

UFZ Discussion Papers

Department of Economics

7/2015

Gesellschaftliche Grundfragen der Bioökonomie

**Volkswirtschaftliche Mehrwerte
und Nachhaltigkeitsherausforderungen
einer biobasierten Wirtschaft**

Nadine Pannicke, Nina Hagemann, Alexandra Purkus, Erik Gawel

April 2015

Gesellschaftliche Grundfragen der Bioökonomie: Volkswirtschaftliche Mehrwerte und Nachhaltigkeitsherausforderungen einer biobasierten Wirtschaft

Inhalt

Inhalt	1
1 Problemstellung	4
2 Der Begriff der Bioökonomie	6
3 Wertschöpfungsketten und wirtschaftliche Bedeutung der Bioökonomie	7
3.1 Struktur und Komponenten der Bioökonomie.....	7
3.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Bioökonomie	9
3.2.1 Internationaler Vergleich der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Bioökonomie.....	9
3.2.2 Produktion und Verwendung nachwachsender Rohstoffe	10
3.2.3 Produktion, Verarbeitung und Verwendung des Holzaufkommens	11
3.2.4 Endprodukte	13
3.2.5 Sekundärrohstoffe: Rohstoffpotenziale für die Bioökonomie	15
4 Gesellschaftliche, ökonomische und politische Grundfragen der Bioökonomie	18
4.1 Politische und gesellschaftliche Zielstellungen	18
4.1.1 Ziele der europäischen Bioökonomie-Politik	19
4.1.2 Ziele der deutschen Bioökonomiepolitik.....	19
4.2 Gesellschaftliche Zielstellungen	22
4.2.1 Bioökonomie im Kontext der Green-Growth-Debatte.....	22
4.2.2 Sicherung der Rohstoffbasis.....	23
4.2.3 Wertschöpfungsketten: regional vs. global.....	23
4.3 Von der Durchflussökonomie hin zur biobasierten Kreislaufwirtschaft - eine allokationstheoretische Perspektive	24
4.3.1 Marktversagenstatbestände in der Bioökonomie.....	25
4.3.2 Von der Durchflussökonomie hin zur biobasierten Kreislaufwirtschaft	27

4.3.3	Allokationsprobleme der Kreislaufwirtschaft I: Energetische und stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe.....	29
4.3.4	Allokationsprobleme der Kreislaufwirtschaft II: Ressourcenverfügbarkeit und Importbedarf.....	29
4.3.5	Allokationsprobleme der Kreislaufwirtschaft III: Regionale Clusterbildung	30
4.4	Erfassung des Mehrwerts der Bioökonomie	31
4.5	Nachhaltigkeitsherausforderungen der Bioökonomie	33
4.5.1	Verknappungen	34
4.5.2	Effizienzverluste	35
4.5.3	Ökologische Folgelasten	36
4.5.4	Soziale Folgelasten	36
4.6	Sicherung einer nachhaltigen Bioökonomie	37
4.6.1	Ansätze zur Förderung bioökonomischer Produktion (Ermöglichungsfunktion).....	38
4.6.2	Beschränkende Funktion	40
4.6.3	Nachhaltige Bioökonomie statt Bioökonomie „um jeden Preis“	40
5	Fazit	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der stofflichen und energetischen Holzverwendung in Deutschland in Mio. m ³ von 1987 bis 2015 (Mantau 2012)	13
Abbildung 2 : Aufkommen ausgewählter Kohlenstoff-reicher Abfallarten im Jahr 2011 und ihr Verbleib in Abfallentsorgungsanlagen: stoffliche, energetische Verwertung sowie Beseitigung	17
Abbildung 3: Verzahnung der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ mit relevanten forschungsbezogenen Programmen der Bundesregierung (BMBF 2010: 12).....	20
Abbildung 4: Allokationsentscheidungen und Nutzungskonkurrenzen entlang der Bioökonomie-Wertschöpfungskette (eigene Darstellung, basierend auf Purkus et al. 2012)	25
Abbildung 5: Charakteristika der Durchfluss- und der Kreislaufökonomie (eigene Darstellung, basierend auf Graedel 1994: 25; Isenmann/von Hauff 2007: 6).....	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Differenzierung von Biomasse nach Produktionssektoren sowie Wertschöpfungstiefe	8
Tabelle 2: Grobe Einteilung nachwachsender Rohstoffe in vier Verwendungsrichtungen (nach FNR 2010).....	9
Tabelle 3: Vergleich der Holzrohstoffbilanzen Deutschlands 2005 und 2010 (Mantau 2012)	11
Tabelle 4: Volkswirtschaftliche Mehrwerte der Bioökonomie in statischer und dynamischer Betrachtungsweise auf verschiedenen Wertschöpfungsstufen	33

1 Problemstellung

Mit dem noch jungen und wenig konturierten Konzept der Bioökonomie verbindet sich eine Vielzahl an politischen und sozio-ökonomischen Zielstellungen und Erwartungen. Diese umfassen die dauerhafte Sicherung der Rohstoffbasis unserer Wirtschaftsweise, den Ressourcen- und Klimaschutz, eine insgesamt nachhaltige Umgestaltung von Produktion und Konsum und zugleich eine Unterstützung der in Gang gekommenen Energiewende. Konkrete wirtschaftspolitische Ziele wie die Steigerung der regionalen Wertschöpfung und wirtschaftliches Wachstum gehören ebenfalls dazu (BMEL 2014a).

In diesem Diskussionspapier soll untersucht werden, welche Erwartungen aus gesellschaftlicher, politischer, ökonomischer und wissenschaftlicher Perspektive in die Bioökonomie gesetzt werden und welchen Herausforderungen sich eine darauf ausgerichtete Bioökonomiepolitik gegenüberstellt, insbesondere welche Zielkonflikte ggf. resultieren. Des Weiteren werden die wirtschaftliche Bedeutung der Bioökonomie dargelegt sowie volkswirtschaftliche Mehrwerte biobasierten Wirtschaftens und deren Nachhaltigkeitsherausforderungen identifiziert. Aus einer ökonomischen Perspektive werden insbesondere die Herausforderungen eines Pfadübergangs von einer auf fossilen Rohstoffen fußenden Wirtschaftsweise hin zu einer biobasierten Kreislaufwirtschaft skizziert werden.

Dabei soll hier unterschieden werden zwischen einem *deskriptiven* Konzept von Bioökonomie, das zunächst nur eine Wirtschaftsweise beschreibt, die ganz, überwiegend oder zunehmend auf biogenen Rohstoffen als Inputs beruht und damit wesentlich durch die Substitution fossiler Rohstoffe gekennzeichnet ist. Bioökonomie ist dann als spezieller Wirtschaftszweig zu verstehen, d. h. als Inbegriff jener Wirtschaftssektoren, die biogene Rohstoffe gewinnen, nutzen, verarbeiten und vertreiben.

Dem gegenüber steht ein *normatives* Konzept der Bioökonomie: Es beschreibt eine Vision einer nachhaltigen Wirtschaftsweise mit geschlossenen Stoffkreisläufen auf der Grundlage nachwachsender Rohstoffe. Mit ihm verbinden sich weitreichende Erwartungen hinsichtlich volkswirtschaftlicher Mehrwerte durch Ressourcenschonung, Kreislaufführung, Umweltverträglichkeit und regionaler Wertschöpfung. Gesamtwirtschaftlich verbinden sich mit der Vision einer Bioökonomie mithin Erwartungen (= Nachhaltigkeitsziele) hinsichtlich der Schonung nicht-erneuerbarer Ressourcen, der Erhöhung der Ressourceneffizienz, Dezentralisierung und Sicherung der Energieversorgung, der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit sämtlicher Wirtschaftsprozesse, vor allem beim Klimaschutz.

Zwischen beiden Konzepten besteht eine nicht unerhebliche Spannung, denn der Einsatz nachwachsender Rohstoffe (Bioökonomie als Substitution der Rohstoffbasis) garantiert weder per se Nachhaltigkeit aller darauf gestützten Produktions- und Konsumprozesse noch erzeugt er zwingend volkswirtschaftliche Mehrwerte gegenüber einer konventionell fossilen Ökonomie. Zugleich ist ein hochkomplexer Übergang von einer stark pfadabhängigen, fossilen Durchfluss- und Senkenökonomie hin zu geschlossenen Stoffkreisläufen mit spiralförmigen Wertschöpfungsketten unter Anspannung knapper Produktionsfaktoren zu leisten. Dieser gesamtwirtschaftliche Transformations-Prozess, den eine Bioökonomie voraussetzt, wirft zahlreiche übergreifende Fragen auf: zu möglichen Zielkonflikten, zur Sicherung der Nachhaltigkeit und marktlichen Profitabilität von Bioökonomie, zum Potenzial der Rohstoffbasis einschließlich der zu ihrer Verarbeitung benötigten Produktionsfaktoren sowie den ökonomischen und sozialen Folgen (Akzeptanz, Beschäftigung, Handelsströme, Umweltauswirkungen etc.).

Die vorliegende Schrift möchte einen Überblick über diese Herausforderungen geben. Im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung des BMBF-geförderten Spitzenclusters BioEconomy¹ werden insbesondere die Rahmenbedingungen für die Etablierung eines regionalen und forstbasierten Bioökonomie-Clusters in Mitteldeutschland untersucht, wobei Strukturen und Vorgaben auf nationaler und EU-Ebene von entscheidender Bedeutung sind. Aufgrund der Ausrichtung des Spitzenclusters BioEconomy wird in diesem Papier verstärkt Bezug auf die holzbasierte und insbesondere die forstbasierte Bioökonomie genommen. Dabei wird die Nutzung von Buchenholz zur stofflichen Verwertung fokussiert, es wird aber auch untersucht, inwiefern eine Verbreiterung der Rohstoffbasis im Bereich Non-Food-Biomasse möglich ist.

Forstbasierte Bioökonomie bezeichnet die bioökonomische Verwertung von Holz, das forstwirtschaftlich erzeugt wurde, wozu Derbholz (= Stammholz, Industrieholz) und Nicht-Derbholz (=Waldrestholz) zu zählen sind sowie Industrierestholz (inklusive Sägenebenprodukte). Dahingegen umfasst die holzbasierte Bioökonomie neben dem Forstholz zusätzlich Altholz (Sperrholz), Agrarholz aus Kurzumtriebsplantagen sowie Landschaftspflegeholz, aber auch Reststoffe aus der Papier- und Zellstoffproduktion (vgl. dazu Tab. 1).

Derzeit besteht weder in Europa noch in Deutschland eine „Bioökonomie-Politik“, die geeignet ist, den Pfadübergang hin zu einer biobasierten Ökonomie zu gestalten. Eine solche „Bioökonomie-Politik“ umfasst ein klar definiertes Politik-Konzept, das auf Transformationszielen und einer Reihe von Instrumenten für das Management des Pfadübergangs beruht. Vielmehr basiert die existierende Bioökonomie-Politik zu einem großen Teil auf politischen Strategiepapieren (s. dazu Kap. 4.1.1 und 4.1.2) und der Unterstützung von Forschung und Entwicklung für Pilotprojekte wie bspw. das Spitzencluster BioEconomy.

Obwohl politisch forciert, ergeben sich aus der Förderung der Bioökonomie zahlreiche gesellschaftliche, umwelt- und wirtschaftspolitische Herausforderungen, die das vorliegende Diskussionspapier adressieren soll. Zunächst ist dazu der Begriff der „Bioökonomie“ zu klären (Abschnitt 2). Dazu wird in einem ersten Schritt die Struktur und wirtschaftliche Bedeutung der Bioökonomie aufgezeigt, wobei der Fokus auf Deutschland gelegt wird (Abschnitt 3). Im Anschluss daran folgt eine Übersicht über die strategischen politischen Entscheidungen der vergangenen Jahre, die die Bioökonomie stärken sollten. Vor diesem Hintergrund werden die zentralen Herausforderungen von Bioökonomie-Transformation und Bioökonomie-Politik aufgezeigt sowie Ansatzpunkte einer Lösung (Abschnitt 4). Die konkrete Diskussion der einzelnen Herausforderungen (z. B. Rechtsrahmen der Bioökonomie², Governance der Bioökonomie³, Szenarienanalyse⁴, Innovationsrelevanz⁵ und Politische Ökonomie⁶) werden in weiteren Papieren aufgegriffen und bearbeitet.

¹ Das Spitzencluster BioEconomy ist spezialisiert auf die vollständige Verarbeitung von Lignocellulose, insbesondere Buchenholz (BMEL 2014a).

² Ludwig, G., Tronicke, C., Köck, W. und Gawel, E. (2014): Rechtsrahmen der Bioökonomie in Mitteldeutschland - Bestandsaufnahme und Bewertung. UFZ Diskussionspapier 22/2014. Leipzig. Unter http://www.ufz.de/export/data/global/63262_DP_22_2014_Bioeconomy1.pdf, abgerufen am 18.März 2015; Ludwig, G., Tronicke, C., Köck, W. und Gawel, E. (2015): Der Rechtsrahmen für die Bioökonomie in Deutschland. In: Die Öffentliche Verwaltung 68 (2): 41-53.

³ Gawel, E., Pannicke, N., Hagemann, N., Purkus, A. (2015): Die Governance der Bioökonomie in Mitteldeutschland, UFZ Discussion Paper (in Vorb).

2 Der Begriff der Bioökonomie

Mit dem Konzept der Bioökonomie soll der Strukturwandel von einer erdöl-basierten hin zu einer nachhaltigen biobasierten Wirtschaft ermöglicht werden, um fossile Ressourcen zu schonen (Bioökonomierat 2013). Im Zuge dessen soll eine effiziente Verwendung natürlicher Ressourcen durch Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung gestärkt werden, wobei eine Orientierung an natürlichen Stoffkreisläufen erfolgen soll (BMEL 2014a: 7; BMBF 2010: 3). Hierfür sind insbesondere Holz und Kunststoffe besonders geeignet (BT-Drs. 17/10968: 116).

Die Bioökonomie wird definiert als „[...] die wissensbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen“ (Bioökonomierat 2013). Laut Bioökonomierat findet die Bioökonomie „[...] zur Zeit insbesondere Anwendung in der Land- und Forstwirtschaft, der Energiewirtschaft, der Fischerei- und Aquakultur, der Chemie und Pharmazie, der Nahrungsmittelindustrie, der Industriellen Biotechnologie, der Papier- und Textilindustrie sowie im Umweltschutz.“ (Bioökonomierat 2013).

Die Definition des Bioökonomierats orientiert sich an den Definitionen für Bioökonomie der Europäischen Kommission (vgl. Bioökonomierat 2009: 7) und der OECD (2009). Diese Definition wird deutschlandweit weitgehend 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 (Efken et al. 2012): Hier wird die biobasierte Wirtschaft als biobasierte Rohstoffherzeugung inklusive Dienstleistungen und Handel definiert. Diese Herangehensweise orientiert sich an Definitionen, die weniger in Deutschland, sondern vielmehr in anderen Ländern genutzt werden, bspw. in den Niederlanden (Nowicki 2008) oder in Kanada (Pellerin/Taylor 2008).

Die Definition der Bioökonomie durch den Bioökonomierat ist im Wesentlichen deskriptiver Art, wobei die betreffenden Wirtschaftszweige und -sektoren benannt werden. Demgegenüber wird die Definition vom Spitzencluster BioEconomy um den Cluster-Aspekt erweitert, indem die Zusammenarbeit der verschiedenen Wirtschaftssektoren untereinander betont wird, was die Schließung von bestehenden Stoffketten zu Stoffkreisläufen begünstigen soll.

Das Spitzencluster BioEconomy definiert den Begriff Bioökonomie wie folgt: „Die Bioökonomie umfasst alle wirtschaftlichen Sektoren, die biogene Ressourcen mit physikalischen, chemischen und bio-technologischen Verfahren veredeln, um Vor-, Zwischen- und Endprodukte herzustellen. Die Bioökonomie umfasst damit eine Vielzahl von Branchen, die bisher eher separat betrachtet wurden, die aber aufgrund des gemeinsamen Rohstoffes ‚Biomasse‘ zunehmend eng miteinander verzahnt sind.“ (Spitzencluster BioEconomy 2014). Dieser Bioökonomiebegriff ist damit faktisch ein Branchenbegriff, der um biogene Ressourcen bzw. um Biomasse herum zentriert ist.

⁴ Hagemann, N., Gawel, E., Purkus, A., Pannicke, N., and Hauck, J. (2015): Possible futures towards a wood-based bioeconomy: A scenario analysis for Germany, forthcoming.

⁵ Dazu befindet sich ebenfalls ein UFZ-Diskussionspapier in Vorbereitung.

⁶ Pannicke, N., Gawel, E., Hagemann, N., Purkus, A. and Strunz, S. (2015): The political economy of fostering a wood-based bioeconomy in Germany, forthcoming.

Der Begriff Bioökonomie setzt sich dabei aus den Teilen „Bio“ und „Ökonomie“ zusammen, was darauf hindeutet, dass die auf einer fossilen Rohstoffbasis basierenden etablierten ökonomischen Strukturen modifiziert werden sollen in Richtung auf eine biogene Rohstoffbasis. Demzufolge werden die Begriffe „Biobasierte Wirtschaft“ oder „Grüne Chemie“, aber vereinzelt auch „Green Growth“ teilweise nahezu synonym für den Begriff der „Bioökonomie“ verwendet (vgl. Science Campus Halle 2014, Bioökonomierat 2011: 12, Bioökonomierat 2012: 6).

In den Niederlanden und anderen Ländern⁷ wird mitunter eine Abgrenzung zwischen den Begriffen „Bioökonomie“ und „biobasierte Ökonomie“ vorgenommen, wobei die „biobasierte Ökonomie“ nur die biobasierten Industrien umfasst, die Chemikalien, Kunststoffe, Pharmaka oder Energie produzieren. Die „biobasierte Ökonomie“ ist danach wiederum eingebettet in eine weiter gefasste „Bioökonomie“, die neben der stofflichen und energetischen Verwertung von Biomasse auch deren Nutzung als Nahrungs- und Futtermittel beinhaltet (Netherlands Enterprise Agency 2013). In Deutschland und anderen Ländern ist diese Differenzierung nicht gebräuchlich. Aufgrund von Unschärfen bei der Abgrenzung beider Begriffe werden nachfolgend beide Begriffe weiterhin als Synonyme verwendet.

