloren gehen. Das wird in der gegenwärtigen Periode der gemeinsamen Agrarpolitik der EU ebenso mit rund 85 Euro pro Hektar gefördert, die für konkrete Umweltleistungen („Greening“) ausgezahlt werden. Dazu zählen neben dem Erhalt von Dauergrünlandflächen die Vielfalt beim Anbau von Kulturen auf Ackerflächen sowie die Bereitstellung „ökologischer Vorrangflächen“ auf 5 % des Ackerlandes (z.B. Stilllegungsflächen, Terrassen, Pufferstreifen, Hecken, Knicks oder Baumreihen).

Dieses „Greening“ ist Teil der agrar-ökologischen Programme der EU-Agrarpolitik – deren Wirksamkeit bisher eher durchwachsen ist. Verbesserungen von Effektivität und Effizienz sind notwendig und werden möglich, wenn die Zielvorgaben klar definiert sind (Ekroos et al. 2014). Solche Maßnahmen können gegenüber direkten Naturschutzmaßnahmen sogar kostengünstiger sein, wenn sie an die spezifischen Arten und Habitate angepasst sind (Austin et al. 2015; Russi et al. 2016) – was eine Aufgabe der nationalen Umsetzung der europäischen Rahmenregelungen wäre.

## 6.1.3 (Un-)Angepasste Landnutzungsformen

Es ist zu erwarten, dass Landnutzungsformen, also die Artenwahl und die Anbauformen für die Bioökonomie optimiert werden. Unterschiedliche Biomasse produzierende Pflanzen und ihre typischen Bewirtschaftungsformen haben ebenfalls unterschiedliche Auswirkungen auf die verschiedenen Ebenen der biologischen Vielfalt. Um ökologische Kollateralschäden zu vermeiden ist es notwendig, dass die Auswahl der angebauten Pflanzen und ihr Management auf der Ebene der Betriebe ökologischen Leitlinien folgen. Dabei werden die zu beachtenden Bedingungen in ihrer relativen Bedeutung mit den Charakteristika des jeweiligen Standortes variieren.

### 6.1.3.1 Bodenerosion

Die landwirtschaftlichen Praktiken, die der Bodenerosion entgegenwirken, sind insbesondere eine ganzjährige Bodenbedeckung, kein Pflügen auf Flächen mit einer kritischen Hangneigung, Schaffung von Windschutz durch die Anpflanzung von Nutzpflanzen unterschiedlicher Wuchshöhe sowie durch Schutz von Begleitfauna an Feldrainen. Einige Pflanzen, die gut chemisch verwertbare Inhaltsstoffe produzieren wie die Zuckerrübe erhöhen das Erosionsrisiko, während andere es gegenüber einer intensiv genutzten Agrarfläche verringern können. Auch wenn dies aus Gründen höherer Erträge oder geringerer Pflegeaufwendungen geschieht, können Maßnahmen wie Kurzumtriebsplantagen für Holz, der Anbau mehrjähriger Pflanzen und/oder der Anbau von Zwischenfrüchten (unintendierte) positive Wirkungen für die biologische Vielfalt zeitigen. Ursachen sind insbesondere reichere Fruchtfolgen und dauerhaftere Bodenbedeckung bei Zwischenfrüchten. Dabei sollte es sich allerdings um Pflanzen mit hohem Humusreproduktionspotenzial handeln, denn humuszehrende Energiepflanzen würden zu einem weiteren Humusabbau führen.

Potenziell hilfreich ist ebenfalls die Verringerung des Einsatzes von Agrarchemikalien bei Holz und die Verringerung der Bodenverdichtung im Zuge von Management und Ernte bei mehrjährigen Pflanzen und Holz. Hinzu kommt die Möglichkeit eines aus ökonomischen Gründen verbesserten Landmanagements (Verhinderung von Überdosierung von Einsatzstoffen und Hilfsmitteln); allerdings dürfte dieser mögliche Vorteil nur vorübergehend sein, da die Landwirtschaft in Deutschland sich einer rapiden Digitalisierung unterzieht, die managementbedingte Effizienzvorteile bald eliminieren dürfte. So sind vollautonome Bearbeitungs- und Erntemaschinen, Bodenanalysen in Echtzeit, Precision Farming und Anwendungen künstlicher Intelligenz auf deutschen Bauernhöfen auf dem Vormarsch. Über 65 % der Bauern haben bereits in Digitalisierung investiert, und über 50 % setzen bereits KI-Algorithmen ein (z.B. bei Landmaschinen), Tendenz weiter stark steigend. Damit ist Deutschland Weltspitze in der Digitalisierung und Informationalisierung der Landwirtschaft.

### 6.1.3.2 Kohlenstoffgehalt im Boden

Eine Biomasseproduktion, die effizient und ertragreich ist, ist nicht unbedingt ökologisch angepasst. So wird beim Umbrechen von Grünland für die Biomasseproduktion nicht nur die vorhandene biologische Vielfalt beeinträchtigt, sondern auch der Kohlenstoffgehalt im Boden (und damit mittelfristig die Bodenfruchtbarkeit) sinkt und der Boden verliert an Wirkung als Kohlenstoffspeicher (EEA 2006). Die meisten empirischen Arbeiten hierzu liegen naturgemäß im Bereich des Biomasseanbaus zu Zwecken der Energiegewinnung vor. So haben Anderson-Teixeira et al. (2009) gezeigt, dass die Umwandlung nicht kultivierter Fläche in Anbaufläche für Biomasse (Mais, Zuckerrohr, Miscanthus und Rutenhirse) immer mit signifikanten Verlusten an Boden-Kohlenstoff verbunden war, am stärksten durch Zuckerrohr und am geringsten durch die mehrjährigen Pflanzen (hier trat nur ein relativer Verlust auf, d.h. der gebundene Kohlenstoff war weniger als es im Falle einer Nicht-Umwandlung gewesen wäre). Werden dagegen Kurzumtriebsplantagen als Biomasseproduzenten gewählt, erhöht sich der Kohlenstoffgehalt im Oberboden (Kahle, Boelcke 2004), womit auch eine CO<sub>2</sub>-Bindung einhergeht. Vor allem auf ärmeren Standorten kann von einer Erhöhung des organisch gebundenen Kohlenstoffs um 30–40 % ausgegangen werden (DBU 2010; Gyimóthy et al. 2019).

### 6.1.3.3 Bodenverdichtung

Pflanzen mit hohem Wassergehalt wie Kartoffeln als Stärkelieferanten oder Zuckerrüben haben ein entsprechend hohes Erntegewicht. Sie werden in der Folge mit schweren Geräten geerntet und transportiert, die zur Bodenverdichtung beitragen können (EEA 2006). In Abhängigkeit von der physikalischen Beschaffenheit des Bodens sollte deswegen örtlich auf diese potenziellen Biomasselieferanten verzichtet werden. Das gilt auch für Kurzumtriebsplantagen, wenn die Bewirtschaftung mit schweren Maschinen erfolgt, die zu Bodenverdichtung und höherem Oberflächenabfluss beitragen (Gyimóthy et al. 2019).

### 6.1.3.4 Hitze und Feuchte

Während Wasserknappheit in Deutschland in der Vergangenheit generell kein Problem war, kann sich das mit anbaubedingtem Wasserbedarf und mit klimabedingten Niederschlagsrückgängen ändern. So sind die Niederschlagsmengen im zentralen Westdeutschland spürbar zurückgegangen, und die Extremwetterereignisse der Jahre 2018-2020 zeigen die Risikopotenziale auf. So ist im Frühjahr der Oberboden weitgehend ausgetrocknet; nur Pfahlwurzler konnten

die in tieferen Bodenschichten verfügbaren Reste des Winterregens nutzen. Aufgrund der vorhergehenden Trockenjahre war der Boden weit von einer Wassersättigung entfernt.

Für flachwurzelnadelbaumarten in der Forstwirtschaft entstand so eine Schwächung, die mit einer höheren Vulnerabilität gegenüber Schädlingen und Waldbränden geführt hat (siehe die Frühlingswaldbrände im Westen Deutschlands). Eine solche Waldbrandneigung lässt sich durch die Wahl der Zielvegetation beeinflussen.

Noch stärker war die Landwirtschaft von Ernteaussfällen bedroht (Getreide und Gemüse). Der Ruf nach Bewässerung, die bisher in Deutschland nur in sehr kleinem Maßstab in Niedersachsen eingesetzt wird, wurde lauter. Damit ist das Problem jedoch nicht zu lösen. Abhilfe verspricht hier eher das Umschwenken auf weniger wasserintensive Kulturen. In dieser Hinsicht sind C4-Pflanzen zwar effizienter, haben aber oft einen höheren Wasserverbrauch als C3-Pflanzen. Auch deshalb sind mehrjährige Pflanzen oft ressourceneffizienter als einjährige.

Soweit der Anbau von Biomasse mit den etablierten Pflanzenarten stattfindet, treffen diese Probleme die Bioökonomie insgesamt ebenso wie die Landwirtschaft im Einzelnen. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass die Ansprüche bioökonomischer Nutzpflanzen an Nährstoff- und Wasserversorgung anders sein können – so benötigen z.B. Kurzumtriebsplantagen deutlich weniger bis keinen Mineraldünger, nach Präparierung des Geländes im Normalfall auch keine Pestizide, weisen aber einen deutlich erhöhten Wasserverbrauch auf (Hildmann et al. 2010). Sie könnten Niederschlagsversickerung und Grundwasserneubildung be- oder verhindern und hierdurch zur Grundwasserabsenkung führen; insbesondere in Gebieten mit geringen Jahresniederschlägen und auf Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität (Gyimóthy et al. 2019).

### 6.1.3.5 Invasive Arten

Invasive Arten stellen eine nicht zu unterschätzende Bedrohung für die biologische Vielfalt dar, weltweit (IPBES 2019) ebenso wie in Europa, und in der Bundesrepublik insbesondere in Nordwestdeutschland (Chytrý et al. 2009). Zugleich wird mit einem Anstieg in der Zukunft gerechnet, insbesondere in Szenarien einer dauerhaft auf Weltmarktintegration ausgerichteten Agrarpolitik (Chytrý et al. 2012). Die Pflanzenproduktion für die Bioökonomie birgt hier ein doppeltes Risiko: Zum einen können Pflanzen, die zur Biomassegewinnung importiert werden, als Träger von invasiven Arten dienen (z.B. Insekten, Bakterien oder Viren); Invasionen auf diesem Wege sind seit langem bekannt. Zum anderen können Pflanzen, die zum Zweck der Biomasseerzeugung angebaut werden, selbst ein bioinvasives Potenzial aufweisen. So haben Untersuchungen von Buddenhagen et al. (2009) in Hawaii gezeigt, dass nach der Klassifikation des Weed Risk Assessments (WRI) Pflanzen, die zur Biomassegewinnung

eingeführt wurden (in diesem Falle zur energetischen Nutzung), doppelt bis vierfach so häufig invasiv waren und Freilandpopulationen etablieren konnten. Die WRI-Klassifikation ist auch in Europa anwendbar (Kivánék, Pyšek 2006). Das BfN warnt ebenfalls vor der Verwendung invasiver Arten (z.B. Roteiche) in der Biomasseerzeugung, da diese die biologische Vielfalt reduzieren können (Gyimóthy et al. 2019).

### 6.1.3.6 Landschafts- und Habitat-Diversität

Der Schutz von heterogenen Landschaften, die durch einen hohen Anteil semi-natürlicher Habitats z.B. in Form von Grünland oder Feldrainen gekennzeichnet sind, trägt zum Schutz der biologischen Vielfalt und vielfältigen Ökosystemleistungen bei. Dazu gehören z.B. die biologische Schädlingsbekämpfung und die Bestäubung durch Wildinsekten, Käfer, Spinnen und (bei Bestäubung) Vögel und Fledermäuse. Solche Maßnahmen sind effektiv und können auch unter der GAP bei geeigneter nationaler Ausgestaltung gefördert werden (BiodivERsA 2017).

Wenn die Artenzusammensetzung der Biomassepflanzen so gewählt und gepflanzt wird, dass sie unterschiedliche Wuchshöhen aufweisen und Grenz- und Übergangszonen entstehen, kann das zur Biodiversität beitragen. Positive Ergebnisse sind in intensiv genutzten Kulturlandschaften eher zu erzielen, insbesondere mehrjährige Pflanzen und Kurzumtriebsplantagen von Bäumen können dazu beitragen (EEA 2006). Kurzumtriebsplantagen, die in Form von Feldstreifen angelegt werden, ergänzen die Landschaft durch ein zusätzliches Strukturelement. Dabei können sie die ausgeräumte Feldflur ähnlich wie Hecken wieder anreichern und kleinräumiger strukturieren, wenn sie entsprechend angelegt werden. Es wird daher nicht nur auf die Flächengröße, sondern auch auf die Ausformung und den Betrieb ankommen.

Dem steht teilweise die Erfahrung entgegen, dass im europäischen Ausland (die Erfahrungen in der Bundesrepublik sind bisher begrenzt) die Plantagen, um hohe Erträge zu erzielen, sehr dicht bepflanzt werden (2.000–17.800 Stecklinge/ha). Je nach den verwendeten Gehölzarten und Produktionszielen wird zumeist etwa alle 3–5 Jahre geerntet, teilweise auch nur alle 8–10 Jahre. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wird die Ernte bevorzugt vollständig mechanisiert durchgeführt. Nach mehreren Ernten erschöpft sich das Stockausschlagsvermögen und die Plantage muss neu begründet werden; meist wird mit einer mindestens 20-jährigen Nutzungsdauer gerechnet. Abhängig von Boden, Wasserhaushalt und Klima können so Erträge zwischen 8 und 14 t Trockenmasse/ha\*Jahr erwartet werden (Hildmann et al. 2010). Kurzumtriebsplantagen werden zumeist nur aus jeweils einer Art und Sorte aufgebaut. Sie sind darin dem Anbau von Ackerfrüchten vergleichbar, wenngleich sie die Funktion als Lebensraum besser erfüllen als Äcker. Bislang wird mit herkömmlich

gezüchteten Pappel- und Weidenklonen gearbeitet. Weil sich diese Arten über Stecklinge einfach vermehren lassen, ist es möglich, genetisch einheitliche Bestände aufzubauen, um so eine einheitliche und damit effizient verwertbare Biomasse zu erhalten. Diese verminderte genetische Diversität beeinträchtigt auch die Vielfalt in Unterwuchs und Boden und wirkt sich u.a. bei Schädlingsbefall negativ aus. Es ist deshalb empfehlenswert, auch in Kurzumtriebsplantagen mit Baumartenmischungen und unterschiedlichen Klonen zu arbeiten (Hildmann et al. 2010).

Aufgrund der Konkurrenz mit dem Marktfrüchte-Anbau wie z.B. Weizen werden für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen aus ökonomischen Gründen eher Böden geringerer Qualität bis hin zu Grenzertragsstandorten genutzt werden, wenn gleich dort keine maximalen Erträge zu erwarten sind. Damit könnte auch eine Konkurrenz zum Naturschutz entstehen, für den gerade solche Standorte wertvoll sein können. Deshalb ist die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf bisher extensiv genutztem Grünland, auf artenreichen Flächen oder anderen Flächen, bei denen eine Offenhaltung von größerem Nutzen für die biologische Vielfalt ist (z. B. Grünland in Mittelgebirgstälern) nicht geeignet – sie würde zum Verlust selten gewordener Biotoptypen führen und sollte ausgeschlossen werden. Ähnlich können sie das Landschaftsbild in bereits reich strukturierten Landschaften oder Landschaften mit hohem Anteil naturnaher strukturreicher Lebensräume beeinträchtigen und sollten dort vermieden werden (Gyimóthy et al. 2019).

