

# Mögliche Zukünfte für die holzbasierte Bioökonomie: Eine Szenarienanalyse für Deutschland

Forschen für die Umwelt



Informationen zum  
Spitzencluster  
BioEconomy



Informationen zur  
AG „Recht und  
Governance“



## Vorwort

In den letzten Jahren hat sich das Bewusstsein darüber, dass nachhaltiges Wirtschaften künftig mehr erfordern wird als eine Dekarbonisierung der Energieversorgung, deutlich verstärkt. Weltweit setzen Regierungen daher auf Strategien einer umfassenden „Bioökonomie“. Damit verbunden ist auch der Wandel zu einer nachhaltigen industriellen Produktion einschließlich einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. Die Bedeutung einer biobasierten Wirtschaftsweise dürfte, so ist zu erwarten, weltweit zunehmen. Dies erfordert freilich einen komplexen Pfadübergang unserer Wirtschafts- und Lebensweise, der schon im Energiebereich erhebliche Herausforderungen bereithält, nicht zuletzt mit Blick auf die Nachhaltigkeitssicherung dieser Entwicklungen.

In dem vom BMBF geförderten Spitzencluster „BioEconomy“ arbeiten Partner aus Forschung

und Industrie (Holz- und Forstwirtschaft, chemische Industrie, Kunststoffindustrie und Anlagenbau) in einem mitteldeutschen Exzellenz-Cluster an der stofflichen und energetischen Nutzung von Non-Food-Biomasse, insbesondere Holz. Die wissenschaftliche Begleitforschung des Spitzenclusters entwickelt hierfür u. a. Politik- und gesamtwirtschaftliche Umfeldanalysen. Mit der ursprünglich für den Unternehmensbereich entwickelten, heute aber weit verbreiteten Methode der Szenarienanalyse können in diesem Zusammenhang verschiedene künftige Entwicklungspfade beschrieben werden, die es Unternehmern und politischen Entscheidungsträgern u. a. erlauben, strategische Entscheidungen unter Unsicherheit zu treffen.

Die Arbeitsgruppe „Recht und Governance der Bioökonomie“ legt mit dieser Broschüre die

Ergebnisse ihrer Szenarienanalyse „Mögliche Zukünfte für die holzbasierte Bioökonomie: Eine Szenarienanalyse für Deutschland“ vor. Sie zeigt auf der Grundlage von Experteneinschätzungen nachvollziehbare Linien künftiger Entwicklungen der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland auf und kann damit einen wichtigen Beitrag für die Strategieentwicklung sowohl des Spitzenclusters BioEconomy als auch der künftigen Bioökonomie-Politik leisten.

**Univ.-Prof. Dr. Erik Gawel**

**Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Köck**



UFZ, Standort Leipzig

## Inhalt

Zielstellung und Methoden der Szenarienanalyse .....	5
Szenarienanalyse und Governance-Forschung .....	7
Status Quo und Trends: Die Holz-Bioökonomie in Deutschland .....	8
Status Quo und Trends: Holzorientierte Bioökonomie-Politik in Deutschland .....	12
Auswahl relevanter Einflussfaktoren .....	15
Herleitung von sechs Schlüsselfaktoren .....	17
Clusterung und Klassifizierung der Einflussfaktoren .....	19
Ausprägungen der Schlüsselfaktoren .....	20
Die sechs Schlüsselfaktoren im Überblick .....	21
Herleitung der vier Szenarien zur Zukunft der Bioökonomie .....	25
Die vier Szenarien im Überblick .....	27
Die Storylines der vier Szenarien .....	29
Szenario 1: Der Staat als Treiber .....	29
Szenario 2: Trend zur Nachhaltigkeit .....	31
Szenario 3: Weiter wie bisher .....	33
Szenario 4: Hemmender Staat .....	35
Ausprägungen der Schlüsselfaktoren in den vier Szenarien im Überblick .....	36
Bedeutung der Szenarien für Politik, Unternehmen, Konsumenten und Wähler .....	39
Schlussfolgerungen .....	42
Literaturverzeichnis .....	44
Impressum .....	48

### Schritt 1: Schlüsselfaktoren definieren

- Identifizierung von allgemeinen Einflussfaktoren für die Entwicklung der Bioökonomie
- Bestimmung der Schlüsselfaktoren: Wichtigste Einflussfaktoren nach Einschätzung der Experten aus dem Spitzencluster BioEconomy
- Festlegung möglicher Ausprägungen der Schlüsselfaktoren

### Schritt 2: Szenarien entwickeln

- Festlegung verschiedener Einstellungen von Politikern, Unternehmern, Wählern und Konsumenten gegenüber der Bioökonomie
- Ableitung von vier Szenarien
- Erstellung von Storylines, in denen Schlüsselfaktoren und Szenarien verknüpft werden

### Schritt 3: Empfehlungen ableiten

- Diskussion der Bedeutung der unterschiedlichen Szenarien der Bioökonomie für Politiker, Unternehmer, Wähler und Konsumenten
- Ableitung von Politikempfehlungen
- Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Spitzenclusters

## Zielstellung und Methoden der Szenarienanalyse

Das **Ziel** dieser Szenarienanalyse ist die Darstellung verschiedener plausibler Zukünfte für die holzbasierte Bioökonomie in Deutschland bis 2050. Unter Berücksichtigung der skizzierten Zukünfte können Unternehmen Handlungsstrategien erarbeiten. Die Analyse erlaubt zudem, Empfehlungen für politische Entscheidungsträger abzuleiten. Schließlich leistet sie einen Beitrag zur wissenschaftlichen Diskussion, wie die Bioökonomie und ihre Rahmenbedingungen künftig weiterentwickelt werden können.

Die vorliegende Szenarienanalyse basiert auf drei aufeinander aufbauenden **Schritten**:

Im ersten Schritt wurden **Schlüsselfaktoren** und deren mögliche Erscheinungsformen ermittelt, die entscheidend für die Entwicklung der Bioökonomie sind. Hierfür wurden basierend

auf einer Literaturlauswertung potenzielle Einflussfaktoren identifiziert, die für die weitere Entwicklung der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland relevant sind. Diese wurden Experten aus dem Spitzencluster BioEconomy (Wissenschaftler, Unternehmensvertreter und Mitglieder des Clustermanagements) vorgelegt, um die aus ihrer Sicht fünf relevantesten Einflussfaktoren zu benennen. Für diese sogenannten Schlüsselfaktoren wurden dann im Rahmen eines Expertenworkshops unterschiedliche Ausprägungsmöglichkeiten bestimmt.

Im zweiten Schritt der Analyse wurden unterschiedliche Einstellungen von Politikern, Unternehmern, Konsumenten und Wählern bezüglich der Bioökonomie identifiziert (von „sehr aufgeschlossen“ bis „sehr skeptisch“) und daraus vier verschiedene **Szenarien**

abgeleitet. Darauf aufbauend wurden mit Hilfe der Ausprägungen der Schlüsselfaktoren entsprechende **Storylines** zu den vier Szenarien erstellt.

Im dritten Schritt wurden von den Storylines ausgehend **Empfehlungen** für die weitere Ausgestaltung der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland im Allgemeinen und das Spitzencluster im Besonderen abgeleitet.



# Szenarienanalyse und Governance-Forschung

Die hier dargestellte Szenarienanalyse ist eingebettet in verschiedene Arbeiten der **Arbeitsgruppe „Recht und Governance der Bioökonomie“** innerhalb der **wissenschaftlichen Begleitforschung** des Spitzenclusters BioEconomy.

Diese Untersuchungen betreffen einerseits **Analysen zum Rechtsrahmen** der Bioökonomie (Köck 2014; LUDWIG et al. 2014a, 2014b; LUDWIG et al. 2015a, 2015b; 2015c; 2015d; GAWEL et al. 2015) sowie andererseits **ressourcenökonomische Analysen**, insbesondere zu Governance und Transformation von Bioökonomie-Politik im Bereich holzbasierter Biomasse (PURKUS et al. 2015; PANNICKE et al. 2015a, 2015b; GAWEL et al. 2016). Einen prominenten Platz nimmt hier auch die ökonomische Analyse der Bioenergie-Politik ein (PURKUS 2016).

Neben Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften auf nationaler (u. a. Wasser und Abfall, Abfallrecht) und internationaler Ebene (u. a. Biomass and Bioenergy, German Journal of Agricultural Economics sowie Sustainability) engagiert sich die Arbeitsgruppe auch im unmittelbaren **Wissenstransfer für das Spitzencluster BioEconomy**. Dies geschieht etwa über „Fact Sheets“ und Kurzanalysen, etwa zur REACH-Verordnung (Köck 2014), zur hydrothermalen Carbonisierung (HTC) (LUDWIG /GAWEL/PANNICKE 2015a; GAWEL/LUDWIG/PANNICKE 2015) sowie zum allgemeinen Rechtsrahmen forstbasierter Bioökonomie in Deutschland (LUDWIG/TRONICKE/KÖCK 2014b).



## Status Quo und Trends: Die Holz-Bioökonomie in Deutschland

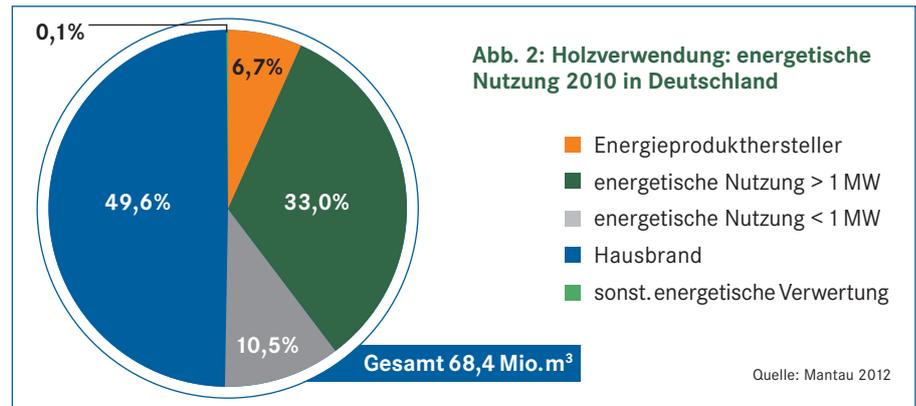
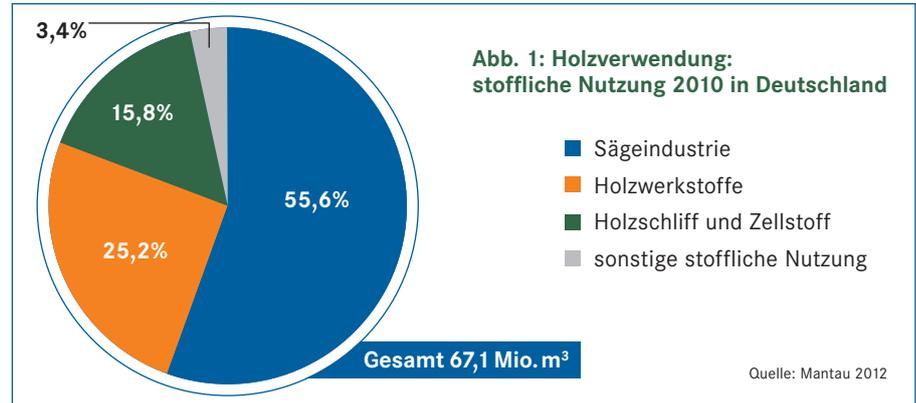
Der **Anteil der Bioökonomiesektoren an der Wertschöpfung** in Deutschland, d. h. aller Branchen, die mit der Produktion und Verarbeitung von nachwachsenden Rohstoffen befasst sind, ist in den letzten Jahren leicht angestiegen. Zur biobasierten Wirtschaft zählen u. a. Landwirtschaft und Gartenbau, Forst- und Holzwirtschaft, Fischereiwirtschaft, Bioenergiesektor, Tabakverarbeitung, Textil- und Bekleidungsindustrie, Ledergewerbe, Herstellung von chemischen Erzeugnissen sowie Gummi- und Kunststoffwaren, schließlich auch biobasierte Dienstleistungen. Ihr Anteil an der deutschen Volkswirtschaft betrug bereits im Jahr 2007 12,5 % der Beschäftigten (4,96 Mio. Beschäftigte) und 7,6 % der gesamten Bruttowertschöpfung (160 Mrd. €) (EFKEN et al. 2012).

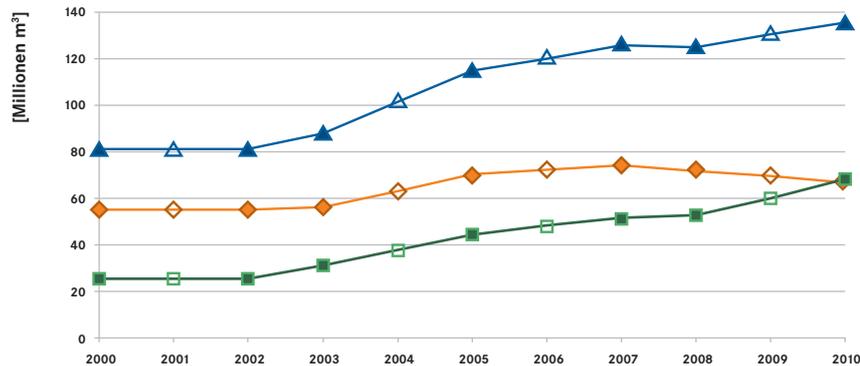


Im Holzsektor hat sich die energetische und materielle **Verwendung von Holz** in den letzten zwei Jahrzehnten verdoppelt und erreichte 135,4 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2012 (MANTAU 2012, S. 15). Ein hoher Anteil der Nachfrage nach Holz ist auf energetische Nutzungen zurückzuführen (Abbildung 2). Der energetische Nutzungsanteil überstieg im Jahr 2010 erstmals den Anteil der stofflichen Verwendung (Abbildung 3).