3 Wertschöpfungsketten und wirtschaftliche Bedeutung der Bioökonomie

Der engere deskriptive Begriff der Bioökonomie stellt auf ein Branchenkonzept rund um biogene Ressourcen ab (vgl. Abschnitt 2). Weitergehende Ziele einer umfassend nachhaltigen Wirtschaftsweise mit geschlossenen Stoffkreisläufen auf der Grundlage nachwachsender Rohstoffe bleiben einstweilen eine Herausforderung. Im nachfolgenden Abschnitt werden daher zunächst der derzeitige Stand und die Charakteristika der Bioökonomie – vorwiegend auf Deutschland bezogen – strukturiert dargestellt. Dabei wird insbesondere die Bedeutung der nachwachsenden Rohstoffe in der chemischen Industrie erörtert werden. Daran anschließend folgt eine knappe Würdigung der wirtschaftlichen Bedeutung der Komponenten und Branchen der Bioökonomie.

3.1 Struktur und Komponenten der Bioökonomie

Die Bioökonomie lässt sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette grob in *fünf Stufen* gliedern: die Primärproduktionsstufe, die primäre Verarbeitungsstufe, die Zwischenproduktstufe, die Gebrauchs- bzw. Verbrauchsgüterstufe und die Sekundärrohstoffstufe.⁸ Die Primärproduktionsstufe wird durch die Branchen gekennzeichnet, die nachwachsende Rohstoffe produzieren, also Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Fischerei und Aquakulturen (siehe Tab. 1). Auf der primären Verarbeitungsstufe findet die erste Umwandlung (Primärraffination) der nachwachsenden Rohstoffe statt. Hier ist

⁷ Siehe z. B. Bundschuh/Chen (2014) oder NIIR Board of Consultants & Engineers (2015).

⁸ In dieser Unterteilung entspricht die Primärproduktionsstufe der Kategorie „Rohstoffe“ in der Roadmap Bioraffinerien (Bundesregierung 2012: 32), die primäre Verarbeitungsstufe der Kategorie „Primärraffination“, die Zwischenproduktstufe fasst die Kategorien „Sekundärraffination“ und „Prozesse“ der Roadmap Bioraffinerien zusammen, die Gebrauchs- bzw. Verbrauchsgüterstufe entspricht der Kategorie „Produktklassen“ sowie der Weiterverarbeitung in Endprodukte, die nicht in der Roadmap Bioraffinerien erfasst ist und die Sekundärrohstoffstufe ist ebenfalls nicht in dieser erfasst.

zwischen stofflicher und energetischer Verwertung zu unterscheiden. Bei der stofflichen Verarbeitung werden in der Regel zunächst Rohprodukte wie Lignin und Cellulose zur Weiterverarbeitung produziert.

Auf der Zwischenproduktstufe findet die stoffliche Weiterverarbeitung der Rohprodukte zu Grundchemikalien statt. Dabei werden bspw. aus Monomeren wie Ethylen Polymere wie Polyethylen (PE) 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 Gebrauchsgüterstufe werden die zuvor hergestellten Materialien zu gebrauchsfertigen Produkten weiterverarbeitet, wie z. B. zu Autobauteilen oder Büroartikeln, Verpackungen oder Einweggeschirr (BMEL 2014b), was diverse Branchen der Gebrauchsgüterherstellung zu den zentralen Akteuren auf dieser Stufe macht. Auf der fünften Stufe folgt nach Ablauf der Nutzungsdauer von Ge- 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, hier unter Produktionsabfälle zusammengefasst. Infolge zahlreicher bestehender Nutzungsansprüche an die Primärrohstoffe, wie Nahrungs- und Futtermittelbedarf oder traditionelle industrielle Biomasse-Nutzung, ergeben sich vor allem im Bereich der Produktionsabfälle und der Sekundärrohstoffe zahlreiche Potentiale 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.

Tabelle 1: Differenzierung von Biomasse nach Produktionssektoren sowie nach Wertschöpfungstiefe

	Forstwirtschaft	Landwirtschaft	Fischzucht und Aquakultur	Fleischproduktion	Sonstiges
Primärrohstoffe	- Rohholz(Rundholz): - Stammholz, Industrieholz, ... (Derbholz)	- Getreidekörner, Maiskolben, Zuckerrüben, ...	- Fischfilet, Krabbenfleisch, ...	- Filet, Innereien, ...	- Landschaftspflegeholz & -material (z.B. Grasschnitt)
	- Waldrestholz (Nicht-Derbholz)	- Getreidestroh, Maispflanze;			- spezielle Pflanzen mit speziellen Inhaltsstoffen, z. B. Löwenzahn
		- Agrarholz (KUP)			- Algen
Produktionsabfälle	- Industrierestholz (Verschnitt, Rindenanteile, Späne, Stäube)	- Schalen, Melasse, Spelzen, ...	- Gräten, Krabbenschalen, etc.	- Knochen, Klauen, ... - Gülle, Mist	- Reststoffe aus Papier- und Zellstoffproduktion
Sekundärrohstoffe (= Abfälle)	- Altholz	- Altbrot, Essensreste, Bioabfälle, ...	- Essensreste	- Essensreste	- Klärschlamm - Reste/Abfälle aus Biotechnologie-Produktion

Nachwachsende Rohstoffe lassen sich grob in vier *Verwendungsrichtungen* einteilen (FNR 2010): Neben oleochemischen Anwendungen und Produkten wie Wasch- und Reinigungsmitteln, Schmierstoffen und -ölen sowie Lacken und Farben können aus nachwachsenden Rohstoffen Biowerkstoffe wie biobasierte Kunststoffe oder naturfaserverstärkte Werkstoffe hergestellt werden (vgl. Tabelle 2). Außerdem können nachwachsende Rohstoffe für Kohlenhydrat-basierte organische Grundchemikalien, Fein- und Spezialchemikalien und chemische Zwischenprodukte verwendet werden sowie für stoffliche Anwendungen und Produkte auf Basis verschiedener nachwachsender Rohstoffe, wie z. B. Löwenzahn⁹.

Tabelle 2: Grobe Einteilung nachwachsender Rohstoffe in vier Verwendungsrichtungen (nach FNR 2010)

1.	Oleochemische Anwendungen und Produkte	Tenside (Wasch- und Reinigungsmittel)
		Polymere und Polymeradditive, Lacke und Farben
		Schmierstoffe/-öle
2.	Biowerkstoffe	Biobasierte Kunststoffe
		Naturfaserverstärkte Werkstoffe
3.	Kohlenhydrat-basierte organische Grundchemikalien, Fein- und Spezialchemikalien, chemische Zwischenprodukte	
4.	Stoffliche Anwendungen und Produkte auf Basis von verschiedenen sonstigen nachwachsenden Rohstoffen	

3.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Bioökonomie

3.2.1 Internationaler Vergleich der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Bioökonomie

Vor dem Hintergrund endlicher fossiler Ressourcen und dem wachsenden umwelt-, insbesondere klimapolitischen politischen Druck auf fossile Inputs hat die Bioökonomie in den letzten Jahrzehnten einen Aufschwung erlebt und entwickelt sich weltweit zu einem immer bedeutsameren Wirtschaftszweig (Pellerin/Taylor 2008, Bioökonomierat 2010). In der chemischen Industrie etwa kann seit den 1980er Jahren in Folge der Ölkrisen und einem erhöhtem öffentlichem Umweltbewusstsein ein steigendes Interesse an Biokunststoffen festgestellt werden, auch wenn Produktionsstrukturen weiterhin von der etablierten fossilen Rohstoffbasis geprägt werden¹⁰. Seit dem Jahr 2000 werden biologisch abbaubare Verpackungen mit dem Kompostierbarkeitsabzeichen gekennzeichnet (EN 13432),

⁹ Einen Überblick über diverse Anwendungen und Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe gibt bspw. Fraunhofer IGB o. J.: 6.

¹⁰ Dieses äußerte sich etwa in Bewegungen wie „Jute statt Plastik“ mit Tragetaschen als Symbol (EZA Fairer Handel GmbH 2014).

seit 2007 können auch nicht der Verpackung dienende Kunststoffe, deren Kompostierbarkeit nachgewiesen wurde, per Logo gekennzeichnet werden (EN 14995, Deconinck/De Wilde 2013: 21).

Vor allem in Asien und Südamerika wurden die Produktionskapazitäten für biobasierte Materialien in den letzten Jahren stark ausgebaut (Aeschelmann et al. 2015). Aber auch in Deutschland und Europa wird die Bioökonomie weiter gefördert: So wurde bspw. 2012 die Lignocellulose-Bioraffinerie des Fraunhofer-Zentrums für Chemisch-Biotechnologische Prozesse (Fraunhofer CBP) in Leuna zur nahezu vollständigen Verwertung aller Holzbestandteile eröffnet (BMEL 2014, Fraunhofer CBP 2012).

EU-weit hat die Bioökonomie derzeit einen jährlichen Umsatz von nahezu 2 Billionen Euro und beschäftigt mehr als 22 Mio. Menschen, das entspricht 9 % der Beschäftigung in der EU (Europäische Kommission 2014). Die Bioökonomie entwickelt sich auch in Deutschland immer mehr zu einem zunehmend wichtigeren Wirtschaftszweig. Der Anteil der biobasierten Wirtschaft¹¹ 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 (Efken et al. 2012). Daraus wird deutlich, dass die Branchen zur Produktion von Biomasse derzeit die größte wirtschaftliche Bedeutung innerhalb der Bioökonomie in Deutschland einnehmen.

3.2.2 Produktion und Verwendung nachwachsender Rohstoffe

Während der Fokus des vorliegenden Papiers auf der holzbasierten Bioökonomie liegt, soll einleitend ein kurzer Überblick auch über auf Agrarflächen angebaute nachwachsende Rohstoffe gegeben werden. Im Jahr 2013 sind vorläufigen Schätzungen zufolge in Deutschland auf einer Anbaufläche von insgesamt 2.395.000 Hektar nachwachsende Rohstoffe angebaut worden, was 14,3 % der landwirtschaftlichen Gesamtfläche Deutschlands entspricht (FNR 2014, Statistisches Bundesamt 2015). Dabei waren 88 % der zum Anbau nachwachsender Rohstoffe verwendeten Fläche Energiepflanzen gewidmet, während nur 12 % der Kultivierung von Industriepflanzen diente (FNR 2014).

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 (FNR 2014: 6). Den größten Anteil 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 (FNR 2014: 7). 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 Rohstoffe importiert; in der chemischen Industrie lag der Importanteil bei etwa 60 % (BMELV 2009).

¹¹ Biobasierte Wirtschaft hier definiert als biobasierte Rohstofferzeugung sowie Dienstleistungen und Handel (Efken et al. 2012)

3.2.3 Produktion, Verarbeitung und Verwendung des Holzaufkommens

Die Waldfläche Deutschlands betrug im Jahr 2012 knapp 10,8 Mio. ha, was etwa 30 % der gesamten Bodenfläche Deutschlands entspricht. Im Zeitraum zwischen 1992 und 2013 hat sich die Waldfläche in Deutschland jährlich um durchschnittlich über 17.000 ha vergrößert (Statistisches Bundesamt 2014: 28). Die gesamten Holzvorräte auf diesen Waldflächen liegen bei 3,7 Milliarden Kubikmetern¹² (BMEL 2014c), wobei Deutschland die größten Holzvorräte in Europa besitzt (BMEL 2014b: 6).

Der Anteil des forstwirtschaftlich erzeugten Holzaufkommens in Deutschland im Jahr 2010 betrug mit 86,5 Mio. m³ etwa 64 % des Holzrohstoffverbrauchs in Deutschland, wobei die Nutzung von Waldrestholz um 45 % und sonstigem Derbholz um 26 % im Vergleich zu 2005 erheblich angestiegen ist (siehe Tab. 3). Die weiteren 36 % des Holzaufkommens in Deutschland wurden durch sonstige Holzrohstoffe gedeckt, allerdings ist dabei der Anteil schnell wachsender Hölzer aus Kurzumtriebsplantagen bisher zu vernachlässigen. Jedoch ist die Nutzung von Landschaftspflegematerial im Vergleich zu 2005 um 41 % erheblich angestiegen und die Verwertung von Altholz um 30 %, wohingegen sich das Holzaufkommen aus Reststoffen der industriellen Produktion um 3 % (Sägenebenprodukte) bis 9 % (Schwarzlauge)¹³ nur geringfügig erhöht hat. (Mantau 2012).

Tabelle 3: Vergleich der Holzrohstoffbilanzen Deutschlands 2005 und 2010 (Mantau 2012)

Aufkommen	2005 2010 Δ			2005 2010 Δ			Verwendung
	in Mio. m ³			in Mio. m ³			
Sägestammholz	37,2	37,3	0,1	37,2	37,3	0,1	Sägeindustrie
sonstiges Derbholz	29,0	36,5	7,5	19,6	16,9	-2,7	Holzwerkstoffe
Waldrestholz	5,5	8,0	2,5	10,0	10,6	0,6	Holzschliff und Zellstoff
Rinde	4,6	4,7	0,1	3,4	2,3	-1,1	sonst. stoffliche Nutzung
Landschaftspflegemat.	3,2	4,5	1,3				
Kurzumtriebsplantagen	0,0	0,0	0,0	1,2	4,6	3,4	EnergieproduktHersteller
Sägenebenprodukte	14,6	15,0	0,4				
Sonst. Ind.-Restholz	5,5	5,8	0,3	16,6	22,6	6,0	Energetisch > 1 MW
Schwarzlauge	3,3	3,6	0,3	4,9	7,2	2,3	Energetisch < 1 MW
Altholz	10,8	14,0	3,2	22,0	33,9	11,9	Hausbrand
Holzenergieprodukte	1,2	4,6	3,4	0,0	0,1	0,1	sonst. energet. Verw.
Bilanzausgleich	0,0	1,5		0,3	0,0		Bilanzausgleich
Insgesamt	115,0	135,4	20,4	115,0	135,4	20,4	Insgesamt

Je höher die Nachfrage nach Holzprodukten ist, desto höher ist das Angebot der sonstigen Holzrohstoffe. Auf Grund des weiterhin anhaltenden Trends zur energetischen Holznutzung, insbesondere in Privathaushalten, werden sonstige Holzrohstoffe in den kommenden Jahren zunehmend an Bedeu-

¹² Gemessen in Vorratsfestmetern Derbholz mit Rinde.

¹³ „Schwarzlauge ist ein Nebenprodukt der Zellstoffherstellung. Sie entsteht bei der Trennung von Lignin und Zellulose und ist ein Gemisch aus Lignin, Wasser und den Chemikalien, die für die Extraktion benutzt werden. [...] Es ist durchaus denkbar, dass Schwarzlauge künftig verstärkt auch stofflich für die Gewinnung von Chemierohstoffen genutzt wird (Biorefinery). Gegenwärtig wird jedoch davon ausgegangen, dass die Schwarzlauge vollständig energetisch genutzt wird.“ (Mantau 2012).

tung gewinnen. Insbesondere für Waldrestholz, Landschaftspflegematerial und Holz aus Kurzumtriebsplantagen wird der Ausbau von Nutzungspotenzialen diskutiert, wobei laut Mantau (2012) nennenswerte Potenzialreserven nur im Waldholz verfügbar sind und Baumholzpotentiale außerhalb des Waldes sowie Altholz mittelmäßige Potentialreserven darstellen (Mantau 2012).

Während die Mengen der Industrieresthölzer (inklusive Sägenebenprodukte, Rinde und Schwarzlaube) in Abhängigkeit der Mengen des stofflich verarbeiteten Holzes schwanken, wird das Altholzaufkommen von der Nachfrage als auch von gesetzlichen Bestimmungen wie dem Kreislaufwirtschaftsgesetz und insbesondere der Altholzverordnung determiniert. Die Altholzverordnung definiert Anforderungen für die schadlose stoffliche oder energetische Verwertung von Altholz oder schreibt bei Nicht-Erfüllung dieser Anforderungen die Beseitigung in einer dafür zugelassenen thermischen Behandlungsanlage vor. Die Nachfrage nach Altholz bestimmt auch dessen Angebot aufgrund des nach Altholzverordnung notwendigen Aufwands, wie Kontroll- und Nachweisverfahren, der für die stoffliche Verwertung des Altholzes vorgeschrieben ist, jedoch für die energetische Verwertung weit weniger streng und kostenintensiv ist und bei Beseitigung nicht notwendig ist. Mantau (2012) zufolge dürfte Altholz als Rohstoff inzwischen weitgehend mobilisiert sein (Mantau 2012: 14). Welche Anteile der Holzrohstoffe zukünftig für die stoffliche Nutzung und welche für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen oder beseitigt werden, ist von zahlreichen Faktoren abhängig, z. B. dem Verhältnis von Marktpreisen für fossile Rohstoffe, Primärrohstoffe wie Rohholz und anderen nachwachsenden Rohstoffe, gesetzlichen Bestimmungen und Fördertatbeständen sowie den Präferenzen von Produzenten, z. B. der Holzwerkstoffindustrie, und Konsumenten.

Der Anteil der stofflichen Verwertung des gesamten Holzaufkommens von 135,4 Mio. m³ im Jahr 2010 in Deutschland betrug 50,5 %, der Anteil der energetischen Verwertung 49,5 % (siehe Tab. 4). Im Jahr 2005 lag der Verbrauchsanteil der stofflichen Verwendung am gesamten Holzaufkommen in Deutschland noch bei 61 %, während der Anteil der energetischen Holznutzung lediglich 38 % betrug. Dabei blieb die stoffliche Nutzung nahezu konstant, doch die energetische Holznutzung steigerte sich erheblich. Während die energetische Holznutzung in Deutschland 1990 noch bei ca. 15 Mio. m³/Jahr lag und sich im Zeitraum von nur fünf Jahren zwischen 2002 und 2007 verdoppelte, erreichte sie 2010 bereits knapp 64 Mio. m³/Jahr und überstieg damit die Menge des stofflich genutzten Holzes, (siehe Abb. 1, Mantau 2012). Die energetische Holznutzung ist vor allem in Folge der steigenden Nachfrage privater Haushalte gestiegen. Im Jahr 2010 wurden 54 % mehr Holz in privaten Öfen und Kaminen verbrannt als im Jahre 2005. Das Holzaufkommen für Holzenergieprodukte hat sich im Zeitraum von 2005 bis 2010 fast verdreifacht (Mantau 2012).

