

Entwicklungslinien und Potenziale der Bioökonomie

Teilbericht (AP 2) des F+E-Projekts Nachhaltige Ressourcennutzung – Anforderungen an eine nachhaltige Bioökonomie aus der Agenda 2030 Freiburg, 23.01.2020

Autorinnen und Autoren

Katja Hünecke
Dr. Klaus Hennenberg
Öko-Institut e.V.

unter Mitarbeit von

Dr. Florian Antony
Dr. Matthias Buchert
Martin Möller
Jürgen Sutter
Kirsten Wiegmann
Öko-Institut e.V.

Kontakt

info@oeko.de
www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
Zusammenfassung	9
Summary	14
1 Einführung und Zielsetzung	19
2 Biogene und nicht-biogene Ressourcennutzung in Deutschland	22
2.1 Übersicht	22
2.2 Herkunft und Handel mit Rohstoffen	25
2.3 Substitutionsmöglichkeiten nicht-biogener durch biogene Rohstoffe	25
3 Identifizierung von künftig möglichen Bioökonomiepfaden	28
3.1 Scanfelder des Scanprozesses	29
3.2 Kriterien zur Beschreibung und Bewertung künftig möglicher Bioökonomiepfade	32
3.3 Die Rolle von Megatrends für die Entwicklung künftig möglicher Bioökonomiepfade	34
3.4 Ergebnisse zu künftig möglichen Bioökonomiepfaden	35
3.4.1 Wirtschaftsbereiche und Mengenrelevanz	35
3.4.2 Biomassenutzung	36
3.4.3 Megatrends	40
4 Beschreibung ausgewählter künftig möglicher Bioökonomiepfade und deren Bewertung	43
4.1 Auswahl von Bioökonomiepfaden	43
4.1.1 Auswahlkriterien	43
4.1.2 Workshop	44
4.1.3 Finale Auswahl	44
4.2 Methodik der Bewertung	45
4.2.1 Vorgehensweise	45
4.2.2 Aufbau der Steckbriefe	49
4.3 Ausgewählte bioökonomische Pfade – Steckbriefe	50
4.3.1 In-Vitro-Fleischherstellung (cultured meat)	52

4.3.2	Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen	59
4.3.3	Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor, u.a. Bauen mit Stroh oder Holz	67
4.3.4	Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien)	75
4.3.5	Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor	82
4.3.6	Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie	90
5	Synthese	99
5.1	Wie stellt sich die heutige Nutzung biogener und nicht-biogener Rohstoffe dar?	99
5.2	Welche Substitutionsoptionen von nicht-biogenen durch biogene Rohstoffe bestehen?	100
5.3	Welche künftig möglichen Bioökonomiepfade können in der Literatur im nationalen, europäischen und internationalen Raum identifiziert werden?	100
5.4	Welchen Wirtschaftsbereichen sind künftig mögliche Bioökonomiepfade zuzuordnen?	101
5.5	Welche Wirkungen haben globale Megatrends auf die Bioökonomie?	101
5.6	Welche Biomasse wird in künftig möglichen Bioökonomiepfaden eingesetzt?	102
5.7	In wieweit führen die künftig möglichen Bioökonomiepfade zu einer Be- und Entlastung der Biomassennutzung?	103
5.8	Welche Chancen sind mit künftig möglichen Bioökonomiepfaden verbunden?	103
5.9	Welche Risiken und nicht-intendierten Wirkungen einer Bioökonomie-Strategie sind möglich?	104
5.10	Welche nicht-intendierten Wirkungen lassen sich verhindern oder eindämmen?	105
5.11	Welche nicht-intendierten Wirkungen müssen als nicht oder kaum vermeidbar gelten?	106
5.12	Welchen Beitrag kann die Bioökonomie für eine treibhausgasneutrale, ressourcenschonende Gesellschaft bzw. zur Umsetzung der SDG leisten?	107
	Literaturverzeichnis	110
	Anhang	120

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Prozentuale Anteile des inländischen Rohstoffverbleibs zur weiteren Nutzung im Jahr 2016	23
Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der Arbeitsabläufe der Recherche, Analyse und Darstellung zu künftig möglichen Bioökonomiepfaden	29
Abbildung 3-2: Anzahl der Nennungen der Biomassetypen, die in künftig möglichen Bioökonomiepfaden eingesetzt werden in Bezug der Mengenrelevanz des Rohstoffs	37
Abbildung 3-3: Anzahl der Nennungen der bestehenden bzw. zusätzlich induzierten Biomassenutzung, Nutzung von nicht-biogenen erneuerbaren Kohlenstoffverbindungen	38
Abbildung 3-4: Anzahl der Nennungen der Effizienzsteigerung der Biomassenutzung bzw. -produktion	38
Abbildung 3-5: Zu erwartende Be- und Entlastung der Biomassenutzung durch künftig mögliche Bioökonomiepfade mit einer mittleren oder hohen Mengenrelevanz, differenziert nach Einsatz der Biomassetypen	39
Abbildung 4-1: Graphische Elemente zur Darstellung der Bewertungssystematik	48
Abbildung 4-2: In-Vitro-Fleischherstellung (cultured meat) im Vergleich zu Fleisch aus der konventionellen Viehhaltung, inklusive Schlachtung und Verarbeitung	52
Abbildung 4-3: Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen im Vergleich zu herkömmlichen, landbasierten Aquakulturanlagen	59
Abbildung 4-4: Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor, u.a. Bauen mit Holz oder Stroh im Vergleich zu mineralischen Bauweisen und konventionellen Dämmmaterialien	67
Abbildung 4-5: Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien) im Vergleich zu Grundchemikalien auf der Basis von Rohöl	75
Abbildung 4-6: Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor im Vergleich zur Nutzung von konventionellen Kraftstoffen auf fossiler Basis	82
Abbildung 4-7: Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie im Vergleich zum Einsatz nicht-gentechnischer Züchtungsmethoden	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Inländische und ausländische Entnahme, Exporte sowie inländischer Verbleib fossiler, mineralischer und biogener Rohstoffe im Jahr 2016 (in 1.000 t)	24
Tabelle 3-1: Scanfelder im Rahmen des Horizon Scannings zur Identifizierung künftig möglicher Bioökonomiepfade	31
Tabelle 3-2: Charakterisierung der künftig möglichen Bioökonomiepfade in Bezug auf Biomassetyp und –nutzung	33
Tabelle 3-3: Anzahl Nennungen künftig möglicher Bioökonomiepfade je Wirtschaftssektor	36
Tabelle 4-1: Auswahl künftig möglicher Bioökonomiepfade (Shortlist)	45
Tabelle 4-2: Umweltbelastungskategorien und soziale Aspekte sowie zugehörige Indikatoren	47
Tabelle 4-3: Bewertungskategorien der künftig möglichen Bioökonomiepfade im Vergleich zu einer fossilen Referenz	48
Tabelle 5-1: Beschreibung der identifizierten künftig möglichen Bioökonomiepfade und die Zuordnung von Wirtschaftssektoren und Mengenrelevanz (Longlist Teil 1).	121
Tabelle 5-2: Beschreibung und Bewertung der Biomassenutzung, die in den identifizierten künftig möglichen Bioökonomiepfade adressiert wird (Longlist Teil 2).	141

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BECCS	bioenergy with carbon capture and storage
BWI	Bundeswaldinventur
C	Kohlenstoff
CO ₂	Kohlendioxid
CH ₄	Methan
CRISPR/Cas	Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats
GMO	Gentechnisch modifizierte Organismen
H ₂ O	Wasser
EE	Erneuerbare Energien
kWh	Kilowattstunden
KUP	Kurzumtriebsplantagen
Mio.	Millionen
Mm ³	Millionen Kubikmeter
Mt	Megatonnen
RAS	Recirculating Aquaculture System
RED II	Eneuerbare Energien Richtlinie II
PtG	Power to Gas
PtL	Power to Liquids
PtCC	Power to Carbon Compounds
PVC	Polyvenylchlorid
SDG	Sustainable Development Goals

Kurzbeschreibung: Entwicklungslinien und Potenziale der Bioökonomie

Das Forschungsprojekt „Entwicklungslinien und Potenziale der Bioökonomie Nachhaltige Ressourcennutzung – Anforderungen an eine nachhaltige Bioökonomie aus der Agenda 2030/SDG-Umsetzung“ (Forschungskennzahl 3717 31 103 0) erörtert Chancen und Risiken, die mit dem Vordringen der Bioökonomie verbunden sind. In diesem Kontext identifiziert das vorliegende Arbeitspapier Technologiepfade und Anwendungsbereiche der Bioökonomie, die in den kommenden 20 Jahren prägend bzw. maßgeblich relevant werden könnten. Dabei wird die Frage diskutiert, welchen Beitrag die Bioökonomie für eine treibhausgasneutrale, ressourcenschonende Gesellschaft bzw. zur Umsetzung der SDGs leistet. Dafür wird die aktuelle Ressourcennutzung in Deutschland für die Einordnung künftiger Bioökonomiepfade dargestellt, künftige, relevante Bioökonomiepfade auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene identifiziert und ausgewählte Pfade im Hinblick auf ökologische und sozio-ökonomische Umweltbe- und/oder -entlastungen bewertet. Ethische Aspekte fließen ebenfalls in die Betrachtung ein.

Abstract: Development trends and potential of the bioeconomy

The research project "Development trends and potential of the bioeconomy - Sustainable use of resources - requirements for a sustainable bioeconomy from Agenda 2030/SDG implementation" (Project No. 3717 31 103 0) discusses opportunities and risks associated with advancing the bioeconomy. In this context, the present working paper identifies technology paths and application areas of the bioeconomy that could become formative or significantly relevant in the next 20 years. The project explores which contribution the bioeconomy can make towards a greenhouse gas-neutral, resource-saving society or towards the implementation of the SDGs respectively. For this purpose, the current resource use in Germany is presented in order to assess future bioeconomy paths, future relevant bioeconomy paths at national, European and international levels are identified, and selected paths are evaluated with regard to their ecological and socio-economic environmental pressures and/or benefits. Ethical aspects are also considered.

Zusammenfassung

Die Wirtschaftsweise in Deutschland basiert derzeit zu einem großen Anteil auf nicht-erneuerbaren Rohstoffen. Dazu gehören fossile Rohstoffe (Erdöl, Kohle, Erdgas) genauso sowie mineralische Rohstoffe und Erze, deren Nutzung eine erhebliche Belastung für das Klima und die Umwelt darstellt. Daher bedarf es eines grundlegenden Systemwandels hin zu einer auf erneuerbaren Ressourcen beruhenden, rohstoffeffizienten Wirtschaft, die möglichst weitgehend ohne fossile Rohstoffe auskommt. Diese Transformation soll im Hinblick auf biogene Rohstoffe und deren Nutzen im Rahmen der Bioökonomie geleistet werden. Das Forschungsprojekt „Entwicklungslinien und Potenziale der Bioökonomie Nachhaltige Ressourcennutzung – Anforderungen an eine nachhaltige Bioökonomie aus der Agenda 2030/SDG-Umsetzung“ (Forschungskennzahl 3717 31 103 0) setzt sich mit den Chancen und Risiken auseinander, die sich aus dem Vorantreiben der Bioökonomie für die Erreichung der Sustainable Development Goals (SDGs) der Vereinten Nationen ergeben können.

Das vorliegende Arbeitspapier hat das Ziel, Technologiepfade und Anwendungsbereiche der Bioökonomie, die in den kommenden 20 Jahren prägend bzw. maßgeblich relevant werden könnten, aufzuzeigen und zu bewerten.

Im Anschluss an eine Einführung und Beschreibung der Zielsetzung (Kapitel 1) wird die aktuelle biogene und nicht-biogene Ressourcennutzung in Deutschland analysiert (Kapitel 2). Anschließend werden künftig mögliche Bioenergiepfade auf Basis eines thematischen Suchprozesses identifiziert und beschrieben (Kapitel 3). Ausgewählte Bioökonomiepfade werden in Form von Steckbriefen detailliert analysiert, deren Ent- und Belastungen in Bezug auf chemische und biologische Umweltwirkungskategorien bewertet sowie ethische und soziale Aspekte, die im Zusammenhang mit den Pfaden stehen, diskutiert (Kapitel 4).

Biogene und nicht-biogene Ressourcen

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die derzeitige Ressourcennutzung in Deutschland. Im Jahr 2016 betrug die Summe der inländischen Nutzung fossiler, mineralischer und biogener Rohstoffe 1,29 Mrd. t. An dieser Nutzung haben die nicht-biogenen Rohstoffe einen Anteil von 77% (etwa 1,0 Mrd. t). Dabei dominieren die sonstigen mineralischen Rohstoffe (Steine, Erden etc.) mit einem Anteil von 42% (0,546 Mrd. t), gefolgt von fossilen Rohstoffen mit einem Anteil von 31% (0,405 Mrd. t). Biogene Rohstoffe haben in Deutschland (Jahr 2016) mit 0,29 Mrd. t einen Anteil von 23%. Der größte Teil davon stammt aus der Landwirtschaft (20,6% bzw. 0,263 Mrd. t) und ein kleiner Teil (2,2% bzw. 0,029 Mrd. t) aus der Forstwirtschaft. Landwirtschaftliche Rohstoffe wurden zu 95% im Inland entnommen und zu 5% importiert. Bei forstwirtschaftlichen Rohstoffen lag die inländische Entnahme bei 88% und Importe bei 12%.

Die Substitution von nicht-biogenen Rohstoffen (fossile und mineralische Rohstoffe sowie Erze) ist ein wesentlicher Aspekt der Bioökonomie, die u.a. dazu beiträgt, dass negative Umweltbelastungen vermieden werden, z.B. durch die Reduktion von Treibhausgasen. Die Analyse der Pfade hat jedoch gezeigt, dass die Substitution von nicht-biogenen durch biogene Rohstoffe nicht *per se* zu THG-Minderungen im Gesamtsystem führt: Ein bioökonomischer Pfad kann auch höhere THG-Emissionen als die fossile Referenz aufweisen, wie im Fall des Anbaus von Energiepflanzen für Biokraftstoffe möglich, wenn durch Grünlandumbruch der Kohlenstoffspeicher der Anbaufläche verringert wird.

Eine Ausweitung der Substitution mit inländischer Biomasse ist aufgrund hoher Anteile an nicht-biogenen Rohstoffen und begrenzten zusätzlichen inländischen Biomassepotenzialen in der Land- und Forstwirtschaft sowie von Abfall- und Reststoffen nur zu einem kleinen Anteil möglich. Dies führt zu einem zu erwartenden Mehrbedarf an Biomasse aus dem Ausland. Mit der Ausweitung der Biomasseproduktion in Drittländer, um die Biomasse in bioökonomischen Pfaden einsetzen zu können, gehen aber erhebliche Risiken einer ökologisch und sozial nicht nachhaltigen Nutzung von Naturgütern einher. Um diese Entwicklung abzumildern sollten z.B. energetisch genutzte fossile Rohstoffe möglichst durch andere erneuerbare Energien (z.B. Wind- und Solarenergie) substituiert und Biomasse vorrangig stofflich genutzt, ungenutzte Potenziale an Abfall und Reststoffen erschlossen, Effizienzmaßnahmen vorangetrieben und die Nachfrage nach Tierprodukten mit hohen Flächenbelegungen für die Futtermittelproduktion reduziert werden.

Identifizierung und Beschreibung von künftig möglichen Bioökonomiepfaden

Als Ergebnis einer thematischen Suche¹ wurden Informationen über aufkommende und relevante Entwicklungen in der Bioökonomie zusammengetragen. Daraus wurde eine Übersicht (im Folgenden „Longlist“ genannt) von 58 künftig möglichen Bioökonomiepfaden erstellt. Die thematische Suche wurde sowohl auf nationaler als auch europäischer und globaler Ebene durchgeführt, um künftige Anwendungsbereiche von biogenen Rohstoffen und technologische Entwicklungen zu identifizieren. Die Longlist repräsentiert die im Suchzeitraum veröffentlichten Anwendungsbereiche. Sie erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Um die Bedeutung der Pfade der Longlist besser einordnen und für die weitere Analyse eingrenzen zu können, wurde jeder einzelne Bioökonomiepfad einem Wirtschaftssektor zugeordnet, in Bezug auf seinen Rohstoffbedarf (Mengenrelevanz) bewertet sowie dahingehend charakterisiert, welche Art von Biomasse bei dem Pfad zum Einsatz kommt und ob dieser Pfad zu einer Be- oder Entlastung der Biomassenutzung führt.

Die thematische Suche zeigt, dass die identifizierten Pfade viele verschiedene Einsatzbereiche der Biomasse und Wirtschaftssektoren abdecken. Die Ergebnisse spiegeln damit deutlich die vielfältigen Nutzungsoptionen der Biomasse wider. Die Sektoren Energieversorgung und Ernährungsindustrie wurden den Pfaden am häufigsten zugeordnet, gefolgt von den Sektoren Verkehr und Transport, verarbeitendes Gewerbe, Landwirtschaft und chemische Industrie. Für knapp die Hälfte der Pfade wurde eingeschätzt, dass ihre Umsetzung zu einem mittleren bis hohen Rohstoffbedarf führen würde. Ob diese Pfade innerhalb ihrer Sektoren maßgeblich relevant oder nur in kleinerem Umfang realisiert werden, kann im Zuge des Scanprozesses nicht interpretiert werden.

Maßgeblich in ihrer Wirkung können Megatrends sein. Megatrends sind langfristige gesellschaftliche Entwicklungen, die soziale, ökonomische, ökologische, politische und gesellschaftliche Veränderungen nach sich ziehen. In dieser Studie wurden Wirkungen der Megatrends Bevölkerungswachstum, Klimawandel, Nutzungskonkurrenz, Urbanisierung, technischer Fortschritt/Digitalisierung und Wirtschaftswachstum auf künftig mögliche Bioökonomiepfade analysiert. Die Analyse macht deutlich, dass Megatrends starke Treiber für die steigende Nachfrage nach biogenen Rohstoffen bzw. Produkten sind. Damit wird vor allem der Nutzungsdruck auf biogene Rohstoffe stetig erhöht.

Allerdings kann diese Wirkung diametral unterschiedlich sein: Einerseits wird erwartet, dass der Nutzungsdruck auf biogene Rohstoffe durch die Megatrends Bevölkerungswachstum, Wirtschafts-

¹ Auch Scanprozess genannt

wachstum und Klimawandel steigt. Damit steigt auch die Belastung durch negative Umweltauswirkungen. Andererseits wird erwartet, dass der Nutzungsdruck auf biogene Rohstoffe durch den Megatrend technologischer Fortschritt/Digitalisierung, der mit Effizienzsteigerungen verbunden ist, sinkt und negative Umweltauswirkungen vermieden werden.

Biomassenutzung in künftig möglichen Bioökonomiepfaden

In der Analyse zeigt sich, dass viele verschiedene Biomassearten (Anbaubiomasse aus Land- und/oder Forstwirtschaft, Abfall- und Reststoffe, strombasierte Kohlenstoffe) innerhalb der Pfade genutzt werden. Welche biogenen Rohstoffe in Zukunft zum Einsatz kommen, ist allerdings mit großen Unsicherheiten behaftet, da die Wahrscheinlichkeit, welche Pfade sich durchsetzen, schwer abzuschätzen ist. Dennoch wird ein Aspekt deutlich: In den analysierten Bioökonomiepfaden wird überwiegend landwirtschaftliche Anbaubiomasse (Feldfrüchte, Energiegräser, Kurzumtriebsplantagen) eingesetzt. Eine Ausweitung der Bioökonomie führt so über eine zusätzliche Nutzung von land- und forstwirtschaftlicher Anbaubiomasse zu einem steigenden Druck auf die Flächennutzung sowohl in Deutschland als auch in Importländern. Auch für bereits genutzte Reststoffe und Abfälle kann es zu einer Nutzungskonkurrenz durch eine zusätzliche Biomassenachfrage kommen. Für einen kleinen Teil der Pfade ist zu sehen, dass bestehende oder zusätzliche Biomassebedarfe durch Effizienzmaßnahmen verringert werden können, was vor allem auf technologische Verbesserungen zurückzuführen ist (z.B. im Bereich der Lebensmittelherstellung oder bei der energetischen Nutzung von Abfall und Reststoffen).

Analyse und Bewertung ausgewählter bioökonomischer Pfade

Die detaillierte Analyse von sechs ausgewählten Bioökonomiepfaden zeigt, dass eine Reduktion der fossilen Rohstoffe eng mit einer zusätzlichen Nachfrage nach biogenen Rohstoffen verbunden ist. Damit einher geht das deutliche Risiko, dass mit einer weiterhin wachsenden Bioökonomie die Ausschöpfung oder Überschreitung der ökologischen Belastbarkeitsgrenzen weiter beschleunigt wird.

Die detaillierte Bewertung der ausgewählten Pfade ergibt eine generelle Tendenz: das Risiko für eine Belastung von Umwelt und Klima ist stark mit der Nutzung zusätzlicher Anbaubiomasse verbunden. Entlastungen von Umwelt und Klima zeigen nur Bioökonomiepfade, die eine Reduktion des Rohstoffeinsatzes durch Effizienzsteigerungen bzw. Optimierung bestehender Nutzung erreichen. Dies geschieht allerdings in einem deutlich geringeren Umfang als die erwartete künftige Belastung durch Pfade, die mit einem zusätzlichen Bedarf an biogenen Rohstoffen einhergehen.

Insgesamt ist mit künftig möglichen Bioökonomiepfaden ein deutliches Risiko verbunden, dass es zu einem Anstieg der Risiken für die chemische und biologische Umwelt und der Ressourceninanspruchnahme kommt. Diese Beobachtung wird durch eine Auswertung gestützt, die bereits im Jahr 2015 mehr als 14 Mio. ha an Anbaufläche im Ausland für nach Deutschland importierte Biomasse belegt (Destatis 2018).

Insgesamt wurde festgestellt, dass nationale Politikstrategien zur Bioökonomie nicht in ausreichendem Maße dazu beitragen, ökologische Risiken zu vermeiden. Im Gegenteil: Der Druck auf die vorhandenen und zusätzlich erschließbaren Anbauflächen (z.B. durch Waldrodung und Grünlandumbruch) nimmt weiter zu und führt global zur Intensivierung der Landnutzung und zu Landnutzungsänderungen. Der zu erwartende Anstieg des Nutzungsdrucks übersteigt voraussichtlich die in Deutschland nachhaltig verfügbaren Potenziale an biogenen Ressourcen. Die Beschaffung der biogenen Ressourcen im Ausland erhöht wiederum das globale Risiko für z.B. indirekte

Landnutzungsänderungen, Biodiversitätsverlust, Bodendegradation etc. Diese negativen Wirkungen können nur verringert oder verhindert werden, wenn zusätzliche Biomassenutzungen vermieden werden, ungenutzte Biomassepotenziale erschlossen werden oder die Effizienz bei der Biomassenutzung gesteigert wird. Zusätzlich kann eine Zertifizierung von biogenen Produkten die Belastung der Umwelt und sozialer Aspekte verringern. Für Umweltbelastungskategorien wie Emission von Treibhausgasen, biologische Vielfalt und Flächennutzung ist dies aufgrund wahrscheinlich auftretender indirekter Effekte aber nicht gesichert.

Beitrag der Bioökonomie für eine treibhausgasneutrale, ressourcenschonende Gesellschaft und ihr Beitrag zur Umsetzung der SDGs

Der Beitrag der Bioökonomie zu einer treibhausgasneutralen Gesellschaft und ihr Beitrag zur Umsetzung der SDGs muss anhand klar definierter Umweltbelastungskategorien sowie sozialer und ethischer Aspekte betrachtet werden, um eine ausgewogene Bewertung zu ermöglichen.

Für die folgenden SDGs konnte eine Einflussnahme durch die betrachteten bioökonomischen Pfade abgeleitet werden:

- SDG 15 (Leben an Land): Es besteht eine sehr direkte Beziehung zur Bioökonomie, da mit einer Ausweitung der landwirtschaftlichen Fläche durch künftig mögliche Bioökonomiepfade hohe ökologische Risiken für Leben an Land einhergehen. Effizienzsteigerungen bestehender Biomassenutzungen und die Erschließung von noch ungenutzten Abfällen und Reststoffen kann hingegen den Nutzungsdruck auf biogene Rohstoffe reduzieren und damit den Schutz von Landökosystemen unterstützen.
- SDG 2 (Kein Hunger): Steigende Biomassenachfragen können zu einem Anstieg der landwirtschaftlichen Produktion in Regionen mit einer unsicheren Ernährungssituation führen. Diese kann – je nach Ausgestaltung – regionale Entwicklung und Ernährungssicherheit fördern oder durch Nutzungskonkurrenz zu einer erhöhten Ernährungsunsicherheit führen.
- SDG 7 (Bezahlbare und saubere Energie) und SDG 12 (Nachhaltige/r Konsum und Produktion): Die stoffliche und energetische Biomassenutzung kann je nach Art des biogenen Rohstoffs bezahlbare und saubere Energie und nachhaltigen Konsum als Entwicklungsziel stützen (z.B. durch die Nutzung unkritischer Abfälle und Reststoffe) oder schwächen (z.B. bei der Nutzung von Holz aus Primärwäldern).
- SDG 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz): Hier besteht über die Produktions- und Nutzungsseite biogener Rohstoffe ein Zusammenhang. Wie die Bewertung zu den ausgewählten Bioökonomiepfaden gezeigt hat, kann die Ausgestaltung eines Pfades Treibhausgasemissionen mindern oder auch erhöhen.
- SDG 14 (Leben unter Wasser): Innovative, landbasierte Produktionsverfahren für aquatische Biomasse kann die Nutzung von natürlichen Tier- und Pflanzenbeständen im Meer entlasten.

Diese Zusammenstellung macht deutlich, dass eine Nutzung biogener Rohstoffe im Rahmen der Bioökonomie nicht *per se* „nachhaltig“ ist, sondern sich sowohl positiv als auch negativ auf die Zielsetzungen von SDGs auswirken kann. Vielfach ist die Wirkungsrichtung davon abhängig, ob die Ausgestaltung des Pfades zu einer erhöhten oder verringerten Nachfrage nach Biomasse führt. Vor dem Hintergrund der begrenzten Rohstoffverfügbarkeit aus der Land- und Forstwirtschaft sowie aus

Abfall- und Reststoffströmen erscheint eine politische Priorisierung des Einsatzes von Biomasse als dringend notwendig, für die die folgenden Leitlinien empfohlen werden:

- Bioökonomiepfade sollten eine deutliche Treibhausgasreduzierung gegenüber einer fossilen Referenz sicherstellen.
- Bioökonomiepfade sollten keine bis geringe negative Auswirkungen auf die Umwelt (Biodiversität, Boden, Wasser, Luft) und soziale Aspekte haben.
- Wo möglich, sollten biogene Rohstoffe vorrangig stofflich genutzt werden, um die stoffliche Nutzung von fossilen Rohstoffen zu substituieren.
- Fossile Energieträger sollten vorrangig durch nicht-biogene erneuerbare Energien substituiert werden. Die energetische Nutzung von biogenen Rohstoffen sollte sich auf Energiebedarfe beschränken, für die andere Optionen technisch schwierig sind (z.B. Biokraftstoffe aus Algen und biogenen Rest- und Abfallstoffen im Flugverkehr, effizienter und emissionsarmer Einsatz von Holzbrennstoffen für Hochtemperaturanwendungen in Wärmekaskaden und schlecht dämmbarem, unvernetzt stehendem Gebäudebestand).
- Bioökonomiepfade sollten keine neue, zusätzliche Nutzung von land- oder forstwirtschaftlicher Anbaubiomasse bzw. bereits genutzten Abfall- und Reststoffen mit sich bringen, um den Nutzungsdruck auf diese Rohstoffe nicht zu erhöhen.
- Bioökonomiepfade sollten die Effizienz bestehender Biomassennutzungen verbessern.

Ohne eine Ausrichtung an diese oder vergleichbare Leitlinien werden bioökonomische Anwendungsbereiche angestrebte Nachhaltigkeitsanforderungen nicht verlässlich erfüllen und den Beitrag der Bioökonomie in Richtung einer treibhausgasneutralen, ressourcenschonenden Gesellschaft mindern.

Historische Trends und bestehende Prognosen deuten darauf hin, dass die steigende Produktivität der aktuellen landwirtschaftlichen Flächen nicht ausreichen wird, um die Anforderungen der steigenden Nachfrage nach verschiedenen Arten von Biomasse zu decken. Ein fundiertes Wissen darüber, welche Biomassepotenziale zur Verfügung stehen, ist für eine Substitution fossiler Rohstoffe durch biogene Rohstoffe eine wichtige Voraussetzung. Die begrenzten Biomassepotenziale sollten zukünftig so verwendet werden, dass Risiken für Umwelt und Gesellschaft weitestgehend minimiert werden, damit die gesellschaftliche Perspektive einer nachhaltigen Transformation der Wirtschaft im Sinne der Bioökonomie gesichert ist.

Summary

The economic system in Germany is currently based to a large extent on non-renewable raw materials. These include fossil raw materials (oil, coal, natural gas) as well as mineral raw materials and ores. Their use has a substantial impact on the climate and the environment. Therefore, a fundamental systemic change towards an economy based on renewable resources and efficient use of raw materials, which largely forgoes the use of fossil raw materials, is required. This transformation is to be achieved through biogenic raw materials and their use in the bioeconomy. The research project "Development trends and potential of the bioeconomy - Sustainable use of resources - requirements for a sustainable bioeconomy from Agenda 2030/SDG implementation" (Project No. 3717 31 103 0) deals with the opportunities and risks that can arise from advancing the bioeconomy to achieve the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs).

The aim of this working paper is to identify and assess technology paths and application areas of the bioeconomy that could become significantly relevant within the next 20 years.

Following an introduction and description of the objectives (Chapter 1), the current biogenic and non-biogenic resource use in Germany is analysed (Chapter 2). Subsequently, possible future bioenergy paths are identified and described based on a thematic search process (Chapter 3). Selected bioeconomy pathways are analysed in detail in the form of fact sheets, their benefits and pressures are assessed in relation to chemical and biological environmental impact categories, and ethical and social aspects related to these pathways are discussed (Chapter 4).

Biogenic and non-biogenic resources

Chapter 2 provides an overview of the current resource use in Germany. In 2016, the total domestic use of fossil, mineral and biogenic raw materials was 1.29 billion tonnes. Non-biogenic raw materials had a share of 77% of this quantity (about 0.9 billion tonnes). Other mineral raw materials (stone, earths, etc.) dominated within this volume with a share of 42% (0.546 billion tonnes), followed by fossil raw materials with a share of 31% (0.405 billion tonnes). Biogenic raw materials have a share of 23% in Germany (2016) with 0.29 billion tonnes. The largest part comes from agriculture (20.6% or 0.263 billion tonnes) and a small part (2.2% or 0.046 billion tonnes) from forestry. 95% of agricultural raw materials were extracted domestically and 5% imported. For forestry raw materials, 88% were extracted domestically and 12% imported.

The substitution of non-biogenic raw materials (fossil and mineral raw materials as well as ores) is an essential aspect of the bioeconomy which, among other things, helps to avoid negative environmental impacts, e.g. by reducing greenhouse gases. However, the analysis of the pathways has shown that the substitution of non-biogenic by biogenic raw materials does not per se lead to GHG reductions in the overall system: A bioeconomic path may also have higher GHG emissions than the fossil reference, as is possible in the case of the cultivation of energy crops for biofuels, if the carbon storage capacity of the cultivated area is reduced as a result of grassland conversion.

An expansion of substitution with domestic biomass is only possible to a small extent due to high shares of non-biogenic raw materials and limited additional domestic biomass potential in agriculture and forestry as well as waste and residual materials. As a result, an additional demand for biomass from abroad may be expected. However, the expansion of biomass production to third countries for the use of biomass in bioeconomic pathways is associated with considerable risks of an ecologically and socially unsustainable use of natural resources. In order to mitigate this development, for example, fossil raw materials used for energy purposes should be substituted by renewable energies (e.g.

wind and solar energy) wherever possible and biomass should be used primarily as a material, unused potential for waste and residual materials should be tapped into, efficiency measures should be promoted, and the demand for animal products with high land use for animal feed production should be reduced.

Identification and description of possible future bioeconomy pathways

As a result of a thematic search, information on emerging and relevant developments in the bioeconomy was compiled, resulting in an overview (called "longlist") of 58 possible future bio-economy paths. The thematic search was conducted at national, European and global level in order to identify future areas of application of biogenic raw materials and technological developments. The longlist represents the application areas published during the search period. However, there is no claim for completeness.

In order to better assess the importance of the paths in the longlist and to confine them for further analysis, each individual bioeconomy path was assigned to an economic sector, evaluated in terms of its raw material requirements (quantity relevance) and characterised in terms of the type of biomass used in the path and whether this path leads to an increase or decrease of biomass use.

The thematic search shows that the identified paths cover many different areas of biomass use and thus also economic sectors. The results thus clearly reflect the variety of different options for using biomass. The energy supply and food industry sectors were most frequently assigned to the paths, followed by the traffic and transport sectors, manufacturing industry, agriculture and chemical industry. For almost half of the paths it was estimated that their implementation would lead to a medium to high raw material demand. Whether these paths are significantly relevant within their sectors or will be implemented on a smaller scale only cannot be interpreted in the course of the scanning process.

Megatrends can have a decisive impact. Megatrends are long-term societal developments that entail social, economic, ecological, political and societal changes. In this study, the effects of megatrends such as population growth, climate change, competition for use, urbanisation, technical progress / digitalisation, economic growth on possible future bio-economic paths were analysed. The analysis makes it clear that megatrends are strong drivers for the increasing demand for biogenic raw materials and products. As a consequence, pressure on the use of biogenic raw materials is constantly increasing.

However, this effect can be diametrically opposed: On the one hand, the pressure to use biogenic resources is expected to increase as a result of the megatrends population growth, economic growth and climate change, reinforcing the ensuing negative environmental impacts. On the other hand, the pressure to use biogenic raw materials is expected to decrease as a result of the megatrend of technological progress / digitalisation, which is associated with efficiency gains, thus avoiding negative environmental impacts.

Biomass use in future possible bioeconomy paths

The analysis shows that many different types of biomass (cultivated biomass from agriculture and/or forestry, waste and residual materials, electricity-based carbon) are used within the paths. It is quite uncertain though which biogenic raw materials will be used in the future, as the probability of which paths will prevail is difficult to estimate. Nevertheless, one aspect becomes clear: the bioeconomy

paths analysed mainly use agricultural biomass (field crops, energy grasses, SRC). An expansion of the bioeconomy thus leads to increasing pressure on land use in Germany as well as in importing countries through the additional use of agricultural and forestry biomass. Competition for the use of already used residues and waste can also arise from additional demand for biomass. For a small part of the pathways, existing or additional biomass demand can be reduced through efficiency measures, mainly as a consequence of technological improvements (e.g. in the area of food production or in the use of waste and residues for energy recovery).

Analysis and evaluation of selected bioeconomic pathways

The detailed analysis of six selected bioeconomy paths shows that a reduction in fossil resources is closely linked to an additional demand for biogenic resources, associated with a substantial risk that further growth of the bioeconomy will lead to reaching or exceeding ecological boundaries at an accelerated pace.

The detailed assessment of the selected paths shows a general trend: the risk of environmental and climate pollution is strongly linked to the use of additional cultivated biomass. Only bio-economy paths that reduce the use of raw materials by increasing efficiency or optimising existing use are considered to be environmentally and climate-friendly. However, this is achieved to a much lesser extent than the expected future pressure exerted by paths that are associated with an additional demand for biogenic raw materials.

Overall, future possible bioeconomy paths are associated with a substantial risk of an increase in the risks for the chemical and biological environment and in the use of resources. This observation is supported by an analysis of the domestic and foreign land use for biomass use, which even in 2015 evidenced that more than 14 million ha of cultivated land abroad were used for biomass imported to Germany (Destatis 2018). This increase in land use is a major driver of negative ecological and social impacts.

Overall, it was found that national policy strategies for the bioeconomy neither contribute to avoiding ecological risks nor sufficiently consider them at all. On the contrary: pressure on existing and additionally developable farmland (e.g. through deforestation and grassland conversion) continues to increase and leads globally to an intensification of land use and to land use changes. The expected increase in the pressure of use is likely to exceed the sustainably available potential of biogenic resources in Germany. Procuring biogenic resources abroad in turn increases the global risk of e.g. indirect land use changes, loss of biodiversity, soil degradation, etc.. These negative effects can only be reduced or prevented if additional biomass use is avoided, unused biomass potentials are tapped into or efficiency of biomass use is increased. In addition, certification of biogenic products for the environmental impact categories of soil and water with ambitious sustainability criteria can help to exclude environmental impacts and guarantee social aspects such as health or compliance with labour rights. For environmental impact categories such as greenhouse gas emissions, biological diversity and land use, this is not certain due to likely indirect effects.

Contribution of the bioeconomy towards a greenhouse gas neutral, resource-saving society and its contribution to the implementation of the SDGs

The bioeconomy's contribution towards a greenhouse gas neutral society and its contribution towards the implementation of the SDGs must be considered on the basis of clearly defined

environmental impact categories as well as social and ethical aspects in order to enable a balanced assessment.

For the following SDGs, an influence of the considered bioeconomic paths could be derived:

- SDG 15 (Life on land): There is a very direct relationship to the bioeconomy, since an expansion of agricultural land through future possible bioeconomy paths is associated with high ecological risks for life on land. Increasing the efficiency of existing biomass use and tapping into hitherto unused waste and residual materials, on the other hand, can reduce the pressure on biogenic resources and thus support the protection of terrestrial ecosystems.
- SDG 2 (No hunger): Rising demand for biomass can lead to an increase in agricultural production in regions with an uncertain food situation. Depending on its design, this can promote regional development and food security or lead to increased food insecurity through competitive land use.
- SDG 7 (Affordable and clean energy) and SDG 12 (Responsible consumption and production): Depending on the type of biogenic raw material, the use of biomass for material and energy can support affordable and clean energy and sustainable consumption as a development goal (e.g. by using non-critical waste and residual materials) or weaken it (e.g. by using wood from primary forests).
- SDG 13 (Climate action): There is a connection via the production and use of biogenic raw materials. As the assessment in the profiles of selected bioeconomy pathways in Chapter 4.3 has shown, the design of a pathway can reduce or increase greenhouse gas emissions.
- SDG 14 (Life below water): Innovative, land-based production processes for aquatic biomass can relieve the strain on natural marine animal and plant populations.

This compilation shows that the use of biogenic raw materials within the framework of the bioeconomy can have both positive and negative effects on SDG targets. In many cases, the direction of impact depends on whether the design of the path leads to an increased or reduced demand for biomass.

The analysis of the ecological and social impacts of the selected possible future bioeconomy paths has shown that a bioeconomy path is not "sustainable" per se, since unintended impacts can always occur. It has become clear that the provision of biomass is the decisive factor for the environmental impact.

Against the background of limited availability of raw materials from agriculture and forestry as well as from waste and residual material flows, a political prioritisation of the use of biomass appears to be paramount. It has become clear that in the future there will be an increased demand for biogenic resources if the bioeconomic paths are implemented comprehensively. Even today, this additional demand can no longer be covered by domestic resources only. The method applied in the context of this working paper allows for a qualitative assessment of the priorities for use. Based on this, the following guidelines were derived. It is recommended to use these guidelines when prioritising the use of bioeconomy pathways (e.g. through financial support):

- Bioeconomy pathways should ensure a significant greenhouse gas reduction compared to a fossil reference. The risks of indirectly occurring emissions must also be taken into account appropriately.

- Bioeconomy pathways should have no or little negative impact on ecological (biodiversity, soil, water, air) and social aspects compared to the fossil reference.
- Wherever possible, biogenic raw materials should be used primarily as materials to replace the material use of fossil raw materials.
- Fossil energy sources should be substituted primarily by non-biogenic renewable energies. The energetic use of biogenic raw materials should be limited to energy needs for which other options are technically difficult (e.g. biofuels from algae and biogenic residue and waste materials in aviation, efficient and low-emission use of wood fuels for high-temperature applications in heat cascades and poorly insulated, non-cross-linked building stock).
- Bioeconomy pathways should not entail any new, additional use of agricultural or forestry biomass or already used waste and residual materials, so as not to increase the pressure on these raw materials.
- Bioeconomy pathways should improve the efficiency of existing biomass use.

Without an alignment with these or comparable guidelines, bio-economic application areas will not reliably fulfil sustainability requirements and they will reduce the bio-economy's contribution towards a greenhouse gas-neutral, resource-saving society.

Historical trends and existing forecasts indicate that the increasing productivity of current agricultural land will not be sufficient to meet the requirements of the growing demand for different types of biomass. A sound knowledge of the quantities of biomass available is an important prerequisite for the substitution of fossil raw materials by biogenic raw materials. The limited biomass potentials should be used in future in such a way that they make the most valuable contribution possible within the bio-economy and risks to the environment and society are minimised as far as possible, so that the social perspective of a sustainable transformation of the economy in the sense of the bio-economy is secured.

1 Einführung und Zielsetzung

Die heutige Wirtschaftsweise in Deutschland basiert zu einem großen Anteil auf nicht-erneuerbaren Rohstoffen. Dazu zählen fossile Rohstoffe wie Erdöl, Kohle und Erdgas sowie mineralische Rohstoffe und Erze (Destatis 2019). Da die Nutzung dieser Rohstoffe Klima und Umwelt erheblich belastet, bedarf es eines Wandels hin zu einer auf erneuerbaren Ressourcen beruhenden rohstoffeffizienten Wirtschaft, die weniger fossile Rohstoffe einsetzt oder ganz ohne diese auskommt (BMEL 2014a und b, UBA 2019). Die Bioökonomie kann ein Element sein, um diesen Strukturwandel voranzutreiben.

Mit der Bioökonomiestrategie verfolgt Deutschland folgende Ziele:

- Das Ersetzen von fossilen Quellen durch biogene Quellen,
- Die Steigerung der Ressourceneffizienz,
- Eine Nachhaltige Biomassenutzung (Sicherung der Ernährung sowie Schutz der Umwelt, des Klimas, der Biodiversität, der Bodenfruchtbarkeit und des Wasserhaushaltes).

In den von Kiresiewa et al. (2019) untersuchten existierenden Bioökonomiestrategien stehen ökonomische Zielsetzungen für die Vision von einer neuen Wirtschaftsform, die statt fossilen Ressourcen Biomasse als Rohstoff für die Produktion von Kraftstoffen, Elektrizität, Chemikalien, Kunststoffen und Textilien nutzt, im Vordergrund. Eine Harmonisierung mit umweltpolitischen Zielen wird meist weniger stark einbezogen.

Kasten 1: Bioökonomie

„Die „wissensbasierte Bioökonomie“ [...] ist an natürlichen Stoffkreisläufen orientiert und beruht auf einem Strukturwandel von einer auf endlichen fossilen Quellen – hauptsächlich Erdöl – basierten Wirtschaft zu einer stärker auf nachwachsenden Ressourcen basierten Wirtschaft.“ (BMEL 2014 a, S. 14)

„Das Konzept der Bioökonomie ist an natürlichen Stoffkreisläufen orientiert und umfasst alle Wirtschaftsbereiche, die nachwachsende Ressourcen wie Pflanzen, Tiere sowie Mikroorganismen und deren Produkte erzeugen, be- und verarbeiten, nutzen und damit handeln. Zum Einsatz kommen nicht nur Rohstoffe, die in der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft sowie in der Aquakultur oder der mikrobiellen Produktion erzeugt werden, sondern zunehmend auch biogene Rest- und Abfallstoffe.“ (BMEL 2014 a, S. 8)

Die Bundesregierung definiert Bioökonomie als „die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen“ (BMBF und BMEL 2014).

Die Bioökonomie ist mit Risiken und Zielkonflikten verbunden (Kiresiewa et al. 2019, Heimann 2018, Giljium et al. 2016), wie z.B. der wachsenden Konkurrenz zwischen Nahrungs- und Futtermittelerzeugung, zwischen stofflicher und energetischer Biomassenutzung und den ökologischen und sozialen Risiken, mit denen die Biomasseproduktion besonders in Produzentenländern mit niedrigen Nachhaltigkeitsanforderungen verbunden sein kann. So stellt IPCC (2019) in einer sehr umfassenden Literaturanalyse zu Landnutzung und Klimawandel heraus, dass mit der zu erwartenden Zunahme der Biomassenutzung weitere Belastungen durch Landnutzung und Landnutzungsänderungen zu erwarten sind. Dazu zählen die Umwandlung natürlicher Lebensräume (vor allem Wald und natürliches Grasland), die Degradierung von Landflächen und Wüstenbildung, die Abnahme der biologischen Vielfalt und die Freisetzung von Treibhausgasen (IPCC 2019).

Die Notwendigkeit, derartige Risiken und Zielkonflikte zu vermeiden bzw. zu lösen, findet sich in politischen Zielsetzungen wie den UN Nachhaltigkeitszielen (Sustainable Development Goals, SDGs)² wieder. Die Herausforderung an eine strategisch ausgerichtete, kohärente Politik ist es, diese Konflikte aufzeigen und zu versuchen, sie über geeignete Rahmenbedingungen und durch Innovation zu entschärfen (BMEL 2014 a). Vor diesem Hintergrund ist die Auseinandersetzung mit Chancen und Risiken, die sich aus dem Vorantreiben von Bioökonomiestrategien für die Erreichung der SDGs und insbesondere deren Operationalisierung ergeben können, Ziel und Gegenstand des Forschungsprojekts „Entwicklungslinien und Potenziale der Bioökonomie Nachhaltige Ressourcennutzung – Anforderungen an eine nachhaltige Bioökonomie aus der Agenda 2030/SDG-Umsetzung“ (Forschungskennzahl 3717 31 103 0).

Die Diskursanalyse, die im Arbeitspaket 1 dieses Projekts durchgeführt wurde (Kiresiewa et al. 2019) zeigt, dass je nach Bewertung der Chancen oder der Risiken das Konzept der Bioökonomie befürwortet oder abgelehnt wird. In Abwägungsprozessen spielen insbesondere die Einordnung und Gewichtung von ökologischen und sozialen Risiken, die stark von der genutzten Biomasse und der angewandten Technologie abhängen, eine bedeutende Rolle. Das vorliegende Arbeitspapier (Arbeitspaket 2) hat daher das Ziel, Technologiepfade und Anwendungsbereiche der Bioökonomie, die in den kommenden 20 Jahren prägend bzw. maßgeblich relevant werden könnten, aufzuzeigen und zu bewerten. Hierzu waren die folgenden Fragen zu beantworten:

- Wie stellt sich die heutige Nutzung biogener und nicht-biogener Rohstoffe in Deutschland dar?
- Welche Substitutionsoptionen von nicht-biogenen durch biogene Rohstoffe bestehen?
- Welche künftig möglichen Bioökonomiepfade können in der Literatur im nationalen, europäischen und internationalen Raum identifiziert werden?
- Welchen Wirtschaftsbereichen sind künftig mögliche Bioökonomiepfade zuzuordnen?
- In wieweit werden bestehende und künftig mögliche Bioökonomiepfade durch Megatrends beeinflusst?
- Welche Biomassenutzung wird mit künftig möglichen Bioökonomiepfaden verbunden?
- In wieweit wirken die künftig möglichen Bioökonomiepfade auf die Biomassenutzung (Be-/ Entlastung)?
- Welche Potenziale und Chancen sind mit künftig möglichen Bioökonomiepfaden verbunden?
- Welche Risiken und nicht-intendierte Wirkungen einer Bioökonomie-Strategie sind möglich?
- Welche nicht-intendierten Wirkungen lassen sich wodurch verhindern oder eindämmen?
- Welche nicht-intendierten Wirkungen müssen als nicht oder kaum vermeidbar gelten?
- Welchen Beitrag kann die Bioökonomie für eine treibhausgasneutrale, ressourcenschonende Gesellschaft bzw. zur Umsetzung der SDGs leisten?

² Sustainable Development Goals: <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>

Um die Forschungsfragen zu beantworten, werden

- die aktuelle Ressourcennutzung in Deutschland, differenziert nach Einsatz biogener und nicht-biogener Rohstoffe als Basis für die Einordnung künftiger Bioökonomiepfade dargestellt (Kap.2),
- künftige, relevante Bioökonomiepfade auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene identifiziert, die zu einer Veränderung der Bioökonomie führen können, und im Hinblick auf Wirtschaftsbereiche, Megatrends und die biogene Ressourcenbasis analysiert und bewertet (Kap.3) und
- sechs ausgewählte künftige Bioökonomiepfade mit einer mittleren bis hohen Mengenrelevanz in Form von Steckbriefen detailliert beschrieben sowie bewertet, mit welchen Umweltbe- und/oder -entlastungen diese Pfade verbunden sind (Kap. 4).

Abschließend werden die Ergebnisse in Kap. 5 in Bezug auf die oben genannten Fragen diskutiert.

2 Biogene und nicht-biogene Ressourcennutzung in Deutschland

2.1 Übersicht

Bereits heute werden in einem großen Umfang Rohstoffe in Deutschland genutzt. Unter dem Begriff Rohstoff ist ein Stoff oder Stoffgemisch definiert, „der/das als eine natürliche Ressource aus seiner/ihrer natürlichen Quelle noch keine Bearbeitung erfahren hat. Der Rohstoff wird aufgrund seines Gebrauchswertes aus der Natur gewonnen und entweder direkt konsumiert oder als Ausgangsmaterial für die weitere Verwendung in der Produktion eingesetzt“ (Giegrich et al. 2012). Die Rohstoffnutzung bezeichnet „jeglichen Zugriff des Menschen auf Rohstoffe“ (UBA 2015). Die Nutzung bezieht dabei die gesamte Wertschöpfungskette des Rohstoffes ein. Dazu gehören die Entnahme, die Aufbereitung, die Veredelung und Verarbeitung, die eigentliche Nutzung sowie die abschließende Entsorgung bzw. die Wiederaufbereitung im Rahmen der Rohstoffrückgewinnung. Nach Efken et al. (2012) und Lutter et al. (2018) müssen neben der inländischen Rohstoffentnahme auch Rohstoffe einbezogen werden, die international entnommen und inländisch verwendet werden.

Daten zur Rohstoffnutzung werden in Deutschland durch das Statistische Bundesamt erhoben und im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR) aufbereitet. Die UGR bestimmt die Materialflüsse in physischen Einheiten (hier: in Tonnen). Dazu gehören Rohstoffe, die durch menschliche Aktivitäten direkt aus der inländischen Umwelt entnommen werden (im Folgenden: inländische Rohstoffentnahme). Darüber hinaus enthält die UGR auch Rohstoffimport (im Folgenden: ausländische Rohstoffentnahme) und Rohstoffexport. Die Summe der in- und ausländischen Rohstoffentnahme minus die Exporte ergibt den inländischen Rohstoffverbleib zur weiteren Nutzung (Destatis 2019 a). Diese Daten geben Auskunft darüber, welche Rohstoffmengen in der inländischen Wirtschaft verbleiben und zur Weiterverarbeitung genutzt werden.

Als Ausgangsbasis für die Betrachtung der inländischen biogenen und nicht-biogenen Rohstoffentnahme wurde Destatis (2019 a)³ genutzt. Diese Angaben beziehen sich auf das zur Bearbeitungszeit des Projekts aktuellste verfügbare Jahr 2016. Im Hinblick auf einzelne Rohstoffe wurden weitere Quellen als Ergänzung hinzugezogen (siehe Abbildung 2-1).