Die **stoffliche Nutzung** von Holz für **innovative Anwendungen** wie z. B. in der Chemieindustrie ist mit 2,2 % am Gesamtverbrauch von Holz in Deutschland jedoch eher gering (FNR 2014a, S. 58). Am weitesten fortgeschritten ist die innovative Nutzung nachwachsender Ressourcen im Bereich der Automobilindustrie, in der im Jahr 2012 insgesamt 30.400 t Holz und weitere 50.600 t andere Natur- und Holzfasern eingesetzt wurden (FNR 2014b, S. 12).

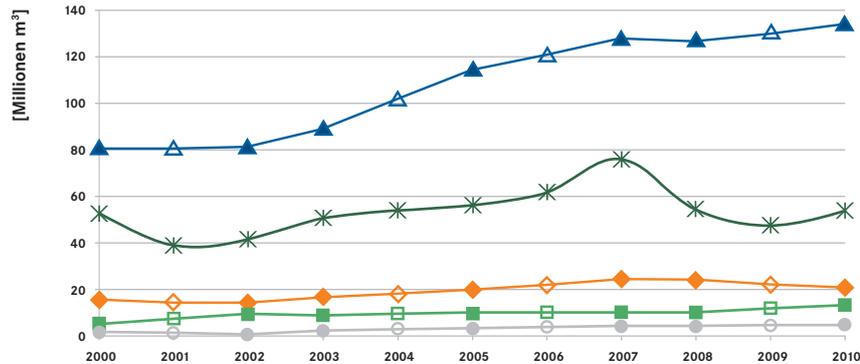
Generell dominieren im Bereich der Holzverwendung aber weiterhin **konventionelle Branchen** wie Sägeindustrie, Holzwerkstoffindustrie sowie Holzschliff- und Zellstoffindustrie (Abbildung 1).





**Abb. 3: Holzverwendung in Deutschland 2000 bis 2010**

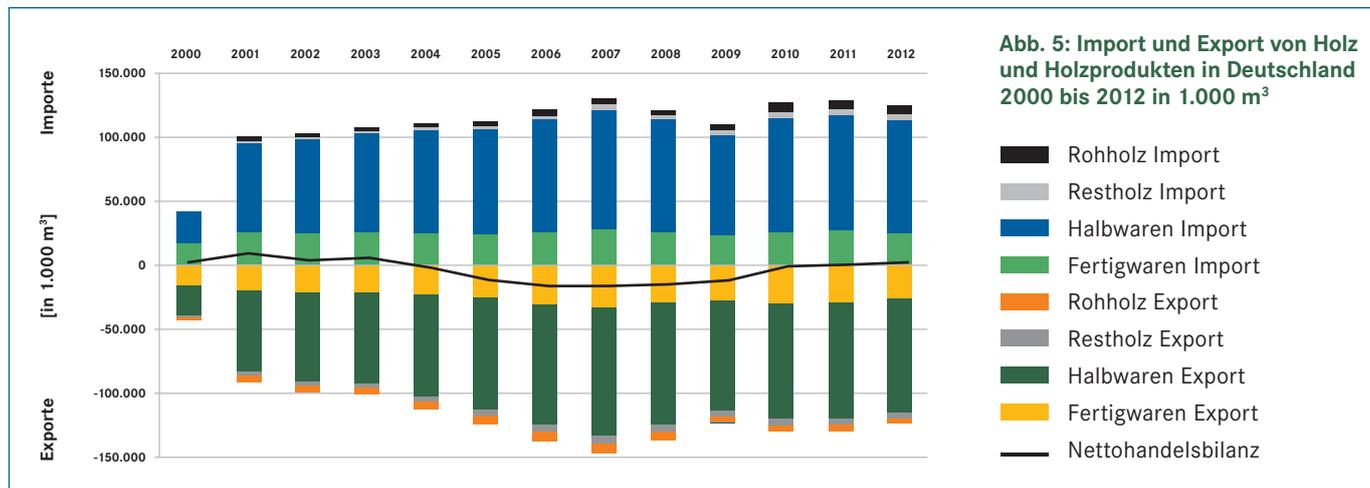
- ▲ Summe Holzverwendung
- ◆ Summe stoffliche Nutzung
- Summe energetische Nutzung



**Abb. 4: Holzaufkommen in Deutschland 2000 bis 2010 (ohne Importe)**

- \* Gesamteinschlag Holz aus Wald in Deutschland
- ▲ Summe Holzaufkommen
- ◆ Reststoffe der Produktion
- Altholz
- Landschaftspflegematerial

Quellen: BMVEL 2005, S. 3; BMEL 2014b, S. 4; MANTAU 2004, S. 20; 2009, S. 28; 2012, S. 15; SPETH 2013, S. 33; fehlende Werte (in Weiß) wurden geschätzt



Quellen: DIETER 2002, S. 11; 2003, S. 13; 2005, S. 20; 2006, S. 12; 2007, S. 14; SEINTSCH 2010, S. 15; 2011, S. 14; SEINTSCH/WEIMAR 2013, S. 15; WEIMAR 2014, S. 15

Das in Deutschland genutzte Holz stammt zu knapp zwei Dritteln aus **deutschen Wäldern**. Etwa ein Viertel des in Deutschland genutzten Holzes sind Reststoffe der Produktion wie Sägebenebenprodukte und Industrierestholz sowie Altholz. Weitere **inländische Quellen für Holzrohstoffe** sind **Landschaftspflege-maßnahmen** und **Kurzumtriebsplantagen**

(beispielhafte Darstellung ausgewählter Holzrohstoffquellen siehe Abbildung 4).

Belebt hat sich auch der **Holz-Außenhandel** (Abbildung 5). Aufgrund der derzeit geringen Mobilisierung von Holzpotenzialreserven in Deutschland, wie bspw. Holz aus Privatwäldern oder Altholz, wird die zunehmende Holznachfrage

im Wesentlichen durch **Importe** gedeckt. Die Handelsmenge von Holz und Holzprodukten hat sich im Zeitraum von 2000 bis 2012 fast verdreifacht. Dabei ist Deutschland aktuell gleichwohl ein leichter **Netto-Importeur von Holz und Holzprodukten**, da auch die Exportmengen in diesem Zeitraum in ähnlichem Maße angestiegen sind (Abb. 5).

## Status Quo und Trends: Holzorientierte Bioökonomie-Politik in Deutschland

Die Bundesregierung bekennt sich zur Bioökonomie als strategische Option, was in verschiedenen **Strategieprogrammen** des Bundes aus der jüngeren Vergangenheit verankert ist (Tabelle 1).

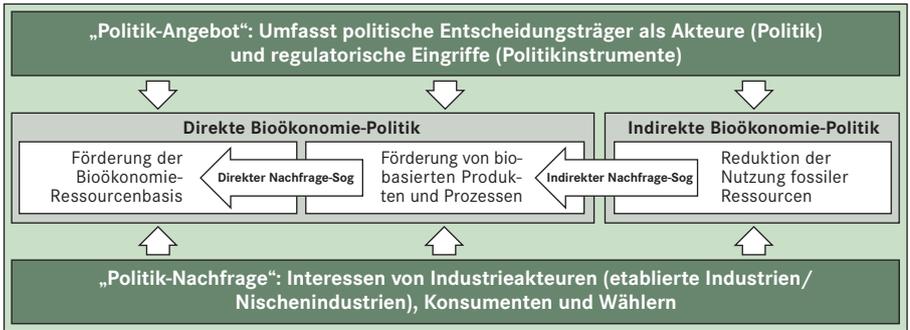
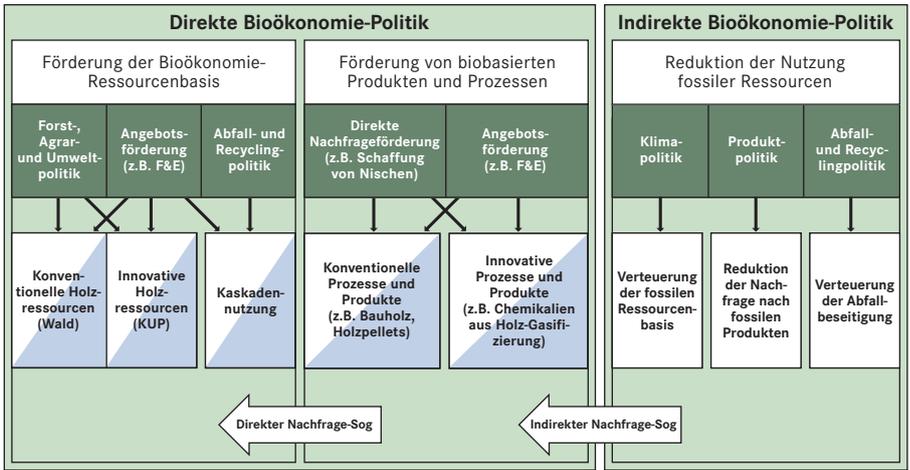
Bislang hat sich jedoch noch kein eigenständiges bioökonomiebezogenes Politikfeld herausgebildet (PANNICKE et al. 2015b) - und auch noch kein klar konturiertes „Recht der Bioökonomie“ (LUDWIG et al. 2015d). Damit bleibt es für die einzelnen Bioökonomiesektoren und auch für die verschiedenen Wertschöpfungsstufen (Rohstoffe, Verarbeitung, Produkte, Kreislaufführung) bei den jeweiligen sektoralen Gesetzen und Regelungen. Dies hemmt eine widerspruchsfreie Entwicklung - siehe etwa zur hydrothermalen Carbonisierung (HTC) LUDWIG et al. 2015a.

Tabelle 1: Programme und Strategien des Bundes mit Bezug zur Bioökonomie

Programme und Strategien	Inhalt
Nationale Politikstrategie Bioökonomie (BMEL 2014a)	Hauptstrategien für die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, inkl. Holz
Nationale Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 (BMBF 2010a)	
Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (BMELV 2009)	
Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland (BMU/BMELV 2010)	Richtlinien für nachhaltige Entwicklung
Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (Bundesregierung 2002)	
Nationales Programm für nachhaltigen Konsum (BMUB 2016)	Wichtige Strategien bzgl. Forschung und Entwicklung
Ideen. Innovation. Wachstum. High-Tech-Strategie 2020 für Deutschland (BMBF 2010b)	
6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (BMWi 2011)	
Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung (BMBF 2008)	
Nationale Strategie für biologische Vielfalt (BMUB 2007)	Wichtige Strategien bzgl. Gesundheit und Naturschutz
Rahmenprogramm Gesundheitsforschung der Bundesregierung (BMBF 2010c)	
Waldstrategie 2020 (BMELV 2011)	Strategien bzgl. Wald und Holz allgemein
Charta für Holz (BMVEL 2004)	
Gemeinsamer Erlass zur Beschaffung von Holzprodukten (Bundesregierung 2010)	

Eine **holzbezogene Bioökonomie-Politik** ruht auf drei Säulen (Abbildung 6):

- Einer direkten Steuerung durch Unterstützung einer biobasierten Rohstoff-Basis,
- einer direkten Steuerung durch Förderung biobasierter Prozesse und Produkte sowie
- einer indirekten Politik, die beschränkend auf konkurrierende fossilbasierte Rohstoffe, Prozesse und Produkte einwirkt.



**Abb. 7: Der „Markt“ für Bioökonomie-Politik** Quelle: PANNICKE et al. 2015b, S. 232

**Abb. 6: Die drei Säulen der holzbezogenen Bioökonomie-Politik** (in blau: explizit nachhaltigkeitsorientierte Politiken) Quelle: PANNICKE et al. 2015b, S. 226.

Ein entsprechendes Politik-Angebot durch politische Entscheidungsträger wird sich aber nur dann einstellen, wenn und soweit dieses von **Wählern und Interessengruppen** als „Politik-Nachfragern“ auch honoriert wird (Abbildung 7).

## Elemente der Szenarienanalyse



Akteure

Schlüsselfaktoren



Einflussfaktoren

Szenarien



Politikempfehlungen



Storylines



## SCHRITT 1: DEFINITION DER SCHLÜSSELFAKTOREN

### Auswahl relevanter Einflussfaktoren

Die Szenarienanalyse startet mit der Auswahl potenzieller Einflussfaktoren einer holzbasierter Bioökonomie in Deutschland und der anschließenden, auf Experten-Einschätzungen gestützten Identifikation sog. „Schlüsselfaktoren“.

Zu diesem Zweck wurden zunächst auf der Grundlage einer sorgfältigen Analyse bereits bestehender Szenarien zu Bioökonomie, Waldwirtschaft und Landnutzung Faktoren identifiziert, die potenziell Einfluss auf die Entwicklung der holzbasierten Bioökonomie haben.