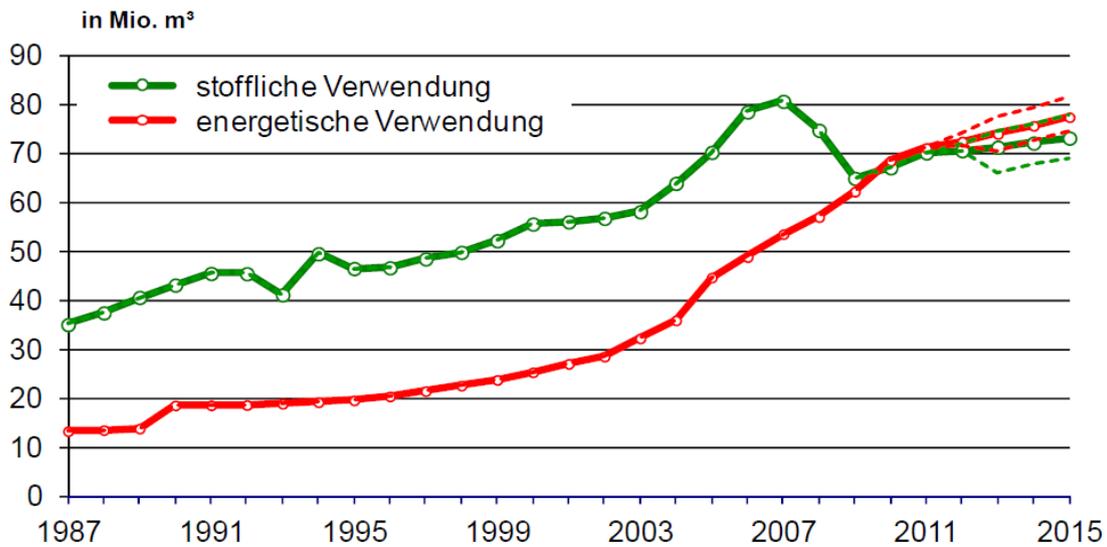


Abbildung 1: Entwicklung der stofflichen und energetischen Holzverwendung in Deutschland in Mio. m³ von 1987 bis 2015 (Mantau 2012)

Neben den drei Hauptsektoren Sägeindustrie, Holzwerkstoffindustrie sowie Holzschliff- und Zellstoffindustrie zählt auch die „sonstige stoffliche Verwendung“ zu den stofflichen Verwertern von Holzrohstoffen. Unter sonstiger stofflicher Verwendung werden Sperrholz- und Furnierindustrie, stoffliche Rindenverwertung und neue Holzprodukte, wie WPC (Wood Plastic Components), sowie die chemische Industrie zusammengefasst. Laut Mantau (2012) wird „über die stoffliche Verwertung von Holzrohstoffen zur Gewinnung chemischer Substanzen [...] viel geschrieben, ist aber bisher mengenmäßig nicht zu bestimmen und dürfte auch geringfügig sein. [...] Der Basiswert wurde für 2008 mit 13.500 t angesetzt und hohe Wachstumsraten unterstellt, was für 2015 (einschließlich Chemierohstoffe) zu einem Marktvolumen von 67.000 t, bzw. bei einem Umrechnungsfaktor von 3:1 202.000 Fm¹⁴ Derbholz entspricht.“ (Mantau 2012: 31).

3.2.4 Endprodukte

Die traditionelle stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen erlebt geradezu eine Renaissance. So sind 15 % der Neubauten in Deutschland heutzutage Holzhäuser. Ebenso soll der sogenannte *Lifecycle Tower*, ein 30-geschossiger Neubau in Österreich, auf Holz-Basis entstehen, und auch der 30 Meter und 9 Stockwerke hohe *Murray Grove Tower* in London soll vollständig aus Holz errichtet werden (BMEL 2014b: 21).

Im Endprodukte-Bereich werden hauptsächlich 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

¹⁴ Festmeter.

z. B. im Unterboden. (BMEL 2014b) Weitere Anwendungsbereiche für Naturfasern bestehen bspw. in der Herstellung von Naturstoffkompositlaminaten¹⁵, die für Hausbau oder anderweitige Konstruktionen verwendet werden können (Vgl. C3Technologies 2015).

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 nennen¹⁶. (BMEL 2014b).

Eine hohe Nachfrage nach Biokunststoffen besteht im Bereich von Verpackungen für ökologisch erzeugte Lebensmittel, aber auch für Premium- und Markenprodukte mit besonderen Ansprüchen (European Bioplastics 2011: 2). Nachdem Coca-Cola im Jahre 2009 die biobasierten PET-Flaschen einführte¹⁷, folgten Volvic ein Jahr später mit Wasserflaschen in Europa sowie der Lebensmittelkonzern Heinz im Jahr 2011 mit 500-ml-Ketchup-Flaschen in den USA (European Bioplastics 2011: 3). Im Juni 2012 haben sich die US-Unternehmen Coca-Cola, Heinz, Ford, Nike und Procter & Gamble in einem neuen Firmenverbund zusammengeschlossen und gemeinsam die Plant PET Technology Collaborative gegründet, um gemeinsam die Entwicklung und den Gebrauch von PET-Materialien und -Fasern, die ausschließlich pflanzenbasiert sind, voranzubringen (Labo 2013). Darüber hinaus wird von Danone Bio-PE für die Verpackung der Actimel-Joghurt-Drinks in Frankreich genutzt und PLA für Activia-Joghurtbecher in Deutschland. Weiterhin werden PLA-Flaschen vom italienischen St. Anna Brunnen für Premium-Wasser genutzt und Stärkewerkstoffe werden von Ontex-Mayen als Umverpackung ihrer Moltex-Öko-Babywindel verwendet (European Bioplastics 2011: 3).

Das weltweit stärkste Wachstum für Biokunststoffe wird in den Marktsegmenten Flaschen (vorrangig aus Bio-PET 30), Verpackungen inklusive Taschen, technische Anwendungen inklusive Automobile, Catering, Verbraucherprodukte, Gartenbau- und Landwirtschaft, Pharmazie und Medizin sowie Baugewerbe prognostiziert. Dabei sollen nach Bio-PET 30, PLA und Bio-PE sowohl PHA, Celluloseregenerate und Bio-Polyamid (Bio-PA) als auch bioabbaubare Polyester und bioabbaubare Stärkeblends die größten Anteile an den globalen Biokunststoff-Produktionskapazitäten besitzen (European Bioplastics 2013).

Bei diesen sogenannten Drop-in-Polymeren wie Bio-PE, Bio-PET 30 oder Bio-PA, die sich chemisch in keiner Weise von ihren fossilbasierten Vorbildern unterscheiden, wird ein besonders hohes und rasantes Wachstum erwartet. Schätzungen zu Folge kann bei allen Kunststoffen ein Anteil von über zwei Dritteln durch Biopolymere als Drop-in-Materialien ersetzt werden (Labo 2013). Das unterstreicht eine hohe Nachfrage nach Drop-In-Materialien als Pendants zu den bisher genutzten petrochemischen Produkten.

Laut einer Umfrage des Meinungsforschungsinstituts GfK im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft zu biobasiertem Wirtschaften versuchen 27 % der Bürger, auf Produk-

¹⁵ Bestehend aus Naturvliesdeckschichten und Kernmaterial.

¹⁶ 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.

¹⁷ Die biobasierten PET-Flaschen enthalten bis zu 30 Gewichtsprozent Monoethylenglykol aus Zuckerrohr-Melasse (FNR 2015).

te zu verzichten, die Erdöl oder andere fossile Rohstoffe enthalten. Darüber hinaus sind 41 % der Verbraucher 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 wünscht sich, besser über die Bestandteile von Alltagsprodukten informiert zu werden. (BMELV 2012)

3.2.5 Sekundärrohstoffe: Rohstoffpotenziale für die Bioökonomie

Zur Sicherung der biogenen Rohstoffbasis sind auch Sekundärrohstoffe von Bedeutung. Auch das normative Konzept der Bioökonomie orientiert sich aus Nachhaltigkeitsgründen an natürlichen Stoffkreisläufen. Für die praktische Umsetzung der Bioökonomie setzt dies eine effiziente Sekundärrohstoffnutzung voraus, die durch eine gut funktionierende Kreislaufwirtschaft mit Kaskadennutzung und Kuppelproduktion ermöglicht werden kann. Dementsprechend soll an dieser Stelle kurz dargestellt werden, wie der Verbleib verschiedener Abfallarten derzeit erfolgt und welche Sekundärrohstoffpotenziale sich daraus für die Bioökonomie ergeben können. Dazu wurden die wichtigsten Kohlenstoff-haltigen Abfallarten ausgewählt (siehe Abb. 3).

Das gesamte Abfallaufkommen in Deutschland betrug im Jahr 2011 knapp 386,7 Mio. Tonnen. Der Anteil der nicht gefährlichen Siedlungsabfälle daran betrug 12,9 %¹⁸. Den größten Anteil an den nicht gefährlichen Siedlungsabfällen bildet Hausmüll inklusive hausmüllähnlicher Abfälle, die über die Müllabfuhr eingesammelt werden, gefolgt von Papier, Pappe und Kartonagen, Leichtverpackungen und Kunststoff, biologisch abbaubaren Garten- und Parkabfällen, den in der Biotonne entsorgten Abfällen, Sperrmüll und Marktabfällen¹⁹.

Dabei sind die Anteile von stofflicher und energetischer Verwertung bei den diversen Abfallarten sehr unterschiedlich. So ist die Quote der stofflichen Verwertung bei Papier, Pappe und Kartonagen mit 99,3% sehr hoch, bei den biologischen Abfällen ist der Anteil der stofflichen Nutzung ebenfalls hoch, einerseits bei der Biotonne mit 98,9 %, andererseits bei biologisch abbaubaren Garten- und Parkabfällen mit 94,8 % und Küchen- und Kantinenabfällen mit 93,8 %. Die stoffliche Verwertung der biologischen Materialien besteht derzeit zu einem großen Teil in der Kompostierung und der entsprechenden Nutzung zur Bodenverbesserung und Düngung in Landwirtschaft und Gartenbau. Hier stellt sich die Frage, inwiefern ein Teil der biologischen Abfälle auch einer anderweitigen stofflichen Verwertung unterzogen werden können, z. B. zur Gewinnung von Stärke und Zucker für die Herstellung von PE oder PLA.²⁰

Von den Leichtverpackungen und Kunststoffen werden 80,7 % stofflich verwertet, 13,5 % werden energetisch verwertet und 5,8 % werden beseitigt. Dabei stellt sich die Frage, inwiefern einerseits technischen Anlagen und Verfahren des Recyclings optimiert werden können, denn je höher der

¹⁸ Die Recyclingquote gefährlicher Abfälle liegt bei 98 % und wird aus diesem Grund hier nicht diskutiert.

¹⁹ Biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle zählen nicht zum Siedlungsmüll. Darüber hinaus fand in dieser Darstellung eine Beschränkung auf die Kohlenstoff-reichen Abfälle statt.

²⁰ Häufig ist die Kompostierung mit einem hohen thermischen Energiebedarf und kostenintensiven Lagerkapazitäten verbunden. Zudem geht ein großer Teil der für die stoffliche wie energetische Nutzung begehrten Kohlenstoffverbindungen in Folge des biologischen Umwandlungsprozesses des Substrats als CO₂ für eine spätere Nutzung verloren.

Grad der Sortierung, desto mehr Möglichkeiten bestehen für ein effizientes Recycling zur stofflichen Nutzung (statt Downcycling), und inwiefern andererseits die Verpackungsrichtlinien dahingehend überprüft werden sollten, dass Verpackungen recyclingfähig sein sollten, z. B. durch die Beschränkung auf eine Material- bzw. Kunststoffart pro Verpackung statt schwer trennbaren Stoffgemischen. Die Notwendigkeit entsprechender Maßnahmen ergibt sich bspw. aus dem Vorhaben diverser Anbieter von Markenanbietern in der Lebensmittelindustrie, die das Konzept Bio plus Recycling für die von ihnen verwendeten Verpackungen weiter ausbauen wollen (Genios 2012).

Für die praktische Umsetzung einer effizienten Kaskadennutzung von Holz im Sinne der Bioökonomie, ist zu erfassen, wo die Sekundärrohstoffe überhaupt anfallen. Einerseits wird Holz von privaten Haushalten als Sperrmüll entsorgt, andererseits entstehen Holzabfälle im gewerblichen Bereich. Jedoch werden die gewerblichen Holzabfälle oder -reststoffe häufig intern oder extern energetisch genutzt oder auch zu Kuppelprodukten verarbeitet (siehe Abschnitt 3.2.3). Dahingegen wird das aus privaten Haushalten entsorgte Holz als Sperrmüll entsorgt, wobei Sperrmüll zu einem Anteil von 53,8 % stofflich verwertet, zu 22,5 % energetisch verwertet und zu 23,7 % beseitigt²¹. Ein Teil des anfallenden Sperrmülls sind Stoffgemische aus Holz, Textilien, Kunststoffen und Metallen, z. B. Polstermöbel, die nicht oder nur sehr schwer voneinander getrennt werden können. Dementsprechend ist hier allenfalls eine energetische Verwertung oder die Beseitigung möglich. Hier stellt sich die Frage, inwiefern die Erfassung, Sammlung und Sortierung von Sperrmüll, insbesondere des darin enthaltenen Altholzes, optimiert werden können. Beispielsweise ist nach Altholzverordnung die Herstellung von Holzwerkstoffen aus Althölzern der Kategorien A I, A II und mit Vorbehandlung auch A III möglich.²²

Bei Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen, die über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt werden, ist die Quote der stofflichen Verwertung mit 9,1 % sehr gering. Ein Anteil von 34,9 % wird energetisch verwertet und 56,0 % werden beseitigt. Diese Aufteilung resultiert vermutlich aus der sehr heterogenen Zusammensetzung des Hausmülls, so dass hier zumindest eine Erhöhung der energetischen Verwertung angestrebt werden kann. Zielführender ist es aber, den anfallenden Abfall in den privaten Haushalten noch besser vorzusortieren, um so die Menge des nur ineffizient nutzbaren Hausmülls zu reduzieren und die Abfälle entsprechend ihrer Materialeigenschaften und Zugehörigkeit den effizienter verwertbaren Abfallarten wie Papier/Pappe, Biomüll oder Kunststoff zuzuführen. Dabei stellt sich die Frage, inwiefern durch Informationen und entsprechendes Problembewusstsein die Recyclingquote bereits in den Privathaushalten gesteigert werden kann.

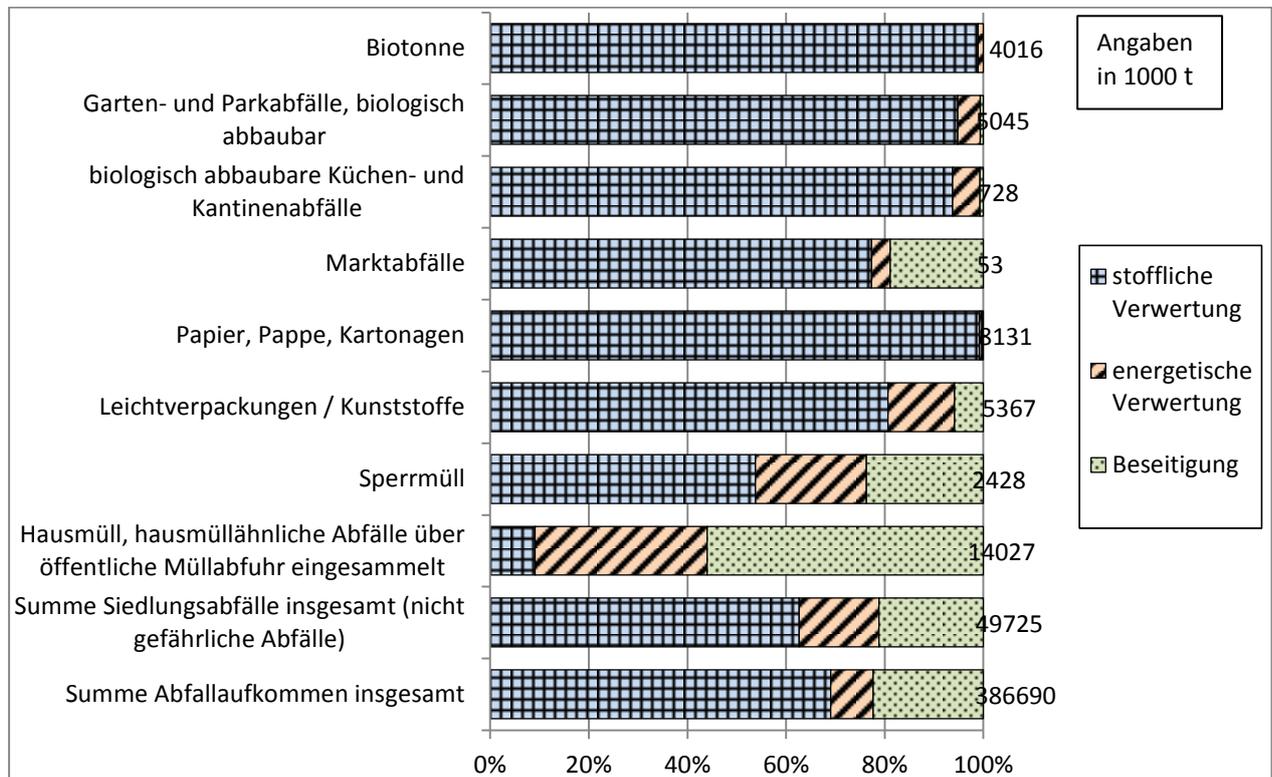
Darüber hinaus fallen in Deutschland jährlich mehr als 1,8 Mio. Tonnen Klärschlamm (Trockensubstanz) an (destatis 2013). Davon werden im bundesdeutschen Durchschnitt 54,6 % thermisch entsorgt und 45,4 % stofflich verwertet²³. Die konventionelle Klärschlamm-Verwertung in der Landwirt-

²¹ Bei einer Einwohnerzahl von 80,33 Mio. Menschen in Deutschland im Jahr 2011 (Statista 2014) und einem Jahresaufkommen von 2,4 Mio. Tonnen Sperrmüll sind bei jedem Bundesbürger durchschnittlich gut 30 kg Sperrmüll in dem Jahr angefallen.