Im Jahr 2016 betrug die Summe des inländischen fossilen, mineralischen und biogenen Rohstoffverbleibs 1,29 Mrd. t (Abbildung 2-1). An diesem Rohstoffverbleib haben die nicht-biogenen Rohstoffe einen Anteil von 77% (0,997 Mrd. t). Dabei dominieren die sonstigen mineralischen Rohstoffe (Steine, Erden etc.) mit einem Anteil von 42% (0,546 Mrd. t). Fossile Rohstoffe (Steinkohle, Braunkohle, Erdöl und Erdgas) sind mit einem Anteil am inländischen Rohstoffverbleib von 31% (0,405 Mrd. t) die zweitwichtigste Rohstoffquelle in Deutschland. Von diesen fossilen Rohstoffen wird ein kleiner Anteil in Höhe von 1,3% (0,017 Mrd. t) für die stoffliche Nutzung in der chemischen Industrie eingesetzt. Auf den mineralischen Rohstoff Erz entfällt ein inländischer Rohstoffverbleib von 3,6% (0,046 Mrd. t). (Abbildung 2-1).

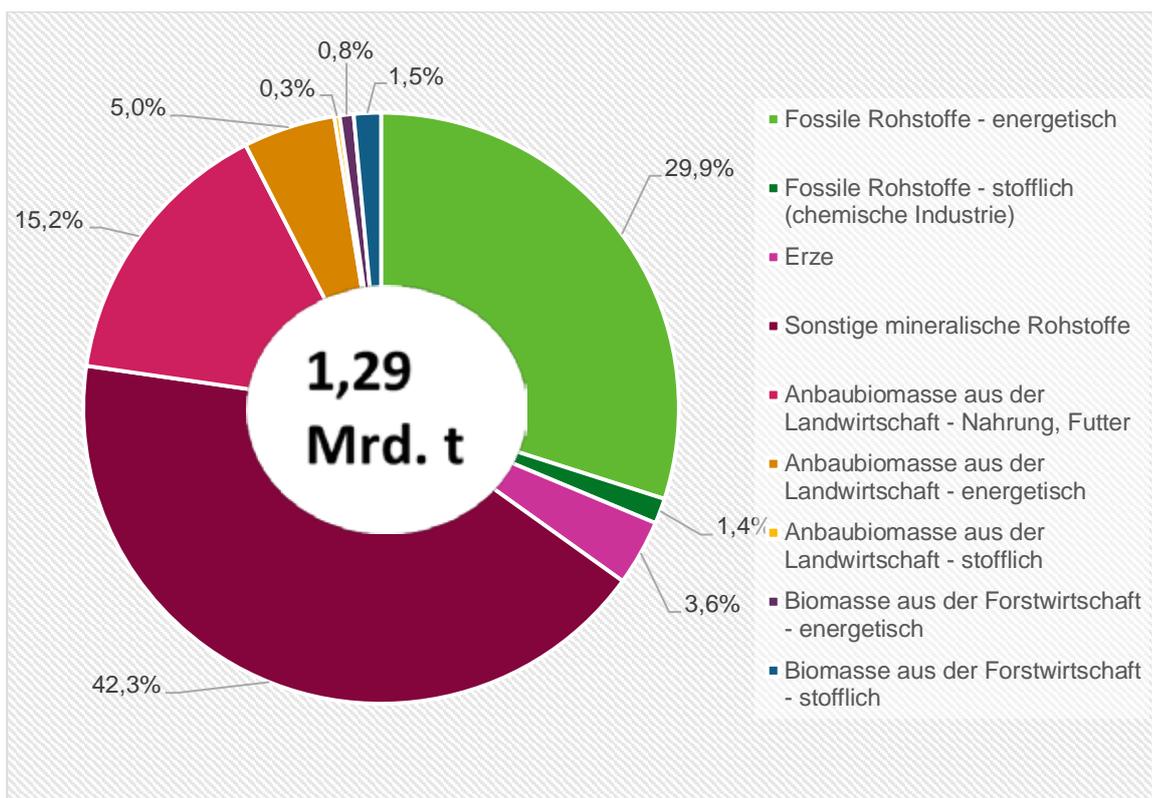
Biogene Rohstoffe haben in Deutschland im Jahr 2016 mit 0,29 Mrd. t einen Anteil von 23% am inländischen Rohstoffverbleib. Der größte Teil davon stammt aus der Landwirtschaft (20,6%, bzw.

³ In die UGR gehen die Waren mit ihrem jeweiligen Eigengewicht ein. Aufgrund von Verlusten geht Destatis (2019 b) davon aus, dass „in der Regel für die Herstellung von Waren mehr Rohstoffe eingesetzt als letztendlich im fertigen Produkt enthalten sind.“. Der absolute Rohstoffeinsatz bzw. Rohstoffnutzung kann modellgestützt als sogenannte Rohstoffäquivalente bestimmt werden Destatis (2019 b), was im Rahmen dieser Studie nicht möglich war. Daher werden für die Darstellung die berichteten Werte aus Destatis (2019 a) verwendet.

0,263 Mrd. t) und nur 2,2% (0,028 Mrd. t) aus der der Forstwirtschaft. Die forstwirtschaftliche Biomasse umfasst überwiegend Holzbiomasse. Neben Stammholz ist darin Waldrestholz enthalten. Forstliche Biomasse wird zu ca. einem Drittel energetisch und zu zwei Dritteln stofflich genutzt (Thünen 2019).

Innerhalb des landwirtschaftlichen inländischen Rohstoffverbleibs dominiert die Nutzung für Nahrungs- und Futtermittel mit 15,2% (0,19 Mrd. t). Ein kleiner Anteil der pflanzlichen Biomasse aus der Landwirtschaft wird energetisch genutzt (5% bzw. 0,064 Mrd. t). Der Anteil der stofflichen Nutzung der landwirtschaftlichen Anbaubiomasse fällt mit 0,3% am inländischen Rohstoffverbleib noch geringer aus (0,004 Mrd. t, Abbildung 2-1). Die Nutzung von Stroh ist in der Kategorie „pflanzliche Biomasse aus der Landwirtschaft“ berücksichtigt. Nach Zeller et al. (2012) entspricht dies einer Menge von 0,5% des inländischen Rohstoffverbleibs. In Abbildung 2-1 ist die Nutzung von Abfällen und Reststoffen bzw. Rohstoffen, die einer Kaskadennutzung zugeführt werden, nicht berücksichtigt. Hervorzuheben ist hier die energetische Nutzung von Gülle in Höhe von 2 Mio. t (entspricht 0,15% des inländischen Rohstoffverbleibs, wurde aber nicht in Abbildung 2-1 eingerechnet; Zeller et al. 2012).

Abbildung 2-1: Prozentuale Anteile des inländischen Rohstoffverbleibs zur weiteren Nutzung im Jahr 2016



Quelle: eigene Darstellung nach Destatis 2019, FNR 2019 a, Thünen 2019, Zeller et. al. 2012; Inländischer Rohstoffverbleib = inländische Produktion + Importe – Exporte (vgl. Efken et al. 2012).

Tabelle 2-1: Inländische und ausländische Entnahme, Exporte sowie inländischer Verbleib fossiler, mineralischer und biogener Rohstoffe im Jahr 2016 (in 1.000 t)

Rohstoff	Nutzung bezogen auf	Inländische Rohstoffentnahme	Import (ausländische Rohstoffentnahme)	Exporte	Inländischer Rohstoffverbleib	Quelle
Nicht-biogene Rohstoffe	Gesamt	747.512	310.857	61.562	996.807	Destatis 2019 a
davon fossile Rohstoffe	Gesamt	185.355	242.706	23.385	404.676	Destatis 2019 a
	energetisch				386.776	FNR 2019 a
	stofflich ⁴				17.900	
davon Erze	stofflich	513	45.984	244	46.253	Destatis 2019 a
Davon sonst. mineralische Rohstoffe	stofflich	561.644	22.167	37.933	545.878	Destatis 2019 a
Biogene Rohstoffe	Gesamt	275.731	39.185	22.250	292.666	Destatis 2019 a
davon pflanzliche Biomasse aus der Landwirtschaft ⁵	Gesamt	250.359	32.337	18.760	263.936	Destatis 2019 a, FNR 2019 a
	Nahrung, Futter				195.766	Destatis 2019 a, FNR 2019 a
	energetisch				64.500	FNR 2019 a
	stofflich				3.670	FNR 2019 a
davon pflanzliche Biomasse aus der Forstwirtschaft	Gesamt	25.372	6.848	3.490	28.730	Destatis 2019 a, Thünen 2019
	energetisch				9.768	Destatis 2019 a, Thünen 2019
	stofflich				18.962	Destatis 2019 a, Thünen 2019
Summe		1.023.243	350.042	83.812	1.289.473	

Quelle: eigene Darstellung nach Destatis 2019, FNR 2019 a, Thünen 2019, Zeller et. al. 2012; Inländischer Rohstoffverbleib = inländische Produktion + Importe – Exporte (vgl. Efken et al. 2012).

⁴ Einsatz in der chemischen Industrie

⁵ In dieser Statistik werden landwirtschaftliche Reststoffe wie Stroh als Anbaubiomasse gezählt. Laut Zeller et al. (2012) liegt die Nutzung von Stroh bei 5 Mio. t/a.

2.2 Herkunft und Handel mit Rohstoffen

Die in Deutschland verwendeten Rohstoffe stammen aus verschiedenen Teilen der Welt. Je nach Rohstoffgruppe variiert das Verhältnis zwischen inländischer Entnahme und Importen. Dies liegt u.a. an Vorkommen und Zugänglichkeit der Rohstoffe (Lutter et al. 2018). Tabelle 2-1 zeigt ausschnittsweise den Handel mit Rohstoffen (Im- und Exporte) für einzelne Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen.

In Summe wurden in Deutschland 1,023 Mrd. t an Rohstoffen im Jahr 2016 entnommen. Importe beliefen sich auf 0,35 Mrd. t und Exporte auf 0,083 Mrd. t (Tabelle 2-1), was einem Netto-Rohstoffimport von 0,267 Mrd. t entspricht. So belief sich der Anteil der inländischen Rohstoffentnahme am inländischen Rohstoffverbleib auf 79% und der der Netto-Rohstoffimporte auf 21%.

Auch für die einzelnen Rohstoffgruppen zeigt sich, dass Deutschland im Jahr 2016 ein Netto-Importeur war. Die einzige Ausnahme bilden die mineralischen Rohstoffe, für die ein Netto-Export in Höhe von 3% auftrat. Erze hingegen wurden fast ausschließlich importiert. Bei Biomasse aus der Landwirtschaft stammten 95% aus inländischer Rohstoffentnahme und 5% aus Importen. Biomasse aus der Forstwirtschaft wurde zu 88% inländisch erzeugt, 12% wurden importiert. Die detaillierte Auswertung der in- und ausländischen Flächenbelegung für die Biomassenutzung in Deutschland zeigt, dass bereits im Jahr 2015 mehr als 14 Mio. ha an Anbaufläche im Ausland für nach Deutschland importierte Biomasse belegt wird (Destatis 2018).

Die inländische Rohstoffentnahme nahm in Deutschland von 1,281 Mrd. t im Jahr 2000 kontinuierlich ab und erreicht im Jahr 2016 einen Wert von 1.023 Mrd. t. Demgegenüber sind die Importe seit dem Jahr 2000 von 0,305 Mrd.t auf 0,350 Mrd. t in 2016 gestiegen (Destatis 2019 a).

Die Herkunft der Rohstoffe ändert sich seit Jahren kaum: ein Fünftel der importierten Biomasse⁶ stammt aus der EU oder aus Asien, der weitaus größere Teil aus Amerika oder Afrika (Lutter et al. 2018). Die fossilen Energieträger werden überwiegend aus Russland (Gas) sowie Norwegen (Öl) und dem Nahen Osten (Öl) importiert (Lutter et al. 2018). Die Importländer für Steinkohle sind Russland, Australien und Kolumbien (VDKI 2019). Nicht-metallische Mineralien und Metallerze stammen überwiegend aus China und Australien oder auch aus lateinamerikanischen Ländern.

2.3 Substitutionsmöglichkeiten nicht-biogener durch biogene Rohstoffe

Die Substitution von Rohstoffen trägt dazu bei, den Materialeinsatz zu flexibilisieren, den Einsatz von ökologisch und ökonomisch vorteilhafteren Materialien zu ermöglichen oder auch Umweltbelastungen zu reduzieren (Bundesregierung 2007). Substitutionseffekte werden häufig im Zusammenhang mit Treibhausgasminderung genannt. So wurde im Jahr 2017 durch die Nutzung von Bioenergie eine THG-Minderung von 64 Mio. t CO₂ (FNR 2019 b) und im Jahr 2015 durch die stoffliche Nutzung von Holzprodukten eine THG-Minderung von 30 Mio. t CO₂ erreicht (WBWA und WBW 2016)⁷.

Die Substitution von nicht-biogenen durch biogene Rohstoffe führt nicht *per se* zu THG-Minderungen im Gesamtsystem. So kann z.B. ein Bioenergiepfad höhere THG-Emissionen als die fossile Referenz aufweisen, wenn der Kohlenstoffspeicher der Anbaufläche deutlich verringert wird (z.B. Grünlandumbruch bei Biokraftstoffen in WBGU 2007, Searchinger et al. 2018). Auswirkungen der

⁶ bezogen auf die Rohstoffentnahme

⁷ Zum Vergleich: Im Jahr 2017 betragen die THG-Emissionen in Deutschland 781 Mio. t CO₂-Äq. (UBA 2019 c).

Biomassenutzung auf die Kohlenstoffspeicherung im Wald können ebenfalls dazu führen, dass fossile THG-Einsparungen durch Substitution verringert oder kompensiert werden (Hennenberg et al. 2019). Auch die Bewertung von Substitutionseffekten für andere ökologische Parameter wie biologische Vielfalt, Wasserverbrauch oder Landnutzung kann zu positiven oder negativen Einschätzungen führen (siehe Details in Kap. 4).

Substitution nicht-biogener durch biogene Rohstoffe kann nicht nur direkt erfolgen, sondern auch über verschiedene Austauschpfade. Beispielsweise wird in Szenarienberechnungen bis 2050 erwartet, dass nicht-biogene erneuerbare Energiequellen (Wind, Solar) einen hohen Anteil an fossilen Energieträgern ersetzen werden und biogene Rohstoffe dadurch aus der heutigen Nutzung heraus gehen und vermehrt in Sondernutzungen wie Flugverkehr, chemische Industrie oder Wärmeezeugung in nicht-dämmbaren Gebäuden fossile Rohstoffe substituieren (Repenning et al. 2015, Koch et al. 2018).

Technisch kann Biomasse grundsätzlich zahlreiche fossile und mineralische Rohstoffe sowie Erze substituieren. In Deutschland wurde in den letzten beiden Dekaden die Substitution fossiler Energieträger durch Biomasse gefördert. Dies ist u.a. ein Grund für den Anstieg der Bioenergienutzung (FNR 2019 b). Hervorzuheben sind Nutzungen in der chemischen Industrie, da hier für den Ersatz fossiler Rohstoffe außer Biomasse nur energieaufwendige, strombasierte Grundstoffe (Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquids) in Frage kommen (Carus et al. 2014). Ein weiteres Beispiel ist die Substitution von Kraftstoffen im Flug- und Güterverkehr. Hier kommt dem Einsatz von Biokraftstoffen eine hohe Bedeutung zu, in Fällen in denen Alternativen wie Elektromobilität technisch schwieriger umsetzbar sind. Zudem haben strombasierte Kraftstoffe eine geringe Energieeffizienz.

Nach FNR (2019 b) wurden aufgrund der Förderung von Bioenergie 65 Mio. t CO₂ eingespart. Hierbei handelt es sich um die Substitution fossiler Energieträger im Bereich der Wärme-, Kraftstoff- und Stromerzeugung. Im Gegensatz dazu steht die stoffliche Nutzung der biogenen Ressourcen weniger im Fokus der Förderprogramme. Auch in den existierenden Biomassepotenzialstudien werden Effekte der stofflichen Nutzung kaum in die Berechnungen einbezogen (Fehrenbach et al. 2019).

Bei mineralischen Rohstoffen und Erzen sind Substitutionsmöglichkeiten durch Biomasse geringer als bei fossilen Rohstoffen. Mineralische Rohstoffe werden in metallische und nicht-metallische Rohstoffe unterschieden. Die nicht-metallischen Rohstoffe umfassen die Baurohstoffe und die Industriemineralien sowie Düngerrohstoffe und Wasser. Auf der Seite der Baurohstoffe ist im Gebäudebereich laut Hafner et al. (2017) eine deutliche Steigerung der Holzbaurate in Wohngebäuden bis 2030 möglich, die zu einem steigenden Bedarf an Holz führt und potenziell zu einem erhöhten Importbedarf von Holz. Dennoch werden in den Holzhäusern nach wie vor mineralische und metallische Materialien benötigt (z.B. Gründung, Dachhaut, Verbindungselemente). Damit sind die relativen Substitutionspotenziale begrenzt. In anderen Bereichen wie im Straßenbau gibt es generell nur geringe Substitutionspotenziale, wie z.B. beim Ersatz von Bitumen durch Lignin. Bei metallischen Rohstoffen ist Deutschland nahezu 100% importabhängig. Eine wichtige Rolle spielt hier bereits heute die Nutzung von Sekundärrohstoffen (z.B. Recycling in der Stahlindustrie). Daher liegt bei metallischen Rohstoffen der Schwerpunkt im Aufbau von Recyclingkapazitäten und weniger in der Nutzung von biogenen Ressourcen (Angerer et al. 2016).

Vor dem Hintergrund der hohen Anteile an nicht-biogenen Rohstoffen (Abbildung 2-1) und begrenzten zusätzlichen inländischen Biomassepotenzialen (Thrän et al. 2015, IWES 2015, UBA 2019) von Anbaubiomasse, wie auch Abfall- und Reststoffen, wird deutlich, dass bei den heutigen Produktionsmustern nur ein Bruchteil des deutschen nicht-biogenen Rohstoffbedarfs durch heimische Biomasse substituiert werden kann. Zum einen hat dies technische Gründe der Substituierbarkeit von

Rohstoffen, vor allem aber ist die Menge an zusätzlich nachhaltig verfügbarer Biomasse stark begrenzt. So würde die Ausdehnung von Anbaubiomasse in der Landwirtschaft klar zu Verdrängung anderer Nutzungen führen. Selbst bei einer starken Verschiebung der Landnutzung, z.B. Nutzung von freiwerdenden Futteranbauflächen durch eine Abnahme der Tierbestände in Deutschland, kann der Bedarf nicht ausreichend gedeckt werden (Repenning et al. 2015). Dies bedeutet, dass Mehrbedarfe an biogenen Rohstoffen durch Importe gedeckt werden müssten. Mit der Ausweitung der Biomasseproduktion im Ausland gehen aber deutliche Risiken einer ökologisch und sozial nicht nachhaltigen Nutzung von Naturgütern einher (SRU 2007, IPCC 2019). Entsprechend schlussfolgern Trähn et al. (2015), UBA (2019) und Repenning et al. (2015), dass für die Substitution nicht-biogener Rohstoffe die inländische Biomassenutzung im Rahmen nachhaltig erschließbarer Potenziale ausgebaut, aber auf eine Ausweitung der Biomasseimporte verzichtet werden sollte.

3 Identifizierung von künftig möglichen Bioökonomiepfaden

Um künftige Entwicklungen der Bioökonomie einschätzen und bewerten zu können, wurden Bioökonomiepfade identifiziert, die besonders zukunftsrelevant erscheinen. Diese künftig möglichen Bioökonomiepfade können bereits einem existierenden Trend folgen oder sie befinden sich in der aktuellen politischen oder gesellschaftlichen Diskussion, künftig zum Einsatz zu kommen (siehe Kasten 2 zur Abgrenzung von Begrifflichkeiten). Bestehende, etablierte Bioökonomiepfade werden hingegen nicht betrachtet.

Kasten 2: Abgrenzung von Begrifflichkeiten

Unter einem **Bioökonomiepfad** werden Prozesse, Produkte oder Technologien verstanden, die die Nutzung von biogenen Ressourcen beinhalten. Die jeweiligen Pfade können verschiedenen Anwendungsbereichen zugeordnet werden. Der Begriff Entwicklungslinie wird synonym zum Begriff des Pfades verwendet.

Ein **Trend** ist nach Hackfort et al. (2016) eine Beschreibung für einen Sachverhalt, der seit einiger Zeit beobachtbar ist, sich mittel- oder auch langfristig entwickelt, und dessen Effekte qualitativ empirisch und/oder quantitativ statistisch beschreibbar sind. Er gibt Hinweise darauf, welche Entwicklungen sich langfristig durchsetzen könnten. Dieser Sachverhalt kann sich z.B. auf eine Technologie oder auf ein Produkt oder auch auf einen Produktionsprozess beziehen.

In dieser Studie werden **künftig mögliche Bioökonomiepfade** betrachtet. Diese können bereits einem positiven Trend folgen. Es werden aber auch Bioökonomiepfade berücksichtigt, die heute als künftig möglich diskutiert werden, für die aber noch keine belastbare Aussage getroffen werden kann, ob ein positiver Trend zu erwarten ist.

In dieser Studie wurde als **erster Arbeitsschritt** (Abbildung 3-1) ein Scanprozess in Anlehnung an das Konzept des Horizon Scanning⁸ (Behrend et al. 2014) genutzt, um künftig mögliche Bioökonomiepfade in der Literatur und in anderen Quellen zu identifizieren. Hierzu wurde wie folgt vorgegangen:

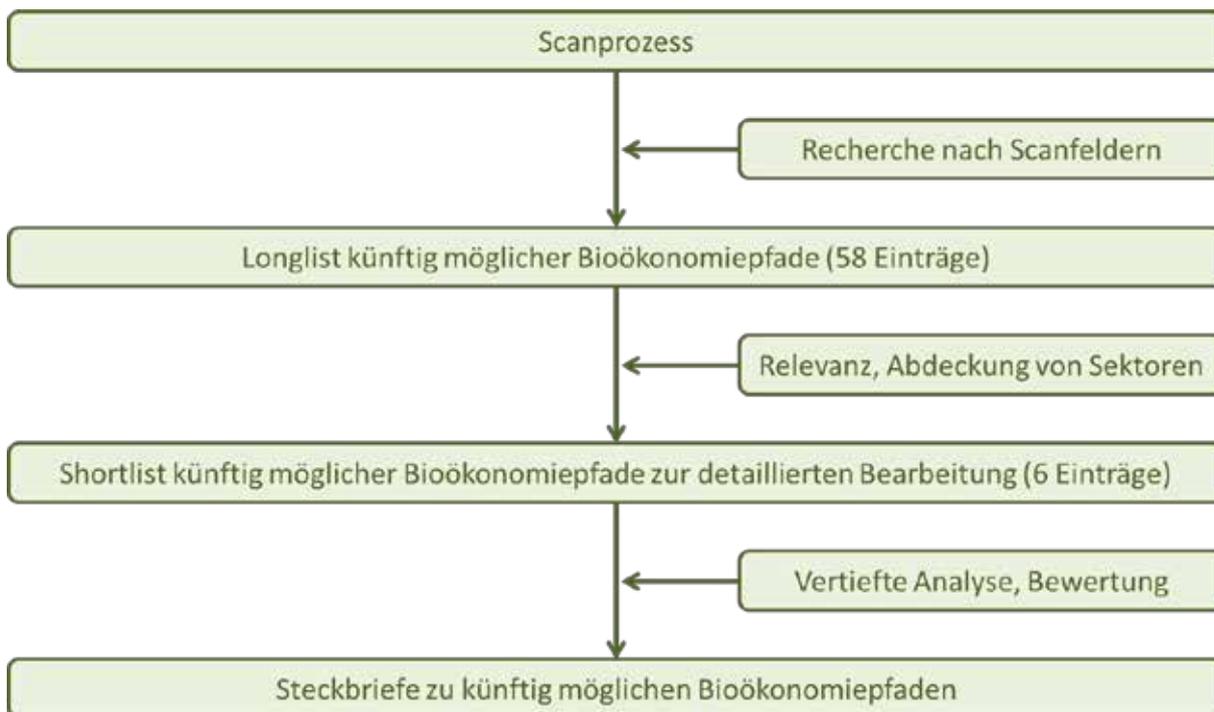
1. Festlegung von Scanfeldern mit entsprechenden Suchkriterien und Abstimmung der Suchkriterien mit dem Umweltbundesamt (siehe Kap. 3.1)
2. Literatur- und Onlinerecherche zu künftig möglichen Bioökonomiepfaden, sowie deren Trends/Entwicklungen anhand der Scanfelder
3. Zusammenstellung eines Katalogs künftig möglicher Bioökonomiepfade (Longlist)
4. Clusterung der künftig möglichen Bioökonomiepfade.

Nach Abschluss des Scanprozesses wurden die identifizierten Pfade als **zweiter Arbeitsschritt** in einer Gesamtübersicht (im Folgenden „Longlist“ genannt) zusammengestellt und jeder Pfad kurz beschrieben (Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2 im Anhang). Des Weiteren wurden spezifische Informationen für eine erste Bewertung der Entwicklungslinien zusammengestellt (siehe Kap. 3.2). In Kapitel 3.4 erfolgt die zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse zu den identifizierten Pfaden. Da der angewandte Scanprozess viele Einsatzbereiche der Biomasse abdeckt, kann die Sammlung an künftig möglichen Bioökonomiepfaden als repräsentativ angesehen werden. Sie erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

⁸ Beim Horizon Scanning werden Informationen über aufkommende und relevante Entwicklungen und Trends zusammengetragen.

Bei dem angewendeten Scanprozess handelt es sich um eine systematische Sichtung und Sammlung von Pfaden, die unterschiedlichen Anwendungsbereichen zugeordnet werden können. Diese können Teil der zukünftigen Entwicklung sein, sie können aber künftig auch keine Bedeutung erlangen. Eine Einschätzung, ob eine Entwicklungslinie auch umweltpolitisch Unterstützung finden sollte, kann erst nach einer detaillierten Bewertung getroffen werden. Aus diesem Grund wurden in einem **dritten Arbeitsschritt** sechs Pfade ausgewählt (vgl. Kap. 3.2) (im Folgenden „Shortlist“ genannt), um diese detaillierter zu charakterisieren. In einem **vierten Schritt** wurde eine Analysemethode entwickelt, mit der die Pfade der Shortlist bewertet wurden (Kapitel 4, Abbildung 3-1).

Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der Arbeitsabläufe der Recherche, Analyse und Darstellung zu künftig möglichen Bioökonomiepfaden



Quelle: eigene Darstellung

3.1 Scanfelder des Scanprozesses

Scanfelder⁹ dienen der thematischen Eingrenzung und Suche, um künftig mögliche Bioökonomiepfade zu identifizieren. Die sorgfältige Erfassung relevanter Felder ist für das Ergebnis wesentlich, da hiermit die thematische Ausrichtung des Scanprozesses definiert wird. Bei der Strukturierung des Suchrasters empfiehlt es sich, Themen auf einem höheren Abstraktionsniveau auszuwählen und für diese später eine vertiefende Betrachtung vorzunehmen (Institut für Innovation und Technik und adelphi 2018). Dieses Vorgehen dient dazu, nicht schon frühzeitig wichtige Informationen zu selektieren.

In der vorliegenden Studie setzen die Scanfelder den Fokus auf die Nutzung biogener Ressourcen in bioökonomischen Technologiepfaden und Anwendungsbereichen. Die Scanfelder, die im Hinblick auf die Identifizierung künftig möglicher Bioökonomiepfade angewandt wurden, sind in Tabelle 3-1

⁹ Synonym kann auch der Begriff „Suchraster“ verwendet werden.

dargestellt. Grundsätzlich gescannt wurde nach übergreifenden Themen wie Technologien, Produkt- und Prozessinnovationen und Wirtschaftssektoren. (siehe Punkt 1 in Tabelle 3-1). Parallel zu den übergreifenden Themen wurden grobe Scanfelder definiert (Energie, Ernährung und Technologien, Ressourcen/Rohstoffe, Wirtschaft, Materialien, Politik, Biologie, Digitalisierung, Biobasierte Stadt), die als feine Scanfelder in Form von Schlagwörtern ausgestaltet wurden (siehe Punkt 2 in Tabelle 3-1). Beispiele für die Auswahl von feinen Scanfeldern im Bereich Energie waren „biogene Energiequellen“, „Energieeffizienz“, „Erzeugung und Nachfrage“. Im groben Scanfeld „Ernährung“ wurden die feinen Scanfelder „Ernährungsstile“, „Nachfrage“, „Produktionsmethoden“ und „Landnutzung“ ausgewählt. Diese groben und feinen Scanfelder wurden in den übergreifenden Themenfeldern – soweit inhaltlich sinnvoll – für die Rechercharbeit angewandt. Hierbei wurde gezielt nach ökologischen, ökonomischen und sozialen Wirkungskategorien gescannt. Diesen Wirkungskategorien wurden Bewertungskriterien zugeordnet und ebenfalls in die Recherche einbezogen (siehe Punkt 3 in Tabelle 3-1). Im Bereich der ökologischen Wirkungskategorie waren das z.B. die Bewertungskategorien Ressourcenverbrauch (bezogen auf biogene Ressourcen sowie Fläche), Nutzungskonkurrenz, Biodiversität, Wasserverbrauch, Boden, THG-Emissionen und weitere Luftschadstoffe. Der Rahmen der gescannten Pfade und Anwendungsbereiche umfasste einen Zeitraum von heute (2019) bis zum Jahr 2050. Räumlich wurde sowohl die regionale als auch die europäische bzw. globale Ebene in Betracht bezogen. Dafür wurden neben nationalen Datenbanken, Forschungsarbeiten und Journalbeiträgen auch europäische und internationale Zeitschriften, Datenbanken oder Studien gesucht. Bei der regionalen Ebene wurde zusätzlich zwischen Stadt und Land unterschieden (siehe Punkt 4 in Tabelle 3-1).

Beispiel: Erscheint ein Bioökonomiepfad unter dem Thema „technologische Innovation“ im groben Scanfeld „Energie“ und im feinen Scanfeld „biogene Energiequellen“, wird dieser Bioökonomiepfad in die Sammlung aufgenommen. Es wird für diesen Bioökonomiepfad aber nicht gezielt nach weiterer Literatur zur Charakterisierung von Aspekten in weiteren Scanfeldern gesucht. Dies findet für die ausgewählten Bioökonomiepfade im Rahmen der Bewertung in Kapitel 4 statt. Hier wird eine sogenannte „Shortlist“ zusammengestellt und im weiteren Verlauf des Arbeitspaketes detaillierter betrachtet (vgl. Abbildung 3-1).

Tabelle 3-1: Scanfelder im Rahmen des Horizon Scannings zur Identifizierung künftig möglicher Bioökonomiepfade

(1) Übergreifende Themen (Was wird gescannt?)

- Technologien und technische Innovationen, Produkt- und Prozessinnovationen Wirtschaftssektoren, Anwendungsbereiche und Leitmärkte, gesellschaftliche Diskurse und Entwicklungen, Soziale Innovationen, Lebensstile, (umwelt-)politische Entwicklungen, Megatrends, Globale Risiken

(2) Scanfelder (grob / *fein*)

- Energie: **biogene Energiequellen, Energieeffizienz, Erzeugung und Nachfrage**
- Ernährung: **Ernährungsstile, Nachfrage, Produktionsmethoden, Landnutzung**
- Ressourcen/Rohstoffe: **Verfügbarkeit biogener Ressourcen, Kreislaufwirtschaft, Effizienz, Substitution, Handel**
- Wirtschaft (siehe Auswahl der Wirtschaftssektoren im Text): **Produktionsmethoden/-verfahren/-technologien in unterschiedlichen Sektoren, Landnutzung, neue Märkte, Green Economy, Investitionsbereitschaft, Wachstumsraten, Nischenmärkte, Kreislaufwirtschaft**
- Technologien: **Lernkurven, Innovationen, Substitution, Fortschritt, Entwicklung, Substrateinsatz, Patente, Speichertechnologien**
- Materialien: **Biobasierte Materialien, Forschung, Recyclingfähigkeit, Materialeffizienz, Textilien, Biokunststoffe, Biopolymere**
- Politik: **Nachhaltigkeitsstrategie, Forschungsstrategie, Förderkonzepte, Bioökonomiestrategie, EU-Agrarpolitik**
- Biologie: **Synthetische Biologie, Biomoleküle, Genomforschung, Gentechnik, Biokatalysatoren, Enzyme**
- Digitalisierung: **Digitale Landwirtschaft**
- Biobasierte Stadt: **Bauen und Wohnen, Abfallmanagement, urbane Landwirtschaft**

(3) Wirkungskategorien/Bewertungskriterien

Ökologische Wirkungskategorien (**Ressourcenverbrauch (biogene Ressourcen, Fläche), Nutzungskonkurrenz, Biodiversität, Wasserverbrauch, Boden, THG, weitere Luftschadstoffe**)

Ökonomische Wirkungskategorien (**Technologischer Fortschritt**)

Soziale Wirkungskategorien (**Akzeptanz, soziale Aspekte, Gesundheitsbelastungen**)

(4) Zeitliche und räumliche Ebene

Bis 2050, regional (Stadt/Land), national, europäisch, global

Quelle: eigene Zusammenstellung

In Bezug auf das Scanfeld „Wirtschaft“ (unter Punkt 2 in Tabelle 3-1) wurde zu den folgenden Wirtschaftssektoren recherchiert: Energiesektor, Verkehrssektor, chemische Industrie, Pharmaindustrie, Ernährungsindustrie, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Bausektor und verarbeitendes Gewerbe (Anlagenbau, Automobilindustrie, Konsumgüterindustrie, Textilindustrie).

Der durchgeführte Scanprozess resultierte in einer sogenannten Longlist künftig möglicher Bioökonomiepfade (s. Anhang).

3.2 Kriterien zur Beschreibung und Bewertung künftig möglicher Bioökonomiepfade

Neben Beschreibungen und Klassifizierungen anhand der Informationen aus dem Scanprozess (siehe Kap. 3.1) wurde jeder Bioökonomiepfad der Longlist anhand der folgenden Kategorien eingestuft bzw. bewertet:

- Den einzelnen Bioökonomiepfaden wurden **Wirtschaftsbereiche** zugeordnet (s. Kap. 3.1). Bei Pfaden, denen mehr als ein Wirtschaftsbereich zugeordnet werden konnte wurde wie folgt vorgegangen: Bei zwei möglichen Zuordnungen wurde der dominierende Wirtschaftsbereich angegeben, bei drei und mehr möglichen Zuordnungen wurde die Kategorie „übergreifend“ definiert.
- Die **Mengenrelevanz** bezieht sich auf den Rohstoffbedarf des Pfades: Unter der Annahme, dass sich ein künftig möglicher Bioökonomiepfad erfolgreich weiterentwickelt, wurde der Bedarf an biogenen Ressourcen qualitativ durch das Projektteam eingeordnet. Für die Einordnung wurde eine dreistufige Skala gewählt:
 - Die Mengenrelevanz wird als **hoch** bewertet, wenn eine starke Zunahme der Biomassenutzung erwartet wird oder große Mengen an bestehenden Biomassenutzungen adressiert werden.
 - Die Mengenrelevanz wird als **mittel** bewertet, wenn eine moderate Zunahme der Biomassenutzung erwartet wird oder moderate Mengen an bestehenden Biomassenutzungen adressiert werden.
 - Die Mengenrelevanz wird als **gering** bewertet, wenn eine geringe Zunahme der Biomassenutzung erwartet wird oder geringe Mengen an bestehenden Biomassenutzungen adressiert werden.
- Die **Biomassenutzung** wurde für jeden künftig möglichen Bioökonomiepfad auf Basis der Angaben in den analysierten Referenzen nach
 - a) dem genutzten Biomassetyp,
 - b) bestehender bzw. zusätzlicher Nutzung und
 - c) einer angestrebten Optimierung (siehe Tabelle 3-2) charakterisiert.

Tabelle 3-2: Charakterisierung der künftig möglichen Bioökonomiepfade in Bezug auf Biomassetyp und –nutzung

a) Auf welchem Biomassetyp basiert der Pfad?	b) Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?	c) Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?
<ul style="list-style-type: none"> • Landwirtschaftliche Anbaubiomasse (Feldfrüchte, Energiegräser, Kurzumtriebsplantagen (KUP)) • Landwirtschaftliche Reststoffe (Stroh etc.) • Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse (Stammholz) • Forstwirtschaftliche Reststoffe (Restholz) • Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, etc.) • Tierprodukte • Abfall- und Reststoffe ohne Flächenbezug • Strombasierte Kohlenwasserstoffe (PtCC), künstliche Photosynthese • Sonstiges (z.B. Pharmaka) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bestehende Biomassenutzung • Zusätzliche Biomassenutzung (Zunahme bestehender Nutzung, neue Nutzung) • Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion (gleiche Nachfrage, aber optimiert bereitgestellt) • Verringerung der Produktionsleistung • Keine Angabe
Mehrfachnennung¹⁰ möglich		Einfachnennung

Quelle: eigene Zusammenstellung

Auf Basis dieser Charakterisierung wurde eingestuft, ob ein Pfad zu einer Be- oder Entlastung der Biomassenutzung führt.¹¹ Die folgenden Kategorien wurden für die Einstufung genutzt. Zur Erläuterung ist je ein Beispiel aus der Longlist angeführt (siehe Details in Tabelle 5-2 im Anhang).

- Belastung durch neue Biomassenutzung (z.B. Pfad „Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor“: zusätzliche Nutzung diverser Biomassetypen, Effizienzsteigerungen sind kein explizites Ziel)
- Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung (z.B. Pfad „Bio-raffination als Herstellungsverfahren biogener Produkte“: sowohl bestehende als auch zusätzliche Nutzung diverser Biomassetypen, Effizienzsteigerung ist ein explizites Ziel)

¹⁰ Mit Nennung ist die Anzahl des Auftretens eines Merkmals in der Longlist gemeint.

¹¹ Die Begriffe Be- und Entlastung sind an dieser Stelle im Sinne einer Zu- und Abnahme zu verstehen. Sie werden hier genutzt, um die gleiche Begrifflichkeit wie in der detaillierten Bewertung der Pfade der Shortlist in Kapitel 4.2 zu verwenden.

- +/- unveränderte Biomassenutzung (z.B. Pfad „Herstellung von Biopharmazeutika auf Basis von gentechnischen Methoden“: Die Verfahrensoptimierung führt zu keiner wesentlichen Veränderung der Biomassenutzung)
- Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung (z.B. Pfad „In-vitro-Fleischherstellung“: mit bestehenden Futtermitteln wird Fleisch effizienter erzeugt)
- Entlastung durch Reduzierung der Biomassenutzung (z.B. Pfad „Einsatz von künstlicher Photosynthese zur Herstellung von Biowasserstoff oder anderen Biobrennstoffen“: Die künstlich erzeugten Kohlenwasserstoffe führen zu einer Reduzierung der Nutzung biogener Rohstoffe)
- Entlastung durch Erschließen ungenutzter Biomassepotenziale (z.B. Pfad „Integriertes Off-Shore Management (Windkraft und marine Aquakultur)“: Die Erschließung neuer Produktionsstandorte verringert den Nutzungsdruck für andere biogene Rohstoffe)

3.3 Die Rolle von Megatrends für die Entwicklung künftig möglicher Bioökonomiepfade

Bei der künftigen Entwicklung möglicher Bioökonomiepfade spielt auch eine Rolle, inwieweit diese durch Megatrends beeinflusst werden. **Megatrends** beschreiben bereits bestehende, übergreifende Pfade, die zahlreiche gesellschaftliche Bereiche beeinflussen (siehe Kasten 3). Anhand der Megatrends Bevölkerungswachstum, Urbanisierung, Technologischer Fortschritt (inklusive Digitalisierung), Wirtschaftswachstum, Nutzungskonkurrenz und Klimawandel wird qualitativ aufgezeigt, wie sie Bioökonomiepfade beeinflussen können.

Kasten 3: Megatrends

Megatrends sind langfristige gesellschaftliche Entwicklungen, die soziale, ökonomische, ökologische, politische und gesellschaftliche Veränderungen nach sich ziehen (Naisbitt 1982). So definiert EEA (2007) Megatrends als “those trends visible today that are expected to extend over decades, changing slowly and exerting considerable force that will influence a wide array of areas, including social, technological, economic, environmental and political dimensions.” Damit werden Megatrends als Treiber für eine zukünftige Entwicklung gesehen. EEA (2011) unterteilt in fünf verschiedene Arten von Megatrends: soziale, technologische, ökonomische, ökologische und politische Megatrends. Allerdings weisen sie auch daraufhin, dass zahlreiche Abhängigkeiten und Interdependenzen zwischen diesen Clustern bestehen. Dabei gehen sie davon aus, dass die Megatrends weitreichende Auswirkungen haben können. Dies bezieht sich sowohl auf kritische Konsequenzen als auch auf potenzielle Chancen (EEA 2011). EEA (2015) definiert elf Megatrends: Bevölkerungswachstum, Urbanisierung, Anstieg von Pandemien, Technologischer Fortschritt, Wirtschaftswachstum, Strukturwandel, Nutzungskonkurrenz, Inanspruchnahme der Umwelt, Klimawandel, Umweltverschmutzung und Diversifizierung und Governance.

3.4 Ergebnisse zu künftig möglichen Bioökonomiepfaden

Der angewandte Scanprozess führte zu einer Longlist von über 100 künftig möglichen Bioökonomiepfaden. Verwandte Pfade wurden geclustert, so dass die Longlist abschließend 58 künftig mögliche Entwicklungslinien enthält (siehe Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2 im Anhang).

3.4.1 Wirtschaftsbereiche und Mengenrelevanz

Die Verteilung der identifizierten Bioökonomiepfade auf die Wirtschaftssektoren zeigt, in welchen Sektoren künftig mit Innovationen aus der Bioökonomie zu rechnen ist. Die Wirtschaftssektoren Energieversorgung und Ernährungsindustrie traten mit jeweils 12 Nennungen am häufigsten auf. Mit jeweils sieben Nennungen bewegen sich die Wirtschaftssektoren Verkehr (inkl. Transport), verarbeitendes Gewerbe sowie Landwirtschaft im Mittelfeld. Dem Wirtschaftssektor chemische Industrie konnten vier Nennungen zugeordnet werden. Der Pharmaindustrie, dem Baugewerbe und der Gruppe „Sonstige“ wurden je nur 2 Nennungen zugeordnet. Drei Pfade wurden als „übergreifend“ eingestuft. Dabei handelt es sich um zwei gentechnische Pfade und einen Pfad zur Digitalisierung (vgl. Tabelle 3-3).

Die Mengenrelevanz der einzelnen Pfade zeigt folgendes Bild: Bei mehr als der Hälfte der identifizierten künftig möglichen Bioökonomiepfade (30 Pfade) wurde die Mengenrelevanz als niedrig eingeschätzt. Eine mittlere Mengenrelevanz wurde 19 Pfaden, eine hohe Mengenrelevanz 9 Pfaden zugeordnet.

Im Hinblick auf den Wirtschaftssektor Forstwirtschaft ist herauszustellen, dass hier keine direkte Nennung auftrat, aber Holz in anderen Sektoren (z.B. für Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen aus Waldholz) als Rohstoff eingesetzt wird und damit die Forstwirtschaft indirekt in anderen Wirtschaftssektoren berücksichtigt ist.

Tabelle 3-3: Anzahl Nennungen künftig möglicher Bioökonomiepfade je Wirtschaftssektor

Wirtschaftssektoren	Anzahl der künftig möglichen Bioökonomiepfade	Mengenrelevanz niedrig	Mengenrelevanz mittel	Mengenrelevanz hoch
Energieversorgung	12	6	3	3
Ernährungsindustrie	12	7	4	1
Verkehr und Transport	7	4	2	1
Landwirtschaft	7	4	2	1
Verarbeitendes Gewerbe	7	3	4	0
Chemische Industrie	4	0	2	2
Übergreifend (mehr als zwei Sektoren)	3	2	1	0
Pharmaindustrie	2	2	0	0
Baugewerbe	2	0	1	1
Sonstige	2	2	0	0
Summe	58	30	19	9

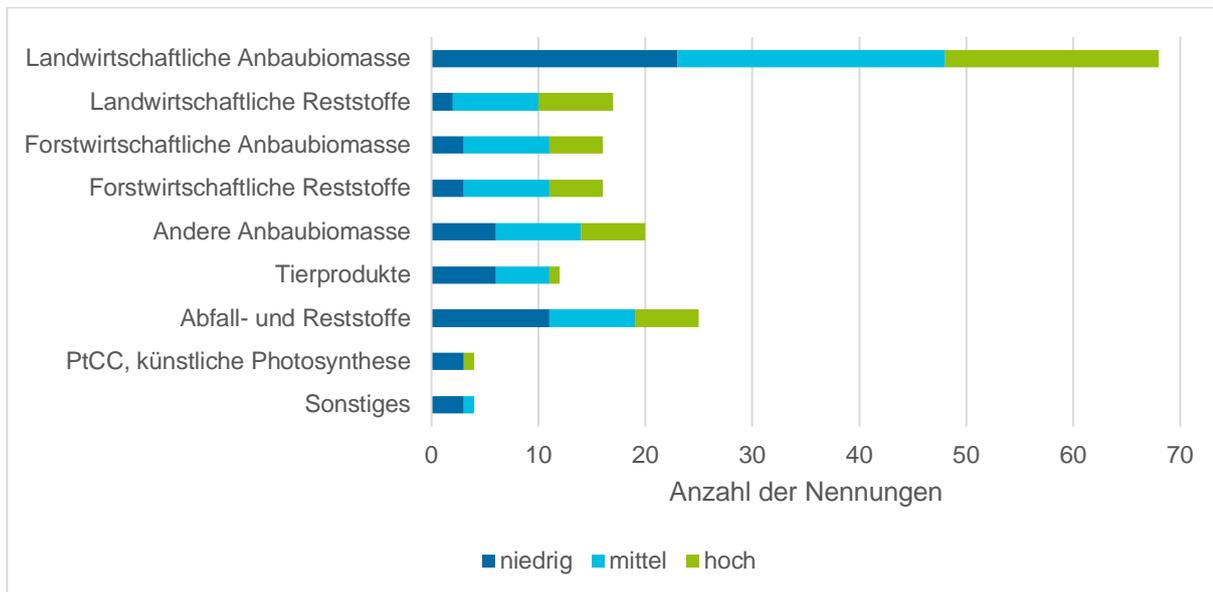
Quelle: eigene Zusammenstellung

3.4.2 Biomassenutzung

In künftig möglichen Bioökonomiepfaden können unterschiedliche Biomassetypen eingesetzt werden. Beispielsweise sind für die Herstellung von Bau- und Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor landwirtschaftliche Anbaubiomassen (Feldfrüchte, Energiegräser, KUP) und Reststoffe (z.B. Stroh), Stamm- und Restholz aus dem Wald, andere Anbaubiomassen wie Algen und Seegras sowie Reststoffe ohne konkreten Flächenbezug einsetzbar. In den betrachteten 58 Pfaden erfolgten insgesamt 182 Nennungen¹² zu verschiedenen Biomassetypen. Welche biogenen Rohstoffe künftig zum Einsatz kommen, ist mit großen Unsicherheiten behaftet und stark von der technologischen Entwicklung beeinflusst. Eingedenk dieser Unsicherheiten zeigte sich, dass landwirtschaftliche Anbaubiomasse mit 68 Nennungen am häufigsten in künftig möglichen Bioökonomiepfaden eingesetzt wird (Abbildung 3-2). Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse kommt mit 16 Nennungen eine deutlich geringere Bedeutung zu. Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft sowie Abfall- und Reststoffe ohne Flächenbezug erreichten zusammen 58 Nennungen.

¹² Mehrfachnennungen möglich, wenn einem Pfad mehrere Biomassetypen zugeordnet werden können.

Abbildung 3-2: Anzahl der Nennungen der Biomassetypen, die in künftig möglichen Bioökonomiepfaden eingesetzt werden in Bezug der Mengenrelevanz des Rohstoffs

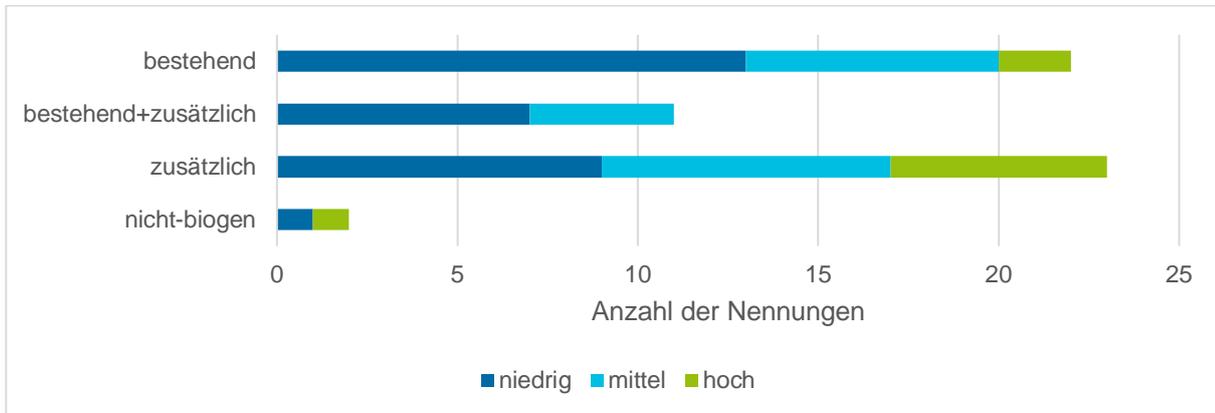


Quelle: eigene Darstellung. Mehrfachnennung möglich. Datengrundlage: 182 Nennungen in 58 Pfaden (Mehrfachnennung möglich).

Neben der Frage, welcher Biomassetyp genutzt wird, wurde geprüft, welche Mengenrelevanz (niedrig, mittel, hoch) mit dem Einsatz des spezifischen Biomassetyps verbunden ist. Die Verteilung der Mengenrelevanz in Abhängigkeit vom Biomassetyp ist ebenfalls in Abbildung 3-2 dargestellt. Hier zeigt sich, dass Pfade, die häufig landwirtschaftliche Anbaubiomasse einsetzen, zu je einem Drittel eine niedrige, mittlere und hohe Mengenrelevanz aufweisen. Bei landwirtschaftlichen Reststoffen, forstwirtschaftlicher Anbaubiomasse, forstwirtschaftlichen Reststoffen sowie anderer Anbaubiomasse (Algen, Seegras) überwiegt eine mittlere bis hohe Mengenrelevanz. Pfade, die Abfall- und Reststoffe einsetzen, wurden etwa zur Hälfte niedrige Mengenrelevanzen zugeordnet (vgl. Abbildung 3-2).

Auf Grundlage der Auswertung der eingesetzten Biomasse und ihrer Mengenrelevanz stellt sich die Frage, ob die Pfade eine bestehende Biomassenutzung adressieren oder ob die Pfade eine zusätzliche Nutzung und damit eine Ausweitung des biogenen Rohstoffeinsatzes induzieren. Abbildung 3-3 stellt für die Biomassenutzung dar, ob es sich um eine bereits bestehende Nutzung, eine bereits bestehende und auch zusätzliche Nutzung, eine ausschließlich zusätzliche Nutzung oder eine nicht-biogene Nutzung handelt. Parallel wird die Mengenrelevanz der eingesetzten Biomasse in die Bewertung einbezogen. Es zeigt sich, dass die künftig möglichen Bioökonomiepfade etwa gleich häufig einer bereits bestehenden sowie einer zusätzlich induzierten Biomassenutzung zugeordnet werden können. Jedoch ist die Mengenrelevanz für zusätzlich induzierte Biomassenutzungen in der Tendenz höher als für bestehende Biomassenutzungen (vgl. Abbildung 3-3). Daher wird davon ausgegangen, dass höhere Mengen an zusätzlicher Biomasse für die Umsetzung der bioökonomischen Pfade bereitgestellt werden müssen.

