

# **Sachstandsbericht über vorhandene Grundlagen für ein Monitoring der Bioökonomie: Nachhaltigkeit und Ressourcenbasis der Bioökonomie**

**Philipp Adler (DBFZ)**  
**Maik Budzinski (DBFZ)**  
**Georgia Erdmann (DBFZ)**  
**Stefan Majer (DBFZ)**  
**Kathleen Meisel (DBFZ)**  
**Steffen Schock (UFZ)**  
**Daniela Thrän (UFZ, DBFZ)**

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum  
gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116  
04347 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2434-112  
Fax: +49 (0)341 2434-133

[www.dbfz.de](http://www.dbfz.de)  
[info@dbfz.de](mailto:info@dbfz.de)

Auftraggeber oder  
Zuwendungsgeber  
(bei Forschungsförderung)

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Projektträger Jülich  
Biologische Innovation und Ökonomie  
Fachbereich Strategie und Kommunikation (BIO 1)  
Dr. Thomas Schwietring (Grb. 14.6, Raum 434)  
52425 Jülich

Ansprechpartner:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH  
Torgauer Straße 116  
04347 Leipzig  
Tel.: +49 (0)341 2434-112  
Fax: +49 (0)341 2434-133  
E-Mail: [info@dbfz.de](mailto:info@dbfz.de)  
Internet: [www.dbfz.de](http://www.dbfz.de)

In Kooperation mit:



**Prof. Dr. Daniela Thrän**  
Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ)  
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)  
E-Mail: [daniela.thraen@dbfz.de](mailto:daniela.thraen@dbfz.de)  
E-Mail: [daniela.thraen@ufz.de](mailto:daniela.thraen@ufz.de)

**Dipl.-Ing. Stefan Majer**  
Tel.: +49 (0)341 2434-411  
Fax: +49 (0)341 2434-133  
E-Mail: [stefan.majer@dbfz.de](mailto:stefan.majer@dbfz.de)

Erstelldatum:

02.04.2015

Projektnummer DBFZ:

3310038

Gesamtseitenzahl: 100

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen aus den vorliegenden Untersuchungen.....</b>	<b>9</b>
1.1 Schlussfolgerungen .....	9
1.2 Handlungsempfehlungen .....	11
<b>2 Einleitung und Hintergrund.....</b>	<b>13</b>
<b>3 Zielsetzung und Berichtsstruktur .....</b>	<b>14</b>
<b>4 Grundlagen und Anwendungsbeispiele von Monitoringsystemen.....</b>	<b>15</b>
<b>5 Relevante Sektoren für ein Monitoring der biobasierten Wirtschaft.....</b>	<b>16</b>
<b>6 Nachhaltigkeitsbetrachtungen.....</b>	<b>19</b>
6.1 Indikatoren und Methoden zur Überwachung der Nachhaltigkeit der Bioökonomie.....	19
6.1.1 Operationalisierung einer nachhaltigen Entwicklung.....	19
6.1.2 Überblick der wesentlichen Größen der Nachhaltigkeit im Bioökonomiekontext.....	20
6.2 Übertragbarkeit der Methode und Anwendung in bestehenden Bewertungsansätzen.....	36
6.2.1 Indikatoren, Methoden, Anwendung und Übertragbarkeit auf ein Bioökonomie-Monitoring....	36
6.2.2 Anwendung der Methoden in etablierten Anwendungsfeldern (Anwendungsbeispiele).....	50
<b>7 Biomassepotenziale und Nutzung .....</b>	<b>55</b>
7.1 Ebenen der Potenzialbetrachtung.....	55
7.2 Methoden der Potenzialbetrachtung .....	57
7.2.1 Methodenmodule und Lesebeispiele .....	58
7.2.2 Methoden zur Potenzialberechnung landwirtschaftlicher Anbaubiomasse, Nebenprodukte und Reststoffe .....	61
7.2.3 Methodengrundlagen zur Potenzialberechnung in Forst- und Holzwirtschaft.....	70
7.2.4 Methodengrundlagen zur Potenzialberechnung kommunaler Abfälle und Reststoffe .....	73
7.2.5 Berechnungsgrundlage wirtschaftlicher Biomassepotenziale.....	80
7.3 Erfassung stofflicher und energetischer Biomassenutzung.....	80
<b>8 Berücksichtigung von Bewertungskriterien bei der Gestaltung eines Bioökonomie-Monitoring .....</b>	<b>86</b>
8.1 Notwendige Schritte für die Konzeptionierung des Monitorings.....	86
8.2 Prozesse zur Konkretisierung und Definition von Zielindikatoren, Steuergrößen und Schutzgrößen.....	87
8.3 Sicherstellung der Anschlussfähigkeit und Weiterentwicklung .....	90
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>92</b>
<b>Literatur- und Referenzverzeichnis .....</b>	<b>93</b>

## Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
ALTERRA	University and Research Centre of Wageningen (NL)
AMI	Agrarmarktinformationen
Äq.	Äquivalent
ASE	Agrarstrukturerhebung
ASG	Analytik-Service Gesellschaft mbH
ATKIS	Amtliches Topografisch-Kartografisches Informationssystem
AWARENET	Agro-Food Wastes Minimisation And Reduction Network
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
Basis-DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodel von ATKIS
BDBe	Bundesverband der Deutschen Bioethanolwirtschaft e.V.
BfA	Bundesagentur für Arbeit
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BIMSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BioAbfV	Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden
BioBio	EU Projekt: Indikatoren für Biodiversität in biologischen und extensiven Landwirtschaftssystemen
BIOPOT	FNR Projekt: Biomassepotenziale und deren Nutzung unter besonderer Berücksichtigung der Rest- und Abfallstoffe – Status Quo in Deutschland
Biota	Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BKG	Bundesamt für Kartografie und Geodäsie
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BWI	Bundeswaldinventur

