

III. Bioökonomie: Ökonomische Aspekte

1. Problemstellung

Das Konzept der Bioökonomie vereint eine Vielzahl an gesellschafts-politischen und ökonomischen Zielstellungen. Diese umfassen die Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung, insbesondere Ressourcen- und Klimaschutz; zugleich sollen Beiträge zur Unterstützung der Energiewende geleistet werden. Wirtschaftspolitische Ziele wie die Steigerung der regionalen Wertschöpfung und wirtschaftliches Wachstum gehören ebenfalls dazu.¹

In diesem Beitrag wird aus ökonomischer Sicht beleuchtet, welche Erwartungen an die Bioökonomie gerichtet werden und welche Zielkonflikte daraus resultieren. Des Weiteren werden die wirtschaftliche Bedeutung der Bioökonomie dargelegt sowie volkswirtschaftliche Mehrwerte und Nachhaltigkeitsherausforderungen identifiziert. Aus einer allokationstheoretischen Perspektive soll der Weg von einer auf fossilen Rohstoffen fußenden Wirtschaftsweise hin zu einer biobasierten Kreislaufwirtschaft skizziert werden. Dabei wird hier schwerpunktmäßig Bezug auf die holz- und insbesondere die forstbasierte² Bioökonomie genommen.

Mit dem Konzept der Bioökonomie soll der Strukturwandel von einer (schwerpunktmäßig) Erdöl-basierten hin zu einer nachhaltigen, biobasierten Wirtschaft ermöglicht werden, um fossile Ressourcen zu

1 Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung / Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2020.

2 *Forstbasierte* Bioökonomie bezeichnet die bioökonomische Verwertung von Holz, das forstwirtschaftlich erzeugt wurde. Demgegenüber umfasst die *holzba-sierte* Bioökonomie neben dem Forstholz zusätzlich Altholz (Sperrholz), Agrar-holz aus Kurzumtriebsplantagen sowie Landschaftspflegeholz, aber auch Rest-stoffe aus der Papier- und Zellstoffproduktion.

schonen.³ Im Zuge dessen soll eine effiziente Verwendung natürlicher Ressourcen durch Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung gestärkt werden, wobei eine Orientierung an natürlichen Stoffkreisläufen erfolgen soll.⁴ Hierfür erscheinen vielfach insbesondere Holz und Kunststoffe besonders geeignet.⁵

Die Bioökonomie wird definiert als »die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen«. ⁶ Laut Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) findet die Bioökonomie Anwendung in »alle[n] Branchen, die biologische Ressourcen produzieren, be- und verarbeiten oder in irgendeiner Form nutzen, wie die Land- und Forstwirtschaft, die Energiewirtschaft, Fischerei- und Aquakultur, Chemie und Pharmazie, Nahrungsmittelindustrie, die industrielle Biotechnologie, Kosmetik-, Papier- und Textilindustrie sowie Umweltschutz«. ⁷

Die Definition des BMBF orientiert sich an den Definitionen von Bioökonomie der Europäischen Kommission⁸ und der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (engl.: Organisation for Economic Co-Operation, and Development, OECD).⁹ Diese sind im Wesentlichen deskriptiver Art, wobei die betreffenden Wirtschaftszweige und -sektoren benannt werden. Demgegenüber ist aber auch ein normatives Verständnis zu beobachten, bei dem Bioökonomie zugleich die Vision einer nachhaltigen Wirtschaftsweise verkörpert, die zunehmend nachwachsende Rohstoffe einsetzt und

3 Vgl. Bioökonomie.de 2020.

4 Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2010: 3; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2014a: 7.

5 Vgl. BT-Drs. 17/10968: 116.

6 Bioökonomie.de 2020.

7 Ibid.

8 Vgl. Forschungs- und Technologierat Bioökonomie 2009: 7.

9 Vgl. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) 2009. Diese Definition wird deutschlandweit weitestgehend übernommen. In einigen Untersuchungen wird die Definition der Bioökonomie enger gefasst, wie z. B. in der Untersuchung des Von-Thünen-Instituts zur volkswirtschaftlichen Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland (vgl. Efken et al. 2012): Hier wird die biobasierte Wirtschaft als biobasierte Rohstoffherzeugung inklusive Dienstleistungen und Handel definiert. Diese Herangehensweise orientiert sich an Definitionen, die eher in anderen Ländern genutzt werden, bspw. in den Niederlanden (vgl. Nowicki et al. 2008) oder in Kanada (vgl. Pellerin / Taylor 2008).

Reststoffe konsequent wiederverwendet – sei es stofflich oder aber am Ende der Nutzungskette schließlich auch energetisch (Kaskadenprinzip). Bioökonomie trägt so zur Schließung von Stoffkreisläufen, zur Schonung endlicher Ressourcen und zum Klimaschutz bei. Der Übergang von einer fossilen »Durchflussökonomie« mit Abfall- und Klimaproblemen zu einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft mit nachwachsenden Rohstoffen als Inputs bietet Chancen, stellt aber auch eine gewaltige technologische wie auch ökologische und sozioökonomische Herausforderung dar, wenn weltweit in großem Maßstab menschliche Bedürfnisse nach Gütern und Energie aus Biomasse befriedigt werden sollen. Dieses Verständnis legt etwa der Bioökonomierat beim BMBF zugrunde, wenn er formuliert: »Bioökonomie bezeichnet jene Teile der Wirtschaft, die auf biologischen Ressourcen und dem Wissen zu deren Nutzung basieren. Sie hat das Ziel, Ökonomie und Ökologie für ein nachhaltiges Wirtschaften zu verbinden.«¹⁰

2. Bioökonomie: ökonomische Grundlagen biobasierter Wertschöpfung

2.1 Struktur und Komponenten der Bioökonomie

Die Bioökonomie lässt sich entlang der Wertschöpfungskette grob in fünf Stufen gliedern: die Primärproduktionsstufe, die primäre Verarbeitungsstufe, die Zwischenproduktstufe, die Gebrauchs- bzw. Verbrauchsgüterstufe und die Sekundärrohstoffstufe.

Die Primärproduktionsstufe wird durch die Branchen gekennzeichnet, die nachwachsende Rohstoffe produzieren, also Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Fischerei und Aquakulturen. Auf der primären Verarbeitungsstufe findet die erste Umwandlung (Primärraffination) der nachwachsenden Rohstoffe statt. Hier ist zwischen stofflicher und energetischer Verwertung zu unterscheiden. Bei der stofflichen Verarbeitung werden in der Regel zunächst Zwischenprodukte wie chemische Grundstoffe (Grundchemikalien, Plattform- bzw. Bulk-Chemikalien) zur Weiterverarbeitung produziert. Auf der Zwischenproduktstufe findet die stoffliche Weiterverarbeitung der chemischen Grundstoffe statt. Dabei werden bspw. aus Monomeren wie Ethylen Polymere

¹⁰ Bioökonomierat 2022: 4.

wie Polyethylen für die Weiterverarbeitung zu Gebrauchsgütern hergestellt. Sowohl auf der Primärverarbeitungs- als auch auf der Zwischenproduktstufe sind diverse Branchen der chemischen Industrie als zentrale Akteure zu benennen. Auf der Gebrauchs- bzw. Verbrauchsgüterstufe werden die zuvor hergestellten Materialien zu gebrauchsfertigen Produkten weiterverarbeitet, wie z. B. zu Autobauteilen oder Büroartikeln, Verpackungen oder Einweggeschirr,¹¹ was diverse Branchen der Gebrauchsgüterherstellung zu den zentralen Akteuren auf dieser Stufe macht. Auf der Sekundärrohstoffstufe folgt nach Ablauf der Nutzungsdauer von Gebrauchs- und Verbrauchsgütern die Entsorgung bzw. Rückführung im Rahmen der Kreislaufwirtschaft, was diese Güter bzw. Stoffe im Sinne der Bioökonomie zunehmend zu Sekundärrohstoffen macht.

Weiterhin werden auf allen Produktions- und Verarbeitungsstufen neben den erwünschten Primärrohstoffen auch Reststoffe und Nebenprodukte erzeugt, die als Rohstoffe der zweiten Generation bezeichnet werden. Infolge zahlreicher bestehender Nutzungsansprüche an die Primärrohstoffe, wie etwa Nahrungs- und Futtermittelbedarf oder traditionelle industrielle Biomasse-Nutzung, ergeben sich vor allem im Bereich der Rohstoffe der zweiten Generation und der Sekundärrohstoffe zahlreiche Potenziale für die Bioökonomie. Ein Teil dieser nicht-primären Rohstoffe wird bereits für die Bioenergie verwendet, wobei langfristig jedoch die höherwertige Verwertung der Ressourcen im Sinne der Kaskadennutzung anzustreben ist, was bedeutet, dass die Rohstoffe zunächst stofflich verwendet werden sollten, bevor eine energetische Nutzung erfolgt.

Nachwachsende Rohstoffe lassen sich grob in vier Verwendungsrichtungen einteilen:¹² Neben oleochemischen Anwendungen und Produkten wie Wasch- und Reinigungsmitteln, Schmierstoffen und -ölen sowie Lacken und Farben können aus nachwachsenden Rohstoffen ebenso Biowerkstoffe wie biobasierte Kunststoffe oder naturfaserverstärkte Werkstoffe hergestellt werden. Außerdem können nachwachsende Rohstoffe für Kohlenhydrat-basierte organische Grundchemikalien, Fein- und Spezialchemikalien und chemische Zwischenprodukte sowie für stoffliche Anwendungen und Produkte

11 Vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2014b.

12 Vgl. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. 2010.

auf Basis verschiedener nachwachsender Rohstoffe (z. B. Löwenzahn) verwendet werden.¹³

2.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Bioökonomie

2.2.1 Internationaler Vergleich der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Bioökonomie

Vor dem Hintergrund endlicher fossiler Ressourcen und dem wachsenden (umwelt)politischen Druck, insbesondere zum Klimaschutz, hat die Bioökonomie in neuerer Zeit einen Aufschwung erlebt und entwickelt sich weltweit zu einem immer bedeutsameren Wirtschaftszweig.¹⁴ In der chemischen Industrie etwa kann seit den 1980er Jahren in Folge der Ölkrisen und einem erhöhten öffentlichen Umweltbewusstsein ein steigendes Interesse an Biokunststoffen festgestellt werden, auch wenn Produktionsstrukturen weiterhin von der etablierten fossilen Rohstoffbasis geprägt werden. Seit dem Jahr 2000 werden biologisch abbaubare Verpackungen mit dem Kompostierbarkeitsabzeichen gekennzeichnet (EN 13432), seit 2006 können auch nicht der Verpackung dienende Kunststoffe, deren Kompostierbarkeit nachgewiesen wurde, per Logo gekennzeichnet werden (EN 14995).¹⁵

Vor allem in Südamerika und Asien wurden die Produktionskapazitäten für biobasierte Materialien in den letzten Jahren stark ausgebaut.¹⁶ Aber auch in Deutschland und Europa wird die Bioökonomie weiter gefördert: So wurde bspw. 2012 die Lignocellulose-Bioraffinerie des Fraunhofer-CBP in Leuna zur nahezu vollständigen Verwertung aller Holzbestandteile eröffnet.¹⁷

EU-weit hat die Bioökonomie einen jährlichen Umsatz von nahezu 2 Bio. € und beschäftigt mehr als 22 Mio. Menschen, das entspricht 9 % der Beschäftigung in der EU.¹⁸ Die Bioökonomie entwickelt sich auch in Deutschland immer mehr zu einem zunehmend wichtigeren Wirt-

13 Vgl. Fraunhofer-Zentrum für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB 2024.

14 Vgl. Pellerin / Taylor 2008; Forschungs- und Technologierat Bioökonomie 2010.

15 Vgl. European Bioplastics 2024.

16 Vgl. Aeschelmann / Carus 2015.

17 Vgl. Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP 2012.

18 Vgl. Europäische Kommission 2012.

schaftszweig. Der Anteil der biobasierten Wirtschaft¹⁹ an der deutschen Volkswirtschaft betrug 2007 12,5 % der Beschäftigten, das entspricht 4,96 Mio. Beschäftigten und 7,6 % der gesamten Bruttowertschöpfung von 160 Mrd. €. Davon entfallen 62 % der Bruttowertschöpfung auf Land-, Ernährungswirtschaft und Gartenbau, 33,5 % auf Forst- und Holzwirtschaft, 2,3 % auf die energetische Nutzung von Biomasse und 1,3 % auf die stoffliche Nutzung landwirtschaftlicher Rohstoffe.²⁰ Daraus wird deutlich, dass die Branchen zur Produktion von Biomasse derzeit die größte wirtschaftliche Bedeutung innerhalb der Bioökonomie in Deutschland einnehmen.