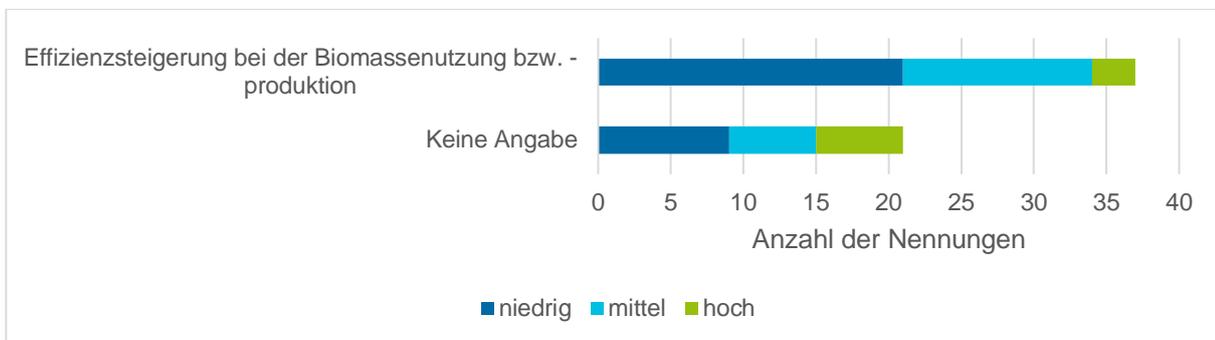
Abbildung 3-3: Anzahl der Nennungen der bestehenden bzw. zusätzlich induzierten Biomassenutzung, Nutzung von nicht-biogenen erneuerbaren Kohlenstoffverbindungen



Quelle: eigene Darstellung. Einfachnennung. Datengrundlage: 58 Pfade (Mehrfachnennung nicht möglich).

Aufbauend auf den Ergebnissen zum Einsatz von verschiedenen Biomassetypen wird der Einfluss von Effizienzsteigerungen auf die Biomassenutzung bzw. -produktion bewertet. Der Einsatz von neuen Technologien oder die Verbesserung von Produktionsprozessen kann dazu beitragen, den Einsatz von Rohstoffen zu reduzieren. In Abbildung 3-4 wird deutlich, dass bei etwa zwei Dritteln der künftig möglichen Bioökonomiepfade Effizienzsteigerung eine Rolle spielt.

Abbildung 3-4: Anzahl der Nennungen der Effizienzsteigerung der Biomassenutzung bzw. -produktion



Quelle: eigene Darstellung. Einfachnennung. Datengrundlage: 58 Pfade (Mehrfachnennung nicht möglich).

Des Weiteren stellte sich die Frage, in wieweit ein künftig möglicher Bioökonomiepfad zu einer Be- oder Entlastung der Biomassenutzung führt. Abbildung 3-5 stellt für die Pfade mit einer mittleren oder hohen Mengenrelevanz (in Summe 28 Pfade) die Anzahl der Nennungen je Biomassetyp und Belastungskategorie dar (in Summe 94 Nennungen).

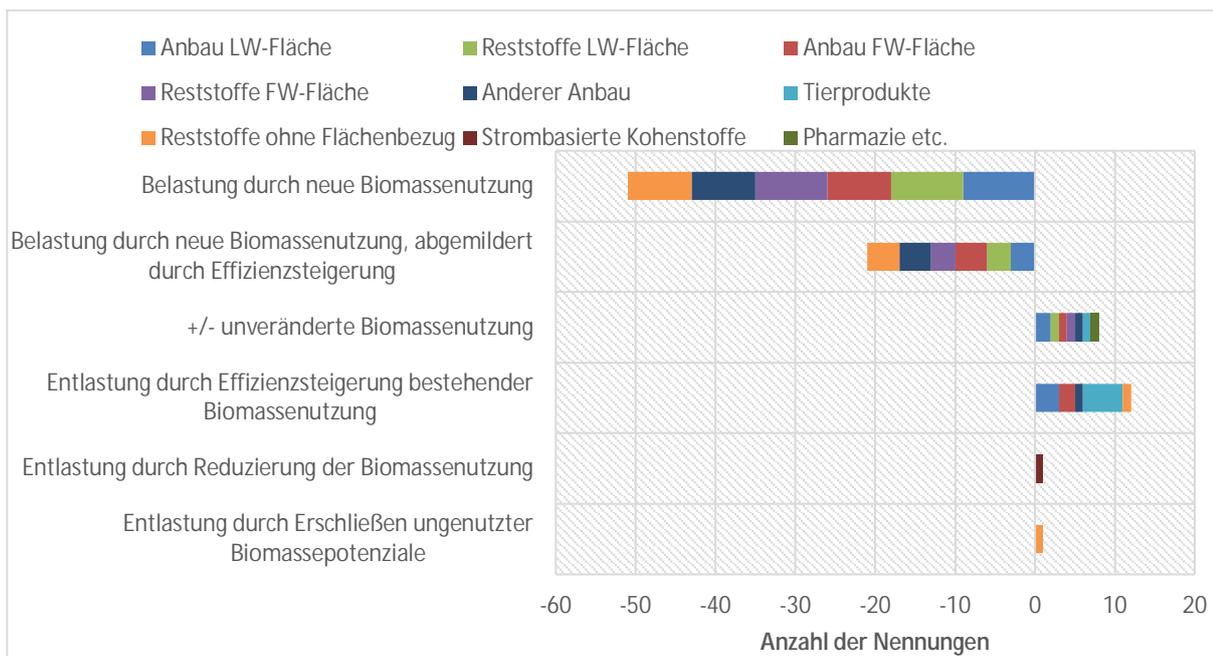
Es zeigt sich, dass sich für die künftig möglichen Bioökonomiepfade zu einem großen Teil neue und damit zusätzliche Biomassenutzungen einstellen würden (72 Nennungen; Abbildung 3-5). Bei einigen Pfaden (21 Nennungen) wird erwartet, dass Belastungen durch zusätzliche Biomassenutzungen auftreten, aber diese gleichzeitig durch Effizienzmaßnahmen¹³ abgemildert werden. Der zusätzliche

¹³ Diese sind überwiegend technologischer Art.

Biomassebedarf bezieht sich v. a. auf Anbaubiomasse aus der Land- und Forstwirtschaft (48 Nennungen zu Anbaubiomasse und Reststoffen mit Flächenbezug wie Stroh oder Restholz). Lediglich 12 Nennungen beziehen sich auf Reststoffe ohne Flächenbezug. Dabei handelt es sich z.B. um Reststoffe in der Sägeindustrie oder um kommunale oder gewerbliche Abfälle (Abbildung 3-5).

Demgegenüber wird eine Entlastung der Biomassenutzung in den analysierten Pfaden in einem deutlich geringeren Umfang erwartet (14 Nennungen; Abbildung 3-5). Eine Entlastung ist vor allem durch eine Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzungen zu erwarten (12 Nennungen). Dazu gehören technologische Effizienzsteigerungen wie z.B. beim Pfad „In-vitro-Fleischherstellung“, „biologische Vorbehandlung von Strohpellets zur Qualitätssteigerung“ oder bei „Optimierung der Effizienz von Biogasanlagen“ (für weitere Beispiele vgl. Tabelle 5-2 im Anhang). Diese Effizienzsteigerung kann den gleichen Output in Form von Nahrung, Biomaterialien oder Bioenergie bei einer Reduzierung der bereits bestehenden Biomassenutzung erreichen, so dass der Nutzungsdruck auf biogene Rohstoffe entlastet wird. Die Reduzierung der Biomassenutzung bzw. die Erschließung neuer Biomassepotenziale spielt mit je einer Nennung eine untergeordnete Rolle (Abbildung 3-5).

Abbildung 3-5: Zu erwartende Be- und Entlastung der Biomassenutzung durch künftig mögliche Bioökonomiepfade mit einer mittleren oder hohen Mengenrelevanz, differenziert nach Einsatz der Biomassetypen



Quelle: eigene Darstellung. Dargestellt sind Ergebnisse zu Bioökonomiepfaden mit mittlerer oder hoher MR. LW = Landwirtschaft, FW = Forstwirtschaft. Datengrundlage: 94 Nennungen in 28 Pfaden mit mittlerer oder hoher Mengenrelevanz (Mehrfachnennung möglich). Zur besseren Visualisierung werden Nennungen zur Belastung mit negativen und zur Entlastung mit positiven Werten dargestellt.

3.4.3 Megatrends

Megatrends (s. Definition in Kasten 3) haben einen großen Einfluss auf bestehende und künftig mögliche Bioökonomiepfade. Im Folgenden wird die Auswirkung ausgewählter Megatrends auf die Entwicklung von künftig möglichen Bioökonomiepfaden diskutiert.

Megatrend Bevölkerungswachstum

Im Jahr 1950 betrug die globale Bevölkerung 2,5 Mrd. Menschen (UN 2019). Sie verdreifachte sich bis 2019 auf einen Wert von 7,7 Mrd. Menschen. Bis 2050 wird von den Vereinten Nationen ein weiterer Anstieg der Bevölkerung auf 9,7 Mrd. Menschen prognostiziert. Die Zunahme der Bevölkerung wird von UN (2019) vor allem in der Ländergruppe „Less developed regions (excluding China)“ erwartet. Dieser Megatrend Bevölkerungswachstum führt in den kommenden Jahrzehnten zu einer steigenden Nachfrage nach Rohstoffen. In Bezug auf biogene Rohstoffe ist ein deutlicher Anstieg der Nachfrage nach Nahrungsmitteln und damit nach Anbaufläche für pflanzliche Nahrung und Viehfutter zu erwarten (Priefer et al. 2017). Steigender Wohlstand und veränderte Ernährungsmuster hin zu mehr Tierprodukten verstärken diese Entwicklung. Eine weitere Auswirkung dieses Megatrends ist der Anstieg der Energienachfrage, die einen Anstieg der Nachfrage nach Bioenergie und benötigter Anbaufläche implizieren kann (UBA 2013, FAO 2019, WEC 2019). Der Megatrend Bevölkerungswachstum beeinflusst durch den Anstieg der Nachfrage nach biogenen Rohstoffen sämtliche künftig mögliche Bioökonomiepfade, zum einen über den steigenden Nutzungsdruck bzw. die Knappheit an biogenen Rohstoffen und zum anderen über die Notwendigkeit, dem durch eine Optimierung von Pfaden entgegenzuwirken. Auch wenn der Megatrend Bevölkerungswachstum mit einem Schwerpunkt in „weniger entwickelten Regionen“ auftreten wird, ist zu erwarten, dass sich durch global vernetzte Märkte ein global steigender Nutzungsdruck auf biogene Ressourcen bzw. auf land- und forstwirtschaftliche Flächen und Fischerei einstellen wird. Dies ist mit ökologischen und sozialen Risiken verbunden (IPCC 2019, Kiresiewa et al. 2018) und kann auf andere Megatrends wirken (EEA 2015). So steht z.B. die Umwandlung natürlicher Flächen zu Anbauflächen oder der Einschlag in ungenutzten Wäldern in direktem Zusammenhang mit dem Megatrend. Inanspruchnahme von Umwelt und damit verbundene Emissionen verstärken den Megatrend Klimawandel. Ein verstärkter Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden in der Landwirtschaft wirkt sich negativ auf den Megatrend Umweltverschmutzung aus, die erhöhte Nachfrage nach biogenen Ressourcen verstärkt den Megatrend Nutzungskonkurrenz und das Bevölkerungswachstum an sich ist ein wichtiger Treiber für den Megatrend Urbanisierung.

Megatrend Klimawandel

IPCC (2019) zeigt, dass die globale Erderwärmung insbesondere für die Land- und Forstwirtschaft als Rohstoffproduzenten deutliche negative Folgen haben kann. Der Megatrend Klimawandel führt durch veränderte Temperatur- und Niederschlagsregime zu einer Verschiebung von Anbaugebieten für landwirtschaftliche Kulturen. Je nach Veränderung des Klimas in einer Region kann es zu einer Verbesserung oder Verschlechterung von Anbaubedingungen kommen. Zudem treten aufgrund des Megatrends Klimawandel vermehrt Wetterextreme auf (Dürre, Extremtemperaturen, Starkregenereignisse), die zu Ernteaussfällen führen können. Der Anstieg des Meeresspiegels birgt zudem die Gefahr, dass küstennahe land- und forstwirtschaftliche Anbauflächen versalzen oder überschwemmt werden und die bisherige Biomasseproduktion nicht mehr möglich ist (UBA 2012). Die Veränderung des Klimas kann auch zu einer Degradation von Böden führen und die Produktivität von Standorten verringern, was vor allem aus einem Verlust an Bodenkohlenstoff resultiert. Der Megatrend

Klimawandel ist zudem ein wichtiger Faktor für die aktuellen Verluste der Biodiversität und damit für den Verlust von Ökosystemdienstleistungen wie die Bestäubung von Nutzpflanzen (IPCC 2018, IPCC 2019, FAO 2018, FAO 2019, UBA 2012). Auch die Produktivität und Stabilität von Waldökosystemen kann sich durch den Klimawandel reduzieren, so dass die Bedeutung der Wälder als Rohstoffquelle für die Bioökonomie abnehmen kann. Zudem kann die Wirkung von Wäldern als Kohlenstoffspeicher abnehmen, bzw. Waldflächen zu einer Kohlenstoffquelle werden (UBA 2012, IPCC 2019). In Summe ist festzustellen, dass die Biomasseproduktion signifikant durch den Megatrend Klimawandel beeinflusst wird, so dass in der Land- und Forstwirtschaft Anpassungen an den Klimawandel nötig sind bzw. das Risiko besteht, dass die Biomasseproduktion als Rohstofflieferant der Bioökonomie abnimmt. Damit wirkt der Megatrend Klimawandel auf alle künftig möglichen Bioökonomiepfade, die Rohstoffe aus land- oder forstwirtschaftlicher Anbaubiomasse nutzen oder optimieren. Auch ist zu betonen, dass global die landwirtschaftliche Produktion als zentraler Bestandteil der Bioökonomie zu etwa einem Drittel zu den Treibhausgasemissionen beiträgt (Methan aus der Tierhaltung, Lachgas aus Stickstoffdüngung, CO₂ aus Landnutzungsänderung). Eine Intensivierung der Land-, aber auch der Forstwirtschaft verstärkt so den Megatrend Klimawandel.

Megatrend Nutzungskonkurrenz

Durch die global steigende Nachfrage nach Rohstoffen nimmt der Megatrend Nutzungskonkurrenz aktuell zu (EEA 2015). Der Megatrend Nutzungskonkurrenz wird deutlich durch die Megatrends Bevölkerungswachstum und Wirtschaftswachstum und z.T. durch den Megatrend Klimawandel (z.B. bei Abnahme der Produktion biogener Rohstoffe) verstärkt. Auch durch eine Ausweitung der Bioökonomie ist zu erwarten, dass eine steigende Nachfrage nach biogenen Rohstoffen zu einer Zunahme des Megatrends Nutzungskonkurrenz führt. Die Nutzungskonkurrenz wirkt sich im Gegenzug auch auf die Bioökonomie aus. Biogene Rohstoffe werden in unterschiedlichen Sektoren für Nahrung und Futter, Energie, Rohstoffen in der chemischen Industrie bis hin zu Baustoffen nachgefragt. Dabei wird häufig um gleiche Rohstoffe wie Palmöl oder Holz konkurriert, oder die Konkurrenz findet auf Ebene der Anbaufläche statt. Die Nutzungskonkurrenz erhält zudem durch international vernetzte Handelsstrukturen eine globale Dimension, so dass unterschiedliche Sektoren in unterschiedlichen Ländern miteinander in Konkurrenz stehen können. Es ist zu erwarten, dass die Weltmarktpreise für landwirtschaftliche Rohstoffe durch den Anstieg der Nutzungskonkurrenz deutlich steigen werden (Chakravorty et al. 2017). Nutzungspfade mit hohen monetären Gewinnerwartungen – oder mit hoher politischer Förderung (z.B. starke Förderung von Bioenergie in Deutschland) – verdrängen weniger lukrative Nutzungen (z.B. Biomassenutzung in der chemischen Industrie) (EEA 2015). Die Nutzungskonkurrenz kann auch auf Ökosystemdienstleistungen ausgeweitet werden, da eine intensivere Nutzung biogener Ressourcen in der Bioökonomie zu einer Belastung der Umwelt und damit einer Abnahme der Ökosystemdienstleistungen führen kann (vgl. EEA 2015).

Des Weiteren gehen EEA (2015) davon aus, dass die ungleiche geografische Verteilung einiger Ressourcen die Preisvolatilität weiter erhöht und den Lebensstandard negativ beeinflusst. Im Fall der Nutzung von biogenen Rohstoffen werden Landnutzungskonflikte weiter verschärft.

Megatrend Urbanisierung

Im Megatrend Urbanisierung wird erwartet, dass vor allem in „weniger entwickelten Regionen“ die Einwohnerzahl der Städte aufgrund des Bevölkerungswachstums ansteigt. Wie im Megatrend Bevölkerungswachstum dargestellt, ist allein durch die Zunahme der Bevölkerung ein Anstieg des Nutzungsdrucks auf biogene Rohstoffe zu erwarten. Die Urbanisierung selbst entkoppelt vermehrt die

Nahrungsproduktion von dem Bedarf und stellt Herausforderungen an die Lebensmittelversorgung einer wachsenden Stadtbevölkerung. Durch diesen Megatrend können Konzepte wie Urban Gardening als städtische Nahrungsmittelproduktion, vertikale Landwirtschaft in mehrstöckigen Gewächshäusern oder Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen (Fisch, Algen) verstärkt zum Einsatz kommen. Auch Pfade zur stofflichen oder energetischen Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen können im Zuge des Megatrends Urbanisierung zunehmen, da Rest- und Abfallstoffe in Ballungsräumen besser mobilisiert werden können (Ding und Wirsching 2017, EEA 2015).

Megatrend technischer Fortschritt/Digitalisierung

Der Megatrend technischer Fortschritt oder auch die Digitalisierung betrifft die gesamte Wertschöpfungskette und wirkt damit großflächig auf die bioökonomischen Pfade. Der Megatrend kann positive Wirkung entfalten, v.a. wenn durch den Einsatz von digitaler Technik Ressourcen effizienter genutzt werden. Beispielsweise eröffnen sich in der Landwirtschaft im Rahmen des Precision Farming neue Möglichkeiten, mit Hilfe von Anwendungssoftware Wetter-, Pflanzen- und Bodendaten auszuwerten und durch eine Reduzierung der Dünge- und Pestizidgabe Anbauflächen nachhaltiger zu bewirtschaften. In der Pflanzenzüchtung beispielsweise kann eine große Menge an genetischen Daten auf gewünschte Eigenschaften gescreent werden. Dieser technische Fortschritt wird aber von Risiken und hohen Unsicherheiten beim Anbau gentechnisch veränderter Feldfrüchte überlagert (EEA 2015).

Megatrend Wirtschaftswachstum

Der Megatrend Wirtschaftswachstum ist ebenfalls ein starker Treiber bioökonomischer Pfade. Die Wirtschaftsleistung wird sich den Prognosen zufolge zwischen 2010 und 2050 verdreifachen. Der wachsende Wohlstand kann dazu führen, dass weltweit Armut verringert wird. Hier bedarf es allerdings einer Reduktion der sozialen Ungleichheiten. Es ist zu vermuten, dass dieser Megatrend einerseits Wohlstand erhöht, aber die weltweite Armut nicht reduzieren wird (Cingano 2014, Afonso et al. 2016, Mahnkopf 2017). Hinzu kommt, dass ein Anstieg der Wirtschaftsleistung auch mit zunehmenden Umweltbelastungen einhergehen kann (EEA 2015). Im Falle bioökonomischer Pfade erhöht dieser Megatrend den Bedarf an Ressourcen, wie z.B. beim Einsatz von biogenen Ressourcen in der Plattformchemie oder um den steigenden Bedarf in der Energieversorgung zu decken. Ein zentraler Zielkonflikt besteht zwischen BIP-Wachstum und ökologischer Nachhaltigkeit: Wenn die Wirtschaft nicht weiter verstärkt dekarbonisiert wird, erhöht das Wirtschaftswachstum die Treibhausgasemissionen (Lindner 2017). Damit ist das BIP als Maß für menschliches Wohlergehen und Wohlstand kein angemessener Indikator für Nachhaltigkeit.

Es wird deutlich, dass die globalen Megatrends einen starken Einfluss auf bioökonomische Pfade haben. Sie können dabei sowohl positiv zur Umweltentlastung beitragen (z.B. durch Effizienzverbesserung durch Digitalisierung), aber auch negative, umweltbelastende Effekte weiter verstärken.

4 Beschreibung ausgewählter künftig möglicher Bioökonomiepfade und deren Bewertung

Ein Ziel der Studie war es, sechs ausgewählte künftige Bioökonomiepfade (Shortlist) in Form von Steckbriefen detailliert zu beschreiben und zu bewerten. Die Bewertung erfolgte auf Basis einer Einschätzung, mit welchen Umweltbe- und/oder -entlastungen diese Pfade verbunden sind.¹⁴ In Kapitel 4.1 wird das Vorgehen zur Zusammenstellung der Shortlist beschrieben. Die Struktur der Steckbriefe wird in Kapitel 4.2 und die Bewertungsmethode in Kapitel 4.2 erläutert. Die Steckbriefe sind in Kapitel 4.3 zusammengestellt.

4.1 Auswahl von Bioökonomiepfaden

4.1.1 Auswahlkriterien

Für die Auswahl der sechs künftig möglichen Bioökonomiepfade aus den 58 Pfaden der Longlist wurden die folgenden zwei Kriterien angewendet:

1. Die Mengenrelevanz des Rohstoffbedarfs (siehe Kapitel 3.2) des künftig möglichen Bioökonomiepfads wird als hoch oder mittel bewertet. Es werden Pfade ausgewählt, auf die einer oder mehrere der folgenden drei Aspekte zutrifft:

- a) Es wird eine relevante Nutzung zusätzlicher Biomasse erwartet¹⁵.
- b) Es wird eine signifikante Verdrängung bestehender Biomassennutzungen bewirkt.
- c) Es erfolgt eine Optimierung bestehender Biomassennutzungen.

Das Kriterium Mengenrelevanz soll sicherstellen, dass die Auswahl der Pfade das Potenzial birgt, künftig möglichen Veränderungen in der Bioökonomie und damit einhergehende Zielkonflikte sichtbar zu machen.

2. Die ausgewählten Pfade spiegeln unterschiedliche Wirtschaftsbereiche wider (siehe Kapitel 3.2 und 3.4). So soll erreicht werden, dass Spezifika einzelner Wirtschaftsbereiche in der detaillierten Analyse repräsentiert sind.

Eine mittlere oder hohe Mengenrelevanz kann für 28 der 58 identifizierten Pfade erwartet werden. Des Weiteren decken diese 28 Pfade alle Wirtschaftsbereiche ab (siehe Tabelle 3-3 in Kapitel 3.4). Einzige Ausnahme ist die Pharmaindustrie, da hier alle identifizierten zukünftig möglichen Bioökonomiepfade mit einer niedrigen Mengenrelevanz bewertet wurden.

Eine erste Auswahl an Pfaden für die Shortlist wurde anhand dieser beiden Kriterien erstellt, um sie in einem Workshop mit Expertinnen und Experten zu diskutieren (Kap. 3.2)

¹⁴ Eine Erstellung von Steckbriefen für alle identifizierten, künftig möglichen Bioökonomiepfade war im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

¹⁵ Diese müsste ggf. durch Importe gedeckt werden.

4.1.2 Workshop

Zur wissenschaftlichen Qualitätssicherung des gewählten methodischen Ansatzes und zur Diskussion der Auswahl der Bioökonomiepfade für die Shortlist wurde ein Workshop durchgeführt. Ziel des Workshops war es, mit den Teilnehmenden die folgenden Fragen zu diskutieren:

- Welche künftigen Bioökonomiepfade fehlen Ihnen noch innerhalb der bestehenden Shortlist?
- Was sind aus Ihrer Sicht besondere ökologische Herausforderungen der ausgewählten künftig möglichen Bioökonomiepfade?
- Was ist ein künftig besonders relevanter möglicher Bioökonomiepfad? Welche Probleme kann dieser lösen und gibt es möglicherweise Alternativen?
- Sind die Ziele einer nachhaltigen Bioökonomie im Hinblick auf Erschließung und Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen sowie die Vermeidung von Abfällen angemessen?
- Welche künftig möglichen Bioökonomiepfade sind auch global von Interesse, z.B. für Länder des globalen Südens?
- Wo liegen prioritäre Anwendungen für den Einsatz von biogenen Rohstoffen, z.B. in der Chemieindustrie und im Schwerlastverkehr?

Im Rahmen des Workshops fanden der methodische Ansatz zur Auswahl der Pfade aus der Longlist sowie die Pfade selbst breite Zustimmung. Die Diskussion zeigte, dass die für die Shortlist vorgeschlagenen künftig möglichen Bioökonomiepfade eine ausgewogene Schnittmenge darstellen und sich für eine detaillierte Analyse eignen.

4.1.3 Finale Auswahl

Anhand der Auswahlkriterien in Kapitel 4.1.1 und den Ergebnissen des Workshops (Kapitel 4.1.2) wurde eine abschließende Auswahl an künftig möglichen Bioökonomiepfaden getroffen, die einer detaillierteren Bearbeitung unterzogen werden (siehe Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Auswahl künftig möglicher Bioökonomiepfade (Shortlist)

Künftig mögliche Bioökonomiepfade	Wirtschaftssektoren
Anstieg der Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor	Energie-/Verkehrssektor
Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien)	Chemische Industrie, verarbeitendes Gewerbe
In-vitro-Fleischherstellung (cultured meat)	Ernährungsindustrie, Landwirtschaft
Aquakulturanlage in landbasierten Kreislaufanlagen	Ernährungsindustrie, Landwirtschaft
Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor, u.a. Bauen mit Stroh oder Holz	Bausektor, (Forst- und Landwirtschaft)
Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie	übergreifend über alle Sektoren

Quelle: eigene Zusammenstellung

Die finale Festlegung der im weiteren Verlauf des Projekts zu bearbeitenden künftig möglichen Bioökonomiepfade bezieht sich nicht auf *per se* als ökologisch positiv zu bewertende Pfade, sondern reflektiert die im Auswahlprozess identifizierten potenziellen Anwendungsgebiete der Bioökonomie. Es wird nicht unterstellt, dass sich diese Bioökonomiepfade tatsächlich künftig durchsetzen werden. Die Bewertung bzw. detaillierte Betrachtung der ökologischen, sozialen und ethischen Wirkungen erfolgte erst nach diesem Auswahlprozess.

4.2 Methodik der Bewertung

4.2.1 Vorgehensweise

Im Rahmen des Projektes wurde ein methodisches Vorgehen entwickelt, um potenzielle Be- und Entlastungen für die chemische und biologische Umwelt, für die Ressourceninanspruchnahme und für soziale Aspekte in den ausgewählten Bioökonomiepfaden zu bewerten.

Für einige der betrachteten Pfade bestehen bereits erste ökonomisch tragfähige Anwendungen. Andere Pfade sind technisch bis hin zu ersten Pilotanlagen entwickelt und wieder andere Pfade stellen nur Optionen einer möglichen künftigen Nutzungsform von biogenen Rohstoffen dar. Letztere sind abschließend noch nicht auf ihre Umsetzbarkeit geprüft. Daher sind quantitative Erhebungen möglicher Effekte meist nur wenig belastbar. In Anlehnung an die vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (UBA 2017) erfolgte eine Ex-ante-Bewertung der Pfade daher verbal-argumentativ und überwiegend qualitativ. Dabei wurden die Auswirkungen entlang der Wirkungskette des Pfades betrachtet. Für die Bewertung wurden wissenschaftliche Veröffentlichungen wie z.B. Ökobilanzen, Szenarioanalysen oder quantitative Modellierungen genutzt. Da aber für zahlreiche künftig mögliche Bioökonomiepfade wenig bis keine aktuelle Literatur zu Umweltauswirkungen und sozialen Aspekten vorliegt, wurde für die Bewertung auch auf Informationen ähnlicher Bioökonomiepfade zurückgegriffen oder Einschätzungen durch das Projektteam vorgenommen.

Es wurde nicht analysiert, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass der betreffende künftig mögliche Bioökonomiepfad tatsächlich umgesetzt wird.

Aufbauend auf der Bewertung der Umwelt- und sozialen Aspekte wurden Chancen und Risiken eines Pfades diskutiert. Bei den Chancen wurde betrachtet, welchen Beitrag der Pfad für eine treibhausgasneutrale, ressourcenschonende Gesellschaft leisten kann. Bei den Risiken liegt der Fokus darauf, welche nicht-intendierten Wirkungen für Umwelt und soziale Aspekte auftreten können.

Die dargestellte Bewertungsmethode hat nicht das Ziel, Zukunftsprognosen zu liefern, sondern vielmehr werden umweltpolitische Handlungsfelder identifiziert.

In Anlehnung an die vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (UBA 2017) wurden vier Umweltbelastungskategorien ausgewählt und Prüfindikatoren zugeordnet. Neben den Umweltbelastungskategorien sind soziale Aspekte ebenfalls Teil der Bewertung (siehe Tabelle 4-2). Anhand der Prüfindikatoren wurde bewertet, ob für eine Umweltbelastungskategorie oder soziale Aspekte eine Be- und/oder Entlastung zu erwarten ist.

Tabelle 4-2: Umweltbelastungskategorien und soziale Aspekte sowie zugehörige Indikatoren

Umweltbelastungskategorie und soziale Aspekte	Indikator
chemische Umweltbe- und/oder –entlastung	
THG	Emission im Vergleich zum Einsatz fossiler Rohstoffe
	Emission durch Landnutzungsänderungen
Luftschadstoffe	Freisetzung von Schadstoffen im Vergleich zur fossilen Referenz (Feinstaub, NO _x etc.)
Boden	Schadstoffeinträge durch Pestizide, Düngemittel etc.
Abwasser	Stoffeinträge ins Abwasser, Gewässerbelastung
biologische Umweltbe- und/oder –entlastung	
Agrobiodiversität	genetische Vielfalt Kulturpflanzen
	genetische Vielfalt Tiere
biologische Vielfalt	invasive Arten
	Einfluss auf Schutzgebiete
	Habitatsveränderungen
Ressourceninanspruchnahme (Be- und Entlastung)	
Abiotische Rohstoffnutzung	Verbrauch abiotischer Rohstoffe
Biotische Rohstoffnutzung	Verbrauch biotischer Rohstoffe
Wasserverbrauch	wasserintensive Industrieproduktion
	Bewässerung
Flächennutzung	Beanspruchung von Naturraum
Soziale Aspekte	
Akzeptanz	Mögliche Auswirkungen auf die Akzeptanz in der Bevölkerung
Gesundheit	Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung

Quelle: eigene Zusammenstellung in Anlehnung an UBA 2017¹⁶

Für die oben genannte qualitative Bewertung der Umweltbelastungskategorien und sozialen Aspekte wurde eine vierstufige Bewertungsskala definiert, die nach Entlastung bzw. geringer, mittlerer oder hoher Belastung unterscheidet (siehe Tabelle 4-3). Nach Poschmann et al. (1998) ist eine solche Skalierung bei qualitativen Daten grundsätzlich zulässig und zielführend. So ermöglicht sie eine spezifischere Auswertung und erleichtert die Visualisierung der Ergebnisse. Die durchgeführte

¹⁶ UBA (2017): Vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (VERUM 2.0)

Bewertung erfolgte für jeden künftig möglichen Bioökonomiepfad im Vergleich zur jeweiligen Referenz, die in jedem Steckbrief benannt wurde (siehe Zeile Bewertung).

Tabelle 4-3: Bewertungskategorien der künftig möglichen Bioökonomiepfade im Vergleich zu einer fossilen Referenz

Bewertungsstufe ¹⁸	Umweltbelastungskategorie	Soziale Aspekte (Akzeptanz und Gesundheit)
Entlastung	Es wird eine deutliche Verbesserung im Hinblick auf eine Umweltbelastungskategorie (vgl. Tabelle 4-2) erreicht.	Es wird eine höhere gesellschaftliche Akzeptanz erwartet. Es werden geringere negative Auswirkungen auf die Gesundheit erwartet.
Geringe Belastung	Es wird eine geringe Verschlechterung im Hinblick auf eine Umweltbelastungskategorie erwartet (vgl. Tabelle 4-2).	Es wird eine leicht verringerte gesellschaftliche Akzeptanz erwartet (z.B. in kleinen Teilen der Bevölkerung). Es wird eine leichte Erhöhung negativer Auswirkungen auf die Gesundheit erwartet.
Mittlere Belastung	Es wird eine deutliche Verschlechterung im Hinblick auf eine Umweltbelastungskategorie erwartet (vgl. Tabelle 4-2).	Es wird eine deutlich verringerte gesellschaftliche Akzeptanz erwartet (z.B. in weiten Teilen der Bevölkerung). Es wird eine deutliche Erhöhung negativer Auswirkungen auf die Gesundheit erwartet.
Hohe Belastung	Es wird eine starke bis sehr starke Verschlechterung im Hinblick auf eine Umweltbelastungskategorie erwartet (vgl. Tabelle 4-2).	Es wird eine sehr deutlich verringerte gesellschaftliche Akzeptanz erwartet (z.B. im Großteil der Bevölkerung). Es wird eine starke bis sehr starke Erhöhung negativer Auswirkungen auf die Gesundheit erwartet.

Quelle: eigene Zusammenstellung

In den Steckbriefen wird die Bewertung graphisch zusammenfassend dargestellt. Da sich im Zuge der Bewertungen zeigte, dass Umweltbelastungskategorien und soziale Aspekte häufig nicht eindeutig einer Bewertungsstufe zuzuordnen sind, wurde innerhalb der vier Bewertungsstufen ein visuelles System entwickelt, welches die Bandbreite der Ausprägungen widerspiegelt. Ein voller schwarzer Punkt zeigt an, dass eine Bewertungsstufe voll zutrifft. Ein voller grauer Punkt zeigt an, dass eine Bewertungsstufe nicht zutrifft. Ein halb ausgefüllter schwarzer Punkt steht dafür, dass eine Bewertungsstufe nicht alleine zutrifft, sondern mehrere Bewertungsstufen zutreffen können.

Abbildung 4-1: Graphische Elemente zur Darstellung der Bewertungssystematik

-  Eine Bewertungsstufe trifft voll zu.
-  Die Bewertungsstufe trifft nicht alleine zu. Diese Einstufung kann für zwei oder mehrere Bewertungsstufen zugewiesen werden.
-  Eine Bewertungsstufe trifft nicht zu (z.B. kein Einfluss oder keine Änderung)

Quelle: eigene Darstellung

4.2.2 Aufbau der Steckbriefe

Für die ausgewählten Pfade wurden Steckbriefe erstellt, die drei grundsätzliche Ziele verfolgen:

1. Beschreibung des künftig möglichen Bioökonomiepfads

Neben einer generellen Beschreibung des Bioökonomiepfads und der Wirkungskette¹⁷ werden die folgenden Aspekte beschrieben und diskutiert:

- a) konkurrierende Pfade,
- b) Perspektive des Pfades,
- c) der Wirtschaftssektor,
- d) mögliche Treiber des Pfades,
- e) die zeitliche Perspektive der Entwicklung des Pfades und
- f) die Mengenrelevanz des Pfades in Bezug auf den Einsatz von biogenen Ressourcen.

2. Bewertung des künftig möglichen Bioökonomiepfads im Hinblick auf:

- a) chemische Umweltbe- und/oder -entlastung¹⁸,
- b) biologische Umweltbe- und/oder -entlastung¹⁸,
- c) Ressourceninanspruchnahme (Be- und Entlastung¹⁸) und
- d) soziale Aspekte¹⁸

3. Diskussion zu Chancen und Risiken des künftig möglichen Bioökonomiepfads sowie zu weiteren ethischen Aspekten.

Im Hinblick auf ethische Aspekte ist festzuhalten, dass die berücksichtigten umweltbezogenen und sozialen Aspekte bereits zu einem Teil ethisch motiviert sind und bei der Bewertung daher die ethische Perspektive indirekt betroffen ist. So ist z.B. bei der Emission von Treibhausgasen in Bezug auf die chemische Umwelt zu erwarten, dass hohe THG-Emissionen eine Veränderung des Klimaregimes und einen Meeresspiegelanstieg bewirken werden. Diese Umweltauswirkung birgt ein hohes Risiko, dass es zu negativen Auswirkungen auf die Bevölkerung kommen wird. Dies betrifft vor allem künftige Generationen. Das Ziel Treibhausgase zu mindern ist stark von dem ethischen Aspekt beeinflusst, dass es unsittlich ist, die Weltbevölkerung sowie künftige Generationen mit der Emission von Treibhausgasen zu belasten. Am Beispiel der biologischen Umwelt ist festzustellen, dass die biologische Vielfalt aus anthropozentrischer Sicht zahlreiche Ökosystemdienstleistungen bereitstellt. Zudem kann jeder Art ein intrinsischer Wert zuerkannt werden. Ziele zum Erhalt der biologischen Vielfalt sollen verhindern, dass durch unsittliches menschliches Verhalten die biologische Vielfalt

¹⁷ Unter „Wirkung“ wird die Veränderung der Nutzung durch Akteure und daraus resultierende Änderungen im Zustand von Umwelt und Gesellschaft verstanden. Die Wirkungskette bezieht sich auf Ursache (bestehende Nutzung), Problem (z.B. Umweltbelastung), Ziel (anzustrebende Veränderung), Instrument (Änderungsansätze) und Verhalten (veränderte Nutzung; siehe Details in Wolff et al. 2016).

¹⁸ Die Terminologie Be- und Entlastung lehnt sich an die vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (VERUM 2.0; UBA 2017) an und wird in diesem Projekt in drei Belastungskategorien dokumentiert: hoch, mittel, niedrig.

Im Hinblick auf die Bewertung des sozialen Aspekts „Akzeptanz“ sind die Bewertungsstufen „Entlastung“ und „Belastung“ im Sinne einer Verbesserung bzw. einer Verschlechterung zu interpretieren.

und damit ein Teil der Lebensgrundlage anderer Menschen beeinträchtigt wird oder dass Flora und Fauna dezimiert werden.

Aufbauend auf den Arbeiten der Diskursanalyse in AP 1 (Kiresiewa et al. 2019) wurde festgestellt, dass insbesondere drei Aspekte, die nicht in den Umwelt- und sozialen Aspekten inkludiert sind, für die weiteren Analysen zu den ausgewählten künftig möglichen Bioökonomiepfaden relevant sind:

- Tierwohl bzw. Tierleid
- Gerechtigkeit
- Gentechnische Risiken

In den Steckbriefen der sechs Bioökonomiepfade werden die Aspekte Tierwohl/-leid und Gerechtigkeit betrachtet. Der Aspekt der gentechnischen Risiken wird hingegen als ein eigener Steckbrief „Genome Editing“ vertieft diskutiert und in den übrigen fünf Steckbriefen nicht bewertet.

Die Bewertung in den Steckbriefen ermöglicht es, künftige positive sowie negative Umweltauswirkungen und Auswirkungen auf soziale Aspekte der betrachteten Pfade aufzuzeigen. Dabei werden auch bereits beobachtbare Wirkungen mit einbezogen. Mit den Ergebnissen der Steckbriefe werden Aspekte transparent gemacht, die in der Umweltpolitik künftig stärker Berücksichtigung finden sollten. Ferner kann mit den Steckbriefen weiterer Forschungsbedarf für die berücksichtigten Umwelt- und sozialen Aspekte formuliert werden.

4.3 Ausgewählte bioökonomische Pfade – Steckbriefe

In den folgenden Unterkapiteln werden die Steckbriefe zu den ausgewählten künftig möglichen Bioökonomiepfaden (Shortlist; vgl. Tabelle 4-1) dargestellt. Im Anhang in Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2 finden sich die Ergebnisse für alle Pfade der Longlist, die in Kapitel 3.4 erarbeitet wurden.

Die Steckbriefe sind so konzipiert, dass sie auch als einzelnes Produkt außerhalb dieses Berichts verständlich sind. Dadurch kommt es zwischen den Steckbriefen z.T. zu Wiederholungen. Die Reihenfolge der Steckbriefe orientiert sich an den folgenden vier Themen, die vorrangig durch einen Steckbrief adressiert werden:

Ernährung und Landwirtschaft

- In-Vitro-Fleischherstellung (cultured meat) (Kapitel 4.3.1)
- Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen (Kapitel 4.3.2)

Stoffliche Biomassenutzung

- Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor, u.a. Bauen mit Stroh oder Holz (Kapitel 4.3.3)
- Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien) (Kapitel 4.3.4)

Energetische Biomassenutzung

- Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor (Kapitel 4.3.5)

Übergreifende Anwendung

- Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie (Kapitel 4.3.6)

4.3.1 In-Vitro-Fleischherstellung (cultured meat)

Abbildung 4-2: In-Vitro-Fleischherstellung (cultured meat) im Vergleich zu Fleisch aus der konventionellen Viehhaltung, inklusive Schlachtung und Verarbeitung

Bewertungsaspekt	Wirkungskategorie	Entlastung	geringe Belastung	mittlere Belastung	hohe Belastung
Chemische Umwelt	THG	●	●	●	●
	Luftschadstoffe	●	●	●	●
	Boden	●	●	●	●
	Gewässer	●	●	●	●
Biologische Umwelt	Agrobiodiversität	●	●	●	●
	Biologische Vielfalt	●	●	●	●
Ressourceninanspruchnahme	Nicht-biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	Wasserverbrauch	●	●	●	●
	Flächennutzung	●	●	●	●
Sozioökonomische Aspekte	Akzeptanz	●	●	●	●
	Gesundheit	●	●	●	●

- Eine Bewertungsstufe trifft voll zu.
- Die Bewertungsstufe trifft nicht voll zu. Es ist eine Ent- wie auch eine Belastung über alle Skalen möglich.
- Kein Einfluss oder keine Änderung

Quelle: eigene Darstellung

In-Vitro-Fleischherstellung (cultured meat)

Kurzbeschreibung

Mit dem In-Vitro-Verfahren wird künstliches Fleisch für die Nahrungsmittelproduktion hergestellt. Dies ist eine Alternative zur herkömmlichen Fleischproduktion. Hierbei werden Muskelstammzellen eines lebenden Tieres unter Laborbedingungen vermehrt und in großen Bioreaktoren zu verzehrbaren Muskeln, Fett und anderem Gewebe kultiviert. Die Wuchsbedingungen werden u.a. mit Hilfe einer Nährlösung, die z.B. Zucker und Mineralien enthält, gesteuert. Damit kann der Fettgehalt des Fleisches gezielt beeinflusst werden. Die aktuelle Kultivierung nutzt Kälberserum als Nährmedium. Das Kälberserum wird lebenden Tieren entnommen (Böhm et al. 2017). Rein pflanzliche Alternativen zu diesem Nährmedium befinden sich derzeit in der Forschung.

Das Herstellungsverfahren ist vergleichbar mit dem Vorgehen in der regenerativen Medizin. Zerstörtes Gewebe kann wiederhergestellt, funktionsgestörte Organe und Zellen reaktiviert werden.

Die In-Vitro-Fleisch Herstellung setzt zwar tierische Zellen ein, es werden aber keine lebenden Tiere gehalten. Ziel des Pfades ist es, auf eine Tierhaltung weitestgehend zu verzichten und damit verbundene negative Auswirkungen wie Gewässerbelastung durch die Ausbringung von Wirtschaftsdünger oder Methanemissionen aus der Güllelagerung und der tierischen Verdauung auszuschließen, die Schlachtung von Tieren zu vermeiden und die Nutzung von knappen Ressourcen wie Wasser und Ackerflächen für Futter-/Nährstoffanbau zu verringern (Böhm et al. 2017, Deutscher Bundestag 2018).

Konkurrierende Pfade

Die In-Vitro-Fleischherstellung konkurriert mit anderen alternativen, ressourceneffizienten Produktionsverfahren für tierische Proteine wie der Produktion von Fischen in terrestrischen Kreislauf-Aquakulturen. Auch der Konsum von pflanzlichen Proteinen (Leguminosen, Soja etc.) kann mit diesem Pfad konkurrieren.

Perspektive des Pfades

Es wird zukünftig mit einer Zunahme der In-Vitro-Fleischherstellung und parallel dazu auch einer steigenden Marktakzeptanz gerechnet. Gründe in der Marktdurchdringung des Pfades liegen vor allem in der nachhaltigeren und tierhaltungsfreien Produktpalette (Dt. Bundestag 2018). Ein wachsendes Bewusstsein für die negativen Umweltauswirkungen der Produktion tierischer Nahrungsmittel in heutigen Tierhaltungssystemen und Aspekte des Tierwohls spielen ebenfalls eine Rolle (Böhm et al. 2017). Wunder et al. (2019) gehen davon aus, dass die Verbraucherakzeptanz und damit die Relevanz des Pfades steigen wird, wenn Wissen darüber besteht, welche Techniken für die Produktion von In-Vitro-Fleisch angewendet und welche Zutaten und Produktionsverfahren eingesetzt werden.

Wirtschaftssektor

Ernährungsindustrie, Landwirtschaft

Diskussion der Treiber der Bioökonomie

Der Pfad wird durch die Sicherung der Ernährung, den Schutz natürlicher Ressourcen, der effizienten Nutzung von landwirtschaftlicher Anbaubiomasse sowie Debatten zum Tierwohl angetrieben.

Zeitliche Perspektive des Pfades

Dt. Bundestag (2018) gehen davon aus, dass die zukünftige Massentauglichkeit der In-Vitro-Fleischherstellung noch unklar und eine Marktfähigkeit des künstlichen Fleisches in frühestens 10 bis 20 Jahren zu erwarten ist. Wunder et al. (2019) erwarten, dass es sich derzeit zwar noch um ein Nischenprodukt handelt und unterstellen ein „dynamisches Wachstum“ in den nächsten Jahren. Es wird für diesen Pfad eine mittelfristige Perspektive (bis 2030) unterstellt.

Mengenrelevanz in Bezug auf den Einsatz von biogenen Ressourcen

Die Mengenrelevanz wird als mittel eingeschätzt, da davon ausgegangen wird, dass der Verzehr von In-Vitro-Fleisch nur für einen Teil der Bevölkerung in Frage kommt, die z.B. die bestehende Tierhaltung ablehnen, aber ungern auf Fleisch verzichten (Willet und Rockström 2019). Es wird erwartet, dass auch weiterhin herkömmliche tierische Nahrungsmittel von einem Großteil der Bevölkerung konsumiert werden. Die Entwicklung des Konsums für In-Vitro-Fleisch ist auch an die Preisentwicklung von Fleisch und Fleischwaren gekoppelt. Es wird in den kommenden Jahren mit Preissteigerungen in diesem Produktsegment gerechnet die auf einen Rückgang der Tierbestände zurückzuführen ist. Dies liegt u.a. an den Klimazielen im Sektor Landwirtschaft bis 2050, in denen u.a. eine Tierbestandsreduktion unterstellt wird (Repenning et al. 2019).

Wirkungskette

Die Sicherung der Ernährung und die Schonung von Ressourcen ist ein wesentlicher Treiber der In-Vitro-Fleischherstellung (Ursache). In Anbetracht einer wachsenden Bevölkerung und des Anspruchs an die Landwirtschaft, ihre Klimaschutzziele u.a. durch die Reduktion der Tierbestände zu erfüllen, wird die Ernährungsindustrie vor die Frage gestellt, wie es gelingt, den Bedarf an Proteinen und tierischen Produkten zu decken (Problem). Ziel ist es, neben der Ernährungssicherheit auch Ressourcen einzusparen und Tierleid zu vermeiden. Die In-Vitro-Fleischherstellung soll dazu beitragen, den Bedarf an Proteinen zu decken (Instrumente). Die ressourceneffiziente und – im besten Falle – treibhausgasärmere Produktion von In-Vitro-Fleisch soll u.a. den Konsum von konventionellem Fleisch und Fleischprodukten reduzieren (Verhalten).

Bewertung: In-Vitro-Fleischproduktion im Vergleich zu Fleisch aus konventioneller Tierproduktion

Kurzcharakterisierung des Referenzpfades

Herstellung von Fleisch aus der konventionellen Viehhaltung, inklusive Schlachtung und Verarbeitung

Diskussion der chemischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Durch die In-Vitro-Fleischherstellung wird eine Reduktion der Tierhaltung angenommen. Dabei wird erwartet, dass die Emissionen des Treibhausgases Methan, die durch Güllelagerung und

Tierverdauung anfallen, deutlich zurückgehen. Des Weiteren reduziert ein geringerer Bedarf an Anbaubiomasse, die zur Herstellung von Futtermitteln verwendet wird, den Düngemiteleininsatz. Damit können z.B. klimawirksame Lachgasemissionen reduziert werden. Nach Aussagen von Böhm et al. (2017) variieren die Angaben zu den Umweltauswirkungen der In-Vitro-Fleischherstellung, da es bis dato kein Produktionssystem in großem Maßstab gibt. Ein Vergleich der Produktionsverfahren und der eingesetzten Produktionsmittel bei der In-Vitro-Fleischherstellung ist daher schwierig und wird als unsicher eingeschätzt. Böhm et al. (2017) vermuten auch, dass die Herstellung von In-Vitro-Fleisch - zumindest im Vergleich zu Rindfleisch - weniger Land und Wasser verbraucht und geringere Emissionen von Schadstoffen aufweisen könnte.

Böll-Stiftung et al. (2018) weisen darauf hin, dass der Energieaufwand der In-Vitro-Fleischherstellung hoch ist. Dies bezieht sich nicht nur auf die Produktion der Bioreaktoren selbst, sondern auch auf die Herstellung eines pflanzenbasierten Nährmediums. Auch dies könne energieintensiv ausfallen. Allerdings stellen sie auch fest, dass sich der Energieverbrauch um bis zu 45% reduzieren kann. Die Emission von Treibhausgasen, der Flächen- und Wasserverbrauch sinken im Vergleich zur konventionellen Fleischherstellung um bis zu 95% (Böll-Stiftung et al. 2018). Es wird daher angenommen, dass bei THG-Emissionen eine Entlastung bis geringe Belastung stattfindet. Dieselbe Annahme kann für die Belastung mit Luftschadstoffen getroffen werden.

Da für die In-Vitro-Fleischherstellung weniger Fläche verwendet wird und damit auch weniger Futtermittel angebaut werden müssen, wird im Hinblick auf die Belastungskategorien Boden und Gewässer eine Entlastung angenommen (Mattick et al. 2015). Bei Gewässern wird die Entlastung dadurch unterstützt, dass geringere Mengen an Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung anfallen, die auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden müssen. Damit reduziert sich das Risiko der Nitratauswaschung.

Diskussion der biologischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Die Reduktion der Flächennutzung durch den Rückgang der Tierhaltung (s.o.) ist auch mit einem Rückgang der Risiken für die biologische Vielfalt verbunden. Zum einen kann eine Neuwandlung von natürlichen bzw. naturnahen Flächen, inklusive Wälder in Drittländern (Futtermporte) vermieden und zum anderen eine Extensivierung auf bestehenden landwirtschaftlichen Flächen erreicht werden. Letztere führt zu einer Reduktion der Dünger- und Pestizidausbringung, so dass Habitate in der Nachbarschaft zu landwirtschaftlichen Flächen entlastet werden.