CESR	Center for Environmental Systems Research - Universität Kassel
Cross-Compliance	Council Regulation (EC) No 73/2009 of 19 January 2009 Establishing Common Rules for Direct Support Schemes for Farmers
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DENUZ	Stickstofftransportmodell des Forschungszentrums Jülich
DEPI	Deutsches Pelletinstitut
DFD	Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DTU	Technical University of Denmark
DüV	Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen
DVL	Deutscher Verband für Landschaftspflege
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECN	Energy Research Centre of the Netherlands
EEA	Europäische Umweltagentur
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EER	Erneuerbare Energien Richtlinie der Europäischen Union
EFI	European Forest Institute
EFISCEN	European Forest Information Scenario Model
EPFL	École Polytechnique Fédérale de Lausanne
ESA	European Space Agency
EU	Europäische Union
EU RED	Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie)
EUROSTAT	Statistisches Amt der Europäischen Union
F.O. Licht	Herausgeber des „World Ethanol and Biofuels Report“
FAO	Food and Agriculture Organisation of the United Nations
FDZ	Forschungsdatenzentrum des statistischen Bundesamtes
FGR	Forstwirtschaftliche Gesamtrechnung
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
Fraunhofer IML	Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik
Fraunhofer UMSICHT	Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GAS-EM	Excel Tool des TI zur Emissionsbilanzierung von Luftschadstoffen

GBEP	Global Bioenergy Partnership
GEOGNOSTICS	Name eines Privatunternehmens
GRAIL	EU Projekt: Glycerol Biorefinery Approach for the Production of High Quality Products of Industrial Value
GROWA	Wasserhaushaltsmodell des Forschungszentrums Jülich
GWSP	Global Water System Project
Ha	Hektar
HNEE	Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde
HS	Hochschule
IAB	Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung
IER	Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
IFAD	International Fund for Agricultural Development
IfaS	Institut für angewandtes Stoffstrommanagement
Ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
IfW	Institut für Weltwirtschaft
IGB	Leibnitz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
INL	Privates Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH
INRO	Initiative Nachhaltige Rohstoffbereitstellung für die Stoffliche Biomassenutzung
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem der Europäischen Kommission
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
ITAS	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
IZES	Institut für ZukunftsEnergieSysteme
IZT	Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
JKI	Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
JRC	Joint Research Centre
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KMU	Klein- und mittelständische Unternehmen
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KUP	Kurzumtriebsplantagen
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LCA	Life cycle assesement, Lebenszyklusanalyse= Ökobilanzierung
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

LIIB	Low indirect impact biofuels
Lkl	Länderinitiative Kernindikatoren
LULUCF	Land use, land-use change and forestry
LWI	Landeswaldinventur
Meó	Meo Carbon Solutions GmbH
Me-Phos	Flächen- und pfaddifferenziertes Phosphormodell des Forschungszentrums Jülich
MIL	Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung
MODELKEY	Models for Assessing and Forecasting the Impact of Environmental Key Pollutants on Marine and Freshwater Ecosystems and Biodiversity
MONERIS	Modelling Nutrient Emissions in River Systems (IGB)
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NGO	Nichtregierungsorganisation
nova-Institut	Institut für Ökologie und Innovation
NREAP	National Renewable Energy Action Plan
PAPA	Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendung
PIK	Potsdam Institute for Climate Impact Research
PRTR	Pollutant release and transfer register
PSM	Pflanzenschutzmittel
RAUMIS	Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem
REPRO	Software (vom INL), die u. a. zur Humusbilanzierung eingesetzt wird
RSB	Roundtable on Sustainable Biomaterials
StBA	Statistisches Bundesamt
StMELF	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
THG	Treibhausgasemissionen
TI	Thünen Institut
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TREMOD	Transport emission model
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UBA	Umweltbundesamt
UFOP	Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V.
UFZ	Helmholz-Zentrum für Umweltforschung
UGR	Umweltökonomische Gesamtrechnung
UNESCO IHE	UNESCO Institute for Hydrological Education

UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VDB	Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V.
VDP	Verband Deutscher Papierfabriken e.V.
VESTOLA	Projekt: Verminderung der Stoffaustragsgefahr durch Wassererosion von landwirtschaftlich genutzten Flächen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
WEHAM	Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung
WEKU	Stickstofftransportmodell des Forschungszentrums Jülich
WFP	World Food Programme
WGR	Waldgesamtrechnung
WHG	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
WWF	World Wide Fund For Nature
ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung
ZEF	Zentrum für Entwicklungsforschung Uni Bonn
ZMP	Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle



## 1 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen aus den vorliegenden Untersuchungen

### 1.1 Schlussfolgerungen

Zur Beschreibung der Nachhaltigkeit und Ressourcenbasis der Bioökonomie sind viele Kriterien, Indikatoren und Indikatorsysteme verfügbar, die eine große Bandbreite von Fragestellungen abdecken können. Eine entscheidende Frage ist damit nicht, ob die Nachhaltigkeit und Ressourcenbasis der Bioökonomie in einem Monitoringsystem beschrieben werden kann, sondern vielmehr wie dies erfolgen sollte. Diesbezüglich werden aus den vorliegenden Auswertungen folgende Schlussfolgerungen gezogen:

- (1) **Ziel- und Steuerungsgrößen für die Entwicklung der Bioökonomie** bilden den Kern eines Bioökonomie-Monitoring der Rohstoffbasis. Sie müssen sich aus den Prioritäten der Bioökonomie-Strategie ableiten. Diese beinhalten neben den generellen Forderungen an eine nachhaltige Entwicklung vor allem die sektorübergreifenden Verknüpfungen von Prozessen und Produkten, den Vorrang der Ernährungssicherung, die Betonung des Innovationspotenzials sowie den Beitrag zum Klimaschutz. Schutzgrößen ergeben sich vor allem aus der begrenzten produktiven Landfläche und ihre komplexe Wechselwirkung mit dem globalen Kohlenstoffhaushalt. Je konkreter die Ziele benannt werden, umso schlüssiger lassen sich Indikatoren und Monitoringsysteme ableiten und etablieren.
- (2) **Indikatoren für ein Monitoringsystem** müssen sich aus den Zielgrößen ableiten lassen, handhabbar und transparent sein sowie alle relevanten Bereiche (Ökonomie, Ökologie, Soziales) adressieren. Vor dem Hintergrund der in der Nationalen Politikstrategie Bioökonomie und der nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie diskutierten Zielbereiche, sind mindestens folgende Indikatorbereiche relevant (vgl. Kapitel 8.2) und sollten als **Startkriterien für ein Monitoring der Bioökonomie** dienen:
  - zunehmende Wertschöpfung bzw. Effizienz pro eingesetzter Ressource (Land oder Biomasse),
  - steigender Klimaschutzbeitrag pro produziertem Bioökonomieprodukt bzw. kumulierter nationaler Bioökonomieaktivität,
  - zunehmende Substitution von fossilen Ressourcen durch die stoffliche und energetische Biomassenutzung in einer biobasierten Wirtschaft,
  - für die Bioökonomie nutzbare Biomasse bzw. noch erschließbare Biomasse und zusätzlich Nutzung in zunehmend höherwertigen Nutzungskaskaden,
  - zunehmender Anteil von biobasierten Produkten mit nachweislich nachhaltiger Rohstoffbasis.