### 6.1.3.7 Agrarchemikalien

Einige potenzielle Biomasselieferanten wie z.B. Mais oder Raps erfordern hohe Einsatzmengen an Pestiziden und Düngemitteln (EEA 2006). Dementsprechend ist es wahrscheinlich, dass ihr großflächiger Anbau – wie im Rahmen der Bioenergieförderung in den letzten Jahren geschehen – zu einem weiteren Anstieg der Belastung von Grund- und Oberflächenwasser mit Nitrat und Pestiziden beiträgt. Die hohen Düngemittelgaben bei diesen Pflanzen, aber auch bei Zuckerrohr, führen zu signifikanten Emissionen von Distickstoffoxid N<sub>2</sub>O, einem potenten Treibhausgas. Infolgedessen trägt die Nutzung dieser Pflanzen als Biomassequelle stärker zur Klimakrise bei, als die Verwendung fossiler Rohstoffe (im Falle von Zuckerrohr unter Einbeziehung des Energieverbrauchs für Düngemittel). Sie stellen also mit Blick auf den Klimaschutz keine reale bioökonomische Alternative zur fossilbasierten Produktion dar (Crutzen et al. 2008). Das ist ein ernstzunehmendes Klimarisiko, weil der Flächenbedarf für die Bioökonomie gigantisch ist und in Konkurrenz zu anderen Nutzungsformen steht, die ggf. geringere finanzielle Erträge generieren (Popp et al. 2012).

Andere Pflanzen und Anbauformen – Öllein, Sonnenblumen, mehrjährige Gräser, besonders aber Kurzumtriebsplantagen von Weiden und Pappeln kommen nach der Phase der initialen Bodenvorbereitung, in der oft Herbizide eingesetzt werden, in den meisten Fällen ohne eine weitere Gabe von Agrarchemikalien aus und haben dann auch unter Klimagesichtspunkten eine positive Bilanz (Crutzen et al. 2008).

## 6.2 Forstwirtschaft (Holznutzung)

Deutschland besitzt eine Gesamtwaldfläche von ca. 11,4 Mio. Hektar. Diese hat in den letzten fünf Jahrzehnten um deutlich mehr als eine Million Hektar zugenommen. Seit den 1990er Jahren wächst die Waldfläche in Deutschland durchschnittlich um 176 Quadratkilometer pro Jahr. Nach der dritten Bundeswaldinventur von 2012 (die vierte startet erst 2021) wurde weniger Holz genutzt als nachgewachsen ist. Holznutzung und natürliches Absterben von Bäumen erreichen insgesamt 87 % des Zuwachses. Die restlichen 13 % gingen in den Vorratsaufbau (Forstwirtschaft in Deutschland 2019). Der großflächige Borkenkäferbefall der durch die zunehmende Trockenheit geschädigten Fichten läßt allerdings annehmen, dass sich diese Zahlen inzwischen geändert haben.

Dies unterstützt den Trend eines Rückgangs der Fichtenwälder zugunsten aller anderen Nutzbaumarten – Kiefer, Buche, Eiche und Douglasie (in dieser Reihenfolge) verzeichneten in der Inventur deutliche Zuwächse. Ein Überschuss des Zuwachses über die Entnahme ist insofern gut für die biologische Vielfalt als er dazu führt, dass Bäume später geerntet werden, Wälder also älter werden und damit Sukzessionsstufen erreichen, die bisher unterrepräsentiert sind und Arten einen Überlebensraum bieten, die auf ältere Waldbestände (teils einschließlich Totholz) angewiesen sind.

Eine Entnahme von Biomasse aus dem Wald im Rahmen der Bioökonomie kann diesen Trend umkehren und zudem die Produktions-, Arten- und Biotopschutzfunktion, den Erholungswert sowie die Regulierung des Wasserhaushalts durch den Wald beeinträchtigen. Andererseits kann die Entnahme örtlich positiv wirken, wenn z.B. das Waldbrandrisiko reduziert wird (die unerwarteten Waldbrände im April 2020 in NRW könnten ein Beispiel für zunehmende Waldbrandgefahren in der Klimakrise sein), oder wenn ein z.B. durch großräumliche Schadstofftransporte eutrophierter Standort um einen Teil seiner Stickstofflast erleichtert wird. Deshalb sind sowohl die Quantität und Qualität der Extraktion (Begrenzung der Bodenbelastung zur Vermeidung von Bodenverdichtung und Erosion) wie die Auswahl der Nutzbaumarten, die angebaut werden, regionalspezifisch mit Blick auf die Biodiversität zu regulieren.

So sind z.B. Nadelbaumflächen sowohl als Landschaftsbestandteile wie als Habitate sehr verschieden von der heutigen potenziellen natürlichen Vegetation in Deutschland (Zustand der Vegetation, der sich einstellen würde, wenn der Mensch nicht mehr eingriffe, nach Tüxen 1956, siehe Abbildung 16). Sie unterscheiden sich ebenso von der posteiszeitlichen Ursprungsvegetation, einem abwechslungsreichen Mosaik aus Wald- und Grasland (unter dem Einfluss großer Herbivoren nicht, wie früher angenommen, großflächiger Buchenwald). Durch die Anpflanzung von Nadelbaum-Monokulturen hat die traditionelle Bioökonomie nicht nur das vorhandene Artenspektrum von Fauna und Flora stark verändert, sondern durch die Beseitigung von ausgedehnten Waldrandzonen auch artenreiche Habitate verdrängt. Dennoch sind heute die Wälder, sogar die Monokulturen, ein wichtiges Reservoir an biologischer Vielfalt für Pflanzen, Tiere und Pilze (EEA 2006; EEA 2019).

Einen wesentlichen Beitrag zur Biodiversität von Wäldern leistet das Totholz, insbesondere stärkere, natürlich degradierende Bäume und in geringerem Umfang Äste und andere Restmaterialien (Kruys, Jonsson 1999). Eine ganze Reihe von Arten (insbesondere Tiere und Pilze) sind so sehr auf Totholzstämmen angewiesen, dass der Totholzanteil als Biodiversitätsindikator vorgeschlagen wurde (Humphrey et al. 2005; Schuck et al. 2005).

Von ökonomisch geringerer Bedeutung ist die Jagd. Wenn zu diesem Zweck jedoch ein Überbesatz an Wild im Wald geduldet oder gefördert wird, sind die Auswirkungen auf die Biodiversität erheblich. In vielen Wäldern ist wegen der Wildschäden eine Naturverjüngung des Waldes kaum noch möglich und das Spektrum der Nicht-Holz-Vegetation eingeschränkt. Für diesen kleinen Teilbereich der Bioökonomie lassen sich die negativen Folgen für die biologische Vielfalt begrenzen und positive Einflüsse fördern, wenn mangels großer Carnivoren der Tierbesatz durch Jagd und den Verzicht auf Winterfütterung auf einem naturnahen Niveau gehalten wird.

# Potenzielle natürliche Vegetation

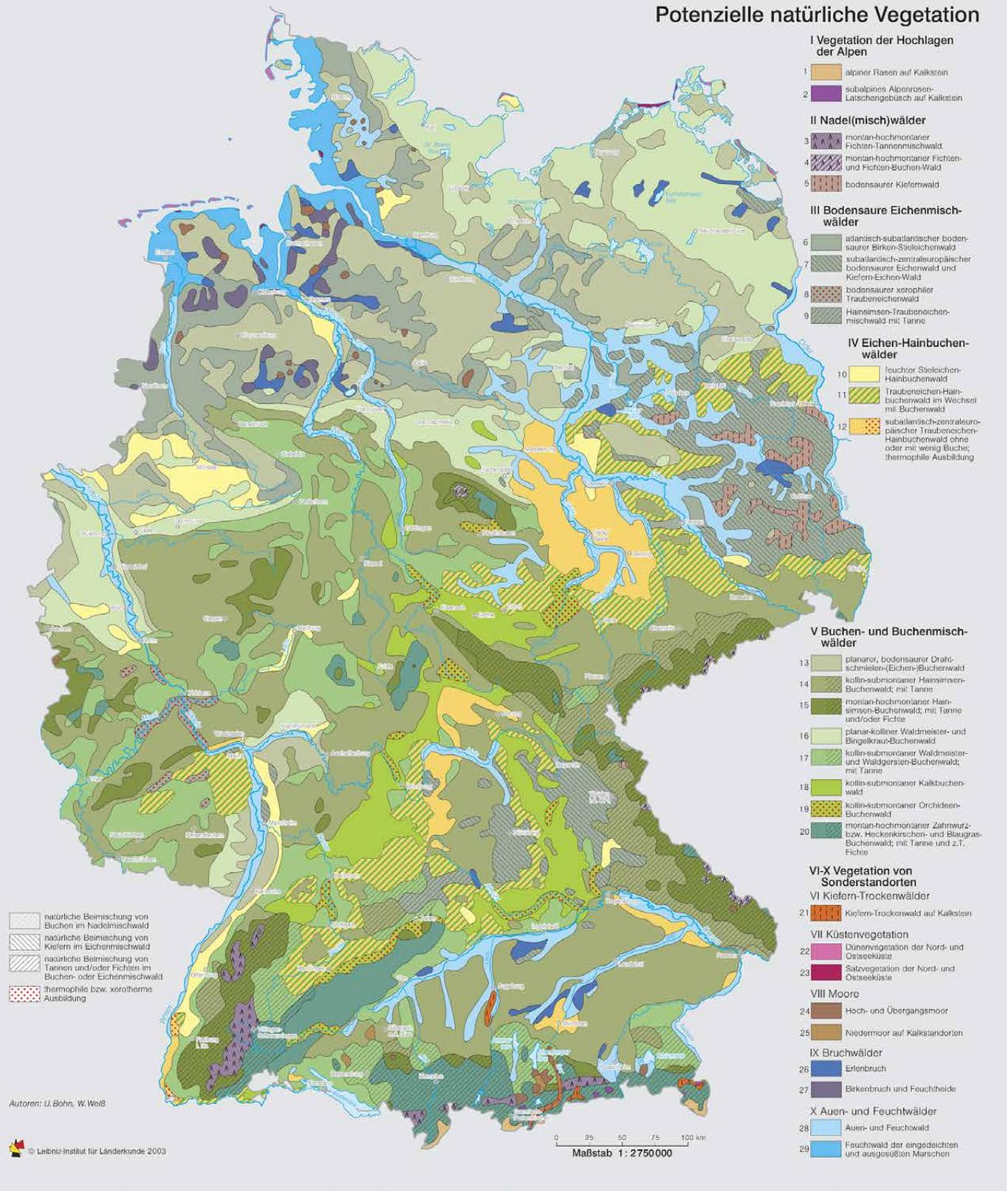


Abb. 16: Potenzielle natürliche Vegetation in Deutschland; Quelle: Bohn, U. und Weiß, W. 2003

## 6.3 Abfall- und Restmaterialverwertung

Eine Untersuchung der Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen durch das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) kommt zu dem Ergebnis, dass von einem technisch nutzbaren Potenzial von 98,4 Mio. t Trockensubstanz 69 % bereits stofflich oder energetisch genutzt werden. Wie in Abbildung 17 dargestellt, entfallen von den 30,9 Mio. t technisch nutzbarer Biomasse-Reststoffe 32 % auf Waldrestholz und Landschaftspflegematerial, 27 % auf Getreidestroh und 30 % auf tierische Exkremente. Industrielle Reststoffe und Siedlungsabfälle werden dagegen bereits jetzt zum größten Teil genutzt (DBFZ 2015).

Zum Waldrestholz gehören neben Baumkronen, Ästen und Reisig auch Stämme (oder Teile davon), die wegen Holzfehlern nicht als Stamm- oder Industrieholz verkauft werden können. Darunter fallen auch Biotopbäume und Totholz, die für die biologische Vielfalt des Waldes von herausragender Bedeutung sind. Da der Nährstoffgehalt in Rinde, Reisig, Nadeln und Blättern höher ist als im Holz, sollten diese Teil im Wald verbleiben, um den Nährstoffentzug so gering wie möglich zu halten.

Durch eine zunehmende Biomassenutzung werden dem Wald größere Mengen an Kohlenstoff entnommen, die nicht mehr zur Bildung von Humus zur Verfügung stehen. Humus ist im Boden langfristig gespeicherter Kohlenstoff und trägt maßgeblich zur Bodenfruchtbarkeit bei (Kölling et.al 2007).

Hieraus ergeben sich zahlreiche Einschränkungen bei der Beurteilung der zusätzlich zur Verfügung stehenden Biomassepotenziale. Die von der DBFZ (s.o.) genannte Menge von 11,9 Mio. t Waldrestholz entspricht rund 23,8 Mio. Festmetern Holz<sup>41</sup> oder einem zusätzlichen Biomassepotenzial von rund 2 Festmetern pro Hektar Wald.

Eine differenziertere Betrachtung des technisch-ökologischen Potenzials verschiedener Waldregionen durch das Bundesamt für Naturschutz berechnet nach Abzug der derzeitigen Nutzung allerdings nur ein zusätzliches Nutzungspotenzial von 0,5 fm/ha (oder insgesamt 2,9 Mio. t).