²² Bei der Altholzverwertung gilt das Mischsortiment von Altholz aus dem Sperrmüll im Sinne der Altholzverordnung als Altholzkategorie A III. Getrennt erfasstes Altholz von Möbeln aus naturbelassenem Vollholz gehören der Kategorie A I an, Altholz von Möbeln ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung zählen zur Kategorie A II und Altholz von Möbeln mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung werden der Altholzkategorie A III zugeordnet.

²³ Anteile der stofflichen Verwertung und thermischen Entsorgung sind in den verschiedenen Bundesländern sehr unterschiedlich.

schaft steht seit vielen Jahren in der Diskussion und es ist geplant, diese zu untersagen²⁴. In einigen Ländern, wie bspw. der Schweiz, ist das Verbot der klassischen landwirtschaftlichen Verwertung bereits im Jahr 2003 beschlossen worden (BAFU 2014). Es stellt sich die Frage, welche Möglichkeiten der Klärschlammbehandlung genutzt werden können, um die bisher nicht immer effizient genutzten Rohstoffpotentiale des Klärschlammes für andere Verwertungspfade zur Verfügung zu stellen.



Die Zahlen rechts neben den Balken zeigen die Menge des Abfallaufkommens insgesamt in 1.000 t im Jahre 2011 (nach Statistisches Bundesamt 2013a).

Abbildung 2: Aufkommen ausgewählter Kohlenstoff-reicher Abfallarten²⁵ im Jahr 2011 und ihr Verbleib in Abfallentsorgungsanlagen: stoffliche²⁶, energetische Verwertung sowie Beseitigung²⁷

²⁴ Gut 29 % des Klärschlammes wurden als Düngemittel in der Landwirtschaft verwendet, rund 13 % wurden bei der Kompostierung und im Landschaftsbau bei der Rekultivierung von Flächen eingesetzt und auf die sonstige stoffliche Verwertung entfielen über 3 % des Klärschlammes (Zahlen für 2012: Statistisches Bundesamt 2013b).

²⁵ Unter dem Begriff Siedlungsabfälle werden die Abfallarten Hausmüll, Hausmüll ähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Straßenkehricht, Marktabfälle, kompostierbare Abfälle aus der Biotonne, Garten- und Parkabfälle, sowie Abfälle aus der Getrenntsammlung von Papier, Pappe, Karton, Glas, Kunststoffe, Holz und Elektronikteile erfasst. Hier sind lediglich die ungefährlichen Abfälle aufgeführt, die Recyclingquote gefährlicher Abfälle liegt bei 92 %.

²⁶ Anteil des Inputs aller mit dem Verfahren „stoffliche Verwertung“ eingestufteten Behandlungsanlagen am Abfallaufkommen insgesamt.

²⁷ Beseitigung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist jedes Verfahren, das keine Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurückgewonnen werden. Dazu zählt z. B. die Ablagerung in oder auf dem Boden (z. B. Deponien) nach Vorbehandlung.

Es zeigt sich, dass im Bereich der Sekundärrohstoffe durchaus Rohstoffpotenziale für die Bioökonomie bestehen, obwohl diese teilweise nur gering bis mittelmäßig hoch 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 Verbrauchern erhöhen kann.

4 Gesellschaftliche, ökonomische und politische Grundfragen der Bioökonomie

Die zuvor in Abschnitt 3 skizzierten Rahmenbedingungen stellen Herausforderungen an die zukünftige Gestaltung der Bioökonomie und der Bioökonomie-Politik. Dazu gehören gesellschaftliche Aushandlungsprozesse darüber, welche Ziele verfolgt, welche Transformationspfade konkret eingeschlagen werden sollen, welche Strukturen zur Förderung, Anreizsetzung oder Regulierung geschaffen werden müssen und wie diese auszugestalten sind. Bei all diesen Überlegungen müssen auch ökonomische Grundfragen aufgegriffen werden, die letztendlich sowohl die Effektivität als auch die Effizienz der Maßnahmen adressieren.

Nachfolgend sollen zunächst die politischen und darauf aufbauend die gesellschaftlichen Zielstellungen skizziert werden. Anschließend wird aus einer ökonomischen (allokationstheoretischen) Perspektive der Weg von der fossil-basierten Durchflussökonomie hin zur biobasierten Kreislaufwirtschaft diskutiert. In diesem Zusammenhang werden zunächst volkswirtschaftliche Mehrwerte der Bioökonomie erörtert sowie mögliche Nachhaltigkeitsprobleme von Bioökonomie diskutiert, bevor Ansatzpunkte zur Sicherung der Nachhaltigkeit einer Bioökonomie untersucht werden.

4.1 Politische und gesellschaftliche Zielstellungen

Auf allen politischen Ebenen von international bis regional wurden in der Vergangenheit in erster Linie politische Strategien zur Förderung der Bioökonomie formuliert. 11 Länder haben in den letzten Jahren bereits ihre Aufmerksamkeit auf die Bioökonomie gerichtet oder sogar eine politische Strategie erstellt, z.B. Finnland, Süd-Afrika und die USA, wobei Deutschland als einziges Land sowohl eine Politikstrategie als auch eine Forschungsstrategie verfolgt (Beermann 2015). Insbesondere die europäischen und die deutsche Bioökonomiestrategien sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

4.1.1 Ziele der europäischen Bioökonomie-Politik

Der von der Europäischen Kommission verabschiedete Aktionsplan „Eine Bioökonomie für Europa“ (Europäische Kommission 2012) ist das derzeit zentrale Konzept für den Ausbau der Bioökonomie auf europäischer Ebene, in dem strategische Empfehlungen für die Ausgestaltung einer kohärenten Bioökonomie in den Mitgliedstaaten formuliert werden, wobei Forschungs- und Innovationsförderung ein wichtiger Stellenwert zugemessen wird. Die Europäische Kommission (2012: 2) sieht in der Bioökonomie ein „Kernelement eines intelligenten und grünen Wachstums in Europa“. Entsprechend des Aktionsplans ist der Ausbau der Bioökonomie mit einer Vielzahl von Zielen verknüpft – so soll sie zur Schaffung bzw. Erhaltung von Wirtschaftswachstum und Arbeitsplätzen im ländlichen Raum ebenso wie in Industriegebieten beitragen, die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen reduzieren und die wirtschaftliche und ökologische Nachhaltigkeit der Primärproduktion sowie der verarbeitenden Industrien verbessern. Der Aktionsplan baut dabei auf früheren strategischen Veröffentlichungen der Kommission auf, beginnend mit dem Papier „En Route to the Knowledge-Based Bio-Economy“ im Jahre 2007. Die Entwicklung des Aktionsplans ist dabei auch ein Ergebnis der erneuerten „EU-Strategie für nachhaltige Entwicklung“ aus dem Jahre 2006 (Rat der Europäischen Union 2006)²⁸. Mit den Strategie-Papieren, die die wirtschaftliche Entwicklung, den Ressourcenschutz innerhalb der Union als auch die Koordination zwischen den Mitgliedsstaaten in den Fokus stellen, soll eine Öffentlichkeit geschaffen werden, auf deren Basis die Mitgliedstaaten eigene Strategien zur nationalen Umsetzung schaffen können. In der nationalen Politikstrategie Bioökonomie (BMEL 2014a) wird ausdrücklich darauf verwiesen, dass die Umsetzung der EU-Bioökonomie-Strategie in nationales Recht unterstützt wird. Weiterhin können die Strategien auch in EU-Gesetzgebungsprozessen aufgenommen werden oder aber sie finden, wie oben genannt, Eingang in die Forschungsförderung, wie im Rahmen des EU-Forschungsförderprogramms „Horizon 2020“.

4.1.2 Ziele der deutschen Bioökonomiepolitik

Das zentrale Dokument der deutschen Bioökonomiepolitik ist die Politikstrategie Bioökonomie, deren Grundlage die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2002)²⁹ ist, welche verschiedenste Nachhaltigkeitsmaßnahmen insbesondere zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs als auch deren effiziente Nutzung vorsieht. Entsprechend der Politikstrategie Bioökonomie (BMEL 2014a) sind die Rahmenbedingungen der Bioökonomie in Deutschland so zu gestalten, dass zentrale politische Ziele unterstützt werden, wie bspw. die Lebensmittelversorgung in Deutschland zu sichern und einen Beitrag zur Welternährung zu leisten sowie den Wandel einer auf fossilen Rohstoffen basierenden Wirt-

²⁸ Auf der Stufe der stofflichen Verarbeitung ist auch die Förderung der Biotechnologie, z. B. durch „Life Sciences & Biotechnology - A strategy for Europe“ (COM(2002)27) zu benennen.

²⁹ Aber auch im „Energiekonzept für eine umweltschonende und bezahlbare Energieversorgung“ (2010) sowie in der „Roadmap Bioraffinerien“ (2012) wurde die Bioökonomie aufgegriffen. Das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) als Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen beinhaltet ebenfalls ein eigenes Kapitel zu nachwachsenden Rohstoffen in der Industrie. Weiterhin zu benennen sind die „Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt“ (BMU 2007) sowie die ergänzende „Sektorstrategie Agrarbiodiversität“ (BMELV 2007), der „Nationale Aktionsplan für erneuerbare Energien“ (Bundesregierung 2010), das Strategiepapier „Biokraftstoffe – Chancen und Risiken für Entwicklungsländer“ (BMZ 2011), die „Waldstrategie 2020“ (BMELV 2011) und die „Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung, MKS“ (BMVBS 2013).

schaft zu einer zunehmend auf nachwachsenden Ressourcen beruhenden, rohstoffeffizienten Wirtschaft stärken (BMEL 2014a: 9).

So kann die Bioökonomie einen Beitrag leisten zur nachhaltigen Nutzung nachwachsender Ressourcen unter Erhaltung der Biodiversität und der Bodenfruchtbarkeit sowie beim Schutz des Klimas (BMEL 2014a: 9). Durch den Schluss der Kreislaufwirtschaft (siehe auch Abschnitt 4.2) und der verstärkten Kaskadennutzung soll die regionale Wertschöpfung gesteigert werden, Arbeitsplätze sollen entstehen und ländliche Räume gestärkt werden (BMEL 2014a). Die Transformation zu einem nachhaltigen Konsum wird ebenso als integraler Bestandteil der Wertschöpfungskette der Bioökonomie betrachtet (BMEL 2014a: 20). Darüber hinaus soll der Technologie- und Wirtschaftsstandort Deutschland gestärkt werden, auch indem er als Forschungs- und Innovationsstandort weiter ausgebaut wird (BMBF 2010: 3; BMEL 2014a: 20). Mit welchen Maßnahmen diese Ziele konkret erreicht werden sollen, geht aus der Strategie nicht hervor, abgesehen von der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ (BMBF 2010), die die Grundlage für Forschungsprogramme bildet.

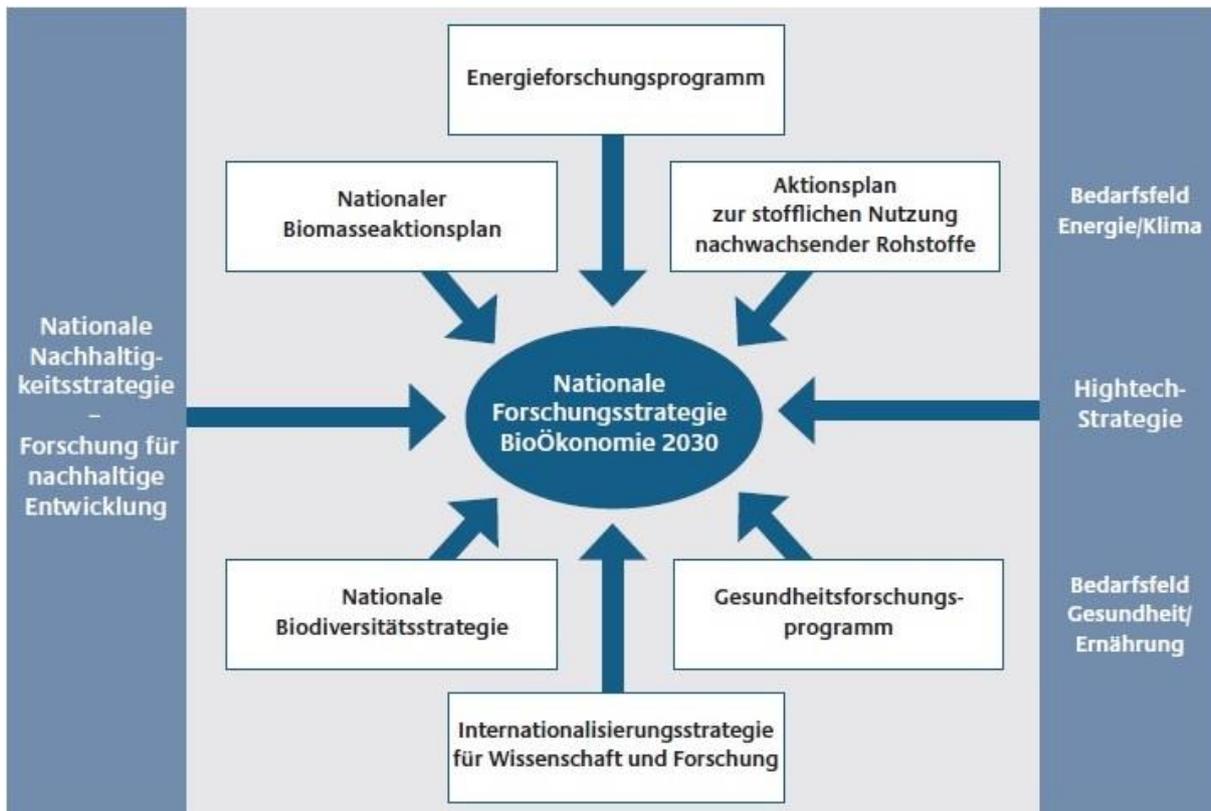


Abbildung 3: Verzahnung der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ mit relevanten forschungsbezogenen Programmen der Bundesregierung (BMBF 2010: 12)

Dabei bauen sowohl die Politikstrategie Bioökonomie als auch die nationale Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 im Hinblick auf eine kohärente Politikgestaltung auf weiteren Strategien, Konzepten und Aktionsplänen auf, die die Entwicklung der Bioökonomie voranbringen sollen (siehe Abbildung 3). Beispiele für unterstützende Strategien und Programme sind „Die neue Hightech-Strategie: Innovationen für Deutschland“ (BMBF 2014) oder das „Energieforschungsprogramm“ (BMWi 2011),

allerdings sind aus den zahlreichen Strategien und Verzahnungen bis heute keine nennenswerten Synergien entstanden.

Somit wird deutlich, dass mit der Umsetzung der Bioökonomie-Strategie Zielkonflikte unvermeidbar sind. Ein zentrales Politikfeld, in dem es der genaueren ziel- und maßnahmenspezifischen Abstimmung bedarf, ist beispielsweise die Bioenergie und deren Förderung. Hier sind insbesondere mit Blick auf die Rohstoffversorgung Konflikte zu erwarten. So bestehen zunächst konkurrierende Ansprüche an Flächennutzungen für die Nahrungs- und Futtermittelerzeugung sowie für die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe für die stoffliche und energetische Verwendung, aber auch für Infrastruktur und Siedlungen (BMEL 2014a: 20). Weiterhin steigt die globale Nachfrage nach energetischen Nutzungen von Biomasse erheblich und das Angebot wird nur unterproportional ansteigen (Ponitka et al. 2011), was die Konkurrenz zwischen der stofflichen und energetischen Nutzung weiter befördert (BMEL 2014a). Infolge der erforderlichen Produktionssteigerungen zur Deckung der steigenden Biomassenachfrage entstehen Konflikte mit gleichzeitig steigenden Umwelt- und Naturschutzanforderungen, aber auch bei der Verwertung von Biomasse können Konflikte mit den Zielen des Umweltschutzes auftreten (BMEL 2014a: 20). Doch auch der Import von Biomasse nach Deutschland führt zu Konflikten, da hier gleichzeitig negative soziale, ökonomische und ökologische Auswirkungen zu bedenken und negative Folgen für die Ernährungssicherung der Bevölkerung in den Produzentenländern zu vermeiden sind (BMEL 2014a: 16). Es stellen sich aber auch Fragen zur Nachhaltigkeit und wirtschaftlichen Profitabilität der Bioökonomie sowie zu ökonomischen und sozialen Folgen wie Akzeptanz, Beschäftigung, Umweltauswirkungen oder Handelsströmen.

Aber auch auf der regionalen Ebene wurden Strategien zur Förderung der Bioökonomie aufgelegt, die jedoch sehr unterschiedlich ausgeprägt sind. So wurden in Nordrhein-Westfalen (Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013)), aber auch in Baden-Württemberg (Landesregierung Baden-Württemberg 2013) landeseigene Bioökonomie-Strategie beschlossen, in denen im Wesentlichen auf die Förderung der Forschung fokussiert wird. In Sachsen-Anhalt hat man hingegen eine übergeordnete Leitmarktinitiative auf den Weg gebracht, in der die Bioökonomie als eine von fünf Leitmärkten benannt wird (Ministerium für Wissenschaft und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt 2014).

Die Strategie, die für Baden-Württemberg erarbeitet wurde, sieht vor, die Akteure aus Forschung und Wissenschaft stärker miteinander zu verzahnen, was zur Erarbeitung des Strategie-Papiers bereits vorgenommen wurde, indem die zentralen Akteure zusammengebracht wurden und an dem Papier mitgearbeitet haben. Auch Maßnahmen zur Kommunikation mit der Gesellschaft wurden ins Leben gerufen, um das Themenfeld Bioökonomie prominenter zu machen.