Ein Sonderfall stellt Grünland dar, dem in Deutschland eine hohe Bedeutung zum Erhalt der biologischen Vielfalt zukommt (Dieterich und Kannenwischer 2012). Bei sinkenden Tierzahlen sinkt auch der Bedarf an Raufutter von Grünlandflächen und führt zu einer Nutzungsaufgabe von Grünland. Hier erscheint es sinnvoll, zum Erhalt und Pflege von Grünland eine extensivere Grünlandhaltung aufrecht zu erhalten.

Auch für die Belastung der Agrobiodiversität wird durch den möglichen Rückgang der Tierproduktion eine Entlastung angenommen, wenn mit dem zu erwartenden verringerten Flächenbedarf die Anbausysteme extensiviert und im Zuge dessen vermehrt diversifizierte Fruchtfolgen angebaut werden.

Ressourceninanspruchnahme (Be- und Entlastung)

Im Vergleich zur klassischen Tierhaltung kann bei der In-Vitro-Fleischherstellung eine geringere Inanspruchnahme von Ressourcen angenommen werden. Dies betrifft insbesondere den Einsatz von Futtermitteln und die damit verbundenen geringeren Aufwendungen bei deren Produktion. Allerdings steigen die Aufwendungen bei der Produktion des In-Vitro-Fleischs in Bioreaktoren (Energie, Baumaterialien etc.). In der Summe wird eine Entlastung bei biogenen Rohstoffen und eine geringe bis mittlere Belastung im Hinblick auf die Inanspruchnahme von nicht-biogenen Ressourcen erwartet (Dt. Bundestag 2018, Böhm et al. 2017, Wunder et al. 2019).

Im Hinblick auf die Umweltbelastungskategorie Flächennutzung wird eine Entlastung der Flächennutzung durch die Verringerung des Tierbestandes erwartet. Damit werden Futteranbauflächen für ökologischen Landbau und Naturschutzzwecke oder für die Produktion von Biomasse für die stoffliche und energetische Nutzung frei. Der Wasserverbrauch sinkt durch diesen Pfad im Verhältnis zur konservativen Tierproduktion und Futtermittelanbau ebenfalls.

Soziale Aspekte

Böhm et al. (2017) betont im Hinblick auf die Akzeptanz von In-Vitro-Fleisch, dass bisherige Daten- und Literaturquellen sowohl zu qualitativen als auch zu quantitativen Untersuchungen fehlen. Hinzmann et al. (2018) stellen heraus, dass die Akzeptanz von In-Vitro-Fleisch von Vorbehalten betroffen ist und dass die Akzeptanz der Konsumentinnen und Konsumenten auf den europäischen Märkten nicht gesichert sei. Dies läge v.a. an Ekelgefühlen und Gefühl der Unnatürlichkeit. Weitere Gründe bezogen sich auf die Sicherheit und Gesundheit beim Verzehr sowie auf mögliche negative gesellschaftliche Folgen durch den Verlust von Landwirtschafts- und Ernährungstraditionen und von landwirtschaftlichen Existenzgrundlagen. Ebenfalls als hemmend genannt wurden Bedenken gegenüber dem sogenannten „wissenschaftlichen Fortschritt“ und dem Vertrauen in Qualitätskontrollen bzw. Risikobewertung (Verbeke 2015). Hinzmann et al. (2018) gehen davon aus, dass sobald In-Vitro-Fleisch tatsächlich auf dem Markt angeboten wird, Geschmack und Sicherheit des Lebensmittels die Verbraucherakzeptanz entscheidend beeinflussen werden. Wunder et al. (2019) sehen in der Verbraucherinformation einen entscheidenden Faktor für Akzeptanz.

Es ist zu vermuten, dass die Akzeptanz von In-Vitro Fleisch hoch sein kann, da In-Vitro-Fleisch als Alternative zur konventionellen Fleischproduktion mit positiven Effekten in Bezug auf Tierwohl, Biodiversität und Umwelt wahrgenommen wird. Allerdings können die Produktionsbedingungen von In-Vitro-Fleisch auch zu Ablehnung führen. So wird derzeit noch fetales Kälberserum als Nährmedium verwendet. Damit verbunden ist ein schmerzhafter Gewinnungsprozess bei den Tieren (Böhm et al. 2017). Aktuell wird hier nach tierfreien Alternativen geforscht, die wiederum zur Akzeptanzsteigerung beitragen können. Aufgrund dieses heterogenen Bildes wird in Summe das Thema Akzeptanz mit einer Entlastung bis hin zu einer hohen Belastung bewertet.

In Bezug auf die Gesundheit ist es bisher unklar, ob ein Konsum von In-Vitro-Fleisch zu einer Verbesserung oder einer Verschlechterung der Gesundheit der Konsumentinnen und Konsumenten führt (Böhm et al. 2017). Im Hinblick auf den Einsatz von Antibiotika in der klassischen Tierproduktion mit negativen Auswirkungen, wie z.B. der Ausbildung von Resistenzen bei

Krankheiten, ist noch ungeklärt, ob der Einsatz von Antibiotika in Zellkulturen aufgegeben werden kann (Böhm et al. 2017).

Chancen und Risiken sowie weitere ethische Aspekte

Chancen/Risiken des Pfades

In-Vitro-Fleisch bietet Chancen, tierische Produkte zu konsumieren und dabei kein bzw. deutlich weniger Tierleid und geringere Umweltbelastungen zu verursachen. Ein vollständiger Verzicht auf Nutztiere für die Produktion von In-Vitro-Fleisch wird jedoch in naher Zukunft nicht möglich sein, da eine Entnahme von tierischen Muskelstammzellen für diesen Pfad notwendig ist.

Eine weitere Chance von In-Vitro-Fleisch wird darin gesehen, dass Fleisch gezüchtet wird, welches in optimierter Form, z.B. mit geringeren Fettanteilen oder zusätzlichen Nährstoffen, angeboten werden kann. Ob mit In-Vitro-Fleisch eine gesündere Ernährung möglich ist, oder ob die Technologie Gesundheitsrisiken für die Konsumenten birgt, kann beim heutigen Stand der Forschung noch nicht eingeschätzt werden (Böhm et al. 2018). Derzeit gibt es noch kein Verfahren, welches in großtechnischem Maßstab In-Vitro-Fleisch herstellen kann. Zudem ist die kommerzielle Produktion abhängig von der rechtlichen Bewertung und Zulassungsverfahren, die mit Anforderungen an die Qualität verknüpft werden müssen.

Ethische Aspekte

In Bezug auf Tierwohl bzw. Tierleid wird innerhalb des Ethikdiskurses In-Vitro-Fleisch als eine schlüssig vertretbare Art des Fleischkonsums für Menschen angesehen, die in ihrer Ernährung nicht auf Fleisch verzichten wollen, aber Tierhaltung und das Töten von Tieren ablehnen. Dieser Ansatz ist aufgrund der aktuellen technischen Möglichkeiten nicht vollständig in sich geschlossen, da z.B. tierische Muskelstammzellen oder auch Kälberserum als Nährlösung notwendig sind. Auch die zu erwartenden positiven Auswirkung auf Klima-, Natur- und Umweltschutz, die mit einer In-Vitro-Fleischherstellung verbunden sind, rechtfertigen nicht das verbleibende Risiko an Tierleid, welches verursacht wird, auch wenn dies deutlich geringer ist als in der konventionellen Fleischproduktion (Hinzmann et al. 2018).

Der Themenkomplex In-Vitro-Fleisch stößt eine grundsätzliche Diskussion zur heutigen Ernährung, der Mensch-Tier-Beziehung und der kulturellen Bedeutung von Fleisch an. Damit werden nicht nur Gerechtigkeitsaspekte wie die Sicherung der Ernährung adressiert, sondern auch das Mensch-Natur-Verhältnis in den Mittelpunkt gerückt und die gesellschaftliche Selbstverständlichkeit des Fleischkonsums in Frage gestellt (Böhm et al. 2017).

Quellen

BMEL (2018): Landwirtschaft verstehen. Fakten und Hintergründe.

Böll-Stiftung et al. (2018): Fleischatlas 2018. Download unter: <https://www.boell.de/de/2018/01/10/laborfleisch-biologen-zeigen-ihre-muskeln>

Böhm, I. et al. (2017): In-Vitro-Fleisch. Eine technische Vision zur Lösung der Probleme der heutigen Fleischproduktion und des Fleischkonsums?

Deutscher Bundestag (2018): In-vitro-Fleisch. Sachstand. Sachstand WD 5-3000-009/18

Dieterich, M., Kannenwischer, N. (2012): Defizitanalyse Natura 2000. Situation von artenreichem Grünland im süddeutschen Raum. NABU, Berlin.

Ferrari, A. (2014): Ethik des Essens: In-vitro-Fleisch und „verbesserte Tiere“. Konferenzbeitrag, Rothbury, UK

Hinzmann, M. (2018): Die Wahrnehmung von In-Vitro-Fleisch in Deutschland. Analyse der gesellschaftlichen Diskurse. Kurzanalyse im Projekt Ressourcenpolitik 2 (PoIRess 2).

Mattick, C., Landis, A., Allenby, B. und N. Genovese (2015): Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States. In: Environmental Science and Technology, 49, S. 11941-11949

Stephens, N. et al. (2018): Blood, meat, and upscaling tissue engineering: Promises, anticipated markets, and performativity in the biomedical and agri-food sectors. In: BioSocieties, Vol. 13, S. 368.388

Willet, W.; Rockström, J. (2019): Food Planet Health. Healthy Diets From Sustainable Food Systems. Im Internet unter. https://eatforum.org/content/uploads/2019/04/EAT-Lancet_Commission_Summary_Report.pdf

Wunder, S. et al (2019): Trendanalyse „Fleisch der Zukunft“. Umweltpolitische Handlungsoptionen für die Gestaltung von pflanzenbasierten, insektenbasierten und In-vitro produzierten Fleischersatzprodukten Inputpapier für den Expertenworkshop „Fleisch der Zukunft“ am 17.9.2019 in Berlin

4.3.2 Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen

Abbildung 4-3: Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen im Vergleich zu herkömmlichen, landbasierten Aquakulturanlagen

Bewertungsaspekt	Wirkungskategorie	Entlastung	geringe Belastung	mittlere Belastung	hohe Belastung
Chemische Umwelt	THG	●	●	●	●
	Luftschadstoffe	●	●	●	●
	Boden	●	●	●	●
	Gewässer	●	●	●	●
Biologische Umwelt	Agrobiodiversität	●	●	●	●
	Biologische Vielfalt	●	●	●	●
Ressourceninanspruchnahme	Nicht-biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	Wasserverbrauch	●	●	●	●
	Flächennutzung	●	●	●	●
Sozioökonomische Aspekte	Akzeptanz	●	●	●	●
	Gesundheit	●	●	●	●

- Eine Bewertungsstufe trifft voll zu.
- Die Bewertungsstufe trifft nicht voll zu. Es ist eine Ent- wie auch eine Belastung über alle Skalen möglich.
- Kein Einfluss oder keine Änderung

Quelle: eigene Darstellung

Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen

Beschreibung

Kreislauf-Aquakulturanlagen (RAS; *Recirculating Aquaculture System*) sind intensive Fischproduktionssysteme, die - gegenüber umweltoffenen Aquakultursystemen (z.B. Durchfluss- und Teichanlagen) - mit einem reduzierten Wasser- und Flächenverbrauch einhergehen. Auch der Eintrag von eutrophierenden Substanzen (z.B. Futterreste und Stoffwechselprodukte der Fische) in die nachgelagerten Wasserkörper ist bei RAS deutlich geringer. Dies liegt darin begründet, dass das Haltungswasser in einer mehrstufigen Wasseraufbereitung gereinigt und wieder in die Fischhaltebecken zurückgeleitet wird. Dennoch muss auch bei den als geschlossene Systeme bezeichneten Anlagen ein gewisser Anteil des Wassers ausgetauscht werden. Die Wasseraustauschrate einer RAS-Anlage ist entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Angestrebt werden tägliche Austauschraten von 1-5% des im System enthaltenen Wasservolumens.

Die Standortwahl ist für RAS-Anlagen relativ unabhängig von naturräumlichen Gegebenheiten. Da in Deutschland die Errichtung neuer Aquakulturanlagen in freien Gewässern räumlich begrenzt ist und hohen umweltrechtlichen Auflagen unterliegt, wurden in den letzten Jahrzehnten gebäudebasierte Kreislauf-Aquakulturanlagen mit teilweise komplexer Prozesswasseraufbereitung (inkl. mechanischer und biologischer und teilweise physikalisch-chemischer Reinigungsstufe) entwickelt.

Obwohl die Machbarkeit der technischen Umsetzung einer Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen seit geraumer Zeit nachgewiesen ist, gibt es bis heute nur wenige RAS-Anlagen in Deutschland. Die Errichtung sowie der Betrieb der Anlage sind mit hohen Investitions- bzw. Betriebskosten verbunden. Dies liegt z.B. am hohen spezifischen Energiebedarf für die Kreislaufführung und die Aufbereitung des Prozesswassers sowie die aufwändige Wartung der komplexen Anlagentechnik.

Eine Fortentwicklung der Kreislaufanlage sind sog. Aquaponik-Anlagen. Die Produktion von Fisch in Aquakultur kombiniert mit der hydroponischen (erdlosen) Produktion von Pflanzen stellt im Kern eine Ergänzung des Konzepts der Kreislaufanlage dar. Ausgehend von einer RAS-Anlage wird zusätzlich noch eine Pflanzen- oder Kräuterproduktion errichtet. Der Mehrwert ergibt sich in diesem Fall daraus, dass zuvor ungenutzte, bei zu hoher Konzentration fischtoxische „Rest- oder Problemstoffe“ wie Nitrat-N und Nitrit-N nicht nur effektiv aus dem Fischproduktionssystem abgezogen werden, sondern dass eben diese Stoffe im Pflanzenbau zugleich auch noch als Ersatz für mineralische Düngemittel genutzt werden können. Das Prinzip ist dabei, dass das Wasser aus den Fischhaltebecken, zusammen mit dem im Wasser gelösten pflanzenverfügbaren Stickstoff den Nutzpflanzen zugeführt wird. Durch den Entzug des Stickstoffs trägt der Pflanzenbau zur biologischen "Reinigung" des Kreislaufwassers bei (Morgenstern et al. 2016).

Der Wasser- und Nährstoffkreislauf der Aquaponik-Anlagen ist nicht im eigentlichen Sinne geschlossen. Über die Atmung der Fische sowie über die Evapotranspiration aus den Fischhaltebecken und im Pflanzengewächshaus bestehen Verbindungen zu umgebenden Umweltmedien. Es existieren Anlagenkonzepte, bei denen über sogenannte Kondensationsrinnen versucht wird, das von den Pflanzen transpirierte Wasser zu sammeln und dieses wieder dem Prozess zuzuführen. Jedoch steht dies - zumindest zeitweise - im Konflikt mit anderen

pflanzenbaulichen Maßnahmen, wie etwa dem Kühlen der Gewächshäuser durch Öffnen der Fenster an Tagen mit hoher Sonneneinstrahlung.

Konkurrierende Pfade

Ein konkurrierender Pfad ist die Produktion von Fisch in „umweltoffenen“ Aquakulturanlagen (terrestrisch oder marin) und der Wildfang im Meer. Darüber hinaus konkurriert die Fischproduktion mit der Produktion anderer Proteinquellen wie Tierprodukte aus der Landwirtschaft, aber auch mit der Produktion pflanzlicher Proteine.

Perspektive des Pfades

Die weltweite Fischproduktion ist seit mehreren Jahrzehnten der mit Abstand am schnellsten wachsende Lebensmittelsektor (Diana 2013; FAO 2018, 2017, 2016). Vorliegende Prognosen gehen von einer stetig wachsenden Nachfrage nach Fisch und Fischprodukten aus (World Bank 2013; FAO 2018, OECD und FAO 2018). Da bereits seit einigen Jahren die Erträge aus der marinen Fangfischerei stagnieren, sind die bereits erfolgten Produktionszuwächse in den letzten 20 Jahren nahezu ausschließlich auf den Ausbau der Aquakultur (v.a. in Asien) zurückzuführen (FAO 2018). Daher ist davon auszugehen, dass die Fischproduktion in Aquakultur weiter an Bedeutung gewinnen wird und dass nach aller Voraussicht auch künftige Zuwächse so gut wie vollständig aus Aquakultur stammen werden (Antony 2018).

Gestiegene Ansprüche an gesunde Ernährung und dem damit verbundenen Verzehr von Eiweißen forcieren diesen Pfad. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt einen Verzehr von lediglich 10 kg Fisch pro Jahr, u.a. zur Verbesserung der Jodversorgung und zur Vermeidung von Herzkrankheiten (DGE 2016). Eine Ausrichtung an dieser Empfehlung würde zu einer Abnahme des Fisch-Konsums in Deutschland um etwa 30% führen. Um den Nutzungsdruck auf natürliche Fischbestände zusätzlich zu verringern, stellt der Ausbau der Kreislaufanlagen bzw. die Nutzung von Aquaponiksystemen einen alternativen Produktionspfad dar. Zu klären bleibt, inwiefern es gelingt, die Futtermittelbereitstellung, die deutliche Anteile an Fischmehl und Fischöl enthält, ebenfalls weitgehend unabhängig vom Fischfang zu gestalten (Antony 2018).

Wirtschaftssektor

Ernährungsindustrie, Fischerei, Landwirtschaft

Diskussion der Treiber der Bioökonomie

Der Pfad wird vor allem durch die Nachfrage nach proteinreichen Lebensmitteln, respektive Fisch, getrieben. Die – weltweit – wachsende Nachfrage forciert diese Nachfrage weiter. Aufgrund der Überfischung der Weltmeere kann der Bedarf nicht gedeckt werden. Zudem ist die Fischproduktion in bestehenden Aquakulturanlagen nur bedingt nachhaltig und wenig ausbaufähig.

Produktionssteigerungen sind ein weiterer Treiber, da die Erhöhung der Produktion zunehmend mit Zielen des Umwelt- und Naturschutzes in Konflikt gerät. Geeignete Standorte für herkömmliche Formen der Aquakultur werden weltweit knapp. Der in Deutschland sehr geringe Selbstversorgungsgrad mit Fisch könnte daher in erster Linie über eine Produktionssteigerung in Kreislaufanlagen erhöht werden (vgl. Antony 2018). Im Nationalen Strategieplan Aquakultur für Deutschland wird auch ein besonderer Fokus auf das Produktionspotenzial in

Kreislaufanlagen gelegt, bzw. ein deutliches Wachstum nur in diesem Bereich als möglich erachtet (Steigerung auf 20.000 t bis 2020; Konsum in Deutschland: ca. 1,15 Mio. t pro Jahr; Bergleiter et al. 2017).

Da die Fischproduktion geringere Mengen an Futtermittel im Vergleich zur Fleischproduktion benötigt, kann es sinnvoll sein, künftig vermehrt Fisch aus Kreislauf-Aquakulturanlagen zu nutzen, um die Futteranbaufläche zu verringern (Treiber Flächennutzung in Kombination mit den Treibern Schutz von Biodiversität, Boden und Wasser).

Durch den Treiber Forschung und Innovation ist die Konzeptionierung der Anlagen für Aquaponik ins Pilotstadium gerückt.

Zeitliche Perspektive des Pfades

Für die Entwicklung des Pfades wird eine langfristige Perspektive (bis 2050) erwartet.

In Deutschland gibt es bis dato nur einige Pilotanlagen und sehr wenig kommerzielle Anlagen, die auf dem Konzept der Kreislauf-Aquakulturanlagen bzw. Nutzung von Aquaponiksystemen beruhen (Morgenstern 2016).

Mengenrelevanz in Bezug auf den Einsatz von biogenen Ressourcen

Der Einsatz von biogenen Ressourcen wird als „mittel“ eingestuft, da der Anteil an Fisch aus Kreislauf-Aquakulturanlagen bzw. Nutzung von Aquaponiksystemen im Vergleich zu Fleisch aus nichtaquatischer Tierhaltung künftig zwar steigen, aber dennoch geringer bleiben wird. Dies gilt auch für den Futterbedarf.

Wirkungskette

Die Überfischung der Weltmeere führt zu einem Rückgang der Fischbestände. Herkömmliche Aquakulturanlagen sind an geringen bis keine Nachhaltigkeitsanforderungen geknüpft (Ursache). Dies führt zu einer Belastung der aquatischen Biodiversität und des Umweltmediums Wasser. Bei landbasierten Aquakulturen wird zudem der Boden belastet (Problem). Ein Ziel ist daher, durch den Einsatz von Kreislaufanlagen – und der Reduktion des Fischanteils im Futter – eine entsprechende Entlastung zu erreichen. Die Nutzung von Aquaponiksystemen kann zudem Nährstoffkreisläufe optimieren (Instrumente). Eine Veränderung des Konsumverhaltens in Bezug auf Fleisch führt zu einer Verringerung der Nachfrage nach Fleischprodukten von Warmblütern (z.B. Schweine, Rinder) und nach Fisch aus Wildfang (Verhalten).

Bewertung von Kreislaufaquakulturanlagen gegenüber reiner Aquakultur und Pflanzenproduktion

Kurzcharakterisierung des Referenzpfades

Herkömmliche terrestrische und marine Aquakulturen

Diskussion der chemischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Die genutzten Wasserkreislaufsysteme beim Aquakulturanbau haben einen hohen Energiebedarf u.a. bedingt durch aufwändige Filteranlagen. Abhängig vom Strom- und Wärmebedarf der Anlage könnten bei entsprechender Betriebsführung Treibhausgase eingespart und erneuerbarer Strom eingesetzt werden (Möller und Antony 2015). Die Anlagen sind in Bezug auf ihre Bauart sehr flexibel, so dass unterschiedliche Einzelkomponenten wie z.B. beim Bau der

Anlage eingesetzte Materialien, der Einsatz von Pumpen, künstliche Beleuchtung etc. stark variieren. Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgase wären entsprechend z.B. die Isolation des Gebäudes, die Nutzung von Abwärmequellen oder der Einsatz von erneuerbaren Energien in der Anlage. Beispielhaft für Anlagen, die weitgehend ohne permanenten Energieeinsatz auskommen, sind extensiv bewirtschaftete Teichanlagen (Bergleiter et al. 2017). Im Hinblick auf Treibhausgase ist im Vergleich zu konventionellen Aquakulturanlagen mit höheren Emissionen zu rechnen (vgl. Hubold und Klepper 2013). Diese Treibhausgasemissionen werden als geringe bis mittlere Belastung eingestuft.

Durch den Einsatz von Kreislaufanlagen findet eine Entlastung der Gewässer gegenüber konventionellen Aquakulturen statt. Damit verbunden ist eine Entlastung der Gewässereutrophierung, da keine Nährstoffemissionen in natürliche Gewässer eingetragen werden. Gleiches gilt für eingesetzte Medikamente (z.B. Antibiotika) und chemische Präparate. Die in geringem Maße anfallenden Abwässer werden über die Kanalisation abgeführt.

Eine weitere Entlastung kann durch eine optimale Abstimmung vom Nährstoffangebot der Aquakultur und der Nährstoffnachfrage der Hydroponik erreicht werden, so dass keine weitere Düngemittelgabe notwendig ist. Entsprechende Ansätze sind derzeit technisch nicht einfach durchzuführen und bedürfen weiterer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (Morgenstern et al. 2016). Die Reduktion des Düngemittleinsatzes kann zu einer weiteren Entlastung von Gewässern, aber auch Treibhausgasen führen.

Die Indikatoren Boden und Luftschadstoffe spielen – mit Ausnahme der Flächennutzung (s.u.) - bei der Fischproduktion in den betrachteten Systemen eine untergeordnete Rolle. Daher erfolgt für diese Kategorien keine Bewertung.

Diskussion der biologischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Die Fischproduktion in Kreislauf-Aquakulturanlagen bzw. Nutzung von Aquaponiksystemen kann im Vergleich zu konventionellen Aquakulturen eine Entlastung aus Sicht der biologischen Vielfalt erreichen, da negative Auswirkungen durch Nährstofffrachten und Chemikalien (z.B. Medikamente) auf Ökosysteme in der Nachbarschaft bzw. flussabwärts geringer sind.

Des Weiteren ist festzustellen, dass die Fischproduktion in Kreislaufanlagen die Überfischung der Meere deutlich verringert und damit auch dort den Druck auf die Biodiversität reduziert.

Im Fall von extensiv bewirtschafteten Teichanlagen, die ohne Nutzung meist austrocknen würden, kann – je nach Gestaltung der Anlage – die Biodiversität (Insekten, Amphibien, Vögel, Säuger) hoch sein und die Teiche als wertvolle Elemente der Kulturlandschaft wahrgenommen werden. Zudem ist der „Druck“ auf die Anlagenbetreibenden, zu prophylaktischem Tierarzneieinsatz zu greifen, eher gering. Im Vergleich hierzu sind die Kreislauf-Aquakulturanlagen bzw. Nutzung von Aquaponiksystemen weniger vorteilhaft. Aufgrund der oben beschriebenen deutlichen Entlastung und der mengenmäßig untergeordneten Rolle extensiver Aquakulturen wird in der Summe eine Entlastung in Bezug auf die biologische Vielfalt erwartet.

Im Hinblick auf die Agrobiodiversität sind Effekte nur schwer einzuschätzen. Ggf. können sich durch den Fischfutterbedarf Veränderungen in den angebauten Feldfrüchten einstellen.

Ressourceninanspruchnahme (Be- und Entlastung)

Durch Kreislaufsysteme wird eine effizientere Nutzung von Futtermitteln im Vergleich zu konventionellen Aquakulturen und Freilandfeldbau erreicht. Bei Aquaponiksystemen werden zudem durch die Koppelung der Fisch- und Pflanzenproduktion zusätzlich Nutzpflanzen kultiviert. Für biogene Rohstoffe ist daher mit einer Entlastung durch diesen Pfad zu rechnen. Im Hinblick auf die Nutzung nicht-biogener Ressourcen stehen einer erhöhten Effizienz bei Nährstoffen und Wasser allerdings vergleichsweise hohe Ressourcenverbräuche für Baumaterialien zum Bau der Anlagen und Energieträger zum Anlagenbetrieb gegenüber (König et al. 2016). In Summe wird die nicht-biogene Rohstoffnutzung mit einer geringen bis mittleren Belastung bewertet.

Die Flächeninanspruchnahme durch die Infrastruktur der Kreislaufanlagen wird als gering eingestuft, da die Anlagen auf relativ kleiner Fläche stehen (vgl. Morgenstern et al. 2016). Aufgrund der effizienten Futternutzung (s.o.) fällt die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen zur Futterproduktion für diesen Pfad im Vergleich zu herkömmlichen Aquakulturen geringer aus. Die mögliche Produktion von Nutzpflanzen in Aquaponiksystemen kann zudem den Flächenbedarf für den Anbau von Nahrungsmitteln verringern. In Summe wird für diesen Pfad im Vergleich zur herkömmlichen Aquakultur eine Entlastung für die Flächennutzung erwartet.

Im Vergleich zu konventionellen terrestrischen Aquakulturanlagen ist der Wasserverbrauch von Kreislauf-Aquakulturanlagen sehr gering. Auch beim Pflanzenanbau in Aquaponiksystemen liegt eine effizientere Wassernutzung vor. Ein Vergleich mit mariner Aquakultur ist in Bezug zum Wasserverbrauch schwieriger, aber auch hier wird ein höherer Wasserdurchsatz als in Kreislaufanlagen erwartet. Für den Wasserverbrauch wird durch diesen Pfad eine Entlastung erreicht.

Soziale Aspekte

In Bezug auf die Akzeptanz von Kreislauf-Aquakulturanlagen bzw. Nutzung von Aquaponiksystemen wurde festgestellt, dass die Akzeptanz stieg, je positiver der Geschmack der Nahrungsmittel bewertet wurde. Hier sind keine Unterschiede zur konventionellen Aquakultur zu erwarten. Als schwieriger stellte sich die Kommunikation der Nachhaltigkeit des Systems dar, da die Haltung von Fischen in Tanks bei Verbraucherinnen und Verbrauchern zu Akzeptanzverlusten führte. Zudem wurde in Bezug auf Aquaponiksysteme eine Nahrungsmittelproduktion in „frischer Erde“ für nachhaltiger gehalten (Morgenstern et al. 2016). Im Gegensatz zu diesen Vorbehalten könnte eine gezielte Information der Öffentlichkeit über die Wirkung und Nutzung von Aquaponiksystemen zu einer Verbesserung der Akzeptanz führen.

Im Hinblick auf die Kategorie Gesundheit sind keine Unterschiede im Vergleich zur Referenz zu erwarten. Ggf. besteht die Möglichkeit, in Kreislaufanlagen gezielt z.B. Fischarten zu kultivieren, die aus ernährungsphysiologischer Sicht vorteilhaft sind (Möller et al. 2015).

Chancen und Risiken sowie weitere ethische Aspekte

Chancen/Risiken des Pfades

Aus ökonomischer Sicht haben die Pilotanlagen beim derzeitigen Stand hohe Betriebs- und Investitionskosten im Verhältnis zu den Erträgen. Bei einem vermehrten Zubau von Kreislaufanlagen ist mit einer Kostenreduktion zu rechnen (Morgenstern et al. 2016). Hohe Anforderungen bestehen hinsichtlich der Bereitstellung einer guten Wasserqualität. Nicht optimales

Prozesswasser in den Anlagen bedeutet Stress für die Tiere, was das Risiko von Produktionsausfällen birgt. Das gleiche gilt für die optimale Verwertung des eingesetzten Futters. Optimale Haltungsbedingungen sind damit ein wichtiger Aspekt für den ökonomischen Mehrwert der Anlagen (Möller et al. 2015).

Aus Umweltsicht stellen die deutlichen Vorteile der Kreislauf-Aquakulturanlagen bzw. Nutzung von Aquaponiksystemen (siehe oben) eine Chance für Entlastungen dar. Werden diese positiven Aspekte herausgestellt, besteht die Chance, dass die Systeme eine hohe Akzeptanz in der Bevölkerung erreichen.

Die Nutzung von Kreislaufaquakulturanlagen kann in urbanen Regionen dazu beitragen, die Versorgung mit tierischen Proteinen zu sichern (in Deutschland aktuell nicht relevant). Damit wäre eine lokale und nachhaltige Nahrungsmittelproduktion möglich, die auf bestehende Infrastruktur und regionale Gegebenheiten angepasst ist. Auch ist es als Chance zu sehen, wirtschaftlich wie ernährungsphysiologisch interessante Arten für die Aufzucht in Kreislaufsystemen zu erschließen (Möller et al. 2015).

Eine weitere Chance der Anlagen zeigt sich beim Einsatz in sozialen Projekten: In Italien nutzt ein Psychotherapiekrankenhaus Aquaponik als Teil der Therapie für Menschen nach Schocktraumata (König et al. 2016).

Risiken des Pfades werden in einer noch unzureichenden Infrastruktur sowie in der möglichen ggf. geringen Akzeptanz beim Verbrauchenden aufgrund der industriellen Verfahren gesehen.

Ethische Aspekte

Aus der Tierschutzperspektive ist die Bereitstellung möglichst optimaler Haltungsbedingungen für die gezüchteten Fische notwendig. Dies gilt nach Möller et al. (2015) insbesondere für eine Aquakultur-Prozessführung in geschlossenen Kreislaufanlagen, in denen eine Aufzucht und Produktion angestrebt wird, die sich an den Bedürfnissen der Fischarten orientiert (Möller et al. 2015). Diese ethisch motivierte Forderung ist auch aus ökonomischer Sicht geboten, da der Gesundheitszustand und die Stressbelastung der Fische im Zusammenhang mit diesem Pfad eine wichtige Rolle spielen, um Anfälligkeiten für Krankheiten und damit verbundene Behandlungsnotwendigkeiten oder Produktionsausfälle zu reduzieren. Es ist aber zu betonen, dass in Kreislaufanlagen keine naturnahen Bedingungen wie in Aquarien nachgestellt werden, sondern es sich um industrielle Anlagen handelt.

Im Hinblick auf Gerechtigkeitsfragen können Kreislauf-Aquakulturanlagen bzw. die Nutzung von Aquaponiksystemen zu einer Entlastung der Nachfrage von Fisch aus Wildfang beitragen. So kann erreicht werden, dass Fischbestände, auf die die lokale Bevölkerung angewiesen ist, ihnen weiter zur Verfügung stehen. Zudem besteht die Möglichkeit, mit Kreislauf-Aquakulturanlagen bzw. der Nutzung von Aquaponiksystemen die Ernährungssicherheit in weniger entwickelten Regionen zu stärken.

Quellen

Antony, F. 2018: Politik für eine nachhaltige Aquakultur. Empfehlungen aus der Zielperspektive.

Bergleiter, S. et al. (2017): Kreislaufanlagen – Position des Öko-Sektors. Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft

Diana, J. et al. (2013): Responsible Aquaculture in 2050. Valuing Local Conditions and Human Innovations Will Be Key to Success. In: BioScience 63 (4), S. 255–262. DOI: 10.1525/bio.2013.63.4.5.

DGE (2016): Regelmäßig Fisch auf den Tisch. Im Internet unter: <https://www.dge.de/presse/pm/regelmaessig-fisch-auf-den-tisch/>

FAO (2014) The State of World Fisheries and Aquaculture - Opportunities and Challenges, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome

FAO (2016): The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>

FAO (2017): Fisheries and aquaculture statistics 2015.

FAO (2018): The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/I9540EN/i9540en.pdf>,

FAO (2018): The state of world fisheries and aquaculture 2018. Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC Y-NC-SA 3.0 IGO.

Hubold, Gerd; Klepper, Rainer (2013) Die Bedeutung von Fischerei und Aquakultur für die globale Ernährungssicherung. Thünen Working Paper 3, Thünen Institut, Braunschweig. https://literatur.thuenen.de/digbib_external/dn052037.pdf

Kloas et al (2015): A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and to reduce environmental impacts. In: Aquaculture Environment Interactions 7, p. 179-192

König et al (2016): On the sustainability of aquaponics. In: Ecocycles, Vol. 2, p. 26-32

Möller et al. (2015): Förderinitiative Aquakultur: Wissenschaftliche Begleitung und Nachhaltigkeitsbewertung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Rahmen der DBU-Förderinitiative „Nachhaltige Aquakultur

Morgenstern et al. (2016): Pilotstudie "Nachhaltige Aquaponik-Erzeugung für Nordrhein-Westfalen. Forschungsbericht des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest und des Instituts für Green Technology und Ländliche Entwicklung.

Möller und Antony (2015): Synopse der übergeordneten Erkenntnisse aus der nachhaltigkeitsbewertung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Rahmen der DBU-Förderinitiative „Nachhaltige Aquakultur“ <https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/041115094404a19o.pdf>

Monsees (2017): Overcoming major bottlenecks in aquaponics - A practical approach. Dissertation.

Nestle, Maïke (2017): Fleisch und Fisch noch zeitgemäß? In. UGB Forum 1/17, S. 12-15

OECD; FAO (2018): OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/i9166en/i9166en.PDF>,

Tyson et al (2011): Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. In: HortTechnology Vol. 21, p. 6 - 13.

World Bank (Hg.) (2013): Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture. Agriculture and Environmental Services Discussion Paper 03 (WORLD BANK REPORT NUMBER 83177-GLB). Online verfügbar unter <http://www.fao.org/docrep/019/i3640e/i3640e.pdf>,

WWF (2018): Ist Aquakultur die Lösung? Im Internet unter: <https://www.wwf.de/themen-projekte/meere-kuesten/fischerei/nachhaltige-fischerei/aquakulturen/>

4.3.3 Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor, u.a. Bauen mit Stroh oder Holz

Abbildung 4-4: Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor, u.a. Bauen mit Holz oder Stroh im Vergleich zu mineralischen Bauweisen und konventionellen Dämmmaterialien

Bewertungsaspekt	Wirkungskategorie	Entlastung	geringe Belastung	mittlere Belastung	hohe Belastung
Chemische Umwelt	THG	●	●	●	●
	Luftschadstoffe	●	●	●	●
	Boden	◐	◐	◐	●
	Gewässer	●	●	●	●
Biologische Umwelt	Agrobiodiversität	●	●	●	●
	Biologische Vielfalt	◐	◐	◐	◐
Ressourceninanspruchnahme	Nicht-biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	Wasserverbrauch	◐	◐	●	●
	Flächennutzung	◐	●	●	◐
Sozioökonomische Aspekte	Akzeptanz	●	●	●	●
	Gesundheit	●	●	●	●

- Eine Bewertungsstufe trifft voll zu.
- ◐ Die Bewertungsstufe trifft nicht voll zu. Es ist eine Ent- wie auch eine Belastung über alle Skalen möglich.
- Kein Einfluss oder keine Änderung

Quelle: eigene Darstellung

Anstieg der Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor, u.a. Bauen mit Holz oder Stroh

Beschreibung

Bau, Ausbau, Nutzung, Modernisierung und Instandhaltung von Gebäuden und Infrastruktur verbrauchen in Deutschland einen Großteil an Fläche, Energie und Rohstoffen. Eine verstärkte Nutzung biogener Baustoffe im Neubau und bei der Modernisierung kann zu einer Reduktion des Einsatzes an nicht erneuerbaren Ressourcen führen. Die Einsparung nicht erneuerbarer Ressourcen findet dabei sowohl in der Herstellungsphase, während des Gebäudeunterhalts und bei der Entsorgung am Ende des Lebenszyklus statt.

Nicht nur im Wohnungsbau, auch im Gewerbebau werden nachwachsende Rohstoffe seit einigen Jahren kontinuierlich genutzt (BMEL 2018). Naturdämmstoffe aus Holzfasern, Hanf, Stroh oder Schafswolle kommen ebenfalls mit steigender Tendenz im Gebäudebau zum Einsatz. Naturdämmstoffe besitzen vergleichbare Eigenschaften bzgl. Langlebigkeit und Dauerhaftigkeit wie derzeit genutzte Dämmstoffe aus nicht nachwachsenden Rohstoffen. Allerdings werden mit Naturdämmstoffen u.a. geringere Dämmwerte erreicht als mit konventionellen Dämmstoffen. Das bedeutet, dass größere Mengen für die gleiche Dämmleistung im Gebäude verbaut werden müssen. Dies kann aber – neben Vorteilen beim Schutz gegen Feuchteschäden – positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz wirken. Biogene Dämmstoffe stellen zudem langlebige Produkte dar, die über Jahrzehnte Kohlenstoff als Beitrag zum Klimaschutz binden.

Konkurrierende Pfade

Für den Einsatz biogener Materialien im Gebäudebereich gibt es mehrere konkurrierende Pfade: Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen wie Stroh und Holz ist ein stetig wachsender bioökonomischer Pfad, der auch Optionen wie Betonrecycling enthält. Generell ist die klassische Betonbauweise eine starke Konkurrenz für Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen. Viele weitere – noch neue – Baumaterialien sind derzeit in der Forschung, wie z.B. Bauen mit Pilzfäden, Bambus oder Abfall (Reichel 2018). Schalldämmende Ziegel oder Nutzung von Wiesengras zur Dämmung sind weitere Rohstoffe, deren Einsatzmöglichkeiten untersucht und diskutiert werden.

Perspektive des Pfades

Der Gebäudesektor hat mit der Energieeffizienzstrategie Gebäude (2015) und dem Klimaschutzplan (2016) energiepolitische Ziele, nämlich die Energieeffizienz von Gebäuden zu steigern, u.a. durch die Sanierung von Bestandsgebäuden (z.B. durch Dämmung mit biogenen Baustoffen) (dena 2017). Außerdem sollen verstärkt erneuerbare Energien bei der Energieversorgung der Gebäude eingesetzt werden, z.B. durch den Einsatz von Biomasse zur Wärmeerzeugung oder Strom-Wärmepumpen.

Wirtschaftssektor

Bausektor, Forst- und Landwirtschaft

Diskussion der Treiber der Bioökonomie

Bauen mit pflanzlichen, Kohlenstoff speichernden Materialien ist nicht neu. So war bis Mitte des 19. Jahrhunderts Holz das mit Abstand wichtigste Baumaterial (Frey 2019). Die Endlichkeit fossiler Ressourcen hat die Auseinandersetzung mit alten Materialien (Holz) und auch mit

neuen Ideen (wie z.B. Pilzfäden, Strohbauweise) wieder in den Fokus gerückt. In den letzten Jahren wird der Bausektor durch die stark gestiegene Nachfrage nach Wohnraum angetrieben. Des Weiteren kommen Belange des Klimaschutzes, beim Bau von neuen Gebäuden, bei Sanierung des Bestands oder bei der Energieversorgung hinzu. Dadurch wird die Nachfrage nach z.B. biogenen Rohstoffen angetrieben.

Zeitliche Perspektive des Pfades

Die zeitliche Perspektive des Pfades wird mittelfristig (bis 2030) gesehen (z.B. Hafner et al. 2017). Dies bezieht sich auf die Nutzung von Holzbaustoffen. Mittel- bis langfristig wird erwartet, dass eine vermehrte Nutzung von Laubholz als Bauholz anstelle von Nadelholz stattfindet (Schmidt et al. 2014)

Bei der Nutzung von Stroh im Gebäudesektor wird die langfristige Perspektive (bis 2050) angenommen, da es bis dato nur die Strohbaurichtlinie SBR-2014 gibt, jedoch sonst keine weiteren anerkannten Regeln, Techniken und Normen. Hier bedarf es künftig weiterer Untersuchungen und Praxistests, um diesen Pfad verstärkt in die Umsetzung zu bringen (FNR 2018).

Mengenrelevanz in Bezug auf den Einsatz von biogenen Ressourcen

Die Mengenrelevanz des Pfades ist hoch, da die Nachfrage aus unterschiedlichen Einsatzgebieten des Gebäudesektors kommt und dort verhältnismäßig große Mengen an Rohstoffen umgesetzt werden. Neben dem Gebäudebau (Wohnraum und Gewerbe, statische Elemente sowie Innenausbau) selbst, werden biogene Rohstoffe auch im Sanierungssektor und – außerhalb dieses Pfades – im Energiesektor (Strom- und Wärmeversorgung im Gebäude) nachgefragt. Eine weitere Rolle spielt der Leichtbau mit Holz, z.B. in Form der Gebäudeaufstockung in Städten, wo Fläche knapp und teuer ist. Hier wird künftig erwartet, dass die Gebäudeaufstockung einen relevanten Beitrag zur Schaffung von Wohnraum leisten wird.

Wirkungskette

Die steigende Nachfrage nach Wohnraum und die Klimaschutzziele (Ursache) stellen den Gebäudesektor vor die Herausforderung, verstärkt Wohnungen mit geringem Energiebedarf und Baumaterialien mit geringen THG-Emissionen zur Verfügung zu stellen (Problem). Dies kann durch Neubau, Nachverdichtung oder Sanierung umgesetzt werden. Ziel des Pfades ist es, nachhaltigen Wohnraum zu bauen bzw. Bestand nachhaltig zu sanieren. Instrumente wie die Energieeffizienzrichtlinie oder das EEWärmeG geben den gesetzgeberischen Rahmen vor. Der Einsatz von biogenen Ressourcen wie Holz oder Stroh im Bau soll dadurch verstärkt werden (Verhalten).

Bewertung des Bauens mit Holz und Stroh im Vergleich mit Massivbauweise

Kurzcharakterisierung des Referenzpfades

Anwendung der mineralischen Bauweise (Ziegel, Stahlbeton etc.) beim Gebäudebau, Nutzung von konventionellen Dämmmaterialien auf Basis mineralischer und fossiler Rohstoffe wie Stein- und Glaswolle und Polyurethan-Hartschaum.

Für bereits übliche Holznutzungen wie Dachkonstruktionen wird bei der Bewertung nur die zusätzlich zu erwartende Holznutzung berücksichtigt (vgl. Hafner et al. 2017).

Diskussion der chemischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Die Herstellung und Verarbeitung von Holzbauprodukten benötigt (mit wenigen Ausnahmen) deutlich weniger Energie als Produkte aus mineralischen und fossilen Rohstoffen. Bei dem heutigen Energiemix in Deutschland ergibt sich hinsichtlich der Treibhausgasbilanz für diesen Pfad ein Vorteil gegenüber der fossilen Referenz (Kolb 2019). So erreicht z.B. Stroh als Dämmstoff gegenüber nicht-biogenen Alternativen sehr hohe Treibhausgasminderungen (FNR 2018). Zudem wird über biogene Baustoffe langfristig CO₂ gebunden (z.B. Holzständerbau statt Leichtbetonsteine) (vgl. Hafner et al. 2017).

Auch in Bezug auf Luftschadstoffe, Bodenversauerung und Gewässereutrophierung wird unterstellt, dass biogene Baustoffe mit geringeren Belastungen verbunden sind, wie z.B. Ökobilanzen zu Holzprodukten zeigen (Gärtner et al. 2013). Die Belastung des Bodens ist eng mit Nutzungsintensitäten von land- oder forstwirtschaftlichen Flächen verknüpft. Je nach Ausprägung der Nutzung wie z.B. Holzentnahmerate, Strohentnahmerate oder dem Maschinen- und Düngemiteleinsatz kann in Bezug auf den Bodenkohlenstoff die Nährstoffversorgung und die Bodenverdichtung zu einer Entlastung bis zu einer mittleren Belastung von Böden führen.

Diskussion der biologischen Umweltbe- und/oder -entlastung

In den meisten Fällen führt die Entnahme von Holz zu einer Reduktion von Habitatstrukturen, die für alle Waldarten von Bedeutung sind. In Deutschland sind z.B. zahlreiche gefährdete Arten an Totholzstrukturen und an alte Bäume gebunden, die in den Wäldern in Deutschland deutlich unterrepräsentiert sind (Reise et al. 2017).

Ein Anstieg der Holznutzung als Baumaterial birgt das Risiko einer Intensivierung der Waldbewirtschaftung, womit negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt verbunden sind. Dies kann vermieden werden, wenn bei gleichbleibendem Holzeinschlag die energetische Nutzung von Holz zu Gunsten der stofflichen Nutzung reduziert wird. So kann – je nach Ausgestaltung der Holzentnahme im Wald – eine geringe bis hohe Belastung für die biologische Vielfalt auftreten. Im Fall, dass Altholz als Baumaterial (z.B. Faserplatten) genutzt wird, ist gegenüber der fossilen Referenz mit einer Entlastung zu rechnen. Allerdings unterliegt die Altholznutzung den Preisschwankungen am Holzmarkt. Je günstiger Waldholz ist, desto weniger Altholz wird genutzt.

Bei Stroh als Dämmstoff ist festzuhalten, dass Ackerflächen eine verhältnismäßig geringe biologische Vielfalt haben. Bei der Strohentnahme wird aus technischen Gründen eine gewisse Menge an Stroh auf der Fläche belassen (Stoppeln, Bruch beim Dreschen), so dass ein Teil des Strohs auf den Flächen verbleibt. Die Belastung für Arten, die auf Stroh als Lebensgrundlage angewiesen sind, wird daher als gering bis mittel eingeschätzt.

Im Hinblick auf die Agrobiodiversität wird durch die Strohentnahme keine deutliche Veränderung erwartet.

Ressourceninanspruchnahme (Be- und Entlastung)

Im Vergleich zum Massivbau mit seinen vorwiegend mineralischen Baustoffen entlastet der Holzbau den Einsatz von fossilen Ressourcen. Damit verbunden ist eine Steigerung der Bauholznachfrage. Hafner et al. (2017) haben errechnet, dass bei einem Anstieg der Holzbauquote ein jährlicher Mehrbedarf in Höhe von knapp 4,5 Mm³ Holz erwartbar ist. Dies entspricht

in etwa 10% der Stamm- und Industrieholzproduktion des Durchschnitts der Jahre 2011 bis 2015 (Hafner et al. 2017).

Hafner et al. (2017) stellen fest, dass der Mehrbedarf für den Bau von Ein- und Mehrfamilienhäusern auch künftig aus heimischen Beständen gedeckt werden kann. Allerdings betrachten sie in ihrer Studie nicht den Bereich der Nichtwohngebäude und der Sanierung. Es ist vorstellbar, dass ein Anstieg der Holzbauweise mit einer hohen Ressourceninanspruchnahme im In- und Ausland verbunden sein wird.

In Summe wird erwartet, dass die steigende Nutzung von biogenen Baustoffen zu einer hohen Belastung biogener Rohstoffe und zu einer Entlastung nicht-biogener Rohstoffe führt.

In Bezug auf die Kategorie Wasserverbrauch wird erwartet, dass sich die biogenen und nicht-biogenen Bauprodukte nur in geringen Umfängen unterscheiden, so dass hier eine Entlastung bis geringe Belastung für den Pfad gegenüber der Referenz angenommen wird.

Die Flächeninanspruchnahme ist bei biogenen Produkten, die aus Anbaubiomasse (z.B. Stammholz) oder Reststoffen mit Flächenbezug (z.B. Stroh) hergestellt werden, deutlich höher als bei der Referenz. Daher wird die Flächeninanspruchnahme mit einer hohen Belastung bewertet. Im Fall von biogenen Baumaterialien aus Abfällen und Reststoffen ohne Flächenbezug (z.B. Altholz) wird hingegen keine Fläche genutzt und eine Entlastung angenommen.

Soziale Aspekte

Holz und Stroh haben den Ruf, schnell brennbar zu sein, obwohl dies seit langem widerlegt ist (Holzbauwelt 2019). Damit einher geht die Angst, Gebäude durch Feuer zu verlieren bzw. selber in einem Brand umzukommen. Es wird vermutet, dass sich diese Einstellung vor allem auch vor dem Hintergrund des zunehmenden Umweltbewusstseins wandelt (Holzbauwelt 2019).

Als weitere Hemmnisse nennen Hafner et al. (2017) fehlendes Fachwissen beim Holzbau. Nachwuchsprobleme und der resultierende Fachkräftemangel sind ein weiteres Hemmnis für einen Anstieg des Holzbaupfades.

Der mehrgeschossige Holzbau stellt höhere technische Anforderungen, benötigt höhere Finanzvolumina und setzt eine größere Stückzahl an Bauteilen voraus. Die Holzbaubranche ist traditionell durch kleine und mittelständische Unternehmen geprägt, die diese Anforderungen oft nicht erfüllen können. Aktuell ist es nur wenigen ausführenden Holzbaufirmen möglich, umfangreiche Bauprojekte im mehrgeschossigen Holzbau zu realisieren (Hafner et al. 2017).

Mit der Charta Holz 2.0¹⁹ wurde eine nationale Holzbaustrategie entwickelt und umgesetzt, die die Akzeptanz fördern und Hemmnisse abbauen soll.

Die Holzbauweise fördert ein gesundes Raumklima und schafft ein angenehmes Wohnklima. Dies liegt u.a. daran, dass Holz die Luftfeuchtigkeit aufnimmt und auch wieder abgeben kann, insbesondere wenn es mit anderen natürlichen bzw. biogenen Baustoffen kombiniert wird. Neben dem Feuchteschutz ist Schall- und Lärmschutz durch Holzfasern im Dämmbereich oder

¹⁹ Bei der Charta für Holz steht die Sicherung der Rohholzversorgung, Aspekte der Steigerung der stofflichen Holzverwendung sowie die Kreislaufwirtschaft, Material- und Ressourceneffizienz für mehr Klimaschutz und Wertschöpfung im Vordergrund (BMEL 2018). Sie entstand im Zuge der Arbeiten zum Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung.

auch Stroh ein weiterer wichtiger Aspekt, der der menschlichen Gesundheit zu Gute kommt (Hafner et al. 2017).

Chancen und Risiken sowie weitere ethische Aspekte

Chancen/Risiken des Trends

Bauen mit Holz wird als ökonomisch vorteilhaft eingeschätzt, da höhere Materialkosten durch kürzere Bauzeiten ausgeglichen werden. Die Lagerung der vorgefertigten Gebäudeelemente wird ebenfalls verkürzt, da durch den hohen Vorfertigungsgrad schneller montiert werden kann (BMEL 2018).