„Dies bedeutet, dass eine über das jetzige Maß hinausgehende Nutzung an Waldenergieholz als Beitrag zur Energiegewinnung nur auf Kosten der stofflichen Holznutzung (insbesondere energetische Nutzung von Industrieholz) und/oder der Biodiversität (insbesondere verstärkte Nutzung von Totholz oder Biotopbäumen) möglich wäre. Andererseits würden erhöhte naturschutzfachliche Anforderungen auf nennenswerter Fläche zwangsläufig zu einer Verringerung der (Energieholz-) Nutzung führen.“ (BfN 2017)

In Bezug auf die zusätzlich verfügbaren Mengen an Stroh und tierischen Exkrementen kommen andere Studien zu ähnlichen Ergebnissen.<sup>42</sup>

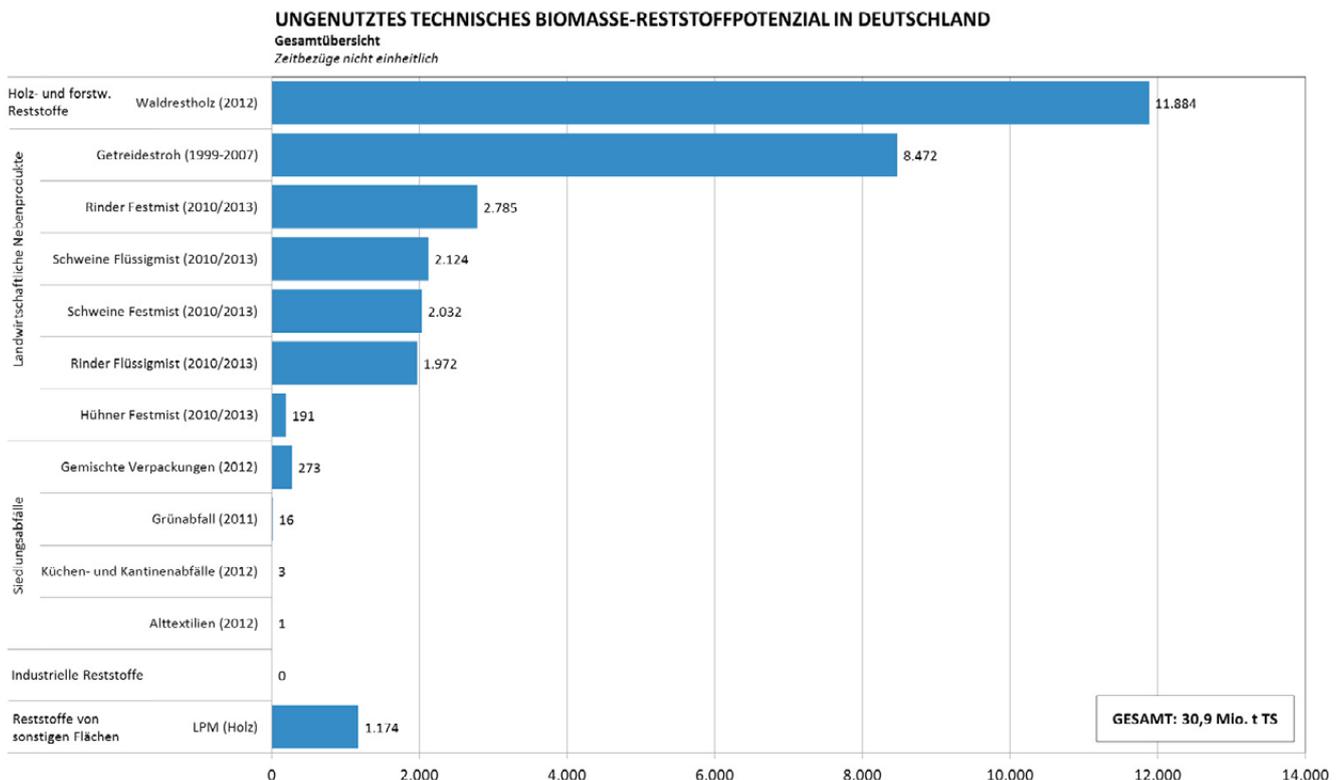


Abb. 17: Ungenutztes technisches Biomasse-Reststoffpotenzial in Deutschland; Quelle: DBFZ 2015

Bei der Beurteilung der potenziellen Verfügbarkeit von Stroh gibt es unterschiedliche Ansätze zur Berechnung der Mengen, die auf dem Acker verbleiben müssen, um eine ausgeglichene Humusbilanz zu erreichen. Unter Berücksichtigung des aktuell in der Tierhaltung genutzten Strohs liegen sie zwischen 20 und 43 % des Strohaufkommens (Fritsche et al. 2004; Zeller et al. 2012).

Die erste Quelle für Biomasse sind die Ströme an organischem Abfallmaterial aus Land- und Forstwirtschaft, Industrie, Haushalten und Kommunen. Eine detaillierte Berechnung der Potenziale auf Basis territorialer Einheiten (NUTS3) von Hamelin et al. (2019) zeigt, dass eine wesentliche stoffliche Basis der Bioökonomie hier liegt, differenziert nach Reststoffen aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft, städtischem Grünschnitt und Nahrungsmittelabfällen aus Haushalten und Nahrungsmittelindustrie. Stroh und forstwirtschaftliche Rückstände liefern dabei den größten Beitrag. Allerdings wurden bei diesen Berechnungen die Anforderungen aus Sicht der Biodiversität nicht berücksichtigt, sodass in einer verantwortlichen Praxis gerade bei diesen großen Beiträgen Einschränkungen auftreten werden und müssen. Kommunale Abfälle sowie industrielle Abfälle aus Papierproduktion, Sägewerken, Möbelindustrie, Bauwirtschaft, und Haushalten (Verpackungen und Abfallholz) stellen dagegen in aller Regel kein Problem für die biologische Vielfalt dar und erfordern keine speziellen Regulierungen aus Biodiversitätssicht (wohl aber aus anderen Perspektiven). Dasselbe gilt für die Nahrungsmittelindustrie (Milch-, Zucker-, Wein- und Bierherstellung) und für Klärschlämme.

Bei forstwirtschaftlichen Reststoffen wie Baumspitzen und -stümpfen, Wurzeln und Ästen, Blättern und Nadeln, Borke und Rinde, die bei der Stammholzernte anfallen, ergeben sich dagegen Probleme. Die Bestandteile der Bäume enthalten einen bedeutenden Anteil der mineralischen Nährstoffe, die in der Biomasse gebunden sind. Werden sie aus dem Wald entfernt, dann droht eine weitere Bodenverarmung mit negativen Folgen für die Bodenbiodiversität (EEA 2006). Ein typischer westeuropäischer sommergrüner Wald verbraucht ca. 400 kg Mineralstoffe je Hektar und Jahr (Larcher 1973). Schon in den letzten 30 Jahren ist die Versorgung der Waldbäume mit Nährstoffen, insbesondere Phosphor, Magnesium und Kalium, deutlich zurückgegangen, mit Folgen für die Bodenfruchtbarkeit und damit für die Makrofauna (Englisch 2007; Kölling et al. 2007; Flückinger, Braun 2009). Wird aus Gründen der forstwirtschaftlichen Ertragssicherung der Waldboden mit Mineraldünger (NPK plus Calcium) behandelt (Sverdrup, Rosen 1998), kann das zu weiteren Verschiebungen des Artenspektrums sowohl im Unterwuchs wie im Boden führen. Solche kompensatorischen Düngemaßnahmen sind z.B. in Torf- und Moorlandschaften besonders bedenklich.

Die mit der Entnahme von Reststoffen verbundene Bodenveränderung ändert zudem auch die Zusammensetzung von Flora und Fauna durch Habitathomogenisierung und die verstärkte Bodenbelastung.

Bei den Abfällen aus der Landwirtschaft machen Gülle und Feststoffkot aus der Hühnerzucht in erster Linie durch die häufige Überdüngung Probleme, die direkt die Bodenhabitate beeinträchtigt und homogenisiert, und indirekt durch die resultierende Belastung von Grund- und Oberflächenwasser Habitate und Ökosysteme bis hin zu marinen Systemen schädigen kann (EEA 2019). Gülle kann direkt in Fermentern zur Biogasproduktion benutzt werden. Allerdings ist die verbleibende vergorene Gülle ärmer an Kohlenstoff, während der Stickstoff angereichert ist, was ihre Eignung als Pflanzennährstoff beeinträchtigt und die Ernährung der Bodenmikroorganismen beeinträchtigt (Gutser, Ebertseder 2006).

Stroh (von Getreide, aber auch Raps) und Stengel (z.B. von Sonnenblumen) aus den Feldern zu entfernen und ihre Biomasse zu nutzen wirkt weniger durch die Entnahme mineralischer Rohstoffe wie im Fall der Entnahme aus dem Wald – hier wird jeder Mangel durch Düngung ausgeglichen. Dagegen können Reststoffe, die im Feld verbleiben, einerseits zur Humusbildung beitragen und andererseits als Bodenbedeckung in Brachzeiten vor Erosion schützen. Insbesondere Stroh bietet auch der Bodenfauna Mikrohabitate. Einige Spinnen, die eine wichtige Rolle in den Nahrungsnetzen der biologischen Schädlingsbekämpfung spielen, jagen und legen ihre Eier im Stroh ab (Schmidt et al. 2003; Rusch et al. 2013).

# 7. Flächenkonkurrenzen und Importoptionen

Biomasseproduktion ist (fast ausschließlich) flächengebunden, und Boden ist eine nicht vermehrbare Ressource, die vielfältigen Ansprüchen ausgesetzt ist, von Wohnungsbau und Infrastruktur über Landwirtschaft zu Freizeitnutzung und

Naturschutz. Soweit die entstehenden Flächenkonkurrenzen die inländische Produktion begrenzen, ist zu erwarten dass der inländischen Nachfrage mit Importen aus der EU und darüber hinaus begegnet wird.

## 7.1 Flächenkonkurrenzen

Optimist\*innen sehen erhebliche Potenziale für die Biomasseproduktion nicht nur in der Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Abfallstoffe und im Anbau von Zwischenfrüchten (wie oben beschrieben), sondern auch beim Anbau mehrjähriger Pflanzen auf degradierten und nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion genutzten Standorten. Derartige Schätzungen sind umstritten, aus soziokulturellen Gründen (fast alle „freien“ Flächen werden extensiv genutzt, was offiziell nicht als „Landnutzung“ anerkannt wird), mit ökonomischen Begründungen (die Beschränkung des lukrativen Biomasseanbaus auf marginale Flächen widerspricht so sehr den wirtschaftlichen Interessen, dass sie nicht durchsetzbar wäre (Bryngelsson, Lindgren 2013)) und mit ökologischen Argumenten (was ertragsstarke Biomassepflanzen tragen kann, ist auch für Nahrungsmittel geeignet, und wo das nicht der Fall ist wird auch Biomasseproduktion Agrarchemikalien und ggf. Bewässerung benötigen (Spangenberg, Settele 2009)).

Wenn es also große, ungenutzte Freiflächen nicht mehr gibt, dann kann eine Nutzungsart nur zu Lasten anderer ausgeweitet werden. Das gilt zwischen den genannten Nutzungsarten, aber auch innerhalb jeder dieser Klassen. So kann die verfügbare Fläche für den industriellen Biomasseanbau dadurch erweitert werden, dass etablierte land- und forstwirtschaftliche Nutzungen ersetzt werden, oder dadurch, dass Siedlungs-, Erholungs- oder Naturschutzflächen umgewidmet werden. So führen die verschiedenen potenziellen Nutzungsmöglichkeiten der Biomasse unvermeidlich zu Nutzungskonflikten (Kaphengst 2007), die nur dann systemisch gelöst werden können, wenn a priori klare Hierarchien und Regeln definiert werden.

Popp et al. (2012) schließen aus der begrenzten Fläche und dem als unabänderlich angenommenen Wandel der Ernährungsmuster, dass signifikante Erhöhungen der Hektarerträge notwendig sein werden. Sie bleiben aber die Antwort schuldig, welche Auswirkungen das auf den Bedarf an Agrarchemikalien und Bewässerung hätte. Ihre Annahme korrespondiert jedoch mit der Erwartung der FAO, dass die Hektarerträge auch in Zukunft kontinuierlich steigen werden. Da die Zuwachsraten aus dem letzten Jahrhundert jedoch schon lange nicht mehr erreicht werden und die erhofften Entwicklungssprünge durch Gentechnik ausgeblieben sind, sollte man diese Annahme nicht als Selbstverständlichkeit betrachten.

Das Flächenpotenzial für die Biomasseproduktion ergibt sich unter der Annahme, dass einerseits die EU-Agrarpolitik im Sinne der Vermeidung weiterer Belastungen u.a. anhand der genannten Kriterien überarbeitet wird (ein neuer Ansatz zur landwirtschaftlichen Produktion im European Green Deal erscheint zur Zeit möglich) und andererseits der Pflanzenbau im Rahmen der Bioökonomie ebenfalls zur Verringerung dieser Belastungen beiträgt. Nur dann ist es möglich, die vielfältigen Nutzungsansprüche an den Boden zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln, von Fasern, Ölen, Zucker, Stärke und anderen Substanzen für die Bioökonomie, aber auch als Basis der biologischen Vielfalt und CO<sub>2</sub>-Senke zum Ausgleich zu bringen. Dies setzt voraus, dass die genannten Schutzziele und -maßnahmen auch dann umgesetzt werden, wenn dies eine maximale Biomasseproduktion verhindert und die mögliche Produktion zum Teil verteuert, indem eine Externalisierung von Umweltkosten vermieden wird.

## 7.2 Importe aus dem EU-Binnenmarkt

Bei Betrachtung der drei Hauptquellen von Biomasse für die Bioökonomie – Abfall- und Restmaterialverwertung, Forstwirtschaft (Holznutzung) und Landwirtschaft (Biomasseanbau) – ergibt sich mit Blick auf die EU unter Auslassung der marinen und limnischen Produktionspotenziale das folgende Bild:

Reststoffe unterliegen zunächst den Abfall- bzw. Kreislaufwirtschafts-Richtlinien der EU, die die Behandlung und Ablagerung regeln. Das kann auf kontaminierte Biomasse zutreffen (z.B. mit Pflanzenschutzmitteln behandelte Nutzhölzer, mit Holzschutzmitteln behandelte Möbel oder mit schwermetallhaltigen Farben eingefärbtes Papier), deren weitere bioökonomische Verwendung etwa wegen verbleibender Spurenstoffe oder der Kosten für die Beseitigung der Kontamination nicht möglich oder nicht gewünscht ist. Solche Stoffe dürften oft den Regeln für Sondermüll unterfallen und dann – im besten Fall unter Energierückgewinnung – in Sondermüllverbrennungsanlagen verbrannt werden, häufig im Ursprungsland. Diese Regeln schützen, ebenso wie die Grenzwerte für als Dünger auf die Felder ausbringbare Substrate (Gülle), auch die Biodiversität der Bodenorganismen im Zielhabitat.

Was in Deutschland „Abfälle zur Verwertung“ heißt, also Reststoffe, die in der Bioökonomie eingesetzt werden können, sind im Sinne des EU-Binnenmarktes (wie auch des deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetzes) also handelbare Wertstoffe. Als solche sind sie Bestandteil des Binnenmarktes und können unbeschränkt in ganz Europa gehandelt werden.

Das gilt auch für die Produkte aus Land- und Forstwirtschaft: Sind sie nicht kontaminiert (s.o.), so sind sie frei in der EU verschiebbare Handelsgüter. Für die verfügbare Biomasse bedeutet das, dass nicht das inländische Produktionspotenzial von Bedeutung ist, sondern das EU-weite Potenzial und der Anteil an der EU-weiten Produktion, den sich ein Land sichern kann. Entscheidend für das Anbaupotenzial sind neben den gegebenen naturräumlichen Faktoren, die in den verschiedenen Naturräumen der EU recht divers sind, vor allem die rechtlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen, die für alle Betriebe in der EU identisch sind. Das gilt ebenso für die Anreiz- und Förderprogramme für die Bioökonomie auf EU-Ebene, und ihre Förderung in den Forschungsprogrammen der EU (Scarlat et al. 2015). Mit diesen Programmen wird die Entwicklung der Bioökonomie in allen Mitgliedsstaaten der EU gefördert, und je erfolgreicher diese Anreize sein werden, desto höher der Inlandsbedarf und desto geringer das Exportpotenzial an Biomasse. Da sich die europäische Politik im Zeichen des European Green Deal recht rapide ändert, kann davon ausgegangen werden, dass die Förderung der Bioökonomie als Substitut für eine kohlenstoffbasierte Wirtschaftsweise eher zu- als abnehmen wird. Damit ist jedoch wahrscheinlich, dass die für den Verkauf nach

Deutschland verfügbaren Mengen an Biomasse begrenzt sein werden. Eine prospektive Quantifizierung ist angesichts der derzeitigen Umbrüche in der EU-Politik nicht möglich; auch die bereits verabschiedete Neufassung der GAP steht wieder auf dem Prüfstand.