Diese Startkriterien sind während des Monitoringprozesses in der Gesamtbetrachtung aus Rohstoffinformationen, Marktinformationen und Modellinformationen weiterzuentwickeln. Zudem sind die hier vorgeschlagenen prioritären Bereiche im Kontext der anderen beiden Sachstandsberichte weiter zu ergänzen (z. B. modellbasierte Informationen zum Kohlenstoffkreislauf), zu verdichten und ggf. zu hinterfragen. Die methodischen Grundlagen für die Integration dieser

Indikatoren in ein Monitoring der Bioökonomie sind überwiegend vorhanden, ihre konkrete Ausgestaltung und die Abstimmung auf ein Zielsystem bedürfen jedoch einer weitergehenden Untersuchung. So führt zum Beispiel der Bezug von Effizienz auf Landfläche oder auf Biomasse zu anderen Erfolgsfaktoren und Steuerungsempfehlungen (z. B. in Hinblick auf die Bewertung von Biomasse von Marginalflächen versus Biomasse aus intensiver Landwirtschaft).

- (3) **Systeme zur Nachhaltigkeitszertifizierung** sind in den letzten Jahren für ausgewählte biogene Rohstoffe erprobt worden. Dabei wurden teilweise auch Nachweissysteme entwickelt, die über die gesetzlichen Anforderungen – z. B. für Biokraftstoffe (EU RED)- deutlich hinausgehen (z. B. ISCC+ oder Round Table on Sustainable Biomaterials). Systeme zur Nachhaltigkeitszertifizierung können ein Monitoring der Bioökonomie auf unterschiedliche Wege unterstützen. Zum einen erlaubt eine regelmäßige Beobachtung der Entwicklung dieser Systeme Rückschlüsse über die Operationalisierbarkeit von Indikatoren der Nachhaltigkeitsbewertung, andererseits können mit Hilfe der angeschlossenen Berichterstattung Informationen darüber gewonnen werden, in welchem Umfang zertifizierte Produkte genutzt werden. Sie stellen damit einen wichtigen Entwicklungsbereich dar, der anhand von regelmäßiger Beobachtung verfolgt und ggf. gesteuert werden kann.
- (4) **Vielversprechende Anknüpfungspunkte** für ein Monitoring der Rohstoffbasis der Bioökonomie bestehen zu verschiedenen existierenden Monitoringsystemen und bestehender Berichterstattung (z. B. Emissionen, Umweltberichterstattung, Monitoring der nachhaltigen Entwicklung), die insbesondere in Hinblick auf Schutzgrößen wichtige Informationen und eine hohe Anschlussfähigkeit bereithalten. Auch hier sollte eine detailliertere Betrachtung im Kontext aller drei Sachstandberichte, die Identifizierung der wichtigsten Anknüpfungspunkte und konkrete Möglichkeiten für ein Zusammenwirken mit spezielleren Indikatoren zur Bioökonomie weiteren Aufschluss geben.
- (5) **Biomassepotenziale** stellen eine vorausschauende Informationsbasis zur Rohstoffverfügbarkeit dar, die den Rahmen für künftige Bioökonomiestrategien bildet. Aussagen über mittel- bis langfristig verfügbare Biomassepotenziale sind daher zentral und von hoher Bedeutung. Zur Beschreibung der Biomassepotenziale sind unterschiedliche Ansätze verfügbar, die bisher vor allem auf spezifische Anwendungsfragen abzielen (z. B. Biomassepotenziale für die energetische Nutzung). Biomassepotenziale beschreiben zum einen die generelle Rohstoffverfügbarkeit aus der Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlichen Flächen, zum anderen aber auch die Verfügbarkeit von Reststoffen und Abfällen aus unterschiedlichen Nutzungsbereichen. Dabei sind jeweils die Zielstellung und der damit verbundene Handlungsbedarf unterschiedlich.
  - **Biomassepotenziale auf Basis der Biomasseproduktion auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen:** Während für eine rein nationale Betrachtung vielfach Statistiken und regelmäßige Erhebungen als Grundlage genutzt und mit unterschiedlichen Ansätzen fortgeschrieben werden, bedarf die Abschätzung der Biomassepotenziale, die im internationalen Kontext für Deutschland bestehen, weitergehender Untersuchungen (und Modellentwicklung).
  - **Biomassepotenziale auf Basis von Reststoffen:** Hierunter fallen Reststoffe von land- und forstwirtschaftlichen Flächen, Reststoffe aus der Nutzung sonstiger Flächen (Gartenbau, Landschaftspflege, Straßenbegleitgrün etc.), industrielle Nebenprodukte und Abfälle sowie Siedlungsabfälle. Letztere sind im Sinne des Kreislaufwirtschaftsrechtes in jedem Fall zu verwerten oder zu entsorgen. Biomassepotenziale aus Reststoffen sind im Sinne einer

zunehmend auf Wertschöpfungsnetzen basierenden Bioökonomie vor allem national relevant; wesentliche Informationen über diese Potenziale müssen aus den Informationen zur Biomassenutzung abgeleitet werden (siehe nächster Punkt). Die vorhandenen Datengrundlagen auf nationaler Ebene sind dafür teilweise vorhanden.

- (6) Die **Biomassenutzung** wird gegenwärtig sektoral beschrieben. Hier ist eine gute Datenbasis für die Bereiche Land- und Forstwirtschaft sowie Rohstoffeinsatz in der stofflichen und energetischen Nutzung vorhanden. Fehlstellen sind jedoch in der systematischen Betrachtung der gekoppelten Nutzung und der Nutzung in Kaskaden zu verzeichnen, wo im Sinne der Bioökonomiestrategie der Bundesregierung ein deutlicher Fokus auf innovative Verfahren und effiziente Rohstoffnutzung gelegt wird. Eine Zusammenführung der Informationen und die Verdichtung auf Kenngrößen zur systematischen Beschreibung des Umfangs und der Qualität von Nutzungskaskaden stehen noch aus.
- (7) Bioökonomie ist ein **komplexer Gestaltungsansatz**, der von unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen mit unterschiedlichen Erwartungen erfüllt ist. Die schrittweise Etablierung auf Basis bestehender Indikatoren und Bewertungssysteme bietet die Möglichkeit, dass neben den wissenschaftlich nachvollziehbaren Abwägungen auch die gesellschaftlichen Problemwahrnehmungen mit beachtet und in geeigneter Weise einbezogen werden.
- (8) Für die konkrete Ausgestaltung der Kenngrößen für ein Monitoring der Rohstoffbasis besteht **Forschungsbedarf** in Hinblick auf eine übergeordnete transparente und transsektorale Darstellung der (Roh)stoffströme und Wertschöpfungsnetze, der Bewertung von effizienten Kaskadennutzungen und bei der Darstellung der erwarteten Rohstoffverfügbarkeiten unter unterschiedlichen Randbedingungen.