Auf diese Weise ergaben sich im ersten Schritt insgesamt 22 potenzielle Einflussfaktoren für die weitere Entwicklung der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland (Tabelle 2).

**Tabelle 2: 22 relevante Einflussfaktoren für die holzbasierete Bioökonomie**

Kategorie	Relevante Einflussfaktoren
Gesellschaft / Konsumenten	1A) Öffentliche Einflussnahme
	1B) Umweltbewusstsein
	1C) Risiko- und Innovationseinstellung
	1D) Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für biobasierte Produkte
	1E) Politisches Wahlverhalten (Unterstützung nachhaltiger Politik)
Wirtschaft und Produzenten	2A) Globalisierung und globale Wirtschaftsentwicklung (Ölpreis / Exporte)
	2B) Einheimische Wirtschaftsentwicklung
	2C) Angebot und Nachfrage nach Holz
	2D) Bereitschaft, in Innovationen zu investieren
	2E) Fokus auf kurz- bzw. langfristig orientierten Unternehmensprofit
	2F) Standortbedingungen (z.B. Unternehmensansiedlungen, Infrastruktur)
Politik	3A) Energie- und Klimapolitik
	3B) Technologie-, Innovations- und Forschungspolitik
	3C) Forst-, Umwelt- und Naturschutzpolitik
	3D) Förderung der Kreislaufwirtschaft
	3E) Förderung der lokalen Wertschöpfung
	3F) Ausrichtung der Wirtschafts-, Wettbewerbs-, Abgaben-, Industrie- und Agrarpolitik
	3G) Regionalplanung und -entwicklung (z.B. Rolle der Länder und Regionalverbände)
Technologie	4A) Innovationen entlang der Holzwertschöpfungskette inkl. Produkte
	4B) Innovationen für den Abbau fossiler Ressourcen (z.B. nicht-konventionelle)
Umwelt	5A) Klimawandel
	5B) Biomasseverfügbarkeit / Waldstruktur

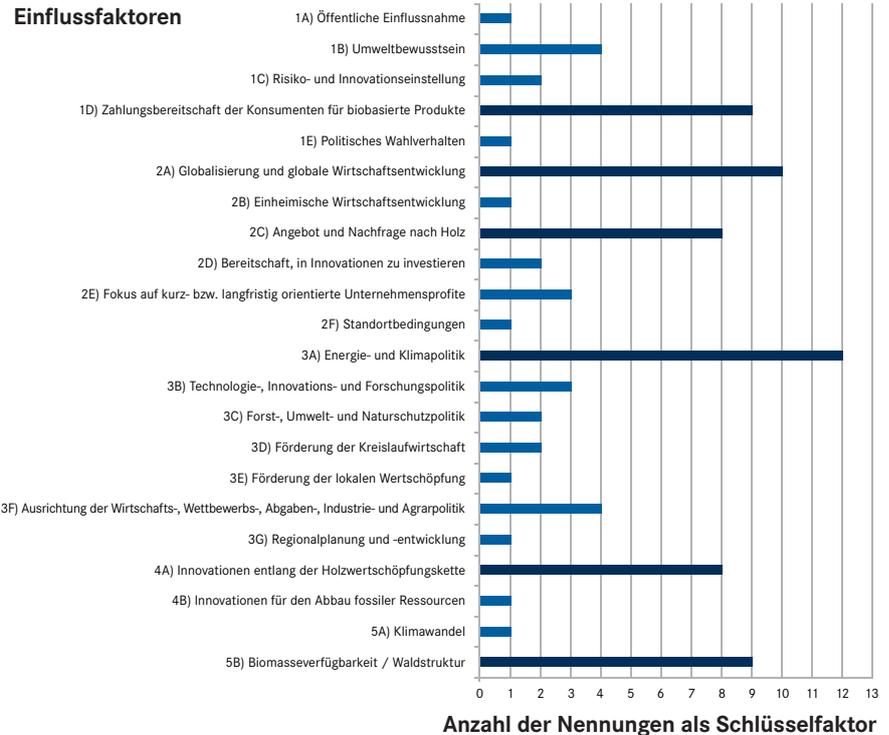


## Herleitung von sechs Schlüsselfaktoren

Insgesamt 18 Experten aus dem Spitzencluster BioEconomy (u. a. Wissenschaftler verschiedener Disziplinen, Unternehmensvertreter, Cluster-Manager) haben anschließend jeweils die aus ihrer Sicht fünf relevantesten Einflussfaktoren bewertet. Abbildung 8 zeigt, dass insgesamt sechs Einflussfaktoren weit aus am häufigsten genannt wurden – die sog. „Schlüsselfaktoren“:

- Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für biobasierte Produkte,
- Globalisierung und globale Wirtschaftsentwicklung,
- Angebot und Nachfrage nach Holz,
- Energie- und Klimapolitik,
- Innovationen entlang der Holzwertungskette inkl. Produkte und
- Biomasseverfügbarkeit / Waldstruktur.

**Abb. 8: Relevanz der potenziellen Einflussfaktoren im Expertenurteil**



## Aktivachse

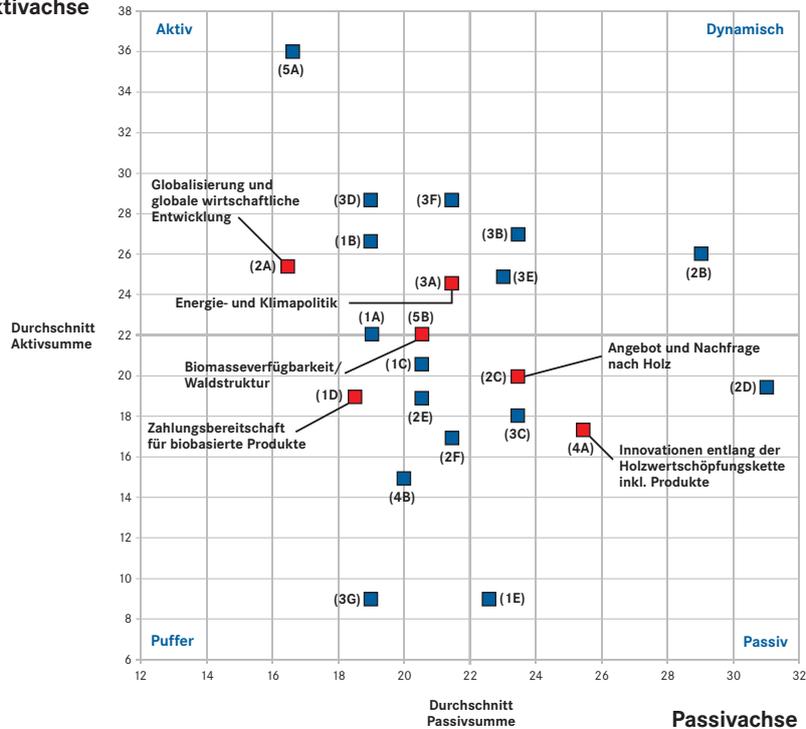


Abb. 9: Wechselbeziehungen zwischen den Einflussfaktoren in Koordinatendarstellung

- Schlüsselfaktoren
- sonstige Einflussfaktoren

## Clustering und Klassifizierung der Einflussfaktoren

Im Rahmen der Expertenbefragung wurde auch erhoben, wie sich die Einflussfaktoren nach Einschätzung der Experten gegenseitig beeinflussen. Die Faktoren lassen sich dann anhand ihrer Wechselbeziehungen klassifizieren in sog. „aktive“ und „passive“ Faktoren bzw. „dynamische“ und „Puffer“-Faktoren (Abbildung 9).

Einflussfaktoren, die in Abbildung 9 dem „**aktiven**“ Quadranten oben links zugeordnet sind, haben großen Einfluss auf andere Faktoren, werden jedoch selbst kaum durch andere beeinflusst. Ein Beispiel hierfür ist die Globalisierung, die kaum durch die anderen genannten Einflussfaktoren gesteuert werden kann, die aber ihrerseits selbst viele der aufgeführten Faktoren beeinflusst – wie etwa Angebot und Nachfrage nach Holz.

**Dynamische** Einflussfaktoren (Quadrant oben rechts) haben ebenso großen Einfluss auf andere Faktoren, aber sie unterliegen selbst ebenfalls starken Einflüssen von außen. Keiner der sechs Schlüsselfaktoren fällt in diese Kategorie.

**Passive** Einflussfaktoren (Quadrant unten rechts) weisen keinen aktiven Charakter auf, sondern werden stark von anderen Faktoren beeinflusst. Aufgrund dieser Eigenschaft sind sie als Indikatoren für die Gesamtentwicklung geeignet, wie z. B. die Innovationen entlang der Holzwertschöpfungskette.

**Puffer-Faktoren** (unten links) weisen insgesamt kaum Interdependenzen mit anderen Einflussfaktoren auf. Sie können trotzdem wichtig für die Entwicklung der Bioökonomie sein, wie

beispielsweise die Zahlungsbereitschaft für biobasierte Produkte. Allerdings besitzen die Einflussfaktoren in den anderen Quadranten insgesamt eine höhere Bedeutung für das Gesamtsystem.

## Ausprägungen der sechs Schlüsselfaktoren

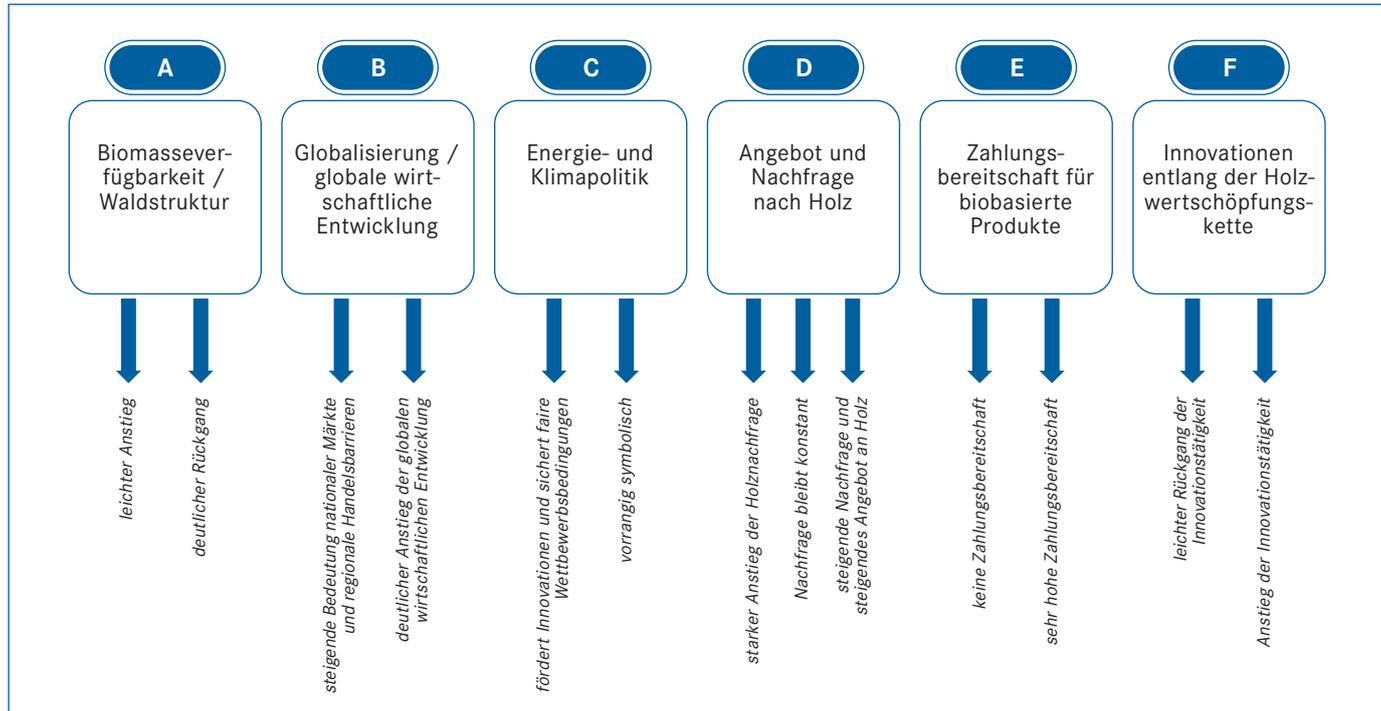


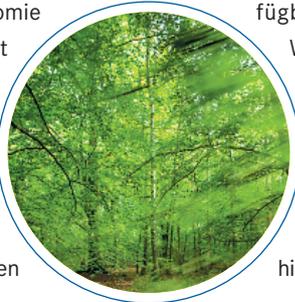
Abb. 10: Ausprägungen der sechs Schlüsselfaktoren

## Die sechs Schlüsselfaktoren im Überblick

Im Folgenden werden jene sechs Schlüsselfaktoren kurz charakterisiert, die von Experten bei weitem am häufigsten zu den relevanten Bestimmungsgrößen der holz-basierten Bioökonomie gezählt werden. Zugleich werden die jeweiligen Ausprägungen dieser Schlüsselfaktoren definiert (z. B. „stark“ / „schwach“), die anschließend für die Storylines einzelner Szenarien benötigt werden (zur Übersicht siehe Abbildung 10).