Am Ende bleibt auch hier wie bei den europäischen Leitlinien festzuhalten, dass in den jeweiligen Dokumenten ein klares Bekenntnis zur Bioökonomie deutlich wird und auch die Notwendigkeit der Forschungs- und Entwicklungsförderung angemahnt wird. Die tatsächliche Umsetzung der Strategien bedarf spezifischer Programme oder Gesetze, die zu diesem Zeitpunkt freilich noch der Konkretisierung bedürfen.

4.2 Gesellschaftliche Zielstellungen

Der Begriff Bioökonomie wird hauptsächlich im Sprachgebrauch der öffentlichen Forschungs- und Entwicklungsförderung sowie in den davon betroffenen Politikbereichen verwendet. In der breiten Öffentlichkeit hingegen ist der Begriff Bioökonomie kaum bekannt. Stattdessen sind Bezeichnungen wie biobasierte Wirtschaft oder mitunter auch „Green Growth“ gebräuchlicher. Dementsprechend sollen in diesem Kapitel zunächst Aspekte der Bioökonomie im Sinne von Green Growth als alternatives Wirtschaftsmodell diskutiert werden. Anschließend folgen Fragestellungen bezüglich der Rohstoffbasis sowie Aspekte zur praktischen Umsetzung der Bioökonomie im Spannungsfeld zwischen regionaler und globaler Wertschöpfung.

Die gesellschaftliche Perspektive auf die biobasierte Wirtschaft ist ähnlich der Perspektive auf Bioenergie und Energiewende: Soweit bekannt ist sie gesellschaftlich durchaus erwünscht, wird aber auch kritisch betrachtet (siehe dazu z. B. Gottwald/Krätzer 2014). Ebenso werden diverse Aspekte der Bioökonomie in den Wissenschaften diskutiert. So stellen sich vielfältige Fragen, was das Konzept überhaupt beinhaltet und welche Herausforderungen sich ökologisch, ökonomisch und sozial daraus ergeben. Weiterhin ergeben sich Fragen bezüglich Technologieentwicklung und Innovationen sowie ökonomischen Möglichkeiten, die daraus resultieren. Aber auch Fragen zum Kontext und zur Abgrenzung der Bioökonomie stellen sich. Darüber hinaus muss diskutiert werden, wie demokratisch die Bioökonomie sowie deren Governance ausgestaltet ist (Ober 2014: 4). Weiterhin ergeben sich vielseitige spezifische Herausforderungen aufgrund der Vielzahl an Wirtschaftssektoren, die der Bioökonomie zugeordnet werden.

Grundsätzlich stehen Gesellschaften vor der Herausforderung, zu entscheiden, welche Entwicklungen sie anstreben und fördern wollen. Hier schließen sich oftmals Interessenskonflikte an, die ausgehandelt bzw. abgewogen werden müssen. Auf die Bioökonomie übertragen bedeutet dies, zu erörtern, in welcher Form die Bioökonomie überhaupt gesellschaftlich erwünscht ist und ob bzw. um welchen Preis sie etabliert werden sollte.

4.2.1 Bioökonomie im Kontext der Green-Growth-Debatte

Es stellt sich die Frage, inwiefern die in der Politikstrategie (BMEL 2014a) beschriebene Bioökonomie Ansätze eines alternativen Wirtschaftsmodells und Wachstumskonzepts zeigt (Bioökonomierat (2011: 12), Bioökonomierat (2012: 6)). So könnte im Sinne von „Green Growth“ ein qualitatives und gezieltes Wachstum mit einer teilweisen Entkopplung von (fossilem) Ressourcenverbrauch und Wohlstand etabliert werden. Dementsprechend zeichnen sich die Politikstrategie Bioökonomie, die Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 ebenso wie Horizon 2020 dadurch aus, dass sie den Paradigmenwechsel von einer erdöl- auf eine pflanzenbasierte Wirtschaft weiterhin mit dem Versprechen von Wirtschaftswachstum und Wettbewerbsvorteilen verbinden (Ober 2014).

Damit eng verbunden ist die *Decoupling*-These, deren Vertreter von einer Entkopplung von Wirtschaftswachstum und steigendem Ressourcenverbrauch durch die effizientere Nutzung von Materie und Energie ausgehen. Die auf diese Weise möglichen Reduktionen werden jedoch von den meisten Wachstumskritikern als zu gering erachtet (vgl. Paech 2012). Für die Bioökonomie stellt sich an dieser Stelle die Frage, inwiefern die Entkopplung von Wachstum, Ressourcenverbrauch und Wohlstand

durch eine Umstellung der fossilen auf eine biogene Ressourcenbasis und die Schließung von Stoffkreisläufen unterstützt werden kann oder sollte. Eine reine Verlagerung der Nachfrage nach fossilen Ressourcen auf biogene Alternativen (reine Substitutionsstrategie) riskiert dabei eine Übernutzung der begrenzten nachhaltigen Biomassepotenziale.

4.2.2 Sicherung der Rohstoffbasis

Weitere Interessenskonflikte ergeben sich aus den Nutzungskonflikten von Biomasse. Daraus ergeben sich Fragen nach der Rohstoffverfügbarkeit, und zwar sowohl quantitativ als auch qualitativ. Dabei ist auch heute noch offen, welche Rohstoffe in welchem Umfang benötigt werden, um alle (auch noch entstehenden) Nutzungsansprüche an Biomasse decken zu können. Weiterhin ist zu fragen, in welchem Umfang hierfür Biomasseimporte notwendig werden, wie die Rahmenbedingungen dafür gestaltet werden und ob diese gesellschaftlich akzeptiert werden. Weiterhin ist zu klären, inwiefern die Reststoffverwertung gefördert werden kann, um die Wertschöpfungskette zu schließen und die Rohstoffsituation zu entlasten. Aber auch im Bereich der Primärproduktion von Biomasse stellt sich die Frage, wie nachhaltig land- und forstwirtschaftlich produziert werden kann und welche Nutzungskonkurrenzen bestehen, welche sich aus verschiedenen Nutzungsansprüchen an Flächen und Biomasse ergeben können. Neben der Nahrungsmittelsicherheit schließen sich im internationalen Kontext Herausforderungen an wie globale und regionale Konkurrenzen um Land, Biomasse und Inputfaktoren der Agrarproduktion wie z. B. Phosphor und Wasser, aber auch die Durchsetzung geistiger Eigentumsrechte an genetischen Ressourcen.

4.2.3 Wertschöpfungsketten: regional vs. global

Daraus ergeben sich weitere übergeordnete Fragen, die grundlegende Entscheidungen bezüglich der Umsetzung der Bioökonomie betreffen: Grundsätzlich ist zu entscheiden, ob die Bioökonomie in Deutschland eher mit einem globalen oder eher regionalen Fokus realisiert werden soll. In diesem Zusammenhang ist zu klären, ob Bioökonomie eher als Bottom-up- oder als Top-down-Ansatz verstanden und umgesetzt werden soll und ob High-Tech in Form großtechnischer Lösungen das Mittel zum Zweck der Realisierung der Bioökonomie sein soll oder ob einfachere Low-Tech-Lösungen zum Einsatz kommen sollen. Zudem muss diskutiert werden, ob der Einsatz von Gentechnik oder anderen großtechnischen Lösungen gesellschaftlich erwünscht sind beziehungsweise unter welchen Restriktionen.

Damit einher geht eine zunehmende Verzahnung von Umwelt- und sozialen Konflikten. In diesem Zusammenhang ist auch zu hinterfragen, inwiefern sich Rebound-Effekte ergeben können, die den Zugewinn einer effizienzsteigernden Technologie/Maßnahme durch einen Anstieg der Nachfrage (über)kompensieren können.

Abschließend muss Evidenz geschaffen werden, inwiefern die Bioökonomie zugleich einen Lösungsweg für die gesellschaftlich relevanten Probleme unserer Zeit, wie europäische Finanz- und Staatsschuldenkrise, Arbeitslosigkeit oder Klimawandel, bieten kann. Welche Konzepte liegen vor, um Zielkonflikte zu adressieren und mit welchen Instrumenten kann ihnen begegnet werden?

4.3 Von der Durchflussökonomie hin zur biobasierten Kreislaufwirtschaft - eine alloktionstheoretische Perspektive

Aus *ökonomischer* Sicht kann die Organisation der Bioökonomie als alloktionstheoretisches Problem beschrieben werden. In den verschiedenen Wertschöpfungsstufen treffen eine Vielzahl von interagierenden Akteuren 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. 4)³⁰. Effizienz und Nachhaltigkeit bilden dabei 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 (zusätzlich) eine langfristige ökologische und soziale Tragfähigkeit des Wirtschaftens einfordert (vgl. z. B. Common/Stagl 2005).

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.

³⁰ 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 Holzscheiten oder -pellets, zu unterscheiden.

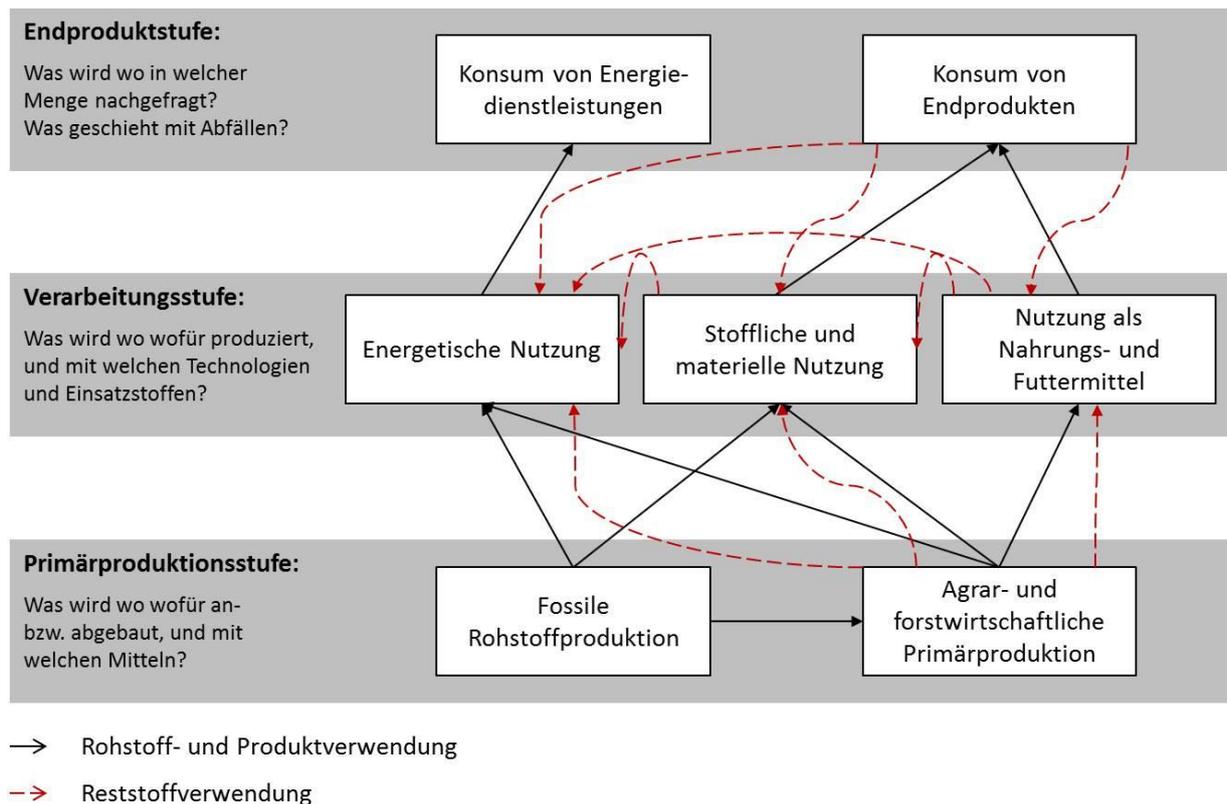


Abbildung 4: Allokationsentscheidungen und Nutzungskonkurrenzen entlang der Bioökonomie-Wertschöpfungskette (eigene Darstellung, basierend auf Purkus et al. 2012)

4.3.1 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 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 (1) Externalitäten, (2) öffentliche Güter, (3) Marktmacht und (4) Informationsasymmetrien; in der dynamischen Perspektive können zudem (5) strukturelle Anpassungsprobleme auftreten (vgl. Fritsch 2011)³¹. Nachfolgend werden die wesentlichen Marktversagen in der Bioökonomie aufgeführt.

³¹ 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 marktliche Kompensation leisten (Baumol/Oates 1988).

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 (siehe Abschnitt 4.4).
2. *Wissens-Spillovers*: 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 zu Gute kommt. 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 (Tänzler et al. 2007). Im Bereich der stofflichen Nutzung ist zu prüfen, ob Versorgungsrisiken im Rahmen von Markttransaktionen hinreichend internalisiert werden³².
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 Verbrauchern 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 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

³² 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 das anders, da hier nur einzelne Wirtschaftszweige betroffen wären, die sich selbst dagegen absichern können.

miteinander verwechselt (FNR 2010)³³. 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 zu Gunsten 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 (vgl. Arthur 1989, siehe auch Abschnitt 2.2). Neben technologische Pfadabhängigkeiten treten solche institutioneller Natur, da sich auch Institutionengefüge, Infrastruktur und Nutzerverhalten im Wechselspiel mit den dominanten, fossil-geprägten Wirtschaftsstrukturen entwickelt haben (vgl. Unruh 2000). Das Ergebnis kann ein im Energiebereich vielzitiertes *carbon lock-in* sein.

Inwieweit die beschriebenen Marktversagen im Bereich der Bioökonomie eine Notwendigkeit staatlicher Interventionen begründen, und wie diese zu gestalten wären, wird in nachfolgenden Diskussionspapieren näher untersucht. Dabei ist zu beachten, dass auch eine politisch zentralisierte, insbesondere regulatorische Koordination von Allokationsentscheidungen durch staatliches Handeln ebenso mit Informationsproblemen und Transaktionskosten konfrontiert wird, und zusätzlich noch mit der Eigenrationalität politischer Willensbildung (vgl. Dixit 1996). D. h. dem *Marktversagen* steht u.U. ein *Staatsversagen* gegenüber. Angesichts der Allgegenwart von miteinander interagierenden Markt- und Staatsversagen stellt sich für die Bioökonomie-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.

4.3.2 Von der Durchflussökonomie hin zur biobasierten Kreislaufwirtschaft

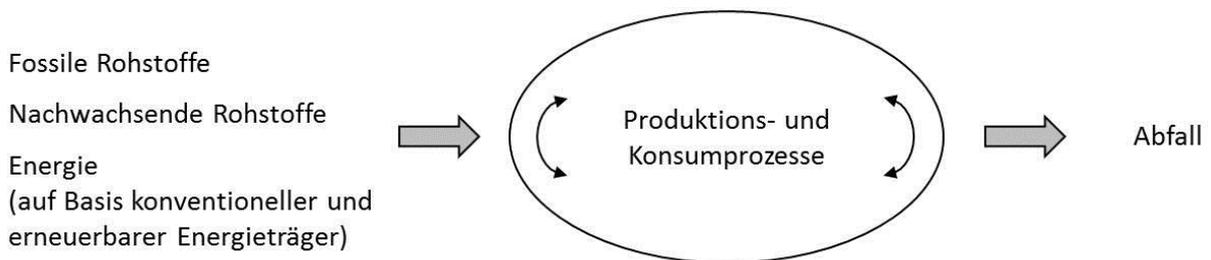
Der Weg hin zur Bioökonomie erfordert einen Übergang von einer fossilen Durchfluss- und Senkenökonomie hin zu einer biobasierten Kreislaufwirtschaft mit spiralförmigen Wertschöpfungsketten (siehe Abb. 5). Die gegenwärtige Durchflusswirtschaft ist strukturell von linearen Materialflüssen geprägt – als 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 (Isenmann/von Hauff 2007). Dies geschieht durch 1) eine Umstellung der Ressourcenbasis auf nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien, und 2) eine Erhöhung der Ressourcennutzungseffizienz durch den Einsatz

³³ 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.

effizienterer Verfahren und Technologien, Anpassungen im Nutzerverhalten, materielle und energetische Kaskadennutzung und 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 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 nicht immer akkurat widerspiegeln; solange z. B. die mit Treibhausgasemissionen oder Abfallentstehung verbundenen Kosten von der Gesellschaft getragen werden, und nicht internalisiert werden, bleiben 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

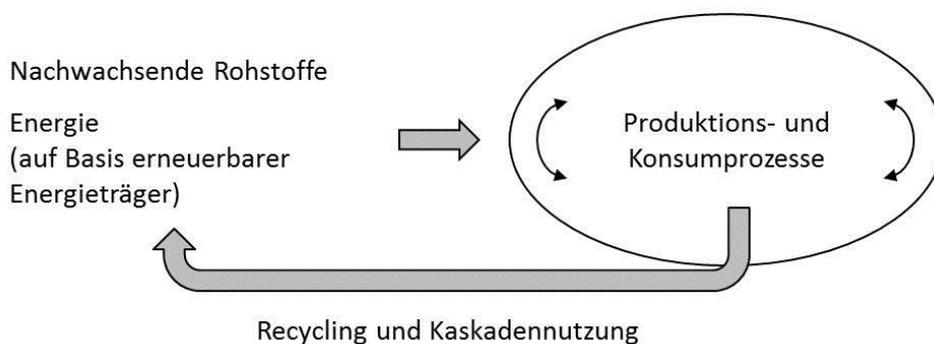


Abbildung 5: Charakteristika der Durchfluss- und der Kreislaufökonomie
 (eigene Darstellung, basierend auf Graedel 1994: 25; Isenmann/von Hauff 2007: 6)

4.3.3 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 2012 für 66 % der gesamten erneuerbaren Endenergieproduktion verantwortlich; im Stromsektor steuerte Bioenergie 30% der EE-Erzeugung bei, im Wärmesektor waren es 91 %, und im Verkehrssektor werden signifikante EE-Beiträge bislang nur von Biokraftstoffen geleistet (BMW 2013). Als Biomassesubstrate dominieren derzeit Holz, Holzreststoffe, sowie nachwachsende Rohstoffe (Thrän et al. 2011). Dementsprechend wird derzeit der Großteil der in Deutschland angebauten nachwachsenden Rohstoffe energetisch genutzt – von einer Anbaufläche von über 2,3 Mio. ha in 2013 waren über 2 Mio. ha dem Energiepflanzenanbau gewidmet (FNR 2014: 2); siehe Abschnitt 3.3.2).