## 1.2 Handlungsempfehlungen

Aus den Schlussfolgerungen lassen sich für die nächsten Schritte in Richtung der Implementierung eines Monitoringsystems für die Bioökonomie folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

- Nach Vorlage der drei Sachstandsberichte sollte eine kumulierte Diskussion erfolgen, welche Bereiche als Kernbereiche eines Monitoringsystems unbedingt berücksichtigt werden müssen. In diese Analyse sollten die hier identifizierten Startindikatorbereiche (Wertschöpfung, Klimaschutzbeitrag, Substitution fossiler Ressourcen, nutzbare und noch erschließbare Biomassepotenziale, Anteil biobasierter Produkte mit nachweislich nachhaltiger Rohstoffbasis) umfassend eingehen. In einer vertiefenden Analyse sollte dann:
  - die genaue Ausgestaltung der Ziel- und Steuergrößen für das Monitoring der Bioökonomie konzipiert werden,
  - ihre Implementierbarkeit geprüft werden,
  - die Anschlussfähigkeit an bestehende Monitoringsysteme insbesondere in Hinblick auf die Schutzgrößen diskutiert werden.
- Für das Monitoring der Biomassepotenziale auf Basis der Biomasseproduktion auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen sollten komplexere Modelle mit globalem Betrachtungsrahmen

genutzt werden. Hier stellen die begrenzten Flächen und die komplexen Wechselwirkungen mit der Kohlenstoffbilanz zentrale Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Ausgestaltung der Bioökonomie dar.

- Für das Monitoring der Biomassepotenziale auf Basis von Reststoffen sollte eine konsistente nationale Datenbasis geschaffen werden, welche zum einen die verfügbaren Mengen beinhaltet, zum anderen aber auch ihre jeweilige Nutzung darstellt. Die schrittweise Verbesserung der Nutzungseffizienz sollte mittelfristig ebenfalls beschrieben werden, jedoch besteht hier noch Forschungsbedarf in der Konkretisierung dieses Zieles für die verschiedenen Biomassereststoffe.
- Bei der Frage der Biomassenutzung muss eine Zusammenführung der sektoral verfügbaren Informationen unter Beachtung von Koppel- und Kaskadeneffekten erfolgen, um die Entwicklung der Bioökonomie zu beobachten.
- Auch der Prozess der Implementierung eines Bioökonomie-Monitorings sollte frühzeitig und übergreifend für alle in den Sachstandsberichten ermittelten Aspekte der Bioökonomie gemeinsam entwickelt werden. Hierzu klärende Fragen sind:
  - Wie, in welchem Umfang und mit welcher Beteiligung soll der Frage nach weiterer Konkretisierung der Bioökonomieziele nachgegangen werden; wie kann ein solcher Prozess aussehen?
  - Kann man mit einem Set aus einigen Kernindikatoren und der parallelen Verknüpfungen mit bestehenden Systemen zum Monitoring diese Ziele hinreichend genau abbilden und damit ein sinnvolles schrittweises Vorgehen möglich machen?
  - Wie könnte die Terminabfolge für die Implementierung eines Bioökonomie-Monitorings aussehen?

Der in diesem Sachstandsbericht genannte Forschungsbedarf zur Schließung der identifizierten methodischen Fehlstellen und Datenlücken sollte durch entsprechende Maßnahmen adressiert werden.

## 2 Einleitung und Hintergrund

Der Entwicklung einer nachhaltigen biobasierten Wirtschaft wird unter anderem durch die im Jahr 2010 verabschiedete „Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2010) und der (Nationalen) Politikstrategie Bioökonomie (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2013), (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2014) eine hohe Bedeutung eingeräumt. Dabei werden mit einer biobasierten Wirtschaft eine Vielzahl von gleichrangig diskutierten Zielen wie z. B. der Übergang in ein Zeitalter biobasierter Rohstoffe sowie die Schaffung nachhaltiger Lösungen für verschiedenartige gesellschaftliche Herausforderungen wie Klimaschutz, Wachstum und Beschäftigung, Ernährungssicherheit, etc. verbunden. Neben der Erwartung an neue Anreize in Bezug auf Prozess- und Produktinnovationen ist der Wechsel hin zu einer regenerativen Rohstoffbasis die wesentliche Neuerung der biobasierten Wirtschaft. Die stärkere Fokussierung auf den Rohstoff Biomasse bietet einerseits vielfältige neue Möglichkeiten, andererseits sind mit der verstärkten Inanspruchnahme von Biomasse zahlreiche Herausforderungen insbesondere im Bereich der Landnutzung und der Stoffflüsse/ -einträge und Umwelteffekte verbunden. Die zunehmende Entkoppelung von Biomasseproduktions- und Nutzungssysteme durch verstärkten internationalen Biomassehandel, intersektorale Stoffströme mit teilweisen Kaskaden- und Koppelnutzungen erhöhen zusätzlich die Komplexität biobasierter Wertschöpfungsketten. Insbesondere die intensiv geführte Diskussion um die Nachhaltigkeit von Bioenergie hat gezeigt, dass für die Entwicklung eines biobasierten Wirtschaftssektors von Beginn an begleitende Forschungs-, Entwicklungs-, Innovations- und Fördermaßnahmen notwendig sind. Grundlage für die gezielte Entwicklung und Anpassung dieser Maßnahmen ist ein wissenschaftliches Monitoringsystem für das Erkennen von Entwicklungen, Effekten und möglichen Risiken beim Übergang in eine biobasierte Wirtschaft. Ein wichtiger Baustein für ein solches System sind eine valide und umfassende Datenbasis der für eine Bioökonomie nachhaltig nutzbaren Biomassepotenziale sowie entsprechende Methoden und Indikatoren für die Beschreibung der Effekte der Bioökonomie auf ökonomische, ökologische und soziale Kenngrößen. Ein funktionierendes forschungs- und wissenschaftliches Monitoring der Bioökonomie unterstützt somit eine zielgerichtete Entwicklung der Bioökonomie für einen möglichst hohen Beitrag zu den gesetzten Zielen und möglichst geringen Zielkonflikten.