Der rohstoffintensive Gebäudesektor verwendet überwiegend mineralische Rohstoffe. Die Substitution durch biogene Ressourcen kann den Energiebedarf und den Emissionsausstoß des Sektors massiv reduzieren. Neben dem Neubau ist insbesondere der Bedarf an energetischer Sanierung hoch. Gerade in diesem Bereich eignen sich biogene Rohstoffe. Wird saniert statt abgerissen und neugebaut, kann Material und Energie eingespart werden. Weitere Chancen des Pfades werden auf kurze Bauzeiten, geringes Gewicht des Materials bei hoher Tragfähigkeit und Flexibilität bei der Aufstockung von Gebäuden oder der Wohnraumerweiterung zurückgeführt (BMEL 2018).

Chancen werden künftig im Bereich des Mehrfamilienhausbaus sowie dem Bau von Gewerbegebäuden gesehen. Hier besteht jedoch ein hoher Bedarf an Wissenszuwachs, z.B. für Mischbauweise (BMEL 2018). Auch DHWR (2016) fordert mehr Weiterbildung im Bereich Bauen mit Holz für Planende, Behörden und Verbraucherinnen und Verbraucher. Eine weitere Chance des Pfades wird beim Einsatz von Holz im Hochbau gesehen. Allerdings ist die Nutzung derzeit noch gering, da die meisten Holzhochhäuser Pilotprojekte sind. Es fehlen verbindliche Normen und damit einhergehend Baugenehmigungen. Die Einzelprojekte sind dadurch sehr kostenintensiv (Schmundt 2019).

Beim Strohhallenbau fehlen anerkannte Normen, um die Anwendung auszuweiten. Hier gibt es nach wie vor Forschungs- und Entwicklungsbedarf, wobei die Erfolgsaussichten als ungewiss angesehen werden. Vorrangiges Ziel für die nächsten Jahre ist die Entwicklung eines Marktes für strohgedämmte Gebäude. Dazu bedarf es weiterer inhaltlicher Qualifizierung, vor allem bei Unternehmen, die Strohhallenhäuser komplett anbieten (FNR 2018).

Risiken entstehen vor allem durch eine verstärkte Nachfrage nach zusätzlichen biogenen Baurohstoffen, die ggf. aus dem Ausland importiert werden müssen und die keinen Nachhaltigkeitsstandards unterliegen. Neben illegalem Einschlag spielt auch das Thema Korruption eine Rolle.

Die steigende Nutzung von Nadelholz muss ebenfalls kritisch betrachtet werden, um eine künftige Übernutzung von Nadelwäldern zu vermeiden (DHWR 2016).

Ethische Aspekte

Im Zuge der Holznutzung sind u.a. Fragen zur Verteilungsgerechtigkeit zu adressieren. Der Rohstoff wird von vielen Wirtschaftssektoren nachgefragt, was Zielkonflikte birgt. Letztlich gilt: es darf nur die Menge an Rohstoff entnommen werden wie auch nachwächst. Die Verwendung der Ressourcen darf weder Ungleichheit hervorrufen noch dauerhafte Ansprüche suggerieren. Die ethische Beurteilung des Verwendungszweckes muss sich am nachhaltigen Wirtschaften

orientieren, das heißt soziale, ökologische und ökonomische Bedürfnisse müssen harmonisieren.

Das Nutzeninteresse des Bausektors muss mit den langfristigen Zielen des Naturschutzes einhergehen. Beispielhaft zu nennen ist die Nutzung von schnellwachsenden Nadelhölzern. Hier besteht das Risiko, dass beim Waldbau Monokultur anstelle von Mischwäldern das künftige Landschaftsbild prägt (DBU 2018). Rosenberger et al. (2018) sagen dazu, dass ohne Biodiversität im Wald die Wirtschaftlichkeit der Waldnutzung sinkt, jedoch ohne Wirtschaftlichkeit ließe sich Biodiversität nicht sichern. Insofern ginge es nicht um ein Entweder-Oder, sondern nur um die Frage, wie diese beiden Aspekte in eine Balance gebracht werden können.

Quellen

- BMEL (2018): Holzbauplus Bundeswettbewerb. Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen 2018.
- BMEL (2018): Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. Charta für Holz 2.0
- Block, J. et al (2017): Einfluss der waldbaulichen Behandlung und der Holznutzung auf den Nährstoffhaushalt von Traubeneichenökosystemen.
- DBU (2018): Bioökonomie und Ethik.
- Dena (2017): Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor. Eine Studie der dena, der geea und weiterer Verbände aus dem Bereich Gebäudeenergieeffizienz.
- Schmundt, H. (2019): Hoch gewachsen. In: Der Spiegel Nr. 6/2019
- DHWR (2016): Roadmap Holzwirtschaft 2025.
- FNR (2018): Strohgedämmte Gebäude. Gefördert durch das BMEL.
- Frey, A. (2019): Holz in die Hütten. In: Spektrum.de Im Internet unter: <https://www.spektrum.de/news/holzhaeuser-sind-stabil-und-umweltfreundlich-der-baustoff-kann-mehr-als-stahl-und-beton/1617206>
- Gärtner, S.; Hienz, G.; Keller, H.; Müller-Lindenlauf, M. (2013): Gesamtökologische Bewertung der Kaskadennutzung von Holz – Umweltauswirkungen stofflicher und energetischer Holznutzungssysteme im Vergleich. IFEU, Heidelberg.
- Hafner A.; et al. (2017): Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau). 148 S. Forschungs-projekt: 28W-B-3-054-01 Waldklimafonds. BMEL/BMUB. ISBN: 978-3-00-055101-7
- Holzbauwelt (2019): Bauen mit Holz. Im Internet unter: <https://www.holzbauwelt.de/baustoff-holz/bauen-mit-holz.html>
- Kristof, C. et al. (2008): Erschließung nachhaltiger Märkte für das Bauen mit Holz. Verbundvorhaben im BMBF-Förderschwerpunkt „Nachhaltige Waldwirtschaft“.
- Kolb, B. (2019): Holzhäuser – Ökobilanz. Baustoff-Datenblätter. Forum Nachhaltiges Bauen
- Mantau et al. (2018): Rohstoffmonitoring Holz. Erwartungen und Möglichkeiten. Kurzfassung, FNR, Gülzow-Prüzen.
- Massivhaus (2011): Massivhaus oder Holzhaus. Welche Bauweise ist ökologischer? Ökobilanzstudie. Ausgabe April 2011.
- Reichel, J. (2018): Bauen mit Pilzen. Im Internet unter: <https://biooekonomie.de/interview/bauen-mit-pilzen>

Reise, J. et al, (2017): Analyse und Diskussion naturschutzfachlich bedeutsamer Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. 2. Überarbeitete Auflage. BfN-Skripten 427, BfN, Bonn – Bad Godesberg. Link: <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript427.pdf>

Rosenberger, M. et al (2018): Forstwirtschaft und Biodiversität. Interdisziplinäre Zugänge zu einem spannungsreichen Handlungsfeld. München: Oekom Verlag.

Schmidt et al. (2014): Bauen mit Laubholz. In: Wald Wissenschaft Praxis Nr. 98/2014

4.3.4 Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien)

Abbildung 4-5: Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien) im Vergleich zu Grundchemikalien auf der Basis von Rohöl

Bewertungsaspekt	Wirkungskategorie	Entlastung	geringe Belastung	mittlere Belastung	hohe Belastung
Chemische Umwelt	THG	●	●	●	●
	Luftschadstoffe	●	●	●	●
	Boden	●	●	●	●
	Gewässer	●	●	●	●
Biologische Umwelt	Agrobiodiversität	●	●	●	●
	Biologische Vielfalt	●	●	●	●
Ressourceninanspruchnahme	Nicht-biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	Wasserverbrauch	●	●	●	●
	Flächennutzung	●	●	●	●
Sozioökonomische Aspekte	Akzeptanz	●	●	●	●
	Gesundheit	●	●	●	●

- Eine Bewertungsstufe trifft voll zu.
- Die Bewertungsstufe trifft nicht voll zu. Es ist eine Ent- wie auch eine Belastung über alle Skalen möglich.
- Kein Einfluss oder keine Änderung

Quelle: eigene Darstellung

Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien)

Beschreibung

Grundchemikalien sind Chemikalien, die in großem Maßstab industriell hergestellt und als Ausgangsmaterial für viele andere Industrieprodukte genutzt werden. Da die Herstellung von Grundchemikalien für zwei Drittel der CO₂-Emissionen des Chemiesektors verantwortlich ist, kommt ihrer Produktion im Hinblick auf eine Dekarbonisierung dieses Sektors eine hohe Bedeutung zu (Gehrke 2018). Grundchemikalien werden als Plattform-Chemikalien bezeichnet und heute überwiegend aus Rohöl gewonnen (Pietzsch 2017). Ihre Substitution durch erneuerbare C-Quellen kann die Emissionen in der chemischen Industrie und nachfolgenden Branchen deutlich senken. Biogene Quellen oder strombasierte Kohlenstoffverbindungen (Power to Carbon Compounds, PtCC) sind alternative Optionen zur Rohölnutzung. Zur Herstellung von biobasierten Plattform-Chemikalien können biotechnologische, chemische oder thermische Verfahren angewandt werden. Zu nennen sind z.B. die Ethanolproduktion durch alkoholische Gärung oder der Einsatz von pflanzlichem Naphtha anstelle von Erdölnaphtha als Rohstoff.

Konkurrierende Pfade

Als konkurrierender Pfad, um fossile Grundchemikalien durch erneuerbare Quellen zu ersetzen, ist die Nutzung von PtCC zu nennen. Diese Technologie erreicht – abhängig von den erneuerbaren Anteilen im Strommix – erst deutlich nach 2030 eine THG-Minderung gegenüber fossilen Rohstoffen.

Hervorzuheben ist zudem, dass Biokraftstoffe (siehe Erneuerbare-Energien-Richtlinie, RED II)²⁰ z.T. auch direkt als Grundchemikalien in der chemischen Industrie genutzt werden können. Hier besteht eine deutliche Konkurrenz zwischen der energetischen und der stofflichen Nutzung.

Perspektive des Pfades

Zum Erreichen von Klimaschutzzielen muss in der chemischen Industrie die Produktion auf die Verwendung von erneuerbarem und recyceltem Kohlenstoff als Rohstoff umgestellt werden. Als erneuerbare Kohlenstoffquellen kommen biogene Rohstoffe oder der verstärkte Einsatz strombasierter Grundstoffe (PtCC) in Frage (vom Berg et al. 2019). Nachwachsende Rohstoffe, wie Fette, Stärke, Cellulose und Zucker, werden heute bereits in der chemischen Industrie eingesetzt. Der Einsatz von biogenen Rohstoffen zur Produktion von Plattform-Chemikalien ist eine Option, um Treibhausgasemissionen in der chemischen Industrie zu senken. Der steigende Anteil an biogenen Rohstoffen in der chemischen Industrie führt aber zu einer generellen Erhöhung der Nachfrage nach Biomasse. Für die Umsetzung des Pfades sind daher – neben hohen Investitionen – auch zusätzliche Mengen an nachhaltig produzierter Biomasse, vorzugsweise Non-Food-Biomasse, notwendig (Pietzsch 2017). Die Verfügbarkeit der notwendigen Mengen kann hier an Potenzialgrenzen stoßen, insbesondere auch aufgrund einer Konkurrenz zu fortschrittlichen Biokraftstoffen, die aus Abfall- und Reststoffen sowie Waldholz hergestellt werden (siehe Erneuerbare-Energien-Richtlinie, RED II).

²⁰ Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). PE-CONS 48/1/18, REV 1.

Allerdings stellen Gehrke et al. (2018) heraus, dass aufgrund der stark gesunkenen Ölpreise ein grundlegender Wandel in der Chemieindustrie - weg von den fossilen Rohstoffen hin zu biogenen Rohstoffen - auf absehbare Zeit nicht bzw. sehr langsam stattfinden wird. Sie erwarten langfristig eher ein Nebeneinander biogener und fossiler Rohstoffnutzungen.

Durch die politische Förderung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor (RED II) kann erwartet werden, dass in diesem Bereich eine technische Weiterentwicklung und Kostensenkung eintreten wird. Da die Produkte auch als Grundchemikalien eingesetzt werden können, wird ihr Einsatz in der chemischen Industrie stimuliert, allerdings nur, wenn die notwendigen Biomassepotenziale nicht erschöpft sind (siehe Konkurrenz oben).

Wirtschaftssektor

Chemische Industrie

Diskussion der Treiber der Bioökonomie

Der Pfad wird vor allem durch die Endlichkeit fossiler Ressourcen getrieben. Der Großteil der chemischen Grundbausteine wird derzeit aus Rohöl gewonnen. Die Abhängigkeit vom Rohöl als Ausgangsstoff ist ein starker Treiber dieses Pfades. Weitere Treiber sind der Klimawandel, der steigende Energiebedarf sowie der technologische Fortschritt.

Zeitliche Perspektive des Pfades

Bereits heute werden biogene Rohstoffe als Rohstoff für Plattform-Chemikalien genutzt. Es wird jedoch erwartet, dass diese Nutzung – im Rahmen der Potenzialgrenzen für nachhaltige Biomasse und der konkurrierenden Nutzung als Biokraftstoff – bis zum Jahr 2030 ausgebaut wird. Bis zum Jahr 2050 werden nur noch geringe Zunahmen aufgrund begrenzter Potenziale erwartet.

Mengenrelevanz in Bezug auf den Einsatz von biogenen Ressourcen

Die Mengenrelevanz wird als hoch eingeschätzt, da über die Plattform-Chemikalien Massenprodukte in der chemischen Industrie adressiert werden.

Wirkungskette

Die Endlichkeit fossiler Ressourcen, die ein wesentlicher Grundbaustein der Plattform-Chemikalien sind (Ursache), stellt die chemische Industrie vor die Herausforderung, wie es gelingt, den Rohstoffbedarf der Branche künftig zu decken (Problem). Ziel ist es, verstärkt erneuerbare Rohstoffe wie biogene Ressourcen und PtCC sowie Rohstoffrecycling einzusetzen. Effizienzsteigerungen der Energie- und Stoffumwandlungsprozesse werden in diesem Zusammenhang ebenfalls genutzt (Instrumente). In Summe soll eine treibhausgasarme Produktion von chemischen Grundstoffen forciert werden (Verhalten).

Bewertung biogener Plattform-Chemikalien im Vergleich zu fossilen Grundchemikalien

Kurzcharakterisierung des Referenzpfades

Herstellung von Grundchemikalien auf der Basis von Rohöl, die als Ausgangsmaterial für viele andere Industrieprodukte dienen

Diskussion der chemischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Durch den vermehrten Einsatz von Plattform-Chemikalien auf Basis biogener Rohstoffe können Treibhausgasemissionen gegenüber der fossilen Referenz reduziert werden. Beispielsweise werden durch die stoffliche Nutzung von lignocelluloseartigen biogenen Abfallstoffen (wie z.B. Lignin) Treibhausgase im Vergleich zur fossilen Referenz eingespart (Entlastung; Braun et al. 2015). Je nach eingesetztem Energiemix bei der Herstellung und der Wahl der Art bzw. Herkunft der Biomasse kann sich aber die Bilanz auch zu Ungunsten der biogenen Plattform-Chemikalien bis hin zu einer hohen Belastung wenden (Oertel 2007, Carus et al. 2013). Dies gilt auch für eine mögliche Umweltentlastung in der Belastungskategorie Luft.

In Bezug auf Boden und Gewässer ist für Erdöl-Pfade mit Verschmutzungsrisiken zu rechnen (z.B. Leck in einer Öl-Pipeline, Havarie von Öltanker oder Bohrinself), die aber je nach Herkunftsregion, Transport und Weiterverarbeitung unterschiedlich hoch ausfallen können. Für biogene Rohstoffe werden Risiken einer Belastung von Boden und Gewässer vor allem bei der Rohstoffbereitstellung erwartet. Abhängig vom eingesetzten Biomasserohstoff, der damit verbundenen Anbauweise und der Anbauregion sowie der Nutzung von Haupt-/Nebenprodukten oder Rest- und Abfallstoffen ist mit Umweltentlastungen oder mit deutlichen Umweltbelastungen zu rechnen (Oertel 2007). Bei Anbaubiomasse können im Fall einer zunehmend intensiveren Flächennutzung Belastungen durch Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz auf Gewässer (z.B. Nitratauswaschung), die Atmosphäre (z.B. Lachgas-Emissionen) oder das Bodenleben steigen. Die Bodenfruchtbarkeit kann durch eine Intensivierung des Anbaus sinken (z.B. Abnahme des Bodenkohlenstoffgehalts, Anstieg der Bodenerosion). Im Fall einer Extensivierung des Anbaus können auf der Anbaufläche Entlastungen auftreten. Allerdings ist im Gegenzug mit einer Verknappung der Biomassepotenziale bzw. mit Umweltbelastungen im Zuge von Verdrängungseffekten zu rechnen. Daher wird in Summe für Anbaubiomasse eine geringe bis hohe Belastung im Vergleich zur fossilen Referenz erwartet.

Im Gegensatz dazu wird bei der Nutzung von Abfallströmen und Reststoffen ohne Flächenbezug mit deutlichen Umweltentlastungen gerechnet. Beim Einsatz von Reststoffen mit Flächenbezug ist eine Entlastung bis hin zu einer geringen Belastung zu erwarten (Carus et al. 2013).

Diskussion der biologischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Bei der Nutzung von Anbaubiomasse als biogene Ressource besteht das Risiko einer steigenden Intensivierung der Flächennutzung. Damit könnte eine Belastung für die biologische Vielfalt durch einen vermehrten Einsatz an Agrochemikalien und engere Fruchtfolgen verbunden sein. Hinzu kommen weitere Risiken durch neue Flächeninanspruchnahme (z.B. Umwandlung von Grünland und Wäldern) die mit Habitatverlusten verbunden sein können. Bei Reststoffen mit Flächenbezug sind diese Risiken geringer. Bei Abfällen und Reststoffen ohne Flächenbezug sind diese Risiken gar nicht vorhanden. Risiken für eine Belastung der biologischen Vielfalt bestehen im Zusammenhang mit erdölbasierten Grundchemikalien z.B. durch eine unkontrollierte Freisetzung von Erdöl (z.B. Havarie von Öltanker, Leck eines Tiefseebohrlochs). In Summe kann der Einsatz von biobasierten Grundchemikalien – abhängig von den gewählten Annahmen - zu einer Entlastung bis hin zu einer hohen Belastung im Vergleich zur fossilen Referenz führen.

Werden bisher nicht genutzte Arten und Sorten zur Biomasseproduktion eingesetzt, kann diese Diversifizierung beim Anbau positiv auf die Agrobiodiversität wirken. Es ist aber auch

durch eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung eine Verengung der Fruchtfolgen mit entsprechend negativen Auswirkungen auf die Agrobiodiversität möglich.

Ressourceninanspruchnahme (Be- und Entlastung)

Durch den Pfad wird die Inanspruchnahme fossiler Ressourcen (insbesondere Erdöl) reduziert (Entlastung). In gleichem Maße wird die Inanspruchnahme von biogenen Ressourcen erhöht (hohe Belastung).

Der Wasserverbrauch kann beim Anbau von Feldfrüchten, insbesondere bei bewässerten Flächen, erhöht sein. Im Verarbeitungsprozess werden keine deutlichen Unterschiede zur fossilen Referenz erwartet. In Summe wird dieser Aspekt mit einer geringen bis mittleren Belastung bewertet.

Im Falle der Nutzung von Anbaubiomasse kommt es zu einer deutlich erhöhten Belastung in der Kategorie Flächennutzung. Dem kann durch eine steigende Nutzung biogener Abfälle (Kaskadennutzung, Kreislaufwirtschaft) entgegengewirkt werden. Gegenüber der fossilen Referenz ist eine Entlastung bis hin zu einer hohen Belastung möglich.

Soziale Aspekte

Gehrke et al. (2018) gehen davon aus, dass in weiten Teilen der Bevölkerung eine geringe Technikakzeptanz in Bezug auf die Chemiebranche besteht. Dies liegt ihrer Ansicht nach daran, dass die Chemiebranche von vielen noch immer kritisch betrachtet und neuen Anlagen oft zunächst ablehnend gegenübergestellt wird. Dies betrifft allerdings weniger das direkte Umfeld von Chemieanlagen, weil ein Teil der ansässigen Bevölkerung dort ihren Arbeitsplatz hat und über die tatsächlichen Risiken besser aufgeklärt ist als andere Bevölkerungsteile, die keinen direkten Bezug zur Branche haben. Bei risikobehafteten Verarbeitungspfaden ist aber auch in der direkten Nachbarschaft mit Widerständen zu rechnen. Der Einsatz von biogenen Rohstoffen soll neben der Nachhaltigkeit auch zu einer steigenden Akzeptanz beitragen (vgl. Landtag NRW 2015). Beispielsweise geht der Landtag NRW (2015) von einer großen Akzeptanz des Bioraffineriekonzeptes aus, die aber bei Rohstoffen, die in Konkurrenz zur Ernährung stehen (Tank-Teller-Diskussion), geringer ausfällt als bei Non-Food-Biomasse bzw. Abfall- und Reststoffen. In Bezug auf die Akzeptanz wird daher mit einer Entlastung bis zu einer leichten Belastung gerechnet.

Auf die Kategorie Gesundheit werden keine Effekte erwartet.

Chancen und Risiken sowie weitere ethische Aspekte

Chancen/Risiken des Trends

Aktuell sind biogene Rohstoffe kostenintensiver als fossile Rohstoffe. Dies liegt am derzeitigen niedrigen Ölpreis. Ohne politische Zielsetzungen ist eine Zunahme biobasierter Grundchemikalien unwahrscheinlich. Bei einem politisch getriebenen Wechsel von fossilen hin zu biogenen Rohstoffen ist mit dem Risiko zu rechnen, dass es zu einem Anstieg der Preise für Produkte aus der chemischen Industrie kommt (Gehrke et al. 2018).

Die Chancen des Pfads sind trotzdem als hoch einzustufen, da bis 2030 kaum andere Alternativen, fossile Rohstoffe in der chemischen Industrie zu substituieren, bestehen. Der

Konkurrenzpfad zu PtCC-Technologien wird von Gehrke et al. (2018), VCI (2015) und Ausfelder et al. (2018) erst nach 2030 ökonomisch und ökologisch als sinnvoll eingestuft.

Risiken bestehen vor allem in der begrenzten Verfügbarkeit biogener Rohstoffe, da andere Nutzungen (insbesondere Ernährung, aber auch Bioenergie) um diese Ressource bzw. die benötigte Fläche konkurrieren und Anbaupotenziale bei ggf. steigenden Nachhaltigkeitsanforderungen abnehmen (Bazzanella und Ausfelder 2018).

Dechema (2018) betont, dass biogene Chemikalien, inklusive biogenen Grundchemikalien, chemisch identisch mit ihren petrochemischen Gegenstücken sind. Ein Rohstoffwechsel in der chemischen Industrie kann aber - je nach Produktionspfad der biogenen Grundchemikalien - mit hohen Investitionen in neue Infrastruktur- und Produktionsanlagen verbunden sein, so dass auch hier ökonomische Gründe die Umsetzung verzögern (Bioökonomierat 2014). Dechema (2018) stellt fest, dass der Erdölpreis und politische Entscheidungen der Regierungen (s.o.) zwei Unwägbarkeiten sind, die den wirtschaftlichen Erfolg eines biobasierten Produktes bestimmen.

Ethische Aspekte

Bei der Diskussion um die Nutzung von Biomasse steht insbesondere die Frage zur Konkurrenz mit dem Anbau von Nahrungsmitteln im Fokus. Der Gerechtigkeitsaspekt Ernährungssicherung vor energetischer/stofflicher Nutzung wird als ethische und moralische Notwendigkeit gesehen (Hartmann 2012). Wenn für die Produktion von biogenen Grundchemikalien biogene Kohlenstoffquellen aus Anbaubiomasse stammen, besteht dieser ethische Konflikt, da Nahrungspflanzen direkt genutzt oder durch den Anbau von Nicht-Nahrungspflanzen (z.B. Miscanthus, Kurzumtriebsplantagen) verdrängt werden können. Bei Rest- und Abfallstoffen sind Risiken für die Ernährungssicherheit deutlich geringer, können aber auch auftreten, wenn eine bestehende Nutzung dieser Rohstoffe verdrängt wird.

Das Thema Tierwohl wird von diesem Pfad nicht berührt.

Quellen

Bazzanella, A., Ausfelder, F. (2018): Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry.

Baun, R. et al. (2015): Erneuerbare statt fossiler Rohstoffe – eine Chance für die Schweiz

Bioökonomierat (2014): Wettbewerbsfähigkeit der Bioökonomie in der Chemieindustrie Carus, M. et al. (2013): Ökologische Innovationspolitik - Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

DBU (2017): Bioökonomie und Ethik. Sonderausgabe Forum Wirtschaftsethik.

Dechema (2018): Biobasierte Chemikalien. Im Internet unter: <https://www.chemanager-online.com/themen/chemikalien-distribution/biobasierte-chemikalien>

Gehrke et al. (2018): Branchenanalyse Chemieindustrie

Geres, R. et al. (2018): Transformationspfade für die chemische Industrie in Deutschland. Metastudie.

Landtag Nordrhein-Westfalen (NRW) (2015): Abschlussbericht der Enquetekommission zur Zukunft der chemischen Industrie in Nordrhein-Westfalen im Hinblick auf nachhaltige Rohstoffbasen, Produkte und Produktionsverfahren (Enquetekommission II). Drucksache 16/8500

Oertel, D. (2007): Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Sachstandsbericht zum Monitoring Nachwachsende Rohstoffe. TAB

Pietzsch, J. (Hrsg.) (2017): Bioökonomie für Einsteiger. Springer Spektrum

VCI (2015): Chancen und Grenzen des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie. Positionspapier.

Vom Berg, C. et al. (2019): Concept of bio-based and circular economy. Report within Projekt "Roadmap for the Chemical Industry in Europe towards a Bioeconomy.

Windsberger, A. et al. (2012): Research Agenda. Biobasierte Industrie. Berichte aus der Energie- und Umweltforschung 57/2012

4.3.5 Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor

Abbildung 4-6: Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor im Vergleich zur Nutzung von konventionellen Kraftstoffen auf fossiler Basis

Bewertungsaspekt	Wirkungskategorie	Entlastung	geringe Belastung	mittlere Belastung	hohe Belastung
Chemische Umwelt	THG	●	●	●	●
	Luftschadstoffe	●	●	●	●
	Boden	●	●	●	●
	Gewässer	●	●	●	●
Biologische Umwelt	Agrobiodiversität	●	●	●	●
	Biologische Vielfalt	●	●	●	●
Ressourceninanspruchnahme	Nicht-biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	Wasserverbrauch	●	●	●	●
	Flächennutzung	●	●	●	●
Sozioökonomische Aspekte	Akzeptanz	●	●	●	●
	Gesundheit	●	●	●	●

- Eine Bewertungsstufe trifft voll zu.
- Die Bewertungsstufe trifft nicht voll zu. Es ist eine Ent- wie auch eine Belastung über alle Skalen möglich.
- Kein Einfluss oder keine Änderung

Quelle: eigene Darstellung

Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor

Beschreibung

Im Rahmen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II)²¹ wird die Verwendung von fortschrittlichen Biokraftstoffen über eine Beimischungsquote angereizt. Als fortschrittliche Biokraftstoffe gelten Biokraftstoffe, die auf Basis von Rohstoffen, die in Annex IX der RED II gelistet sind, hergestellt werden. Diese Rohstoffe reichen von Abfällen, Reststoffen (Industrie, Land-, Forstwirtschaft) bis hin zu Stammholz (ohne Säge- und Furnierholz) und Algen (siehe Steckbrief zu Algenbiomasse). Entsprechend der Vielfalt der Rohstoffe können zahlreiche Technologien zur Herstellung von fortschrittlichen Biokraftstoffen Anwendung finden, z.B. anaerobe Fermentation, Pyrolyse-Pfade oder Vergasungstechnologien mit Fischer-Tropsch-Synthese. In der Diskussion und Erprobung sind zudem Konzepte wie Bioraffinerien auf Basis von homogenen Abfallströmen aus der Landwirtschaft und der Lebensmittelverarbeitung und mikrobielle Elektrolysezellen (MECs) zur Verwertung biologisch abbaubarer Abfälle (H₂, Biokraftstoffe, andere Mehrwertprodukte).

Konkurrierende Pfade

Als konkurrierende Pfade sind insbesondere Biokraftstoffe auf Basis von Rohstoffen, die nicht in der RED II im Annex IX gelistet sind, zu nennen. Das sind Biokraftstoffe auf Basis von stärke- und ölhaltigen Feldfrüchten wie Weizen, Zuckerrübe, Zuckerrohr, Raps, Soja und Palmöl. Ebenso sind andere Antriebsoptionen im Verkehrssektor als konkurrierende Pfade zu sehen, z.B. Elektromobilität und strombasierte Kraftstoffe (PtX).

Perspektive des Pfades

Angereizt durch die Regeln der RED II bis zum Jahr 2030 (Quote von 3,5% bzw. 1,75 aufgrund einer zweifachen Anrechnung) wird ein sehr deutlicher Anstieg der Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen in der EU erwartet. Aus heutiger Sicht liegen hohe Rohstoffpotenziale bei Waldrestholz und Stroh (Böttcher et al. 2019). Als Technologien können biochemische Pfade und thermochemische Pfade Einsatz finden (s.o.).

Wirtschaftssektor

Energie-/Verkehrssektor

Diskussion der Treiber der Bioökonomie

Treiber des Trends sind die Endlichkeit fossiler Ressourcen, der Klimaschutz sowie technologische Innovationen. Die Nachfrage nach Biokraftstoffen im Verkehrssektor wird durch die sektorspezifischen Klimaschutzziele angetrieben. Im Personenverkehr wird der Einsatz von Elektromobilität als vorrangige Zukunftsperspektive gesehen, auch um den Druck auf die Nachfrage von Biomasse zu reduzieren. Im Güterverkehr ist der Einsatz der Elektromobilität aber technisch schwieriger, so dass dem Einsatz von Biokraftstoffen und damit von fortschrittlichen Biokraftstoffen hier eine hohe Bedeutung zukommt.

Ein wichtiger Treiber für den Einsatz von fortschrittlichen Biokraftstoffen sind ihre geringen negativen ökologischen Auswirkungen. Die Auswahl der zugelassenen Rohstoffe für

²¹ Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). PE-CONS 48/1/18, REV 1.

fortschrittliche Biokraftstoffe in Annex IX der RED II unterstellt, dass sie nicht in Konkurrenz zu anderen Nutzungen stehen und damit keine Verdrängungseffekte bzw. indirekte Landnutzungsänderungen auslösen sowie hohe THG-Minderungen gegenüber fossilen Kraftstoffen erreichen.

Zeitliche Perspektive des Pfades

Mit der Quote an fortschrittlichen Biokraftstoffen von 3,5% bzw. 1,75 bei Doppelzählung in 2030 (s.o.) wird politisch für die nächste Dekade ein klarer zeitlicher Entwicklungspfad angestrebt. Aber auch nach 2030 werden zur Erreichung der Klimaschutzziele nachhaltige flüssige Kraftstoffe im Verkehrssektor benötigt. Ob der Bedarf weiter steigt, wird von den politischen Rahmenbedingungen, den Biomassepotenzialen und der Entwicklung strombasierter Antriebsoptionen (Elektro-Antrieb, PtL) abhängen.

In Summe wird von einer mittelfristig sicheren Perspektive des Pfades bis 2030 und einer weniger gesicherten langfristigen Entwicklung ausgegangen.

Mengenrelevanz in Bezug auf den Einsatz von biogenen Ressourcen

Es gibt wenig Alternativen zur Dekarbonisierung vor allem im Schwerlast-, Schiff- und Flugverkehr. Fortschrittliche Biokraftstoffe sind daher eine wichtige zukünftige Nutzungsoption, die durch die Quote in der RED II angereizt wird. Aus diesem Grund wird die Mengenrelevanz als hoch eingestuft.

Wirkungskette

Die Nachfrage des Energie- und Verkehrssektors nach Alternativen zu fossilen Treibstoffen (Ursache) führt zu einem wachsenden Druck auf die landwirtschaftliche Nutzfläche (Intensivierung, direkte Flächenumwandlung, Konkurrenz mit Nahrungsmittelproduktion; Problem-1) und hier insbesondere durch den Anbau von Energiepflanzen, die zur Kraftstoffherstellung eingesetzt werden. Da bekannt ist, dass mit der Nutzung von Bioenergiepflanzen Verdrängungseffekte und hohe Emissionen aus indirekter Landnutzung verbunden sein können (Problem-2), sollen fortschrittliche Biokraftstoffe mit einem geringen Risiko für negative Auswirkungen auf Umwelt- und soziale Aspekte inklusive indirekter Effekte verstärkt eingesetzt werden. Die Einsparung von Treibhausgasen (Ziel) soll im Verkehrssektor u.a. durch den Einsatz von fortschrittlichen Biokraftstoffen erreicht werden. Anreizstrukturen wie in der RED II für neue technologische Verfahren zur Herstellung fortschrittlicher Biokraftstoffe (Instrument) sind ein Ansatz, um Treibhausgasemissionen durch die Substitution von fossilen Treibstoffen zu mindern und gleichzeitig unerwünschte Treibhausgasemissionen aus indirekter Landnutzung sowie anderer negativer Effekte für Umwelt- und soziale Aspekte zu vermeiden (Verhalten).

Bewertung im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen

Kurzcharakterisierung des Referenzpfades

Fossile Kraftstoffe werden in der Erdölraffinerie gewonnen. Neben Destillation, Extraktion und Reinigung von Rohöl kommen Verfahren wie Isomerisierung oder das katalytische Reforming zum Einsatz, um die Qualität der Kraftstoffe zu verbessern.

Diskussion der chemischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Die im Annex IX der RED II gelisteten biogenen Rohstoffe zur Herstellung von fortschrittlichen Biokraftstoffen sind divers. Der Einsatz von inländischen Abfall- und Reststoffen kann hier die Treibhausgasemission gegenüber fossilen Treibstoffen deutlich reduzieren, da nur der Transport und eine mögliche Verarbeitung der Rohstoffe in die Bilanzierung einfließen. Insgesamt sind Treibhausgaseinsparungen bis zu 80% möglich (ifeu et al. 2019). Ebenfalls auf der RED II-Liste steht Stammholz aus dem Wald. Hier ist es fraglich, ob eine Treibhausgasminde- rung selbst gegenüber fossilen Kraftstoffen erreicht werden kann (Searchinger et al. 2018).

Ökobilanzen zu Biokraftstoffen aus Abfall- und Reststoffen und fossilen Kraftstoffen zeigen in Bezug auf Luftschadstoffemissionen²² nur geringe Unterschiede zu fossilen Kraftstoffen, wo- bei die Werte für versauernde Emissionen bei Abfall- und Reststoffen leicht geringer ausfallen (Memmler et al. 2017).

Abfallstoffe und industrielle Reststoffe besitzen keinen Flächenbezug. Daher sind deren nega- tive Auswirkung auf Böden niedriger als für fossile Kraftstoffe, bei denen bei Erdölgewinnung und –transport eine Verschmutzung von Böden erfolgen kann. Anders stellt sich dies bei land- wirtschaftlichen Reststoffen wie Stroh oder Rübenblatt und bei Stammholz oder Restholz aus dem Wald dar. Hier kann der Boden zahlreicher Flächen durch die steigende Entnahme von Reststoffen bzw. Stammholz negativ in Bezug auf organische Substanz, Bodenstruktur und Bodenvielfalt betroffen sein. Auch die Bodenerosion kann ansteigen. Die Risiken variieren re- gional, da sie u.a. von den jeweiligen Klima- und Bodenverhältnissen und dem Relief abhän- gen (Kretschmer et al. 2013). Die Berücksichtigung einer Humusbilanz kann negative Effekte abmildern. In Summe ist festzuhalten, dass es – abhängig vom eingesetzten biogenen Roh- stoff - zu einer Entlastung und einer geringen Belastung von Böden kommen kann.

Die Belastungskategorie Wasser wird durch die Nutzung von Abfall- und Reststoffen bis hin zu Stammholz aus dem Wald kaum berührt, da gewässergefährdende Stoffe wie Düngemittel oder Pestizide nicht oder kaum eingesetzt werden. Im Gegensatz hierzu ist bei fossilen Kraft- stoffen mit höheren Verschmutzungsrisiken zu rechnen (z.B. Leck in einer Öl-Pipeline).

Diskussion der biologischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Für die Nutzung der meisten Rohstoffe, die in der RED II in Annex IX aufgelistet sind, schätzen Hennenberg et al. (2017) das Risiko für die biologische Vielfalt als niedrig ein. Ausnahmen sind vor allem Stammholz und Restholz aus Wäldern und landwirtschaftliche Reststoffe wie Stroh.

Fortschrittliche Biokraftstoffe auf Basis von Holz aus dem Wald bedeuten, dass zusätzlich zu der bestehenden forstlichen Nutzung eine weitere Nachfrage nach Holz hinzukommt. Dies entspricht einer Intensivierung der forstlichen Nutzung in Deutschland oder in Importländern wie Russland oder Kanada. In Deutschland zeigt eine naturschutzfachliche Bewertung der dritten Bundeswaldinventur (BWI-3; Jahr: 2012), dass Strukturen im Wald, die für den Erhalt der biologischen Vielfalt bedeutend sind (z.B. alte Laubbäume, Höhlenbäume, Totholz), in den letzten 10 Jahren zwar z.T. zugenommen haben, sie aber nach wie vor auf einem niedrigen Niveau vorhanden sind (Reise et al. 2017). Eine Intensivierung würde dieser positiven Ent- wicklung entgegenstehen, so dass zu erwarten ist, dass eine steigende Nutzung von

²² Berücksichtigte Luftschadstoffe: versauernde Gase SO₂ und NO_x, Staub, Kohlenmonoxid und NMVOC (non-methane volatile organic compounds).

Stammholz und Waldrestholz – je nach Ausprägung – zu einer geringen bis hohen Belastung der biologischen Vielfalt führen wird. Auch in den Lieferländern ist mit Belastungen zu rechnen (Hennenberg et al. 2017). Dieses Risiko wird durch die schwach ausgestalteten Kriterien zum Schutz der Biodiversität in der Forstwirtschaft in nur einem geringen Maße adressiert (Hennenberg et al. 2018).

Im Hinblick auf landwirtschaftliche Reststoffe, die einen Flächenbezug haben (Stroh, Rübenblatt etc.), kann durch die vermehrte Entnahme und damit die Reduzierung frischer organischer Substanzen mit nachteiligen Auswirkungen auf Bodenorganismen gerechnet werden. Es gibt jedoch wenig Belege für einen direkten Zusammenhang zwischen der Reststoffgewinnung und der Artenvielfalt der Böden (Kretschmer et al. 2013).

Fortschrittliche Biokraftstoffe aus Reststoffen und Abfällen, die keinen Flächenbezug mehr haben (z.B. Biomasse im Abfall, industrielle biogene Reststoffe, Wirtschaftsdünger, Bagasse etc.), können generell eine Entlastung für die biologische Vielfalt darstellen.

Für die Herstellung fossiler Kraftstoffe besteht ein deutliches Risiko, da es durch eine unkontrollierte Freisetzung von Erdöl (z.B. Havarie von Öltanker, Leck eines Tiefseebohrlochs) zu Belastungen der biologischen Vielfalt kommen kann.

In Summe ist festzuhalten, dass – je nach biogenem Rohstoff und Herkunft bzw. Transport des Rohöls – der Einsatz von fortschrittlichen Biokraftstoffen zu einer Entlastung bis hin zu einer hohen Belastung gegenüber der fossilen Referenz führen kann.

Im Hinblick auf Agrobiodiversität ist die Bewertung nicht sinnvoll, da die Biomassefraktionen, die in Annex IX gelistet sind, keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Wahl von z.B. Feldfrüchten in Fruchtfolgen haben.

Ressourceninanspruchnahme (Be- und Entlastung)

Die Nutzung von Abfällen und Reststoffen und Holzrohstoffen als Substrat für fortschrittliche Biokraftstoffe reduziert die Inanspruchnahme von fossilen Ressourcen. Im Gegenzug steigt die Nutzung dieser biogenen Rohstoffe in gleicher Weise. Hervorzuheben ist, dass – bedingt durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten – in unterschiedlichen Sektoren ein großes Interesse an einer Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen besteht. Dazu gehören neben dem Verkehrssektor der Strom- und Wärmesektor, aber auch der Bausektor (z.B. Stroh als Dämmstoff) und die chemische Industrie. Der optimierte Einsatz der Abfall- und Reststoffe hängt u.a. vom Nutzungskonzept und der Effizienz der Konversionstechnologie ab (Fehrenbach et al. 2019).

Die Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen ist für die meisten Substrate mit einer geringen Flächennutzung verbunden, da ihr Aufkommen aus bereits genutzten Flächen stammt. Eine Ausnahme stellt die Nutzung von Stammholz dar, die zu einer zusätzlichen Flächennutzung führen kann (direkt oder indirekt durch Verdrängungseffekte). Bei der Gewinnung und Verarbeitung von Rohöl tritt eine relativ kleine Flächennutzung auf. Abhängig von den genutzten biogenen Rohstoffen fällt die Flächennutzung bei fortschrittlichen Biokraftstoffen geringer oder deutlich höher als bei der fossilen Referenz aus.

Bei der Produktion fortschrittlicher Biokraftstoffe wird keine Bewässerung durchgeführt. Es wird aber Prozesswasser entlang der Produktionskette eingesetzt. Hier wird gegenüber der

fossilen Referenz mit einem leicht höheren Wasserverbrauch und damit mit einer geringen Belastung gegenüber fossilen Kraftstoffen gerechnet.

Soziale Aspekte

Wüste und Granoszewski (2013) stellen fest, dass der einzusetzende Rohstoff für die energetische Nutzung und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt und soziale Aspekte ausschlaggebend für die Akzeptanz sind. Da bei den Rohstoffen, die für fortschrittliche Biokraftstoffe eingesetzt werden können, keine direkten Nutzungskonkurrenzen in Bezug auf die Nahrungsmittelproduktion bestehen und negative Auswirkungen, die mit ihrer Nutzung einhergehen können, nur wenig öffentliche Aufmerksamkeit erlangen, ist die soziale Akzeptanz deutlich höher als für fossile Kraftstoffe. Es ist wird auch künftig keine Änderung dieser gesellschaftlichen Haltung erwartet.

Im Hinblick auf die Gesundheit sind für fortschrittliche Biokraftstoffe keine Unterschiede zur Referenz zu erwarten, da die Gesundheitsrisiken tendenziell im Verbrennungsprozess zu erwarten sind.

Chancen und Risiken sowie weitere ethische Aspekte

Chancen/Risiken des Pfades

Durch die Umsetzung der Anforderungen der RED II (s.o.) wird erwartet, dass die Bedeutung dieses Pfades zukünftig sehr hoch sein wird.

Bereits heute haben sich einige Biokraftstoffe auf Basis von Rest- und Abfallstoffen auf dem europäischen Markt etabliert. Diese werden dominiert von Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl und tierischen Fetten, die genau wegen dieser hohen Mengen in der RED II nicht als fortschrittliche Biokraftstoffe geführt werden. Bioethanol auf Basis von z.B. Stroh, Bagasse oder Waldrestholz ist heute der einzige verfügbare fortschrittliche Biokraftstoff. Hierzu gibt es sowohl Demonstrationsanlagen als auch erste kommerzielle Anlagen. Die meisten anderen fortschrittlichen Kraftstoffpfade befinden sich in Europa derzeit noch im Pilotanlagen-Stadium. Zukünftig wird erwartet, dass die Bedeutung dieser Produktionspfade für fortschrittliche Biokraftstoffe und damit das wirtschaftliche Potenzial steigen wird (Zeddies 2016, Ostwald 2013, Fehrenbach et al. 2019).

In Deutschland gibt es ein hohes Strohpotenzial, welches jedoch noch nicht energetisch genutzt wird (Fehrenbach et al. 2019). Des Weiteren könnten Waldrestholzpotenziale verstärkt genutzt werden (Fehrenbach et al. 2019). Aber: Beim Einsatz von Abfall- und Reststoffen und Waldrestholz bleiben die Nutzungskonkurrenz innerhalb der Sektoren sowie Risiken für Umweltaspekte bestehen (s.o.).

Ein Risiko für den Einsatz fortschrittlicher Biokraftstoffe besteht derzeit in der Anforderung, dass die Biomasse für Konversionsprozesse möglichst homogen sein soll. Eine echte Rohstoffflexibilität ist in der Praxis derzeit nicht gegeben. Hinzu kommt, dass viele Biomasserohstoffe, die in Annex IX der RED II gelistet sind, saisonal anfallen bzw. nicht ganzjährig geerntet werden. Dies kann bedeuten, dass Lieferketten sehr große Rohstoffmengen (zwischen-)lagern müssen, was zu erhöhten Investitionskosten und Lagerverlusten führen kann. Dies kann sich negativ auf die Weiterverarbeitung und Konversionseffizienz auswirken (Fehrenbach et al. 2019).

Ethische Aspekte

Bei der Diskussion um die Nutzung von Bioenergie bzw. Biokraftstoffen steht insbesondere die Frage zur Konkurrenz mit dem Anbau von Nahrungsmitteln im Fokus. Der Gerechtigkeitsaspekt „Ernährungssicherung vor Energieerzeugung“ wird als ethische und moralische Notwendigkeit gesehen (Hartmann 2012). Die Nutzung von Abfällen und Reststoffen sowie von Waldholz kann zu einer Reduktion der Nutzung fossiler Rohstoffe führen, ohne dieses ethische Problemfeld zu berühren. Zukünftig kann aber durchaus eine steigende Nutzungskonkurrenz mit anderen Sektoren entstehen, und damit bekommt die ethische Frage der Nutzung von Abfall- und Reststoffen eine ähnliche gesellschaftliche Relevanz wie die Ernährungssicherheit.

Ein Ziel der nachhaltigen Bioökonomie ist es, eine Kreislaufwirtschaft zu etablieren, die nachwachsende Rohstoffe nutzt und – soweit möglich – Abfälle und Reststoffe wiederverwertet und vermeidet. Dieser Ansatz wird als ethische Zielbestimmung verstanden, der allerdings auch bedeutet, dass technologische Innovationen in ökologische Kreisläufe eingebunden werden müssen (DBU 2017). Diese Kreisläufe können ggf. auch dazu führen, dass Nutzungsoptionen durch vermiedene Abfälle kleiner werden.

Der ethische Aspekt Tierwohl bzw. -leid wird im Zusammenhang mit fortschrittlichen Biokraftstoffen nicht berührt.

Quellen

Agentur für Erneuerbare Energien (2013): Reststoffe für Bioenergie nutzen. Potenziale, Mobilisierung, Umweltbilanz

Böttcher, H. et al. (2019): Naturschutz und fortschrittliche Biokraftstoff. Im Auftrag des UBA. In Bearbeitung.

Brosowski, A. et al. (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen. Status quo in Deutschland, herausgegeben durch Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, September 2015

DBU (2017): Bioökonomie und Ethik. Sonderausgabe Forum Wirtschaftsethik.

E4 tech et al. (2013): Advanced Biofuel Feedstocks – An Assessment of Sustainability. <https://lb-net.net/wp-content/uploads/2014/07/feedstock-sustainabilityE4H.pdf>

Fehrenbach et al. (2017): Biomassekaskaden. Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zu Praxis. Im Auftrag des BMUB

FNR (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen – Status Quo in Deutschland.

Fritsche et al. (2012): Nach Super E10: Welche Rolle für Biokraftstoffe? Fakten, Trends und Perspektiven. Im Auftrag von Shell Deutschland Oil.

Georgiadou, M. (2018): EU research and innovation policies for advanced biofuels and bioenergy

Hennenberg, K., Böttcher, H., Fehrenbach, H., Bischoff, M. (2017): Short analysis of the RED 2009, the iLUC Directive 2015 and the 2016 RED proposal regarding implications for nature protection. Öko-Institut, Berlin. Link: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/OEKO-IFEU-2017-RED-proposal-evaluation.pdf>

Hennenberg KJ, Böttcher H, Bradshaw CJA (2018): Revised EU renewable-energy policies erode nature protection. Nature Ecology and Evolution. DOI: 10.1038/s41559-018-0659-3

Ifeu et al (2019): BioRest Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor). Unveröffentlicht

Kretschmer, B. et al. (2013): Technologische Optionen für das Recycling von landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen und Lebensmittelabfällen und Rückständen zur Erzeugung nachhaltiger Bioenergie und Biomaterialien.

Maniatis et al (2017): Building Up the Future. Sub Group on Advanced Biofuels.

Memmler, Michael; Lauf, Thomas; Wolf, Katharina; Schneider, Sven (2017): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Climate Change 23/2017, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Öko-Institut et al. (2014): Klimaschutzscenario 2050. 1. Modellierungsrunde

Öko-Institut et al. (2015): Klimaschutzscenario 2050. 2. Modellierungsrunde

Ostwald, D. et al. (2013): Die ökonomische Bedeutung der Bioethanolproduktion der CropEnergies-Gruppe in Deutschland.

Reise, J. et al, (2017): Analyse und Diskussion naturschutzfachlich bedeutsamer Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. 2. Überarbeitete Auflage. BfN-Skripten 427, BfN, Bonn – Bad Godesberg. Link: <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript427.pdf>

Schipfer et al. (2017): Advanced biomaterials scenarios for the EU28 up to 2050 and their respective biomass demand. In: Biomass and Bioenergy, Vol.96, p. 19-27

Searchinger TD, Beringer T, Holtsmark B, Kammen DM, Lambin EF, Lucht W, Raven P, van Ypersele J-P (2018): Europe's renewable energy directive poised to harm global forests. Nature Communications 9, Article number: 3741. <https://www.nature.com/articles/s41467-018-06175-4>

Wüste und Granoszewski (2013): Akzeptanz von Bioenergie aus Sicht von Anwohnern und Landwirten. Präsentation. Fachtagung Energie, Ernährung und Gesellschaft – die Rolle der Bioenergie im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung. Universität Göttingen

Zeddies, J. (2016): Auswirkungen politischer Beschlüsse auf Biokraftstoffe und Rohstoffmärkte. Im Auftrag von UFOP, VDP und OVID.

4.3.6 Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie

Abbildung 4-7: Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie im Vergleich zum Einsatz nicht-gentechnischer Züchtungsmethoden

Bewertungsaspekt	Wirkungskategorie	Entlastung	geringe Belastung	mittlere Belastung	hohe Belastung
Chemische Umwelt	THG	●	●	●	●
	Luftschadstoffe	●	●	●	●
	Boden	●	●	●	●
	Gewässer	●	●	●	●
Biologische Umwelt	Agrobiodiversität	●	●	●	●
	Biologische Vielfalt	●	●	●	●
Ressourceninanspruchnahme	Nicht-biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	biogene Ressourceninanspruchnahme	●	●	●	●
	Wasserverbrauch	●	●	●	●
	Flächennutzung	●	●	●	●
Sozioökonomische Aspekte	Akzeptanz	●	●	●	●
	Gesundheit	●	●	●	●

- Eine Bewertungsstufe trifft voll zu.
- Die Bewertungsstufe trifft nicht voll zu. Es ist eine Ent- wie auch eine Belastung über alle Skalen möglich.
- Kein Einfluss oder keine Änderung

Quelle: eigene Darstellung

Zunahme des Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie

Beschreibung

Genome Editing ist ein Sammelbegriff für verschiedene biotechnologische Verfahren zur Veränderung des Genoms von Lebewesen. Dazu gehört beispielsweise die Methode „Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats“ (CRISPR/Cas), die sich mittlerweile als Standardverfahren etabliert hat. Diese Anwendung gilt - im Vergleich zu den klassischen Methoden der Gentechnik - als einfach, schnell und kostengünstig. Der Begriff „Genome Editing“ suggeriert, dass die Erbinformation eines Lebewesens gelesen und durch Bearbeiten eines modular aufgebauten Genoms nach Belieben und ohne nennenswertes Risiko editiert werden könne. Jedoch vernachlässigt diese Sichtweise die Komplexität epigenetischer Effekte, also von Effekten, die sich auf angrenzende Gene oder auf übergeordnete genregulatorische Mechanismen auswirken können. Es handelt sich beim Einsatz dieser Verfahren – wie auch bei klassischen Gentechnikmethoden – um eine erbgutverändernde Bearbeitung des Genoms von Lebewesen (Möller et al. 2018).