Dabei sind politische Rahmenbedingungen z. T. so gesetzt, dass energetische Nutzungen eine höhere Zahlungsbereitschaft aufweisen können als stoffliche oder materielle Anwendungsbereiche (vgl. Thrän et al. 2011, Gawel 2011). Gleichzeitig kann eine Präferenz energetischer Nutzungen aber auch aus Marktpreissignalen resultieren; so können für Holz abhängig von Rohölpreisentwicklungen vor allem Wärmeanwendungen hohe Preise bezahlen (ibid.). 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 Stroh³⁴.

4.3.4 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 entwickelt (Thrän et al 2011, Lamers et al. 2012). 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 (Bey 2007). Dies wirft die Frage auf, wie internationale Arbeitsteilung von bioökonomischen Wertschöpfungsketten zu gestalten ist.

³⁴ Auch bei Stroh bestehen diverse Nutzungsansprüche, insbesondere im Bereich der (ökologischen) Tierhaltung.

Beispielsweise könnte eine Spezialisierung erfolgen, indem Grundchemikalien und Zwischenprodukte vornehmlich in biomasseproduktionsstarken Ländern produziert werden; durch die regionale primäre Verarbeitung der nachwachsenden Rohstoffe nahe ihres Erzeugungsortes können lokale Kreisläufe des Landschaftswasserhaushalts und -nährstoffhaushalts geschlossen werden. Vor allem aber weisen Grund- und Zwischenprodukte eine höhere Stoffdichte und Schüttdichte auf, was die Transportfähigkeit im Vergleich zu frischer Biomasse mit hohem Wassergehalt und Zersetzungsproblemen erhöht. Dies erlaubt einen rentablen Transport auch über weitere Distanzen für die Weiterverarbeitung zu Endprodukten wie bspw. Konsumgütern. Dies erfordert die Etablierung von Lieferantennetzwerken und Kooperationen zwischen biomasseproduktionsstarken Regionen und biomasseverarbeitenden Regionen, um Synergien für beide Seiten zu erreichen.

Eine weitere Alternative zum Import von Grundstoffen und Zwischenprodukten wäre darüber hinaus die Einfuhr von Endprodukten. Gleichzeitig sind Implikationen für die Versorgungssicherheit zu prüfen – so fordert etwa der Verband der chemischen Industrie, dass die Importabhängigkeit bei der Versorgung mit Basischemikalien nicht weiter zunehmen sollte (VCI 2012: 14). 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.³⁵ Insgesamt wird erwartet, dass deutsche Chemieunternehmen ihre Wertschöpfungsketten in Zukunft weiter internationalisieren werden: „80 Prozent des verarbeitenden Gewerbes sieht die Chance, neue robuste Lieferketten mit Beteiligung von ausländischen Unternehmen zu etablieren. Damit einhergehend wird sich auch der geografische Fokus der Wertschöpfungsketten ändern. Die aufstrebenden Schwellenländer, insbesondere China, werden an Bedeutung gewinnen.“ (IW 2012: 25) Die Nachhaltigkeitssicherung von Importen stellt dabei eine wichtige Herausforderung für die Governance der Bioökonomie dar (siehe Abschnitt 4.4).

4.3.5 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 Lieferanten den internationalen Lieferanten bei vergleichbarem Preis lediglich zu 43 % bevorzugt (IW 2012: 28), wobei die Wahl von Lieferanten überwiegend aufgrund von Kosten- oder Qualitätsvorteilen erfolgt (IW 2012: 9). In der Praxis zeigt sich, dass räumliche Nähe viele Möglichkeiten und Vorteile bietet bei unternehmensübergreifenden Innovations-, Austausch- und Lernprozessen (IW 2012: 15). Regional gekoppelte Wertschöpfungsketten sind oft eine Voraussetzung für das Schließen von Stoffkreisläufen und effiziente Kaskadennutzung, doch das Management von „industriellen Ökosystemen“ mit gegenseitigen

³⁵ Zu den 20 bis 30 wichtigsten organischen Grundstoffen zählen Methanol, Ethylen (= Ethen), Propylen, Butadien, Benzol, Toluol und Xylol. Zu den wichtigsten Zwischenprodukten gehören bspw. Polyethylene, Polypropylene, Vinylchlorid und Formaldehyd. Auf der Ebene der Endprodukte sind als wichtige Beispiele Polyvinylchlorid, Polyurethane, Nylon, Polyester oder Epoxidharze zu nennen (Behr et al. 2010; VCI 2012; Petrochemistry 2014).

Abhängigkeiten ist mit eigenen organisationalen Herausforderungen verbunden (Müller-Christ 2007, Gaida et al. 2013).

4.4 Erfassung des Mehrwerts der Bioökonomie

Worin bestehen nun potenzielle volkswirtschaftliche Mehrwerte der Bioökonomie, die es rechtfertigen würden, ihren Anteil an der Wertschöpfung künftig auszudehnen und dazu ggf. – bei Überwiegen der Marktversagen über mögliche Staatsversagen – auch eine explizite Bioökonomie-Politik einzusetzen, um einen Pfadübergang zu bewirken. In einer *statischen* Betrachtung ergeben sich zunächst Mehrwerte auf der Inputseite, auf der Verarbeitungsstufe sowie auf der Outputseite der Produktion (Tab. 4).

Auf der Inputseite ergeben sich potenzielle 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 in bspw. Canada zu nennen, bei der im Tagebau-Verfahren durchschnittlich zwei Tonnen Deckgebirge plus zwei Tonnen Ölsand abgebaut werden, um ein Barrel (159 Liter) Rohöl zu gewinnen, was neben enormem Wasser- und Energieverbrauch sowie hohen Treibhausgasemissionen eine großräumige und mitunter irreparable Zerstörung der natürlichen Ökosysteme zur Folge hat (Woynilowicz et al. 2005). Aber auch die Tiefseebohrungen, die bspw. im Golf von Mexiko im Jahr 2010 für eine Umweltkatastrophe sorgten, sind hier als Beispiel zu nennen (Stockrahm 2010), ebenso wie gelegentlich stattfindende Unfälle von Öltankern, wobei in den Jahren zwischen 1963 und 1996 insgesamt 686 Tanker gesunken sind (Greenpeace 2007).

Weiterhin sind die fossilen Rohstofflagerstätten in geologischen Zeiträumen von vielen Jahrtausenden 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 rasanten Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre und den daraus resultierenden Klimawandel sind in Folge der Verbrennung der fossilen Rohstoffe. 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.

Darüber hinaus sollte die ökonomische Nachhaltigkeit einer auf regenerativen Rohstoffen basierenden Wirtschaft prinzipiell höher eingestuft werden als eine auf fossilen Rohstoffen basierende Wirtschaft, da Biomasse als nachwachsende Ressource nicht - wie die fossilen Rohstoffe - endlich ist, sondern „nur“ von Knappheit betroffen ist. Allerdings muss diese 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 sollte. 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. Dabei stellt sich beispielsweise die Frage, wie der Abbau der unkonventionellen fossilen Lagerstätten, insbesondere mittels Fracking, weiter voranschreitet, und in welchem Maße sich die Preise für fossile Rohstoffe damit entweder stabilisieren werden oder weiter erhöhen.

Auf der Verarbeitungsstufe bzw. entlang der Wertschöpfungskette können sich Mehrwerte im Zuge der Etablierung von Kaskaden- und Kuppelnutzungen in der Produktion ergeben. Indem Produktionsabfälle 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 (Oegut o.J.).

Auf der Outputseite ergeben sich Mehrwerte durch die ressourcenschonende Verwertung von Sekundärrohstoffen, das sind Abfälle und 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 potenzielle Mehrwerte durch die Bioökonomie zusätzlich in Folge von Innovationen, Lernkurven oder Preispfaden entstehen (Tab. 4). 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 4: Volkswirtschaftliche Mehrwerte der Bioökonomie in statischer und dynamischer Betrachtungsweise auf verschiedenen Wertschöpfungsstufen

	Input	Verarbeitung	Output
Statisch	<ul style="list-style-type: none"> - Erneuerbarkeit der Rohstoffbasis - Einsparung von Primärrohstoffen durch Recycling 	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung der Ressourcennutzungs-effizienz - Anpassung des Nutzerverhaltens - Kuppel- und Kaskadennutzung 	<ul style="list-style-type: none"> - Entlastung ökologischer Senken infolge geringerer Abfallmengen
Dynamisch	<ul style="list-style-type: none"> - regionale Wertschöpfung - Beschäftigung - Lernkurven (v. a. Produktivität) 	<ul style="list-style-type: none"> - Innovationen - Dezentralität, kürzere Transporte - Netzwerke, geringere Transaktionskosten - Lernkurven (v. a. Produktivität) 	<ul style="list-style-type: none"> - Preispfade - Lernkurven - Lernkurven (v. a. Qualität)

Das Konzept der Bioökonomie kann als Mittel zur Erreichung zahlreicher Ziele verstanden werden (normatives Konzept). Es 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 durchaus erreicht werden und zu entsprechenden Mehrwerten der Bioökonomie etabliert werden. Dennoch ergeben sich aus dieser Aufzählung der potenziellen Mehrwerte der Bioökonomie auch konkrete Konflikte und Herausforderungen, die nachfolgend kurz dargelegt werden sollen.

4.5 Nachhaltigkeitsherausforderungen der Bioökonomie

Neben den genannten volkswirtschaftlichen (darunter auch umweltbezogenen) Mehrwerten können sich durch die Bioökonomie freilich auch neuartige Umweltprobleme und Nachhaltigkeitsdefizite ergeben. Denn die bloße Substitution von Inputs bietet noch keine Gewähr für eine Netto-Verbesserung der Nachhaltigkeit der Wirtschaftsweise. Vielmehr muss im Rahmen des normativen Konzepts von Bioökonomie die Nachhaltigkeit explizit adressiert werden („nachhaltige Bioökonomie“), um sicherzustellen, dass die weitreichenden Ansprüche auch eingelöst werden können.

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 (Wissenschaftszentrum Weihenste-

phan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt 2008), zum anderen aufgrund ihrer hohen Kohlenstoff-Speicherkapazität (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 2011). Dieses Beispiel lässt sich um viele Facetten erweitern, kann aber zumindest die Konfliktlinien exemplarisch 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 werdenden 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 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 (vgl. SRU 2007). 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.

Auf dem Weg zu möglichen Weiterentwicklungen von Bestimmungen wie Schutzgesetzen und Standards sollen nachfolgend Umwelteffekte und Nachhaltigkeitsherausforderungen dargestellt werden. Dazu werden zunächst mögliche Knappheiten benannt, die die Bioökonomie, insbesondere die Produktion der nachwachsenden Rohstoffe, betreffen können. Danach werden Effizienzverluste dargestellt, die zu Ineffizienzen bei der Produktion und Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und ihren Produktionsfaktoren führen können. Abschließend werden mögliche Folgelasten skizziert, die aus der Nutzungsintensivierung von Biomasse resultieren oder sich dadurch verstärken können. Dabei wird sowohl auf mögliche ökologische als auch auf soziale Folgen der Bioökonomie eingegangen.

4.5.1 Verknappungen

Sich entwickelnde oder verschärfende Knappheiten (Verknappung) 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 Unterschützstellung von Flächen bspw. - ist auch eine Verringerung der Bodenproduktivität möglich durch verschiedene Formen der Bodendegradation, z. B. durch Erosion, Humusverluste, Verwüstung oder Versalzung. 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 Ressourcen in den Ländern verknappen, die diese erzeugen und exportieren, so dass diese Ressourcen für die inländische Nutzung verloren gehen.

4.5.2 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 bzw. Ertrag 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 Ertragseinbußen 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 Ertragseinbußen oder Ernteausfälle zu erwarten.

Auch bezüglich der Nährstoffversorgung der Pflanzen sind Effizienzverluste möglich. Einerseits sind bei mangelhafter Nährstoffversorgung Ertragseinbußen 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 Ertragseinbußen und damit zu Effizienzverlusten führen.

Weiterhin 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.

4.5.3 Ökologische Folgelasten

Um die steigende Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen decken zu können, sind Landnutzungsänderungen und Landnutzungsintensivierungen wahrscheinlich, insbesondere in Entwicklungsländern. 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 Bodenkontamination 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, insbesondere Land und Wasser, weiter minimieren.

Schließlich kann der Existenz der Natur ein Wert zugemessen werden, nicht nur den von ihr erbrachten Dienstleistungen und Funktionen als Produktionsfaktoren. Mit der zunehmenden 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 (vgl. Gottwald/Krätzer 2014).

4.5.4 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. Dies kann auf Grund der Sicherung von Boden- und Meeresrechten („Landgrabbing“) erfolgen oder als Resultat von Eigentumsrechten für genetische Ressourcen. Grundsätzlich stellt sich die Frage nach unterschiedlichen regionalen und sozialen Ausgangs- und Zugangsvoraussetzungen zu Ressourcen: Einerseits ist zu fragen, welche Mengen der Ressourcen vorhanden ist und wo und wie diese verteilt sind, andererseits ist zu fragen, welche Menge jedem einzelnen zusteht und wieviel jeder tatsächlich erhält – in Abhängigkeit der Zahlungsfähigkeit und Zahlungsbereitschaft.

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 zerstört werden oder sie können von deren Nutzung ausgeschlossen werden. In diesem Zuge werden auch etablierte und auf traditionellem regionalspezifischem Wissen stützende kleinbäuerliche Strukturen verdrängt. Ebenso können in Folge des steigenden Nachfragedrucks in Verbindung mit fehlenden oder unzureichenden Standards und Zertifizierungen für nachwachsende Rohstoffe in den Importländern die Übernutzung und nicht-nachhaltige Bewirtschaftung der Ressourcen in den Produzentenländern riskiert werden, was ebenfalls zu einer Reduzierung der nutzbaren Ressourcen für die örtliche Bevölkerung in den Produzentenländern führen kann.

4.6 Sicherung einer nachhaltigen Bioökonomie

Durch eine Anpassung des institutionellen Rahmens und der Governance-Strukturen können die oben aufgezeigten Konflikte – wenn auch nicht vollständig – reduziert werden, indem Strukturen und Instrumente geschaffen werden, welche diese Konflikte minimieren. 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“ (UN 2012: 3). Mit Hilfe von Governance können komplexe Systeme von Beziehungen und Regeln, die Ressourcen managen und verteilen sollen, konzeptionalisiert werden (Hill 2013: 18). Bioökonomie Governance kann auf verschiedenen Ebenen stattfinden wie beispielweise der europäischen, nationalen oder wie im Falle des Spitzenclusters Bioeconomy auf der regionalen Ebene. Entsprechend der Frage- bzw. Themenstellungen können Governance-Analysen unterschiedlich strukturiert sein. Im Falle der Bioökonomie bietet es sich beispielsweise an, die Strukturen entlang der Wertschöpfungskette vom Rohstoff, über Zwischen- und Endprodukte sowie die Reststoffverwertung zu analysieren. Es können aber auch auf die Angebots- und Nachfrageseite geschaut und Discrepanzen hervorgehoben 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.

Die zentrale Fragestellung lautet, inwiefern politische Rahmenbedingungen so gestaltet werden können, dass sie die Transformation auf dem Weg hin zu einer vernetzten rohstoffeffizienten Bioökonomie begünstigen können. Die gilt für die Primärrohstoffe ebenso wie für die Produktionsabfälle 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 Nutzungswege entschärfen und Innovationspotenziale erschließen.“ (BMEL 2014a: 21) 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 Förderung der oben skizzierten Herausforderungen können verschiedene Funktionen erfüllen. So kann versucht werden, nachhaltige Produkte oder Verfahren zu fördern, wie beispielsweise die Nutzung von Substituten fossiler Rohstoffe (*Ermöglichungsfunktion*). Ein anderer Weg der Sicherung einer nachhaltigen Bioökonomie kann aber auch sein, die Nutzung fossiler Rohstoffe bzw. nicht-nachhaltiger Stoffströme zu erschweren bzw. einzuschränken (*beschränkende Funktion*).

4.6.1 Ansätze zur Förderung bioökonomischer Produktion (Ermöglichungsfunktion)

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 von der Politik gefordert. Aufgrund der immer noch hohen Produktionskosten von Bioökonomie-Produkten sind hohe Zahlungsbereitschaft und -fähigkeit der potentiellen Konsumenten erforderlich, um die 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 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.“ (Santarius 2012) 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 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. Ein Beispiel hierfür ist ein Zertifikate-Handel mit Glocken- oder Ausgleichsprinzip, das im Rahmen des Emissionshandels in den USA angewendet worden ist (vgl. Endres 1985).

Eine Entlohnung könnte entsprechend dem prozentualen Anteil der biogenen Rohstoffe im Produktionsprozess stattfinden, so dass Anreize für technische Innovationen geschaffen werden. Darüber hinaus könnte man Label vergeben, die über den Mindeststandard hinaus, bspw. gestaffelt in Bronze, Silber oder Gold mit entsprechenden Schwellenwerten, zu weiteren Bemühungen animieren. In den USA sind bereits fünf Zertifikate/Label erhältlich, die auf Basis des „Minimum biobased content standard“ vergeben werden. Dabei sind mindestens 25 % biobasierter Inhalt für ein „Certified Biobased Product Label“ nötig (USDA 2011). Auch in Deutschland können Produzenten auf freiwilliger Basis über den Anteil biobasierter Rohstoffe im Produkt per Label informieren: DIN CERTCO vergibt drei verschiedene Label, wobei mindestens 20 % biobasierter Inhalt dafür nötig sind. Ein obligatorisches Label für die Kennzeichnung des Bio-Anteils existiert bisher nicht, aber ein EU-Standard für die Ermittlung des Anteils biobasierten Kohlenstoffs (CEN/TS 16137), auf das sich diverse Label, wie auch DIN CERTCO, berufen (European Bioplastics 2014).