Entscheidend für den Anteil der europäischen Biomasseproduktion, den sich ein Land sichern kann, ist dabei das Verhältnis von drei wesentlichen Faktoren: Die Verarbeitungskosten, beruhend auf der Qualität (z.B. Reinheit) des angebotenen Produkts, die Transportkosten zum Verarbeitungsort, bestimmt durch die Entfernung und das spezifische Gewicht des Transportgutes, sowie der erzielbare Marktpreis für das weiterverarbeitete Zwischen- oder Endprodukt. Die zentrale geographische Lage der Bundesrepublik ist dabei ambivalent. Einerseits ist die Entfernung nach allen Regionen Europas begrenzt, andererseits ist die Entfernung zu keiner der meist weniger dicht besiedelten und als potenzieller Biomasseproduktionsstandort in Frage kommenden Regionen besonders kurz (Erb et al. 2009).

Nicht nur die Ziele und Förderbedingungen sind sich europaweit ähnlich, das gilt auch für die Landnutzungskonflikte, die in weiten Teilen der EU denen in der Bundesrepublik sehr ähnlich sein dürften. Ursache ist auch hier ist das europäische Rechtssystem: EU-weit gelten z.B. ähnliche Begrenzungen durch Qualitätsstandards für Grund- und Oberflächenwasser nach der Wasserrahmenrichtlinie (die in Deutschland nur spät und zögernd umgesetzt wurde), die der Strategie der Intensivierung zur Biomasseproduktion Grenzen setzen. Die bereits genannten Bedingungen für einen biodiversitätsgerechten Anbau von industrieller Biomasse gelten in den nord-, west- und zentraleuropäischen Ländern gleichermaßen. Im mediterranen Raum sind zusätzlich Wasserknappheit und Brandgefahr sowie ein erhöhtes Erosionsrisiko zu berücksichtigen, was die Produktionspotenziale weiter vermindert.

Auch eine Ausweitung der Produktionsfläche für Biomasse ist in Europa nur begrenzt möglich, da der Zustand der Habitats und Arten von besonderer europäischer Bedeutung besorgniserregend ist (EEA 2019) und Schutzgebiete eher ausgebaut als zurückgenommen und aufgelöst werden sollten. Wollen Regierungen dies aus wirtschaftlichen Gründen dennoch tun, so ist es für nationale oder regionale Schutzgebiete zwar möglich, diese durch nationale politische Akte aufzuheben, um Flächen für den Biomasseanbau frei zu machen. Allerdings überschneiden sich diese Gebiete häufig mit Schutz-zonen nach der EU Habitat- und der Vogelschutzrichtlinie, sowie mit Flächen von internationalem Schutzstatus wie den unter der Ramsar-Konvention gemeldeten Feuchtgebieten, und sind damit ohne internationalen Rechtsbruch nicht für den Biomasseanbau verfügbar (eine Ausnahme stellt die Restbiomasse aus artgerechter Grünflächenpflege dar). Insgesamt

ist damit zu erwarten, dass die deutsche Nachfrage nach Biomasse als Ausgangsmaterial für die Bioökonomie im Falle einer weitgehenden Umstellung von fossilen auf biologische

Rohmaterialien (bei ansonsten weitgehend unveränderten Produktions- und Konsummustern und -niveaus) bei Weitem nicht zu decken sein wird.

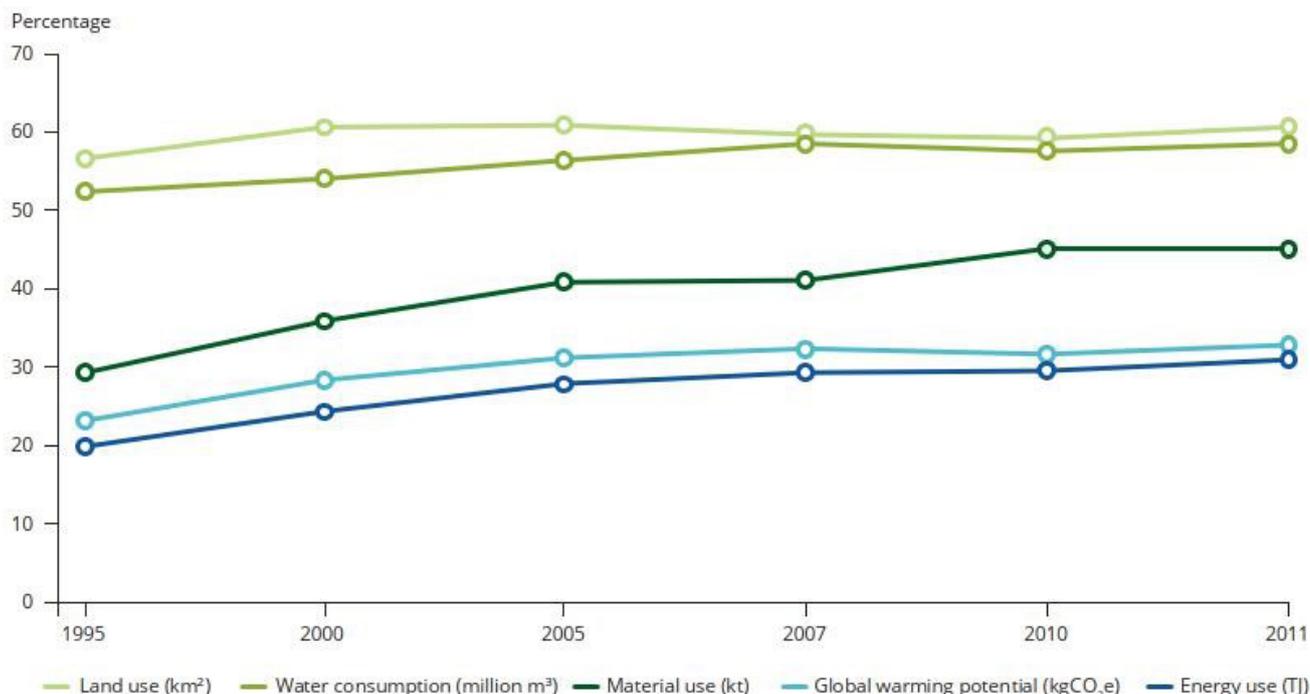
## 7.3 Außer-EU-Importe

Wenn die Menge der in Deutschland verfügbaren Biomasse für die Bioökonomie aus sozial-ökologischen Gründen begrenzt ist und der Import aus dem EU-Binnenmarkt zwar technisch und handelsrechtlich weitgehend unproblematisch, aber in seiner Menge ebenfalls begrenzt ist, dann bleibt als Quelle der Biomasse nur der Import aus außereuropäischen Ländern, insbesondere aus den Staaten des globalen Südens. Dieser ist jedoch umstritten und aus ökologischen wie aus ökonomischen und entwicklungspolitischen Gründen fragwürdig.

Ökologisch ist zunächst das verfügbare Produktionspotenzial außerhalb Europas umstritten. Das betrifft insbesondere die Frage nach der ökologisch zulässigen Entnahme von Biomasse aus Ökosystemen in Relation zum jährlichen Zuwachs – was bei Holz ein seit Jahrhunderten etabliertes Nachhaltigkeitskriterium ist (und bei anderen Waldprodukten zum Schaden der Wälder nicht berücksichtigt wurde), ist für die Biomasse insgesamt aber nicht so leicht zu erfassen. Als Maß dient hier der vom Menschen abgeschöpfte Anteil der natürlichen Biomasseproduktion, die „human appropriated net primary production“ HANPP oder NPPa. Diese

Abschöpfung betrug im Jahr 2000 rund ein Viertel der gesamten Nettoprimärproduktion und wurde selbst zu rund drei Viertel von der Landwirtschaft verursacht (Haberl et al. 2007; Krausmann et al. 2008). Es ist offensichtlich, dass sich dieser Anteil nicht beliebig steigern lässt, ohne die Stabilität der ökologischen Systeme zu gefährden.

Dies begrenzt das Ressourcenpotenzial, das der Bioökonomie zur Verfügung steht: Da heute rund 10% des globalen Energieverbrauchs aus Biomasse gedeckt wird, müsste sich die genutzte Menge verzehnfachen, um fossile Rohstoffe im Energiesektor zu ersetzen, der rund 90 % der fossilen Ressourcen verbraucht (das bedeutet umgerechnet einen Bedarf von rund 10 kg Holztrockenmasse pro Person und Tag) (Schindler, Zittel 2006). Da in der weltweiten Verteilung des Energieverbrauchs seine überwiegende Deckung aus Biomasse typisch für wirtschaftlich schwache Staaten und Regionen ist, während in den wohlhabenden Regionen die Nutzung fossiler Energieträger dominiert, würde eine Ausweitung des Biomassehandels zur Fossilsubstitution mit dem Risiko einhergehen, dass die Energiequellen der Ärmsten durch die überlegene Kaufkraft der Reichsten abgeschöpft wird und zusätzlich zur



**Note:** Geographical coverage = EU-28 plus Norway, Switzerland and Turkey.

**Source:** EEA and European Topic Centre on Waste Materials in a Green Economy's own calculations based on Exiobase 3 (Stadler et al., 2018).

**Abb. 18: Ausländischer Anteil der Umweltbelastung durch den europäischen Konsum; Quelle: EEA 2019**

finanziellen eine weiter verschärfte Energiearmut droht. Diese Zahlen zeigen, dass eine 1:1 Ersetzung von fossilen durch erneuerbare Materialien auf Biomassebasis bei ansonsten unveränderten Produktions- und Konsumstrukturen illusorisch und der Versuch einer solchen Strategie sozial mehr als bedenklich ist; erst wenn der Ressourcenverbrauch um einen Faktor 5-10 sinkt, wird Biomasse als Rohstoff auch quantitativ bedeutsam und ohne die von massiven Importen ausgehenden sozialen Friktionen nutzbar.

Das alte EU-Ziel von 20 % erneuerbare Energien im Jahre 2020 beinhaltete, dass 10 % der fossilen Treibstoffe für Autos durch solche aus Biomasse ersetzt werden sollten. Das hätte bei inländischer Produktion rund 70 % der EU-Agrarfläche erfordert und führte zu massiven Biomasseimporten aus Drittstaaten. So ist nicht nur die innereuropäische Biodiversität von den Folgen europäischer Produktions- und Konsumweisen betroffen, sondern diese haben auch direkte Auswirkungen und verursachen Schäden an Habitaten und Arten weit außerhalb unserer Landesgrenzen. Das ökologische Defizit ist erheblich; die Nachfrage nach Umweltgütern und -leistungen übersteigt die territoriale Produktion bei Weitem (EEA 2019) und löst durch das sogenannte „Telecoupling“ Fernwirkungen aus (IPBES 2019). Abbildung 18 zeigt, wie hoch der Anteil der Umweltbelastung durch den europäischen Konsum ist, der außerhalb der EU anfällt (zum Unterschied von produktions- und konsumseitigen Berechnungen siehe Kapitel 4.3). Auf die Risiken zunehmender internationaler Landnutzungskonkurrenzen durch Biomasseanbau – verringerte Ernährungssicherheit und/oder Zerstörung tropischer Regenwälder oder anderer naturnaher Ökosysteme – weist schon der WBGU (2008) hin. Dabei sind die Folgen des europäischen Konsums noch deutlich gravierender als die der inländischen Produktion.

Ökonomisch folgt aus der verstärkten Nachfrage nach Biomasse und geeigneten Anbauflächen zunächst ein Preisdruck auf Ackerland und Wasser zur Bewässerung. Dieser verteuert Nahrungsmittel, auch durch eine höhere Landrente (Popp et al. 2014) – und zwar auch dann, wenn eine Produktion für die industrielle Biomasseherstellung zu Lasten der Nahrungsmittelproduktion ausgeschlossen wird. Gleichzeitig wurde ein starker Druck auf die Waldflächen beobachtet, der zu großflächigen Degradierungen oder Abholzungen von Wäldern insbesondere in tropischen Regionen führt (Bryngelsson, Lindgren 2013).

Die Erfahrungen aus der Entwicklungspolitik zeigen, dass die Ärmsten am stärksten auf den (freien) Zugang zu Biomasse für Ernährung, Energie und als Futtermittel und Baumaterial angewiesen sind. Sie würden unter der erhöhten Landnachfrage und den steigenden Preisen daher am meisten leiden. Deshalb spielt die biologische Vielfalt und ihr Erhalt eine zentrale Rolle in der deutschen Entwicklungszusammenarbeit, wie die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt und der Bericht des Umweltbundesamtes betonen (UBA 2013).

# 8. Bestehende Instrumente und Standards zur nachhaltigen Biomasseproduktion innerhalb der planetaren Grenzen

Für die Biomasseproduktion gibt es bereits etablierte Rahmenbedingungen und Standards, die eine ökologisch nachhaltige und sozial gerechte Bewirtschaftung gewährleisten sollen.

## 8.1 Grundüberlegungen zur landwirtschaftlichen Biomasseproduktion

Alle genannten Schutzmaßnahmen zugunsten der biologischen Vielfalt beinhalten Restriktionen bezüglich der zu nutzenden Flächen und der Bewirtschaftungsformen, die den biologischen und damit den ökonomischen Ertrag beeinträchtigen können. Sollten die für Biomasse zur industriellen Verwertung gezahlten Beträge diejenigen für den Nahrungsmittelanbau übersteigen, ergibt sich ein ähnliches Dilemma für die Nahrungsmittelproduktion: sie würde die wirtschaftlichen Erträge im Vergleich zum Industriepflanzenanbau beeinträchtigen und deshalb aufgegeben - wenn nicht rechtliche oder finanzielle Interventionen dies verhindern. Die Priorität für Nahrungsmittel ist zwar Bestandteil der Bioökonomiestrategie, aber Instrumente zu ihrer Umsetzung werden dort nicht benannt. Der ökonomische Anreiz verlangt also, dass Bauern auf ertragsmindernde Maßnahmen zum Schutze der biologischen Vielfalt verzichten.

Dem kann nur begegnet werden, indem entweder dieser ökonomischen Motivation durch die Setzung von verbindlichen Rechtsvorschriften im Umweltordnungs- und Planungsrecht ein Rahmen gesetzt wird, in dem sie sich schadlos entfalten kann – oder indem durch konditionierte Zahlungen die Richtung des ökonomischen Anreizes auf einen verstärkten Schutz der biologischen Vielfalt hin ausgerichtet wird. Beide Methoden sind voraussetzungsreich und nicht unproblematisch, insbesondere was das Monitoring und die Durchsetzung von Rechtsnormen bzw. den Anspruchskriterien für eine finanzielle Ausgleichszahlung angeht. Schon bisher gelingt es nicht immer, regelwidrige Nutzungen in Natur- und Landschaftsschutzgebieten zu verhindern, oder die Einhaltung agrarökologischer Maßnahmen durch Zuwendungsempfänger zu kontrollieren bzw. Verstöße zu sanktionieren.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor, bei dem klare rechtliche Regelungen, ihre regelmäßige Überprüfung und langfristig verlässliche Zuschussbestimmungen ebenfalls helfen würden, ist die Volatilität der Lebensmittelpreise. Nimmt man an, dass durch die Entwicklung der Weltmärkte die Wertschöpfung aus dem Biomasseanbau so hoch ist, dass die finanziellen Erträge diejenigen aus dem Nahrungsmittelanbau übersteigen, so wird absehbar nicht nur die bisher für die Produktion von Agrarexportgütern genutzte Fläche für industrielle Biomasse genutzt werden, sondern auch die Agrarflächen für die europäische Inlandsversorgung. Es gibt bisher keine rechtlichen Instrumente, die dies verhindern könnten, und da es sich um einen Eingriff in die Nutzung von Privateigentum handelt, gibt es rechtliche Hürden eine solche Regelung einzuführen.