2.2.2 Produktion und Verwendung nachwachsender Rohstoffe

Im Jahr 2013 sind vorläufigen Schätzungen zufolge in Deutschland auf einer Anbaufläche von insgesamt 2,4 Mio. ha nachwachsende Rohstoffe angebaut worden, was 12,8 % der landwirtschaftlichen Gesamtfläche Deutschlands entspricht.²¹ Dabei waren 88 % der zum Anbau nachwachsender Rohstoffe verwendeten Fläche Energiepflanzen gewidmet, während nur 12 % der Kultivierung von Industriepflanzen diente.²²

Die in Deutschland in der stofflichen Nutzung eingesetzten Mengen an nachwachsenden Rohstoffen haben seit 1991 stetig zugenommen und schwanken seit 2007 auf relativ gleichbleibendem Niveau um 3,5 Mio. t/Jahr.²³ Den größten Teil haben hieran von der chemischen Industrie genutzte nachwachsender Rohstoffe, die seit 2007 zwischen 2,5 und 3 Mio. t/Jahr schwanken. An der insgesamt in der chemischen Industrie eingesetzten Menge an organischen Rohstoffen hatten biogene Rohstoffe 2011 mit 2,719 Mio. t/Jahr einen Anteil von 12,6 %, fossile Rohstoffe machten 87,4 % aus.²⁴ Dabei machen auch Importe einen signifikanten Teil der nachwachsenden Rohstoffbasis aus – im Jahr 2009 wurden für die gesamte stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland ca. 15 % der mengenmäßig eingesetzten

19 Biobasierte Wirtschaft hier definiert als biobasierte Rohstofferzeugung + Dienstleistungen + Handel (vgl. Efken et al. 2012).

20 Vgl. Efken et al. 2012.

21 Vgl. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. 2014.

22 Vgl. *ibid.*

23 Vgl. *ibid.*: 6.

24 Vgl. *ibid.*

Rohstoffe importiert, in der chemischen Industrie lag der Importanteil bei etwa 60 %.²⁵

2.2.3 Endprodukte

Die traditionelle stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen erlebt geradezu eine Renaissance. So sind 15 % der Neubauten in Deutschland heutzutage Holzhäuser.²⁶ Hauptsächlich werden Holzrohstoffe zu Sägeprodukten, Holzwerkstoffen sowie Holzschliff und Zellstoff verarbeitet sowie ferner zu Sperrholz, Furnier und neuen Holzprodukten wie WPC. Diese finden bspw. Verwendung beim Innenausbau von Gebäuden oder als Möbel. Darüber hinaus werden in der deutschen Automobilproduktion jedes Jahr rund 100.000 Tonnen Naturfasern wie Hanf und Leinen in Autos verbaut, vorrangig bei der Innenraumausstattung, aber auch z. B. im Unterboden.²⁷ Weitere Anwendungsbereiche für Naturfasern bestehen bspw. in der Herstellung von Naturstoffkompositlaminaten, die für Hausbau oder anderweitige Konstruktionen verwendet werden können.²⁸

Die zunehmende Nutzung von Holzrohstoffen in der chemischen Industrie bringt weitere, teils innovative Endprodukte, hervor. So gibt es bereits Produkte aus unterschiedlichen Biokunststoffen oder sie stehen kurz vor der Markteinführung: sowohl Spielzeug, Sportartikel, Drogerie-Artikel, Garten- und Hobby-Artikel und Artikel wie Einkaufstüten, Luftpolstertaschen oder Versandhüllen sind hier zu nennen.²⁹

Eine hohe Nachfrage nach Biokunststoffen besteht im Bereich von Verpackungen für ökologisch erzeugte Lebensmittel, aber auch für Premium- und Markenprodukte mit besonderen Ansprüchen.³⁰ Das weltweit stärkste Wachstum für Biokunststoffe wird in den Marktseg-

25 Vgl. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2009.

26 Vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2014b: 21.

27 Vgl. *ibid.*

28 Vgl. C3Technologies 2015.

29 Vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2014b. Eine klare Unterscheidung von Biokunststoffen aus nachwachsenden Agrarrohstoffen oder aus Holzrohstoffen gestaltet sich in der Praxis schwierig, da bspw. PE zur Herstellung von Endprodukten sowohl aus Zucker und Stärke aus Agrarrohstoffen als auch Zellulose aus Holz gewonnen werden kann.

30 Vgl. European Bioplastics 2012: 2.

menten Flaschen (vorrangig aus Bio-PET 30), Verpackungen inklusive Taschen, technische Anwendungen inklusive Automobile, Catering, Verbraucherprodukte, Gartenbau- und Landwirtschaft, Pharmazie und Medizin sowie Baugewerbe prognostiziert.³¹

Auf der Seite der Konsumentinnen und Konsumenten trifft dies grundsätzlich auf Interesse. Laut Umfragen zu biobasiertem Wirtschaften versuchen 27 % der Bürger*innen, auf Produkte zu verzichten, die Erdöl oder andere fossile Rohstoffe enthalten. Darüber hinaus sind 41 % der Verbraucher*innen dazu bereit, für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen und den Verzicht auf fossile Rohstoffe mehr Geld auszugeben. Dennoch besteht weiterhin Informationsbedarf: Mehr als die Hälfte der Verbraucher*innen wünscht sich, besser über die Bestandteile von Alltagsprodukten informiert zu werden.³²

2.2.4 Sekundärrohstoffe: Rohstoffpotenziale für die Bioökonomie

Das Konzept der Bioökonomie orientiert sich an natürlichen Stoffkreisläufen. Für die praktische Umsetzung der Bioökonomie setzt das eine effiziente Sekundärrohstoffnutzung voraus, die durch eine gut funktionierende Kreislaufwirtschaft mit Kaskadennutzung und Kuppelproduktion ermöglicht werden kann. Der Verbleib verschiedener Abfallarten zeigt auf, welche Sekundärrohstoffpotenziale sich daraus für die Bioökonomie ergeben können.

Es zeigt sich, dass im Bereich der Sekundärrohstoffe durchaus Rohstoffpotenziale für die Bioökonomie bestehen, obwohl diese derzeit teilweise nur gering sind. So lange es »Abfälle« gibt, die statt einer stofflichen oder energetischen Verwertung lediglich der Beseitigung zugeführt werden, wird weiterhin ein Defizit bezüglich Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft bestehen. Dennoch stellt sich die Frage, wie diese Potenziale im Sinne der Bioökonomie mobilisiert werden können, um einerseits Kreisläufe zu schließen und andererseits Primärrohstoffe einzusparen, was auch die Akzeptanz der Bioökonomie bei Verbraucher*innen erhöhen kann.

31 Vgl. European Bioplastics 2012.

32 Vgl. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2012.

3. Ökonomische Grundfragen der Bioökonomie

Die Herausforderungen für die zukünftige Gestaltung der Bioökonomie betreffen in erster Linie gesellschaftliche Aushandlungsprozesse über den Transformationsprozess. Bei diesen Überlegungen müssen auch ökonomische Grundfragen aufgegriffen werden. Dazu wird nachfolgend aus einer allokationstheoretischen Perspektive der Weg von der fossil basierten Durchflussökonomie hin zur biobasierten Kreislaufwirtschaft diskutiert. Daraufhin werden volkswirtschaftliche Mehrwerte der Bioökonomie erörtert sowie mögliche Nachhaltigkeitsprobleme der Bioökonomie diskutiert, bevor Ansatzpunkte zur Sicherung der Nachhaltigkeit der Bioökonomie untersucht werden.

3.1 Von der Durchflussökonomie hin zur biobasierten Kreislaufwirtschaft – eine allokationstheoretische Perspektive

Aus ökonomischer Sicht kann die Organisation der Bioökonomie als allokationstheoretisches Problem beschrieben werden. In den verschiedenen Wertschöpfungsstufen treffen eine Vielzahl von interagierenden Akteur*innen Allokationsentscheidungen, die von marktlichen und politischen Rahmenbedingungen beeinflusst werden. Dabei treten vielfältige Nutzungskonkurrenzen um knappe Ressourcen auf, wozu erschöpfliche und erneuerbare Primärrohstoffe ebenso gehören wie Investitionskapital oder hinreichend ausgebildete Arbeitskräfte (vgl. Abb. 1).³³ Effizienz und Nachhaltigkeit bilden dabei – je nach Diskurskontext – zwei zentrale normative Kriterien, die allgemein hin an das Allokationsergebnis gestellt werden: Effizienz zielt dabei darauf ab, knappe Ressourcen nutzenmaximierend einzusetzen bzw. Ressourcenverschwendung zu vermeiden, während Nachhaltigkeit u. a.

33 So stellen sich im Bereich der Primärproduktion etwa die Fragen, welche Art von Biomasse auf welchen Flächen erzeugt wird und welchen Verwendungsarten die erzeugte Biomasse zugeführt wird. Im Falle von Holz ist zwischen der materiellen Verwertung, z. B. in Form von Brettern für Möbel, der stofflichen Verwertung, z. B. zur Herstellung der wichtigen Basischemikalie Ethylen, und der energetischen Verwertung, z. B. mittels Verbrennung von Holzspliten oder -pellets, zu unterscheiden.

eine langfristige ökologische und soziale Tragfähigkeit des Wirtschaftens einfordert.³⁴

Die Erzielung eines effizienten Allokationsergebnisses wird durch eine Reihe von sog. *Marktversagen* behindert, die an verschiedenen Stellen bioökonomischer Wertschöpfungsketten auftreten. Diese sollen im Folgenden kurz dargestellt werden. Darüber hinausgehend zeigt das Kriterium der Nachhaltigkeit die Notwendigkeit auf, die Belastbarkeitsgrenzen ökologischer Systeme sowie Aspekte inter- und intragenerationaler Gerechtigkeit in die Analyse mit einzubeziehen. In Bezug auf die Bioökonomie bietet das Modell der Kreislaufwirtschaft hier wichtige Perspektiven, die daran anschließend präsentiert werden. Abschließend wird ein Ausblick auf ausgewählte Allokationsprobleme der Bioökonomie im Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft gegeben – das Auftreten von Nutzungskonkurrenzen zwischen energetischer und stofflicher Nutzung, die Gestaltung von internationaler Arbeitsteilung, und die Organisation von regionalen Clustern.