Voraussetzung dafür ist aber schon auf der Primärproduktionsstufe die nachhaltige Erzeugung der nachwachsenden Rohstoffe und die nachhaltige Bewirtschaftung der dazu erforderlichen abiotischen 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 sollte auch das Interesse in den industriellen Verarbeitungsstufen und beim Verbraucher zunehmend auf den Erhalt der Funktionsfähigkeit dieser Produktionsfaktoren gerückt werden, da eine Verschlechterung oder Gefährdung dieser Wirtschaftsgrundlage fatale volkswirtschaftliche Folgen haben kann. Dementsprechend stellt sich hier die Frage, inwiefern Standards oder Zertifizierungen im Primärproduktionsbereich eine Übernutzung an den natürlichen Ressourcen verhindern oder mindern können.

Die Produktion kann auch durch Subventionen in Form von Steuererleichterungen, Zuschüssen oder anderen unterstützenden monetären aber auch nicht-monetären Instrumenten wie die Förderung von Clustern gefördert werden. In vielen Branchen – u.a. der Holz- und Automobilbranche – wird die Clusteridee vorangetrieben, um Wertschöpfungsketten zu schließen, den Informationsfluss zum gegenseitigen Vorteil zu erhöhen und dadurch Transaktionskosten zu senken. „Eine Zusammenführung von heute weitgehend noch sektoral agierenden Wissenschafts- und Wirtschaftsfeldern wird die deutsche Wettbewerbsfähigkeit stärken und Deutschlands Position als führender Wirtschafts- und Technologiestandort sichern.“ (Bioökonomierat 2010: 6). Einsichten aus dem breiten Forschungsfeld

der Clusterforschung können hier Empfehlungen zur Gestaltung von Organisationsstrukturen generieren, die das Ziel haben, Synergien zwischen den verschiedenen Partnern zu erzeugen (vgl. z. B. Schuler 2008).

4.6.2 Beschränkende Funktion

Die beschränkende Funktion der Nachhaltigkeits-Governance spielt eine entscheidende Rolle, da bei der Sicherung des Mehrwerts der Bioökonomie entstehende Knappheiten der nachwachsenden Rohstoffbasis einerseits zu adressieren sind und andererseits negative Auswirkungen auf die abiotische und die biotische Umwelt angemessen internalisiert und entsprechend vermieden werden sollen. Dies kann im Rahmen von Preisgestaltungen oder auf andere Weise berücksichtigt werden, z. B. durch Standards oder Verbote. Die Anforderungen und Erwartungen an die Bioökonomie sind hoch: „Die Bioökonomie muss wachsenden gesellschaftlichen Anforderungen an die Art, wie produziert wird, Rechnung tragen. Dies gilt beim Umwelt-, Natur-, und Tierschutz sowie bei der Einhaltung sozialer Standards. Die Weiterentwicklung von Produktionsstandards sichert diese Schutzgüter und die Akzeptanz der Verbraucherinnen und Verbraucher und beeinflusst damit auch die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Bioökonomie.“ (BMEL 2014a: 21). Die Ansprüche an die ökologisch und sozial nachhaltige Produktion von Produkten sind in den letzten Jahren zunehmend gewachsen, parallel zum Interesse der Verbraucher am Schutz der Natur³⁶. Auch bei Bioökonomie-Produkten entstehen Externalitäten wie beispielsweise ein hoher Wasserverbrauch und -verschmutzung beim Holzaufschlussverfahren. Hier können Auflagen Anreize schaffen, neue Technologien zu verwenden oder auf andere umweltschonendere Verfahren auszuweichen.

4.6.3 Nachhaltige Bioökonomie statt Bioökonomie „um jeden Preis“

Wie kann die Bioökonomie vorangebracht werden, ohne dass eine Bioökonomie „um jeden Preis“ eingeführt wird? Denn bei allen Überlegungen über die Gestaltung der Bioökonomie und assoziierten Steuerungsinstrumenten ist stets zu hinterfragen, ob die Bioökonomie tatsächlich mehr Probleme zu lösen vermag, als dass sie neue aufwirft. Der Weg hin zu einer biobasierten Wirtschaft stellt vielfältige Anforderungen an die Gesellschaft, Politik und Wirtschaftssektoren: Neben zahlreichen ökonomischen und gesellschaftlichen Fragestellungen ergeben sich auch etliche ökologische Fragestellungen. Neben Mehrwerten und positiven Effekten durch die Bioökonomie können sich auch verschiedene Nachhaltigkeitsprobleme ergeben, die den Mehrwert der Bioökonomie mindern oder mitunter überkompensieren können. Mit einer entsprechenden Ausgestaltung von Instrumenten kann einerseits der Mehrwert der Bioökonomie gesichert, andererseits negative Effekte durch die Bioökonomie vermieden oder vermindert werden. Auch Hemmnisse bezüglich der Durchsetzung der Bioökonomie können durch gezielte Anreize abgebaut oder reduziert werden.

Zentral in all diesen Fragen ist, welche Governance-Strukturen und Regulierungsformen bereits vorhanden und/oder notwendig sind, um eine nachhaltige Bioökonomie-Entwicklung zu gewährleisten

³⁶ In Deutschland sind bspw. mehr Personen in allen Naturschutzorganisationen organisiert als in allen politischen Parteien zusammen (Infonetze Umwelt- und Nachhaltigkeit 2015; Statista 2015).

und den Mehrwert der Bioökonomie zu sichern. Die Auswahl der entsprechenden Strategien, Maßnahmen und Steuerungsinstrumente stehen dabei im Vordergrund. Hier kann auch von anderen verwandten Sektoren wie der Bioenergie gelernt werden, wo ebenfalls Governance-Fragen von Relevanz sind (Purkus et al. 2012).

Die Frage, welche Instrumente eingesetzt werden, ist abhängig von den Prioritäten, die gesetzt werden, welche beispielsweise den Arbeitsmarkt, den Wirtschaftsstandort oder die Nachhaltigkeit betreffen können. Welche Art von Instrumenten eingesetzt wird, hängt von den Zielvorgaben sowie den Synergien und zusätzlichen Mehrwerten (v. a. sozialen und ökologischen) ab, die in die Bioökonomie internalisiert werden können und damit die Akzeptanz steigern können. Auch der oben bereits erwähnte Fokus – global, national oder regional – spielt in den Entscheidungsprozess mit hinein.

Grundsätzlich muss auch die Frage nach der Akteursbeteiligung aufgegriffen werden, die wiederum verknüpft ist mit Fragen, welche politischen Ziele und Leitbilder verfolgt werden, um gesellschaftlich relevante Fragestellungen und Konflikte zu adressieren, und mit welchen Maßnahmen diese umgesetzt werden sollen. Wie können bspw. im Sinne eines bottom-up-Ansatzes möglichst viele Stakeholder so effizient wie möglich in Entscheidungsprozesse einbezogen werden? Oder mit welchen Steuerungsinstrumenten könnte eine regionale Bioökonomie mit überschaubaren Stoffkreisläufen begünstigt werden? Teilweise lassen sich auch hier Parallelen zu Bioenergie-Strategien herstellen, insbesondere wenn es um die instrumentelle Förderung wie beispielsweise der bioökonomisch hergestellten End- beziehungsweise Zwischenprodukte geht, ebenso wie bei Fragen der Rohstoffproduktion und ihrer Herkunft.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Bandbreite der Governance-Fragen zur Sicherung des Mehrwerts der Bioökonomie sehr groß ist und daher zwar ein Werkzeugkasten an Steuerungselementen bereitgestellt werden kann, die spezifische Instrumentenauswahl jedoch fallspezifisch erfolgen muss und sich auch für die verschiedenen Teile der Wertschöpfungskette unterscheiden wird.

5 Fazit

Die Bioökonomie als normatives Konzept bietet eine Projektionsfläche für eine Vielzahl an gesellschaftspolitischen und ökonomischen Zielstellungen. Obwohl politisch forciert, wird deutlich, dass mit der Umsetzung einer Bioökonomie-Strategie zahlreiche Zielkonflikte unvermeidbar sind und die Nachhaltigkeit einer solchen Entwicklung eigener politischer Sicherungen bedarf. Dementsprechend stellt der Weg hin zu einer biobasierten Wirtschaft vielfältige Anforderungen in verschiedensten Bereichen: Neben zahlreichen ökonomischen und gesellschaftlichen Herausforderungen ergeben sich auch vielfältige ökologische Fragestellungen. So können sich neben volkswirtschaftlichen Mehrwerten und gesellschaftlich positiven Effekten durch die Bioökonomie auch diverse neuartige Nachhaltigkeitsprobleme ergeben, die den Mehrwert der Bioökonomie mindern oder mitunter überkompensieren können.

Aus ökonomischer Sicht kann die Organisation der Bioökonomie als alloktionstheoretisches Problem beschrieben werden. Dabei bilden Effizienz und (ökologische/soziale) Nachhaltigkeit zwei zentrale normative Kriterien, die gemeinhin an das Allokationsergebnis gestellt werden. Während die Markt-

fähigkeit von biobasierten Produkten gegeben ist, stellt sich die Frage, ob die mangelnde Wettbewerbsfähigkeit gegenüber fossil-basierten Substituten Folge des (noch) nicht effizienten Einsatzes nachwachsender Rohstoffe in relevanten Anwendungen ist, oder ob ein Marktversagen vorliegt, das den Wettbewerb zugunsten fossiler Substitute verzerrt. Es ist weiterhin zu untersuchen, wo der marktliche Preismechanismus ein effizientes und nachhaltiges Ergebnis herbeiführt, und an welcher Stelle staatliche Interventionen benötigt werden. Unter allgegenwärtigen Bedingungen von interagierenden Markt- und Staatsversagen stellt sich für die Bioökonomie-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. Inwieweit Marktversagen im Bereich der Bioökonomie eine Notwendigkeit staatlicher Interventionen begründet, und wie diese zu gestalten wären, wird in nachfolgenden Diskussionspapieren untersucht.

Dabei sind vielfältige Nutzungskonkurrenzen und Interessenskonflikte um knappe Ressourcen zu adressieren. Im Bereich der heimischen Biomasseproduktion sind vor allem Konflikte mit steigenden Umwelt- und Naturschutzanforderungen von Bedeutung sowie die zunehmende Konkurrenz zwischen der stofflichen und energetischen Nutzung. Bezüglich des Imports von Biomasse stellt die Nachhaltigkeitssicherung durch Standards eine wichtige Herausforderung dar. Im Bereich der Sekundärrohstoffe und der Produktionsabfälle ergeben sich Rohstoffpotenziale für die Bioökonomie, die im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu einer höheren Rohstoffnutzungseffizienz beitragen und begrenzte Ressourcenpotenziale entspannen können. Weiterhin bleibt zu beobachten, wie sich das Angebot an fossilen Ressourcen weiter entwickeln wird und welche Veränderungen daraus für die Preisverhältnisse resultieren. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass eine reine Verlagerung der Nachfrage von fossilen auf nachwachsende Rohstoffe dabei eine Übernutzung der begrenzten nachhaltigen Biomassepotenziale riskiert.

Mit einer entsprechenden Ausgestaltung von Instrumenten kann einerseits der Mehrwert der Bioökonomie gesichert, andererseits negative Effekte durch die Bioökonomie vermieden oder vermindert werden. Auch Hemmnisse bezüglich der Durchsetzung der Bioökonomie können durch gezielte Anreize abgebaut oder reduziert werden. So stellt sich insbesondere die Governance der Nachhaltigkeit als zentrales Handlungsfeld innerhalb der Governance der Bioökonomie dar. 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. Mit Hilfe von Governance können komplexe Systeme von Beziehungen und Regeln, die Ressourcen managen und verteilen sollen, konzeptionalisiert werden. Die heterogenen Ziele der Bioökonomie können mit Hilfe gut ausgestalteter Rahmenbedingungen durchaus erreicht werden und zu entsprechenden Mehrwerten der Bioökonomie etabliert werden.

Zentral in all diesen Fragen ist, welche Governance-Strukturen und Regulierungsformen bereits vorhanden und/oder notwendig sind, um eine nachhaltige Bioökonomie-Entwicklung zu gewährleisten und den Mehrwert der Bioökonomie zu sichern. Die Auswahl der entsprechenden Strategien, Maßnahmen und Steuerungsinstrumente steht dabei im Vordergrund. Hier kann auch von anderen verwandten Sektoren wie der Bioenergie gelernt werden, in denen ebenfalls Governance-Fragen von Relevanz sind. Die Frage, welche Instrumente eingesetzt werden, ist abhängig von den Prioritäten, die gesetzt werden. Die Bandbreite der Governance-Fragen zur Sicherung des Mehrwerts der Bioökonomie ist sehr groß, so dass die Instrumentenauswahl für die Bioökonomie fallspezifisch erfol-

gen muss. Dementsprechend werden in nachfolgenden Untersuchungen relevante Fragestellungen für das Spitzencluster BioEconomy fokussiert.

Die definierten Grundfragen lassen sich teilweise mit politischen und ökonomischen Steuerungsinstrumenten lösen sowie im gesellschaftlichen Dialog. Allerdings sind aufgrund der skizzierten Nutzungskonflikte, aber auch der Aushandlungsprozesse keine einfachen Lösungen zu erwarten. Vielmehr handelt es sich hierbei um einen Prozess, in dessen Verlauf sich Prioritäten verschieben und in denen unvorhergesehene Ereignisse Richtungsänderungen oder veränderte Reformgeschwindigkeiten nach sich ziehen können, wie dies bei der Energiewende nach dem Atomunglück von Fukushima der Fall war.

Um eine Basis für eine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit diesen Fragen zu schaffen, wird in einem weiteren Diskussionspapier die *Governance der Bioökonomie* (Pannicke et al. 2015) näher beleuchtet. Dieses wird verknüpft mit weiteren Papieren zu den *rechtlichen Rahmenbedingungen der Bioökonomie* (Ludwig et al. 2014, 2015). Die Ausgestaltung der Strukturen und Institutionen, die Zugangsvoraussetzungen des Systems für interessierte Akteure sowie die rechtlichen Strukturen sind ein zentraler Ansatzpunkt für die Ausgestaltung der Bioökonomie-Governance, welche die hier skizzierten gesellschaftlichen und ökonomischen Aspekte aufgreifen muss.

Danksagung

Dieses Papier ist im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts „Spitzenclusters BioEconomy“ (Förderkennzeichen: 031A078A).

Literatur

- Aeschelmann, F., Carus, M. & nova-Team, Baltus, W., Blum, H., Busch, R., Carrez, D., Ißbrücker, C., Käb, H., Lange, K.-B., Philp, J., Ravenstijn, J., von Pogrell, H. (2015): Bio-based Building Blocks and Polymers in the World - Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020, Short Version, Hürth. Unter: <http://bio-based.eu/download/?did=13998&file=0>, abgerufen am 09.04.2015.
- Arthur, W.B. (1989): Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events, in: The Economic Journal 99(394): 116-131.
- BAFU (2014): Düngen mit Klärschlamm wird verboten. Unter: <http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=1673>, abgerufen am 09.04.2015.
- Baumol, W.J./Oates, W.E. (1988): The Theory of Environmental Policy. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2011): Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. Merkblatt 27. Unter: http://www.lwf.bayern.de/service/publikationen/lwf_merkblatt/022680/index.php, abgerufen am 10.04.2015.
- Beermann, M., Jungmeier G., Pignatelli, V., Van Reé, R. (2015): BioEconomy Strategies in the 22 IEA Bioenergy Member Countries – Current Status, Approaches and Opportunities for Bioenergy. Vortrag bei Fachgespräch Bioenergieforschung am 21. November 2014. Behr, A., Agar, D.W., Jörisen, J. (2010): Einführung in die Technische Chemie. Springer Spektrum, Heidelberg.
- Bey, C. (2007): Grenzen der Kreislaufwirtschaft. In: Isenmann, R. / von Hauff, M. (Hrsg.): Industrial Ecology: Mit Ökologie zukunftsorientiert wirtschaften. Elsevier: Heidelberg, 75-87.
- BioÖkonomieRat (BÖR) (2009): Kompetenzen bündeln, Rahmenbedingungen verbessern, internationale Partnerschaften eingehen – Erste Empfehlungen zum Forschungs- und Technologiefeld in Deutschland. Empfehlungen des BioÖkonomieRats Nr. 1, Berlin.
- BioÖkonomieRat (BÖR) (2010): Gutachten des Bioökonomierats 2010. Innovation Bioökonomie. Forschung und Technologieentwicklung für Ernährungssicherung, nachhaltige Ressourcennutzung und Wettbewerbsfähigkeit. Forschungs- und Technologierat Bioökonomie, Berlin.
- BioÖkonomieRat (BÖR) (2011): Prioritäten in der Bioökonomie-Forschung – Empfehlungen des Bioökonomierats, Berlin.
- BioÖkonomieRat (BÖR) (2012): Internationalisierung der Bioökonomie-Forschung in Deutschland – Erste Empfehlungen des Bioökonomierats, Berlin.
- BioÖkonomieRat (BÖR) (2013): Was ist Bioökonomie? Unter <http://www.biooekonomierat.de/biooekonomie.html>, abgerufen am 10.04.2015.

- BMBF (2010): Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 – Unser Weg zu einer biobasierten Wirtschaft, Bonn, Berlin. Unter <http://www.bmbf.de/pub/biooekonomie.pdf>, abgerufen am 09.04.2015.
- BMBF (2014): Die neue Hightech-Strategie. Innovationen für Deutschland, Berlin. Unter www.bmbf.de/pub_hts/HTS_Broschüre_Web.pdf, abgerufen am 10.04.2015.
- BMEL (2014a): Nationale Politikstrategie Bioökonomie – Nachwachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie, http://www.bmbf.de/pubRD/Politikstrategie_Biooekonomie_barrierefrei.pdf, abgerufen am 09.04.2015.
- BMEL (2014b): Neue Produkte: Aus Natur gemacht. Nachwachsende Rohstoffe im Alltag, Berlin. Unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/NeueProdukteNaWaRoImAlltag.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 10.04.2015.
- BMEL (2014c): Deutschland ist zu einem Drittel mit Wald bedeckt. Bundeslandwirtschaftsminister Christian Schmidt präsentiert die Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur in der Bundespresskonferenz. Pressemitteilung vom 08. Oktober 2014. Unter www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/2014/245-SC-BWI.html, abgerufen am 10.04.2015.
- BMELV (2007): Agrobiodiversität erhalten, Potenziale der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft erschließen und nachhaltig nutzen. Unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Klima-und-Umwelt/BiologischeVielfalt/StrategiepapierAgrobiodiversitaet.pdf;jsessionid=4D19151601B2A6395580C9CAF50E7AF9.2_cid376?__blob=publicationFile, abgerufen am 09.04.2015.
- BMELV (2009): Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Berlin.
- BMELV (2011): Waldstrategie 2020 – Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Waldstrategie2020.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 09.04.2015.
- BMELV (2012): GfK-Umfrage im Auftrag des BMELV zu biobasiertem Wirtschaften. Unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/BiobasierteWirtschaftInfomappe/INFOTEXT_Umfrage.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 08.04.2015.
- BMU (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Unter https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/monitoring/biolog_vielfalt_strategie_nov07.pdf, abgerufen am 09.04.2015.