### a) Biomasseverfügbarkeit / Waldstruktur

Die Entwicklung der Bioökonomie hängt u. a. davon ab, inwieweit Biomasse überhaupt verfügbar ist. Speziell im Holzbereich sind hierbei Entscheidungen und Strategien hinsichtlich der zukünftigen Landnutzung von hoher Bedeutung. Daneben spielen



Standortbedingungen, Waldstruktur und Substratdiversität eine Rolle. Abhängig von der technologischen Entwicklung sowie den rechtlichen und wirtschaftlichen Anreizen kann außerdem der Einsatz von Abfallprodukten einen relevanten Teil der Rohstoffbasis ausmachen. Die Annahmen der Szenarien hinsichtlich der zukünftigen Verfügbarkeit von Biomasse bewegen sich zwischen einer „höheren“ und einer „niedrigeren“ Verfügbarkeit bzw. Ergiebigkeit der Waldstruktur. Ein starker Anstieg der Verfügbarkeit von Biomasse mit hoher Qualität wird als unrealistisch betrachtet, da Bäume langsam wachsen und sich die Waldstruktur mit-hin nur allmählich verändern kann.



### b) Globalisierung und globale Wirtschaftsentwicklung

Die Entwicklung nationaler Bioökonomien hängt stark von der globalen Wirtschaftsentwicklung ab, wie beispielsweise von langfristigen Preiserhöhungen für fossile Rohstoffe, globaler Verfügbarkeit von Biomasse, der Entwicklung globaler Handelswege sowie internationalen Regulierungen. In allen Szenarien wurde davon ausgegangen, dass der Ölpreis – zumindest langfristig – künftig (wieder) steigt. Unterschiedliche Annahmen basierten darauf, dass entweder die Bedeutung nationaler Märkte durch hohe Handelsbarrieren steigen könnte oder aber die globalen Wirtschaftsbeziehungen zunehmen und von einem weitreichenden Abbau der Handelsbarrieren begleitet werden.

### c) Impulse aus der Energie- und Klimapolitik

Internationale, europäische und nationale Klima- und Energiepolitik beeinflussen die Wettbewerbsfähigkeit von konkurrierenden fossilen Rohstoffen und fossilem Energieverbrauch und haben daher indirekt Auswirkungen auf die Entwicklung einer holzbasierten Bioökonomie. Das Gesamtpotenzial für nachhaltige Biomasseproduktion sowie die Nachfrage nach Energie aus Biomasse wird außerdem beeinflusst durch Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen. Für die Entwicklung der Storylines wird angenommen, dass eine effektive Energie- und Klimapolitik Innovationen stärkt und erneuerbare Energien wettbewerbsfähig macht. Dem entgegengesetzt wird eine Zukunft beschrieben, in der Energie- und



Klimapolitik eher symbolisch bleiben und keine effektiven Anreize zu einem wirklichen Pfadwechsel setzen.

### d) Angebot und Nachfrage nach Holz

Von der Nachfrage und dem Angebot nach Holz bzw. holzbasierten Produkten hängt es ab, wie schnell die holzbasierte Bioökonomie expandieren kann. Das Gleichgewicht von Angebot und Nachfrage bestimmt zudem den Preis von Holz-Biomasse. Da Holz hauptsächlich auf globalen Märkten gehandelt wird, kann das ausländische Angebot den Preis von heimischer Biomasse stark beeinflussen und diese verdrängen. Daneben hat die Nachfrage nach Biomasse



durch andere Sektoren, z. B. zur Produktion von Bioenergie, Auswirkungen auf das Marktgleichgewicht. Aufgrund der energetischen Bedeutung von Holz wird in keinem der Szenarien von einem signifikanten Einbruch der Nachfrage ausgegangen. Die Szenarien gehen alternativ entweder von einer konstanten Nachfrage aus (aufgrund eines effizienteren Einsatzes von Biomasse), von einer steigenden Nachfrage bei gleichzeitigem Anstieg des Angebots (begleitet von Nachhaltigkeits-Bedenken der Öffentlichkeit) oder aber von einer stark steigenden Nachfrage, die nicht vollumfänglich befriedigt werden kann (aufgrund strenger Import-Regularien).

### e) Zahlungsbereitschaft für biobasierte Produkte

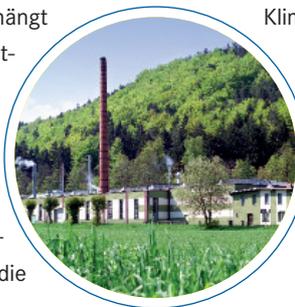
Die Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für biobasierte Produkte sowie die Konsumgewohnheiten beeinflussen die Nachfrage und somit auch die Profitabilität von Investitionen entlang einer holzbasierten Wertschöpfungskette. Die Akzeptanz der Kunden sowie von Politikern, die durch politische Maßnahmen Einfluss auf Konsummuster nehmen, ist für die weitere Entwicklung von neuen Technologien und Produkten daher entscheidend (Peck et al. 2009). In der Szenarienanalyse wird ein breites Spektrum der weiteren Entwicklung dieses Faktors abgedeckt: Die Annahmen reichen von „praktisch keiner Zahlungsbereitschaft für biobasierte Produkte“ bis hin zu einer „sehr hohen Zahlungsbereitschaft“.



Allerdings sind Wechselwirkungen zwischen diesem und anderen Einflussfaktoren vergleichsweise schwach ausgeprägt. Dies deutet u. a. darauf hin, dass die Zahlungsbereitschaft für biobasierte Produkte nur schwer durch politische Steuerung zu beeinflussen ist.

### f) Innovationen entlang der Wertschöpfungskette von Holz

Die Zukunft der Bioökonomie hängt auch von prozess- oder produktbezogenen technologischen und institutionellen Innovationen ab, da Innovationen zu Kostenreduzierungen führen können. Als weitere Folge technologischer Innovation könnte die



Nachfrage nach Biomasse sinken, wenn dadurch Verfahren entwickelt werden, mit denen weniger Biomasseinput benötigt wird und /oder Abfall genutzt werden kann. Die Ausprägungen der Szenarien reichen von einem schwachen Rückgang der Innovationsfähigkeit im Falle von Schwächen im Innovationssystem bis hin zu einer Zunahme der Innovationsaktivitäten, durch die Wissenstransfer und Lerneffekte generiert werden. Eine solche Zunahme der Innovationsaktivität dürfte einhergehen mit Anreizen aus der Klima- und Energiepolitik, hoher Zahlungsbereitschaft für biobasierte Produkte und vorteilhafter Biomasseverfügbarkeit.



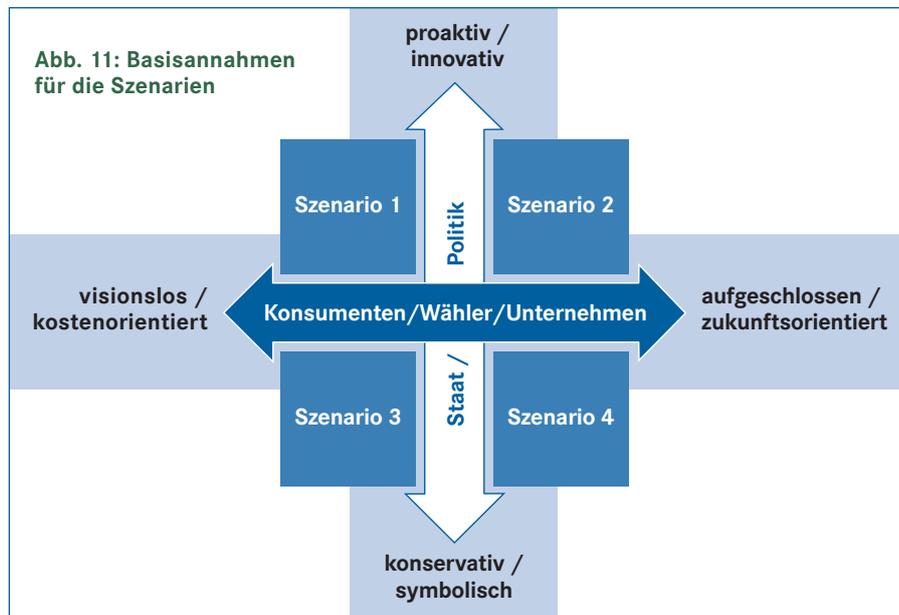
## SCHRITT 2: ENTWICKLUNG DER SZENARIEN

### Herleitung der vier Szenarien zur Zukunft der Bioökonomie

Bei der Entwicklung der holzbasierten Bioökonomie spielen, gestützt auf die Ergebnisse der Expertenbefragung, die **vier Akteursgruppen Staat, Wähler, Konsumenten** sowie **Industrievertreter** jeweils eine zentrale Rolle.

Zur Vereinfachung der Analyse werden diese Akteursgruppen auf die beiden Bereiche **öffentlicher und privater Sektor** verdichtet.

Für die Szenarientwicklung wurden nun gegensätzliche Annahmen über das mögliche Verhalten dieser Akteursgruppen gemacht, die jeweils eine zugewandte oder skeptische Haltung verkörpern (Abbildung 11).



Insgesamt ergeben sich so aus den Kombinationsmöglichkeiten genau vier verschiedene Szenarien für die Bioökonomie-Entwicklung (Abbildung 12).



## Die vier Szenarien im Überblick

### Szenario 1: Staat als Treiber

- Ein nachhaltigkeitsorientierter, die Bioökonomie fördernder Staat trifft auf kostenorientierte Industrievertreter, reservierte Verbraucher und kritische Wähler.

### Szenario 2: Trend zur Nachhaltigkeit

- Ein proaktiv gestaltender Staat sieht sich aufgeschlossenen Verbrauchern und Produzenten gegenüber.

### Szenario 3: Weiter wie bisher

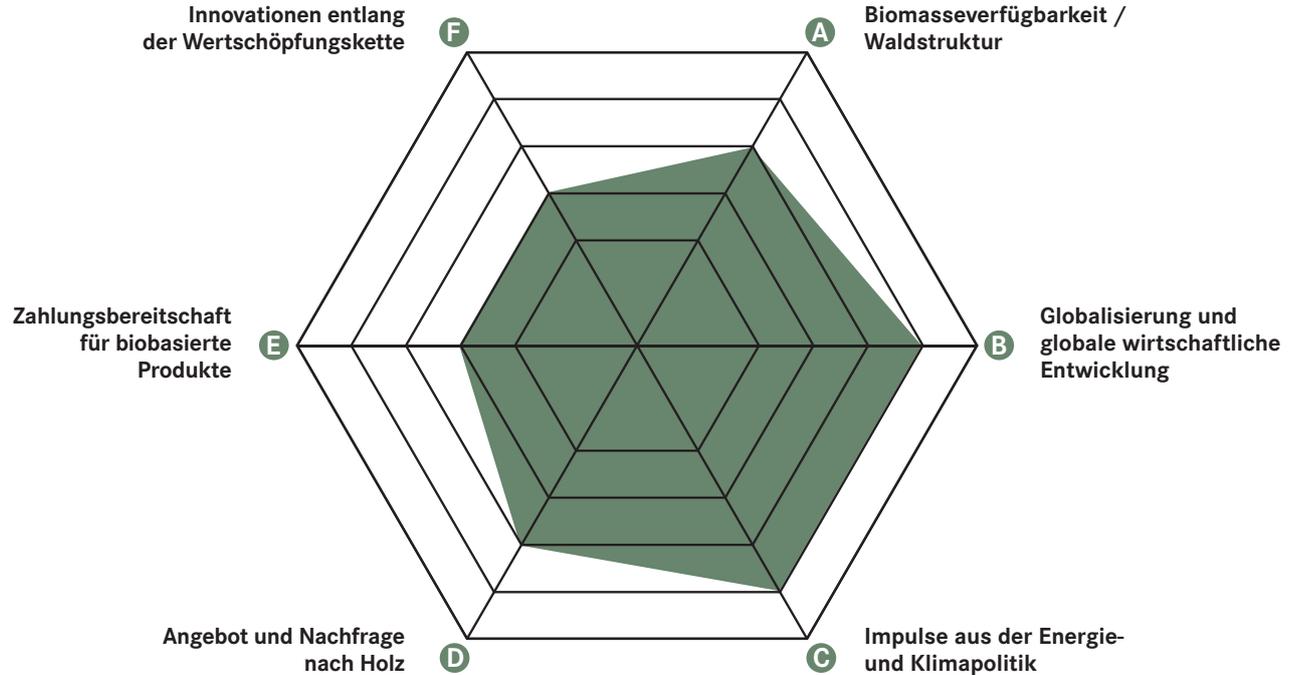
- Staat und Gesellschaft vertrauen auf traditionelle Werte und etablierte Strukturen; Veränderungen werden nicht gewagt, sondern tragen die kurzfristige Beweislast für Verbesserungen.

### Szenario 4: Hemmender Staat

- Ein politisch träger, konservativ ausgerichteter Staat handelt trotz engagierter gesellschaftlicher Impulse und innovationsbereiter Unternehmen bedächtig und versucht, etablierte Strukturen zu erhalten.