Für die erfolgreiche Implementierung eines Monitoringsystems der Bioökonomie sind verschiedene Vorarbeiten notwendig. Neben der konzeptionellen Arbeit für die Struktur des Monitorings ist insbesondere das Zusammenführen verfügbarer und nutzbarer Bewertungsmethoden und Datensätze ein wichtiger Schritt.

### 3 Zielsetzung und Berichtsstruktur

Der vorliegende Sachstandsbericht gibt einen Überblick zu vorhandenen Grundlagen für ein Monitoring der Bioökonomie im Bereich der Ressourcen (in den Bereichen Nachhaltigkeitsbewertung und der Biomassepotenziale). Dabei wird versucht, ausgehend von den Zielen der Bioökonomie, die Bandbreite der möglichen Aspekte in vollem Umfang abzubilden. Der Fokus der Arbeiten liegt auf der Erstellung eines zusammenfassenden Überblicks zu verfügbaren Kriterien, Indikatoren und Methoden für die Bereiche Nachhaltigkeitsbewertung und Biomassepotenziale als Basis für die notwendigen weiteren Überlegungen. Neben diesem Überblick werden ausgewählte Anwendungsbeispiele für einige Methoden vorgestellt und diskutiert. Als letzter Schritt werden – aufbauend auf den grundsätzlichen Überlegungen, der Materialsammlung und den Anwendungsbeispielen – erste Handlungsempfehlungen für die Entwicklung eines Bioökonomie-Monitorings gegeben.

Aufgrund der beiden, parallel zu diesem Sachstandsbericht entstehenden Arbeiten zu den Grundlagen für ein Monitoring der Bioökonomie in den Bereichen der Modellierung und der ökonomischen Effekte der Bioökonomie erfolgt vor allem im Bereich der Nachhaltigkeitsbewertung keine weitergehende Diskussion von Modellen. Ökonomische Kriterien werden auf der Ebene der Potenziale und der Nachhaltigkeitsbewertung zwar andiskutiert, eine vertiefende Betrachtung erfolgt jedoch in Abgrenzung zu den anderen erwähnten Arbeiten nicht.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Ansätze in beiden Themenbereichen erfolgt die Darstellung der vorhandenen Grundlagen für die Bereiche Nachhaltigkeitsbewertung und Biomassepotenziale in zwei eigenständigen Kapiteln. Während im Bereich der Nachhaltigkeitsbewertung (Kapitel 6) eine Annäherung an die relevanten Kriterien, Indikatoren und Methoden über einen top-down-Ansatz von größeren Oberzielen erfolgt, orientiert sich die Gliederung im Kapitel zu den Biomassepotenzialen (Kapitel 7) an den unterschiedlichen Potenzialebenen und den, mit ihnen verbundenen Informationsbausteinen (vom theoretischen zum wirtschaftlichen Potenzial).

## 4 Grundlagen und Anwendungsbeispiele von Monitoringsystemen

Innerhalb dieses Kapitels erfolgt ein kurzer Überblick zum Begriff, dem Aufbau und der Funktionsweise eines Monitorings. Das Wort Monitoring stammt vom lateinischen Begriff „monere“ und kann mit „ermahnen, warnen“ übersetzt werden. Übernommen wurde der Begriff aus dem englischen Sprachgebrauch „to monitor“, was im Deutschen eher einem „Beobachten, Kontrollieren“ gleichkommt. Der Bedeutung nach steht der Begriff Monitoring für die Erfassung, Beobachtung und Überwachung von Systemen (Vorgängen, Prozessen), wobei erst aus der regelmäßigen Durchführung auf Grundlage von Ergebnisvergleichen Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Für den Aufbau eines Monitoringsystems bedarf es grundsätzlich folgender Schritte:

- Definition des Überwachungsinhaltes: Welche Prozesse, Vorgänge sollen überwacht werden?
- Definition des Ziels: Welcher Zustand bzw. Entwicklung des zu überwachenden Systems wird angestrebt?
- Ableitung von Monitoringgrößen/ Indikatoren, mit denen entsprechende Prozesse, Vorgänge und auch Entwicklungen abgebildet und hinsichtlich des Ziels überwacht werden (Top-Down-Ansatz). Dabei kann es sich um unterschiedliche Arten von Indikatoren handeln, z. B. Zielindikatoren, die definierte Zielgrößen beschreiben; Steuergrößen, die ein definiertes Ziel in einem zu überwachenden System beeinflussen und steuern oder Schutzgrößen, deren Zustand geschützt werden muss bzw. nicht weiter verschlechtert werden darf. Diese Größen müssen robust, fundiert und transparent sein. Darüber hinaus gibt es auch die Möglichkeit, über „Surveys“ Sachstände oder Entwicklungen unabhängig von der regelmäßigen Abfrage konkreter Indikatoren zu überwachen, z. B. in Form der Abfrage von Experteneinschätzungen.
- Verfügbarkeit und Vorhandensein von Datengrundlagen (Bottom-up-Ansatz): Datensätze müssen für eine regelmäßige Berichterstattung auch regelmäßig erhebbar bzw. erfassbar sein. Bei den Datensätzen kann es sich um Daten aus Statistiken, empirischen Untersuchungen oder Modellrechnungen handeln. Im Fall von „Surveys“ von Sachständen und Trends kommen die Einschätzungen z. B. aus der Befragung von Experten zum Tragen.
- Regelmäßige Erhebung/Erfassung der Monitoringgrößen bzw. regelmäßige Durchführung der Surveys zu bestimmten Sachständen oder Trends. Der Erhebungstonus kann sich je nach Monitoringsystem unterscheiden (z. B. jährlich, alle zwei Jahre).
- Auswertung der Einzelerhebungen sowie der Fortschritte bzw. Entwicklungen über die letzten Erhebungen. Auf Grundlage dieser Informationen können Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Diese können z. B. darin bestehen, gewünschte Entwicklungen gezielt anzureizen oder Fehlentwicklungen gegenzusteuern.