Sollte eine solche Entwicklung eintreten, sind jedoch die Folgen für die internationale Nahrungsmittelversorgung zu bedenken – Europa würde verstärkt Nahrungsmittel importieren, zu Lasten anderer Konsument\*innen. Im internationalen Wettbewerb dürfte es sich dabei um Menschen mit weniger Kaufkraft handeln, also die ärmeren Bürger\*innen, weit überwiegend in den Ländern des globalen Südens.

## 8.2 Die globale Perspektive

Biodiversität ist immer lokal, aber ihr Verlust ist ubiquitär, und die Ursachen des Verlustes sind global. Wie die Ausführungen in Kapitel 4.3 gezeigt haben sind die Folgen des europäischen Konsums in anderen Kontinenten oft deutlich höher als in Europa selbst. Diese konsumgetriebenen Fernwirkungen sind eine Form dessen, was der Weltbiodiversitätsrat in seinem Global Assessment (2019) als „Telecoupling“ bezeichnet, ein Metakzept das eine Vielzahl von Prozessen bezeichnet, die räumliche, zeitliche oder funktionale Distanzen überbrücken, von Stadt-Land-Beziehungen bis zur Geopolitik.

Die negativen Folgen für die weltweite biologische Vielfalt können aus der Konsumnachfrage nach Agrarprodukten wie Nahrungsmitteln resultieren, aber auch nach Futtermitteln wie Soja, Pflanzenfasern wie Baumwolle oder nach Mineralien und Metallen wie Lithium (BfN, BMU 2019). Weniger beachtet aber relevant ist der Import von Zierpflanzen und exotischen Haustieren, einerseits weil diese zu Invasoren werden können, andererseits aus Gründen des Natur- und Artenschutzes (in den USA leben mehr Tiger in Gefangenschaft als weltweit in freier Wildbahn); insbesondere der illegale Wildtierhandel, unter Missachtung von CITES, bedroht zahlreiche Arten.

Im Rahmen dieser Studie sind zwei Aspekte von besonderer Relevanz: Die direkten oder indirekten, räumlich und/oder zeitlich entfernten Folgen des Biomassehandels für die biologische Vielfalt, sowie rechtliches Telecoupling, das ebenfalls direkt oder indirekt erfolgen kann (IPBES 2019). Eine direkte Kopplung besteht z.B. im Rahmen internationaler

Konventionen wie der UN CBD und ihnen nachgeordneter Rechtsakte (z.B. das Cartagena Protokoll über biologische Sicherheit). Indirekte Kopplungen können unintendiert sein, wie die Folgen von Freihandelsvereinbarungen für die biologische Vielfalt, die von den Verhandler\*innen nicht als relevant (an-)erkannt wurden, z.B. beim aktuellen Freihandelsabkommen EU-MERCOSUR. Sie können aber auch beabsichtigt sein, wie bei der Einführung von Kennzeichnungen, Normen, Zertifikaten etc., deren Einhaltung Voraussetzung für Import oder Export ist. Zum (begrenzten) Nutzen von Zertifikaten zur Sicherstellung der Vermeidung von Biodiversitätsverlusten siehe Kapitel 8.5.

### Zertifizierung von EU-Biomasseimporten wegen Biodiversitätsverlusten

Unternehmen, die Biomasse zur Treibstoffherstellung in die EU importieren wollen, müssen nachweisen, dass sie die sog. Nachhaltigkeitskriterien der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU (RED II) einhalten: Primärwälder und hochwertige Naturschutzflächen dürfen nicht dem Biomasseanbau geopfert werden. Auch wenn die Richtlinie dafür kritisiert werden kann und muss, dass ihr Schutzniveau unzureichend ist und indirekte Effekte (spill over) nicht verhindert werden, ist es doch nicht nachvollziehbar, warum Biomasse, die nicht für die Energiegewinnung sondern für die bioökonomische Verwertung importiert wird, noch nicht einmal diesen Kriterien unterworfen und an keinerlei Nachhaltigkeitsauflagen gebunden ist.

## 8.3 Europa

### 8.3.1 Der politische Rahmen: Die Gemeinsame Agrarpolitik GAP

Die gesamte Ausrichtung der bisherigen EU-Agrarpolitik auf internationale Wettbewerbsfähigkeit fordert und fördert große wirtschaftliche Einheiten, die wiederum in der Regel mit biodiversitätsfeindlichen großflächigen Monokulturen einhergehen. Auch die Neudiskussion der GAP im Rahmen des European Green Deal ist – bei allen Verbesserungen im Detail – dieser Grundausrichtung verhaftet.

Zudem leiden die bisherigen Anreizmechanismen in der Gemeinsamen Agrarpolitik darunter, dass sie immer auf

wenige Jahre Laufzeit beschränkt sind. Das nützt weder der biologischen Vielfalt, die auf dauerhaft verlässlichen Schutz angewiesen ist, noch den Bauern, die Umstellungen vornehmen sollen, deren Amortisationszeit länger sein kann als die Laufzeit der Verträge, die die Vergütungen garantieren. Unsere Interviews in mehreren EU-Staaten im Rahmen des EU APPEAL-Projekts haben gezeigt, dass dies ein wesentliches Hemmnis für die zögernde Aufnahme mancher agrarökologischer Anreize ist.

## 8.3.2 Der rechtliche Rahmen: Für die Bioökonomie relevante europäische Ziele und Vorschriften

Die Möglichkeiten, eine weitere Intensivierung bereits stark genutzter landwirtschaftlicher Flächen zu verhindern, unterscheiden sich nicht von denen, die für die landwirtschaftliche Nahrungs- und Futtermittelproduktion gelten. Auf europäischer Ebene ist hier insbesondere die Nitratrichtlinie von 1991 zu nennen, die mit der deutschen Düngemittelverordnung von 2012 unvollständig in deutsches Recht umgesetzt wurde. Nachdem das im Juni 2018 ergangene Urteil des Europäischen Gerichtshofs wegen unzureichender Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie in Deutschland nicht umgesetzt wurde, hat die Europäische Kommission in einem Vertragsverletzungsverfahren mit hohen Geldbußen gedroht und darauf hingewiesen, dass die Qualität des Grundwassers in Deutschland zu den schlechtesten in Europa gehört und keine Anzeichen für Besserung zeigt. Erst daraufhin wurde die Düngeverordnung im April 2020 aktualisiert; sie ist am 1.5.2020 in Kraft getreten.

Von Bedeutung ist auch die Wasserrahmenrichtlinie, die (in Deutschland bisher überwiegend nicht eingehaltene) Ziele für den biologisch wie chemisch guten Zustand der Gewässer in Europa setzt und damit indirekt die Begrenzung der Ausbringungsmengen von Agrarchemikalien notwendig macht und eine besondere Sorgfaltspflicht zur Vermeidung von Substanzen konstituiert, die ggf. nicht an Land, wohl aber in aquatischen Systemen ökotoxisch sein können.

Aus Sicht der Bioökonomie ebenfalls relevant ist die neue EU-Düngemittelverordnung (Verordnung (EU) 2019/1009) vom 5. Juni 2019, die ab Juli 2022 verpflichtend in nationales Recht umgesetzt sein muss. Sie harmonisiert die Anforderungen an Düngemittel für recycelte sowie für organische Düngemittel, Biostimulatoren, Komposte und Gärreste, und eröffnet damit einen Markt für einen Sektor der Bioökonomie.

Gleichzeitig werden in der Verordnung harmonisierte Grenzwerte für eine Reihe von Kontaminanten, wie etwa Cadmium, festgelegt, die in mineralischen Düngemitteln enthalten sind.

Der Entwurf der neuen EU-Biodiversitätsstrategie legt schonungslos offen, wie viele Lücken es in EU-Gesetzen zum Schutz der Artenvielfalt gibt. Diese Lücken sollen nun Schritt für Schritt geschlossen werden. Dazu plant die EU-Kommission, sehr konkrete Ziele vorzulegen. Bis 2030 sollen

- mindestens 30 % der EU-Landfläche und 30 % der EU-Seefläche gesetzlich geschützte Gebiete werden,
- das Risiko und der Einsatz chemischer Pestizide und von Pestiziden mit hohem Risiko um 50 % reduziert werden,
- mindestens 25 % der landwirtschaftlichen Flächen unter ökologischem Landbau verwaltet werden,
- Nährstoffverluste von Düngemitteln an die Umwelt um 50 % und der Stickstoffverbrauch um 20 % reduziert werden.

Sollten diese Vorschläge rechtsverbindlich umgesetzt werden, so wären einige der zuvor genannten Bedingungen für eine biodiversitätsverträgliche Bioökonomie erfüllt. Das gilt jedoch nur dann, wenn die Vorschriften auf der gesamten bewirtschafteten Fläche gelten und nicht nur auf den Teilen, die durch europäische Geldmittel gefördert werden. Schon heute ziehen sich einige ertragsstarke Bauern aus der EU-Förderung zurück, um damit den Auflagen der GAP zu entgehen. Entwickeln sich die Preise für Agrarbiomasse im Sinne der Bauern positiv, könnte sich dieses Phänomen ausweiten. Dann helfen Auflagen in Zuwendungsregelungen nicht mehr; stattdessen bedarf es dann ordnungsrechtlicher Regelungen und Umsetzungskontrollen.

## 8.3.3 Neue EU-Agrarpolitik im Rahmen des Europäischen Grünen Deals

Der Europäische Grüne Deal will flächendeckend die Belastung mit Schadstoffen verringern, was der biologischen Vielfalt insgesamt nutzen würde. Sie propagiert dafür im Bereich Landwirtschaft Ansätze wie die Präzisionslandwirtschaft, die nicht notwendig positive Wirkungen auf die Biodiversität hätte, aber auch ökologischen Landbau und Agrarökologie, die voraussichtlich positiv wirken würden, und Agrarforstwirtschaft, die als Ackernutzung eher positiv, als Waldnutzungsform in Europa aber eher negativ sein könnte. Letzteres ist in Deutschland jedoch nach Bundeswaldgesetz ausgeschlossen.

Hier lässt sich deutlich, aber noch nicht konsequent eine Neuausrichtung erkennen, die einem anderen Fortschrittsmodell folgt als z.B. die deutsche Landwirtschaftsministerin Klöckner, deren Zukunftsvision beinhaltet, „an jeder Milchkanne über 5G“ zu verfügen, damit Künstliche Intelligenz auf dem Acker funktioniert und Maschinen miteinander kommunizieren könnten.

Ob die Agrobiodiversität von dem Neuansatz profitiert ist noch nicht zu erkennen; der Verweis auf strengere Tierschutzstandards reicht dafür nicht aus. Auf jeden Fall sollte die Effektivität der „grünen“ Maßnahmen steigen, wenn der

Schwerpunkt von der Einhaltung der Vorschriften auf ökologische Leistung verlagert wird – vorausgesetzt die notwendige Wirkungskontrolle findet statt. Diese wird zumindest in den Fällen nicht unproblematisch sein, wenn sich eine positive

ökologische Wirkung nicht unmittelbar erfassen und messen lässt, sondern sich erst mit einer Zeitverzögerung entfaltet, z.B. bei der Grundwasserbelastung mit Nitrat.

## 8.4 Deutsches Recht: Umweltrecht, Düngegesetz, Düngeverordnung

Wesentliche Ziele des Naturschutzes sind im deutschen Recht durch die Vorschriften zur Nutzungsbegrenzung in Landschafts-, Natur- und Wasserschutzgebieten verankert. Darüber hinaus gibt es landwirtschaftsspezifische Rechtssetzungen, die – wie oben am Beispiel der Düngeverordnung geschildert – zumindest zum Teil der Umsetzung europarechtlicher Regelungen dienen.

Grundsätzlich bietet das deutsche Düngegesetz von 2015 weitere Möglichkeiten und benennt auch die wesentlichen Ziele. Es regelt insbesondere die Anforderungen an das Inverkehrbringen und die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pestiziden und Wachstumsregulatoren sowie Kultursubstraten. Als Zweck gibt das Gesetz u.a. an, einen nachhaltigen und ressourceneffizienten Umgang mit Nährstoffen bei der landwirtschaftlichen Erzeugung sicherzustellen, insbesondere Nährstoffverluste in die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden, Gefahren für die Gesundheit

von Menschen und Tieren sowie für den Naturhaushalt vorzubeugen oder abzuwenden, die durch Düngemittel oder durch andere Maßnahmen entstehen können, und die Fruchtbarkeit des Bodens, insbesondere den standort- und nutzungstypischen Humusgehalt, zu erhalten oder nachhaltig zu verbessern. Würden diese Zielsetzungen durch entsprechende Rechtsverordnungen konsequent und unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips umgesetzt, so wäre wohl ein reduzierter Einsatz von Gülle, Mineraldünger und Pestiziden die Folge. Die Verabschiedung der Düngeverordnung ist ein wichtiger Schritt in diese Richtung, auch wenn er erst von der EU erzwungen werden musste.

Ein weiterer, vor Ort wichtiger Schritt wäre eine Aktualisierung der Regeln der guten fachlichen Praxis für die Landwirtschaft. Bisher wurden auch Verstöße gegen die EU-Düngemittelverordnung damit gerechtfertigt, dass der Anbau der ‚guten fachlichen Praxis‘ gefolgt sei.

## 8.5 Zertifikate

Wie die Ergebnisse dieser Studie zeigen, ist der Bedarf an Biomasse für eine umfassende Dekarbonisierung der Wirtschaft mit heimischen Ressourcen weder in der EU noch in Deutschland zu decken. Importe aus anderen Teilen der Welt bergen aber nicht nur die Gefahr, den ökologischen Fußabdruck der Bioökonomie zu vergrößern, sondern sehen sich zunehmend dem Vorwurf ausgesetzt, Raubbau und Menschenrechtsverletzungen zumindest billigend in Kauf zu nehmen.

Eine Lösung scheinen Zertifizierungssysteme zu bieten, die eine ökologische und soziale Unbedenklichkeit der importierten Biomasse bescheinigen sollen. Für Holz, Palmöl oder Soja gibt es bereits verschiedene Anbieter. Doch halten sie auch, was sie versprechen?

### **Nachhaltigkeits-Siegel können Flächenverluste nicht verhindern**

Ein entscheidendes Problem können Öko-Siegel nicht lösen: Für die Ausweitung von Palmöl- oder Zellstoffplantagen

werden immer noch natürliche Ökosysteme zerstört. Nachhaltigkeits-Zertifikate sind lediglich dazu in der Lage, die Anbaubedingungen auf einer definierten Fläche zu verbessern. Obergrenzen für Flächenverbrauch und Anbaumengen steuern sie hingegen nicht. Vielleicht trifft sogar das Gegenteil zu. Öko-Siegel steigern möglicherweise die Nachfrage beim Endverbraucher und sorgen dafür, dass Plantagen weiter auf Kosten von Landlosen und Kleinbauern wachsen.