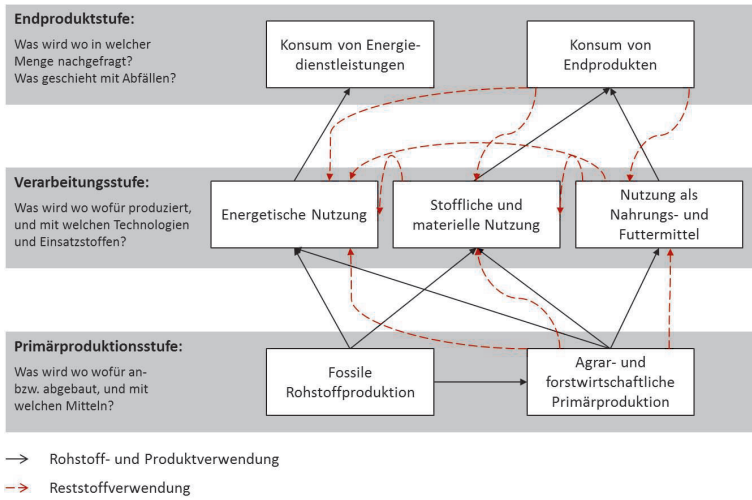


Abbildung 1: Allokationsentscheidungen und Nutzungskonkurrenzen entlang der Bioökonomie-Wertschöpfungskette (eigene Darstellung, basierend auf Purkus et al. 2012)

34 Vgl. z. B. Common / Stagl 2005.

3.1.1 Marktversagenstatbestände in der Bioökonomie

Hinsichtlich der Koordination der Allokationsentscheidungen stellt sich die Frage, wo der marktliche Preismechanismus ein effizientes und nachhaltiges Ergebnis herbeiführt, und an welcher Stelle staatliche Interventionen benötigt werden. Grundsätzlich stellen biogene Rohstoffe und Produkte private Güter dar, die einer Koordination durch Märkte zugänglich sind; in vielen Fällen handelt es sich um Äquivalenzprodukte, also Substitute von konventionell petrochemisch hergestellten Gütern. Während Marktfähigkeit also grundsätzlich gegeben ist, behindert die mangelnde Wettbewerbsfähigkeit gegenüber fossil-basierten Substituten eine umfassende Marktdurchdringung – hier stellt sich aus ökonomischer Sicht die Frage, ob dies daher rührt, dass der Einsatz nachwachsender Rohstoffe in relevanten Anwendungen (noch) nicht effizient ist, oder ob ein Marktversagen vorliegt, das den Wettbewerb zugunsten fossiler Substitute verzerrt.

Klassische Marktversagenstatbestände werden begründet durch das Vorliegen von Externalitäten, Marktmacht, und Informationsasymmetrien; in der dynamischen Perspektive können zudem strukturelle Anpassungsprobleme auftreten.³⁵

1. *Umweltexternalitäten*: Im Falle fossiler Ressourcen entstehen negative externe Effekte sowohl beim Abbau fossiler Rohstoffe (z. B. ökologische Kosten des Kohlebergbaus oder von Ölkatastrophen), bei der Konversion (z. B. Schadstoffemissionen), bei der Nutzung als Energieträger (z. B. Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen) und in stofflichen Anwendungen im Anschluss an die Endproduktverwendung (Abfallbelastung der Umwelt, ggf. Schadstoffeinträge in Ökosysteme). In allen diesen Fällen werden ökologische und soziale Kosten nur unvollständig in Marktpreisen reflektiert; Wettbewerbsverhältnisse gegenüber Substituten mit geringeren externen Effekten werden somit verzerrt. Gleichzeitig können jedoch auch bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe negative Umweltexternalitäten auftreten, die es bei der Gestaltung politischer Rahmenbedingungen zu berücksichtigen gilt (Abschnitt 3.3).

35 Vgl. Fritsch 2018. Negative externe Effekte treten dann auf, wenn Wirtschaftsaktivitäten Auswirkungen auf unbeteiligte Dritte haben, die für entstehende Schäden nicht entschädigt werden; bei positiven Externalitäten erwächst Dritten ein Nutzengewinn, für den sie keine Kompensation leisten (vgl. Baumol / Oates 1988).

2. *Wissensspillover*: Investitionen in Forschung und Entwicklung und die Verbreitung innovativer Technologien sind mit positiven Externalitäten verbunden, da ein Teil des entstehenden Wissens bzw. der durch Lernkurveneffekte entstehenden Kostendegression allen Marktteilnehmern zugutekommt. Da Unternehmen sich nicht alle Erträge ihrer Investition zu Eigen machen können, fallen Investitionen in F&E und Innovation geringer aus, als volkswirtschaftlich optimal wäre.
3. *Versorgungssicherheit*: Im Bereich der Energieversorgung, die ein essenzielles Gut für weitere Wirtschaftsaktivitäten darstellt, weist die Sicherheit der Energieversorgung Charakteristika eines öffentlichen Gutes auf. Insbesondere Mineralöl und Erdgas, die mit einer hohen Anbieterkonzentration z. T. aus geopolitisch instabilen Regionen importiert werden, sind in dieser Hinsicht mit negativen Externalitäten für die Versorgungssicherheit verbunden.³⁶ Im Bereich der stofflichen Nutzung ist zu prüfen, ob Versorgungsrisiken im Rahmen von Markttransaktionen hinreichend internalisiert werden³⁷.
4. *Marktmacht*: Der Einfluss von Marktmacht auf die Wettbewerbsfähigkeit biogener Rohstoffe und Ressourcen ist zweigeteilt. Auf der einen Seite kann auf Seiten fossiler Rohstoffproduzenten ausgeübte Marktmacht einen Anreiz bieten, Substitute zu entwickeln. Andererseits könnten petrochemisch geprägte Technologieentwickler und Produkthersteller mit hohen Marktanteilen versuchen diese zu nutzen, um Eintrittsbarrieren für Konkurrenzanbieter biogener Produkte zu errichten. Falls Wertschöpfungsstufen vertikal integriert sind, könnte dies ebenfalls einen Wettbewerbsvorteil für fossile Produktionsstrukturen begründen.
5. *Informationsasymmetrien*: Zwischen Produktherstellern und Verbraucher*innen bestehen Informationsasymmetrien hinsichtlich der ökologischen und sozialen Auswirkungen, die mit der Herstellung von Produkten und der Rohstoffgewinnung verbunden sind. Dabei tritt sowohl Unsicherheit auf, ob nachwachsende oder fossile

³⁶ Vgl. Tänzler et al. 2007.

³⁷ Im Energiebereich ist der Charakter von Versorgungssicherheit als öffentliches Gut z. T. auch umstritten, wird aber damit gerechtfertigt, dass Energie Grundlage für die weitere Wirtschaft ist. Bei stofflichen Versorgungsengpässen ist dies anders, da hier nur einzelne Wirtschaftszweige betroffen wären, die sich selbst dagegen absichern können.

Rohstoffe verwendet wurden, und welche Effekte und Eigenschaften mit den verwendeten Materialien einhergehen. So können etwa biobasierte Kunststoffe so hergestellt werden, dass sie entweder biologisch abbaubar sind oder nicht; gleichwohl werden die biogene Herkunft und die biologische Abbaubarkeit oft miteinander wechselt.³⁸ Hier stellt sich die Frage, inwiefern eine bessere Kennzeichnung und Aufklärung die Wettbewerbsfähigkeit von bioökonomischen Produkten begünstigen können.

6. *Pfadabhängigkeiten*: Der Wechsel von einer fossil geprägten zu einer biogenen Produktionsstruktur ist mit erheblichen Transaktionskosten verbunden. Etwa erfordert in der chemischen Industrie eine Veränderung der Rohstoffbasis eine Anpassung der technischen Anlagen, die sehr kostspielig sein kann. Dabei können Pfadabhängigkeiten Technologieentscheidungen erheblich zugunsten bestehender Systeme verzerren – so konnten fossil basierte Technologien über Jahrzehnte von Skalenerträgen, Netzwerk- und Lerneffekten profitieren, die einen Pfadwechsel zu einer biobasierten Wirtschaft erheblich erschweren.³⁹ Neben technologische Pfadabhängigkeiten treten solche institutioneller Natur, da sich auch Institutionengefüge, Infrastruktur und Nutzerverhalten im Wechselspiel mit den dominanten, fossil-geprägten Wirtschaftsstrukturen entwickelt haben.⁴⁰

Inwieweit die beschriebenen Marktversagen im Bereich der Bioökonomie eine Notwendigkeit staatlicher Interventionen begründen und wie diese zu gestalten wären, ist eine der zentralen ökonomischen Herausforderungen. Dabei ist zu beachten, dass auch eine regulatorische Koordination von Allokationsentscheidungen durch den Staat mit Informationsproblemen und Transaktionskosten konfrontiert wird, ebenso wie mit der Eigenrationalität politischer Willensbildung.⁴¹ Unter allgegenwärtigen Bedingungen von interagierenden Markt- und Staatsversagen stellt sich für die Bioökonomie-

38 Vgl. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. 2010. Dabei bieten biobasierte Kunststoffe den Vorteil, dass sie entweder für kurzlebige Produkte genutzt und danach rasch dem Stoffkreislauf wieder zugeführt werden können oder aber bei der Herstellung für langlebige Produkte eine genauso lange Gebrauchsdauer wie vergleichbare konventionelle petrochemische Kunststoffe aufweisen.

39 Vgl. Arthur 1989; siehe auch Abschnitt 2.2.

40 Vgl. Unruh 2000.

41 Vgl. Dixit 1996.

Governance-Forschung somit die Frage, hinsichtlich welcher Allokationsentscheidungen staatliche Interventionen ein vergleichsweise vorteilhafteres – d. h. effizienteres und nachhaltigeres – Ergebnis erzielen können als der Marktmechanismus und umgekehrt.⁴²

3.1.2 Von der Durchflussökonomie hin zur biobasierten Kreislaufwirtschaft

Der Weg hin zur Bioökonomie erfordert einen Übergang von einer fossilen Durchfluss- und Senkenökonomie hin zu einer biobasierten Kreislaufwirtschaft mit spiralförmigen Wertschöpfungsketten (Abb. 2). Die gegenwärtige Durchflusswirtschaft ist von linearen Materialflüssen geprägt: Als Inputs für Produktions- und Konsumprozesse dienen überwiegend erschöpfliche, fossile Ressourcen, während Abfälle und Emissionen in die Umwelt eingeleitet werden. Eine biobasierte Kreislaufwirtschaft bietet hier eine Perspektive, die den ökologischen Grenzen sowohl der Produktions- als auch der Senkenfunktion der natürlichen Umwelt Rechnung trägt.⁴³ Dies geschieht durch 1) eine Umstellung der Ressourcenbasis auf nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien, und 2) eine Erhöhung der Ressourcennutzungseffizienz durch den Einsatz effizienterer Verfahren und Technologien, Anpassungen im Nutzerverhalten, materielle und energetische Kaskadennutzung sowie Recycling; gleichzeitig trägt 3) die Schließung von Stoffkreisläufen zu einer Entlastung ökologischer Senken bei.