In der Frage der Begleitung, Beobachtung und Überwachung von Prozessen als Informationsgrundlage für Entscheidungsträger, hat sich das Monitoringinstrument in vielen Anwendungsfeldern etabliert. So wird z. B. innerhalb des EEG-Monitorings die Entwicklung des Anlagenbestandes und der Stromerzeugung aus Biomasse im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes überwacht. Ein anderes Beispiel stellen die nationalen Umweltindikatorsysteme dar, innerhalb derer über die Indikatoren der



Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (DIE BUNDESREGIERUNG, 2002), über das Kernindikatorensystem Umwelt<sup>1</sup> oder über die Indikatoren von Bund und Ländern zur nachhaltigen Entwicklung (LIKI-Indikatoren von FRIEß u. a., 2014) Fortschritte im Umweltschutz und in der nachhaltigen Entwicklung überwacht werden.

## 5 Relevante Sektoren für ein Monitoring der biobasierten Wirtschaft

Der Begriff der Bioökonomie hat sich seit Einführung der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2010) und der (Nationalen) Politikstrategie Bioökonomie (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2013), (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2014) weit verbreitet und geht mittlerweile deutlich über die Basisbereiche Landwirtschaft, Lebensmittelverarbeitung, Forstwirtschaft, Holzverarbeitung und Fischerei sowie die angeschlossenen Sektoren der chemischen Industrie, der Bauwirtschaft oder der Energiewirtschaft hinaus. Für die Konzeptionierung eines wirksamen Monitorings der gesellschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Effekte der Bioökonomie ist eine Diskussion und Eingrenzung der zu berücksichtigenden Wirtschaftsbereiche von hoher Bedeutung. Eine Identifikation der relevanten Wirtschaftsbereiche für den Bereich Bioökonomie-Ressourcen kann beispielsweise auf der Basis einer Stoffstromerhebung für die derzeitige Biomassenutzung in Deutschland erfolgen. Auf diese Weise können die Wirtschaftszweige mit der höchsten Biomassenutzung identifiziert werden. Zusätzlich kann ein Monitoring der Bioökonomie auch Wirtschaftszweige berücksichtigen, in denen zukünftig eine besondere Wertschöpfung durch den Einsatz von Biomasse erwartet wird.

Eine umfassende und aktuelle Stoffstromerhebung für die insgesamt in Deutschland genutzte Biomasse ist nicht verfügbar (unveröffentlichte Projektergebnisse BIOPOT; FKZ22020114). Für die Bioökonomie sind kurz- und mittelfristig vor allem die Ressource Holz sowie die Nutzung von Industriepflanzen aus der landwirtschaftlichen Produktion von besonderer Bedeutung. Für den Holzsektor existieren umfangreiche Stoffstromerhebungen.

Ein Beispiel ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt.

---

<sup>1</sup> [https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/uba\\_kernindikatorensystem\\_1527.htm](https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/uba_kernindikatorensystem_1527.htm)



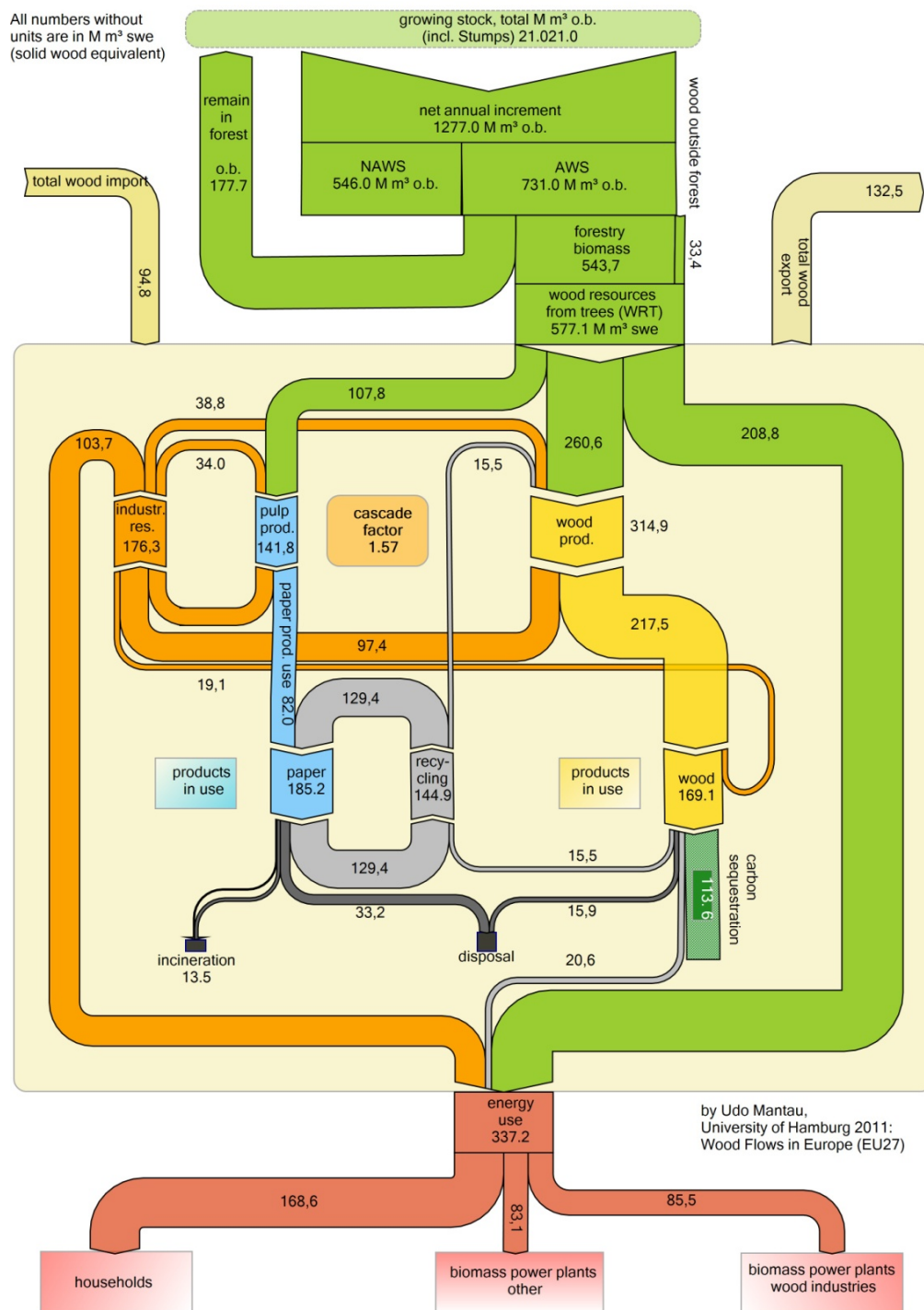


Abbildung 1 Stoffstrom der Holznutzung in Deutschland (MANTAU, 2012)

Demnach zeichnen sich folgende Wirtschaftssektoren durch eine besonders intensive Nutzung des Rohstoffes Holz aus:

- Land- und Forstwirtschaft,
- Holz-, Papier-, Chemie- und Pharmaindustrie,
- Energiewirtschaft,
- Abfallwirtschaft.