Die Siegel können außerdem nicht verhindern, dass es zu indirekten Landnutzungsänderungen kommt (ILUC – indirect land use change). Der Effekt entsteht, wenn die Nachfrage nach Biomasse nicht durch Intensivierung und Ertragssteigerung auf den vorhandenen Landwirtschaftsflächen gedeckt werden kann, sondern neue Anbauflächen erschlossen werden. Solche Verlagerungseffekte können entstehen, wenn etwa ein zertifizierter Palmölproduzent auf neue Rodungen verzichtet, sein nicht-zertifizierter Subunternehmer aber nicht. Oder wenn Zellstoffproduzenten aus Brasilien versichern, dass neue Plantagen ausschließlich auf degradiertem Land entstehen. Wo aber die Viehfarmer, von denen das Land

erworben wurde, in Zukunft ihr Geschäft betreiben, muss im Rahmen einer Zertifizierung nicht erläutert werden.

### **Am Runden Tisch gewinnt der Stärkere**

Viele Zertifikate verfolgen einen sogenannten Multistakeholder-Ansatz, d.h. Gruppen mit einem berechtigten Interesse wie Sozialverbände, Betroffene vor Ort, Umweltorganisationen und Unternehmen setzen sich an einen Runden Tisch und einigen sich auf Prüfkriterien, mit denen alle leben können. Das klingt nach gelebter Demokratie, Partizipation und Fairness. Die Realität sieht dagegen anders aus. Tatsächlich erfordern solche Prozesse enorme Ressourcen an Personal, Zeit und Zugang zu Informationen. Daran scheitert häufig bereits die physische Beteiligung etwa der Vertreter\*innen lokaler Dorfgemeinschaften. Erst recht scheitert daran eine Beteiligung auf Augenhöhe.

Selbst große Umweltorganisationen reiben sich in solchen Verhandlungen auf – wie z.B. beim Forest Stewardship Council (FSC), der 1993 mit Hilfe von Umweltverbänden ambitioniert gestartet und mit der Zeit immer industriefreundlicher wurde. Da im Laufe der Jahre die Standards immer weiter verwässert wurden, haben viele große Umweltorganisationen wie Greenpeace mittlerweile den FSC verlassen. In Brasilien gilt er bei progressiven Aktivisten mittlerweile gar als grüner Handlanger der Plantagenkonzerne.

### **Stakeholder sind keine Rightholder**

Ganz gleich ob globaler Palmölkonzern, Umweltorganisation mit Hauptsitz in London oder Bauernfamilie am Rande eines Palmölfeldes: Folgt man der Logik vieler Öko-Siegel, handelt es sich bei all diesen Beteiligten um Stakeholder mit einem berechtigtem Interesse, die gehört und beachtet werden müssen. Durch diesen begrifflichen Taschenspielertrick, aus allen Beteiligten Stakeholder zu machen, sind die unveräußerlichen Landrechte von lokalen Bauern auf einmal verhandelbar: Rightholder werden zu Stakeholdern degradiert.

### **Starke Prüfkonzerne – schwache Kontrollen**

In der Regel übernimmt eine Zertifizierungsinitiative wie z.B. der FSC nicht selbst die Kontrollen vor Ort, sondern übergibt diese Aufgaben an professionelle Zertifizierer. Das sind oftmals globale Prüfkonzerne wie der TÜV oder der weltweite Branchenführer SGS Group mit über 90.000 Mitarbeiter\*innen und einem Milliardenumsatz. Dies führt in der Praxis zu der fast unlösbaren Aufgabe, dass eine Initiative wie der FSC mit nur wenigen Mitarbeiter\*innen die globalen Aktivitäten großer internationaler Prüfkonzerne überwachen soll.

### **„Race to the bottom“ – das Prüfniveau sinkt stetig**

Die Prüfkonzerne stehen in Konkurrenz zueinander und werden außerdem unmittelbar von den Konzernen bezahlt.

Dies führt in der Praxis dazu, dass sich solche Prüffirmen durchsetzen, die nicht besonders streng hinschauen und die Regeln im Sinne ihrer Kund\*innen möglichst lax auslegen. Langfristig besteht so die Gefahr, dass die Standards eines Öko-Siegels immer weiter nach unten verwässert werden.

### **Funktioniert nur unter Idealbedingungen zufriedenstellend**

Die Siegel haben auch einige Erfolge vorzuweisen. Sogar kritische Umweltgruppen würden einräumen, dass zum Beispiel die Landrechte der Sami-Ureinwohner\*innen in Schweden durch das FSC-Siegel besser durchgesetzt werden konnten. Allerdings herrschen hier optimale Bedingungen: Schweden hat eine etablierte Demokratie mit Gewaltenteilung und Kritik an der Forstwirtschaft kann ohne Gefahr für Leib und Leben geäußert werden. So können die unterschiedlichen Interessen zumindest eingeschränkt bei der Siegelvergabe berücksichtigt werden.

Schweden ist aber längst nicht überall. Ein großer Teil der Biomasse kommt aus dem globalen Süden, häufig aus Ländern mit korrupten Regimen und schlecht funktionierenden staatlichen Strukturen. Gerade hier scheitern Öko-Siegel oftmals damit, Raubbau und Menschenrechtsverletzungen zu verhindern. In Ländern wie Brasilien oder Indonesien kann es lebensgefährlich werden, bei einer Zertifizierung Kritik an Konzernen zu üben oder seine Rechte einzufordern. Darüber hinaus sind die Menschen vor Ort weder mit dem Konzept einer Zertifizierung vertraut, noch werden sie hinreichend über die möglichen Folgen aufgeklärt. Außerdem halten sich die Nachhaltigkeitszertifikate in der Praxis nur selten an das von der UNO entwickelte Recht auf freie, vorherige und informierte Zustimmung (FPIC - Free, prior and informed consent). Danach sollten lokale Gemeinschaften vor einer möglichen Zertifizierung umfassend informiert werden und auf dieser Basis selbst entscheiden, ob sie dem Prozess zustimmen oder ablehnen.

Nachhaltigkeits-Zertifikate, die Unternehmen einer freiwilligen Überprüfung unterziehen, dienen damit in erster Linie der Beruhigung kritischer Kunden\*innen. Verbindliche Vorgaben für Mindeststandards, die Importe von Biomasse erfüllen müssen, können sie nicht ersetzen.

## 9. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen:

# Vorschläge für Anforderungen des Biodiversitätsschutzes an eine nachhaltige Bioökonomie

Die Expansion der Bioökonomie und der Zustand der Biodiversität auf den land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen sind wechselseitig eng miteinander verbunden. Sollte die Produktion von biogenen Rohstoffen für eine bioökonomische Nutzung das vorherrschende industrielle und naturferne Agrarmodell verfestigen, sind erhebliche negative Auswirkungen auf die Artenvielfalt zu erwarten. Die Bioökonomie-Debatte eröffnet aber auch Chancen, um nicht nachhaltige Bewirtschaftungsweisen zur Disposition zu stellen und wirksamen Artenschutz zu implementieren und durchzusetzen. Daher sollten alle beteiligten Akteure nach Möglichkeiten für eine naturverträgliche Umsetzung suchen.

Schon heute ist der Zustand der biologischen Vielfalt auf vielen land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen verbesserungswürdig oder dramatisch schlecht. Die Landwirtschaft ist als größter Flächennutzer in Deutschland der eindeutige Haupttreiber für den Verlust an Habitaten und Biodiversität. Zum einen, weil auf den meisten Agrarflächen eine naturferne Intensiv-Landwirtschaft praktiziert wird, aber auch weil naturschutzfachlich hochwertigere Nutzungsformen wie extensive Grünlandwirtschaft zugunsten von Ackerbau aufgegeben werden. Analog dazu werden auch viele forstwirtschaftlich genutzte Standorte naturfern bewirtschaftet.

Die Bundesregierung erkennt in ihrer Bioökonomiestrategie die Einhaltung planetarer Grenzen als Bedingung für eine nachhaltige Bioökonomie an. Wenngleich es ein weiter Weg von einem theoretischen Konzept bis in die Praxis ist, bleibt doch festzuhalten, dass die Bundesregierung bei diesem ökonomischen Zukunftsmodell explizit die Grenzen der Expansion anerkennt.

Die in der Landwirtschaft produzierten nachwachsenden Rohstoffe werden bisher in erster Linie energetisch genutzt. Eine hochwertige stoffliche Verwendung von Agrarrohstoffen findet hingegen kaum statt. Im Gegensatz dazu halten sich bei der Holzverwendung energetische und stoffliche Nutzung die Waage. Eine weitere Rohstoffquelle sind möglicherweise Reststoffe wie Waldrestholz, Grünschnitt, Getreidestroh oder Tierexkremate. Im Grundsatz lässt sich festhalten, dass sich viele Anwendungen der wissenschaftsbasierten Bioökonomie wie Bioraffinerien weitgehend noch im Versuchsstadium befinden.

Sollten bei industriellen Verfahren biogene Rohstoffe im großen Maßstab zum Einsatz kommen, dann ist das inländische Produktionspotenzial schnell ausgeschöpft, und die Bio-Wirtschaft auf Importe genauso angewiesen wie heute bei Erdöl und Erdgas. Da der Übergang zur Bioökonomie ein europäisches Programm ist, kann man davon ausgehen, dass auch in anderen Mitgliedstaaten die Nachfrage steigen wird, sodass die im Binnenmarkt verfügbaren Biomassemengen begrenzt bleiben dürften. Der verstärkte Import aus dem Globalen Süden wirft dagegen die Befürchtung auf, dadurch vor Ort zu massiven Biodiversitätsverlusten direkt oder indirekt beizutragen.

Das bedeutet in der Konsequenz, dass im europäischen wie im deutschen Recht naturschutzfachliche Rahmenbedingungen definiert werden müssen, damit die Biomassegewinnung naturverträglich gestaltet wird. Dazu gehört auch, dass wann immer und soweit aus Gründen des Schutzes der biologischen Vielfalt notwendig, auch Ertragsminderungen und Zusatzkosten für Biomasse in Kauf genommen werden müssen. Klare Rahmenvorgaben schaffen darüber hinaus Investitionssicherheit und helfen Fehlinvestitionen zu verhindern.

### *Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:*

1. Die in der Bioökonomiestrategie der Bundesregierung erwähnten **PLANETAREN GRENZEN** sollten für die Produktion von Rohstoffen in einer Bioökonomie unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte konkretisiert werden.
2. Eine verantwortungsvolle Bioökonomie sollte daher **OBERGRENZEN-KORRIDORE** für die Biomasseproduktion definieren, die mit der Leistungsfähigkeit der heimischen bzw. europäischen Land- und Forstwirtschaft unter Berücksichtigung des Naturschutzes rückgekoppelt sind.
3. Instrumente wie **GESETZE UND VERORDNUNGEN**, die negative Umweltauswirkungen von Land- und Forstwirtschaft schon heute begrenzen, sollten im Zuge der Bioökonomie konsequenter gestaltet und umgesetzt werden.

4. Für die Bioökonomie sollte eine **HIERARCHISIERUNG DER BIOMASSENUTZUNG** verbindlich implementiert werden. Erst nachdem die Nahrungsmittelversorgung gewährleistet und die Belange des Natur- und Artenschutzes ausreichend berücksichtigt worden sind, sollte eine bioökonomische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Erwägung gezogen werden.
5. Es ist deshalb empfehlenswert, den ersten **SCHWERPUNKT DER BIOMASSENUTZUNG AUF DIE REST- UND ABFALLSTOFFE** zu setzen, ohne die Mineralstoff- und Humusausgehalte von Waldböden und landwirtschaftlichen Nutzflächen zu beeinträchtigen.
6. Bioökonomie-Szenarien, die wesentlich auch auf den **IMPORT VON BIOMASSE** von außerhalb der EU setzen, sollten grundsätzlich in Frage gestellt werden.

Für die Bereiche Land- und Forstwirtschaft bedeutet das folgende konkrete Punkte:

### Landwirtschaft

- Bei der Kultivierung von Biomassepflanzen ist auf **ARTENREICHTUM UND STRUKTUR** zu achten. Auch der **WASSERBEDARF** sollte der regionalen Verfügbarkeit angemessen sein. Das betriebliche Management der Pflanzen muss an die biophysikalischen Bedingungen und die ökologischen Werte der Region angepasst sein. Dazu gehören ebenfalls landschaftsweite Aspekte wie Sichtachsen oder weite Felder, die für manche Brutvogelarten unverzichtbar sind. Zu bevorzugen sind der Anbau von mehrjährigen Pflanzen (einschließlich Kurzumtriebsplantagen) sowie Zwischenfrüchten mit zeitversetzten Ernten, die eine bessere Bodenbedeckung gewährleisten, und die Vermeidung von schweren Behandlungs- und Erntegeräten.
- Der **PESTIZID- UND DÜNGEMITTELEINSATZ** muss insgesamt deutlich verringert werden. Ein geringerer Konsum von Fleisch und Milchprodukten sowie eine bioindustrielle Verwertung von Gülle könnten dazu beitragen, die auf den Äckern ausgebrachten Kotmengen zu reduzieren. Die EU-Düngeprodukteverordnung von 2019 sowie die bundesdeutsche Düngeverordnung von 2020 müssen konsequent umgesetzt werden um die Bodenbelastung durch Schwermetalle etc. zu vermindern. Organische und recycelte Düngemittel sollten gekennzeichnet werden und mit garantierten Qualitätsstandards zum Einsatz kommen.
- **DAUERGRÜNLANDFLÄCHEN** dürfen nicht umgebrochen und für den Anbau von Biomasse umgepflügt werden. Nicht degradierte **MOORSTANDORTE** und andere Flächen, die sich durch eine spezialisierte Fauna und Flora auszeichnen sind als Standorte zur Biomasseproduktion auszuschließen. Bei der Rekultivierung degradierter

Moorlandschaften ist sicherzustellen, dass eine biodiversitätsfördernde Art der Bewirtschaftung erfolgt.

- Durch politische Rahmenseetzungen ist sicherzustellen, dass **HNVF-FLÄCHEN** dauerhaft erhalten werden und nicht im Zuge einer weiteren Intensivierung der Landwirtschaft verloren gehen. Die Summe der HNVF-Flächen plus der Flächen des ökologischen Landbaus muss bis 2030 mindestens 30 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche betragen.