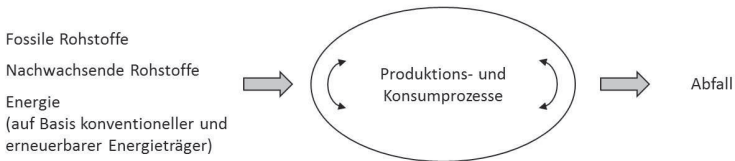
Der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft gestaltet sich allerdings als hochkomplex und ist mit zahlreichen Herausforderungen verbunden. So sind etwa technische und ökonomische Effizienz nicht immer deckungsgleich. Investitionen in technisch effizientere Technologien sind mit Opportunitätskosten verbunden und nur lohnend, wenn ihre Rendite größer und zumindest gleich der von alternativen Investitionsoptionen ist. Ein kritischer Punkt für die Durchsetzung der biobasierten Kreislaufwirtschaft ist daher, dass Preise ökologische Knappheiten kaum je korrekt widerspiegeln; solange z. B. die mit Treibhausgasemissionen oder Abfallentstehung verbundenen Kosten von der Gesellschaft getragen und gerade nicht internalisiert werden, bleiben

42 Vgl. Pannicke et al. 2015; Purkus et al. 2018; Gawel 2022.

43 Vgl. Isenmann / von Hauff 2007.

Anreize für Investitionen in verbesserte Ressourceneffizienz suboptimal. Gleichzeitig gilt es die aus technologischen und institutionellen Lock-in-Effekten resultierenden Barrieren zu überwinden. Darüber hinaus sind natürlich auch erneuerbare Energien und nachwachsende Rohstoffe mit Belastungen für Ökosysteme verbunden, und hängen in der Produktion z. T. noch selbst vom Einsatz erschöpflicher Ressourcen ab (z. B. geogene Phosphat-Düngemittelprodukte in der Landwirtschaft). Das Modell der Kreislaufwirtschaft dient daher als langfristiges Ideal mit einem graduellen Übergangsprozess. Zum Abschluss soll ein Ausblick auf ausgewählte Allokationsprobleme eines solchen Übergangs gegeben werden.

Energie- und Materialflüsse in der Durchflusswirtschaft



Energie- und Materialflüsse in der biobasierten Kreislaufwirtschaft

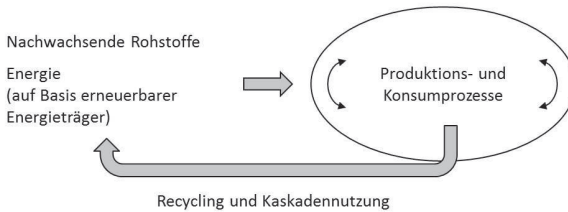


Abbildung 2: Ökonomische Charakteristika von Durchfluss- und Kreislaufökonomie (eigene Darstellung, basierend auf Graedel 1994: 25; Isenmann / von Hauff 2007: 6)

3.1.3 Allokationsprobleme der Kreislaufwirtschaft I: Energetische und stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe stellen nicht nur eine wichtige zukünftige Ressourcenbasis für die stoffliche und materielle Nutzung dar, sondern spielen auch eine bedeutende Rolle in der Transformation zu einem auf erneuerbare Energien (EE) basierenden Energiesystem. So

zeichnete sich Bioenergie 2022 in Deutschland für 52 % der gesamten erneuerbaren Endenergieproduktion verantwortlich;⁴⁴ im Stromsektor steuert Bioenergie rd. 25 % der EE-Erzeugung bei, im Wärmesektor sind es ca. 90 %, und im Verkehrssektor werden signifikante EE-Beiträge bislang nur von Biokraftstoffen geleistet. Als Biomassesubstrate dominieren derzeit Holz, Holzreststoffe, sowie nachwachsende Rohstoffe.⁴⁵ Dementsprechend wird derzeit der Großteil der in Deutschland angebauten nachwachsenden Rohstoffe energetisch genutzt – von einer Anbaufläche von 2,4 Mio. ha in 2013 waren 2,1 Mio. ha dem Energiepflanzenanbau gewidmet.⁴⁶ Dabei sind politische Rahmenbedingungen z. T. so gesetzt, dass energetische Nutzungen eine höhere Zahlungsbereitschaft aufweisen können als stoffliche oder materielle Anwendungsbereiche.⁴⁷ Gleichzeitig kann eine Präferenz energetischer Nutzungen aber auch aus Marktpreissignalen resultieren; so können für Holz abhängig von Rohölpreisentwicklungen vor allem Wärmeanwendungen hohe Preise bezahlen. Zur Entspannung von Nutzungskonkurrenzen besteht die Herausforderung daher darin, wirksame Anreize für eine verstärkte Kaskadennutzung zu setzen sowie für die Erschließung und den Einsatz von Substraten mit geringeren Nutzungskonkurrenzen, wie etwa Stroh.⁴⁸

3.1.4 Allokationsprobleme der Kreislaufwirtschaft II: Ressourcenverfügbarkeit und Importbedarf

Gegenüber einer Ausweitung von Kaskadennutzungen stellen Importe von nachwachsenden Rohstoffen eine weitere Option dar, um Nutzungskonkurrenzen um begrenzte inländische Ressourcenpotenziale zu entspannen. Der internationale Handel ist insbesondere für solche biogenen Ressourcen interessant, die eine hohe Energiedichte und eine gute kommerzielle Rentabilität aufweisen. Im Falle biogener Energieträger trifft dies etwa auf Holzpellets, Bioethanol, und Biodiesel zu, doch auch für Rohstoffe wie Pflanzenöl, Getreide, Hackfrüchte, Ölfrüchte und Zucker haben sich bedeutende internationale Märkte

44 Vgl. Umweltbundesamt 2023.

45 Vgl. Thrän et al. 2011; Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. 2014.

46 Vgl. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. 2014.

47 Vgl. Thrän et al. 2011.

48 Auch bei Stroh bestehen diverse Nutzungsansprüche, insbesondere im Bereich der (ökologischen) Tierhaltung.

entwickelt.⁴⁹ Importe von nachwachsenden Rohstoffen können gegenüber der inländischen Erzeugung von komparativen Kostenvorteilen von Exportregionen profitieren, die sich sowohl aus für den Biomasseanbau günstigen klimatischen Bedingungen ergeben können (wie z. B. längere Vegetationsperioden und höhere Biomasseproduktionsraten in tropischen und subtropischen Anbauregionen), als auch aus niedrigeren Kosten für Produktionsfaktoren wie Land und Arbeit. Gleichzeitig erschweren internationale Wertschöpfungsketten das Schließen von Stoffkreisläufen im Sinne der Kreislaufwirtschaft.⁵⁰ Dies wirft die Frage auf, wie internationale Arbeitsteilung von bioökonomischen Wertschöpfungsketten zu gestalten ist.

Eine Alternative zum Import von Grundstoffen und Zwischenprodukten wäre die Einfuhr von Endprodukten. Gleichzeitig sind Implikationen für die Versorgungssicherheit zu prüfen. Je niedriger die Verarbeitungsstufe importierter Güter, desto größer ist die Flexibilität in Bezug auf die Wahl von Exportländern, und auch in Bezug auf die weitere Verarbeitung – aus den 20 bis 30 wichtigsten organischen Grundstoffen können mehrere Hundert verschiedene Zwischenprodukte gefertigt werden, die dann zur Herstellung von mehreren Tausend verschiedenen Endprodukten zur Verfügung stehen. Die Nachhaltigkeitssicherung von Importen stellt dabei eine wichtige Herausforderung für die Governance der Bioökonomie dar (Abschnitt 3.4).

3.1.5 Allokationsprobleme der Kreislaufwirtschaft III: Regionale Clusterbildung

Neben einer Internationalisierung von Wertschöpfungsketten bildet regionale Clusterbildung eine weitere wichtige Strategie, um steigenden Nutzungskonkurrenzen zu begegnen. In der chemischen Industrie werden gegenwärtig räumlich nahe gelegene und nationale Lieferunternehmen den internationalen Lieferunternehmen bei vergleichbarem Preis lediglich zu 43 % bevorzugt,⁵¹ wobei die Wahl von Lieferunternehmen überwiegend aufgrund von Kosten- oder Qualitätsvorteilen erfolgt. In der Praxis zeigt sich, dass räumliche Nähe viele Möglichkeiten und Vorteile bietet bei unternehmensübergreifenden Inno-

49 Vgl. Thrän et al 2011; Lamers et al. 2012.

50 Vgl. Bey 2007.

51 Vgl. Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH 2012: 15.

vations-, Austausch- und Lernprozessen.⁵² Regional gekoppelte Wertschöpfungsketten sind oft eine Voraussetzung für das Schließen von Stoffkreisläufen und effiziente Kaskadennutzung, doch das Management von »industriellen Ökosystemen« mit gegenseitigen Abhängigkeiten ist mit eigenen organisationalen Herausforderungen verbunden.⁵³

3.2 Erfassung des volkswirtschaftlichen Mehrwerts der Bioökonomie

Wie können also die positiven externen Effekte der Bioökonomie internalisiert werden? Dazu stellt sich die Frage, welchen Mehrwert die Bioökonomie konkret gegenüber der fossilen Durchfluss-Ökonomie tatsächlich hat. In einer statischen Betrachtung ergeben sich Mehrwerte auf der Inputseite, auf der Verarbeitungsstufe und auf der Outputseite der Produktion.

Auf der Inputseite ergeben sich Mehrwerte durch eine biobasierte Wirtschaft in Folge der Erneuerbarkeit der eingesetzten Rohstoffe. Denn die in der konventionellen petrochemischen Industrie verwendeten fossilen Ressourcen werden immer knapper. Einerseits werden die abbauwürdigen fossilen Ressourcen immer knapper und andererseits sind die verbleibenden fossilen Rohstoffreserven immer weniger abbauwürdig (unkonventionelle Lagerstätten). Das hat zur Folge, dass immer risikoreichere, da im Ernstfall wenig beherrschbare, großtechnische Lösungen genutzt werden müssen, um die Rohstoffe abbauen zu können. Als Beispiele seien dazu die Gewinnung von Rohöl aus Ölsanden zu nennen, bei der im Durchschnitt zwei Tonnen Ölsand benötigt werden, um ein Barrel Rohöl zu gewinnen, was neben enormem Wasser- und Energieverbrauch sowie hohen Treibhausgasemissionen eine großräumige und mitunter irreparable Zerstörung der natürlichen Ökosysteme zur Folge hat.⁵⁴ Aber auch die Tiefseebohrungen, die bspw. im Golf von Mexiko im Jahr 2010 für eine Umweltkatastrophe sorgten, sind hier als Beispiel zu nennen, ebenso

52 Vgl. Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH 2012.

53 Vgl. Müller-Christ 2007; Gaida et al. 2013.

54 Vgl. Woynillowicz / Severson-Baker / Reynolds 2005.

wie Unfälle von Öltankern, wobei in den Jahren zwischen 1963 und 1996 insgesamt 686 Tanker gesunken sind.⁵⁵

Weiterhin sind die fossilen Rohstofflagerstätten in geologischen Zeiträumen von vielen Jahrmillionen gebildet worden, was zur Folge hat, dass sich große Mengen Kohlenstoff in den Lagerstätten angereichert haben, die jetzt einerseits die hohe Attraktivität der fossilen Rohstoffe begründen durch die resultierende hohe Energie- und Stoffdichte, andererseits aber auch Ursache für den Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre und den daraus resultierenden Klimawandel sind. Bei der Verarbeitung und Verbrennung von erneuerbaren Rohstoffen hingegen wird nur der Kohlenstoff genutzt oder freigesetzt, der während des Wachstums der Pflanzen aus der Atmosphäre gebunden worden ist, was zur Schließung der globalen und regionalen Kohlenstoffkreisläufe beitragen und die ökologische Nachhaltigkeit der Wirtschaft steigern kann.