Eine zweite Säule der biobasierten Wirtschaft ist Biomasse aus der landwirtschaftlichen Produktion. Dazu können speziell für die stoffliche oder energetische Nutzung angebaute Pflanzen, aber auch landwirtschaftliche Reststoffe gehören. Momentan sind für eine Betrachtung der Nutzung von Biomasse aus der landwirtschaftlichen Produktion vor allem folgende Wirtschaftszweige von Bedeutung:

- Landwirtschaft,
- Futtermittel- und Nahrungsmittelproduktion,
- chemische Industrie,
- Bauwirtschaft.

Die vorangegangenen kurzen Ausführungen erlauben eine erste Fokussierung auf potenziell relevante Wirtschaftsbereiche aus der Perspektive der Biomassenutzung. Hier nicht weiter betrachtete Bereiche wie Rest- und Abfallstoffe und potenzielle zukünftige Biomassen (wie z. B. Algen) können grundsätzlich ebenfalls relevant sein. Der vorliegende Bericht fokussiert zunächst aber auf die Wirtschaftssektoren mit der momentan und mittelfristig vermeidlich qualitativ höchsten Biomassenutzung. Für eine wirkungsvolle Integration dieser Bereiche in ein Monitoring der Bioökonomie sind neben der Verfügbarkeit von Potenzial- und Nutzungsdaten auch die unterschiedlichen Ebenen innerhalb der verschiedenen Wertschöpfungsketten relevant (siehe Abbildung 2). Diese können sich in Bezug auf Ihre potenziellen ökonomischen, ökologischen oder sozialen Indikationen deutlich unterscheiden. Dies ist sowohl bei der Betrachtung der Biomassepotenziale (z. B. aufgrund einer potenziell zunehmenden Kaskadennutzung) als auch der relevanten Nachhaltigkeitsindikatoren zu beachten.

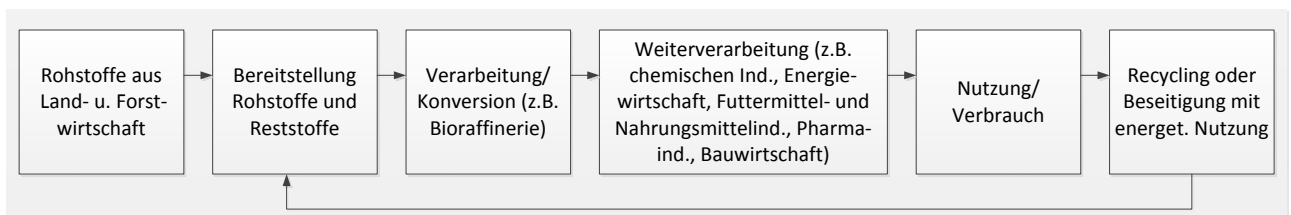


Abbildung 2 Beispielhafte Wertschöpfungskette

Die folgenden Kapitel 6 und 7 stellen die verfügbaren Grundlagen zur Bewertung der Nachhaltigkeit einer biobasierten Wirtschaft sowie zur Bewertung der Ressourcenbasis dar.

### Fazit Kapitel 5

**Insgesamt sollte ein Monitoring der Bioökonomie mindestens folgende Wirtschaftssektoren berücksichtigen:**

- Land- und Forstwirtschaft,
- Futtermittel- und Nahrungsmittelproduktion,
- Holz- und Papierindustrie,
- Energiewirtschaft,
- chemische Industrie,
- Pharmaindustrie,
- Bauwirtschaft,
- Abfallwirtschaft.

## 6 Nachhaltigkeitsbetrachtungen

Wie in Kapitel 2 (Einleitung und Hintergrund) beschrieben, ist es vor dem Hintergrund der intensiven Diskussion über die Nachhaltigkeit einer zunehmenden stofflichen und energetischen Biomasse-nutzung notwendig, Entwicklungen innerhalb biobasierter Wirtschaftsbereiche zu begleiten und wo möglich auch zu steuern. Hierfür bedarf es konkreter Kenngrößen, die die Nachhaltigkeit von Entwicklungen der biobasierten Wirtschaft abbilden können (vgl. Kapitel 4). In diesem Kapitel erfolgt deshalb zunächst eine Operationalisierung des übergeordneten Ziels einer nachhaltigen Entwicklung der biobasierten Wirtschaft hin zu messbaren Kenngrößen/ Indikatoren. Zusätzlich werden Methoden zur Erhebung dieser Indikatoren dargestellt. Im nächsten Schritt wird auf die Eignung der Methode für ein Monitoringsystem, auf Akteure und auf die Anwendung der Methoden in bestehenden Ansätzen eingegangen.

### 6.1 Indikatoren und Methoden zur Überwachung der Nachhaltigkeit der Bioökonomie

#### 6.1.1 Operationalisierung einer nachhaltigen Entwicklung

Wie bereits dargestellt, bedarf es konkreter messbarer Kenngrößen um einschätzen zu können, ob die Entwicklung der Bioökonomie nachhaltig erfolgt. Für die Herleitung dieser Größen ist es notwendig in einem Top-Down-Ansatz das übergeordnete Ziel einer nachhaltigen Entwicklung der Bioökonomie Schritt für Schritt bis hin zu messbaren Indikatoren zu operationalisieren (vgl. Kapitel 4). Dieser Operationalisierungsprozess ist in Abbildung 3 dargestellt.