Der Europäische Gerichtshof hat im Juli 2018 entschieden, dass auch die neuen gentechnischen Verfahren wie CRISPR/Cas der Gentechnikrichtlinie unterliegen. Das bedeutet z.B., dass eine Genehmigungspflicht besteht, wenn Erzeugnisse auf den Markt gebracht werden sollen oder auch Freilandversuche durchgeführt werden (Biotech 2018). Leopoldina (2019) stellt den geltenden Rechtsrahmen in Frage und fordert „eine differenzierte, stärker produktbezogene Regulierung. Denn mögliche Risiken der Genomeditierung für Mensch, Natur und Umwelt können sich nur aus dem Produkt (bzw. dessen veränderten Merkmalen) und der damit verbundenen landwirtschaftlichen Praxis ergeben.“

Leopoldina (2015) geht davon aus, dass aufgrund der zunehmend schwindenden Differenzierbarkeit die Entwicklung neuer Verfahren für eine produktbasierte Bewertung notwendig ist. Sie beziehen dies auf natürliche Prozesse, konventionelle Züchtungsmethoden und mittels Genome Editing erzielten genetischen Veränderungen in der Tier- und Pflanzenzüchtung.

Entwickelt wurde die CRISPR/Cas-Methode im Zuge der Grundlagenforschung zum Immunsystem von Bakterien. Die Methode wird heute in der Tier- und Pflanzenzüchtung und zur Veränderung von Bakterien eingesetzt. CRISPR/Cas soll neue Möglichkeiten in der Züchtung bieten, um durch gezieltes Verändern des Genmaterials, z.B. in der Landwirtschaft, Schädlingsbefall oder Anfälligkeiten gegen Krankheiten zu reduzieren. Allerdings ist der Diskurs kontrovers, nicht zuletzt aufgrund ethischer, rechtlicher und sozialer Aspekte (Deutscher Bundestag 2016).

Konkurrierende Pfade

Dem Genome Editing, und dabei insbesondere der neuen Methode CRISPR/Cas stehen als konkurrierende Verfahren so genannte klassische Züchtungsmethoden gegenüber, die keine molekulargenetischen Methoden nutzen. Die klassischen Züchtungsmethoden sind sehr vielfältig und reichen von einer natürlichen Kreuzung von Individuen mit anschließender Selektion bis hin zu Züchtungsverfahren auf Ebene von Zell- und Gewebekulturen unter Laborbedingungen.

Perspektive des Pfades

Es ist künftig weltweit mit einem steigenden Einsatz von gentechnischen Methoden wie CRISPR/Cas zu rechnen. Dies liegt u.a. an den Zeit- und Kostenersparnissen gegenüber konventionellen Züchtungsverfahren und etablierten Verfahren der Gen-Modifizierung. Genome Editing kann einen großen Anwendungsbereich abdecken und das nicht nur im Rahmen der Herstellung von biobasierten Produkten, sondern auch in der Medizin oder im Gesundheitswesen. Die Potenziale werden als hoch eingeschätzt (VCI 2019). Aber: die Entscheidung des EUGH bezüglich der Genehmigungspflichten in Europa kann ein Hemmnis für den weiteren Einsatz in Europa sein. Leopoldina (2019) stellen fest, dass „der vorrangig verfahrensbezogene europäische Regelungsansatz nicht mehr rational zu begründen ist. Denn potentielle Risiken können nur von den veränderten Eigenschaften des Organismus als Produkt der Züchtung und nicht vom verwendeten Verfahren ausgehen.“

In GMO-kritischen Märkten wie dem Sektor der Nahrungsmittelerzeugung in Deutschland bzw. der EU kann dieser Pfad aber auch ausbleiben. In diesem Zusammenhang ist zu unterscheiden, dass die veränderten Organismen in geschlossenen Systemen einfacher (z.B. Hefen für die Nahrungsergänzungsmittelproduktion) und in offenen Systemen (z.B. Züchtung von bakterienresistentem Reis für den Feldfruchtanbau) schwieriger eingesetzt werden können (vgl. Möller et al. 2018, Leopoldina 2015).

Wirtschaftssektor

Alle Sektoren, die biogene Rohstoffe nutzen, insbesondere Pharmazie, Land- und Forstwirtschaft, Verarbeitendes Gewerbe

Diskussion der Treiber der Bioökonomie

Der Pfad wird vor allem durch den Bedarf an technologischen Innovationen in den jeweiligen Wirtschaftssektoren angetrieben. Häufig hervorgehoben wird die Sicherung der Ernährung durch krankheitsresistente oder klimatisch besser angepasste Pflanzen. Damit könnten langfristig Erträge möglicherweise gesichert bzw. gesteigert werden.

Zeitliche Perspektive des Pfades

Die Auseinandersetzung mit den ökologischen, ethischen und sozialen Folgen von Genome Editing wird die zeitliche Perspektive des Pfades stark beeinflussen. Ein verlässlicher Rechtsrahmen für Risikobewertung und –management, ein gesellschaftlicher Diskurs zu den Chancen und Risiken sowie nachprüfbar Informationen werden für eine mögliche langfristige Etablierung des Pfades insbesondere zur Nahrungsmittelproduktion eine wesentliche Rolle spielen (Möller et al. 2018, Leopoldina 2019). Auch ist bereits heute zu beobachten, dass Genome Editing regional sehr unterschiedlich angewandt wird und eine Etablierung dieses Pfades sich in der zeitlichen Perspektive regional stark unterscheiden wird. Dafür ist es u.a. notwendig, Effekte langfristig und räumlich differenziert zu analysieren und zu bewerten. Für Deutschland und Europa wird von einer langfristigen Perspektive bis 2050 ausgegangen.

Mengenrelevanz in Bezug auf den Einsatz von biogenen Ressourcen

Aktuell wurden für einige genom-editierte Pflanzenarten, z.B. Weizen oder Mais, Studien zu ihrer Marktreife in den USA publiziert (Modrzejewski 2018). Abhängig von der langfristigen Etablierung des Pfades wird von einer mittleren Mengenrelevanz ausgegangen. Dies kann

aber vor allem in den GMO-kritischen Märkten in Deutschland und Europa niedriger ausfallen. Für den Fall, dass die Akzeptanz steigt, kann auch eine hohe Mengenrelevanz erwartet werden.

Wirkungskette

Angestoßen durch den Klimawandel, das Bevölkerungswachstum und technologische Neuerungen (Ursache) soll Genome Editing die Eigenschaften von Nutzorganismen optimieren, da sie diese Eigenschaften nicht besitzen oder diese Eigenschaften durch klassische Methoden nur mit deutlich höherem Aufwand gezüchtet werden können (Problem). So sollen z.B. Nutzpflanzen erzeugt werden, die klimatisch besser angepasst und/oder resistent gegen Krankheitserreger sind, um die Erträge zu sichern oder zu verbessern (Ziel). Diese biotechnologischen Verfahren unterliegen in Europa der Gentechnikrichtlinie, wodurch auch Fragen zur ökologischen Risikobewertung adressiert werden. Derzeit ist noch offen, wie aus ethischer Perspektive künftig mit Genome Editing umgegangen wird (Verhalten). Nach BfN (2017) ist es daher essentiell, biotechnologisch veränderte Organismen erst dann freizusetzen und zu verwenden, wenn mögliche Risiken für Mensch, Natur und Umwelt im Einzelfall überprüft und bewertet wurden. Dies gilt insbesondere für Verfahren, die das Ziel haben, Populationen freilebender Organismen direkt zu beeinflussen (sog. Gene-drives).

Bewertung der genomeditierten Pflanzenzüchtung im Vergleich zu konventioneller Pflanzenzüchtung

Kurzcharakterisierung des Referenzpfades

Einsatz nicht-gentechnischer Züchtungsmethoden

Diskussion der chemischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Befürwortende der Technologie sehen in der genomeditierten Anpassung von genutzten Arten einen Beitrag zum Klimaschutz. So können Optimierungen von Produktionsschritten in unterschiedlichsten Wertschöpfungsketten zu THG-Minderungen führen. Beispiele sind optimierte Enzyme in Waschmitteln, die mit genomeditierten Mikroorganismen hergestellt werden und hohe Waschleistungen bei niedrigen Temperaturen erzielen und optimierte Anbaukulturen, die geringere agro-chemische Inputs benötigen und eine höhere Ertragssicherheit erwarten lassen. Ein weiteres Beispiel ist der Einsatz von Stickstoff-effizienten Pflanzen, die weniger Düngemittel benötigen, und so geringere Mengen des Treibhausgases Lachgas emittiert werden (Clemens 2019).

Roux & Wehling (2012) gehen von steigerbaren Biomassepotenzialen aus, wenn die Energiepflanzen unter mitteleuropäischen Standortbedingungen modifiziert werden (Roux & Wehling 2012). Derzeit gibt es jedoch keine Zulassungen für modifizierte Energiepflanzen. Es ist derzeit auch nicht prognostizierbar, welche Techniken oder welche genomeditierten Arten und Produkte in den nächsten Jahren entwickelt werden (BfN 2017). Dennoch ist es möglich - auch mit nicht-gentechnischen Züchtungsmethoden - vergleichbare oder sogar bessere Optimierungen zu erreichen (z.B. eine Toleranz gegen einen Schadorganismus, die mit geringerer Wahrscheinlichkeit gebrochen wird als eine genomeditierte Resistenz). In diesem Zusammenhang wird auch darauf hingewiesen, dass eine nicht-gentechnisch gezüchtete Feldfrucht in einem ökologischen Landbausystem ggf. höhere THG-Minderungen als eine genomeditierte Feldfrucht in einem konventionellen Anbau erreichen kann (BfN 2017).

In Summe ist für THG-Emissionen zu erwarten, dass Genome Editing zu einer Entlastung oder einer geringeren Belastung gegenüber der Referenz führen kann.

In Bezug auf Luftschadstoffe sind keine großen Unterschiede zwischen den Pfaden, sondern ebenso eine Entlastung aufgrund der Optimierung von Prozessen oder geringe Belastungen zu erwarten.

Im Hinblick auf Boden und Gewässer sind insbesondere die land- und forstwirtschaftlichen genomeditierten Organismen relevant. Einerseits können positive Effekte durch den optimierten Anbau auftreten (geringere Belastung durch verringerte Gaben von Agrochemikalien, reduzierter Wasserverbrauch). Andererseits kann der Anbau von genomeditierten Pflanzen eine Verengung von Fruchtfolgen ermöglichen, die sich negativ auf die Bodenfruchtbarkeit und Gewässerverschmutzung auswirken kann (BfN 2017). Auch ist die Manipulation der Bodenmikroorganismen möglich, um z.B. den Stickstoffkreislauf zu verbessern (Hu und He 2018). Derartige Anwendungen im Freiland sind – falls negative Auswirkungen auf den Boden festgestellt werden – nicht rückgängig zu machen. In Summe wird für den Boden eine Entlastung bis mittlere Belastung und für Gewässer eine Entlastung bis geringe Belastung angenommen.

Diskussion der biologischen Umweltbe- und/oder -entlastung

Genome Editing dient nicht dazu, die Vielfalt der genetischen Variationen zu erhöhen. Vielmehr sollen gezielte Veränderungen im Erbgut herbeigeführt werden (Modrzejewski 2018).

Eine Belastung für die biologische Vielfalt kann sich daraus ergeben, dass die genetische Veränderung und die damit verbundene neue Eigenschaft bei einer Nutzung im Feld (Einfluss auf andere Organismen, geänderte Anbaupraxis) unerwartete Risiken für die Umwelt und die biologische Vielfalt entwickelt (Dt. Bundestag 2016). BfN (2017) diskutiert beispielhaft die Wirkung von stressresistenten Pflanzen bzgl. Trockenheit und Hitze. Diese Resistenzen können dazu führen, dass sich die gentechnisch veränderten Feldfrüchte an extremeren Standorten besser etablieren und dabei aber ursprünglich vorkommende Arten verdrängen. Wenn sich so mit einer neuen Eigenschaft die sogenannte Invasivität einer Art erhöht, ist eine Ausbreitung und entsprechend negative Auswirkungen auf Ökosysteme nur schwer zu kontrollieren.

Niggli et al. (2018) argumentieren, dass anders als beim chemischen Pflanzenschutz oder bei veralteten gentechnischen Methoden die Genome Editing-basierten Konzepte hochspezifisch sind: Sie zielen ausschließlich auf einen ganz bestimmten Krankheitserreger und dessen Interaktionen mit der Nutzpflanze. Das verspricht nicht nur eine bessere Wirksamkeit als bei vielen herkömmlichen Mitteln, so wären auch weniger „Streuereffekte“, wie etwa Beeinträchtigungen für andere Tiere und Pflanzen zu erwarten. Zudem kann eine Reduktion der Agrochemikalien (s.o.) eine Entlastung von Ökosystemen in der Nachbarschaft von Anbauflächen bewirken.

In Summe ist festzustellen, dass für die biologische Vielfalt durch die Nutzung von genomeditierten Organismen eine Entlastung bis zu einer hohen Belastung erwartet wird.

Im Hinblick auf die Agrobiodiversität ist bei einem vermehrten Einsatz von genomeditierten Organismen damit zu rechnen, dass die Anzahl kommerziell genutzter Sorten bzw. Rassen tendenziell zurückgeht. Daher wird von einer geringen bis mittleren Belastung für die Agrobiodiversität ausgegangen.

Insgesamt bedarf es eines Monitorings bzgl. der Exposition, der Persistenz und der Ausbreitung der genomeditierten Organismen in der Umwelt. Hier besteht Entwicklungsbedarf, um bessere Aussagen zu Wirkungen geben zu können (BfN 2017).

Ressourceninanspruchnahme (Be- und Entlastung)

Die Inanspruchnahme von biogenen Ressourcen ist vor allem durch die Nachfrage getrieben. Eine Änderung der genutzten Mengen wird in den meisten Fällen nicht im Zusammenhang damit stehen, ob ein Organismus genomeditiert ist oder nicht.

In Bezug auf nicht-biogene Ressourcen kann durch den Einsatz von genomeditierten Organismen sowohl eine Entlastung als auch eine geringe Belastung erwartet werden. Beispiele sind der Einsatz von Waschmittelenzymen oder die Erweiterung der Stickstoffeffizienz von Nutzpflanzen. Züchtungserfolge ohne den Einsatz von Gentechnik können allerdings ebenfalls zu einer Entlastung führen. In ähnlicher Weise kann auch im Hinblick auf den Wasserverbrauch argumentiert werden, dass Beispiele für eine Entlastung oder geringe Belastung denkbar sind.

Eine Verbesserung oder Stabilisierung der Erträge von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen ist ein Ziel des Genome Editing. Hiermit kann die Produktivität je Flächeneinheit erhöht und damit die Flächennutzung entlastet werden. Im Vergleich zur Referenz besteht aber auch die Möglichkeit, mit anderen Züchtungsmethoden ähnliche oder bessere Ergebnisse zu erzielen (s.o.), so dass die Flächennutzung ebenso mit einer Entlastung oder geringen Belastung bewertet wird.

Soziale Aspekte

BfR (2017) arbeiteten mit Fokusgruppen zur Wahrnehmung des Genome Editings, respektive des CRISPR/Cas-Verfahrens. Dabei wurde untersucht, inwieweit Genome Editing überhaupt bekannt ist und wie es im Verhältnis zur konventionellen Gentechnik eingeordnet wird. Die Forschungsgruppe kam zu dem Ergebnis, dass die Teilnehmenden Genome Editing mehrheitlich ablehnten. Genome Editing stellte für die Befragten eine Form der Gentechnik dar und wurde mit ähnlichen Vorbehalten nicht akzeptiert. Die Ablehnung bezog sich überwiegend auf die Wahrnehmung von gesundheitlichen Risiken. Lebensmittel auf der Basis dieser Methode werden als „nicht natürlich“ angesehen. Faltus (2019) führten im Rahmen einer Ausstellung in einem Naturkundemuseum Befragungen zur Akzeptanz von Genome Editing durch. Hier zeigte sich, dass Sensibilisieren, Informieren und Partizipieren einen ergebnisoffenen Austausch fördert. Die Teilnehmenden konnten ihre Wahrnehmung zum Thema schärfen und neue Informationen dazu gewinnen. Faltus (2019) resümierten, dass die Urteilskompetenz der Personen gestärkt wurde. Allerdings werden keine Aussagen darüber getroffen, ob die Akzeptanz für genomeditierte Produkte gestiegen ist.

Gesundheitliche Risiken sind vor allem beim Verzehr von genomeditierten Organismen zu erwarten. Für klassisch genmanipulierte Organismen wird dies sehr kontrovers diskutiert. Für das neue CRISPR/Cas-Verfahren liegen noch keine entsprechenden Studien vor. Es ist aber zu erwarten, dass es in Bezug auf eine gesundheitsfördernde Wirkung zu einer Entlastung bis mittleren Belastung kommen kann.

Die Kosten für CRISPR/Cas-Verfahren sind weitaus niedriger als bei anderen molekularbiologischen Verfahren (Möller et al. 2018). Bei Pflanzenzüchtungen könnten die positiven Auswirkungen, z.B. geringerer Schädlingsbefall und verbesserte Krankheitsresistenz und der damit

propagierten Ertragssicherheit für die Landwirtschaft auch ökonomischen Mehrwert bedeuten. Es ist fraglich, ob dies ausreicht, um die Akzeptanz deutlich zu erhöhen. Zudem können mögliche ökonomische Vorteile von CRISPR/Cas durch Abhängigkeiten von großen Firmen für Saatgut/Agrochemikalien konterkariert werden, wie am Beispiel der derzeitigen Diskussion zur Monopolbildung z.B. durch Monsanto deutlich wird. (DBU 2017).

Chancen und Risiken sowie weitere ethische Aspekte

Chancen/Risiken des Pfades

Die neuen gentechnischen Methoden wie CRISPR/Cas versprechen effiziente, gezielte und damit besser kontrollierbare Erbgutveränderungen, als mit den bisher verfügbaren gentechnischen Methoden möglich waren. Zu den Chancen dieser Methoden gehören eine verbesserte Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegen Krankheiten, Schädlingen bzw. abiotischen Stress, möglicherweise eine Verringerung des Ressourceneinsatzes (v.a. Wasser) sowie eine Erhöhung des Energie- und Nährstoffgehaltes der Pflanzen (Leopoldina 2017). Weitere Chancen werden in Ertragssteigerungen oder Steigerung von Nährwerten bei Lebensmitteln gesehen. Geforscht wird z.B. an der Entwicklung von mehltaresistenten Kartoffeln und Weizen, Feuerbrand resistenten Apfelbäumen, Kartoffeln mit unterdrücktem Saccharose-Abbau oder Mais mit veränderter Stärkezusammensetzung (Dt. Bundestag 2016). Eine weitere Chance wird z.B. darin gesehen, bestimmte Allergene aus der Kuhmilch oder aus Hühnereiern zu entfernen, was sich positiv auf die Gesundheit auswirken könnte (Dt. Bundestag 2016).

Risiken werden in möglichen direkten und indirekten Auswirkungen auf die Umwelt gesehen, z.B. Risiken für die Biodiversität. Dazu gehört die Verdrängung von Arten. Ein weiteres Risiko besteht in sogenannten „off-target“-Effekten, d. h. die genetischen Modifikationen werden nicht nur an der erwünschten Position, sondern auch anderen Stellen eingeführt (Dt. Bundestag 2016). Hinzu kommt das Risiko von Bodenverunreinigungen durch unkontrollierte Verbreitung der gentechnisch veränderten Organismen. Dies kann auch zu einer Wertminderung des Bodens führen, „weil dort verbleibende Samen eine Umstellung von Gentechnik-Anbau auf gentechnikfreie Produktion über längere Zeit hinweg verhindern“ (BUND 2019).

Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen birgt zudem das Risiko der Abhängigkeit der Landwirtschaft von Saatgutzuchtunternehmen. Dies ist auf das bestehende Patentrecht zurückzuführen, welches nach Ansicht des BUND (2019) „... die Gentechnik privilegiert und die herkömmliche Züchtung verdrängt ...“.

Zu weiteren Risiken, die sich langfristig ergeben können, wird weiterer Forschungsbedarf gesehen (Dt. Bundestag 2016).

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Potenziale in der konventionellen Züchtung noch nicht ausgeschöpft sind. Daher stellt sich die Frage, ob Ertragssteigerungen durch Genmodifizierung umweltpolitisch sinnvoll sind. Dies schließt auch die Diskussion um Pflanzen zur Energieerzeugung ein.

Ethische Aspekte

Die Methoden des Genome Editing sind stark verknüpft mit der Frage, ob in das sogenannte „natürliche Wachstum“ eingegriffen werden darf. Hier werden auch religiöse Schöpfungsaspekte diskutiert. Faltus (2019) weisen darauf hin, dass die „moralische Bewertung genetisch veränderter Pflanzen von der Frage nach deren Natürlichkeit oder Künstlichkeit abgekoppelt

werden sollte.“ Ihrer Ansicht nach braucht es einen umfangreichen gesamtgesellschaftlichen Diskurs zur Regulierung, so dass Potenziale genutzt und Gefahren gemindert werden können (Faltus 2019).

Die kontroverse Debatte rund um das Genome Editing richtet sich darauf aus, ob die Beeinflussung von Ökosystemen durch den Menschen seit jeher „unnatürlich“ ist, d.h. dass der Mensch überhaupt nicht in Ökosysteme durch Bewirtschaftung eingreifen darf, mit und ohne Gentechnik. Bereits Fruchtfolgen oder andere Anbausysteme werden als Eingriff definiert. Eine Veränderung der Natur durch Genmodifizierung „dehnt die Grenzen des Natürlichen aus“, d.h. es geht weit über das hinaus, was von vornherein kritisiert wird. Ein Argument ist, dass der Mensch nicht mehr von der Natur lernen würde, sondern die Natur vom Menschen. Der Mensch zwingt der Natur Veränderungen auf, ohne auf die Folgen Rücksicht zu nehmen. Eine Frage im Diskurs bleibt aus ethischer Sicht offen: unter welchen Bedingungen wäre Genome Editing legitimierungswürdig (DBU 2017)?

Eine andere Diskussion nimmt die Tierhaltung in den Fokus und verweist dabei auf die positiven Auswirkungen auf das Tierwohl. Dies liegt darin begründet, dass bei genomeditierten Tieren seltener Tiere mit genetischen Defekten geboren und damit Tierleid vermindert würde. Andererseits ist auch anzumerken, dass durch Gentechnik eine Zunahme von Tierversuchen ausgelöst und damit Tierleid vergrößert wurde (DBU 2017).

Quellen

BfN (2017): Neue Verfahren in der Gentechnik: Chancen und Risiken aus Sicht des Naturschutzes. Hintergrundpapier zu neuen Techniken. Im Internet unter: https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/agrogentechnik/Dokumente/17-07-13_Hintergrundpapier_Neue_Techniken_end_online_barrierefrei_01.pdf

BfR (2017): Durchführung von Fokusgruppen zur Wahrnehmung des Genome Editings (CRISPR/Cas9). Abschlussbericht. Im Internet unter: <https://mobil.bfr.bund.de/cm/350/durchfuehrung-von-fokusgruppen-zur-wahrnehmung-des-genome-editings-crispr-cas9.pdf>

BMEL (2017): Die Anwendung des Genome Editing in Forschung und Praxis. 1. Dialogveranstaltung zu den neuen molekularbiologischen Techniken. Zusammenfassende Dokumentation der Veranstaltung. Im Internet unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Pflanze/GrueneGentechnik/Dokumentation_Dialogveranstaltung_NMT.pdf?__blob=publicationFile

Biotech (2018): Unterschiede: Genome Editing und Mutagenese. Testbiotech Basis-Text 13-07-2018. Im Internet unter: http://www.testbiotech.org/sites/default/files/Tabelle%20Vergleich%20CRISPR%20%26%20Mutagenese_2.pdf

Deutscher Bundestag (2016): Einstufung von und Umgang mit neuen Gentechnikverfahren. BT-Drucksache 18/10301.

EC (2017): New Techniques in Agricultural Biotechnology. High Level Group of Scientific Advisors. Explanatory Note 02

Faltus, T. (Hrsg.) (2019): Ethik, Recht und Kommunikation des Genome Editings – Projektbericht des BMBF geförderten Forschungsverbunds „GenomELECTION: Genomeditierung – ethische, rechtliche und kommunikationswissenschaftliche Aspekte im Bereich der molekularen Medizin und Nutzpflanzenzüchtungen. Im Internet: <https://uvhw.de/download/978-3-86977-202-8.pdf>

Möller, M. (2018): Verantwortungsvoller Umgang mit neuen gentechnischen Verfahren Positionspapier zu den Chancen und Risiken der Anwendung von „Genome Editing“ in der Landwirtschaft. Im Internet unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Positionspapier-Genome-Editing.pdf>

Modrzejewski, D. et al. (2018): Übersicht über Nutz- und Zierpflanzen, die mittels neuer molekular-

Biologischer Techniken für die Bereiche Ernährung, Landwirtschaft und Gartenbau erzeugt wurden. Julius Kühn-Institut Quedlinburg. 1. Aktualisierung

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Deutsche Forschungsgemeinschaft, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (2015): Chancen und Grenzen des genome editing. Halle (Saale)

Leopoldina (2019): Wege zu einer wissenschaftlich begründeten, differenzierten Regulierung genomeditierter Pflanzen in der EU. Stellungnahme. Im Internet: https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2019_Stellungnahme_Genomeditierte_Pflanzen_web.pdf

Niggli, U. et al. (2018): CRISPR/Cas & Co: Wozu Genome Editing bei Pflanzen gut ist. Im Internet unter: <https://www.transgen.de/forschung/2590.crispr-talen-genome-editing-pflanzen.html>

UFOP (2018): Geschäftsbericht 2017/18. Berlin

Roux, S.; Wehling, P. (2012): Beiträge der Pflanzenzüchtung zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel. In: Journal für Kulturpflanzen 64 (8). S. 286–294

VCI (2019): Gene Editing. Daten und Fakten. Im Internet unter: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/daten-fakten-gene-editing.pdf>

5 Synthese

Die Bioökonomie sollte Lösungsvorschläge für ökologische, soziale und ökonomische Herausforderungen der Nachhaltigkeit unterbreiten. Allerdings ergeben sich durch die bestehende und künftige Nutzung von Biomasse Konflikte und Problemlagen, deren Behebung bei einer weiteren Ausgestaltung der Bioökonomie eine große Bedeutung zukommt. Die Analyse künftig möglicher Bioökonomiepfade zeigt, dass zukünftige Entwicklungen der Bioökonomie nicht per se nachhaltig sind und dass eine reine Substitution von fossilen Rohstoffen durch biogene Rohstoffe auch zur Verschärfung von ökologischen und sozialen Belastungen führen kann. Bioökonomische Anwendungsbereiche sollten daher bei der Auswahl und Ausgestaltung von Bioökonomiepfaden Nachhaltigkeitsanforderungen berücksichtigen, nicht zuletzt auch, um die Akzeptanz der Verbrauchenden für biobasierte Prozesse und Produkte zu gewinnen und um gesellschaftlichen und ökologischen Nutzen zu generieren.

Die „wissensbasierte Bioökonomie“ ist nach BMEL (2014 a) an natürlichen Stoffkreisläufen orientiert und treibt den Strukturwandel von einer auf fossilen Rohstoffen basierten Wirtschaft zu einer stärker auf nachwachsenden Ressourcen basierten Wirtschaft voran. Die Folgen der Umstellung auf eine nachhaltige Rohstoffbasis sind allerdings weitreichend, denn die Bereitstellung der biogenen Rohstoffe ist ausschlaggebend für die Umweltfolgen, insbesondere die Inanspruchnahme von globalen Landflächen. Landnutzung ist seit jeher die wichtigste Existenzgrundlage des Menschen. Dies schließt die Versorgung mit Nahrungsmitteln, Süßwasser und einer Vielzahl anderer Ökosystemdienstleistungen, sowie Biodiversität ein. Die Ergebnisse des IPCC (2019) und des IPBES (2019) verdeutlichen die Dringlichkeit, dass Maßnahmen zur Eindämmung und Umkehrung der Übernutzung der Landressourcen ergriffen werden müssen, um den Verlust der Biodiversität abzumildern (IPCC 2019, IPBES 2019). Monbiot (2019) zeigen, dass der Fleischkonsum der Industrie- und Schwellenländer ein wesentlicher Treiber für die Degradation von Böden ist und fordern daher, dass die bestehende landwirtschaftliche Landnutzung minimiert und die landwirtschaftliche Nutzung extensiviert wird. Im IPCC-Bericht zu Land (IPCC 2019) wird dargelegt, dass eine nachhaltige Flächennutzung zur Klimaanpassung beitragen kann. Allerdings ist damit die Herausforderung verbunden, auch die Nutzung von biogenen Ressourcen, die für die Inanspruchnahme verantwortlich sind, zu verringern. Eine Zunahme der Biomassenutzung bedingt hingegen weitere Umweltbelastungen durch Landnutzung und Landnutzungsänderungen und durch Nutzungsintensivierung. Im vorliegenden Bericht wurden künftig mögliche Bioökonomiepfade analysiert, um auf die nachfolgenden Fragen Antworten zu geben (Kapitel 5.1 bis 5.12).

5.1 Wie stellt sich die heutige Nutzung biogener und nicht-biogener Rohstoffe dar?

Die Analyse der biogenen und nicht-biogenen Ressourcennutzung in Deutschland (s. Kapitel 2) zeigt, dass aktuell 23% der Rohstoffentnahme der Bioökonomie zuzuordnen sind. Der größte Teil der biogenen Rohstoffe (20,6) stammt aus der Landwirtschaft und nur ein kleiner Anteil (2,2) aus der Forstwirtschaft. Die häufigste Nutzung der landwirtschaftlichen Rohstoffe ist auf die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln zurückzuführen (15,2). Der kleinere Teil der Anbaubiomasse wird energetisch (5) oder stofflich (0,3) genutzt.

Fossile Rohstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle nehmen 30% der Rohstoffnutzung in Deutschland ein. 42% der Rohstoffnutzung entfallen auf mineralische Rohstoffe inklusive Erze. Damit zeigt die bestehende Rohstoffnutzung, dass bereits heute die Bioökonomie einen deutlichen Beitrag innerhalb der Wirtschaft in Deutschland leistet. Dieser bestehende Beitrag ist bei einer erwarteten

verstärkten Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen (vgl. Kapitel 3.3) sowie der Bewertung von Auswirkungen in Bezug auf ökologische und soziale Aspekte in die Potenzialanalyse einzubeziehen.

5.2 Welche Substitutionsoptionen von nicht-biogenen durch biogene Rohstoffe bestehen?

Nicht-biogene Rohstoffe können in vielen Anwendungsbereichen durch biogene Rohstoffe ersetzt werden. Sehr große Substitutionsoptionen bestehen im Bereich der energetischen Nutzung fossiler Rohstoffe, die derzeit einen Anteil von ca. 28% an der Rohstoffnutzung haben. Bei der Biomasse-nutzung liegt daher häufig ein Fokus auf der Substitution fossiler Energieträger und insbesondere der damit verbundenen Minderung von Treibhausgasemissionen.

Um den Nutzungsdruck auf begrenzte biogene Ressourcen zu senken, sollten in der Energieversorgung bestehende alternative Substitutionsoptionen mit einem geringeren Flächenbedarf wie z.B. der Einsatz von Wind- und Solarenergie vorrangig genutzt werden. Wichtig ist es zudem, die Effizienz der Rohstoffnutzung durch technologische Entwicklungen zu steigern, um den Substitutionsbedarf insgesamt zu verringern (z.B. Repenning et al. 2015).

Der Einsatz von Erzen und sonstigen mineralischen Rohstoffen kann zu einem gewissen Anteil z.B. durch Holzprodukte substituiert werden, wie Hafner et al. (2017) für Wohngebäude aufzeigen. Am Beispiel des Pfades „Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen“ (Kapitel 4.3.3) wurde deutlich, dass ein verstärkter Einsatz biogener Rohstoffe beim Neubau sowie bei der Modernisierung möglich ist. Dabei ist die Mengenrelevanz in Bezug auf biogene Rohstoffe hoch, da verhältnismäßig große Mengen an Rohstoffen im Gebäudebau selbst (statische Elemente sowie Innenausbau) und bei der Gebäudesanierung (Dämmmaterial) nachgefragt werden.

Im Bereich der stofflichen Nutzung fossiler Rohstoffe (1,3% der Rohstoffnutzung, zum Großteil in der chemischen Industrie) besteht zwar ein geringerer Substitutionsbedarf, aber da es – bis auf strombasierte Kohlenstoffverbindungen (PtCC) – keine alternativen Substitutionsoptionen gibt, kann und sollte die Biomasse hier eine wichtige Rolle spielen. So besitzt der Pfad „Einsatz von biobasierten Grundchemikalien“ (Kapitel 4.3.4) ein hohes Potenzial, fossile Rohstoffe in der chemischen Industrie zu substituieren.

Die Analyse der Biomassenutzung in künftig möglichen Bioökonomiepfaden zeigt, dass nur ein kleiner Teil des aktuellen nicht-biogenen Rohstoffbedarfs in Deutschland durch heimische Biomasse substituiert werden kann (vgl. Kapitel 3.3). Ein zusätzlicher Bedarf an biogenen Ressourcen, der mit der Substitution nicht-biogener Rohstoffe zu erwarten ist, ist untrennbar mit Importen bzw. Landnutzung außerhalb von Deutschland verbunden (Thrän et al. 2019, Fritsche et al. 2015). Mit der Ausweitung der Biomasseproduktion im (inter-)nationalen Rahmen gehen zusätzlich erhebliche Risiken einer ökologisch und sozial nicht nachhaltigen Nutzung von Naturgütern in Erzeugerländern einher (siehe z.B. die Bewertung der Pfade zu biobasierten Grundchemikalien in Kapitel 4.3.4 und zu fortschrittlichen Biokraftstoffen in Kapitel 4.3.5).

5.3 Welche künftig möglichen Bioökonomiepfade können in der Literatur im nationalen, europäischen und internationalen Raum identifiziert werden?

Im Rahmen dieser Studie wurden 58 künftig mögliche Bioökonomiepfade identifiziert, die ein breites Spektrum an biogenen Rohstoffen, Nutzungen und Technologien abdecken. Besonders hervorzuheben sind die Sektoren Energieversorgung und die Ernährungswirtschaft, denen die meisten Pfade

zugeordnet wurden, gefolgt von den Wirtschaftssektoren Verkehr und Transport, verarbeitendes Gewerbe und Landwirtschaft. Alle identifizierten Pfade sind im Anhang in Tabelle 5-1 aufgeführt.

Bei der Recherchearbeit wurden nationale, europäische und internationale Quellen genutzt. Dabei zeigte sich, dass die meisten künftig möglichen Bioökonomiepfade grundsätzlich global Anwendung finden können. Eine entsprechende Anwendung ist aber vor allem durch den rechtlichen Rahmen, die gesellschaftliche Akzeptanz, die Rohstoffverfügbarkeit und die benötigte Infrastruktur eingeschränkt. So sind z.B. der Anbau und die Nutzung von gentechnisch veränderten Organismen in Deutschland technisch möglich, aber weder politisch noch gesellschaftlich gewollt. Hinzu kommt, dass bei den neuen gentechnischen Verfahren Risiken bzgl. der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Anwendungen bestehen. Daneben sprechen andere Aspekte wie eine Belastung der biologischen Vielfalt gegen die Nutzung von gentechnisch veränderten Organismen (siehe Pfad „Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung“ in Kapitel 4.3.6). Auch der Pfad In-Vitro-Fleischherstellung (Kapitel 4.3.1) kann – obwohl ökologisch und ethisch zu befürworten – aufgrund von mangelnder Akzeptanz nicht plausibilisiert werden.

Die lokale Verfügbarkeit der benötigten Rohstoffe und eine gut ausgebaute Infrastruktur begünstigt Bioökonomiepfade. Beispielsweise wird eine Anlage zur Produktion von fortschrittlichen Biokraftstoffen (Kapitel 4.3.5) vorrangig in räumlicher Nähe zu Reststoffen wie Stroh errichtet, insbesondere wenn ein Transport der biogenen Rohstoffe ökonomisch nicht attraktiv ist, wie es z.B. für wasserhaltige Anbaubiomasse und Reststoffe oder für Wirtschaftsdünger der Fall ist. Durch den ausgeprägten internationalen Handel mit Rohstoffen, Halbprodukten und Produkten ist aber eine räumliche Entkopplung entlang von bioökonomischen Wertschöpfungsketten zu erwarten bzw. bereits gegeben (z.B. Produktionsanlage in einem Drittland, Import nach Deutschland).

5.4 Welchen Wirtschaftsbereichen sind künftig mögliche Bioökonomiepfade zuzuordnen?

Den einzelnen Bioökonomiepfaden wurden Wirtschaftsbereiche zugeordnet. Die Analyse zeigt, dass die identifizierten Pfade vorrangig in den Sektoren Energieversorgung, Ernährungsindustrie, Verkehr und Transport, verarbeitendes Gewerbe sowie Landwirtschaft liegen. Hier wird künftig mit Innovationen bei der Nutzung biogener Rohstoffe gerechnet (vgl. Kapitel 2.3). Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass fossile Rohstoffe relativ einfach durch biogene Rohstoffe substituiert werden können (vgl. Kapitel 5.2) oder auch dass bereits vorhandene biogene Nutzungen optimiert werden können. So ist die aktuelle Rohstoffnutzung in Deutschland zu großen Anteilen mit diesen Sektoren verbunden: Fossile Energieträger haben einen Anteil von etwa 30% und Anbaubiomasse in der Landwirtschaft hat einen Anteil von ca. 20% an der Rohstoffnutzung in Deutschland (vgl. Kapitel 2). Die Sektoren Land- und Forstwirtschaft sind zudem als Rohstoffproduzent für Pfade in anderen Sektoren von Bedeutung, da zu erwarten ist, dass in künftig möglichen Bioökonomiepfaden zu hohen Anteilen land- und forstwirtschaftliche Anbaubiomasse und Reststoffe mit Flächenbezug eingesetzt werden (siehe Kap. 3.4.2 und Kap. 5.6).

5.5 Welche Wirkungen haben globale Megatrends auf die Bioökonomie?

EEA (2015) definiert elf globale Megatrends, die sich jeweils untereinander bedingen und daher auch in Abhängigkeit zueinander stehen. Aus Sicht der Bioökonomie wurden die Megatrends Bevölkerungswachstum, Urbanisierung, Klimawandel, technologischer Fortschritt und Wirtschaftswachstum näher betrachtet, da diese Megatrends einen starken Einfluss auf bestehende und künftig

mögliche Bioökonomiepfade haben. Sie sind starke Treiber für die künftige Entwicklung und sie tragen dazu bei, dass die Nachfrage nach biogenen Rohstoffen bzw. Produkten steigt (vgl. Kapitel 3.4).

Die Analyse der Wirkung von Megatrends auf die bioökonomischen Pfade (vgl. Kapitel 3.4) zeigt, dass ihre Wirkung diametral unterschiedlich sein kann:

- Zunahme des Nutzungsdrucks auf biogene Rohstoffe und/oder Zunahme negativer Umweltauswirkungen (Megatrends Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum und Klimawandel, in geringem Umfang durch technologischen Fortschritt/Digitalisierung)
- Verringerung des Nutzungsdrucks auf biogene Rohstoffe und/oder eine Entlastung von negativen Umweltauswirkungen (Megatrend technologischer Fortschritt/Digitalisierung, in geringem Umfang durch Nutzungskonkurrenz und Urbanisierung)

Insbesondere der Megatrend technologischer Fortschritt/Digitalisierung hat das Potenzial, z.B. durch Effizienzsteigerungen den Nutzungsdruck auf biogene Rohstoffe zu verringern und dadurch sowie durch verbesserte technologische Verfahren die Umwelt zu entlasten. Beispiele dafür sind Pfade wie verbesserte landwirtschaftliche Anbauverfahren, Nutzung von terrestrischer Aquakultur oder Technologieverbesserungen in der lebensmittelverarbeitenden Industrie, zur Reduktion von Lebensmittelverlusten (vgl. Tabelle 5-1 im Anhang). Aber neue Technologien wie gentechnische Verfahren können auch zu negativen Umweltwirkungen führen. Der Megatrend Nutzungskonkurrenz führt zu steigenden Preisen biogener Rohstoffe und dadurch zu einer Verringerung ihrer Nutzung oder zu Anreizen im Sinne weiterer technologischer Optimierung.

Bereits eine Ausweitung von Bioökonomiepfaden im Rahmen der Bioökonomie führt voraussichtlich zu einer Zunahme der Nutzung biogener Rohstoffe (vgl. Kap. 3.4.2 und Kap. 5.6). Die Megatrends Bevölkerungswachstum und Wirtschaftswachstum verstärken diesen Nutzungsdruck und der Megatrend Klimawandel birgt das Risiko, durch den Rückgang von Erträgen und Ertragsverlusten biogene Rohstoffe zu verknappen und den Nutzungsdruck zusätzlich zu erhöhen. Mit dieser Entwicklung sind negative Umweltauswirkungen verbunden (siehe Kap. 4.3.4 zur Bewertung des Einsatzes von biobasierten Grundchemikalien oder zur Nutzung fortschrittlicher Biokraftstoffe in Kap. 4.3.5).

5.6 Welche Biomasse wird in künftig möglichen Bioökonomiepfaden eingesetzt?

In Bezug auf die Biomassenutzung zeigte sich, dass in künftig möglichen Bioökonomiepfaden häufig unterschiedliche Typen von Anbaubiomasse in der Land- und Forstwirtschaft bis hin zu Abfällen und Reststoffen ohne Flächenbezug eingesetzt werden. Dies ist z.B. für fortschrittliche Biokraftstoffe (Kapitel 4.3.5), biobasierte Grundchemikalien (Kapitel 4.3.4) und Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (Kapitel 4.3.3) der Fall. Andere Pfade beziehen sich aber auch gezielt auf einzelne Biomassetypen (z.B. Stromerzeugung aus Siedlungsabfällen, biologische Vorbehandlung von Stroh-pellets, Anbaubiomasse in vertikale Landwirtschaft; siehe Tabelle 5-2 im Anhang). Welche der biogenen Rohstoffe künftig zum Einsatz kommen, ist mit großen Unsicherheiten behaftet, allerdings zeigt sich deutlich, dass in der Analyse der künftig möglichen Bioökonomiepfade (Kapitel 3.4) landwirtschaftliche Anbaubiomasse (Feldfrüchte, Energiegräser, KUP) gegenüber anderen Biomassetypen häufiger eingesetzt wird.

Für die künftig möglichen Bioökonomiepfade wurde für die genutzten biogenen Rohstoffe eine qualitative Einschätzung der Mengenrelevanz vorgenommen (Kapitel 3.2 und 3.4). Hier zeigt sich, dass knapp die Hälfte der Pfade eine mittlere bis hohe Mengenrelevanz aufweist. Ob ein Pfad zukünftig umgesetzt wird, ist für die meisten Pfade mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet (z.B. Herstellung

von biobasiertem Bitumen, Herstellung von Biokerosin aus Algenbiomasse, Insekten als Protein- und Vitaminquelle; vgl. Tabelle 5-1). Einige künftig mögliche Bioökonomiepfade werden aber mit einer deutlich höheren Wahrscheinlichkeit an Bedeutung gewinnen. Dazu zählen der Pfad zur Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen (angereizt durch eine feste Quote in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie), der Pfad Digitalisierung der Landwirtschaft (hohe Effizienzsteigerungen beim Pflanzenanbau zu erwarten) und der Pfad zur Verbesserung der Lebensmittelverarbeitung (Ziel im Klimaschutzpaket der Bundesregierung).

5.7 In wieweit führen die künftig möglichen Bioökonomiepfade zu einer Be- und Entlastung der Biomassenutzung?

Die Auswertung der identifizierten bioökonomischen Pfade zeigt, dass für einen großen Anteil der künftig möglichen Bioökonomiepfade neue, zusätzliche biogene Rohstoffe nachgefragt werden. Dies betrifft z.B. die Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrsbereich oder die energetische Nutzung von Biomasse z.B. durch den Einsatz von Miscanthus, Holz oder Strohpellets (vgl. auch Tabelle 5-2 im Anhang). Für einen kleinen Teil der Pfade ist zu sehen, dass zusätzliche Biomassebedarfe durch Effizienzmaßnahmen abgemildert werden können, was vor allem auf technologische Verbesserungen zurückzuführen ist (z.B. im Bereich der Lebensmittelherstellung, der Reduktion von Lebensmittelabfällen, der Nutzung von Abfall und Reststoffen zur energetischen Nutzung; vgl. Tabelle 5-2). Bei den zusätzlich genutzten biogenen Rohstoffen ist zu erwarten, dass ein deutlicher Anteil von land- und forstwirtschaftlichen Flächen stammen wird (vgl. Kapitel 3.4 und 5.2). Das bedeutet, dass ein steigender Druck auf die Flächennutzung in Deutschland und insbesondere in Importländern zu erwarten ist.

Die Analyse zeigt auch, dass durch einige Pfade eine Entlastung der Biomassenutzung stattfinden kann (z.B. bei der Anwendung von PtX, bei der Optimierung von Erntetechnologien zur Nutzung von Schnittabfällen oder beim Einsatz von Aquaponik; vgl. Tabelle 5-2). Dies geschieht allerdings in einem deutlich geringeren Umfang als die erwartete künftige Belastung durch die Pfade, die mit einem zusätzlichen Bedarf an biogenen Rohstoffen einhergeht. Diese Entlastung ist überwiegend auf eine Effizienzsteigerung bzw. Optimierung bestehender Biomassenutzungen zurückzuführen. Eine Reduktion der Biomassenutzung durch Suffizienzmaßnahmen spielte in den betrachteten Pfaden keine Rolle. Petschow (2018) stellt heraus, dass die Verringerung des Bedarfs an biogenen Rohstoffen durch Suffizienzmaßnahmen kein Ziel der Bioökonomie ist, eine zukunftsfähige Bioökonomie den Fokus viel stärker auf Suffizienzansätze legen sollte, um eine weitgehende Entkopplung von Ressourcenverbräuchen von gesellschaftlichen Entwicklungsprozessen zu erreichen.

In Summe ist für die analysierten Pfade die Belastung durch die Biomassenutzung deutlich höher als die Entlastung. Somit ist künftig damit zu rechnen, dass – ohne eine politische Steuerung – sich Bioökonomiepfade, die zu einer steigenden Nachfrage nach Anbaubiomasse führen, in einem höheren Maße ausbreiten, als Pfade, die einen Fokus auf Effizienzsteigerungen vorhandener Biomassenutzungen oder auf die Erschließung von ungenutzten Abfällen und Reststoffen setzen.

5.8 Welche Chancen sind mit künftig möglichen Bioökonomiepfaden verbunden?

Die Bewertungen, die für die sechs ausgewählten Pfade durchgeführt wurden, erlauben keine umfassende Bewertung des tatsächlichen Mengenbedarfs an Biomasse im Hinblick auf eine künftige Ausgestaltung der Bioökonomie. Die Detailanalysen ermöglichen aber, Chancen und Risiken qualitativ aufzuzeigen, was für die vollständige Liste der identifizierten Pfade (s. Tabelle 5-1 im Anhang)

im Projektrahmen nicht möglich war. Da für diese sechs Pfade eine mittlere bis hohe Mengenrelevanz erwartet wird und wichtige Wirtschaftssektoren durch die Pfade abgedeckt werden, können die gewonnenen Ergebnisse die politischen Entscheidungen zu Weichenstellungen im bioökonomischen Transformationsprozess unterstützen.

Als Chancen wurden bei den betrachteten Pfaden folgende Punkte identifiziert, die den intendierten Wirkungen der deutschen Bioökonomiestrategie entsprechen (siehe Steckbriefe in Kapitel 4.3):

- Substitution von fossilen Energieträgern durch ökologisch und/oder sozial vorteilhafte biogene Rohstoffe (z.B. durch den Einsatz fortschrittlicher Biokraftstoffe in Kapitel 4.3.5 und biobasierter Grundchemikalien in Kapitel 4.3.4).
- Substitution von mineralischen Rohstoffen und Erzen (z.B. Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in Kapitel 4.3.3)
- Steigerung der Ressourceneffizienz durch Optimierung von Produktionsprozessen, um den Einsatz von biogenen und nicht-biogenen Rohstoffen je Produkteinheit und/oder negative Auswirkungen auf Umwelt- und soziale Aspekte zu reduzieren (z.B. In-Vitro-Fleischherstellung in Kapitel 4.3.1, Aquakultur in Kreislaufanlagen in Kapitel 4.3.2, Genome Editing in Kapitel 4.3.6)

Neben diesen Aspekten wurden z.T. pfadspezifische Chancen identifiziert. Hierzu zählen die Reduzierung von Umweltbelastungen (alle Pfade), die Reduzierung ethischer Konflikte wie Tierleid (vgl. Pfad Herstellung von In-Vitro Fleisch in Kapitel 4.3.1) und die Verbesserung der Ernährung (vgl. Pfad Einsatz von Aquakultur in Kapitel 4.3.2). Aspekte wie Beschäftigung und fairer Handel können ebenfalls – abhängig vom betrachteten Pfad – Chancen ermöglichen.

5.9 Welche Risiken und nicht-intendierten Wirkungen einer Bioökonomie-Strategie sind möglich?

Die analysierten Pfade sollen in Bezug auf die in Kapitel 5.8 genannten intendierten Wirkungen der Bioökonomiestrategie stets die Substitution von fossilen Quellen durch biogene Quellen und/oder eine Steigerung der Ressourceneffizienz bewirken. Nachhaltigkeitsanforderungen stehen weniger im Fokus der Pfade und werden mehr als Rahmen als diese Zielsetzungen genannt. Die Analyse auf Basis der Longlist zeigt, dass ein großer Anteil der Bioökonomiepfade zu einer Belastung der Umwelt beitragen würde, da zusätzliche biogene Rohstoffe notwendig sind, um den Bedarf der Pfade zu decken. Die Belastung ist vor allem durch die Bereitstellung von Anbaubiomasse aus der Land- und Forstwirtschaft zu erwarten. Ein kleinerer Anteil der Bioökonomiepfade führt jedoch auch zu einer Entlastung der Umwelt, insbesondere dann, wenn Biomasse durch technologische Innovationen effizienter eingesetzt wird (siehe Kapitel 3.3). Die detaillierte Analyse ausgewählter Bioökonomiepfade (s. Kapitel 4.3) zeigt, dass eine Reduktion der fossilen Rohstoffe eng mit einem Anstieg biogener Rohstoffe verbunden ist (z.B. Grundchemikalien in der chemischen Industrie in Kapitel 4.3.4, fortschrittliche Biokraftstoffe in Kapitel 4.3.5). Mit künftig möglichen Bioökonomiepfaden ist in Summe ein deutliches Risiko verbunden, dass es zu einem Anstieg der Nutzung von biogenen Ressourcen kommt, die zu Risiken für die chemische und biologische Umwelt und der Ressourceninanspruchnahme führen. Diese Beobachtung wird durch eine detaillierte Auswertung der in- und ausländischen Flächenbelegung für die Biomassenutzung in Deutschland gestützt, die zeigt, dass bereits im Jahr 2015 mehr als 14 Mio. ha an Anbaufläche im Ausland für nach Deutschland importierte Biomasse belegt wird (Destatis 2018). Die Umsetzung künftig möglicher Bioökonomiepfade, die landwirtschaftliche Anbaubiomasse einsetzen, führt mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu, dass dies

mit einer Flächenbelegung im Ausland verbunden sein wird, da keine zusätzliche Fläche in Deutschland verfügbar ist bzw. Ertragssteigerungen begrenzt sind. Die zu erwartende Zunahme der Flächennutzung ist laut IPCC (2019) ein bedeutender Treiber für negative ökologische und ggf. auch soziale Auswirkungen zu sehen. Diese Risiken der zunehmenden Biomassenutzung, insbesondere im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse, wurde auch bereits in UBA (2013, 2019) betont und hieraus die Forderung abgeleitet, den Anbau von Biomasse zur energetischen Nutzung zu reduzieren.