Abb. 12: Die vier Szenarien im Überblick

Abb. 13: Szenario 1 („Der Staat als Treiber“): Ausprägung der sechs Schlüsselfaktoren



## Die Storylines der vier Szenarien

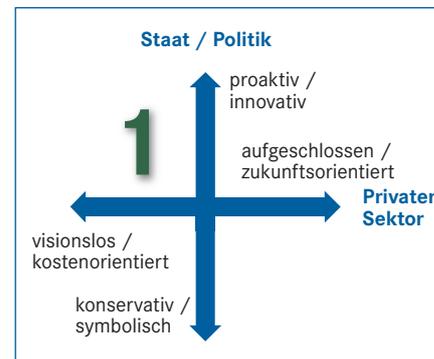
### Szenario 1: Der Staat als Treiber

Im ersten Szenario nimmt der Staat eine proaktive Rolle ein. Er versteht sich selbst als Nachhaltigkeits-Pionier und fördert innovative Ansätze, die allerdings auf vielfältige Bedenken seitens der Bevölkerung stoßen (z. B. in Bezug auf Biomasse-Nutzungskonkurrenzen).

Die Konsumenten sind preisbewusst und zurückhaltend beim Kauf von biobasierten Produkten, ihre Zahlungsbereitschaft ist gering. Auch von Unternehmerseite werden die ambitionierten Ziele der Regierung für die Weiterentwicklung von erneuerbaren Energien und Klimaschutz kritisch bewertet. Die Unternehmen sind kostenbewusst und risikoavers, zielen eher auf kurzfristige Vorteile und reagieren auf politische Signale nur dann, wenn die Profitabilität von Investitionen garantiert wird. Obwohl der Staat Startfinanzierungen anbietet,

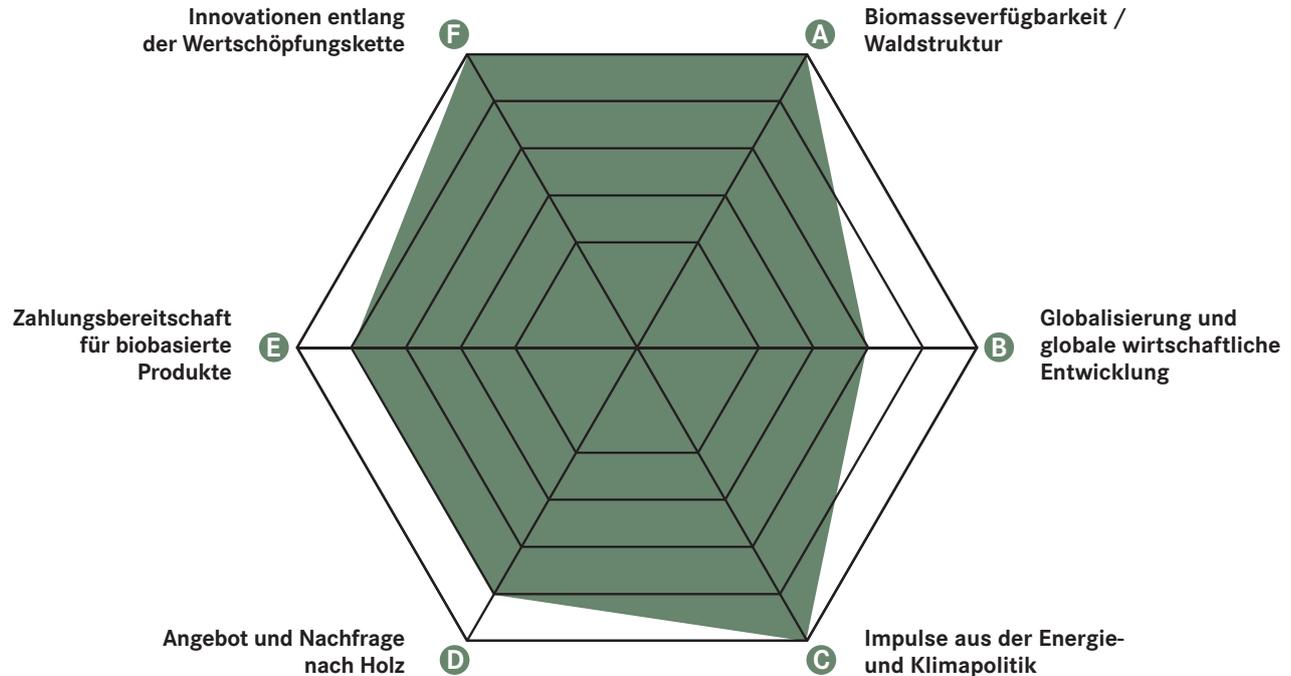
vermeiden die Unternehmen Investitionen, da sie die Entwicklung des Angebots von Rohstoffen sowie die langfristige staatliche Unterstützung als unsicher einschätzen. Die Investitionsrate ist daher gering.

Die moderat steigende Nachfrage nach holzbasierten Ressourcen wird weitgehend durch Importe gedeckt, da die heimischen Holzreserven weitgehend erschlossen sind. Potenzielle Holzrohstoffquellen wie private Wälder oder Sekundärrohstoffe (z. B. Abfall, Nutzungskaskaden) werden kaum genutzt. Nur einige wenige innovative Milieus, die vom staatlichen Engagement für Innovationen motiviert werden, tragen zu einem moderaten Anstieg des Angebotes an holzbasierten Rohstoffen bei. Diese befördern einen nur moderaten Waldumbau hin zu einer vielfältigeren Waldstruktur, der durch innovative



Kombinationen verschiedener einheimischer Baumarten in unterschiedlichen Altersstufen gekennzeichnet ist und neuartigen Waldbewirtschaftungsmethoden offen gegenüber steht. Daraus ergibt sich Potenzial für ein vielfältigeres Substratangebot für die holzbasierte Bioökonomie.

Abb. 14: Szenario 2 („Trend zur Nachhaltigkeit“): Ausprägung der sechs Schlüsselfaktoren



## Szenario 2: Trend zur Nachhaltigkeit

Im zweiten Szenario werden die ambitionierteren staatlichen Ziele hinsichtlich erneuerbarer Energien und Klimaschutz von der Bevölkerung und den Unternehmen stark unterstützt, selbst wenn diese höhere Energie- und Produktionskosten verursachen. Aufgeschlossene Konsumenten und Produzenten denken langfristig und sehen den Trend zur Nachhaltigkeit als Chance. Die Konsumenten und Wähler fordern im Gegenzug zu ihrer hohen Zahlungsbereitschaft Transparenz, Mitspracherecht und Qualitätssicherung. Die Unternehmen profitieren von diesem Trend und befürworten die Kaskadennutzung, verlangen aber eine angemessene öffentliche Unterstützung. Der Erfolg von Innovationen ist in diesem Szenario sehr hoch, u. a. weil Investitionen in Forschung und Entwicklung darauf abzielen, zum technologischen Standard zu werden.

Der Staat stärkt den Übergang zur Bioökonomie, indem er auch ökonomische Nachhaltigkeit

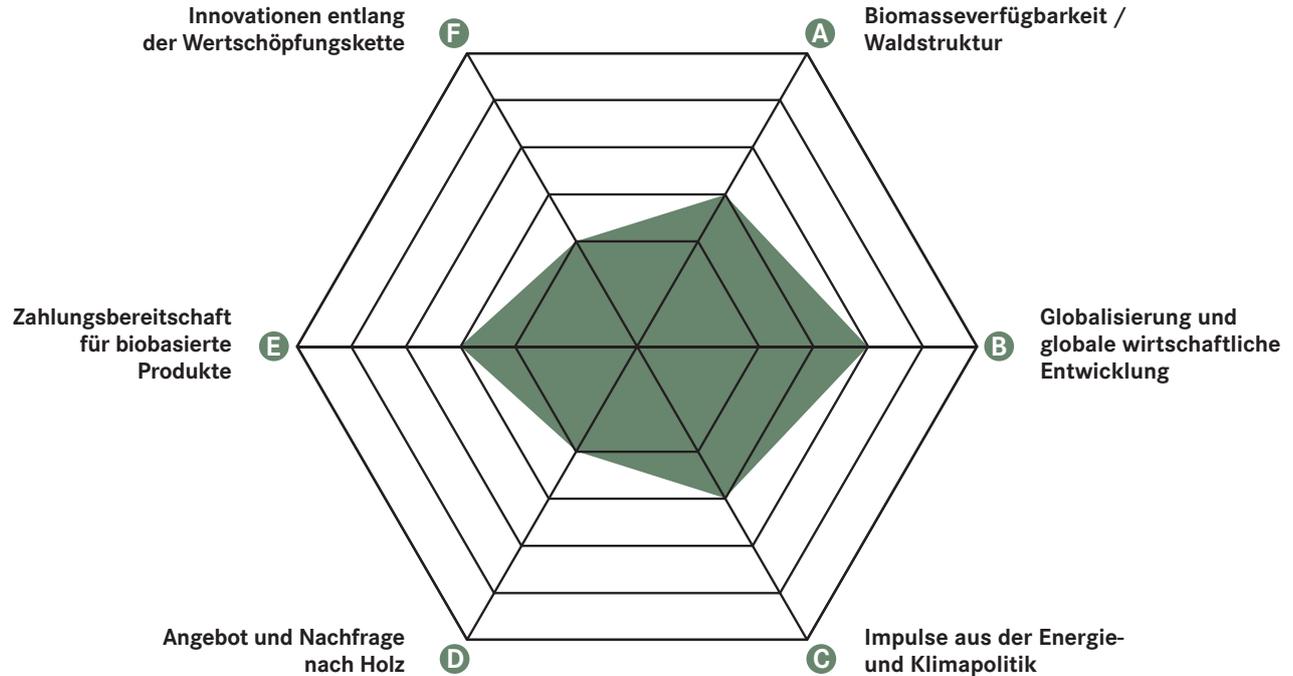
anstrebt: Die hohe Nachfrage nach holzbasierten Rohstoffen ermutigt den Staat zur Implementierung von Politikinstrumenten, welche Nachfrage und Angebot von innovativen Technologien und Produkten stärken. Dies führt zu positiven Rückkopplungsschleifen auf dem Wählermarkt sowie in Interessensverbänden der Bioökonomie, was jedoch zu einer steigenden Zahl von voreilig implementierten Maßnahmen führt.

Innovative Waldumbaumethoden, die die Nutzung nicht-einheimischer Baumarten einschließen, werden von der Gesellschaft unterstützt. Eine vielfältige Waldstruktur und die weitverbreitete Kaskadennutzung führen zu einer hohen Substratdiversität. Innovative Konzepte zur Nutzung von Privatwäldern helfen ebenfalls, die starke Nachfrage zu befriedigen. Dennoch bleiben die Möglichkeiten zur Erhöhung des Angebots an holzbasierten Rohstoffen für die stoffliche Nutzung begrenzt. Die Knappheit wird durch die Nachfrage nach Holz



– einschließlich Holz aus Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlicher Fläche – für die energetische Nutzung verstärkt. Ein wachsender Teil der Rohstoffnachfrage wird über Importe gedeckt. Dies ist möglich aufgrund von niedrigeren Nachhaltigkeitsstandards hinsichtlich der Produktionsbedingungen in den Exportländern.

Abb. 15: Szenario 3 („Weiter wie bisher“): Ausprägung der sechs Schlüsselfaktoren



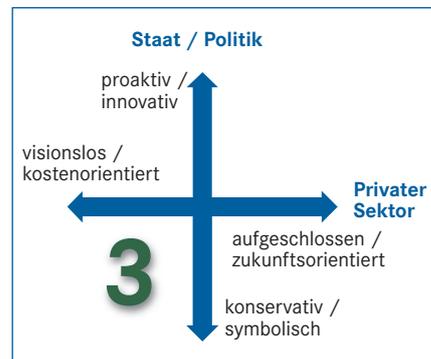
### Szenario 3: Weiter wie bisher

Wähler und Produzenten sind sich langfristiger Nachhaltigkeitsherausforderungen durchaus bewusst, scheuen aber akut vor tiefgreifenden Reformen zurück und nehmen auch die stetig steigenden Preise für Rohstoffe auf fossiler Basis in Kauf. Technische und institutionelle Pfadabhängigkeiten zugunsten etablierter fossiler Strukturen behalten die Oberhand, ein carbon lock-in erscheint daher kaum zu überwinden.