### Forstwirtschaft

- Auch im Zuge einer politischen Förderung der Bioökonomie sollte das **WILDNIS-ZIEL** der Bundesregierung, auf mindestens 5 % der Waldfläche in Deutschland eine natürliche Entwicklung zuzulassen und diese Flächen entsprechend aus der Nutzung zu nehmen und einen Biotopverbund zu schaffen, weiter forciert werden.
- Gerade angesichts der Auswirkungen des Klimawandels sollte ein ökologisch orientierter Umbau der bewirtschafteten Wälder vorangetrieben werden, der es dem Wald ermöglicht, durch natürliche Anpassungen auf sich verändernde Bedingungen zu reagieren. Das gilt insbesondere für die Auswahl und Förderung der Baumarten, die möglichst heimisch und standortgemäß sein sollten. Die **NATurnahe Bewirtschaftung der Wälder** sollte ausgeweitet werden, insbesondere in geschützten Waldgebieten (einschließlich der Wasserschutzgebiete) sollte die Nutzung weiter extensiviert werden. Für die Holzernte sollten bodenschonende Erntetechniken genutzt werden, z.B. mit Hilfe von Rückepferden.
- Erhalt von mindestens 5 % der Holzmasse als **Einzel-Bäume** oder in Gruppen um Lebensräume für Arten zu bieten, die auf großvolumige, ältere Bäume angewiesen sind. Aus demselben Grund Verbleib einer ausreichenden Menge an **TOTHOLZ**, sowohl großvolumige Bäume wie Kleinmaterial, im Wald.
- Die Bestandsdichten von **JAGDWILD** sollten auf ein für die Biodiversität der Wälder unschädliches Maß begrenzt werden, damit sich alle Baum- und Straucharten ohne künstlichen Schutz in ausreichendem Maß natürlich verjüngen können. Dazu sollte auch die Winterfütterung von Reh-, Rot- und Schwarzwild unterbleiben.
- Die **BIOTOPHOLZMenge** im Wald sollte nach Möglichkeit dauerhaft 40 m<sup>3</sup> pro Hektar betragen. Wurzeln und Baumrinde (ca. 20 % der oberirdischen Biomassereste) sollten immer vollständig im Wald bleiben. Für die Entnahme der übrigen **RESTBIOMASSE** sollten je nach Bodentyp und weiteren biotischen und abiotischen Faktoren Grenzen festgelegt werden, um die Bodenfruchtbarkeit auch ohne Düngung zu erhalten.

# Literatur

- Aktionsforum Bioökonomie (Hrsg) 2019. Erklärung deutscher Umwelt- und Entwicklungsorganisationen zur Bioökonomie-Politik der Bundesregierung.
- Anderson-Teixeira, K. J., Davis, S. C., Masters, M. D., Delucia, E. H. 2009. Changes in soil organic carbon under biofuel crops. *GCB Bioenergy* 1(1): 75-96.
- Austin, Z., McVittie, A., McCracken, D., Moxey, A., Moran, D., White, P. C. 2015. Integrating quantitative and qualitative data in assessing the cost-effectiveness of biodiversity conservation programmes. *Biodiversity and Conservation* 24(6): 1359-1375.
- BBE (Bundesverband Bioenergie) 2013. Ohne Bioenergie wird's nichts werden, [http://www.nwne.de/\\_ressources/pdf/bioenergie\\_broschuere.pdf](http://www.nwne.de/_ressources/pdf/bioenergie_broschuere.pdf)
- BDBe Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft 2019: Marktdaten 2018, [https://www.bdbe.de/application/files/3515/5903/5982/Marktdaten\\_2018.pdf](https://www.bdbe.de/application/files/3515/5903/5982/Marktdaten_2018.pdf)
- Berger, L. 2018 (Hrsg). Bioökonomie und Biodiversität. Workshop-Dokumentation. BfN-Skripten 496.
- Bernhardt, C. 2020. Bioplastik: vom Labor in den Supermarkt. *Bild der Wissenschaft* 2020(5): 34-41.
- BfN Bundesamt für Naturschutz 2017. Energiewende und Waldbiodiversität, BfN-Skripten 455, <https://www.natur-und-erneuerbare.de/aktuelles/details/energiewende-und-waldbiodiversitaet/>
- BfN Bundesamt für Naturschutz 2019. High Nature Value Farmland-Indikator - Ein Indikator für Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert in Deutschland. <https://www.bfn.de/themen/monitoring/monitoring-von-landwirtschaftsflaechen-mit-hohem-naturwert.html>. Stand 28.03.2019, Zugriff 29.4.2020.
- BfN Bundesamt für Naturschutz, BMU Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und nukleare Sicherheit [Harnisch, R., Kliem, L., Pentzien, J., Baldauf, M., Bidjanbeg, A., Fehrenbach, H., Auberger, A., Köppen, S.] 2019. Sustainable Consumption for Biodiversity and Ecosystem Services. The cases of cotton, soy and lithium. Bonn, BfN.
- BiodivERsA 2017. The Common Agricultural Policy can strengthen biodiversity and ecosystem services by diversifying agricultural landscapes. Policy Brief. Brüssel, BiodivERsA.
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020. BMBF aktuell, Pressemitteilung, Berlin, 14.1.2020, BMBF.
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2020a): Nationale Bioökonomiestrategie. Kabinettsversion, 15.01.2020.
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2020b): Nationale Bioökonomiestrategie für eine nachhaltige, kreislauforientierte und starke Wirtschaft. Pressemitteilung, Berlin, BMBF.
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2017. Daten und Fakten, <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/DFB-0010000-2017.pdf>
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. 2020. Ackerbau. [https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/ackerbau\\_node](https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/ackerbau_node). Zugriff 3.5.2020.
- BMUB Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2007. Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BfN Bundesamt für Naturschutz. 2020. Die Lage der Natur in Deutschland. Ergebnisse von EU-Vogelschutz- und FFH-Bericht. Berlin, BMU.
- Bohn, U. und Weiß, W. 2003. Die potenzielle natürliche Vegetation. Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Band 3 - Klima, Pflanzen- und Tierwelt, Seite: 84-87
- Bowles, N., Alexander, S., Hadjikakou, M. 2019. The livestock sector and planetary boundaries: A 'limits to growth' perspective with dietary implications. *Ecological Economics* 160: 128-136.
- Breuer, R. 2020. Zukunft aus Holz. *Bild der Wissenschaft* 6/2020: 74-81.
- Bringezu, S., O'Brien, M., Schütz, H. 2012. Beyond biofuels: Assessing global land use for domestic consumption of biomass: A conceptual and empirical contribution to sustainable management of global resources. *Land Use Policy* 29(1): 224-232.
- Brune, A. 2003. Mikrobielle Ökologie des Termitendarms, <https://www.mpg.de/860978/forschungsschwerpunkt>
- Bryngelsson, D. K., Lindgren, K. 2013. Why large-scale bioenergy production on marginal land is unfeasible: A conceptual partial equilibrium analysis. *Energy Policy* 55: 454-466.
- Buddenhagen, C. E., Chimera, C., Clifford, P. 2009. Assessing biofuel crop invasiveness: a case study. *PloS one* 4(4): e5261-e5261.
- Busch, R. 2018a. Sektorstudie zum Aufkommen und zur stofflichen und energetischen Verwertung von Ölen und Fetten in Deutschland, <https://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf>
- Busch, R. 2018b. Sektorstudie zum Aufkommen und zur stofflichen und energetischen Verwertung von Kohlehydraten in Deutschland (2011-2016), <https://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf>
- Carpenter, S.R., Bennett, E.M. 2011. Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus. *Environmental Research Letters* 6(1): 014009.
- Chapron, G., Epstein, Y., Trouwborst, A., López-Bao, J. V. 2017. Bolster legal boundaries to stay within planetary boundaries. *Nature Ecology & Evolution* 1 (Art. no. 0086).
- Chytrý M., Pyšek P., Wild J., Maskell L. C., Pino J., Vilà M. 2009. European map of alien plant invasions, based on the quantitative assessment across habitats. *Diversity and Distributions* 15: 98-107.

- Chytrý, M., Wild, J., Pyšek, P., Jarošík, V., Dendoncker, N., Reginster, I., Pino, J., Maskell, L. C., Vilà, M., Kühn, I., Spangenberg, J.H., Settele, J. 2012. Projecting trends in plant invasions in Europe under different scenarios of future land use change. *Global Ecology and Biogeography* 21(1): 75-87.
- Clausen, J. und Beucker, S. 2019. Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Wärmeversorgung Dänemark. Borderstep Institut, <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/06/W%C3%A4rmeversorgung-Daene-mark-Go-19-6-2019.pdf>
- Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A., Winiwarter, W. 2008. N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys.* 8(2): 389-395.
- DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum 2015: Biomaspotenziale von Rest- und Abfallstoffen, Status quo in Deutschland, <https://mediathek.fnr.de/band-36-biomaspotenziale-von-rest-und-abfallstoffen.html>
- DBFZ et al. 2019. Schlussbericht zum Verbundvorhaben „Effiziente Mikro-Biogasaufbereitungsanlagen“, <https://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22401615.pdf>
- Deutscher Bundestag 2019. Das Potenzial algenbasierter Kraftstoffe für den LKW-Verkehr, Drucksache 19/13474 vom 25.09.2019
- Erb, K.-H., Krausmann, F., Lucht, W., Haberl, H. 2009. Embodied HANPP: Mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. *Ecological Economics* 69(2): 328-334.
- Ernsting, A. und Smolker, R. 2018. Dead End Road - The false promise of cellulosic biofuels, *Biofuelwatch Report*, <https://www.biofuelwatch.org.uk/2018/dead-end-road/>
- Europäische Kommission 2019: Der europäische Grüne Deal. Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den europäischen Rat, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen.
- Europäische Kommission 2011: Die Biodiversitätsstrategie der EU bis 2020. 2020 Biodiversity Factsheet\_DE. [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu)
- European Biofuels undatiert: Biofuel Fact Sheet Borregaard – commercial plant in Sapsborg, Norway, [https://www.etipbio-energy.eu/images/Factsheet\\_Borregaard\\_final.pdf](https://www.etipbio-energy.eu/images/Factsheet_Borregaard_final.pdf)
- European Commission 2018. A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy.
- EEA European Environment Agency 2019. The European Environment – State and Outlook 2020. Knowledge for transition to a sustainable Europe. Luxembourg, Publications Office of the European Union. Chapter 03, Biodiversity and nature: 72-91.
- EEA European Environment Agency [Collins, R., Kristensen, P., Thyssen, N.] 2009. Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- EEA European Environment Agency 2007. Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture. EEA Report 12/2007. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- EEA European Environment Agency 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Technical Report 7/2006. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- EEPN (European Environmental Paper Network) 2015. Mapping Pulp Mill Expansion. An assessment of the future pulp industry, including risks and recommendations.
- Ekroos, J., Olsson, O., Rundlöf, M., Wätzold, F., Smith, H. G. 2014. Optimizing agri-environment schemes for biodiversity, ecosystem services or both? *Biological Conservation* 172: 65-71.
- Englisch, M. 2007. Ökologische Grenzen der Biomassenutzung in Wäldern. *BFW-Praxisinformation* 13: 8-10.
- FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2020. Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, <https://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf>
- FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations [Bélanger, J., Pilling, D. (eds.)]. 2019a. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. Rome, FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture [Rischkowsky, B., Pilling, D. (eds.)]. 2019b. The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture. Rome, FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture.
- Flückiger, W., Braun, S. 2009. Aspekte einer nachhaltigen Waldnutzung: Nährstoffe im Wald lassen – oder recyceln! *Wald und Holz* 9: 30-33.
- Forstwirtschaft in Deutschland. 2019. Grenzen der Nachhaltigkeit. <https://www.forstwirtschaft-in-deutschland.de/forstwirtschaft/grenzen-der-nachhaltigkeit/>. Zugriff 1.5.2020.
- Fritsche, U. et al. 2004. Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Öko-Institut, <https://www.oeko.de/oekodoc/236/2004-025-de.pdf>
- Gent, R. 2018: Bioökonomie: Erdöl versus Biomasse? Chancen und Risiken aus Sicht der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie. - In: Forum Umwelt & Entwicklung (Hrsg.) (2018): Mit Bioökonomie die Welt retten? Neue Geschäftsmodelle und alte Strukturen. *Rundbrief*. 01/2018. 4-6.
- Gerten, D., Hoff, H., Rockström, J., Jägermeyr, J., Kummu, M., Pastor, A. V. 2013. Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: role of environmental flow requirements. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5(6): 551-558.
- Greenpeace 2018. Wenn Wälder wieder wachsen – Eine Waldvision für Klima, Mensch und Natur, <https://www.greenpeace.de/waldvision>
- Gutser, R., Ebertseder, T. 2006. Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern-ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe. *KTBL SCHRIFT (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft)* 444: 7.
- Gyimóthy, A., Gathof, A., Schumacher, J. 2019.

- Kurzumtriebsplantagen: Planung, Anlage und Bewirtschaftung. Klima- und Naturschutz: Hand in Hand. Ein Handbuch für Kommunen, Regionen, Klimaschutzbeauftragte, Energie-, Stadt- und Landschaftsplanungsbüros. Heft 7. Bonn, BfN.
- Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C., Gingrich, S., Lucht, W., Fischer-Kowalski, M. 2007. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proc Natl Acad Sci USA* 104(31): 12942-12947.
- Häyhä, T., Lucas, P. L., van Vuuren, D. P., Cornell, S. E., Hoff, H. 2016. From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space — How can the scales be bridged? *Global Environmental Change* 40: 60-72.
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörrn, T., Goulson, D., de Kroon, H. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS one* 12(10): e0185809.
- Hamelin, L., Borz cka, M., Kozak, M., Pudelko, R. 2019. A spatial approach to bioeconomy: Quantifying the residual biomass potential in the EU-27. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 100: 127-142.
- Hessbrügge, R., Frick, F. 2019. Wasser für die Welt. Feinstaub vom Acker. *Bild der Wissenschaft* 2019(9): 72-81.
- Hildmann, C., Kühling, W., Scheurlen, K. 2010. Kurzumtriebsplantagen für die Energieholzgewinnung. Chancen und Risiken. Berlin, BUND Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland. BUND Position 55.
- Höhne, N., den Elzen, M., Escalante, D. 2014. Regional GHG reduction targets based on effort sharing: a comparison of studies. *Climate Policy* 14(1): 122-147.
- Hoff, H., Keppner, B., Kahlenborn, W. 2017. Die planetare Stickstoff-Leitplanke als Bezugspunkt einer nationalen Stickstoffstrategie. Dessau-Roßlau, UBA Umweltbundesamt.
- Hoff, H. 2017. Bringing EU policy into line with the Planetary Boundaries. Stockholm, Stockholm Environment Institute.
- Humphrey, J., Sippola, A., Lempérière, G., Dodelin, B., Alexander, K., Butler, J. 2005. Deadwood as an indicator of biodiversity in European forests: from theory to operational guidance. M. Marchetti. Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe—from ideas to operationality. *EFI Proceedings No. 51*. Joensuu, Finland, European Forest Institute: 193-206.
- Hy, D., Damien, F., Pascal, P., Chatenoux, B., De Bono, A., Schwarzer, S. 2015. Environmental limits and Swiss footprints based on Planetary Boundaries. Geneva, Switzerland, UNEP/GRID-Geneva & University of Geneva.
- IPBES Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 2016. Thematic assessment on pollinators, pollination and food production. Bonn, Germany, IPBES secretariat.
- IPBES Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [Rounsevell, M., Fischer, M., Torre-Marín Rando, A., Mader, A. (Hg.)]. 2018. The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia. Bonn, Germany, Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- IPBES Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [Brondizio, E. S., Díaz, S., Settele, J. (Hg.)]. 2019. The IPBES Global Assessment on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany, Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Jedicke, E. 1998. Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen aus naturschutzfachlicher Sicht – Aspekte zur Bewertung neuartiger Elemente der Kulturlandschaft. *Beiträge der Akademie für Natur und Umweltschutz Baden-Württemberg*, Band 27: 129-139.
- Kahle, P., Boelcke, B. (2004): Auswirkungen des Anbaus schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf ausgewählte Bodeneigenschaften. *Bornimer Agrartechnische Berichte* 35: 99-108.
- Kaphengst, T. 2007. Nachhaltige Biomassenutzung in Europa. *GAIA* 16(2): 93-97.
- Keenleyside, C., Beaufoy, G., Tucker, G., Jones, G. 2014. High Nature Value farming throughout EU-27 and its financial support under the CAP. Report Prepared for DG Environment, Contract No ENV B.1/ETU/2012/0035, London, Institute for European Environmental Policy.
- Kölling, C., Götlein, A., Rothe, A. 2007. Biomassenutzung und Nährstoffentzug: Energieholz nachhaltig nutzen. *LWF aktuell* 61: 32-36.
- Kiváněk, M., Pyšek, P. 2006. Predicting invasions by woody species in a temperate zone: a test of three risk assessment schemes in the Czech Republic (Central Europe). *Diversity and Distributions* 12(3): 319-327.
- Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Lauk, C., Haberl, H. 2008. Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. *Ecological Economics* 65(3): 571-487.
- Kruys, N., Jonsson, B. G. 1999. Fine woody debris is important for species richness on logs in managed boreal spruce forests of northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1295-1299.
- Larcher, W. 1973. *Ökologie der Pflanzen*. Stuttgart, UTB.
- Lucas, P., Wilting, H. 2018, Using planetary boundaries to support national implementation of environment-related Sustainable Development Goals, Report No 2748, Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, Netherlands. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/Using%20planetary%20boundaries%20to%20support%20national%20implementation%20of%20environment-related%20Sustainable%20Development%20Goals%20-%202748.pdf>; Zugriff 1. September 2019.
- Mantau, U. 2018. Rohstoffmonitoring Holz – Erwartungen und Möglichkeiten, Hrsg. FNR, [https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere\\_Kurzfassung\\_Rohstoffmonitoring\\_Web.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Kurzfassung_Rohstoffmonitoring_Web.pdf)
- Maráz, L. 2018a. Wie steht es um den Waldnaturschutz. *Zehn*