Auch in der detaillierten Bewertung ausgewählter Bioökonomiepfade bestätigt sich die generelle Tendenz, dass das Risiko für eine Belastung der chemischen und biologischen Umwelt, die auch z.T. bereits heute besteht, stark mit der Inanspruchnahme zusätzlicher Anbaubiomasse einhergeht. Entsprechend sind Entlastungen nur in Bioökonomiepfaden zu erwarten, die eine Reduktion von Anbaubiomasse erreichen. Als ein weiteres Risiko ist hervorzuheben, dass für etwa die Hälfte der detailliert betrachteten künftig möglichen Bioökonomiepfade eine Minderung der Treibhausgasemissionen nicht sichergestellt ist. Mit der zusätzlichen Inanspruchnahme von Anbaubiomasse, aber auch von Abfall- und Reststoffen, ist zudem immer ein Anstieg der Nutzungskonkurrenz zwischen unterschiedlichen Bereichen der Bioökonomie zu erwarten (z.B. Stroh als Rohstoff für fortschrittliche Biokraftstoffe in Kapitel 4.3.5 oder als Baustoff in Kapitel 4.3.3).

Die gesellschaftliche Akzeptanz kann für die meisten analysierten Bioökonomiepfade als hoch eingeschätzt werden. Ausnahmen sind die Pfade Genome Editing (Kapitel 4.3.6) und In-Vitro-Fleischherstellung (Kapitel 4.3.1), die aufgrund kritischer Meinungen bzw. Ängsten von der Bevölkerung in Deutschland abgelehnt werden.

5.10 Welche nicht-intendierten Wirkungen lassen sich verhindern oder eindämmen?

Bestehende Prognosen deuten darauf hin, dass die steigende Produktivität der aktuellen landwirtschaftlichen Flächen (über Ertragssteigerungen, bessere Technologien, einen besseren Zugang zur Produktion und die Ressourcen) nicht ausreichen wird, um die Anforderungen der steigenden Nachfrage nach verschiedenen Arten von Biomasse zu decken (UNEP 2014, Fritsche et al. 2015). Dies wird auch durch historische Trends unterstrichen (IPCC 2019, Fritsche et al. 2015). Eine unerlässliche grundsätzliche Voraussetzung, um nicht-intendierte Wirkungen zu verhindern oder einzudämmen, sind Informationen über die räumliche Verteilung und die zeitliche Verfügbarkeit nachhaltiger Biomassepotenziale, die für die Ausgestaltung der Bioökonomie zur Verfügung stehen können. Als weitestgehend positiv werden Bioökonomiepfade angesehen, die auf eine Effizienzsteigerung von bestehenden Biomassenutzungen abzielen, da diese Pfade nicht-intendierte Wirkungen eindämmen können (z.B. Aquakulturanbau in Kreislaufanlagen in Kapitel 4.3.2). Allein eine Fokussierung auf z.B. Abfall- und Reststoffe kann dagegen nicht-intendierte Wirkungen nicht *per se* vermeiden, insbesondere wenn aufgrund einer bereits bestehenden Nutzung eines Abfall- und Reststoffs Konkurrenz- und Verdrängungseffekte entstehen.

Neben der effizienteren Nutzung von Biomasse sollte Nutzungseinschränkung bzw. -verzicht (Suffizienz) ein wichtiger Baustein einer Bioökonomiestrategie sein, um negative Auswirkungen zu verringern bzw. von vornherein zu vermeiden. Die Umsetzung einer nachhaltigen Bioökonomie hängt nach Priefer et al. (2017) nicht nur davon ab, die Ressourceneffizienz zu steigern oder technologische Verbesserungen vorzunehmen. Um die Bedürfnisse aller Menschen decken zu können, sind auch umweltbewusste Konsummuster (z.B. Vermeidung von Lebensmittelabfällen) und Suffizienzansätze (z.B. reduzierter Fleischkonsum) nötig, um die Nachfrage nach Biomasse zu reduzieren und den Druck auf die Flächen als limitierenden Faktor zu verringern (vgl. Petschow 2018). Die

Realisierung nachhaltiger Konsummuster erfordert nicht nur ein größeres Bewusstsein der Menschen, sondern auch ein verantwortungsbewusstes Verhalten der Produzierenden. Aspekte wie längere Haltbarkeit von materiellen Gütern, die Möglichkeit der Reparatur, des Austauschs von Komponenten und der Wiederverwendung von Rohstoffen müssen zwingend mitgedacht werden.

Um nicht-intendierte Wirkungen durch künftig mögliche Bioökonomiepfade zu verhindern oder einzudämmen, sind die folgenden Ansätze besonders hervorzuheben:

- Reduzierung des Nutzungsdruck auf biogene Rohstoffe, um einen zentralen Faktor für das Auftreten nicht-intendierter Wirkungen zu verringern, insbesondere durch:
 - Vermeiden zusätzlicher Biomassenutzungen,
 - Erschließen ungenutzter Biomassepotenziale,
 - Effizienzsteigerung der Biomassenutzung.
- Zertifizierung von biogenen Produkten nach ambitionierten Nachhaltigkeitskriterien. Für Umweltbelastungskategorien wie Boden und Gewässer oder soziale Aspekte wie Gesundheit kann eine Zertifizierung nicht-intendierte Wirkungen ausschließen. Bei Umweltbelastungskategorien wie Emissionen von Treibhausgasen, biologischer Vielfalt und Flächennutzung ist dies aufgrund möglicher bzw. wahrscheinlich auftretender Verdrängungseffekte bzw. indirekter Effekte nicht gesichert.

5.11 Welche nicht-intendierten Wirkungen müssen als nicht oder kaum vermeidbar gelten?

Alle im Detail betrachteten Pfade (s. Kapitel 4.3) weisen für einzelne oder mehrere der bewerteten Umweltbelastungskategorien und sozialen sowie ethischen Aspekte geringe bis hohe Belastungen auf. Ein Teil der zu erwartenden nicht-intendierten Wirkungen kann durch die in Kapitel 5.10 hervorgehobenen Ansätze adressiert werden. Ob dies möglich ist, kann nicht pauschal, sondern muss für einzelne Pfade beantwortet werden. Im Folgenden wird dies beispielhaft für detailliert analysierte Pfade diskutiert:

- Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen; Kapitel 4.3.2): *Entlastung bis mittlere Belastung für Treibhausgase*
Die THG-Emissionen dieses Pfads hängen stark von den THG-Emissionen des eingesetzten Stroms ab. Sind die THG-Emissionen des Strommix in einem Land zu hoch, um Treibhausgasneutralität zu erreichen, kann eine Verbesserung nur über den Umbau der Stromversorgung (mittel- bis langfristig) und nicht innerhalb des Pfads erreicht werden.
- Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien; Kapitel 4.3.4): *Entlastung bis hohe Belastung von Böden*
Die Wahl des biogenen Rohstoffs sowie die Anbauweise in einer Anbauregion sind entscheidend dafür, ob Böden belastet werden oder nicht. Eine Fokussierung auf ungenutzte Rest- und Abfallstoffe ohne Flächenbezug kann Belastungen ausschließen. Beim Anbau kann die Einhaltung von bodenschonenden Anbaumethoden durch Zertifizierungssysteme sichergestellt werden.

- Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor (Kapitel 4.3.5): *Entlastung bis hohe Belastung der biologischen Vielfalt*

Die Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen ist in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) definiert. In dem dort festgelegten Rahmen können Risiken für eine Belastung der biologischen Vielfalt (z.B. Waldholznutzung) nicht ausgeschlossen werden (Hennenberg et al. 2018). Diese nicht-intendierte Wirkung kann letztlich nur durch Änderungen in der RED II selbst erreicht werden.
- In-Vitro-Fleischherstellung (cultured meat) (Kapitel 4.3.1): *geringe bis mittlere Belastung der nicht biogenen Ressourceninanspruchnahme*

Die Produktion des In-Vitro-Fleischs erfolgt in Bioreaktoren, für die höhere Aufwendungen z.B. für Energie und Baumaterialien im Vergleich zur Tierproduktion nötig sind. Dies kann z.T. durch Effizienzsteigerungen im Produktionsprozess verbessert werden.
- Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor, u.a. Bauen mit Stroh oder Holz (Kapitel 4.3.3): *hohe Belastung der biogenen Ressourceninanspruchnahme*

In diesem Pfad werden nicht-biogene durch biogene Rohstoffe substituiert, was zu einer beabsichtigten Belastung der biogenen Ressourceninanspruchnahme führt. Dies ist auch für die Pfade zu biobasierten Grundchemikalien und fortschrittlichen Biokraftstoffen der Fall, anders als bei den Pfaden zu In-Vitro-Fleischherstellung und Aquakultur in landbasierten Kreislaufanlagen, die durch Optimierung die Belastung der biogenen Ressourceninanspruchnahme reduzieren.
- Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie (Kapitel 4.3.6): *geringe bis mittlere Belastung der Agrobiodiversität*

Es ist zu erwarten, dass bei der Zulassung von genomeditierten Nutzpflanzen andere Sorten verdrängt werden. Letztlich wird diese Veränderung im Anbau mit dem Pfad angestrebt und kann damit nicht vermieden werden.

5.12 Welchen Beitrag kann die Bioökonomie für eine treibhausgasneutrale, ressourcenschonende Gesellschaft bzw. zur Umsetzung der SDG leisten?

Auf europäischer Ebene zielen Bioökonomiekonzepte auf „Investition in Forschung, Innovation und Qualifikation“, „Politikkohärenz“ sowie „Stärkung der Märkte und der Wettbewerbsfähigkeit in der Bioökonomie“ (Kiresiewa et al. 2019). Die Nationale Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 hat u.a. für Deutschland zum Ziel, den Wirtschaftsstandort Deutschland bezüglich innovativer biobasierter Produkte zu stärken. Die Herkunft der Ressourcen wird dabei offengelassen, jedoch Importe implizit ausgeschlossen (Kiresiewa et al. 2019). Grundsätzlich zeigte sich, dass die sehr technologieorientierte Forschung mit einem Fokus auf wirtschaftlichem Wachstum, Steigerung der Wertschöpfung und der Beschäftigung einhergeht. Auch das Screening der künftig möglichen Bioökonomiepfade macht diese Technologieorientierung deutlich. Deutlich wurde zudem, dass künftig ein Mehrbedarf an biogenen Ressourcen besteht, wenn die bioökonomischen Pfade umfassend umgesetzt werden. Dieser Mehrbedarf ist bereits heute schon nicht mehr allein mit heimischen Ressourcen abzudecken (vgl. 2).

Zudem zeigt die Analyse, dass bei der Erschließung zusätzlicher biogener Rohstoffe ökologische und soziale Risiken nicht vollständig vermeidbar sind. Dies gilt auch für bereits bestehende Bioökonomiepfade, die im Bereich der Nahrungs- und Futtermittelherstellung und der energetischen und stofflichen Nutzung einen deutlichen Anteil an der deutschen Wirtschaft einnehmen. Dabei sind aber

die nachhaltige Produktion und der nachhaltige Einsatz von Biomasse unerlässlich, um die grundlegenden menschlichen Bedürfnisse zu befriedigen und den Schutz der Umwelt zu gewährleisten.

Im Hinblick auf die Umsetzung der Sustainable Development Goals (SDGs) der Vereinten Nationen wird insbesondere für die folgenden SDGs eine Einflussnahme durch die in dieser Studie betrachteten bioökonomischen Pfade erwartet:

- SDG 15 (Leben an Land): Es besteht eine sehr direkte Beziehung zur Bioökonomie, da mit einer Ausweitung der landwirtschaftlichen Fläche durch künftig mögliche Bioökonomiepfade hohe ökologische Risiken für Leben an Land einhergehen. Effizienzsteigerungen bestehender Biomassenutzungen und die Erschließung von noch ungenutzten Abfällen und Reststoffen kann hingegen den Nutzungsdruck auf biogene Rohstoffe reduzieren und damit den Schutz von Landökosystemen unterstützen.
- SDG 2 (Kein Hunger): Steigende Biomassenachfragen können zu einem Anstieg der landwirtschaftlichen Produktion in Regionen mit einer unsicheren Ernährungssituation führen. Diese kann – je nach Ausgestaltung – regionale Entwicklung und Ernährungssicherheit fördern oder durch Nutzungskonkurrenz zu einer erhöhten Ernährungsunsicherheit führen.
- SDG 7 (Bezahlbare und saubere Energie) und SDG 12 (Nachhaltige/r Konsum und Produktion): Die stoffliche und energetische Biomassenutzung kann je nach Art des biogenen Rohstoffs bezahlbare und saubere Energie und nachhaltigen Konsum als Entwicklungsziel stützen (z.B. durch die Nutzung unkritischer Abfälle und Reststoffe) oder schwächen (z.B. bei der Nutzung von Holz aus Primärwäldern).
- SDG 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz): Hier besteht über die Produktions- und Nutzungsseite biogener Rohstoffe ein Zusammenhang. Wie die Bewertung zu den ausgewählten Bioökonomiepfaden in Kapitel 4.3 gezeigt hat, kann die Ausgestaltung eines Pfads Treibhausgasemissionen mindern oder auch erhöhen.
- SDG 14 (Leben unter Wasser): Innovative, landbasierte Produktionsverfahren für aquatische Biomasse kann die Nutzung von natürlichen Tier- und Pflanzenbeständen im Meer entlasten.

Diese Zusammenstellung macht deutlich, dass eine Nutzung biogener Rohstoffe im Rahmen der Bioökonomie sich sowohl positiv als auch negativ auf die Zielsetzungen von SDGs auswirken kann. Vielfach ist die Wirkungsrichtung davon abhängig, ob die Ausgestaltung des Pfads zu einer erhöhten oder verringerten Nachfrage nach Biomasse führt.

Vor dem Hintergrund der begrenzten Rohstoffverfügbarkeit aus der Land- und Forstwirtschaft sowie aus Abfall- und Reststoffströmen erscheint eine politische Priorisierung des Einsatzes von Biomasse als dringend notwendig. Die im Rahmen dieses Arbeitspapiers angewendete Methode ermöglicht eine qualitative Einschätzung bzgl. der Einsatzprioritäten. Anhand der Bewertung der künftig möglichen bioökonomischen Pfade lassen sich die folgenden Leitlinien ableiten. Es wird empfohlen, diese Leitlinien bei einer Einsatzpriorisierung (z.B. durch finanzielle Förderung) von Bioökonomiepfaden heranzuziehen:

- Bioökonomiepfade sollten eine deutliche Treibhausgasmindering gegenüber einer fossilen Referenz sicherstellen.

- Bioökonomiepfade sollten keine bis geringe negative Auswirkungen auf die Umwelt (Biodiversität, Boden, Wasser, Luft) und soziale Aspekte haben.
- Wo möglich, sollten biogene Rohstoffe vorrangig stofflich genutzt werden, um die stoffliche Nutzung von fossilen Rohstoffen zu substituieren.
- Fossile Energieträger sollten vorrangig durch nicht-biogene erneuerbare Energien substituiert werden. Die energetische Nutzung von biogenen Rohstoffen sollte sich auf Energiebedarfe beschränken, für die andere Optionen technisch schwierig sind (z.B. Biokraftstoffe aus Algen und biogenen Rest- und Abfallstoffen im Flugverkehr, effizienter und emissionsarmer Einsatz von Holzbrennstoffen für Hochtemperaturanwendungen in Wärmekaskaden und schlecht dämmbarem, unvernetzt stehendem Gebäudebestand).
- Bioökonomiepfade sollten keine neue, zusätzliche Nutzung von land- oder forstwirtschaftlicher Anbaubiomasse bzw. bereits genutzten Abfall- und Reststoffen mit sich bringen, um den Nutzungsdruck auf diese Rohstoffe nicht weiter zu erhöhen.
- Bioökonomiepfade sollten die Effizienz bestehender Biomassenutzungen verbessern.

Bioökonomiepfade sind nicht *per se* „nachhaltig“, da häufig mit nicht-intendierten Wirkungen zu rechnen ist. Eine Bewertung von Bioökonomiepfaden sollte anhand klar definierter Umweltbelastungskategorien sowie sozialer und ethischer Aspekte erfolgen. Die Ausrichtung aktueller bioökonomischer Strategien (siehe Kiresiewa et al. 2019) wird den vorgeschlagenen Leitlinien nicht hinreichend gerecht. Ohne eine Ausrichtung an diese oder vergleichbare Leitlinien werden bioökonomische Anwendungsbereiche angestrebte Nachhaltigkeitsanforderungen jedoch nicht verlässlich erfüllen und den Beitrag der Bioökonomie in Richtung einer treibhausgasneutralen, ressourcenschonenden Gesellschaft mindern.

Historische Trends und bestehende Prognosen deuten darauf hin, dass die steigende Produktivität der aktuellen landwirtschaftlichen Flächen nicht ausreichen wird, um die Anforderungen der steigenden Nachfrage nach verschiedenen Arten von Biomasse zu decken. Ein fundiertes Wissen darüber, welche Biomasse mengen zur Verfügung stehen, ist für eine Substitution fossiler Rohstoffe durch biogene Rohstoffe eine wichtige Voraussetzung. Die begrenzten Biomassepotenziale sollten zukünftig so verwendet werden, dass Risiken für Umwelt und Gesellschaft weitestgehend minimiert werden, damit die gesellschaftliche Perspektive einer nachhaltigen Transformation der Wirtschaft im Sinne der Bioökonomie gesichert ist.

Literaturverzeichnis

- Afonso, P. C., Ó. und Silva, S.T. (2016), »A MetaAnalytic Reassessment of the Effects of Inequality on Growth«, World Development 78(C), 386–400
- Agentur für Erneuerbare Energien (2013): Reststoffe für Bioenergie nutzen. Potenziale, Mobilisierung, Umweltbilanz.
- Angerer, G. et al. (2016): Rohstoffe für die Energieversorgung der Zukunft. Geologie – Märkte – Umwelteinflüsse. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. Im Internet: https://www.akademienunion.de/fileadmin/redaktion/user_upload/Publikationen/Stellungnahmen/Analyse_Rohstoffe_final.pdf
- Antony, F. (2018): Politik für eine nachhaltige Aquakultur. Empfehlungen aus der Zielperspektive.
- Ausfelder et al. (2018): Optionen für ein nachhaltiges Energiesystem mit PtX-Technologien. Herausforderungen. Potenziale. Methoden. Auswirkungen. 1. Roadmap des Kopernikus-Projektes.
- Baun, R. et al. (2015): Erneuerbare statt fossile Rohstoffe – eine Chance für die Schweiz.
- Bazzanella, A., Ausfelder, F. (2018): Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry.
- Behrendt, D. et al. (2018): Aufwind – Algenproduktion und Umwandlung von Flugzeugtreibstoffen. Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit, Demonstration. Im Auftrag des BMEL.
- Behrendt, S.; Scharp, M.; Zieschank, R.; van Nohouys, J. (2014): Horizon Scanning als ein Instrument in der Umweltpolitik zur strategischen Früherkennung. Scan Report. Veränderungen der Umfeldbedingungen für den Güterverkehr. Arbeitspapier zum Expertenforum. UFOPLAN Vorhaben 2012 FKZ 371211104
- Behrend, S. et al. (2018): Effizienz, Konsistenz, Suffizienz- Strategieanalytische Betrachtung für eine Green Economy. Im Auftrag des BMBF, IZT-Text-1-2018
- Bergleiter, S. et al. (2017): Kreislaufanlagen – Position des Öko-Sektors. Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft
- BfN (2017): Neue Verfahren in der Gentechnik: Chancen und Risiken aus Sicht des Naturschutzes. Hintergrundpapier zu neuen Techniken. Im Internet unter: https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/agrogentechnik/Dokumente/17-07-13_Hintergrundpapier_Neue_Techniken_end_online_barrierefrei_01.pdf
- BfR (2017): Durchführung von Fokusgruppen zur Wahrnehmung des Genome Editings (CRISPR/Cas9). Abschlussbericht. Im Internet unter: <https://mobil.bfr.bund.de/cm/350/durchfuehrung-von-fokusgruppen-zur-wahrnehmung-des-genome-editings-crispr-cas9.pdf>
- Biotech (2018): Unterschiede: Genome Editing und Mutagenese. Testbiotech Basis-Text 13-07-2018. Im Internet unter: http://www.testbiotech.org/sites/default/files/Tabelle%20Vergleich%20CRISPR%20%26%20Mutagenese_2.pdf
- Bioökonomierat (2014): Wettbewerbsfähigkeit der Bioökonomie in der Chemieindustrie.
- Blanck, R. et al. (2014): Biomassepotenziale zur energetischen Nutzung sowie Allokation auf Sektoren. Kurzstudie zum Vertiefungsthema Biomasse im Rahmen des Projektes „Klimaschutzszenarien 2050“. Berlin, Darmstadt
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2014 a): Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Nachwachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie. BMEL, Berlin.

- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) und BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2014): Bioökonomie in Deutschland: Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft. BMEL, Bonn, Berlin
- BMEL (2017): Die Anwendung des Genome Editing in Forschung und Praxis. 1. Dialogveranstaltung zu den neuen molekularbiologischen Techniken. Zusammenfassende Dokumentation der Veranstaltung. Im Internet unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Pflanze/GrueneGentechnik/Dokumentation_Dialogveranstaltung_NMT.pdf?__blob=publicationFile
- BMEL (2018 a): Holzbauplus Bundeswettbewerb. Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen 2018.
- BMEL (2018 b): Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. Charta für Holz 2.0
- BMEL (2018 d): Deutschland, wie es isst. Der BMEL-Ernährungsreport 2018.
- BMEL (2018 e): Landwirtschaft verstehen. Fakten und Hintergründe.
- BMEL (2018 f): Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. Charta für Holz 2.0. Im Internet: https://www.charta-fuer-holz.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/service/mediathek/Web_Broschuere_Charta-fuer-Holz_3._Aufl_2018.pdf
- Block, J. et al (2017): Einfluss der waldbaulichen Behandlung und der Holznutzung auf den Nährstoffhaushalt von Traubeneichenökosystemen.
- BMU (2008): Megatrends der Nachhaltigkeit. Im Internet: http://www.4sustainability.de/fileadmin/redakteur/bilder/Publikationen/BMU2008-Megatrends-Unternehmensstrategie_neu_denken.pdf
- BMUB (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.
- BOEL (2018): Zahlen, Daten, Fakten. Die Biobranche 2018.
- Böttcher, H. et al. (2019): Naturschutz und fortschrittliche Biokraftstoff. Im Auftrag des UBA. In Bearbeitung.
- Brosowski, A. et al. (2015): Biomassepotenziale von Rest - und Abfallstoffen. Status quo in Deutschland, herausgegeben durch Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, September 2015
- BUND (2019): Gentechnisch veränderte Lebensmittel: ungeklärte Risiken für die Gesundheit. Im Internet: <https://www.bund.net/themen/landwirtschaft/gentechnik/risiken/gesundheit/>
- Carus, M. et al. (2014): Ökologische Innovationspolitik - Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Chakravorty, U., Hubert, M.-H., Moreaux, M., Nøstbakke, L. (2017): Long-Run Impact of Biofuels on Food Prices. *Journal of Economics* 119: 733-767; <https://doi.org/10.1111/sjoe.12177>
- Cingano, F. (2014), »Trends in income inequality and its impact on Economic growth«, OECD SEM Working Paper 16Neves,
- Clemens, S. (2019): Öffentliche Anhörung zum Thema „Welternährung und Klimawandel“ des Ausschusses für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (AwZ) am 5. Juni 2019. Im Internet: https://www.bundestag.de/resource/blob/645370/5d5ac59496e5c101afa57af718f8da85/06_stellungnahme-sv-Clemens-data.pdf
- DBU (2018): Bioökonomie und Ethik.
- DBV (2017): Situationsbericht 2017/18. Trends und Fakten zur Landwirtschaft.
- Dechema (2018): Biobasierte Chemikalien. Im Internet unter: <https://www.chemanager-online.com/themen/chemikalien-distribution/biobasierte-chemikalien>

- Dena (2017): Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäude-sektor. Eine Studie der dena, der geea und weiterer Verbände aus dem Bereich Gebäudeenergieeffizienz.
- Destatis (2019 a): Verwertete inländische Rohstoffentnahme, Ein- und Ausfuhr von Gütern (Inländerkonzept): Deutschland, Jahre, Materialgrad und Rohstoffarten 2016
- Destatis (2019 b): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Methode des gesamtwirtschaftlichen Materialkontos.
- Destatis (2018): Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Ein- und Ausfuhr und Flächenbelegung von Erzeugnissen pflanzlichen und tierischen Ursprungs (Tabellen). Berichtszeitraum 2008 – 2015. Statistisches Bundesamt.
- Deutscher Bundestag (2016): Einstufung von und Umgang mit neuen Gentechnikverfahren. BT-Drucksache 18/10301.
- Deutscher Bundestag (2018): In-vitro-Fleisch. Sachstand. Sachstand WD 5-3000-009/18
- DGE (2016): Regelmäßig Fisch auf den Tisch. Im Internet unter: <https://www.dge.de/presse/pm/regelmaessig-fisch-auf-den-tisch/>
- DHWR (2016): Roadmap Holzwirtschaft 2025.
- Diana, J. et al. (2013): Responsible Aquaculture in 2050. Valuing Local Conditions and Human Innovations Will Be Key to Success. In: *BioScience* 63 (4), S. 255–262. DOI: 10.1525/bio.2013.63.4.5.
- Ding, S. und Wirsching, S. (2017): Biobasierte Stadt. Im Internet: <https://biooekonomie.de/biobasierte-stadt-0>
- EEA (2011). The European environment — state and outlook 2010: assessment of global mega-trends. European Environment Agency, Copenhagen.
- EEA (2015): European environment — state and outlook 2015: Assessment of global megatrends, European Environment Agency, Copenhagen.
- EC (2017): New Techniques in Agricultural Biotechnology. High Level Group of Scientific Advisors. Explanatory Note 02
- Ebert, W. (2016): Kommunen als Partner. In: *Ökologie und Landbau* 01/2016
- Efken, J. et al. (2012): Volkswirtschaftliche Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie. 07/2012
- Efken, J., Dirksmeyer, W., Kreins, P., Knecht, M. (2016): Measuring the importance of the bioeconomy in Germany: Concept and illustration., *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*, 77, 9-17
- E4 tech et al. (2013): Advanced Biofuel Feedstocks – An Assessment of Sustainability. <https://lb-net.net/wp-content/uploads/2014/07/feedstock-sustainabilityE4H.pdf>
- Faltus, T. (Hrsg.) (2019): Ethik, Recht und Kommunikation des Genome Editings – Projektbericht des BMBF geförderten Forschungsverbunds „GenomELECTION: Genomeditierung – ethische, rechtliche und kommunikationswissenschaftliche Aspekte im Bereich der molekularen Medizin und Nutzpflanzenzüchtungen. Im Internet: <https://uvhw.de/download/978-3-86977-202-8.pdf>
- FAO (2014) The State of World Fisheries and Aquaculture - Opportunities and challenges , Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome
- FAO (2016): The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>
- FAO (2017): Fisheries and aquaculture statistics 2015

- FAO (2018 a): The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/I9540EN/i9540en.pdf>
- FAO (2018 b): The state of world fisheries and aquaculture 2018. Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC Y-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO (2018 c): The State of Food and Agriculture.
- FAO (2018 d): Impacts of climate change on fisheries and aquaculture Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. Im Internet: <http://www.fao.org/3/I9705EN/i9705en.pdf>
- FAO (2019): The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome, FAO. Im Internet: <http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>
- Fehrenbach et al. (2017): Biomassekaskaden. Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zu Praxis. Im Auftrag des BMUB
- Fehrenbach et al. (2019): BioRest Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor). Im Internet: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-24_texte_115-2019_biorest.pdf
- FNR (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen – Status Quo in Deutschland.
- FNR (2018 a): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Im Internet unter: <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf>
- FNR (2018 b): Strohgedämmte Gebäude. Gefördert durch das BMEL.
- FNR (2018 c): Rohstoffmonitoring Holz. Daten und Botschaften. Im Internet: https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Handout_Folder_Rohstoffmonitoring_Holz_Web_final.pdf
- FNR (2019 a): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Erstellt im Rahmen des BMEL-Auftrages: „Erhebung, Aufbereitung und Analyse statistischer Daten zum Anbau und zur Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe und Energiepflanzen in Deutschland sowie Weiterentwicklung von Methoden hierzu (NRstat)“, FKZ 22004416
- FNR (2019 b): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2019. Festbrennstoffe, Biokraftstoffe, Biogas. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow-Prüzen.
- Frey, A. (2019): Holz in die Hütten. In: Spektrum.de Im Internet unter: <https://www.spektrum.de/news/holz-haeuser-sind-stabil-und-umweltfreundlich-der-baustoff-kann-mehr-als-stahl-und-beton/1617206>
- Fritsche et al. (2012): Nach Super E10: Welche Rolle für Biokraftstoffe? Fakten, Trends und Perspektiven. Im Auftrag von Shell Deutschland Oil.
- Fritsche, U. et al. (2015): Ressourceneffiziente Landnutzung - Wege zu einem Global Sustainable Land Use Standard (GLOBALANDS). Kurzfassung. Um Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 82/2015
- Gehrke et al. (2018): Branchenanalyse Chemieindustrie
- Geres, R. et al. (2018): Transformationspfade für die chemische Industrie in Deutschland. Metastudie.
- Georgiadou, M. (2018): EU research and innovation policies for advanced biofuels and bioenergy.
- Giegrich, J. et al. (2012): Indikatoren / Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion. UBA Texte 01/2012. Im Auftrag des Umweltbundesamtes
- Giesler, S. (2018 a): Precision farming - climbing aboard the digital high-tech tractor. Im Internet: <https://www.biooekonomie-bw.de/en/articles/news/precision-farming-climbing-aboard-the-digital-high-tech-tractor>

- Giesler, S. (2018 b): Digitisation in agriculture - from precision farming to farming 4.0. Im Internet: <https://www.bioeconomie-bw.de/en/articles/dossiers/digitisation-in-agriculture-from-precision-farming-to-farming-40>
- Giljium, S. et al. (2016): Land under pressure. Global impacts of the EU bioeconomy. Im Internet: https://www.foeeurope.org/sites/default/files/resource_use/2016/land-under-pressure-report-global-impacts-eu-bioeconomy.pdf
- Grimm, V. et al. (2015): Biomasse – Rohstoff der Zukunft für die chemische Industrie. Übersichtsstudie
- Hackfort, S.; Degel, M.; Göll, e. (2016): Trendanalyse - Definitionen, methodisches Vorgehen und erste Ergebnisse. Erkennen und Bewerten des Treibhausgasminderungspotentials der Ressourceneffizienzpolitik. Zwischenbericht. Hg. v. Umweltbundesamt
- Hafner A.; et al. (2017): Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau). 148 S. Forschungs-projekt: 28W-B-3-054-01 Waldklimafonds. BMEL/BMUB. ISBN: 978-3-00-055101-7
- Hartmann, M. (2012): Akzeptanz durch eine nachhaltige Bioenergienutzung sichern! DBU -Aktenzeichen: 26829-42
- Heimann, T. (2018): Bioeconomy and SDGs: Does the Bioeconomy Support the Achievement of the SDGs?. In: Earth Future. Jhg. 7. 1/2019. S.43-57
- Hennenberg, K., Böttcher, H., Fehrenbach, H., Bischoff, M. (2017): Short analysis of the RED 2009, the iLUC Directive 2015 and the 2016 RED proposal regarding implications for nature protection. Öko-Institut, Berlin. Link: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/OEKO-IFEU-2017-RED-proposal-evaluation.pdf>
- Hennenberg, K.; Bottcher, H.; Wiegmann, K.; Reise, J. & Fehrenbach, H. (2019). Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten. AFZ-DerWald, (17), pp. 36–39.
- Heyen, D. A. et al. (2013): Mehr als nur weniger, Suffizienz: Notwendigkeit und Optionen politischer Gestaltung. Öko-Institut Working Paper 3/2013.
- Holzbauwelt (2019): Bauen mit Holz. Im Internet unter: <https://www.holzbauwelt.de/baustoff-holz/bauen-mit-holz.html>
- Hubold, G.; Klepper, R. (2013) Die Bedeutung von Fischerei und Aquakultur für die globale Ernährungssicherung. Thünen Working Paper 3, Thünen Institut, Braunschweig. https://literatur.thuenen.de/digbib_external/dn052037.pdf
- IPBES (2019): Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. Im Internet: <https://ipbes.net/global-assessment-report-biodiversity-ecosystem-services>
- IPCC (2018): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers. Im Internet: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2019 a): Climate change and land. Full Report. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/srccl/>
- IPCC (2019 b): IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems Summary for Policymakers Approved Draft. Im Internet: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf

- Isermeyer, F. (Künftige Anforderungen an die Landwirtschaft – Schlussfolgerungen für die Agrarpolitik. Thünen Working Paper 30
- Jering, A. et al. (2013): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Joormann, I.; Schmidt, T. (2017): Hindernisse und Perspektiven für mehr Biodiversität in der Agrarlandschaft. Thünen Working Paper 75
- Kiresiewa, Z.; Hasenheit, M.; Wolff, F. et al (2019): Bioökonomiekonzepte und Diskursanalyse, Teilbericht (AP1) des Projekts „Nachhaltige Ressourcennutzung – Anforderungen an eine nachhaltige Bioökonomie aus der Agenda 2030/SDG-Umsetzung“, UBA-Texte 78/2019. Online verfügbar unter <https://cms.umweltbundesamt.de/publikationen/biooekonomiekonzepte-diskursanalyse>
- Klepper, G. und Thrän, D. (Hrsg.) (2019): Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale, Technologien, Zielkonflikte
- Kloas, W. et al. (2015): A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and to reduce environmental impacts. In: Aquaculture Environment Interactions 7, p. 179-192
- Koch, M. et al. (2018): Rolle der Bioenergie im Strom - und Wärmemarkt bis 2050 unter Einbeziehung des zukünftigen Gebäudebestandes. FKZ 03KB114, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Download unter: https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/Steckbriefe/dokumente/03KB114_Bericht_Bio-Strom-W%C3%A4rme.pdf
- König et al (2016): On the sustainability of aquaponics. In: Ecocycles, Vol. 2, p. 26-
- Kolb, B. (2019): Holzhäuser – Ökobilanz. Baustoff-Datenblätter. Forum Nachhaltiges Bauen
- Kretschmer, B. et al. (2013): Technologische Optionen für das Recycling von landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen und Lebensmittelabfällen und Rückständen zur Erzeugung nachhaltiger Bioenergie und Biomaterialien.
- Leopoldina (2019): Wege zu einer wissenschaftlich begründeten, differenzierten Regulierung genomeditierter Pflanzen in der EU. Stellungnahme. Im Internet: https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2019_Stellungnahme_Genomeditierte_Pflanzen_web.pdf
- Linder, F. (2017): Wie nachhaltig ist Deutschland? Das neue magische Viereck der Wirtschaftspolitik. IMK Report 131. Im Internet: https://www.boeckler.de/pdf/p_imk_report_131_2017.pdf
- Lutter, S.; Giljum, S.; Gözet, B.; Wieland, H. (2018): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2018. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Mahnkopf, B. (2017): Wachstum wofür? Brauchen wir Wirtschaftswachstum für gute Arbeit, soziale Sicherheit und eine gerechte Verteilung? Vortrag, DNR-Tagung "Nur unter Wachstumsvorbehalt?", Berlin am 1.12.2017
- Maniatis et al (2017): Building Up the Future. Sub Group on Advanced Biofuels.
- Massivhaus (2011): Massivhaus oder Holzhaus. Welche Bauweise ist ökologischer? Ökobilanzstudie. Ausgabe April 2011.
- Mattick, C., Landis, A., Allenby, B. und N. Genovese (2015): Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States. In: Environmental Science and Technology, 49, S. 11941-11949

- Memmler, M.; Lauf, T.; Wolf, K.; Schneider, S. (2017): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. *Climate Change* 23/2017, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Modrzejewski, D. et al. (2018): Übersicht über Nutz- und Zierpflanzen, die mittels neuer molekular-Biologischer Techniken für die Bereiche Ernährung, Landwirtschaft und Gartenbau erzeugt wurden. Julius Kühn-Institut Quedlinburg. 1. Aktualisierung
- Möller, M. und Antony, F. (2015): Synopse der übergeordneten Erkenntnisse aus der nachhaltigkeitsbewertung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Rahmen der DBU-Förderinitiative „Nachhaltige Aquakultur“ <https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/041115094404a19o.pdf>
- Möller, M. (2018): Verantwortungsvoller Umgang mit neuen gentechnischen Verfahren Positionspapier zu den Chancen und Risiken der Anwendung von „Genome Editing“ in der Landwirtschaft. Im Internet unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Positionspapier-Genome-Editing.pdf>
- Monbiot, G. (2019): We can't keep eating as we are – why isn't the IPCC shouting this from the rooftops? In: *The Guardian* v. 08.08.2019. Im Internet: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2019/aug/08/ipcc-land-climate-report-carbon-cost-meat-dairy>. Download v. 22.09.2019
- Monsees, H. (2017): Overcoming major bottlenecks in aquaponics - A practical approach. Dissertation.
- Morgenstern, R. et al. (2016): Pilotstudie "Nachhaltige Aquaponik-Erzeugung für Nordrhein-Westfalen. Forschungsbericht des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest und des Instituts für Green Technology und Ländliche Entwicklung.
- NABU (2015): Landwirtschaft 2015. Perspektiven und Anforderungen aus Sicht des Naturschutzes.
- Naisbitt, J. (1982) *Megatrends: Ten New Directions Transforming Our Lives*
- Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Deutsche Forschungsgemeinschaft, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (2015): Chancen und Grenzen des genome editing. Halle (Saale)
- Nestle, M. (2017): Fleisch und Fisch noch zeitgemäß? In: *UGB Forum* 1/17, S. 12-15
- Niggli, U. et al. (2018): CRISPR/Cas & Co: Wozu Genome Editing bei Pflanzen gut ist. Im Internet unter: <https://www.transgen.de/forschung/2590.crispr-talen-genome-editing-pflanzen.html>
- Nill, M. et al. (2017): Umweltauswirkungen und Hot-Spots in der Lieferkette.
- Nitsch, J. et al. (2009): Landwirtschaftliche Flächennutzung im Wandel – Folgen für Natur und Landschaft. Eine Analyse agrarstatistischer Daten.
- OECD; FAO (2018): *OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027*. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/i9166en/I9166EN.PDF>
- Oertel, D. (2007): Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Sachstandsbericht zum Monitoring Nachwachsende Rohstoffe. TAB
- Olcay, M. et al. (2018): Techno-economic and environmental evaluation of producing chemicals and drop-in aviation biofuels via aqueous phase processing. In *Energy and Environmental Science*. Issue 8. S. 2085–2101
- Öko-Institut et al. (2014): Klimaschutzszenario 2050. 1. Modellierungsrunde
- Öko-Institut et al. (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Modellierungsrunde
- Öko-Institut e.V. (2017): Heute. Morgen. Zukunft. Visionen und Wege für eine nachhaltige Gesellschaft.

- Osterburg, B. et al. (2013): Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 132 p, Thünen Rep 13
- Osterburg, B. (2016): Welche Rolle spielt die Landwirtschaft in der Klimaschutzpolitik? Tagung: „Anpassungen der Landwirtschaft an den Klimawandel“ 12. – 13. Oktober 2016 in Bonn
- Ostwald, D. et al. (2013): Die ökonomische Bedeutung der Bioethanolproduktion der CropEnergies-Gruppe in Deutschland.
- Petschow, U. (2018): Wieder das Wachstum der Grenzen. In: Ökologisches Wirtschaften 1/2018 (33)
- Pinn, G. (2017): Kraftstoffe der Zukunft. In: ReSource 1/2013
- Poschmann, C; Riebenstahl, K.; Allert, E. (1998): Umweltplanung und –bewertung. Gotha
- Priefer, C. et al. (2017): Pathways to Shape the Bioeconomy. In: Resources 06/01
- PWC (2016) Smart Farming. Nachhaltigkeit und Effizienz durch den Einsatz digitaler Technologien. Im Internet unter: <https://www.pwc.de/de/handel-und-konsumguter/studie-zu-smart-farming-landwirtschaft-nimmt-vorreiterrolle-bei-der-digitalisierung-ein.html>
- Repenning, J. et al. (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. <https://www.oeko.de/oeko-doc/2451/2015-608-de.pdf>
- Repenning, J. et al. (2018): Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung.
- Reichel, J. (2018): Bauen mit Pilzen. Im Internet unter: <https://biooekonomie.de/interview/bauen-mit-pilzen>
- Reichardt, M. (2010): Precision Farming in der deutschen Landwirtschaft – eine GIS – gestützte Analyse. Dissertation.
- Reise, J. et al. (2017): Analyse und Diskussion naturschutzfachlich bedeutsamer Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. 2. Überarbeitete Auflage. BfN-Skripten 427, BfN, Bonn – Bad Godesberg. Link: <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript427.pdf>
- Rosenberger, M. et al (2018): Forstwirtschaft und Biodiversität. Interdisziplinäre Zugänge zu einem spannungsreichen Handlungsfeld. München: Oekom Verlag.
- Roux, S.; Wehling, P. (2012): Beiträge der Pflanzenzüchtung zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel. In: Journal für Kulturpflanzen 64 (8). S. 286–294
- Schipfer et al. (2017): Advanced biomaterials scenarios for the EU28 up to 2050 and their respective biomass demand. In: Biomass and Bioenergy, Vol.96, p. 19-27
- Schmidt, M. et al. (2014): Bauen mit Laubholz. In: Wald Wissenschaft Praxis Nr. 98/2014
- Schmundt, H. (2019): Hoch gewachsen. In: Der Spiegel Nr. 6/2019
- Schneidewind, U.; Zahrnt, A. (2013): Damit gutes Leben einfacher wird. Perspektiven einer Suffizienz-politik. München: Oekom Verlag.
- Searchinger T. et al. (2018): Europe’s renewable energy directive poised to harm global forests. Nature Communications 9, Article number: 3741. <https://www.nature.com/articles/s41467-018-06175-4>
- Starke, J. (2015): Potenziale zur Erzeugung von Biomasse aus Mikroalgen in Europa unter besonderer Berücksichtigung der Flächen- und CO₂-Verfügbarkeit. Dissertation.
- Stolze, M. (2017): Analyse der aktuellen Trends: Faktoren, die die Entwicklungen im Ökolandbau beeinflussen. FiBL

Thrän, D. et al. (2019): Technoökonomische Analyse und Transformationspfade des energetischen Biomassepotentials (TATBIO). Endbericht. Im Auftrag des BMWI. Im Internet: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Studien/technoekonomische-analyse-und-transformationspfade-des-energetischen-biomassepotentials.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (2019): Thünen-Einschlagsrückrechnung, BWI3. Amtliche Statistik 1995 – 2017. Im Internet: <https://www.thuenen.de/de/wf/zahlen-fakten/produktion-und-verwendung/holzeinschlag-und-rohholzverwendung/>

Tyson, R. et al (2011): Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. In: Hort Technology Vol. 21, p. 6 - 13.

UBA (2015): Rohstoffnutzung und ihre Folgen. Im Internet: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/rohstoffe-als-ressource/rohstoffnutzung-ihre-folgen>

UBA (2017): Vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (VERUM 2.0). UBA Texte 28/2017

UBA (2018): Umwelt und Landwirtschaft. Daten zur Umwelt. Ausgabe 2018.

UBA (2018): Umweltbewusstsein und Umweltverhalten in Deutschland 2016. UBA Texte Nr. 73/2018

UBA (2019): Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten. 2. Auflage. UBA, Dessau-Roßlau. Im Internet: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/190215_uba_fachbrosch_rtd_bf.pdf UBA (2019 b): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2018. Im Internet: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-04-10_cc_10-2019_strommix_2019.pdf

UBA (2019 c): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017. CLIMATE CHANGE 23/2019, UBA, Dessau-Roßlau.

UFOP (2018): Geschäftsbericht 2017/18. Berlin

UN (2019): World Population Prospects 2019: Volume II: Demographic Profiles. <https://population.un.org/wpp/Publications/>

VCI (2015): Chancen und Grenzen des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie. Positionspapier.

VCI (2019): Gene Editing. Daten und Fakten. Im Internet unter: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/daten-fakten-gene-editing.pdf>

VCI Verband der chemischen Industrie (2019): Basischemie 2030. Im Internet unter: <https://www.vci.de/lang-fassungen-pdf/basischemie-2030.pdf>

VDKI (2019): Jahresbericht 2019. Fakten und Trends 2018/2019. Im Internet: <https://www.kohlenimporteure.de/publikationen/jahresbericht-2019.html>

Verbeke, W. et al. (2015): Would you eat cultured meat?: Consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. Meat Science, 102, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.11.013>

Vogt, M. (2019): Bedingungen ethisch verantwortbarer Bioökonomie. Im Internet unter: https://www.forum-wirtschaftsethik.de/bedingungen-ethisch-verantwortbarer-biooekonomie/?upm_export=pdf

Volckens, F. und Meyer, C. (2018): Benötigen Ackerbaubetriebe in offenen Märkten Direktzahlungen oder, was müsste der Gesellschaft eine Extensivierung der heimischen Pflanzenproduktion wert sein? In: Innovative Agrarpolitik nach 2020. Schriftenreihe der Rentenbank, Band

- Vom Berg, C. et al. (2019): Concept of bio-based and circular economy. Report within Project “Roadmap for the Chemical Industry in Europe towards a Bioeconomy
- WBAB (Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL), WBW (Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik beim BMEL) (2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. 2. Auflage, WBWA, WBW. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/Klimaschutz-gutachten_2016.pdf?__blob=publicationFile
- WEC (2019): World Energy Scenarios 2019. Exploring Innovation Pathways to 2040. Im Internet: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Scenarios_Report_FINAL_for_website.pdf
- Wiegmann, K. et al. (2016): Sektorale Emissionspfade in Deutschland bis 2050 – Landwirtschaft und Forstwirtschaft /Landnutzung. Arbeits Arbeitspaket 1.2 im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Wissenschaftliche Unterstützung „Erstellung und Begleitung des Klimaschutzplans 2050“ (FKZ UM15 41 1860)
- Windsberger, A. et al. (2012): Research Agenda. Biobasierte Industrie. Berichte aus der Energie- und Umweltforschung 57/2012
- Willet, W.; Rockström, J. (2019): Food Planet Health. Healthy Diets From Sustainable Food Systems. Im Internet unter: https://eatforum.org/content/uploads/2019/04/EAT-Lancet_Commission_Summary_Report.pdf
- Wolff, F. et al. (2016): Kohärenzprüfung umweltpolitischer Ziele und Instrumente. Endbericht für das UF-OPLAN-Vorhaben „Kohärenzprüfung umweltpolitischer Ziele und Maßnahmen für Zwecke der Umweltberichterstattung“. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA Texte 76/2016
- World Bank (Hg.) (2013): Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture. Agriculture and Environmental Services Discussion Paper 03 (WORLD BANK REPORT NUMBER 83177-GLB). Online verfügbar unter <http://www.fao.org/docrep/019/i3640e/i3640e.pdf>
- Wunder, S. et al (2019): Trendanalyse „Fleisch der Zukunft“. Umweltpolitische Handlungsoptionen für die Gestaltung von pflanzenbasierten, insektenbasierten und In-vitro produzierten Fleischersatzprodukten Inputpapier für den Expertenworkshop „Fleisch der Zukunft“ am 17.9.2019 in Berlin
- Wüste, A.; Granoszewski, K. (2013): Akzeptanz von Bioenergie aus Sicht von Anwohnern und Landwirten. Präsentation. Fachtagung Energie, Ernährung und Gesellschaft – die Rolle der Bioenergie im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung. Universität Göttingen
- WWF (2018): Ist Aquakultur die Lösung? Im Internet unter: <https://www.wwf.de/themen-projekte/meere-kuesten/fischerei/nachhaltige-fischerei/aquakulturen/>
- Zeddies, J. (2016): Auswirkungen politischer Beschlüsse auf Biokraftstoffe und Rohstoffmärkte. Im Auftrag von UFOP, VDP und OVID.
- Zeller, V. et al. (2012): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung. Endbericht. FKZ 03KB021.

Anhang

Tabelle 5-1: Beschreibung der identifizierten künftig möglichen Bioökonomiepfade und die Zuordnung von Wirtschaftssektoren und Mengenrelevanz (Longlist Teil 1).