Ein grundlegender Pfadwechsel in Richtung Dekarbonisierung und Schließung von Stoffkreisläufen ist mithin unwahrscheinlich. Unternehmen nutzen und profitieren weiter von vorhandenen fossilbasierten Pfaden und bringen wenige lock-out-relevante Innovationen hervor. Dazu tragen auch die zurückhaltende staatliche Unterstützung von Forschung und Entwicklung sowie das allgemein niedrige Interesse an neuen nachhaltigkeitsorientierten Technologien, Prozessen und Produkten

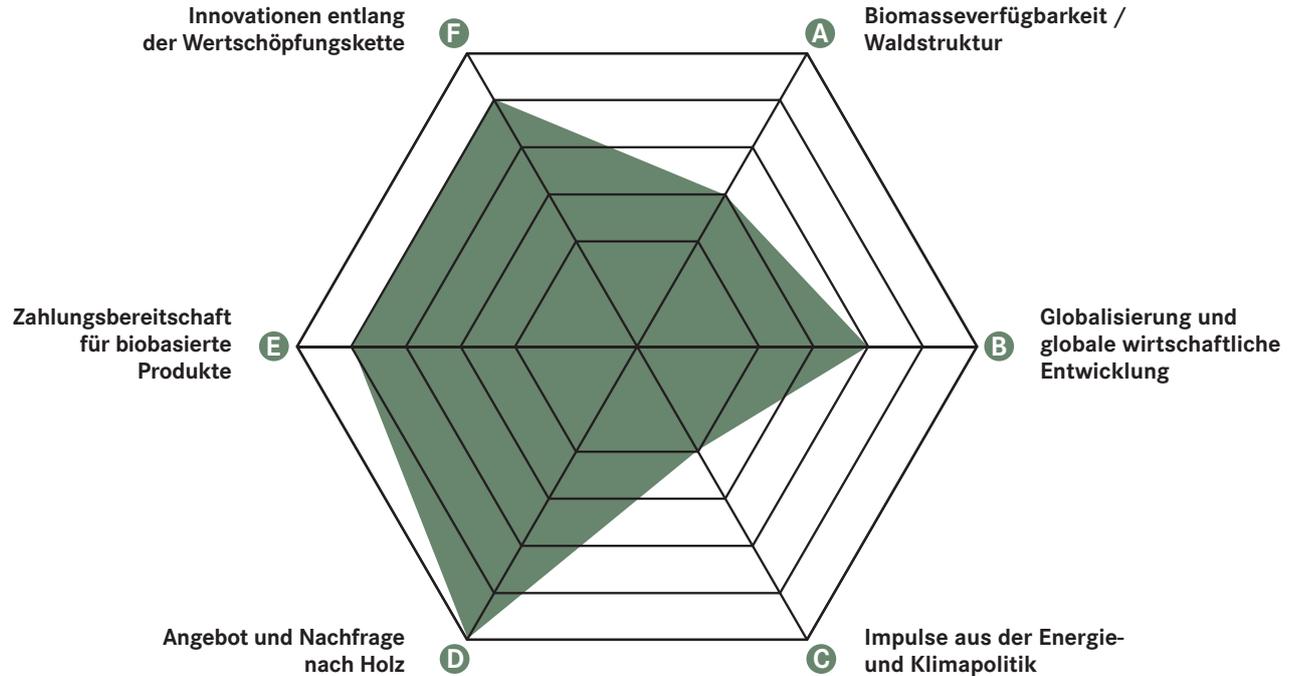
bei. Die Ziele von Klima- und Energiepolitik gehen nicht über eher vage internationale Vereinbarungen hinaus und werden zudem oftmals nicht erreicht. Ambitioniertere Ziele oder Strategieansätze zur Förderung von stofflicher Nachhaltigkeit sowie von Energieeffizienz bleiben weitgehend symbolisch. Nachfrage und auch Angebot an Holz erfahren daher keine besonderen Impulse.

Gleichzeitig gibt es nur marginale Veränderungen in den Bereichen Waldstruktur, Waldbau und Forstmanagement. Biomasse aus alternativen Quellen, wie z. B. Privatwäldern, Landschaftspflege oder Sekundärrohstoffen aus Kaskadennutzung, bleiben weitgehend ungenutzt, da die Nachfrage nach Holz und alternativen Rohstoffen insgesamt niedrig ist und Kostennachteile durch fehlende Internalisierungspolitiken bleiben. Dies führt zu einer geringen Substratdiversität. Externe Effekte des Energiesektors werden in zu geringem Ausmaß in den Preisen abgebildet, als dass dies



zu einer kraftvollen Substitution von Produkten auf fossiler Basis und einem nachhaltigen Strukturwandel führen würde. Alles in allem bleibt die Bioökonomie in diesem Szenario weiterhin ein Nischensektor.

Abb. 16: Szenario 4 („Hemmender Staat“): Ausprägung der sechs Schlüsselfaktoren

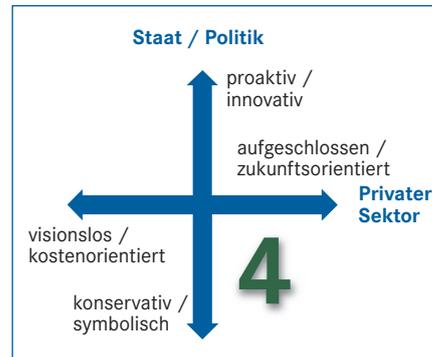


#### Szenario 4: Hemmender Staat

Aufgeschlossene Konsumenten mit hoher Zahlungsbereitschaft erzeugen, zusammen mit einem gestiegenen Preis für fossile Produkte, einen spürbaren Anstieg in der Nachfrage nach holzbasierten Produkten. Private Initiativen verweisen auf die Vorteile von freiwilligen Kohlenstoffmärkten, doch die Reichweite solcher Initiativen bleibt aufgrund der fehlenden politischen Unterstützung begrenzt. Die Produzenten handeln langfristig und betrachten den Trend zu Nachhaltigkeit als Chance. Große Unternehmen bemühen sich, Innovationen durch eigene Investitionen voranzubringen. Im Gegensatz dazu sind kleine und mittlere Unternehmen von staatlicher Unterstützung abhängig, die nicht existiert. Trotzdem gelingt es kleinen Unternehmen in geringem Umfang, Netzwerke aufzubauen und dadurch Synergien und Lerneffekte zu erzielen.

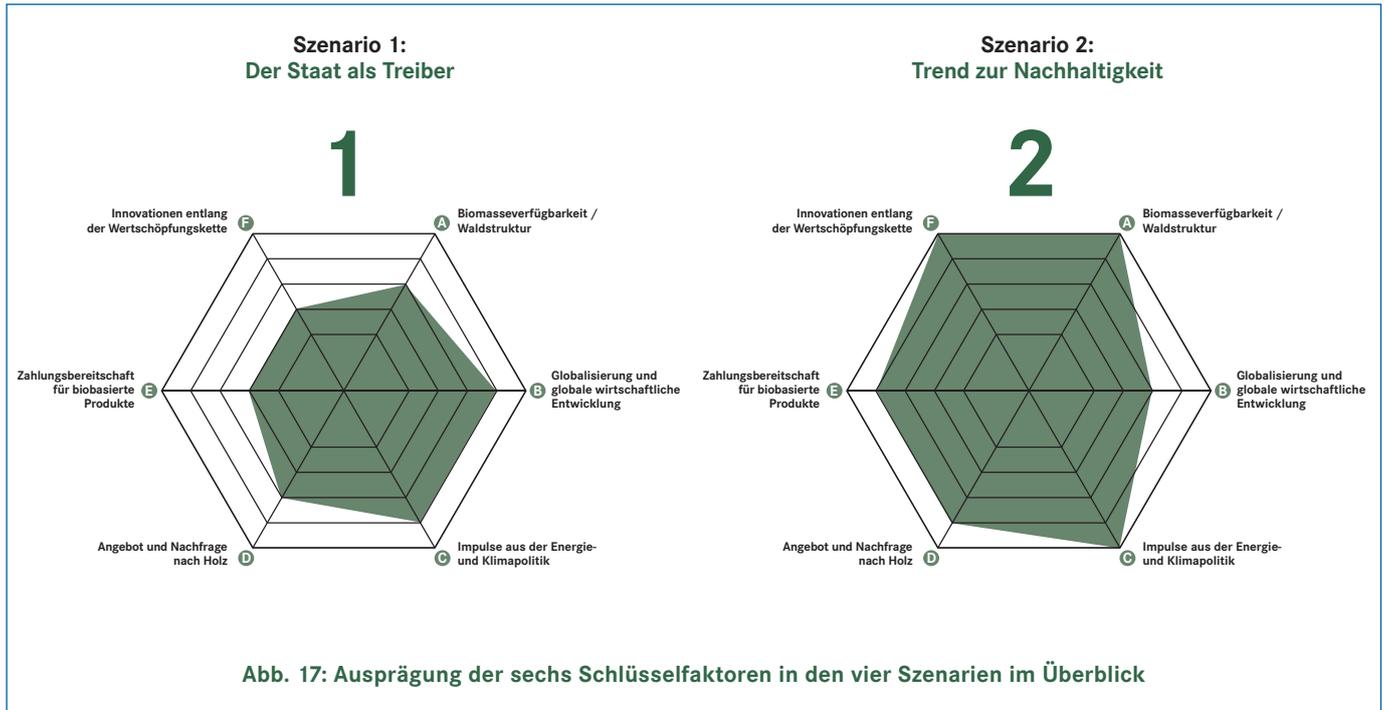
Dem hohen Maß an Innovationsbereitschaft der Unternehmen steht ein zurückhaltender

Staat gegenüber, der nur zögerlich auf die Forderungen nach Unterstützung von Nachhaltigkeitsinnovationen reagiert. Auch bei anderen Handlungsfeldern von Nachhaltigkeitspolitiken bleibt der Staat in traditionellen Strukturen verhaftet und scheut die politischen und kurzfristigen ökonomischen Kosten einer Systemtransformation. Stattdessen wird der Forderung nach Nachhaltigkeits-Reformen mit symbolischen Maßnahmen begegnet, die vorzugsweise nach Ereignissen mit großer Öffentlichkeitswirkung initiiert werden. Diese werden jedoch nicht oder nur teilweise implementiert und führen daher keinen nachhaltigen Strukturwandel herbei. Hinsichtlich des Klimaschutzes spielen Optionen wie Erdgas, Kohlenstoffabscheidung und -speicherung in Kombination mit kosteneffizienten Erneuerbare-Energien-Technologien eine wichtige Rolle. Eine tiefgreifende Transformation des Energiesystems findet aber nicht statt. Die auf fossilen Rohstoffen basierende Durchflusswirtschaft bleibt folglich bestehen. Experimente z. B. mit



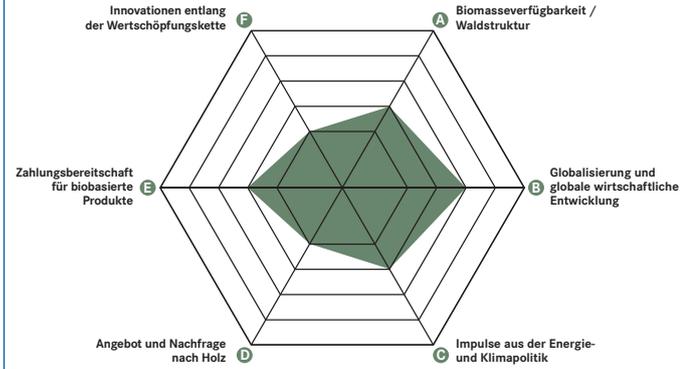
neuen Baumarten erhöhen die Substratdiversität leicht. Die Importquote ist mangels Nachfrage eher gering.

## Ausprägungen der Schlüsselfaktoren in den vier Szenarien im Überblick



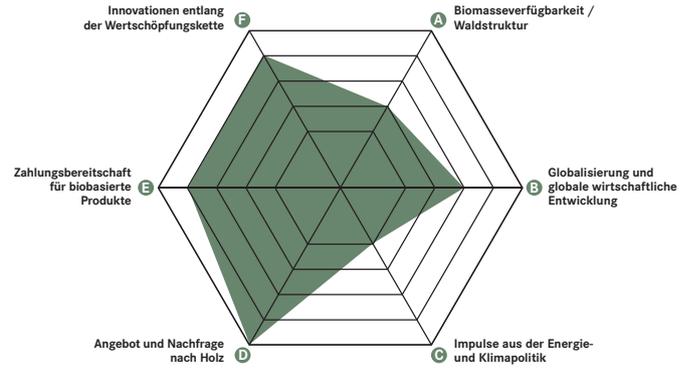
### Szenario 3: Weiter wie bisher

# 3



### Szenario 4: Hemmender Staat

# 4





» *Bioökonomie muss mehr sein als nur das Wirtschaften mit biobasierten Rohstoffen. Als normatives Konzept nachhaltigen Wirtschaftens in möglichst geschlossenen Stoffkreisläufen bietet sie neben einer Vision aber zugleich eine Projektionsfläche für eine Vielzahl an gesellschaftspolitischen wie ökonomischen Zielstellungen und Ansprüchen.*

*Die Szenarienanalyse macht vor diesem Hintergrund deutlich, dass mit der Umsetzung eines Pfadwechsels in Richtung Bioökonomie zahlreiche Zielkonflikte und Friktionen unvermeidbar sind und die Nachhaltigkeit einer solchen Entwicklung eigener politischer Sicherungen bedarf. «*

**Univ.-Prof. Dr. Erik Gawel**

## SCHRITT 3: ABLEITUNG VON EMPFEHLUNGEN

### Bedeutung der Szenarien für Politik, Unternehmen, Konsumenten und Wähler

Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus der Szenarienanalyse ziehen? In allen Szenarien spielen offensichtlich vielfältige **Unsicherheiten** eine wichtige Rolle für die weitere Entwicklung der Bioökonomie (vgl. PURKUS et al. 2015). Dies kann angesichts der Reichweite der erforderlichen Transformation unserer gesamten Wirtschafts- und Lebensweise nicht überraschen. Zu diesen Unsicherheiten gehören u. a. der Klimawandel, ökonomische Rahmenbedingungen wie Globalisierung und Weltmarktpreise, die Entdeckung und Nutzbarmachung neuer fossiler Ressourcenquellen, künftige Biomasseverfügbarkeit, prozess- und produktbezogene Innovationspotenziale, aber auch die

Auswirkungen internationaler Konflikte. Viele dieser Unsicherheiten können politisch nur sehr bedingt gesteuert werden.