- Jahre Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kritischer Agrarbericht 2018. [https://www.kritischer-agrarbericht.de/file-admin/Daten-KAB/KAB-2018/KAB\\_2018\\_228\\_232\\_Maraz.pdf](https://www.kritischer-agrarbericht.de/file-admin/Daten-KAB/KAB-2018/KAB_2018_228_232_Maraz.pdf)
- Maráz, L. 2018b: Landnutzung und Materialkonkurrenz. Die Zutaten für die Biomasseerzeugung werden knapper. - In: Forum Umwelt & Entwicklung (Hrsg.) (2018): Mit Bioökonomie die Welt retten? Neue Geschäftsmodelle und alte Strukturen. Rundbrief. 01/2018: 8-10.
- Maxim, L., Spangenberg, J.H., O'Connor, M. 2009. An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics* 69(1): 12-23.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W. 1972. *Limits to Growth. A Report to the Club of Rome*. New York, Universe Books.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. 1992. *Beyond the limits: Confronting the global collapse, envisioning a sustainable future*. London, Earthscan.
- Meadows, D.H., Randers, J. Meadows, D.L. 2004. *Limits to Growth. The 30-Year Update*. White River Junction, Vermont, USA, Chelsea Green Publishing Company.
- Müller, M., Chrenko, R., Janssen, E., Perret, S., Zirhan, S. 2016. Zielbilder für eine planetenverträgliche, zukunftsfähige Schweiz. Eine Einladung zur Diskussion mit einer Skizzierung zukunftsfähiger Systeme Wohnen & Bauen, Mobilität & Transport, Ernährung. Winterthur, Switzerland, Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Muller, A., Huppenbauer, M. 2016. Sufficiency, Liberal Societies and Environmental Policy in the Face of Planetary Boundaries. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 25(2): 105-109.
- Padella, M. et.al 2019. What is still Limiting the Deployment of Cellulosic Ethanol? Analysis of the Current Status of the Sector, *Applied Science* 2019(9): 4523.
- Popp, A., Krause, M., Dietrich, J. P., Lotze-Campen, H., Leimbach, M., Beringer, T., Bauer, N. 2012. Additional CO2 emissions from land use change — Forest conservation as a precondition for sustainable production of second generation bioenergy. *Ecological Economics* 74: 64-70.
- Popp, J., Lakner, Z., Harangi-Rákos, M., Fári, M. 2014. The effect of bioenergy expansion: Food, energy, and environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32: 559-578.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rohde, H., Sörlin, S., Snuder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J. A. 2009a. A safe operating space for humanity. *Nature* 461(7263): 472-475.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J. 2009b. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2): 1-32.
- Rusch, A., Bommarco, R., Jonsson, M., Smith, H.G., Ekbom, B. 2013. Flow and stability of natural pest control services depend on complexity and crop rotation at the landscape scale. *Journal of Applied Ecology* 50(2): 345-354.
- Russi, D., Margue, H., Oppermann, R., Keenleyside, C. 2016. Result-based agri-environment measures: Market-based instruments, incentives or rewards? The case of Baden-Württemberg. *Land Use Policy* 54: 69-77.
- Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern 2017: Schwerpunktthema Zellulose-Ethanol, [http://www.biooekonomierat-bayern.de/dateien/Publikationen/SVB-Schwerpunktthema\\_Zellulose-ethanol.pdf](http://www.biooekonomierat-bayern.de/dateien/Publikationen/SVB-Schwerpunktthema_Zellulose-ethanol.pdf)
- Sánchez-Bayo, F., Wyckhuys, K. A. G. 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation* 232: 8-27.
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., Monforti-Ferrario, F., Nita, V. 2015. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development* 15: 3-34.
- Schindler, J., Zittel, W. 2006. *Alternative World Energy Outlook 2006: A Possible Path Towards a Sustainable Future*, *Advances in Solar Energy*, 17: 1–44.
- Schepach, J. 2020. Goldgräberbäume. *Bild der Wissenschaft* 2020(2): 48-53.
- Schmidt, M.H., Lauer, A., Purtauf, T., Thies, C., Schaefer, M., Tschantke, T. 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270(1527): 1905-1909.
- Schuck, A., Meyer, P., Menke, N., Lier, M., Lindner, M. 2005. *Forest Biodiversity Indicator: Dead Wood – A Proposed Approach towards Operationalising the MCPFE Indicator*. M. Marchetti. Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe—from ideas to operationality. *EFI Proceedings No. 51*. Joensuu, Finland, European Forest Institute: 49-77.
- Sebastian, D. 2015. Isolation and Characterization of Cellulase Producing Bacteria from the Gut of Termites, *British Biotechnology Journal* 9 (1).
- Shcherbak, I., Millar, N., Robertson, G. P. 2014. Global metaanalysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N2O) emissions to fertilizer nitrogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(25): 9199-9204.
- Spangenberg, J. H., Ed. 1995. *Towards Sustainable Europe*. Nottingham, UK, Russel Press.
- Spangenberg, J.H., Martinez-Alier, J., Omann, I., Monterroso, I., Binimelis, R., 2009. The DPSIR scheme for analysing biodiversity loss and developing preservation strategies. *Ecological Economics* 69(1): 9-11.
- Spangenberg J.H., Settele, J. 2009. Biofuels: Steer Clear of Degraded Land. *Science* 326 (4 December 2009): 1346.
- Spangenberg, J. H., von Haaren, C., Settele, J. 2014. The

ecosystem service cascade: Further developing the metaphor. Integrating societal processes to accommodate social processes and planning, and the case of bioenergy. *Ecological Economics* 104: 22-32.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347(6223): 736; 1259855.

Sverdrup, H., Rosen, K. 1998. Long-term base cation mass balances for Swedish forests and the concept of sustainability. *Forest Ecology and Management* 110(1-3): 221-236.

Tüxen, R. 1956. Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angew. Pflanzensoz.* 13: 5-42.

UBA Umweltbundesamt. 2013. Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Position. UBA. Görlitz, Umweltbundesamt.

UNEP-IRP (United Nations Environment Program, International Resource Panel) 2019a. Global Resources Outlook 2019 Fact Sheet. Nairobi, UNEP.

UNEP-IRP United Nations Environment Program, International Resource Panel. 2019b. Natural Resource Use in the Group of 20. Factsheet Germany. Nairobi, UNEP.

Uustal, M., Peterson, K., Luig, J., Roberts, S.P.M., Dedoncker, N. 2009. Historical land use and pollinator diversity: a comparative study of bumblebees in Kent County (UK) and Tartu County (Estonia). B. Rodrigues-Labajos, J.H. Spangenberg, J. Martinez-Alier, R. Binimelis, N. Gallai, P. Kuldna, I. Monterroso, K. Peterson, M. Uustal. Assessing biodiversity risks with socio-economic methods: The ALARM experience. Sofia, Moscow, Pensoft Publ.: 205-234.

WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. 2008. Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Zusammenfassung für Entscheidungsträger. Berlin, WBGU.

WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. 2015. Human Progress within Planetary Guard Rails A Contribution to the SDG Debate. Policy Papers vol.8. WBGU. Berlin, WBGU.

Welle, T.; Sturm, K.; Bohr, Y. 2018. Alternativer Waldzustandsbericht: eine Waldökosystemtypen-basierte Analyse des Waldzustandes in Deutschland anhand naturschutzfachlicher Kriterien. Naturwald Akademie. <https://naturwald-akademie.org/presse/pressemitteilungen/alternativer-waldzustandsbericht/>

Weterings, R., Opschoor, J.B. 1993. Towards environmental performance indicators based on the notion of environmental space. Report to the Advisory Council for Research on Nature and Environment, Rijswijk, The Netherlands, RMNO.

Zeller et al. 2012. Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung, DBFZ Report Nr. 13, [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/DBFZ\\_Reports/DBFZ\\_Report\\_13.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_13.pdf)

## Endnoten

- 1 <https://www.bmbf.de/de/biooekonomie-neue-konzepte-zur-nutzung-natuerlicher-ressourcen-726.html>
- 2 <https://bwi.info/>
- 3 <https://www.clariant.com/de/Company/Contacts-and-Locations/Key-Sites/Romania>
- 4 <https://www.topagrar.com/energie/news/ethanol-aus-stroh-fragliche-wirtschaftlichkeit-9835482.html>
- 5 <http://www.biokraftstoffverband.de/index.php/detail/items/rohstoffe-fuer-biodiesel-2018-mehr-raps-und-altspeisefette-deutlich-weniger-palm.html>
- 6 <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/biodiesel/>
- 7 Bei einem Gewicht von 880 g/l wiegen 1.500 l Biodiesel 1,32 t.  $560.000 \text{ ha} \times 1,32 \text{ t} = 739.200 \text{ t}$ .
- 8  $1,86 \text{ Mio. t} - 740.000 \text{ t} = 1,12 \text{ Mio. t}$ . 3,5 t Raps pro Hektar liefern 1,32 t Biodiesel.  $1,12 \text{ Mio. t Biodiesel} / 1,32 \text{ t pro ha} \times 3,5 \text{ t Raps} = 2,97 \text{ Mio. t Raps}$ .
- 9 <https://www.ovid-verband.de/positionen-und-fakten/zahlen-deutschland/>
- 10 <https://www.bdbe.de/daten/marktdaten-deutschland>
- 11 <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/bioethanol/>
- 12 <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/bioethanol/>
- 13 <https://www.energie-klimaschutz.de/biogas-vom-abfall-zum-nachhaltigen-biokraftstoff/>
- 14 <https://biogas.fnr.de/projekte/biogassubstrate/rest-und-abfallstoffe/>
- 15 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industriestruktur/biogasanlagen#umweltprobleme-bei-der-produktion-von-biogas>
- 16 <https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/index.php>
- 17 <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/biodiesel/>
- 18 <https://www.ovid-verband.de/positionen-und-fakten/zahlen-deutschland/>
- 19 <https://www.vgms.de/staerkeindustrie/presse-service/daten-fakten/>
- 20 Dritte Bundeswaldinventur 2012, <https://bwi.info/>
- 21 Hausbrand umfasst rund 11 Millionen Kamin- und Kachelöfen, sowie rund 470.000 Pelletheizungen bis 50 kW. Dazu kommen rund 37.000 Kleinf Feuerungsanlagen mit einer Leistung von 50 kW bis 1 MW und 504 Großfeuerungsanlagen ab 1 MW Leistung (im Jahr 2016).
- 22 <https://www.weham-szenarien.de/>
- 23 <https://www.drax.com/about-us/our-businesses/>
- 24 <https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/energieholz/werkzeuge-und-hilfsmittel/umrechnungsfaktoren.html>
- 25 [https://www.fnr.de/fileadmin/news\\_import/Gut\\_Holz\\_Lignocellulose\\_Bioraffinerie.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/news_import/Gut_Holz_Lignocellulose_Bioraffinerie.pdf)
- 26 <https://www.cbp.fraunhofer.de/en/reference-projects/extension-of-organosolv-pilot-plant.html>
- 27 <https://www.investieren-in-sachsen-anhalt.de/presse/nachrichten-iisa/2020/01/upm-investiert-in-biochemikalienprodukt>
- 28 <https://www.valmet.com/media/articles/up-and-running/new-technology/PEERS1stLignoBoostPlants/>
- 29 [http://www.paperage.com/2019news/07\\_19\\_2019storage\\_sunila\\_pilot\\_plant.html](http://www.paperage.com/2019news/07_19_2019storage_sunila_pilot_plant.html)
- 30 <https://mediathek.fnr.de/biokraftstoffe-in-deutschland.html>
- 31 <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/btl-biomass-to-liquid/>
- 32 <https://www.energiepflanzen.com/miscanthus/>
- 33 <https://basisdaten.fnr.de/biobasierte-produkte/waschmittel-und-kosmetika/>
- 34 [http://www.mrepc.com/industry/world\\_production.php](http://www.mrepc.com/industry/world_production.php)
- 35 <https://biowerkstoffe.fnr.de/biokunststoffe/rohstoffe-biopolymere/kautschuk-und-latex-aus-russischem-loewenzahn/>
- 36 <https://www.ime.fraunhofer.de/de/wissenschaftsjahr-2020-biooekonomie/loewenzahn---die-neue-kautschukquelle.html>
- 37 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/182195/umfrage/kautschukverbrauch-in-deutschland-seit-2009>
- 38 <https://www.weber-schaer.com/deutsch/produkte/naturkautschuk-und-latex/preischart.html>
- 39 Spekulative Anwendungen wie die Gewinnung von Metallen per Anreicherung in Pflanzen (Scheppach 2020) werden vorerst wohl Nischenanwendungen bleiben und werden hier nicht weiter betrachtet, auch wenn ihre großflächige Anwendung Folgen für die biologische Vielfalt hätte.
- 40 Zur Auswirkung des Konsums von Baumwolle, Soja und Lithium auf Biodiversität und Ökosystemleistungen siehe BfN, BMU 2019.
- 41 Bei einem durchschnittlichen Trockengewicht von 500 kg pro Festmeter und der Annahme einer stärkeren Nutzung von Laubholz.
- 42 Einen Überblick liefert die vom Umweltbundesamt (2019) beauftragte Studie „BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem“.
- 43 <https://www.agrarheute.com/pflanze/strohpreise-soviel-kostet-grossballen-441423>