Allerdings muss ökologische Nachhaltigkeit sichergestellt werden, da die Inanspruchnahme der für die Produktion der Biomasse nötigen Rohstoffe wie z. B. Boden, Wasser, Dünger und Energie mitunter sogar zu einer höheren Beanspruchung fossiler Ressourcen führen kann, was mit Hilfe von Lebenszyklus-Analysen einbezogen werden kann. Es bleibt zu beobachten, wie sich zukünftig das jeweilige Rohstoffangebot entwickeln und in den entsprechenden Rohstoffpreisen widerspiegeln wird und welche Veränderungen daraus für die Preisverhältnisse resultieren.

Auf der Verarbeitungsstufe bzw. entlang der Wertschöpfungskette können sich Mehrwerte im Zuge der Etablierung von Kaskaden- und Kuppelnutzungen in der Produktion ergeben. Indem Rohstoffe der zweiten Generation, d. h. Reststoffe der Produktion, effizient zu Neben- und Kuppelprodukten weiterverarbeitet werden, können Primärrohstoffe eingespart werden. Neben dem Schutz von Ressourcen können hier mitunter auch positive Effekte für den Schutz des Klimas erzielt werden. Momentan findet jedoch vorrangig eine energetische anstatt einer stofflichen Verwertung der Kuppel- und Restprodukte in produzierenden Unternehmen statt.⁵⁶

Auf der Outputseite ergeben sich Mehrwerte durch die ressourcenschonende Verwertung von Sekundärrohstoffen, das sind Abfälle und

⁵⁵ Vgl. Greenpeace 2007.

⁵⁶ Vgl. Oegut o. J.

Reststoffe des Gebrauchs, im Sinne der Etablierung einer Kreislaufwirtschaft im Rahmen der Bioökonomie. Damit einher geht eine Verringerung des Abfallaufkommens, das beseitigt werden muss, was ebenfalls positive Umwelteffekte mit sich bringt.

In einer dynamischen Betrachtungsweise können Mehrwerte durch die Bioökonomie in Folge von Innovationen, Lernkurven oder Preispfaden entstehen. Bei der Ermittlung von Mehrwerten der Bioökonomie sollte jedoch unterschieden werden zwischen direkten Mehrwerten der Bioökonomie und positiven Effekten, die später aus der Durchsetzung einer Bioökonomie folgen. Dazu zählen insbesondere positive Effekte bezüglich sozialer Gesichtspunkte wie Beschäftigung und regionale Wertschöpfung, aber auch die Dezentralität, sowie sich daraus ergebende Umweltaspekte bspw. in Folge kürzerer Transporte.

Tabelle 2: Mehrwerte der Bioökonomie

	Input	Verarbeitung	Output
Statisch	– Erneuerbarkeit der Rohstoffbasis – Einsparung von Primärrohstoffen durch Recycling	– Erhöhung der Ressourcennutzungseffizienz – Anpassung des Nutzerverhaltens – Kuppel- und Kaskadennutzung	– Entlastung ökologischer Senken in Folge geringerer Abfallmengen
Dynamisch	– regionale Wertschöpfung – Beschäftigung – Lernkurven (v. a. Produktivität)	– Innovationen – Dezentralität, kürzere Transporte – Netzwerke, geringere Transaktionskosten – Lernkurven (v. a. Produktivität)	– Preispfade – Lernkurven – Lernkurven (v. a. Qualität)

Das Konzept der Bioökonomie vereint Ziele aus den Bereichen Nahrungsmittelsicherheit, Energiewende, Nachhaltigkeit, Ressourcen- und Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft, regionaler Wertschöpfung, Beschäftigung und Entwicklung des ländlichen Raums, Technologieentwicklung, Innovationen und Marktführerschaft. Diese heterogenen Ziele können mit Hilfe gut ausgestalteter Rahmenbedingungen zwar adressiert werden und zu entsprechenden Mehrwerten beitragen. Dennoch ergeben sich auch konkrete Konflikte und Herausfor-

derungen für die Nachhaltigkeit, die speziell zu adressieren sind (3.3).

3.3 Nachhaltigkeitsherausforderungen der Bioökonomie

Neben den Mehrwerten können sich durch die Bioökonomie auch erhebliche Umweltprobleme und Nachhaltigkeitsdefizite ergeben.⁵⁷ Die zunehmende Nutzung des Rohstoffes Buchenholz beispielsweise als Substitut für den Einsatz fossiler Energieträger hat zur Folge, dass zwar die lokalen Wirtschaftskreisläufe gestärkt werden, aber auch dass der Wald mehr und mehr als Wirtschaftsobjekt und weniger als Erholungs- beziehungsweise Naturschutzraum genutzt werden kann. Zudem sind insbesondere Buchen ein klimarelevantes Gehölz, zum einen, weil die Wälder durch ihren Anbau robuster und weniger anfällig für Schädlinge, Waldbrände und Extremwetterereignisse werden, zum anderen aufgrund ihrer hohen Kohlenstoff-Speicherkapazität. Dieses Beispiel lässt sich um viele Facetten erweitern, soll aber zumindest die Konfliktlinien aufzeigen.

In Deutschland wurden und werden zunehmend mehr Flächen unter Schutz gestellt, was eine Bewirtschaftung der Flächen und der Nutzung darauf erzeugter Biomasse teilweise oder ganz ausschließt. Darüber hinaus steigt die Größe der für Infrastruktur und Bebauung versiegelten Flächen kontinuierlich an. Dementsprechend verringert sich das Flächenpotenzial zur Produktion von Biomasse zunehmend. Das hat zur Folge, dass auf den immer weniger werden Flächen zunehmend mehr produziert werden muss, um ein konstantes Produktionsniveau zu gewährleisten oder die Produktion zu steigern. Vor dem Hintergrund zunehmender Nachfrage nach Biomasse jeglicher Art ist eine Steigerung der Produktionsmenge und -intensität zu erwarten, nicht nur in Deutschland und Europa, sondern weltweit.

Mit einer Intensivierung der Biomasseproduktion ergeben sich etliche Umwelteffekte und Nachhaltigkeitsherausforderungen, die jedoch in Deutschland und Europa mit einem etablierten Institutionengerüst sowie einem eingespielten Rechtsrahmen und entsprechenden Schutzgesetzen eingrenzen lassen. Allerdings bestehen in

57 Vgl. Gawel / Pannicke / Hagemann 2019; Lanzerath et al. 2022.

Konsequenz des zunehmenden Nachfragedrucks nach nachwachsenden Rohstoffen zunehmend Zweifel daran, ob die Schutzgesetze und Bestimmungen in Deutschland und der EU noch effektiv genug sind bzw. ob diese mit der notwendigen Effizienz umgesetzt werden.⁵⁸ Gleiches gilt für Standards für Importe, insbesondere aus Entwicklungs- und Schwellenländern: nicht nur das Vorhandensein der Schutzgesetze ist entscheidend, sondern vor allem deren Implementierung und konsequente Umsetzung. Die gravierenden Nachhaltigkeitsprobleme der Bioenergie⁵⁹ können hier als Menetekel gelten.

3.3.1 Knappheiten

Sich entwickelnde oder verschärfende Knappheiten in Folge der Intensivierung der Biomasseproduktion betreffen neben den nachwachsenden Rohstoffen selbst die für die Herstellung der Biomasse benötigten Produktionsfaktoren, was gerade bei der Hochskalierung in den industriellen Maßstab berücksichtigt werden sollte. Neben der zu erwartenden Verknappung des Flächenpotenzials zur Erzeugung von Biomasse – in Folge von Meeresspiegelanstieg, zunehmender Weltbevölkerung, Bodenversiegelung und der Unterschutzstellung von Flächen – ist auch durch verschiedene Formen der Bodendegradation, z. B. durch Erosion, Humusverluste, Verwüstung oder Versalzung eine Verringerung der Bodenproduktivität möglich. Weitere Knappheiten ergeben sich im Bereich Wasser, z. B. für Bewässerung und Trinkwasserbereitstellung sowie im Bereich der Düngemittel. Zum einen werden die geogenen Reserven zur Herstellung von Düngemitteln knapper, zum anderen sind die verbleibenden Reserven zunehmend mit Schwermetallen wie Cadmium oder Uran verunreinigt. Darüber hinaus besteht das Risiko einer Verknappung von Biodiversität und genetischer Diversität, insbesondere nach Nutzung von gentechnisch veränderten Pflanzen oder in Folge agrarindustrieller Produktion. Das führt nicht nur zur Einschränkung der natürlichen Artenvielfalt und der damit verbundenen Ökosystemdienstleistungen, sondern auch zu einer Verringerung der Vielfalt an Nahrungsmitteln. Grundsätzlich können sich mit der internationalen Arbeitsteilung in der Bioökonomie diverse

58 Vgl. Sachverständigenrat für Umweltfragen 2007.

59 Vgl. Gawel 2011; Purkus 2016.

Ressourcen in den Ländern verknappen, die diese erzeugen und exportieren, so dass diese Ressourcen für die inländische Nutzung verloren gehen.

3.3.2 Effizienzverluste

Ebenso ist es möglich, dass die gegebenen Produktionsfaktoren nicht effizient eingesetzt werden, was zu Effizienzverlusten führen kann. Im Sinne der Effizienz gilt einerseits das Prinzip, bei gegebener Ressourcenausstattung den Nutzen zu maximieren und damit die Ressourcen optimal zu nutzen. Andererseits gilt es, bei gegebenem Nutzen den Ressourcenverbrauch so weit wie möglich zu verringern.

Bereits bei der Nutzung bzw. Bewirtschaftung von Flächen können Effizienzverluste entstehen, z. B. durch eine fehlende Anpassung an individuelle Standortfaktoren, was sich in der Auswahl nicht optimal geeigneter Kulturpflanzen oder Anbausysteme niederschlägt, woraus Ertragsseinbußen und auf langfristige Sicht Bodendegradation resultieren können. Weiterhin erhöht sich in Folge einer zunehmenden Biomasseproduktion der Wasserverbrauch. Effizienzverluste können zum Beispiel Folge von nicht optimal gewählten Bewässerungsverfahren sein, wobei dabei die Kosten für die Bewässerungsanlagen zu bedenken sind. Andererseits sind bei unzureichender Bewässerung Ertragsseinbußen oder Ernteausfälle zu erwarten.

Auch bezüglich der Nährstoffversorgung der Pflanzen sind Effizienzverluste möglich. Einerseits sind bei mangelhafter Nährstoffversorgung Ertragsseinbußen zu erwarten, andererseits riskiert Überdüngung Nährstoffineffizienz z. B. dadurch, dass Nährstoffe wie bspw. Nitrat aus dem Boden ausgewaschen werden oder Nährstoffe wie Phosphat im Boden fixiert werden und somit den Pflanzen nicht zur Verfügung stehen. Weiterhin können auf oder in den Boden eingebrachte Schadstoffe zu Ertragsseinbußen und damit zu Effizienzverlusten führen. Zudem sind Ineffizienzen aus der Organisation der Produktionsprozesse möglich. Zum Beispiel stellt sich die Frage, welche Betriebsgrößen und Zusammenschlüsse und welcher Grad der Zentralisierung von Wertschöpfungsstufen im Sinne der *economies of scale* die effizienteste Wertschöpfung in der Bioökonomie ermöglichen können. Jedoch stellt sich in diesem Zusammenhang auch die Frage, inwiefern die Marktmacht großer Marktakteure den Marktzutritt kleinerer Unternehmen behindern kann.