- BMU (2012): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen, Berlin. Unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_broschuere_de_bf.pdf, abgerufen am 09.04.2015.
- BMWi (2013): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Berlin. Unter http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/erneuerbare-energien-in-zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=6, abgerufen am 09.04.2015.
- BMWi (2011): Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung – das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Unter <http://www.bmbf.de/pubRD/6-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.pdf>, abgerufen am 09.04.2015.
- BMVBS (2013): Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS) – Energie auf neuen Wegen. Unter http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/_Anlage/UI-MKS/mks-strategie-final.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 09.04.2015.
- BMZ (2011): Biokraftstoffe – Chancen und Risiken für Entwicklungsländer, BMZ-Strategiepapier 14/2011. Unter http://www.bmz.de/de/mediathek/publikationen/reihen/strategiepapiere/Strategiepapier314_14_2011.pdf, abgerufen am 09.04.2015.
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Unter http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=3, abgerufen am 09.04.2015.
- Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung Unter http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5, abgerufen am 09.04.2015.
- Bundesregierung (2012): Roadmap Bioraffinerien – im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/RoadmapBioraffinerien.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 09.04.2015.
- Bundesrepublik Deutschland (2010): Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Unter https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Nationaler_Aktionsplan_100804.pdf, abgerufen am 09.04.2015.
- Bundschuh, J./Chen, G. (2014): Sustainable Energy Solutions in Agriculture, Monographie, CRC Press.
- BT-Drs 17/10968 (2012): Drucksache des deutschen Bundestages vom 12.10.2012: Schriftliche Fragen mit den in der Woche vom 8. Oktober 2012 eingegangenen Antworten der Bundesregierung.
- C3Technologies (2015): C3 Technologies: Produkte, <http://c3house.com/de/products/>, abgerufen am 08.04.2015.

Common, M./Stagl, S. (2005): Ecological Economics: An Introduction. Cambridge University Press, Cambridge.

Deconinck, S./De Wilde, B. (2013): Benefits and challenges of bio- and oxo-degradable plastics, Final Report, Brüssel. Unter: <http://www.ows.be/de/publication/benefits-and-challenges-of-bio-and-oxo-degradable-plastics-a-comparative-literature-study-deconinck-s-and-de-wilde-b-3/>, abgerufen am 10.04.2015.

Deutsche EU-Ratspräsidentschaft (2007): En Route to the Knowledge-Based Bio-Economy. Unter http://www.bio-economy.net/reports/files/koln_paper.pdf, abgerufen am 09.04.2015.

DIN CEN/TS 16137:2011-07: Kunststoffe – Bestimmung des biobasierten Kohlenstoffgehalts.

DIN EN 13432:2000-12: Verpackung - Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau - Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen.

DIN EN 14995:2007-03: Kunststoffe - Bewertung der Kompostierbarkeit - Prüfschema und Spezifikationen; Deutsche Fassung EN 14995:2006.

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. No. 07/2012. Arbeitsberichte aus der VTI-Agrarökonomie. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.

Endres, A. (1985): Umwelt-und Ressourcenökonomie. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

Europäische Kommission (2014): Policies. Unter http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/policy/index_en.htm, abgerufen 08.04.2015.

Europäische Kommission (2012): Innovation für nachhaltiges Wachstum: eine Bioökonomie für Europa. Unter http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/201202_innovating_sustainable_growth_de.pdf, abgerufen am 09.04.2015.

European Bioplastics (2014): Biobased label. Unter <http://en.european-bioplastics.org/standards/labelling/bio-based-label/>, abgerufen am 08.04.2015.

European Bioplastics (2013): Bioplastics: facts and figures. Unter: <http://en.european-bioplastics.org/multimedia/>, abgerufen am 10.04.2015.

European Bioplastics (2011): Besser verpacken mit Biokunststoffen. Informationen zur Technologie- und Marktentwicklung. Fact Sheet. Unter http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/fs/Verpackung_de.pdf, abgerufen am 08.04.2015.

EZA Fairer Handel GmbH (2014): Aktion „Jute statt Plastik“. Unter: <http://eza.cc/start.asp?ID=226295&b=1522>, abgerufen am 09.04.2015.

- Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2015): Biobasiertes PET. Unter:
<http://biopolymernetzwerk.fnr.de/biobasierte-werkstoffe/werkstoffe/biobasiertes-pet/>, abgerufen am 10.04.2015.
- Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2014): Basisdaten biobasierte Produkte – Oktober 2014. Anbau, Rohstoffe, Produkte. Unter:
http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/a/basisdaten-biooekonomie_webv02.pdf, abgerufen am 10.04.2015.
- Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2010): Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie, 3. vollständig überarbeitete Auflage. Rostock. Unter http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_228-bro_nr_industrie_dt_15072010_02_klein.pdf, abgerufen am 08.04.2015.
- Fraunhofer Institut für Chemisch- Biotechnologische Prozesse CBP (2012): Holz gänzlich in seine Bestandteile zerlegt, Presseinformation vom 02.10.2012. Unter
http://www.cbp.fraunhofer.de/de/presse_und_medien/presseinformationen/holzbestandteile.html, abgerufen am 08.04.2015.
- Fraunhofer Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB (o.J.): Geschäftsfeld Chemie. Unter
http://www.igb.fraunhofer.de/content/dam/igb/de/documents/broschueren/GF_Chemie.pdf, abgerufen am 08.04.2015.
- Fritsch, M. (2011): Marktversagen und Wirtschaftspolitik. Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns, 8. Aufl., Vahlen: München.
- Gaida, B., Schüttmann, I., Zorn, H. und Mahro, B. (2013): Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotential der deutschen Lebensmittel- und Biotechnik-Industrie. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben, Bremen.
- Gawel, E. (2011): Stoffstromanalyse und Stoffstromsteuerung im Bereich der Bioenergie. In: Beckenbach, F./Urban, A. I. (Hrsg.): Methoden der Stoffstromanalyse. Konzepte, agentenbasierte Modellierung und Ökobilanz. Interdisziplinäre Stoffstromforschung, Bd. 1, Metropolis, Marburg, 255-283.
- Gawel, E./Pannicke, N./Hagemann, N./Purkus, A. (2015): Governance der Bioökonomie in Mitteldeutschland, UFZ Discussion Paper, Leipzig, in Vorb.
- Genios (2012): Kunststoffe – Globale Nachfrage steigt weiter, Biokunststoffe mit starken Wachstumsaussichten, Genios Branchenwissen Nr.2 vom 24.02.2012. Unter
http://www.genios.de/branchen/kunststoffe_globale_nachfrage_steigt/s_che_20120224.html, abgerufen am 08.04.2015.
- Gottwald, F.-T./Krätzer, A. (2014): Irrweg Bioökonomie. Kritik an einem totalitären Ansatz. Suhrkamp, Berlin.
- Graedel, T. (1994): Industrial Ecology. Definition and Implementation. In: Socolow, R., Andrews, C., Berkhout, F., Thomas, V. (Eds): Industrial Ecology and Global Change, Cambridge University Press, 23-42.

- Greenpeace (2007): Öltanker. Unter http://www.greenpeace-aachen.de/archiv/meere/meere_oeltanker.php, abgerufen am 08.04.2015.
- Hagemann, N./Gawel, E./Purkus, A./Pannicke, N./Hauck, J. (2015): Possible futures towards a wood-based bioeconomy: A scenario analysis for Germany, in Vorb.
- Hill, M. (2013): A Starting Point: Understanding Governance. Good Governance and Water Governance, in: Climate Change and Water Governance: Adaptive Capacity in Chile and Switzerland (= Advances in Global Change Research 54), Springer: Dordrecht, 17-28.
- Infonetx Umwelt- und Nachhaltigkeit (2015): Umweltorganisationen. Unter: <http://www.infonetz-owl.de/index.php?id=228>, abgerufen am 10.04.2015.
- Isenmann, R./ von Hauff, M. (Hrsg.) (2007): Industrial Ecology: Mit Ökologie zukunftsorientiert wirtschaften. Elsevier, München.
- Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH (IW) (2012): Wertschöpfungsketten und Netzwerke. Unter <https://www.vci.de/Downloads/Publikation/IW-Studie%20Wertsch%20B6pfungsketten%20und%20Netzwerke%20Juli%202012.pdf>, abgerufen am 09.04.2015.
- Labo (2013): Biokunststoff PET. Unter <http://www.labo.de/produkt-innovationen/biokunststoff-pet-polyethylenterephthalat--wird-bis-2020-zum-wichtigsten-biopolymer.htm>, abgerufen am 08.04.2015.
- Lamers, P./Marchal, D./Heinimö, J./Steierer, F. (2012): Global wood chip trade for energy. IEA Bioenergy, Paris.
- Landesregierung Baden-Württemberg (2013): Bioökonomie im System aufstellen – Konzept für eine baden-württembergische Forschungsstrategie „Bioökonomie“. Unter https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/Konzept_Forschungsstrategie_Biooekonomie.pdf, abgerufen am 09.04.2015.
- Ludwig, G./Tronicke, C./Köck, W./Gawel, E. (2015): Der Rechtsrahmen für die Bioökonomie in Deutschland, in: Die Öffentliche Verwaltung 68 (2): 41-53.
- Ludwig, G./Tronicke, C./Köck, W./Gawel, E. (2014): Rechtsrahmen der Bioökonomie in Mitteldeutschland - Bestandsaufnahme und Bewertung. UFZ Discussion Paper 22/2014. Leipzig. Unter http://www.ufz.de/export/data/global/63262_DP_22_2014_Bioeconomy1.pdf, abgerufen am 08.04.2015.
- Mantau, U. (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland – Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Hamburg.
- Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013): Eckpunkte einer Bioökonomiestrategie für Nordrhein-Westfalen. Unter http://www.wissenschaft.nrw.de/fileadmin/Medien/Dokumente/Forschung/Fortschritt/Biooekonomiestrategie_NRW.pdf, abgerufen am 09.04.2015.

- Ministerium für Wissenschaft und Wirtschaft Sachsen-Anhalt (2014): Regionale Innovationsstrategie Sachsen-Anhalt 2014-2020.
- Müller-Christ, G. (2007): Industrial Ecology in Unternehmen: Widersprüche, Grenzen und Vertrauen. In: Isenmann, R. / von Hauff, M. (Hrsg.): Industrial Ecology: Mit Ökologie zukunftsorientiert wirtschaften. Elsevier, Heidelberg, 131-141.
- Netherlands Enterprise Agency (2013): Protocol For Monitoring Of Material Streams In The Biobased Economy, 56 S., [http://www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com/upload_mm/7/4/5/13891c03-b5f3-44ed-92a5-df81b16564ca_Protocol_monitoring_materialstreams_BBE_Netherlands\(1%20\).pdf](http://www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com/upload_mm/7/4/5/13891c03-b5f3-44ed-92a5-df81b16564ca_Protocol_monitoring_materialstreams_BBE_Netherlands(1%20).pdf).
- NIIR Board of Consultants & Engineers (2015): The Complete Book on Biomass Based Products (Biochemicals, Biofuels, Activated Carbon), Monographie, Asia Pacific Business Press Inc.
- Nowicki, P./Banse, M./Bolck, C./Bos, H./Scott, E. (2008): Biobased economy: State-of-the-art assessment. Wageningen, Den Haag.
- Ober, S. (2014): Was ist Bioökonomie? – Bundesregierung und EU setzen auf biobasierte Industrie. In: Rundbrief Forum Umwelt und Entwicklung 4/2014: Goldgräberstimmung: Bioökonomie zwischen Welthunger und Rohstoffalternativen. ISSN 1864-0982. Unter: http://forschungswende.de/index.php?option=com_content&view=article&id=203:was-ist-biooekonomie-ein-beitrag-von-steffi-ober-in-rundbrief-forum-umwelt-entwicklung&catid=21&Itemid=166, abgerufen am 10.04.2015.
- OECD (2009): The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda. Main Findings and Policy Conclusions. Unter <http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf>, abgerufen am 08.04.2015.
- Oegut (o.J.): Bio-Basis – Basis-Substrate aus biogenen Reststoffen zur Herstellung von Schlüsselchemikalien. Unter <http://www.oegut.at/de/themen/ressourcen/biogene-reststoffe.php>, abgerufen am 08.04.2015.
- Paech, N. (2012): Befreiung vom Überfluss - Auf dem Weg in die Postwachstumsökonomie, oekom, München.
- Pannicke, N./Gawel, E./Hagemann, N./Purkus, A./Strunz, S. (2015): The political economy of fostering a wood-based bioeconomy in Germany, forthcoming.
- Pellerin, W./ Taylor, D.W. (2008): Measuring the Biobased Economy – a Canadian Perspective. Industrial Biotechnology 4 (4): 363-366.
- Ponitka, J., Lenz, V. und Thrän, D. (2011): Energetische Holznutzung – Aktuelle Entwicklungen vor dem Hintergrund von Klima- und Ressourcenschutz. Forschungsreport 1/2011: 20-22.
- Purkus, A., Gawel, E. und Thrän, D. (2012): Bioenergy governance between market and government failures: A new institutional economics perspective, UFZ Discussion Paper No. 13/2012, Leipzig.
- Rat der Europäischen Union (2006): Die erneuerte EU-Strategie für nachhaltige Entwicklung (10917/06), Brüssel.

- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Berlin.
- Santarius, T. (2012): Grünes Wachstum: Der Mythos ist eine Milchmädchenrechnung. In: Zeitschrift politische Ökologie 130: 132-135. Unter <http://www.santarius.de/1028/mythos-gr%C3%BCnes-wachstum/>, abgerufen am 08.04.2015.
- Schuler, J. (2008): Clustermanagement: Aufbau und Gestaltung von regionalen Netzwerken, 1. Aufl., Verlag Wissenschaft und Praxis, Sternenfels.
- Science Campus Halle (2014): Wissenschaftscampus Pflanzenbasierte Bioökonomie Halle. Unter http://www.sciencecampus-halle.de/index.php/%C3%9Cber_uns.html, abgerufen am 08.04.2015.
- Spitzencluster BioEconomy (2014): Bioökonomie – Was ist das?. Unter <http://www.bioeconomy.de/biooekonomie/>, abgerufen am 08.04.2015.
- Statista (2014): Einwohnerzahl von Deutschland bis 2014. Unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/2861/umfrage/entwicklung-der-gesamtbevoelkerung-deutschlands/>, abgerufen am 10.04.2015.
- Statista (2015): Mitgliederzahlen der politischen Parteien in Deutschland am 31. Dezember 2013. Unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1339/umfrage/mitgliederzahlen-der-politischen-parteien-deutschlands/>, abgerufen am 10.04.2015.
- Statistisches Bundesamt (2013a): Umwelt: Abfallbilanz 2011. Unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallwirtschaft.html>, abgerufen am 10.04.2015.
- Statistisches Bundesamt (2013b): 5 % weniger Klärschlamm entsorgt. Pressemitteilung Nr. 421 vom 12.12.2013. Unter: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2013/12/PD13_421_32214.html, abgerufen am 10.04.2015.
- Statistisches Bundesamt (2014): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. Fachserie 3 Reihe 5.1. Unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Flaechennutzung/Flaechennutzung.html>, abgerufen am 10.04.2015.
- Statistisches Bundesamt (2015): Landwirtschaftlich genutzte Fläche 2013: 71 % sind Ackerland. Unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/FeldfruechteGruenland/AktuellFeldfruechte1.html>, abgerufen am 10.04.2015.
- Stockrahm, S./Reuters/AFP (2010): Behörde befürchtet historische Umweltkatastrophe. In: Die Zeit vom 11.05.2010. Unter <http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2010-05/oelpest-umweltbehoerde-befuerchtung>, abgerufen am 08.04.2015.
- Tänzler, D./Luhmann, H.-J./Supersberger, N./Fischedick, M./Maas, A./Carius, A. (2007): Die sicherheitspolitische Bedeutung Erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.

Thrän, D. et al. (2011): Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung, DBFZ Report Nr. 4, Leipzig.

UN (2012): UN System Task Team on the Post-2015 UN Development Agenda. Governance and development. Thematic Think Piece UNDES, UNDP, UNESCO. Unter: http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/Think%20Pieces/7_governance.pdf, abgerufen am 10.04.2015.

United States Department of Agriculture (USDA) (2011): USDA's New Biobased Product Labeling Program. Unter: <http://www.biopreferred.gov/BioPreferred/faces/pages/DocumentBrowser.xhtml#>, abgerufen am 09.04.2015.

Unruh, G. C. (2000): Understanding Carbon Lock-In, in: Energy Policy, 28(12): 817-830.

Verband der chemischen Industrie e.V. (VCI) (2012): Basischemie 2030. Unter: <https://www.vci.de/themen/energie-klima-rohstoffe/rohstoffe/2012-10-23-vci-analyse-zur-basischemie-2030-vci.jsp>, abgerufen am 09.04.2015.

Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt (WZW) (2008): Risikomanagement im Wald: Finanzkrise bestätigt Forstwirtschaft. Unter [http://www.wzw.tum.de/index.php?id=240&tx_ttnews\[tt_news\]=40&cHash=0fd4f53f9af20176880e3969f39dedf9](http://www.wzw.tum.de/index.php?id=240&tx_ttnews[tt_news]=40&cHash=0fd4f53f9af20176880e3969f39dedf9), abgerufen am 08.04.2015.

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