**Unternehmen** machen aber ihre Investitionsentscheidungen von Struktur und Ausmaß derartiger Unsicherheiten abhängig. VANDERMEULEN et al. (2012) zeigen, dass Unternehmen deshalb langfristige, stabile politische Rahmenbedingungen benötigen. Instabile politische Rahmenbedingungen oder erratische Politik-Signale stellen daher ein zusätzliches Risiko dar. **Konsumenten** sind demgegenüber oftmals weniger gut informiert über Risiken und Unsicherheiten von verschiedenen Methoden der Ressourcennutzung; dies beeinflusst direkt ihre Akzeptanz neuer Produkte. Die Generierung, Verfügbarkeit und Verteilung von Information über biobasiertes Wirtschaften tragen daher wesentlich dazu bei, die Akzeptanz für

und die Nachfrage nach holzbasierten Produkten zu erhöhen.

Allerdings stoßen die Gestaltungsmöglichkeiten der **Politik** dort an ihre Grenzen, wo Konsumenten und Produzenten politisch gesetzte Anreize nicht annehmen oder nicht bereit sind, ggf. höhere Preise zu zahlen. Umgekehrt muss Bioökonomie-Politik dafür sorgen, dass sich in den Marktpreisen gesellschaftliche Mehrwerte von Bioökonomie (z. B. Beitrag zur Dekarbonisierung) angemessen widerspiegeln.



» Die rechtlichen Rahmenbedingungen des Wirtschaftens sind ein relevanter Faktor für die Marktchancen der Bioökonomie. Je konsequenter ein Rechtssystem Anforderungen an Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft stellt, je mehr Sensibilität eine Rechtsordnung für die Eigenarten bioökonomischer Produkte aufbringt, desto besser kann die Bioökonomie ihre Vorteile am Markt zur Geltung bringen.

Für eine nachhaltige Bioökonomie kommt es darauf an, die Rohstoffbasis auch im eigenen Wirtschaftsraum zu erhalten und zu sichern sowie ökologische Schutz- und ökonomische Nutzungsinteressen zu einem angemessenen Ausgleich zu bringen.

Zudem ist sicherzustellen, dass Nachhaltigkeitserfordernisse so weit wie möglich auch an (Rohstoff-)Importe gerichtet werden, z. B. durch effektive Zertifizierungssysteme. Dem Steuerungsmittel des Rechts kommt auch hier eine hohe Bedeutung zu. «

**Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Köck**

## Bedeutung der Szenarien für Politik, Unternehmen, Konsumenten und Wähler

Die notwendigen Impulse für einen **umfassenden Pfadübergang** werden - ähnlich wie bei der Energiewende - letztlich nur **in staatlicher Verantwortung von einer aktiven Bioökonomie-Politik** gesetzt werden können. Diese Impulse werden aber nur dann zu erwarten sein, wenn hierfür auf „politischen Märkten“ auch ausreichende Unterstützung zu erwarten ist. Zusammenschlüsse von Unternehmen und gesellschaftlichen Gruppen, die eine Bioökonomie politisch unterstützen, können dabei eine wichtige Rolle spielen, um das politische Gewicht von Akteuren auszugleichen, die in fossilbasierte Pfade investiert haben (LEHMANN et al. 2012; DEWATRIPONT / ROLAND 1995) und daher tendenziell an der Erhaltung des Status Quo interessiert sind.

Bei der Gestaltung einer Bioökonomie-Politik sind dabei **drei Dimensionen** zu beachten.

Erstens muss vor dem Hintergrund einer steigenden Biomassenachfrage überprüft werden, inwiefern zur Nachhaltigkeitssicherung eine Anpassung bestehender Forst-, Agrar-, Umwelt- und Handelspolitiken notwendig ist. Zudem ist eine Anpassung der Abfallpolitik notwendig, um erhöhte Anreize für Kreislaufwirtschaftskonzepte zu setzen. Zweitens ist die Förderung von Forschung und Entwicklung, Wissensaustausch und Nischenbildung (z. B. durch Vorgaben für das öffentliche Beschaffungswesen oder die Einführung von Nachhaltigkeits-Labels) notwendig, um Entwicklung und Verbreitung innovativer biobasierter Produkte und Prozesse voranzutreiben. Drittens bedarf es Politikmaßnahmen, welche die Kosten konkurrierender, fossilbasierter Alternativen erhöhen, und so die Verbreitung von biobasierten Optionen indirekt fördern.

Angesichts der ubiquitären Bedeutung von Unsicherheiten lässt sich ferner der Schluss ziehen, dass eine **graduelle Einführung wohldefinierter, strategischer Politikmaßnahmen** zur gezielten Verbesserung der Position der Bioökonomie vielversprechender anmutet als eine vorschnelle Implementierung von zahlreichen neuen Instrumenten für einen kraftvollen Bioökonomie-Push. Stattdessen sollte die **Governance der Bioökonomie als „lernendes System“** schrittweise, aber verlässlich Impulse für einen nachhaltigen Pfadübergang platzieren. Dies setzt aber auch voraus, dass sich „Bioökonomie-Politik“ künftig verstärkt als eigenständiges Politikfeld und „Bioökonomie-Recht“ als eigenständiges Rechtsgebiet konturieren, um widerspruchsfreie Impulse aus dem staatlichen Sektor setzen zu können.

## Schlussfolgerungen

Aus der vorgelegten Szenarienanalyse lässt sich schließen, dass die holzbasierte Bioökonomie durchaus über ein Potenzial verfügt, substanziiell zu einem Pfadwechsel von einer fossilbasierten Wirtschaftsweise hin zu einer nachhaltigen, biobasierten Kreislaufwirtschaft beizutragen, soweit bestimmte Bedingungen gegeben sind:

- Der **Staat** schafft langfristig stabile Rahmenbedingungen für die Entwicklung der holzbasierten Bioökonomie. Diese umfassen sowohl die direkte Förderung innovativer Anwendungen und Technologien als auch die konsequente Verteuerung der fossilen Konkurrenz. Dabei ist eine Koordination mit globalen wirtschaftlichen Entwicklungen ebenso notwendig wie die Sicherung einer dauerhaften politischen Zustimmung zur Nachhaltigkeitstransformation.
- Es wird eine **lernende Bioökonomie-Politik** verfolgt, die gezielt Unsicherheiten einer gesteigerten Nachfrage nach Biomasse für energetische und stoffliche Nutzungen berücksichtigt und der Nachhaltigkeitssicherung von biobasierten Wirtschaften einen hohen Stellenwert zumisst (keine Förderung „um jeden Preis“).
- **Konsumenten** erkennen in nachhaltigen biobasierten Produkten gesellschaftliche Mehrwerte, artikulieren eine erhöhte Zahlungsbereitschaft für entsprechende Produkte und sind Innovationen gegenüber aufgeschlossen. Eine konsequent nachhaltigkeitsbezogene Preispolitik, aber auch Kommunikation und Information von Seiten der Politik und Unternehmen, die in der Bioökonomie tätig sind, können dazu beitragen.
- **Unternehmen** suchen langfristige Entwicklungschancen, sind innovations- und qualitätsorientiert und bilden politische Koalitionen, die den Befürwortern der Beibehaltung „fossiler Entwicklungspfade“ auch im politischen Raum (und nicht nur auf Märkten) gegenüber treten.
- Es bildet sich ein klar konturiertes, genuines **Politikfeld Bioökonomie** und ein konsistent ausgeprägtes, korrespondierendes **Bioökonomie-Recht** heraus.

Aus der Szenarienanalyse ergeben sich nicht zuletzt auch für das **Spitzencluster BioEconomy** gewisse Empfehlungen, um zu einer erfolgreichen Entwicklung der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland beizutragen:

- Konsequente **Fokussierung auf volkswirtschaftliche Mehrwerte**, die der Gesellschaft als „Nachhaltigkeits-Service“ etwas „anbieten“ und nicht etwas von ihr „fordern“:
  - Identifizierung von und Spezialisierung auf nachhaltige und wettbewerbsfähige Innovationen,
  - Nutzbarmachen von Recyclingpotenzial und alternativen Rohstoffen,
  - Investitionen in Forschung zur gezielten Nutzung von Abfallprodukten,
- strikte Einhaltung von und eigene Forschung zu Nachhaltigkeitsstandards (Nachhaltigkeitssicherung),
- Integration von Wertschöpfungsketten, insbesondere Verknüpfung von stofflichen und energetischen Nutzungen, etwa durch das Kaskadenprinzip,
- Konsequente und aktive Kommunikation von Risiken und Verbraucher-Nutzen.
- **Proaktive Verknüpfung von Technologie und Gesellschaft**
  - Die Bedeutung gesamtwirtschaftlicher, rechtlicher und politischer Einflussfaktoren bei den Szenarien unterstreicht die Notwendigkeit einer gelebten Integration rechts-, wirtschafts- und politikwissenschaftlicher Begleitforschung.
- Schaffung von Transparenz bzgl. Herkunft und Verarbeitung von Produkten.
- Gesellschaftliche Sichtbarkeit als Akteur, Dialogbereitschaft und politische Kommunikation als strategische Handlungsfelder.

## Literaturverzeichnis

- BMBF (2008): Deutschlands Rolle in der globalen Wissensgesellschaft stärken. Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung. Berlin. Online unter: [www.bmbf.de/pub/Internationalisierungsstrategie.pdf](http://www.bmbf.de/pub/Internationalisierungsstrategie.pdf)
- BMBF (2010a): Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer biobasierten Wirtschaft. Bonn, Berlin. Online unter: [www.bmbf.de/pub/biooekonomie.pdf](http://www.bmbf.de/pub/biooekonomie.pdf)
- BMBF (2010b): Ideen. Innovation. Wachstum. Hightech-Strategie 2020 für Deutschland. Berlin. Online unter: [www.bmbf.de/pub/hts\\_2020.pdf](http://www.bmbf.de/pub/hts_2020.pdf)
- BMBF (2010c): Rahmenprogramm Gesundheitsforschung der Bundesregierung. Berlin. Online unter: [www.gesundheitsforschung-bmbf.de/\\_media/Gesundheitsforschungsprogramm.pdf](http://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/_media/Gesundheitsforschungsprogramm.pdf)
- BMEL (2014a): Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Nachhaltige Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie. Berlin. Online unter: [www.bmbf.de/files/BioOekonomiestrategie.pdf](http://www.bmbf.de/files/BioOekonomiestrategie.pdf)
- BMEL (2014b): Holzmarktbericht 2013. Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2013. Bonn. Online unter: [www.bmelv-statistik.de/fileadmin/user\\_upload/monatsberichte/FHB-0120005-2013.pdf](http://www.bmelv-statistik.de/fileadmin/user_upload/monatsberichte/FHB-0120005-2013.pdf)
- BMELV (2009): Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Bonn. Online unter: [www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/AktionsplanNaWaRo.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/AktionsplanNaWaRo.pdf?__blob=publicationFile)
- BMELV (2011): Waldstrategie 2020. Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Bonn. Online unter: [www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Waldstrategie2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Waldstrategie2020.pdf?__blob=publicationFile)
- BMVEL (2004): Verstärkte Holznutzung – Zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovationen und Arbeitsplätzen. Charta für Holz. Bonn. Online unter: [http://literatur.ti.bund.de/digbib\\_extern/dk040090.pdf](http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dk040090.pdf)
- BMVEL (2005): Holzmarktbericht 2004. Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2004. Bonn. Online unter: <http://berichte.bmelv-statistik.de/FHB-0100005-2004.pdf>
- BMU/BMELV (2010): Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland. Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung. Berlin, Bonn. Online unter: [www.bmbf.de/files/BiomasseaktionsplanNational.pdf](http://www.bmbf.de/files/BiomasseaktionsplanNational.pdf)
- BMUB (2007): Nationale Strategie für biologische Vielfalt. Berlin. Online unter: [www.biologischerdiversitaet.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere\\_biolog\\_vielfalt\\_strategie\\_bf.pdf](http://www.biologischerdiversitaet.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf)
- BMUB (2016): Nationales Programm für nachhaltigen Konsum. Berlin. Online unter: [http://www.bmubund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Produkte\\_und\\_Umwelt/nat\\_programm\\_konsum\\_bf.pdf](http://www.bmubund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Produkte_und_Umwelt/nat_programm_konsum_bf.pdf)
- BMVBS (2011): Erlass zur Beschaffung von Holzprodukten. Berlin. Online unter: [www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_22122010\\_NII4421040.htm](http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_22122010_NII4421040.htm)
- BMWi (2011): Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Berlin. Online unter: [www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/6-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,wb=true.pdf](http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/6-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,wb=true.pdf)
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin. Online unter: [www.bundesregierung.de/Content/DE/\\_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiedhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiedhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf?__blob=publicationFile)