3.3.3 Ökologische Folgelasten

Um die steigende Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen decken zu können, sind insbesondere in Entwicklungsländern Landnutzungsänderungen und Landnutzungsintensivierungen wahrscheinlich. Dabei besteht bei mangelnden Standards und Zertifizierungen das Risiko der Übernutzung der natürlichen Ressourcen. Daraus resultieren nicht nur (Zer-)Störungen von Ökosystemen und Landschaft, sondern auch Verluste der Biodiversität. Mit dem Export von Wasser und Nährstoffen im Produkt können natürliche Kreisläufe gestört werden. Das führt zu Beeinträchtigungen des Landschaftswasserhaushalts, der sich in regionalen Wasserkreisläufen und Mikroklima widerspiegelt, über Wasserspiegelabsenkungen, sowohl in Grund- als auch in Oberflächengewässern, bis hin zu Verschlechterungen der Gewässerqualität durch Eutrophierung oder eine minimierte Artenzusammensetzung.

Weiterhin ergeben sich daraus Veränderungen für den Nährstoffhaushalt bis hin zu Nährstoffdefiziten und einer Verringerung der Bodenfruchtbarkeit. Weitere negative Konsequenzen der Nutzungsintensivierung von Böden bestehen bspw. in einer zunehmenden Bodenverdichtung, einer verringerten Artenzusammensetzung der Bodenlebewesen oder einer zunehmenden Kontamination der Böden im Zuge der Düngung. Darüber hinaus entsteht mit der Nutzungsintensivierung von nachwachsenden Rohstoffen und dafür nötiger Produktionsfaktoren ein höherer Energieverbrauch. Ob Energie aus fossilen oder regenerativen Energieträgern genutzt wird, es folgen ökologische Konsequenzen wie bspw. die Verstärkung des Klimawandels. Dieser könnte zusätzlich verschärft werden, indem einerseits, resultierend aus der Bewirtschaftungsintensivierung, zusätzliche stickstoffbasierte Treibhausgasemissionen aus Böden entweichen, andererseits durch sinkende Aufnahmekapazitäten für CO₂ in Folge der Landnutzungsänderungen von Wald zu Landwirtschaft. Die diversen Auswirkungen des Klimawandels wie Erderwärmung oder Anstieg des Meeresspiegels können sich demnach ebenfalls weiter verstärken und die zur Verfügung stehenden Produktionsfaktoren, insbes. Land und Wasser, weiter minimieren.

Schließlich kann auch der bloßen Existenz der Natur ein Wert zugemessen werden, nicht nur den von ihr erbrachten Dienstleistungen und Funktionen als Produktionsfaktoren. Aufgrund der zu-

nehmenden Ökonomisierung von Biomasse, wie sie mit der Nutzungsintensivierung von nachwachsenden Rohstoffen im Zuge der Bioökonomie einhergeht, besteht das Risiko, das Vorhandensein von »ungenutzten« Naturräumen zu gefährden und Ökosysteme irreversibel zu verändern, wie es sich bspw. bei der Entwaldung von Regen- und Urwäldern oder der Trockenlegung von Sümpfen beobachten lässt.⁶⁰

3.3.4 Soziale Folgelasten

Die Verknappung von Ressourcen wie Land, Wasser, Saatgut, Dünger und Energie führt zu einem Anstieg der Preise dieser Produktionsfaktoren, was wiederum zu einem finanziellen Ausschluss ärmerer Bevölkerungsgruppen führen kann. Gleiches gilt für Endprodukte: sowohl Lebens- als auch Futtermittel, Baumaterial und Energieträger etc. werden sich im Zuge dieser Entwicklung verteuern und nicht mehr für alle Mitglieder der Bevölkerung erschwinglich sein. In Folge des Nachfragedrucks und der höheren Zahlungsbereitschaft in den Importländern ist es möglich, dass in den produzierenden Ländern die Nachfrage nach heimischen Ressourcen nicht mehr ausreichend gedeckt werden kann. Das kann zu Verteilungskonflikten führen.

Weiterhin ist es möglich, dass Bevölkerungsgruppen auf rechtllichem Weg von der Nutzung von Ressourcen ausgeschlossen werden. Grundsätzlich stellt sich die Frage nach unterschiedlichen regionalen und sozialen Ausgangs- und Zugangsvoraussetzungen zu Ressourcen. Mit der Intensivierung der Biomasseproduktion, insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern, geht häufig die Störung traditioneller Besitzverteilungen und Nutzungsformen einher. Damit können entweder die Lebens- und Wirtschaftsgrundlagen einzelner Bevölkerungsgruppen in den Produzentenländern gestört oder sie können in deren Nutzung beschränkt werden.

60 Vgl. Gottwald / Krätzer 2014.

3.4 Sicherung einer nachhaltigen Bioökonomie

3.4.1 Überblick

Durch eine Anpassung des institutionellen Rahmens und der Governance-Strukturen können die oben aufgezeigten Konflikte – wenn auch nicht vollständig – durch die Schaffung von Strukturen und Instrumenten, welche diese Konflikte adressieren, reduziert werden.⁶¹ *Governance* kann definiert werden als »the exercise of economic, political and administrative authority to manage a country's affairs at all levels. It comprises the mechanisms, processes and institutions through which citizens and groups articulate their interests, exercise their legal rights, meet their obligations and mediate their differences«⁶². Mit Hilfe von Governance können komplexe Systeme von Beziehungen und Regeln, die Ressourcen managen und verteilen sollen, konzeptionalisiert werden.⁶³ Bioökonomie-Governance kann auf verschiedenen Ebenen stattfinden wie beispielsweise der europäischen, nationalen oder auch auf der regionalen Ebene. Im Falle der Bioökonomie bietet es sich zudem an, die Strukturen entlang der Wertschöpfungskette vom Rohstoff, über Zwischen- und Endprodukte sowie die Reststoffverwertung zu analysieren. Es können aber auch Angebots- und Nachfrageseite thematisiert und Diskrepanzen analysiert werden.

Die Governance der Nachhaltigkeit stellt sich als zentrales Handlungsfeld innerhalb der Governance der Bioökonomie dar, um einen Ausgleich zwischen verschiedenen Interessen zu schaffen. Bei der Sicherung der Mehrwerte der Bioökonomie geht es zentral darum, die Wettbewerbsfähigkeit der Bioökonomie zu sichern bei gleichzeitiger Internalisierung sozialer und ökologischer Kosten, sodass diese in den Preisen zum Ausdruck kommen und nicht unberücksichtigt bleiben. Dies soll sicherstellen, dass nicht etwa biobasiertem Wirtschaften »um jeden Preis« zum Durchbruch verholfen wird.

Die zentrale Fragestellung lautet, inwiefern politische Rahmenbedingungen so gestaltet werden können, dass sie die Transformation auf dem Weg hin zu einer vernetzten rohstoffeffizienten Bioökono-

61 Siehe hierzu auf der Basis einer Szenarienanalyse Hagemann et al. 2016.

62 United Nations 2012: 3.

63 Vgl. Hill 2013.

mie begünstigen können. Dies gilt für die Primärrohstoffe ebenso wie für die Rohstoffe der zweiten Generation als auch für Sekundärrohstoffe. Denn insbesondere für diese gilt, dass nicht die einfache energetische Verwertung von Reststoffen anzustreben ist, sondern »[...] Nutzungspfade mit einem höheren Wertschöpfungspotential [...] zu bevorzugen (sind). Dies gilt insbesondere für eine möglichst hochwertige Nutzung von Rest- und Abfallstoffen. [...] Wo möglich und sinnvoll, ist die Kaskaden- und Koppelnutzung von Biomasse zu realisieren. Nutzungskaskaden und intelligente Verknüpfung von Wertschöpfungs- bzw. Prozessketten können die Ressourceneffizienz verbessern, mögliche Konkurrenzen der Nutzung entschärfen und Innovationspotenziale erschließen.«⁶⁴ Es stellt sich die Frage, inwiefern für Unternehmen Anreize geschaffen werden können, die zu einer hochwertigeren Verwertung von Reststoffen anstatt zu einer reinen Abfallbeseitigung führen.

Die Steuerungsinstrumente zur Adressierung der oben skizzierten Herausforderungen können verschiedene Funktionen erfüllen. So kann versucht werden, Produkte oder Verfahren zu fördern, wie beispielsweise die Nutzung von Substituten fossiler Rohstoffe (Ermöglichungsfunktion). Ein anderer Weg der Sicherung der Bioökonomie kann aber auch sein, die Nutzung fossiler Rohstoffe zu erschweren bzw. einzuschränken (beschränkende Funktion).

3.4.2 Ermöglichende Funktion

Wie oben bereits ausgeführt, wird ein zielverträglicher Pfadübergang von der fossilbasierten Durchflusswirtschaft hin zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise mit geschlossenen Stoffkreisläufen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe angestrebt. Aufgrund der immer noch hohen Produktionskosten von Bioökonomie-Produkten und der fehlenden Internalisierung bei konventionellen Produkten sind hohe Zahlungsbereitschaft und -fähigkeit der potenziellen Konsument*innen erforderlich, um biobasierte Produkte am Markt verkaufen zu können. Das unterstreicht die derzeitige Rolle von Bioökonomie-Produkten als Nischenprodukte. Denn die höheren Kosten der Bioökonomie-Produkte »[...] drücken aus, dass entweder mehr Humankapital (Wissen) zu ihrer Entwicklung, mehr Arbeitszeit zur

64 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2014a: 21.

Fertigung, oder mehr Aufwand zum Abbau speziell benötigter Rohstoffe fällig wird. In jedem Fall werden mehr ökonomische Transaktionen vorgenommen, die *ceteris paribus* mehr Unternehmen oder Menschen an der Wertschöpfung dieser Produkte beteiligen und daher hierzulande wie global durch Verlagerungseffekte vielfältige Rebound-Effekte generieren, die einer hinreichenden Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Naturverbrauch entgegenwirken.«⁶⁵ Es stellt sich also auch die Frage, wie Prozesse so gesteuert werden können, dass der Übergang zur Bioökonomie zielgerichtet realisiert werden kann.

Im Sinne der *Ermöglichungsfunktion* stellt sich die Frage, wie nachhaltige Nischenprodukte gefördert werden können. Die Förderung mit Hilfe von Subventionen ist nur symptomatischer Art, da hier das Gemeinlastprinzip und nicht das Verursacherprinzip zum Tragen kommt wie bei Auflagen oder Zertifikatlösungen. Erst im Laufe der Zeit werden sich Bioökonomie-Produkte als Massenprodukte etablieren können, einerseits in Folge der Senkung der Produktionskosten durch technische Entwicklung und Effizienzsteigerungen auf der Angebotsseite und andererseits als Folge einer gesteigerten Akzeptanz und Zahlungsbereitschaft auf der Nachfrageseite durch das Anerkennen von Vorteilen und Mehrwerten und einer möglichen daraus resultierenden höheren Priorisierung des Bedürfnisses nach Bioökonomie-Produkten.