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
1	Herstellung von biobasiertem Bitumen	Bitumen ist ein Asphaltbindemittel, das aus verschiedenen Biomasserohstoffen hergestellt werden kann. Es wird überwiegend im Straßenbau verwendet. Bei biobasiertem Bitumen wird noch geforscht, ob es als vollwertiges Substitut genutzt werden kann, d.h. ob die Eigenschaften bzgl. Robustheit und Langlebigkeit im Vergleich zu fossilen Produkten erreicht werden.	Baugewerbe	mittel
2	Herstellung von Bau- und Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor	Naturdämmstoffe aus Holzfasern, Hanf oder Schafswolle kommen im nachhaltigen Gebäudebau zum Einsatz. Sie besitzen vergleichbare Eigenschaften bzgl. Langlebigkeit und Dauerhaftigkeit wie derzeit genutzte Dämmstoffe aus nicht nachwachsenden Rohstoffen. Allerdings werden mit Naturdämmstoffen u.a. geringere Dämmwerte erreicht als mit bestehenden Dämmstoffen, so dass höhere Massen für die gleiche Dämmleistung eingebaut werden müssen. Dies kann aber – neben Vorteilen beim Schutz gegen Feuchteschäden – positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz wirken. Biogene Dämmstoffe stellen zudem langlebige Produkte dar, die Kohlenstoff binden.	Baugewerbe	hoch

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
3	Herstellung von Biokunststoffen (biobased plastics) inklusive Blendingmethoden	Ziel ist es, biobasierte Kunststoffe herzustellen. Hierzu gibt es verschiedene Verfahren, wie z.B. die Herstellung polysaccharid-basierter Kunststoffe, proteinbasierte Kunststoffe, ligninbasierte Kunststoffe, Naturkautschuk und thermoplastische Elastomere und Polyhydroxyalkanoate. Ein weiterer relevanter Pfad ist die "Beimischung" von Biomasse im Dampfspalter der chemischen Industrie und der nachfolgenden Synthese einer breiten Palette an Kunststoffen. Mit dem s.g. Blending von Biokunststoffen können unterschiedliche Biokunststoffe möglichst homogen gemischt werden. Dadurch können je nach Anforderung Kunststoff mit deutlich verbesserten Eigenschaften entstehen. Die häufigsten Blends basieren auf Stärke.	Chemische Industrie	hoch
4	Herstellung von biobasierten Chemikalien (weiße Biotechnologie) aus nachwachsenden Rohstoffen	Die weiße Biotechnologie – auch industrielle Biotechnologie genannt – ist ein Teil der Biotechnologie. Aus nachwachsenden Rohstoffen werden in einem industriellen Prozess mithilfe von Enzymen und Mikroorganismen wertveredelte Chemieprodukte hergestellt (z.B. Spezialchemikalien (Enzyme), Tenside, Arzneistoffe, kosmetische Stoffe und Nahrungsergänzungsmittel). Grundsätzlich sind biobasierte Chemieprodukte wichtige Vorleistungen für den Einsatz in anderen Branchen.	Chemische Industrie	mittel

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
5	Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien)	Grundchemikalien werden in großem Maßstab industriell hergestellt und dienen als Ausgangsmaterial für viele andere Industrieprodukte. Da die Herstellung von Grundchemikalien für zwei Drittel der CO ₂ -Emissionen des Chemiesektors verantwortlich ist, kommt ihrer Produktion im Hinblick auf eine Dekarbonisierung eine hohe Bedeutung zu. Biogene Grundchemikalien werden als Plattform-Chemikalien bezeichnet und sie können als erneuerbare C-Quelle die Emissionen in der chemischen Industrie und nachfolgenden Branchen deutlich senken. Zur Herstellung von Plattform-Chemikalien können – je nach Plattform-Chemikalien – biotechnologische, chemische oder thermische Verfahren angewandt werden. Dazu gehören z.B. die Ethanolproduktion durch alkoholische Gärung, der Einsatz von pflanzlichem Naphtha anstelle von Erdölnaphtha als Rohstoff oder die Verwendung von Produkten aus der Bioraffinerie.	Chemische Industrie	hoch
6	Bioraffination als Herstellungsverfahren biogener Produkte (stoffliche oder energetische Nutzung)	Nach der Roadmap Bioraffinerie des BMEL zeichnet sich eine Bioraffinerie durch ein "explizit integratives, multifunktionelles Gesamtkonzept aus, das Biomasse als vielfältige Rohstoffquelle für die nachhaltige Erzeugung unterschiedlicher Zwischenprodukte und Produkte (Chemikalien, Werkstoffe, Bioenergie inkl. Biokraftstoffe) unter möglichst vollständiger Verwendung aller Rohstoffkomponenten nutzt". Als Koppelprodukte können ggf. zusätzlich auch Nahrungs- und/oder Futtermittel anfallen. Auch eine Abfall-Bioraffinerie (siehe Fortschrittliche Biokraftstoffe) ist möglich. Eine gezielte Nutzung von organischen Substanzen aus Pflanzen kann aus Umweltsicht vorteilhaft sein. Das Konzept der Bioraffinerie verfolgt die Integration unterschiedlicher Verfahren und Technologien: (1) Zucker-Bioraffinerie bzw. Stärke-Bioraffinerie, (2) Pflanzenöl-Bioraffinerie bzw. Algenlipid-Bioraffinerie, (3) Lignocellulose (Cellulose, Hemicellulose und Lignin) -Bioraffinerie auch "Grüne Bioraffinerie", da nachwachsende Rohstoffe eingesetzt werden (4) Synthesegas-Bioraffinerie und (5) Biogas-Bioraffinerie.	Chemische Industrie	mittel

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
7	Nutzung von Biokohle (Brennstoff)	Bei dem Verfahren handelt es sich um eine pyrolytische Verkohlungs- und/oder Reststoffherstellung pflanzlicher Ausgangsstoffe und/oder Reststoffe. Daraus entsteht ein festes Produkt, die Biokohle, die hinsichtlich des Heizwerts und der Verbrennungseigenschaften mit denen fossiler Kohle vergleichbar ist. Ein vermehrter Einsatz von Biokohle als Energieträger z.B. bei der Mitverbrennung in bestehenden Kraftwerken oder Holzheizkraftwerken, aber auch die Monofeuerung in neuen Blockheizkraftwerken, ist möglich. Damit wird das Ziel verfolgt, vermehrt Biomasse als erneuerbare Energie einzusetzen, um fossile Energieträger zu substituieren und um biogene Reststoffe zu verwerten. Eine Mitverbrennung ist mit überschaubaren Nachrüstungsmaßnahmen technisch machbar.	Energieversorgung	mittel
8	Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor	Im Rahmen der Erneuerbaren Energien Richtlinie (RED II) wird die Verwendung von fortschrittlichen Biokraftstoffen über eine Beimischungsquote angereizt. Als fortschrittliche Biokraftstoffe gelten Biokraftstoffe, die auf Basis von Rohstoffen, die in Annex IX der RED II gelistet sind, hergestellt werden. Diese Rohstoffe reichen von Abfällen, Reststoffen (Industrie, Land-, Forstwirtschaft) bis hin zu Stammholz (ohne Säge- und Furnierholz) und Algen. Entsprechend der Vielfalt der Rohstoffe können zahlreiche Technologien zur Herstellung von fortschrittlichen Biokraftstoffen Anwendung finden, z.B. anaerobe Fermentation, Pyrolyse-Pfade oder Vergasungstechnologien mit Fischer-Tropsch-Synthese. In der Diskussion und Erprobung sind zudem Konzepte wie Bioraffinerien auf Basis von homogenen Abfallströmen aus der Landwirtschaft und der Lebensmittelverarbeitung und mikrobielle Elektrolysezellen (MECs) zur Verwertung biologisch abbaubarer Abfälle (H ₂ , Biokraftstoffe, andere Mehrwertprodukte).	Energieversorgung	hoch

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
9	Einsatz von künstlicher Photosynthese zur Herstellung von Biowasserstoff oder anderen Biobrennstoffen	Die künstliche Photosynthese dient der Produktion von chemischen Energieträgern und Wertstoffen (Wasserstoff, Methan, Ammoniak, Polymere) unter Verwendung von Sonnenlicht als einziger Energiequelle. Direkte Ansätze integrieren Lichtabsorption, primäre Ladungstrennung und stoffliche Umsetzungen (Stichwort künstliches Blatt). Bei mehrstufigen Ansätzen sind die Prozesse räumlich getrennt (z.B. Solarstrom und Elektrolyseur). Verglichen mit der natürlichen Photosynthese wird mit Hilfe der künstlichen Photosynthese auf eine höhere Flächeneffizienz gehofft.	Energieversorgung	niedrig
10	Recycling von biogenem CO ₂ über strombasierte Brennstoffe oder Chemikalien auf Basis von erneuerbarem Strom (PtCC)	PtCC steht für eine breite Palette an flüssigen oder gasförmigen Energieträgern und Kraftstoffen, wie z. B. Methan, Methanol, Fischer-Tropsch-Diesel, höheren Alkoholen oder Kerosin, die auf Basis von CO ₂ , H ₂ O und erneuerbarem Strom hergestellt werden. PtCC-Technologien umfassen zwei grundlegend verschiedene Synthesewege: (1) die biologische Umwandlung von biogenem CO ₂ in CH ₄ mittels Elektrolysewasserstoff oder Elektronentransfer (biologische Methanisierung) sowie (2) die thermochemische Umwandlung biogener Gase unter Verwendung von Elektrolysewasserstoff und geeigneter Katalysatoren in verschiedenste Kohlenwasserstoffe (z. B. Methan, Alkene, Methanol, Oxymethylenether). Diese Produkte/Chemikalien können u. a. fossile Kohlenstoffquellen wie Erdölnaphta und Erdgas ersetzen, ohne dass die nachfolgenden Prozesse verändert werden müssen. So könnten potenziell vergleichsweise große Mengen an fossilem Kohlenstoff durch erneuerbaren Kohlenstoff in der chemischen Industrie oder dem Energiesektor ersetzt werden. Als CO ₂ -Quellen für die Herstellung von PtCC stehen CO ₂ aus Biomasse, CO ₂ aus fossilen Rohstoffen und CO ₂ aus der Luft sowie CO ₂ Recyclate aus der Kreislaufführung zur Verfügung.	Energieversorgung	hoch
11	Energetische Nutzung von Rodungsholz aus Obstbauplantagen	Kommerzielle Obstplantagen für die Produktion von Kern- und Steinobst erreichen nach ca. 15 Jahren ihre Seneszenz, weshalb die Bestände regelmäßig erneuert werden. Das anfallende Holz kann energetisch genutzt werden (vorrangig direkte Verbrennung).	Energieversorgung	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
12	Optimierung der Effizienz von Biogasanlagen	Die Vergärung von diversen Substraten zu Biogas in landwirtschaftlichen Biogasanlagen ist weit verbreitet. Durch eine Optimierung des Substratmix sollen die Biogaserträge je Menge Inputbiomasse erhöht werden.	Energieversorgung	hoch
13	In-Vitro Mikrovermehrung von Miscanthus	Miscanthus-Arten sind aufgrund ihres hohen Biomasseertrags Energiepflanzen, die für die Verbrennung von Biokraftstoffen und als Ausgangsmaterial für verschiedene Produkte verwendet werden können. Sie können auch für die Phytosanierung und andere Anwendungen eingesetzt werden. Das Verfahren der In-Vitro Mikrovermehrung soll die effizientere Bereitstellung der Energiepflanzen ermöglichen.	Energieversorgung	niedrig
14	Einsatz von Bio-Additiven wie Lignin und Aminosäuren zur Optimierung von Pellets	Um den Qualitäts- und Effizienzanforderungen von Brennstoffpellets für den Energiesektor gerecht zu werden, können Additive wie Lignin eingesetzt. Beispielsweise werden dadurch Rohstoffe wie Buchenschwamholz, die bis dato zur Pelletherstellung aufgrund ihrer geringen Ausbeute nicht eingesetzt wurden, besser genutzt. Des Weiteren sollen bei diesem Verfahren einzelnen Eigenschaften der Laubholzpellets wie Bindungsfestigkeit und Abriebwiderstand erhöht werden. Ferner soll durch den neuartigen Ansatz der Heizwert der Holzpellets erhöht sowie die Emission an flüchtigen organischen Verbindungen verringert werden.	Energieversorgung	niedrig
15	Stromerzeugung aus Siedlungsabfällen in urbanen Regionen als Reservekapazität	Erneuerbarer Strom aus Wind und Solar ist fluktuierend und seine Speicherung aufwendig. Bioenergie ist gut speicher- und regelbar, und kann Fluktuationen ausgleichen. Die in Städten dezentral anfallende Biomasse aus Siedlungsabfällen unterliegt mengenmäßig monatlichen Schwankungen. Bioenergiespeicherung dient als Puffer, diese Schwankungen auszugleichen. Nutzungspotenziale der Siedlungsabfälle sind aber abhängig von bestehenden Nutzungen und dem getrennten Sammeln der Bioabfälle.	Energieversorgung	mittel

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
16	Einsatz der Hydrothermale Karbonisierung (HTC) von Lebensmittelabfällen zur Herstellung von festen Brennstoffen	Die hydrothermale Karbonisierung (HTC) ist ein thermochemischer Vorbehandlungsprozess, der Biomasse mit hohem Feuchtigkeitsgehalt nutzen kann. Das Produkt des Prozesses, die s.g. Hydrochar (HTC char), kann sich je nach Substrat in seinen Eigenschaften stark unterscheiden. Im Hinblick auf Abfall- und Reststoffe ist dieses Verfahren eine Option, Abfälle zur weiteren Nutzung als Biobrennstoffe aufzubereiten.	Energieversorgung	niedrig
17	Optimierung von Erntetechnologien zur Nutzung von Schnittabfällen	Schnittabfälle können eine erhebliche Menge an Biomasse liefern, obwohl sie nur selten als erneuerbare Energiequelle genutzt werden. Die Verwendung von optimierten Erntetechnologien kann es ermöglichen, die Schnittabfälle aufzubereiten, so dass die anfallenden Reststoffe u.a. energetisch genutzt werden können.	Energieversorgung	niedrig
18	Biologische Vorbehandlung von Strohpellets zur Qualitäts- und Effizienzsteigerung	Mit der biologischen Vorbehandlung von Weizenstroh mittels Festkörpervergärung wird erreicht, dass das Stroh zu Pellets mit einer höheren Qualität verpresst werden kann. Der Einsatz von Stroh zur energetischen Nutzung ist Gegenstand zahlreicher Potenzialbetrachtungen. Stroh ist heute und zukünftig ein relevanter Reststoffstrom, der in der thermischen Verwertung, als Rohstoff für advanced biofuels oder auch als Dämmmaterial in Gebäuden verwendet werden kann.	Energieversorgung	mittel

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
19	In-Vitro-Fleischherstellung (cultured meat)	Das In-Vitro-Verfahren ist eine Alternative zur herkömmlichen Fleischproduktion. Das Herstellungsverfahren (Tissue Engineering) der In-Vitro-Fleischherstellung soll für die Nahrungsmittelproduktion verwendet werden. Bei dem Verfahren wird künstlich tierisches Gewebe hergestellt. Bei der Kultivierung unter Laborbedingungen werden Zellen eines lebenden Tieres verwendet und vermehrt. In großen Bioreaktoren nutzen die Zellen eine Nährlösung, z.B. aus Zucker, Mineralien und Sauerstoff. Daraus wachsen dann verzehrbare Muskeln, Fett und anderes Gewebe. So könnte z.B. auch der Fettgehalt des Fleisches reduziert werden. In-Vitro-Fleisch kann im weiteren Sinne als eine „pflanzliche Fleischherstellung“ angesehen werden, da für die Produktion zwar tierische Zellen eingesetzt, aber keine lebenden Tiere gehalten werden. Ziel des Pfades ist es, die Schlachtung von Tieren zu vermeiden und die Nutzung von knappen Ressourcen wie Wasser und Ackerflächen zu verringern.	Ernährungsindustrie	mittel
20	Optimierung von Fisch-Aquakulturen durch mono-sex Population (Genomik)	Weibliche Fische zeigen oft ein stärkeres Wachstum als männliche Fische. Aus diesem Grund werden weibliche mono-sex Populationen gezüchtet. Dies kann durch Methoden der Genomik und der Genomeditierung beschleunigt bzw. begleitet werden, um zudem wirtschaftlich wichtige Merkmale wie Körperform oder Krankheitsresistenz einzubringen. Mit den weiblichen mono-sex Fischbestände kann in Aquakulturen die Futterverwertung optimiert werden.	Ernährungsindustrie	mittel

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
21	Aquakultur zur Fischproduktion in landbasierten Kreislaufanlagen	Kreislauf-Aquakulturanlagen (RAS; Recirculating Aquaculture System) sind intensive, terrestrische Fischproduktionssysteme (Algen oder Krustentiere sind auch möglich), die mit einem gegenüber umweltoffenen Aquakultursystemen (z.B. Durchfluss- und Teichanlagen) reduzierten Wasser- und Flächenverbrauch einhergehen. Auch der Eintrag von eutrophierenden Substanzen (z.B. Futterreste und Stoffwechselprodukte der Fische) in die nachgelagerten Wasserkörper, ist bei RAS deutlich geringer (mehrstufigen Wasseraufbereitung, täglich Wasser-Austauschraten von nicht mehr als 1-5% des im System enthaltenen Wasservolumens). Eine Fortentwicklung der Kreislaufanlage sind sog. Aquaponik-Anlagen. Ausgehend von einer RAS-Anlage wird zusätzlich noch eine hydroponische (erdlose) Pflanzen- oder Kräuterproduktion errichtet. Das Prinzip ist dabei, dass das Wasser aus den Fischhaltebecken, zusammen mit dem im Wasser gelösten pflanzenverfügbaren Stickstoff, den Nutzpflanzen zugeführt wird. Durch den Entzug des Stickstoffs trägt der Pflanzenbau also letztlich zur biologischen "Reinigung" des Kreislaufwassers.	Ernährungsindustrie	mittel
22	Einsatz von natürlichen und künstlichen polyploiden Fischarten in der Aquakultur	Polyploide Fischarten wie Karpfen, Gibelkarpfen, Karausche, Lachse und Störe zeichnen sich durch ein schnelles Wachstum, gute Anpassungsfähigkeit und geringe Anfälligkeit für Krankheiten aus, und sie sind daher für Aquakulturen wirtschaftlich interessant. Genom-Polyploidie kann auch mit Hilfe von gentechnischen Züchtungsmethoden erzeugt bzw. bestehende Polyploidie optimiert werden.	Ernährungsindustrie	niedrig
23	Einsatz von Aquaponik zur Nahrungsmittelproduktion	Bei Aquaponiksystemen handelt es sich um eine Fischzucht in Kreislauf-Aquakulturanlagen, an die eine Pflanzenzucht angeschlossen wird. Dabei werden überschüssige Nährstoffe aus dem Kreislaufwasser mit Hilfe von Nutzpflanzen entfernt (biologische Reinigung).	Ernährungsindustrie	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
24	Integriertes Off-Shore Management (Windkraft und marinen Aquakultur)	Bei diesem Verfahren werden Off-Shore Windparks gemeinsam mit Off-Shore Aquakulturanlagen betrieben. Küsten-Aquakultur ist in Deutschland aus Schutzgebietsgründen, z.B. in der Nordsee, nicht möglich. Bei Off-Shore-Anlagen werden die Aquakulturen an den Mastverankerungen von Windanlagen installiert. Von Vorteil sind dabei integrierte multi-trophische Aquakulturen (IMTA), die durch eine Kombination von Fischzucht und Algen- bzw. Muschelkultivierung eine hohe Ausnutzung von Nährstoffinputs erreichen und damit eine geringe Eutrophierung sicherstellen. Produzierte Biomasse kann vor allem als Nahrung, aber auch energetisch genutzt werden.	Ernährungsindustrie	niedrig
25	Einsatzes von Hybridtechnologien zur Nutzung von Aquakultur	Dieses Verfahren beinhaltet den Bau von solarbetriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen in heißen, sonnigen Klimazonen, um in Aquakulturanlagen Pflanzen mit Süßwasser anzubauen. Eine Weiterentwicklungsidee ist eine "schwimmende Farm". Eine solches Systems (ein "Bluehouse" statt Gewächshaus) auf See kann den Druck auf Landanbausysteme verringern. Der technische Aufwand und damit die Kosten für den Anbau von schwimmenden Farmen sind jedoch sehr hoch.	Ernährungsindustrie	niedrig
26	Nutzung von Mikroalgen als Rohstoffquelle für Nahrungsmittel	Mikroalgen können als Rohstoffquelle für Nahrungsmittel dienen. Für die Kultivierung von Mikroalgen ist ein relativ hoher technischer Aufwand nötig (z.B. geschlossene terrestrische Algenanbausysteme). Die Hauptprodukte sind getrocknete Algen mit hohem Nährstoffgehalt und hochwertige Verbindungen wie Fettsäuren, Pigmente und Antioxidantien.	Ernährungsindustrie	niedrig
27	Isolierung von Eiweißen aus nachwachsenden Rohstoffen oder Abfällen als Rohstoff für die Nahrungsmittelproduktion	Es gibt verschiedene Herstellungsverfahren, die auf die Isolierung von Proteinen aus nachwachsenden Rohstoffen oder aus Abfällen abzielen. Zu diesem Zweck können mittels technologischer Verfahren wie der elektrostatischen Trennung, subkritische Wasserextraktion u.a. Eiweiße hergestellt werden. Das Verfahren kann potenziell zur Ernährungssicherheit beitragen und Lebensmittelabfälle reduzieren.	Ernährungsindustrie	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
28	Insekten als Protein- und Vitaminquelle	Die Nutzung von Insekten als Protein- und Vitaminquelle kann die menschliche Ernährung, aber auch den Futterplan von Tieren ergänzen. Die Produktion von Insekten(-Proteinen) ist effizient, da die gleichwarmen Tiere im Vergleich zu wechselwarmen Tieren (Kuh, Schwein, Huhn) geringere Mengen an Futter benötigen.	Ernährungsindustrie	mittel
29	Herstellung von intelligenten Technologien im Bereich der Lebensmittelverpackung	Intelligente Verpackungen sollen im Bereich der Lebensmittel zur Verbesserung der Sicherheit, Qualität und Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln sowie der Verbraucherfreundlichkeit beitragen. Das Funktionsprinzip basiert auf der direkten Wechselwirkung zwischen einer reaktiven Substanz in der Verpackung des Indikators und chemischen Verbindungen, die während des Lebensmittelverderbs entstehen. Erprobt werden beispielsweise Flaschen mit Frischeindikatoren, die ihre Farbe ändern, wenn der Inhalt nicht mehr genießbar ist. Das Zusammenwirken beider Substanzen zeichnet sich beispielsweise in einem Farbverlauf ab. Dieses Prinzip kann auch bei weiteren Lebensmitteln, wie abgepackter Wurst oder verpacktem Käse, angewandt werden. Intelligente Verpackungen können helfen, die Mengen an Lebensmittelabfällen zu reduzieren. Sie sind aufgrund ihrer hohen Kosten derzeit noch nicht weit verbreitet.	Ernährungsindustrie	niedrig
30	Verbesserung der Lebensmittelverarbeitung/ Lebensmitteltechnologien	Durch technologischen Fortschritt wird in der Lebensmittelindustrie die eingesetzte Biomasse mit effizienteren Abfallanteilen genutzt und neue Produkte entwickelt, z.B. verbesserte vegane Produkte (Akzeptanz beim Verbraucher, Verringerung der Tierproduktion), Techniken, um neue Lebensmittelquellen (In-Vitro-Fleisch, Algen, Fischarten aus Aquakultur, Insekten, Eiweiße aus nachwachsenden Rohstoffen und Abfällen) für die Lebensmittelherstellung zu nutzen, und Techniken zur Abfallvermeidung.	Ernährungsindustrie	hoch
31	Biotechnologie als Beitrag zur pflanzlichen Nahrungsmittelproduktion (Beispiel Reis)	Dieser Ansatz betrachtet neue Pflanzenzüchtungstechniken, einschließlich des Einsatzes von Gentechnik, um alternative Reisanbauverfahren bzw. Nahrungsmittelproduktionsverfahren zu entwickeln bzw. zu optimieren.	Landwirtschaft	mittel

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
32	Digitalisierung der Landwirtschaft (Schwerpunkt Flächennutzung)	Die Digitalisierung der Landwirtschaft setzt auf neue Technologien, wie z.B. Precision Farming. Hierbei handelt es sich um ortsdifferenzierte und zielgerichtete Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen im Pflanzenbau. Die Digitalisierung soll u.a. helfen, die Produktivität der Landwirtschaft z.B. im Hinblick auf klimatische Veränderungen zu steigern. Dies kann z.B. durch das technische Erkennen von Unterschieden in den Bodeneigenschaften und der Ertragsfähigkeit von Teilflächen ermöglicht werden, um darauf bei der Bewirtschaftung bedarfsgerecht zu reagieren. Daneben gibt es eine weitere Vielzahl von positiven Entwicklungen, die mit der Digitalisierung einhergehen (können), insbesondere auch aus entwicklungspolitischer Sicht, z.B. kann Digitalisierung den Austausch von Informationen und Wissen vereinfachen oder sie könnte zu Arbeitserleichterung in der Landwirtschaft führen. Gleichzeitig werden in der bisherigen Debatte aber viele kritische Punkte ausgeklammert oder gar nicht bedacht, z.B. Datenkontrolle, Konzentration von Anbaudaten, neue Abhängigkeiten von Herstellern und Landmaschinenanbietern, sozioökonomische Risiken auf die Länder im globalen Süden.	Landwirtschaft	mittel
33	Einsatz der Gene Drive-Methode zur Schädlingsbekämpfung in der Landwirtschaft	Diese Technologie wird eingesetzt, um eine Beschleunigung bei der Ausbreitung von Genen innerhalb von Populationen herbeizuführen. Über ein Enzym werden nicht erwünschte DNA-Sequenzen entfernt und dieses Merkmal mit reduzierter Wahrscheinlichkeit an Nachkommen vererbt. Diese Methode kann z.B. zur Veränderung der Eigenschaften von Schädlingen in der Landwirtschaft genutzt und so ggf. Ernteerträge in der Landwirtschaft steigern. Die Gene Drive-Methode ist ein gentechnisches Verfahren und beim Einsatz z.B. zur Schädlingsbekämpfung in Deutschland / der EU auch zukünftig unwahrscheinlich, da es sich einem Freiland Einsatz einer Gentechnikmethode mit ggf. nicht-kontrollierbaren Risiken handelt. In anderen Ländern / Regionen mit geringeren Anforderungen zum Einsatz von Gentechnik kann diese Technologie aber verstärkt zum Einsatz kommen.	Landwirtschaft	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
34	Anbaumethoden der vertikalen Landwirtschaft	Vertikale Landwirtschaft zielt auf den Landbau im geschlossenen "Behälter" auf mehreren Ebenen ab. Diese Anbaumethode kann zum Teil mit dem Anbau von Aquakultur gekoppelt werden. Systeme können geschlossen sein. Licht kann aus künstlicher Beleuchtung (effiziente LED-Technologie) stammen und in ariden Gebieten können hohe Effizienzen bei der Wassernutzung erreicht werden. Vertikale Landwirtschaft soll Erträge sichern und dabei die Flächeninanspruchnahme reduzieren bzw. die Abhängigkeit von landwirtschaftlichen Flächen verringern. Aufgrund hoher Systemkosten werden Systeme der vertikalen Landwirtschaft zukünftig nur in Ausnahmefällen und für Sonderkulturen erwartet.	Landwirtschaft	niedrig
35	Permakultur und regenerative Agrikultur zur ökologischen Optimierung von landwirtschaftlichen Ökosystemen	Permakultur ist eine Bewirtschaftungsform, die darauf abzielt, Erträge langfristig und in ausreichender Höhe sicherzustellen (niedrigere Erträge im Vergleich zu intensiven Anbausystemen sind aber zu erwarten) und dabei den Energieverbrauch beim Anbau zu minimieren. Der Einsatz von Mischkulturen (bezieht sich auf Pflanzen und Tiere) spielt eine große Rolle, um die biologische Vielfalt und die Agrobiodiversität zu steigern. Daneben soll dieses System helfen, Schädlinge und Krankheiten zu vermeiden. Grundsätzlich sollen durch Permakultur Eingriffe in das Ökosystem so weit wie möglich minimiert werden. Ein ähnliches System von Anbaumethoden wird unter dem Begriff regenerative Agrikultur geführt. Dieses System von Anbaumethoden soll ebenfalls die Biodiversität erhöhen, Bodenkohlenstoff anreichern, Wasserkreisläufe verbessern und die Leistung von Ökosystemen erhöhen. Teile der Bewirtschaftungsansätze können auch in den Öko-Landbau integriert werden.	Landwirtschaft	niedrig
36	Urban Gardening als städtische Nahrungsmittelproduktion	Das Konzept des Urban Gardening / der Re-Lokalisierung zielt auf den Anstieg der Selbstversorgung in Städten. Flächen im bebauten Raum wie Balkone und Straßenränder werden mit Nutzpflanzen bestückt und gepflegt. Damit sollen die Städte nicht nur begrünt, sondern es können auch Nahrungsmittel in Städten produziert werden.	Landwirtschaft	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
37	Ausweitung intensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen in den Ländern des globalen Südens als Quelle für Rohstoffe	Die globale Ausweitung auf Flächen außerhalb Deutschlands soll als Rohstoffquelle dienen, um die steigende Nachfrage nach biogenen Ressourcen zu decken. Dabei handelt es sich vor allem um Flächen wie Brachland, Weideland, Waldflächen und Savannen.	Landwirtschaft	hoch
38	Herstellung von Biopharmazeutika auf Basis von gentechnischen Methoden	Das Verfahren zielt auf die Nutzung von gentechnisch veränderten Pflanzen (transgene Pflanzen) als „Biofabriken“ zur Herstellung von Arzneistoffen, sog. Biopharmazeutika. Arzneimittel aus Pflanzen werden auch PMPs (Plant Made Pharmaceuticals) genannt. Das Verfahren dient z.B. der Entwicklung von neuen Impfstoffen.	Pharmaindustrie	niedrig
39	Verwendung von In-Vitro-Blut	Das Herstellungsverfahren soll die medizinische Blutversorgung unterstützen. Personen mit Traumata, Operationen oder Störungen, bei denen die effektive Blutbildung beeinträchtigt ist, sind derzeit auf die Versorgung mit Blut von menschlichen Spendern angewiesen. Die Technologie vermehrt Blutzellen in Bioreaktoren.	Pharmaindustrie	niedrig
40	CO ₂ -Sequestrierung durch Bioenergy-CCS	Bei der Nutzung von Biomasse wird CO ₂ freigesetzt (z.B. Fermentierung von Ethanol oder Methan, Verbrennung von Biomasse). Das freiwerdende CO ₂ kann aufgefangen und mit CCS-Technologien (Carbon Capture und Storage) dauerhaft eingelagert werden. Durch dieses Verfahren wird der Atmosphäre CO ₂ entzogen. Dem gegenüber steht aber die Nutzung von CO ₂ als wichtige Ressource für die Bereitstellung von strombasierten Kohlenstoffverbindungen (siehe PtX).	Sonstige	niedrig
41	Nutzung der synthetischen Biologie (Synbio) zur Neu- und Umgestaltung von Mikroorganismen für die Herstellung von biogenen Kraftstoffen sowie biogenen Produkten	Mikroorganismen, wie Algen und Bakterien, werden mit und ohne Hilfe von Gentechnik verändert, so dass sie dazu beitragen, biogene Produkte wie Öle zur Herstellung von biogenen Kraftstoffen, aber auch von anderen Rohstoffen für Kunststoffe, Chemikalien oder Aromen zu produzieren. Der Ansatz wird insbesondere durch die CRISPR/Cas-Methode ermöglicht, insbesondere für spezielle Stoffe, die z.B. in kleinen Mengen aus Pflanzen extrahiert werden.	Übergreifende (mind. drei Sektoren)	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
42	Digitalisierung am Beispiel von biomassebasierten Wertschöpfungsnetzen	Mit Hilfe der Digitalisierung sollen Geschäftsmodelle aufgebaut werden, sektorübergreifender Nutzen generiert und auf spezifische Standortbedingungen eingegangen werden. Die digital vernetzte land- und forstwirtschaftliche Wertschöpfungskette soll Erträge steigern. Die Digitalisierung kann eine durchgängige Lieferkettentransparenz in Echtzeit generieren und damit u.a. die Liefergenauigkeit oder die Optimierung des Lagerbestands verbessern. Dies soll insgesamt biomassebasierte Wertschöpfungsnetze fördern und der damit verbundene wirtschaftliche Erfolg in Land- und Forstwirtschaft gesteigert werden.	Übergreifende (mind. drei Sektoren)	niedrig
43	Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie	Genome Editing ist ein Sammelbegriff für biotechnologische Verfahren zur Veränderung des Genoms von Lebewesen. Dazu gehört beispielsweise die Methode „Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats“ (CRISPR/Cas), die sich mittlerweile als Standardverfahren etabliert hat, weil deren Anwendung im Vergleich zu den klassischen Methoden der Gentechnik als einfach, schnell und kostengünstig gilt. Der Begriff „Genome Editing“ suggeriert, dass die Erbinformation eines Lebewesens durch Bearbeiten eines modular aufgebauten Genoms nach Belieben und ohne nennenswertes Risiko editiert werden können. Jedoch vernachlässigt diese Sichtweise die Komplexität epigenetischer Effekte, also von Effekten, die sich auf angrenzende Gene oder auf übergeordnete genregulatorische Mechanismen auswirken können. Es handelt sich beim Einsatz dieser Verfahren also – wie auch bei klassischen Gentechnikmethoden – um erbgutverändernde Bearbeitung des Genoms von Lebewesen.	Übergreifende (mind. drei Sektoren)	mittel
44	Herstellung von Bioplastik aus gentechnisch veränderten Pflanzen (Beispiel: Kartoffel)	Biokunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen werden vor allem zu Verpackungen, Folien und Formteilen verarbeitet. Bei diesem Verfahren werden Kartoffeln mit Genmaterial aus Cyanobakterien gentechnisch so verändert, dass sie Cyanophycin in ihren Knollen bilden, welches als Ausgangsstoff für Polyaspartat für die Herstellung von Biokunststoffen genutzt werden kann.	Verarbeitendes Gewerbe	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
45	Optimierte Nutzung von biobasierten Cassava-Materialien für Food- und Non-Food-Anwendungen	Cassava (Maniokpflanze) hat weltweit einen relativ großen Anteil an der Entwicklung biobasierter Materialien. Die Herstellung von Biopolymer-Derivaten aus Cassava mit konventionellen Techniken/Methoden geht mit erheblichen Abfällen (Feststoffe und Abwässer) einher, die sich negativ auf die Umwelt auswirken können. Dies liegt an den Prozessschritten, wie dem Schälen und Waschen der Wurzeln, dem Raspeln, der Stärkegewinnung durch Waschen, Entwässern und Trocknung. Daher müssen neue bzw. optimierte Herstellungsverfahren entwickelt werden.	Verarbeitendes Gewerbe	niedrig
46	Nutzung von Lignin zur Herstellung von Low-Cost-Carbonfasern	Lignin ist Abfallprodukt z.B. in der Papierherstellung und steht daher kostengünstig und in großen Mengen zur Verfügung. Lignin weist allerdings schlechte mechanische Eigenschaften auf. Es wurde ein Verfahren entwickelt, aus Lignin Kohlenstofffasern mit guten mechanischen Eigenschaften (leicht, stabil) herzustellen. Automobilindustrie, Windenergie-Branche sowie Raum-, Luft- und Schifffahrt nutzen bereits Verbundmaterialien aus Kohlen- und Kunststoff bevorzugt für Leichtbauanwendungen.	Verarbeitendes Gewerbe	mittel
47	Einsatz von Biomasse oder synthetische Kohlenstoffverbindungen zur Eisenerzproduktion im Hochofen	Eisen- und Stahlwerke, die Stahl produzieren, sind einer der größten Einzelpunkt-CO ₂ -Emittenten innerhalb der Europäischen Union (EU). Da der Prozess der Eisenerzreduktion im Hochofen vollständig auf Kohlenstoff angewiesen ist, der hauptsächlich aus Kohle und Koks stammt, wäre Bioenergie - oder synthetischer Kohlenstoff (PtG/PtL) - die einzige erneuerbare Energie-/Kohlenstoffquelle, die eine Möglichkeit zur teilweisen Substitution bietet. Dies ist - neben Stahlrecycling und der Reduktion des Energieverbrauchs in der Primärproduktion - eine Option, die Stahlindustrie nachhaltiger zu gestalten.	Verarbeitendes Gewerbe	mittel

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
48	Herstellung von Nanocellulose als neuer Werkstoff	Nanocellulose ist ein biobasiertes Material, welches aus der Zellstoffproduktion gewonnen werden kann. Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig (z.B. Textilien, Verpackungen oder leichte Kohlenstofffasern in Elektroautos). Durch die steigende Nachfrage nach umweltfreundlichen Textilien und die Anwendung in vielen anderen Bereichen, wird mit einem Anstieg der Herstellung gerechnet.	Verarbeitendes Gewerbe	mittel
49	Herstellung von Biokerosin aus Algenbiomasse	Herstellungsverfahren von Biokerosin für den Flugverkehr sind vor allem die Herstellung von HVO/HEFA-Kerosin aus Pflanzenölen wie Algenöl oder Palmöl, aber auch Biomass-to-Liquid-Verfahren z.B. aus Holz oder Stroh. Die produzierten sogenannten Drop-in-Kraftstoffe können direkt anstelle von fossilem Kerosin im Flugzeug eingesetzt werden. Derzeit werden aufgrund hoher Produktionskosten nur geringe Mengen an Biokerosin aus Algenbiomasse produziert, die technologischen Einzelkomponenten von Biokerosinprozessen sind jedoch prinzipiell verfügbar. Da der zukünftige Bedarf und das Interesse der Fluggesellschaften groß sind, wird intensiv an Biokerosinprozessen geforscht. Ein Vorhaben des BMEL (Aufwind) pilotiert z.B. die Forschung von HEFA-Kerosin aus Algenöl.	Verkehr und Transport	mittel
50	Biokraftstoffe im Flugverkehr: Einsatz von Senfsamenöl oder Leindotterpflanzen	Für den Flugverkehr werden derzeit unterschiedliche Pflanzenöle, lignozellulose-stämmige Ausgangsubstrate sowie Abfall- und Reststoffe untersucht. Die australische Fluggesellschaft Qantas Airways hat ihrem Flugbenzin erstmals zehn Prozent Biosprit aus Senfsamen beigemischt. Damit hat sie nach eigenen Angaben sieben Prozent weniger CO ₂ ausgestoßen als mit normalem Flugkerosin.	Verkehr und Transport	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
51	Herstellung von synthetischem paraffinischem Kerosin (SPK)	Aus diversen Biomassen (z.B. Triglyceride, lignosehaltige Biomasse, Zucker, Stärker) kann über unterschiedliche Pfade (z.B. Fischer-Tropsch-Synthese, Hydrierung, Fermentation, Oligomerisation), die stark von der eingesetzten Biomasse abhängen, synthetisches paraffinisches Kerosin (SPK) hergestellt werden. Die Eigenschaften von SPK sind nahezu identisch mit denen von fossilem Flugzeugtreibstoff. SPK hat auch den Vorteil, dass es sehr wenig Schwefel enthält und weniger CO ₂ -Emissionen als Flugzeugtreibstoff bei der Verbrennung freisetzt.	Verkehr und Transport	hoch
52	Herstellung von Biokraftstoffen durch hydrothermale Verflüssigung (HTL) von entfetteten Mikroalgen	Mikroalgen können zur Produktion von Ölen für die Biodieselherstellung genutzt werden. Nach dem Entzug der Öle verbleibt ein Rest, die s.g. entfetteten Mikroalgen, die 75% der Eingangsbiomasse ausmachen. Diese entfetteten Mikroalgen können mit dem Verfahren der hydrothermalen Verflüssigung (HTL, hydrothermal liquefaction) in einen Rohöl-ähnliche Substanz umgewandelt werden, die als Basis für die Herstellung von Biokraftstoffen dienen kann. Bei der HTL anfallende nährstoffreiche Nebenprodukte können zur Düngung von Algen einer benachbarten Algenanzucht eingesetzt werden.	Verkehr und Transport	niedrig
53	Bioethanol- und Biobutanolherstellung aus Zuckermaissaft durch mikrobielle Fermentation	Maishybriden mit hohem Stielzuckeranteil oder "Zuckermais" sind schnell wachsende Energiepflanzen. Der extrahierte Zuckermaissaft kann über mikrobielle Fermentation zur Produktion von Bioethanol oder Biobutanol genutzt werden. Hierbei handelt es sich um eine Alternative, die im Vergleich zu Biokraftstoff-Produktionsverfahren auf Maisbasis zukünftig kostengünstiger sein kann.	Verkehr und Transport	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
54	Umwandlung von Bioabfall in Biokraftstoffe oder andere Produkte durch mikrobielle Elektrolysezellen	Mikrobielle Elektrolysezellen (MECs) werden mit Strom gespeist. Das Verfahren nutzt Bakterien, die biologisch abbaubaren Abfall zersetzen und in Wasserstoff, Biokraftstoffe oder andere Mehrwertprodukte umwandeln. Das Hauptziel des Verfahrens ist die Speicherung von diskontinuierlich erzeugten regenerativen Strom in Form von flüssigen oder gasförmigen Energieträgern mit hoher Energiedichte. Seit ihrer Erfindung im Jahr 2005 hat die Forschung die H ₂ -Produktionsrate und die Ausbeute steigern können. Die MEC-Technologie kann theoretisch in die Lignocellulose-Bioraffination integriert werden.	Verkehr und Transport	niedrig
55	Herstellung von Biokraftstoffen aus Meeressalgen (Makroalgen-Bioraffinerie)	Je nach Algenart können verschiedene Fettsäuren, Öle, natürliche Pigmente, Antioxidantien, hochwertige biologische Komponenten und andere Substanzen extrahiert und in einem industriellen Produktionssystem eingesetzt werden. Eine Makroalgen-Bioraffinerie stellt ein konzeptionelles Modell für die Herstellung von Produkten sowie für die Produktion von flüssigen oder gasförmigen Biokraftstoffen dar. Die Nutzung von Algen soll die Kosten der bestehenden Kraftstoffherstellung senken. Meeressalgen gelten nicht als Rohstoff für Advanced Biofuels im Rahmen der RED II (Annex IX	Verkehr und Transport	mittel
56	Biologische Abwasseraufbereitung	Abwasseraufbereitungstechnologien spielen eine große Rolle bei der Vermeidung von Gewässerverschmutzung und bei der Bereitstellung von sauberem Trinkwasser. Derzeit werden zukünftige Abwasser-Bioraffinerie-Modelle, die über die Vergärung (Biomethan) von Biomassefraktionen im Abwasser hinaus gehen, diskutiert und erforscht, um eine differenziertere Nutzung der Biomassefraktionen aus dem Abwasser zu erreichen.	Wasserversorgung inkl. Abwasser	niedrig

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Kurzbeschreibung	Wirtschaftssektor	Mengenrelevanz
57	Herstellung von kompostierbaren Verpackungen und Kleidungsstücken	Es gibt bereits Firmen, wie z.B. Trigema oder C&A, die biologisch abbaubare Kleidung herstellen. Bei C&A ist es „nur“ ein T-Shirt. Die Firma Trigema produziert die komplette „Change“-Kollektion nach dem Cradle-to-Cradle Prinzip. Bei diesem Modell werden keine Abfälle produziert, sondern die bei der Herstellung anfallenden Reste und eingesetzten Materialien sowie das finale Produkt sind komplett biologisch abbaubar oder können wiederverwendet werden. Die Herstellung von kompostierbaren Kleidungsstücken / Verpackungen geschieht z.B. auf der Basis von Maisstärke oder Zellulose, z.B. für Müllbeutel oder T-Shirts (Beispiel Trigema).	Verarbeitendes Gewerbe	niedrig
58	Herstellung von Verbundwerkstoffen auf der Basis von Nachwachsenden Rohstoffen	Neue Werkstoffe aus der Chemie können z. B. die Belastbarkeit und Haltbarkeit von Produkten erhöhen, das Gewicht reduzieren, den Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung verringern, die optischen Eigenschaften verbessern oder eine Miniaturisierung von Produkten ermöglichen und damit die Funktionalität und Leistungsfähigkeit von Materialien verbessern. Bei Kompositen werden gewünschte Eigenschaften gekoppelt. Beispiele wären naturfaserverstärkte Kunststoffe und Holzfaserkomposite (Woodplastic). Eingesetzt werden die Materialien in vielen Bereichen, u.a. im Leichtbau.	Verarbeitendes Gewerbe	mittel

Tabelle 5-2: Beschreibung und Bewertung der Biomassenutzung, die in den identifizierten künftig möglichen Bioökonomiepfade adressiert wird (Longlist Teil 2).

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?										Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung	
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung			Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz										
1	Herstellung von biobasiertem Bitumen	x	x	x	x	x	x	x		x				x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
2	Herstellung von Bau- und Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz im Gebäudesektor	x	x	x	x	x	x	x		x				x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
3	Herstellung von Biokunststoffen (biobased plastics) inklusive Blendingmethoden	x	x	x	x	x	x	x		x				x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
4	Herstellung von biobasierten Chemikalien (weiße Biotechnologie) aus nachwachsenden Rohstoffen	x	x	x	x	x	x	x		x				x		Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen		
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz										
5	Einsatz von biobasierten Grundchemikalien (Plattform-Chemikalien)	x	x	x	x	x	x	x		x						Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
6	Bioraffination als Herstellungsverfahren biogener Produkte (stoffliche oder energetische Nutzung)	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x		Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung
7	Nutzung von Biokohle (Brennstoff)	x	x	x	x	x	x	x		x				x		Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung
8	Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen im Verkehrssektor		x	x	x	x	x	x		x				x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
9	Einsatz von künstlicher Photosynthese zur Herstellung von Biowasserstoff oder anderen Biobrennstoffen														x	Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Reduzierung der Biomassenutzung

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?										Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung		
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung			Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen	
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz											
10	Recycling von biogenem CO2 über strombasierte Brennstoffe oder Chemikalien auf Basis von erneuerbarem Strom (PtX)																Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Reduzierung der Biomassenutzung
11	Energetische Nutzung von Rodungsholz aus Obstbaumpflanzungen																Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
12	Optimierung der Effizienz von Biogasanlagen	x	x		x												Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
13	In-Vitro Mikrovermehrung von Miscanthus		x														Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung
14	Einsatz von Bio-Additiven wie Lignin und Aminosäuren zur Optimierung von Pellets			x		x	x										Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung					
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen							
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz															
15	Stromerzeugung aus Siedlungsabfällen in urbanen Regionen als Reservekapazität																	Keine Angabe	Entlastung durch Erschließen ungenutzter Biomassepotenziale			
16	Einsatz der Hydrothermale Karbonisierung (HTC) von Lebensmittelabfällen zur Herstellung von festen Brennstoffen																	x	x	Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung	
17	Optimierung von Erntetechnologie zur Nutzung von Schnittabfällen																		x	Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Erschließen ungenutzter Biomassepotenziale	
18	Biologische Vorbehandlung von Strohpellets zur Qualitäts- und Effizienzsteigerung																			x	Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen		
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz										
19	In-Vitro-Fleischherstellung (cultured meat)								x							Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
20	Optimierung von Fisch-Aquakulturen durch monosex Population (Genomik)								x							Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
21	Aquakultur zur Fischproduktion in landbasierten Kreislaufanlagen								x							Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
22	Einsatz von natürlichen und künstlichen polyploiden Fischarten in der Aquakultur								x							Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
23	Einsatzes von Aquaponik zur Nahrungsmittelproduktion	x														Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung	
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen			
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz											
24	Integriertes Off-Shore Management (Windkraft und marinen Aquakultur)							x	x								Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Erschließen ungenutzter Biomassepotenziale
25	Einsatzes von Hybridtechnologien zur Nutzung von Aquakultur								x								Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
26	Nutzung von Mikroalgen als Rohstoffquelle für Nahrungsmittel							x									Keine Angabe	+/- unveränderte Biomassenutzung
27	Isolierung von Eiweißen aus nachwachsenden Rohstoffen oder Abfällen als Rohstoff für die Nahrungsmittelproduktion	x	x														Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
28	Insekten als Protein- und Vitaminquelle								x								Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung	
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen			
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz											
29	Herstellung von intelligenten Technologien im Bereich der Lebensmittelverpackung	x						x	x								Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
30	Verbesserung der Lebensmittelverarbeitung/ Lebensmitteltechnologien	x						x	x								Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
31	Biotechnologie als Beitrag zur pflanzlichen Nahrungsmittelproduktion (Beispiel Reis)	x															Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	+/- unveränderte Biomassenutzung
32	Digitalisierung der Landwirtschaft (Schwerpunkt Flächennutzung)	x	x	x	x												Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
33	Einsatz der Gene Drive-Methode zur Schädlingsbekämpfung in der Landwirtschaft	x	x														Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen		
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz										
34	Anbaumethoden der vertikalen Landwirtschaft	x											x			Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
35	Permakultur und regenerative Agrikultur zur ökologischen Optimierung von landwirtschaftlichen Ökosystemen	x	x	x	x				x				x			Keine Angabe	+/- unveränderte Biomassenutzung
36	Urban Gardening als städtische Nahrungsmittelproduktion	x											x			Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Erschließen ungenutzter Biomassepotenziale
37	Ausweitung intensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen in den Ländern des globalen Südens als Quelle für Rohstoffe	x	x	x	x									x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen		
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz										
38	Herstellung von Biopharmazeutika auf Basis von gentechnischen Methoden											x	x	x	Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	+/- unveränderte Biomassenutzung	
39	Verwendung von In-Vitro-Blut											x		x	Keine Angabe	+/- unveränderte Biomassenutzung	
40	CO2-Sequestrierung durch Bioenergy-CCS										x		x	x	Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	+/- unveränderte Biomassenutzung	
41	Nutzung der synthetischen Biologie (Synbio) zur Neu- und Umgestaltung von Mikroorganismen für die Herstellung von biogenen Kraftstoffen sowie biogenen Produkten	x													Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung	
42	Digitalisierung am Beispiel von biomasse-basierten Wertschöpfungsnetzen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch	

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung		
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen				
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz												
																		Effizienzsteigerung	
43	Genome Editing in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie	x	x	x	x	x	x	x	x				x					Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	+/- unveränderte Biomassenutzung
44	Herstellung von Bioplastik aus gentechnisch veränderten Pflanzen (Beispiel: Kartoffel)	x												x	x			Keine Angabe	+/- unveränderte Biomassenutzung
45	Optimierte Nutzung von biobasierten Cassava-Materialien für Food- und Non-Food-Anwendungen	x												x				Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
46	Nutzung von Lignin zur Herstellung von Low-Cost-Carbonfasern													x	x			Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung	
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen			
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz											
47	Einsatz von Biomasse oder synthetische Kohlenstoffverbindungen zur Eisenerzproduktion im Hochofen	x	x	x	x	x	x	x									Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
48	Herstellung von Nanocellulose als neuer Werkstoff					x	x							x	x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
49	Herstellung von Biokerosin aus Algenbiomasse							x							x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
50	Biokraftstoffe im Flugverkehr: Einsatz von Senfsamenöl oder Leindotterpflanzen	x													x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
51	Herstellung von synthetischem paraffinischem Kerosin (SPK)	x	x	x	x	x	x	x							x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung
52	Herstellung von Biokraftstoffen durch hydrothermale Verflüssigung (HTL) von entfetteten Mikroalgen							x							x		Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Erschließen ungenutzter Biomassepotenziale

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?										Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung	
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung			Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz										
53	Bioethanol- und Biobutanolherstellung aus Zuckermaissaft durch mikrobielle Fermentation	x											x			Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Entlastung durch Effizienzsteigerung bestehender Biomassenutzung
54	Umwandlung von Bioabfall in Biokraftstoffe oder andere Produkte durch mikrobielle Elektrolysezellen															Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung
55	Herstellung von Biokraftstoffen aus Meeresalgen (Makroalgen-Bioraffinerie)															Effizienzsteigerung bei der Biomassenutzung bzw. -produktion	Belastung durch neue Biomassenutzung, abgemildert durch Effizienzsteigerung
56	Biologische Abwasseraufbereitung															Keine Angabe	Entlastung durch Erschließen ungenutzter Biomassepotenziale
57	Herstellung von kompostierbaren Verpackungen und Kleidungsstücken	x		x		x	x						x	x		Keine Angabe	+/- unveränderte Biomassenutzung

Nr.	Bioökonomiepfad Name	Welche Biomasse adressiert der Pfad?											Besteht die Biomassenutzung bereits oder wird eine zusätzliche Nutzung induziert?			Wird eine Optimierung der Biomassenutzung bzw. -produktion oder eine Verringerung der Produktionsleistung erreicht?	Bewertung der Be- und Entlastung				
		Landwirtschaftliche Anbaubiomasse				Forstwirtschaftliche Anbaubiomasse		Andere Anbaubiomasse (z.B. Algen, Seegras, ...)	Tierprodukte	Abfall- und Reststoffe	PtCC, künstliche Photosynthese	Sonstiges (Pharmaka, etc.)	Bestehende Biomassenutzung	Zusätzliche Biomassenutzung	Nicht-Biomasse-Kohlenstoffverbindungen						
		Feldfrucht	"Energiegräser"	KUP	Stroh etc.	Stammholz	Restholz														
58	Herstellung von Verbundwerkstoffen auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen	x	x	x		x	x										x	x		Keine Angabe	Belastung durch neue Biomassenutzung