- DEWATRIPONT, M., ROLAND, G. (1995): The Design of Reform Packages Under Uncertainty. In: The American Economic Review 85 (5), 1207-1223.
- DIETER, M. (2002): Holzbilanzen 2000 und 2001 für die Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie 2002/7. Hamburg.
- DIETER, M. (2003): Holzbilanzen 2001 und 2002 für die Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie 2003/2. Hamburg.
- DIETER, M. (2005): Holzbilanzen 2002, 2003 und 2004 für die Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie 2005/3. Hamburg.
- DIETER, M. (2006): Holzbilanzen 2004 und 2005 für die Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie 2006/2. Hamburg.
- DIETER, M. (2007): Holzbilanzen 2005 und 2006 für die Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie 2007/2. Hamburg.
- 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. Braunschweig. Online unter: [literatur.ti.bund.de/digbib\\_extern/dn051397.pdf](http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dn051397.pdf)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2014a): Marktanalyse nachwachsende Rohstoffe. Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe 2014, 34. Online unter: <http://fnr.de/marktanalyse/marktanalyse.pdf>
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2014b): Basisdaten Biobasierte Produkte. Anbau, Rohstoffe, Produkte. [http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/a/basisdaten-biooekonomie\\_web-v01.pdf](http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/a/basisdaten-biooekonomie_web-v01.pdf)
- GAWEL, E., LUDWIG, G., PANNICKE, N. (2015): Rechtliche Herausforderungen am Beispiel der Verwertung von Reststoffen durch hydrothermale Carbonisierung. In: Klemm, M., Glowacki, R., Nelles, M. (Hrsg.): Innovationsforum Hydrothermale Prozesse. Leipzig, 108-110.
- GAWEL, E., PURKUS, A., PANNICKE, N., HAGEMANN, N. (2016): Governance-Herausforderungen für die Transformation zu einer nachhaltigen Bioökonomie - Das Beispiel der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland. UFZ Discussion Papers 02/2016. Leipzig.
- KÖCK, W. (2014): Kurzanalyse zur REACH-Verordnung im Rahmen des Spitzenclusters BioEconomy. Beiträge zur Bioökonomie. Recht und Politik 1. Leipzig. Online unter: [www.ufz.de/export/data/global/85927\\_KurzanalyseREACHVerordnung.pdf](http://www.ufz.de/export/data/global/85927_KurzanalyseREACHVerordnung.pdf)
- LEHMANN, P., CREUTZIG, F., EHLERS, M.-H., FRIEDRICHSEN, N., HEUSON, C., HIRTH, L., PIETEKER, R. (2012): Carbon Lock-Out: Advancing Renewable Energy Policy in Europe. In: Energies 5 (2), 323-354.
- LUDWIG, G., KÖCK, W., TRONICKE, C., GAWEL, E. (2014a): Rechtsrahmen der Bioökonomie in Mitteldeutschland – Bestandsaufnahme und Bewertung, UFZ Discussion Papers 22/2014. Leipzig. Online unter: [www.ufz.de/export/data/global/63262\\_DP\\_22\\_2014\\_Bioeconomy1.pdf](http://www.ufz.de/export/data/global/63262_DP_22_2014_Bioeconomy1.pdf)
- LUDWIG, G., TRONICKE, C., KÖCK, W. (2014b): Rechtsrahmen der forstbasierten Bioökonomie in Mitteldeutschland. Spitzencluster BioEconomy Fact Sheet 1/2014. Leipzig. Online unter: [www.ufz.de/export/data/global/66506\\_FactsheetBioeconomy.pdf](http://www.ufz.de/export/data/global/66506_FactsheetBioeconomy.pdf)
- LUDWIG, G., GAWEL, E., PANNICKE, N. (2015a): Ressourceneffizienz in der Bioökonomie – Defizite und Herausforderungen am Beispiel der Verwertung von Reststoffen durch hydrothermale Karbonisierung. Fact Sheet. Leipzig. Online unter: [https://www.ufz.de/export/data/global/68766\\_BeitragHydrothermaleKarbonisierung.pdf](https://www.ufz.de/export/data/global/68766_BeitragHydrothermaleKarbonisierung.pdf)

- LUDWIG, G., GAWEL, E., PANNICKE, N. (2015b): Ende der Abfalleigenschaft - am Beispiel von Brennstoffen aus der hydrothermalen Karbonisierung. Ein Beitrag zur Ressourceneffizienz in der Bioökonomie. In: Zeitschrift für das Recht der Abfallwirtschaft (AbfallR) 14 (6), 287-295.
- LUDWIG, G., GAWEL, E., PANNICKE, N. (2015c): Schließung von Stoffkreisläufen am Beispiel von HTC-Brennstoffen. In: Wasser und Abfall 17 (10), 26-30.
- LUDWIG, G., KÖCK, W., TRONICKE, C., GAWEL, E. (2015d): Der Rechtsrahmen für die Bioökonomie in Deutschland. In: Die Öffentliche Verwaltung (DÖV) 68 (2), 41-54.
- MANTAU, U. (2004): Holzrohstoffbilanz Deutschland - Bestandsaufnahme 2002. Präsentation. Basierend auf Mantau, U. (2002): Holzrohstoffbilanz für Deutschland. In: Holz-Zentralblatt Nr. 76, 1026-1028.
- MANTAU, U. (2009): Holzrohstoffbilanz Deutschland: Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012. In: Agriculture and Forestry Research Sonderheft 327, 27-36.
- MANTAU, U. (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Hamburg.
- PANNICKE, N., HAGEMANN, N., PURKUS, A., GAWEL, E. (2015a): Gesellschaftliche Grundfragen der Bioökonomie. Volkswirtschaftliche Mehrwerte und Nachhaltigkeits Herausforderungen einer biobasierten Wirtschaft, UFZ Discussion Papers 7/2015. Leipzig. Online unter: [www.ufz.de/export/data/global/67378\\_DP\\_7\\_2015\\_Pannickeetal2.pdf](http://www.ufz.de/export/data/global/67378_DP_7_2015_Pannickeetal2.pdf)
- PANNICKE, N., GAWEL, E., HAGEMANN, N., PURKUS, A., STRUNZ, S. (2015b): The Political Economy of Fostering a Wood-Based Bioeconomy in Germany. In: German Journal of Agricultural Economics (GJAE) 64 (4), 224-243.
- PECK, P., BENNETT, S., BISSETT-AMESS, R., LENHART, J., MOZAFFARIAN, H. (2009): Examining Understanding, Acceptance, and Support for the Biorefinery Concept Among EU Policy-Makers. In: Biofuels, Bioproducts and Biorefining 3 (3), 361-383.
- PURKUS, A. (2016): Concepts and Instruments for a Rational Bioenergy Policy. A New Institutional Economics Approach. Heidelberg u. a.
- PURKUS, A., RÖDER, M., GAWEL, E., THRÄN, D., THRILEY, P. (2015): Handling Uncertainty in Bioenergy Policy Design. A Case Study Analysis of UK and German Bioelectricity Policy Instruments. In: Biomass and Bioenergy 79, 64-79.
- SEINTSCH, B. (2010): Holzbilanzen 2006 bis 2009 für die Bundesrepublik Deutschland. Nr. 03/2010. Hamburg.
- SEINTSCH, B. (2011): Holzbilanzen 2009 und 2010 für die Bundesrepublik Deutschland. Nr. 04/2011. Hamburg.
- SEINTSCH, B., WEIMAR, H. (2013): Holzbilanzen 2010 bis 2012 für die Bundesrepublik Deutschland. Thünen Working Paper 9. Hamburg.
- SPETH, H. (2013): Holzrohstoffbilanz für Deutschland. Vortrag auf Fachtagung „Bioenergie – Quo vadis?“ am 05.Juni 2013 in Wiesbaden.
- VANDERMEULEN, V., VAN DER STEHEN, M., STEVENS, C. V., VAN HUYLENBROECK, G. (2012): Industry expectations regarding the transition towards a biobased economy. In: Biofuels, Bioproducts and Biorefining 6 (4), 453-464.
- WEIMAR, H. (2014): Holzbilanzen 2012 und 2013 für die Bundesrepublik Deutschland. Thünen Working Paper 31. Hamburg.

Die vollständigen Ergebnisse der Szenarienanalyse finden Sie als Aufsatz-Veröffentlichung in der Zeitschrift „Sustainability“:

HAGEMANN, N./GAWEL, E./PURKUS, A./PANNICKE, N./HAUCK, J.: Possible Futures Towards a Wood-Based Bioeconomy – A Scenario Analysis for Germany, in: Sustainability, Vol. 8 (2016), Issue 1, 98.

Der Beitrag ist frei zugänglich (open access) und kann direkt heruntergeladen werden unter <http://www.mdpi.com/2071-1050/8/1/98/pdf>




Article

## Possible Futures towards a Wood-Based Bioeconomy: A Scenario Analysis for Germany

Nina Hagemann <sup>1,\*</sup>, Erik Gawel <sup>1,2</sup>, Alexandra Purkus <sup>1</sup>, Nadine Pannicke <sup>1</sup> and Jennifer Hauck <sup>3,4</sup>

Received: 10 November 2015; Accepted: 13 January 2016; Published: 21 January 2016  
Academic Editor: Vincenzo Torretta

<sup>1</sup> Department of Economics, Helmholtz Centre for Environmental Research—UFZ, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Germany; erik.gawel@ufz.de (E.G.); alexandra.purkus@ufz.de (A.P.); nadine.pannicke@ufz.de (N.P.)

<sup>2</sup> Institute for Infrastructure and Resources Management, Leipzig University, Grimmaische Straße 12, 04109 Leipzig, Germany

<sup>3</sup> Department of Ecosystem Services, Helmholtz Centre for Environmental Research—UFZ, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Germany; jennifer.hauck@ufz.de

<sup>4</sup> German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Deutscher Platz 5e, 04103 Leipzig, Germany

\* Correspondence: nina.hagemann@ufz.de; Tel.: +49-341-235-1734; Fax: +49-341-235-45-1734

**Abstract:** Driven by the growing awareness of the finite nature of fossil raw materials and the need for sustainable pathways of industrial production, the bio-based economy is expected to expand worldwide. Policy strategies such as the European Union Bioeconomy Strategy and national bioeconomy strategies foster this process. Besides the advantages promised by a transition towards a sustainable bioeconomy, these processes have to cope with significant uncertainties as many influencing factors play a role, such as climate change, technological and economic development, sustainability risks, dynamic consumption patterns and policy and governance issues. Based on a literature review and an expert survey, we identify influence factors for the future development of a wood-based bioeconomy in Germany. Four scenarios are generated based on different assumptions about the development of relevant influence factors. We discuss what developments in politics, industry and society have a central impact on shaping alternative futures. As such, the paper provides a knowledge base and orientation for decision makers and practitioners, and contributes to the scientific discussion on how the bioeconomy could develop. We conclude that the wood-based bioeconomy has a certain potential to develop further, if adequate political framework conditions are implemented and most voter support, if consumers exhibit an enhanced willingness to pay for bio-based products, and if among companies, a chance-oriented advocacy coalition of bioeconomy supporters dominates over proponents of fossil pathways.

**Keywords:** scenario development; bioeconomy; Germany; uncertainty; renewable resources; wood

**1. Introduction: The Wood-Based Bioeconomy—Aims, Perspectives and Uncertainties**

Driven by the growing awareness of the finite nature of fossil raw materials and their climate change impacts as well as the need for more sustainable methods of industrial production and consumption patterns, the bio-based economy is expected to expand in the future. The bioeconomy sector is seen as a warrantor for a green economy: “[...] the use of biomass offers solutions to many of the problems of the fossil-input-based economy: it ensures both energy diversity and security and is environmentally friendly, owing to carbon sequestration and the resulting climate change mitigation” [1] (p. 454). As a result, expanding the bioeconomy has been identified as a strategic aim by the EU [2] and member states, such as Germany [3,4]. Also internationally, the transition to a bioeconomy garners political support [5].

sustainability 2016, 8, 98; doi:10.3390/su8010098
www.mdpi.com/journal/sustainability

## Impressum



### Arbeitsgruppe „Recht und Governance der Bioökonomie“

Leitung: Univ.-Prof. Dr. Erik Gawel  
Department Ökonomie  
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ

0341 235 1940 | erik.gawel@ufz.de

### Bearbeiter/innen

Nina Hagemann; Erik Gawel; Alexandra Purkus; Nadine Pannicke; Jennifer Hauck; Wolfgang Köck; Grit Ludwig  
unter Mitarbeit von Franziska Bruttel und Anne Walde

### Weiterführende Informationen

Aktuelle Informationen zur Arbeitsgruppe der Begleitforschung zum Spitzencluster BioEconomy finden Sie unter: [www.ufz.de/biooekonomie/governance](http://www.ufz.de/biooekonomie/governance)

Aktuelle Informationen zum Spitzencluster BioEconomy finden Sie unter:  
[www.bioeconomy.de](http://www.bioeconomy.de)

Aktuelle Informationen zum Department Ökonomie finden Sie unter:  
[www.ufz.de/economics](http://www.ufz.de/economics)

Informationen zum  
UFZ-Department  
Ökonomie



### **Danksagung**

Diese Broschüre ist im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts „Spitzencluster BioEconomy“ (Förderkennzeichen 031A078A) entstanden.

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ  
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

Layout: Die Aktivisten – Kreative Kommunikation GmbH & Co. KG  
Gedruckt auf 100% Recyclingpapier  
Leipzig, 2016

### **Fotonachweis**

Cover, Seiten 14, 21, 22, 23, 40 und 48: André Künzelmann, UFZ  
Seite 8: Nina Hagemann  
Seiten 2, 16, 24, 26 und 38: Sebastian Wiedling, UFZ

### **Abbildungsnachweis**

Alle in dieser Broschüre dargestellten Abbildungen basieren, soweit nicht anders gekennzeichnet, auf Darstellungen der Bearbeiter/innen.

Forschen für die Umwelt