Das Verursacherprinzip könnte Anwendung finden, indem die Vermeidung negativer externer Effekte aufgrund der Substitution fossiler gegen nachwachsende Rohstoffe mittels Zertifikathandel entlohnt wird. Es stellt sich die Frage, wie entsprechende Instrumente zu gestalten sind. Hier sind zum Beispiel Maßnahmen im Rahmen des CO₂-Emissionshandels denkbar oder auch eine davon unabhängige Festlegung eines Mindestanteils an nachwachsenden Rohstoffen im Produktionsprozess, der in Form eines Zertifikathandels verhandelbar ist.⁶⁶ Darüber hinaus könnte man Label vergeben, um den Konsum zu »orientieren«.

Voraussetzung dafür ist aber schon auf der Primärproduktionsstufe die nachhaltige Erzeugung der nachwachsenden Rohstoffe und die nachhaltige Bewirtschaftung der dazu erforderlichen abiotischen

65 Santarius 2012.

66 Vgl. Endres / Rübhelke 2022: 121 ff.

und biotischen Ressourcen. Diese bisher eher vernachlässigten Produktionsfaktoren gewinnen zunehmend an Bedeutung, da mit der Bioökonomie die Produktionsgrundlage gesamter Volkswirtschaften auf die natürlichen abiotischen und biotischen Ressourcen gestützt werden soll. Dementsprechend stellt sich hier die Frage, inwiefern Standards oder Zertifizierungen im Primärproduktionsbereich eine Übernutzung an den natürlichen Ressourcen verhindern oder mindern können.

3.4.3 Beschränkende Funktion

Neben der Ermöglichung nachhaltiger Bioökonomie geht es aber zugleich um die Beschränkung nicht-nachhaltiger Strukturen.⁶⁷ Die beschränkende Funktion der Nachhaltigkeits-Governance spielt daher ebenfalls eine entscheidende Rolle. Denn bei der Sicherung des Mehrwerts der Bioökonomie entstehen Knappheiten der nachwachsenden Rohstoffbasis, und es ergeben sich negative Auswirkungen auf die abiotische und die biotische Umwelt, welche angemessen internalisiert und entsprechend verringert werden sollten. Dies kann im Rahmen von Preisgestaltungen oder auf andere Weise berücksichtigt werden, z. B. durch Standards oder Verbote. Die Ansprüche an die ökologisch und sozial nachhaltige Produktion von Produkten sind in den letzten Jahren zunehmend gewachsen, parallel zum Interesse der Verbraucher*innen am Schutz der Natur.⁶⁸ Auch bei Bioökonomie-Produkten entstehen Externalitäten wie beispielsweise ein hoher Wasserverbrauch und -verschmutzung beim Holzaufschlussverfahren. Hier können Preislösungen oder ordnungsrechtliche Vorgaben Anreize schaffen, neue Technologien zu verwenden oder auf andere umweltschonendere Verfahren auszuweichen.

4. Fazit

Das Konzept der Bioökonomie wird mit einer Vielzahl politischer Ansprüche verbunden. Erwartet werden Beiträge zu umwelt- und

⁶⁷ Vgl. Gawel / Pannicke / Hagemann 2019.

⁶⁸ In Deutschland sind bspw. mehr Personen in allen Naturschutzorganisationen organisiert als in allen politischen Parteien zusammen (vgl. Statista 2024).

klimapolitischen, aber auch wirtschaftspolitischen Zielen, wie etwa zu technischem Fortschritt, Wachstum, Beschäftigung und ländlicher Wertschöpfung. Entsprechend wird intensiv debattiert, ob Bioökonomie primär als Teil einer industriepolitischen Wachstumsstrategie oder als Nachhaltigkeitstransformation zu verstehen ist sowie ob und unter welchen Bedingungen eine nachhaltige Bioökonomie realisiert werden kann.⁶⁹ Das Beispiel der Bioenergiepolitik verdeutlicht die Herausforderungen, die mit der Nachhaltigkeitssicherung einer politisch induzierten, zusätzlichen Biomassenachfrage einhergehen. Entsprechend wichtig ist es, das entstehende Politikfeld Bioökonomie explizit auf Nachhaltigkeit auszurichten. Um den Druck auf Ökosysteme zu begrenzen, sollten Innovationen zudem nicht nur bei der biobasierten Ressourcennutzung, sondern auch im Bereich Ressourceneffizienz und bei nicht-biobasierten erneuerbaren Ressourcen angereizt werden.

Bioökonomiepolitik kommt daher eine zweifache Rolle zu. Zum einen hat sie eine *Ermöglichungsfunktion* bei der Schaffung fairer Wettbewerbsbedingungen für biobasierte Prozesse und Produkte. Dies setzt die Adressierung von relevanten Marktversagenstatbeständen wie Klima- und anderen Umweltexternalitäten voraus, die den Wettbewerb zwischen fossil- und biobasierten Alternativen verzerren. Zudem gilt es, Pfadabhängigkeiten zugunsten der bestehenden, auf fossilen Ressourcen basierenden »Durchflusswirtschaft« zu überwinden. Gleichzeitig muss Bioökonomiepolitik aber auch eine *Beschränkungsfunktion* erfüllen und die Nachhaltigkeit einer erhöhten Biomassenutzung sichern.

Die Bioökonomie umfasst eine Vielzahl heterogener Biomassenutzungspfade, die sich in ihren ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen unterscheiden, zugleich aber um Ressourcen konkurrieren. Insbesondere bei innovativen Anwendungen bestehen oft Unsicherheiten, etwa in Bezug auf Kostenentwicklungen oder Treibhausgasbilanzen. Für Politikentscheidungen zugunsten bestimmter Nutzungspfade ist dies problematisch, da sie die Ausrichtung ganzer Wertschöpfungsketten und Stoffströme beeinflussen. Benötigt wird daher eine lernende Politikgestaltung, die zeitnah auf Fehlsteuerungen sowie neue Informationen reagieren kann und Unsicherheiten berücksichtigt – auch in Bezug auf nachhaltige ver-

69 Vgl. Scordato / Bugge / Fevolden 2017.

fügbare Biomassepotenziale, Politikauswirkungen auf Landnutzung und Nutzungskonkurrenzen.

Das Konfliktpotenzial zwischen einzelnen Zielen der Bioökonomie (etwa Wachstum und Umweltschutz) ist eine weitere Herausforderung der Politikgestaltung. Verschiedene Nutzungspfade versprechen unterschiedliche Zielbeiträge, so dass eine transparente Diskussion von Zielkonflikten unerlässlich ist, um Planungssicherheit für Investitionen zu schaffen. Häufige Änderungen in der Biokraftstoffpolitik verdeutlichen die Unsicherheit für Marktakteure, die sich aus einer Verschiebung politischer Schwerpunktsetzungen ergeben kann.⁷⁰ Um bei verschiedenen Akteursgruppen um Unterstützung für die Bioökonomie zu werben, kann eine unklare Zielhierarchie jedoch politisch vorteilhaft sein.

Eine Prioritätensetzung wird auch dadurch erschwert, dass die Bioökonomie unterschiedliche Politikfelder umspannt (etwa Wirtschafts-, Energie-, Umwelt- und Agrarpolitik). Bioökonomiepolitik erfordert einen hohen Grad an Koordination zwischen Politikfeldern und -instrumenten, um Wechselwirkungen berücksichtigen zu können. Aktuell sind Instrumentenmixe jedoch vorwiegend sektoral ausgestaltet, wie Beispiele der Energie-, Produkt- oder Kreislaufwirtschaftspolitik zeigen.⁷¹ Zudem müssen nationale Fördermaßnahmen für biobasierte Anwendungen Auswirkungen auf internationalen Rohstoffmärkten berücksichtigen.

Für die Gestaltung einer politikfeldübergreifenden, konsistenten Bioökonomiepolitik erweisen sich drei Bereiche als relevant: die Förderung der Bioökonomieressourcenbasis, die Förderung biobasierter Prozesse und Produkte und die Reduktion der Nutzung fossiler Ressourcen. Bei der Schaffung langfristig stabiler Rahmenbedingungen für die Entwicklung einer nachhaltigen Bioökonomie kommt der Politik eine zentrale Verantwortung zu. Dies umfasst die Förderung innovativer Technologien und Anwendungen, die konsequente Verteuerung der fossilen Konkurrenz und die Weiterentwicklung von nachhaltigkeitsorientierten Rahmenbedingungen für Biomassegewinnung und -importe. Um Unsicherheiten bezüglich der Auswirkungen einer gesteigerten Biomassenachfrage berücksichtigen zu können, ist eine lernende Politikgestaltung notwendig,

70 Vgl. Purkus / Gawel / Thrän 2017.

71 Vgl. Ludwig et al. 2015.

welche die Nachhaltigkeitssicherung ins Zentrum stellt. Eine Förderung der Substitution fossiler Rohstoffe durch Biomasse »um jeden Preis« wäre hingegen verfehlt. Die Herausbildung eines klar konturierten Politikfelds Bioökonomie sowie eines korrespondierenden, konsistenten Bioökonomie-Rechts steht allerdings noch am Anfang. Voraussetzung für ihre Entwicklung ist, dass auch eine entsprechende »politische Nachfrage« bei Wähler*innen und Interessensgruppen erkennbar wird. Nach der kritischen öffentlichen Debatte, die über Bioenergiepolitik geführt wurde, ist die Unsicherheit in Bezug auf Wähler*innen- und Konsument*innenakzeptanz jedoch hoch. Gerade eine strategische Festlegung auf das Verständnis von Bioökonomie als Nachhaltigkeitstransformation könnte dabei helfen, langfristige politische Zustimmung für das Konzept zu sichern und stabile Anreize für die Entwicklung nachhaltiger Technologien und Produkte zu setzen.

Literaturverzeichnis

- Aeschelmann, F. / Carus, M. (2015): Biobased Building Blocks and Polymers in the World: Capacities, Production, and Application – Status Quo and Trends Towards 2020. In: *Industrial Biotechnology* 11 (3). URL <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ind.2015.28999.fae?journalCode=ind> [22. Januar 2024].
- Arthur, W. B. (1989): Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. In: *The Economic Journal* 99 (394), 116–131.
- Baumol, W. J. / Oates, W. E. (1988): *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bey, C. (2007): Grenzen der Kreislaufwirtschaft. In: Von Isenmann, R. / Von Hauff, M. (Hg.): *Industrial Ecology: Mit Ökologie zukunftsorientiert wirtschaften*. München: Elsevier, 75–87.
- Bioökonomie.de (2020): Was ist Bioökonomie? URL <https://biooekonomie.de/themen/was-ist-biooekonomie> [22. Januar 2024].
- Bioökonomierat (2022): Bioökonomie: Gemeinsam eine nachhaltige Zukunft gestalten. URL https://www.biooekonomierat.de/media/pdf/arbeitspapiere/1_Arbeitspapier_des_BOER_-_Gemeinsam_eine_nachhaltige_Zukunft_gestalten.pdf?m=1701961551& [21. März 2024].
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2010): *Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft*. Bonn/Berlin.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) / Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2020): *Nationale Bioökonomiestrategie*. URL https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/7/31576_Nationale_Biooekonomiestrategie_Langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=6 [23. Januar 2024].
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2014a): *Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Wachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie*. URL <https://biooekonomie.de/sites/default/files/2016-09/npsb.pdf> [23. November 2023].
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2014b): *Neue Produkte: Aus Natur gemacht. Wachsende Rohstoffe im Alltag*. URL https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/NeueProdukteAusNaturGemacht.pdf?__blob=publicationFile&v=8 [23. November 2023].

- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (2009): Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. URL <https://www.biomasse-nutzung.de/wp-content/bilder/Aktionsplan-stoffliche-nutzung-Nachwachsende-Rohstoffe.pdf> [22. Januar 2024].
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (2012): GfK-Umfrage im Auftrag des BMELV zu biobasiertem Wirtschaften. Berlin.
- C3Technologies (2015): C3 Technologies: Produkte. URL <http://www.c3technologies.de/produkte/> [23. Januar 2024].
- Common, M. / Stagl, S. (2005): Ecological Economics: An Introduction. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dixit, A. (1996): The Making of Economic Policy: A Transaction-Cost Politics Perspective. Cambridge, MA: MIT Press.
- Efken, J. / Banse, M. / Rothe, A. / Dieter, M. / Dirksmeyer, W. / Ebeling, M. / Fluck, K. / Hansen, H. / Kreins, P. / Seintsch, B. / Schweinle, J. / Strohm, K. / Weimar, H. (2012): Volkswirtschaftliche Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland. Arbeitsberichte aus der VTI-Agrarökonomie 07/2012. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut. URL https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn051397.pdf [23. Januar 2024].
- Endres, A. / Rübbecke, D. (2022): Umweltökonomie. 5. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.
- Europäische Kommission (2012): Innovation für nachhaltiges Wachstum: eine Bioökonomie für Europa. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0060&from=DE> [21. März 2024].
- European Bioplastics (2012): Was sind Biokunststoffe? Fact Sheet. URL <https://www.yumpu.com/de/document/read/6208421/fact-sheet-european-bioplastics> [21. März 2024].
- European Bioplastics (2024): Labels for bioplastics. URL <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/standards/labels/> [21. März 2024].
- Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2010): Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie. 3. vollständig überarbeitete Auflage. Rostock.
- Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2014): Basisdaten biobasierte Produkte. Oktober 2014. Anbau, Rohstoffe, Produkte. URL <https://www.nachhaltige-beschaffung.info/DE/DokumentAnzeigen/dokument-anzeigen.html?idDocument=876&view=knbdownload> [23. Januar 2024].
- Forschungs- und Technologierat Bioökonomie (BÖR) (2009): Kompetenzen bündeln, Rahmenbedingungen verbessern, internationale Partnerschaften eingehen. Erste Empfehlungen zum Forschungs- und Technologiefeld in Deutschland. Empfehlungen des BioÖkonomieRats. Nr. 1. URL <https://idw-online.de/de/attachmentdata306.pdf> [22. Januar 2024].

- Forschungs- und Technologierat Bioökonomie (BÖR) (2010): Innovation Bioökonomie. Forschung und Technologieentwicklung für Ernährungssicherung, nachhaltige Ressourcennutzung und Wettbewerbsfähigkeit. Berlin.
- Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP (2012): Holz gänzlich in seine Bestandteile zerlegt. Presseinformation vom 02. Oktober 2012. URL <https://www.cbp.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/2012/holz-bestandteile.html> [23. Januar 2024].
- Fraunhofer-Zentrum für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB (2024): Gewinnung von Kautschuk, Latex und Inulin aus Löwenzahnwurzeln. URL <https://www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/industrielle-biotechnologie/bioprozessentwicklung/aufbereitung-von-nachwachsenden-rohst-offen-und-abfallstoffen/gewinnung-von-kautschuk-latex-und-inulin-aus-loewenzahnwurzeln.html> [21. März 2024].
- Fritsch, M. (2018): Marktversagen und Wirtschaftspolitik. Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns. 10. Aufl. München: Vahlen.
- Gaida, B. / Schüttmann, I. / Zorn, H. / Mahro, B. (2013): Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotential der deutschen Lebensmittel- und Biotechnik-Industrie. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben. URL https://www.ibbnetzwerk-gmbh.com/media/ibb/news/Reststoffpotential_Lebens-_und_Biotechnik-Industrie.pdf [23. Januar 2024].
- Gawel, E. (2011): Stoffstromanalyse und Stoffstromsteuerung im Bereich der Bioenergie. In: Beckenbach, F. / Urban, A. I. (Hg.): Methoden der Stoffstromanalyse. Konzepte, agentenbasierte Modellierung und Ökobilanz. Marburg: Metropolis, 255–283.
- Gawel, E. (2022): Governance of the Bioeconomy Using the Example of the Timber Sector in Germany. In: Thrän, D. / Moesenfechtel, U. (Hg.): The Bioeconomy System. Berlin/Heidelberg: Springer, 319–331.
- Gawel, E. / Pannicke, N. / Hagemann, N. (2019): A Path Transition Towards a Bioeconomy – The Crucial Role of Sustainability. In: Sustainability 2019 (1), 3005. URL https://www.researchgate.net/publication/333440642_A_Path_Transition_Towards_a_Bioeconomy-The_Crucial_Role_of_Sustainability [23. Januar 2024].
- Gottwald, F.-T. / Krätzer, A. (2014): Irrweg Bioökonomie. Kritik an einem totalitären Ansatz. Berlin: Suhrkamp.
- Greenpeace (2007): Öltanker. URL http://www.greenpeace-aachen.de/archiv/meere/meere_oeltanker.php [15. November 2023].
- Hagemann, N. / Gawel, E. / Purkus, A. / Hauck, J. (2016): Possible Futures towards a Wood-Based Bioeconomy: A Scenario Analysis for Germany. In: Sustainability 8 (1), 98. URL <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/1/98> [23. Januar 2024].

- Hill, M. (2013): A Starting Point: Understanding Governance. Good Governance and Water Governance. In: Dies. (Hg.): Climate Change and Water Governance. Adaptive Capacity in Chile and Switzerland. Dordrecht: Springer, 17–28.
- Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH (IW) (2012): Wertschöpfungsketten und Netzwerke. Wertschöpfungsketten und Netzwerkstrukturen in der deutschen Industrie – welche Veränderungen sind zu erwarten? Endbericht. URL https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/Studie_Wertschoepfungsketten_und_Netzwerke.pdf [23. Januar 2024].
- Isenmann, R. / von Hauff, M. (Hg.) (2007): Industrial Ecology: Mit Ökologie zukunftsorientiert wirtschaften. Heidelberg / München: Elsevier.
- Lamers, P. / Marchal, D. / Schouwenberg, P.-P. / Cocchi, M. / Junginger, M. (2012): Global Wood Chip Trade for Energy. IEA Bioenergy. URL https://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/29/2013/09/t40-global-wood-chips-study_final.pdf [21. März 2024].
- Lanzerath, D. / Schurr, U. / Pinsdorf, C. / Stake, M. (Hg.) (2022): Bioeconomy and Sustainability. Perspectives from Natural and Social Sciences, Economics and Ethics. Cham: Springer.
- Ludwig, G. / Troncke, C. / Köck, W. / Gawel, E. (2015): Der Rechtsrahmen für die Bioökonomie in Deutschland. In: Die Öffentliche Verwaltung 68 (2), 41–54.
- Müller-Christ, G. (2007): Industrial Ecology in Unternehmen: Widersprüche, Grenzen und Vertrauen. In: Isenmann, R. / von Hauff, M. (Hg.): Industrial Ecology: Mit Ökologie zukunftsorientiert wirtschaften. Heidelberg / München: Elsevier, 131–142.
- Nowicki, P. / Banse, M. / Bolck, C. / Bos, H. / Scott, E. (2008): Biobased economy. State-of-the-art assessment. Den Haag: Wageningen. URL <https://edepot.wur.nl/120739> [23. Januar 2024].
- Oegut (o. J.): Basis-Substrate aus biogenen Reststoffen zur Herstellung von Schlüsselchemikalien (Bio-Basis). URL <https://www.oegut.at/de/projekte/ressourcen/biogene-reststoffe.php> [23. Januar 2024].
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2009): The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda. Main Findings and Policy Conclusions. URL <https://web-archiv.oecd.org/2018-04-19/117971-42837897.pdf> [13. Februar 2024].
- Pannicke, N. / Gawel, E. / Hagemann, N. / Purkus, A. / Strunz, S. (2015): The political economy of fostering a wood-based bioeconomy in Germany. In: German Journal of Agricultural Economics 64 (4), 224–243.
- Pellerin, W. / Taylor, D. W. (2008): Measuring the biobased economy. A Canadian perspective. In: Industrial Biotechnology 4 (4), 363–366.
- Purkus, A. (2016): Concepts and Instruments for a Rational Bioenergy Policy. A New Institutional Economics Approach. Cham: Springer.

- Purkus, A. / Gawel, E. / Thrän, D. (2017): Addressing uncertainty in decarbonisation policy mixes – Lessons learned from German and European bioenergy policy. In: *Energy Research & Social Science* 33, 82–94.
- Purkus, A. / Hagemann, N. / Bedtke, N. / Gawel, E. (2018): Towards a sustainable innovation system for the German wood-based bioeconomy: Implications for policy design. In: *Journal of Cleaner Production* 172, 3955–3968.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Berlin: Erich Schmidt. URL https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2004_2008/2007_SG_Biomasse_Buch.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [23. Januar 2024].
- Santarius, T. (2012): Grünes Wachstum: Der Mythos ist eine Milchmädchenrechnung. In: *Zeitschrift politische Ökologie* 130, 132–135.
- Scordato, L. / Bugge, M. / Fevolden, A. M. (2017): Directionality across Diversity: Governing Contending Policy Rationales in the Transition towards the Bioeconomy. In: *Sustainability* 9 (2), 206. URL <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/2/206> [23. Januar 2024].
- Statista (2024): Mitgliederzahlen der politischen Parteien in Deutschland 1990 bis 2021. URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1140195/umfrage/entwicklung-der-mitgliederzahlen-der-politischen-parteien-in-deutschland/> [23. Januar 2024].
- Tänzler, D. / Luhmann, H.-J. / Supersberger, N. / Fishedick, M. / Maas, A. / Carius, A. (2007): Die sicherheitspolitische Bedeutung erneuerbarer Energien. Endbericht – FKZ 904 97 324. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. URL https://adelphi.de/en/system/files/mediathek/bilder/studie_ee_sicherheit.pdf [23. Januar 2024].
- Thrän, D. / Edel, M. / Pfeifer, J. / Pontika, J. / Rode, M. / Knispel, S. (2011): Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung. DBFZ-Report Nr. 4. Gh. V. Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ). URL <https://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/serien/yo/DBFZ/04.pdf> [23. Januar 2024].
- Umweltbundesamt (UBA) (2023): Erneuerbare Energien in Zahlen. URL <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#ueberblick> [23. Januar 2023].
- United Nations (UN) (2012): UN System Task Team on the Post-2015 UN Development Agenda. Governance and development. Thematic Think Piece UNDES, UNDP, UNESCO. URL http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/Think%20Pieces/7_governance.pdf [24. Januar 2024].
- Unruh, G. C. (2000): Understanding Carbon Lock-In. In: *Energy Policy* 28 (12), 817–830.

Woynillowicz, D. / Severson-Baker, C. / Reynolds, M. (2005): Oil Sands Fever. The Environmental Implications of Canada's Oil Sands Rush. Calgary: The Pembina Institute.