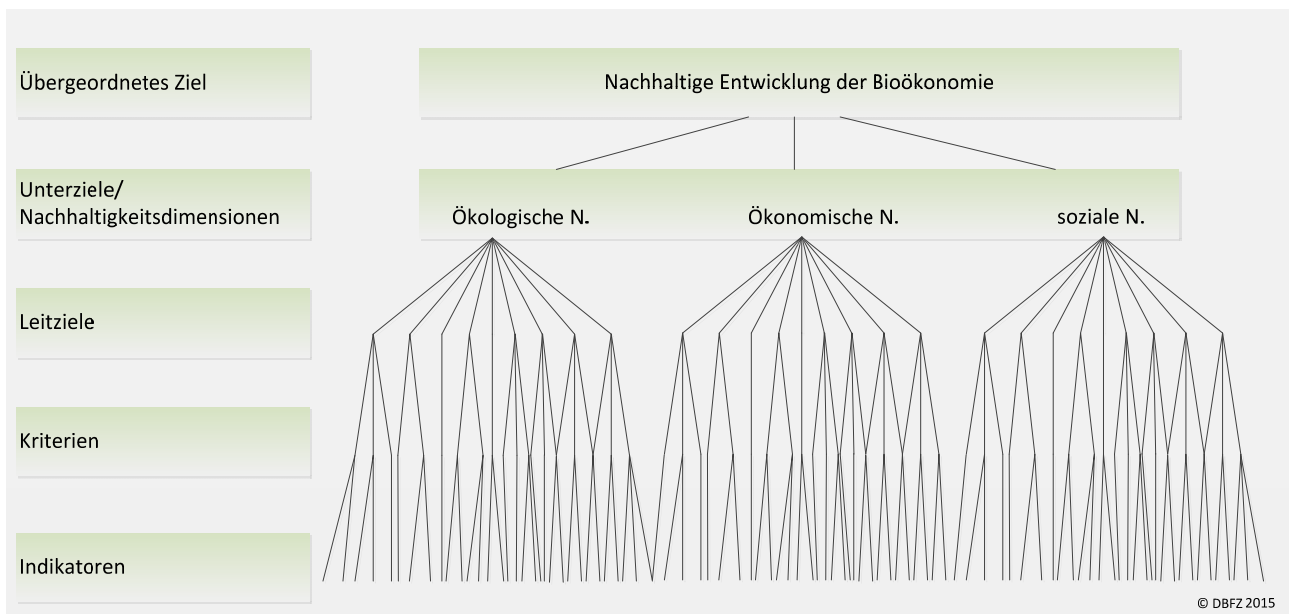


Abbildung 3 Ableitung von Indikatoren vom übergeordneten Ziel einer nachhaltigen Entwicklung der Bioökonomie

Die Ziele und Leitgedanken einer nachhaltigen Bioökonomie sind zum einen in den Strategiepapieren der Bioökonomie (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2010), (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2014), (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND

VERBRAUCHERSCHUTZ, 2013) festgehalten. Zum anderen wurden für die Operationalisierung auch weitere Ziele, die aus dem wissenschaftlichen Diskurs im Kontext der Nachhaltigkeit stammen, aufgegriffen. Auch bei dem Schritt der Ableitung von Kriterien und Indikatoren wurden bestehende und bereits etablierte Indikatorensets berücksichtigt (z. B. 21 Schlüsselgrößen der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (DIE BUNDESREGIERUNG, 2002), Indikatorenset der Global Bioenergy Partnership (GBEP) (CLINI u. a., 2011), Standards aus Zertifizierungssystemen etc.).

Die Unterziele orientieren sich am klassischen 3-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit mit den Nachhaltigkeitsdimensionen ökologisch, ökonomisch, sozial<sup>2</sup>. Diese Unterziele werden mit den Leitzielen und Kriterien weiter untersetzt, welche im folgenden Kapitel 6.1.2 beschrieben sind. Das Ergebnis der vollständigen Operationalisierung, ein Set aus messbaren Indikatoren um die Entwicklung der Bioökonomie bzw. deren ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen zu beschreiben, ist in Tabelle 1 dargestellt und in Kapitel 6.2.1 ausführlicher beschrieben. Um für ein Monitoring die entscheidenden Indikatoren daraus zu identifizieren, sind die in Kapitel 8 aufgeführten Schritte notwendig.

## 6.1.2 Überblick der wesentlichen Größen der Nachhaltigkeit im Bioökonomiekontext

Die wesentlichen Leitziele, die im 6.1.1 beschriebenen Operationalisierungsprozess berücksichtigt werden sollten, wurden den Strategiepapieren der Bioökonomie (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2010) (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2014) und dem weiteren wissenschaftlichen Diskurs entnommen.

Um eine ökologisch nachhaltige Entwicklung der biobasierten Wirtschaft zu gewährleisten, müssen folgende Leitziele beachtet werden:

- Beitrag zum Klimaschutz,
- Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und -funktion,
- Erhalt des Wasserhaushaltes und -qualität,
- Erhalt und Stärkung der Biodiversität,
- Erhalt und Verbesserung der Luftqualität,
- Vermeidung von Flächenkonkurrenzen.

Zur Gewährleistung der ökonomischen Nachhaltigkeit der biobasierten Wirtschaft, sind folgende Leitziele zu berücksichtigen:

- Beitrag zur Rohstoffschonung,
- Sicherung und Steigerung des Wertschöpfungspotenzials,
- Sicherung und Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit,
- Sicherung und Steigerung der Beschäftigung,
- Schaffung von stabilen Rahmenbedingungen für innovative Produkte und KMU,

---

<sup>2</sup> Eine klare Trennung zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen ist in der Realität kaum möglich. Modelle, die die Überschneidungen der Nachhaltigkeitsdimensionen beschreiben wie in (VON HAUFF & KLEINE, 2009) sind realistischer. Der Übersichtlichkeit halber wurde für diese Studie allerdings das klassische 3-Säulen-Modell gewählt.

- Erschließung weiterer Innovationspotenziale.

Die Leitziele einer sozialen Nachhaltigkeit der biobasierten Wirtschaft umfassen:

- Sicherung der Ernährungssituation,
- Förderung des nachhaltigen Konsums,
- Förderung eines engen Zusammenwirkens beteiligter Akteure,
- Stärkung von Arbeitnehmerrechten,
- Erhöhung von Aus- und Fortbildungsmöglichkeiten,
- Stärkung der sozialen Gerechtigkeit,
- Entwicklung des ländlichen Raumes.

Diese Leitziele und die operationalisierten Größen der ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit im Bioökonomiekontext sind in Tabelle 1 tabellarisch dargestellt. Einige dieser abgeleiteten Indikatoren finden bereits Anwendung und fließen in übergeordnete Berichterstattungen ein (z. B. nationales Nachhaltigkeitsmonitoring (DIE BUNDESREGIERUNG, 2002), Berichterstattung zur Erneuerbaren-Energien-Richtlinie 2009/28 EG (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, 2011)) oder sind Bestandteil von Ansätzen, in denen die verschiedenen Indikatoren kombiniert werden (z. B. GBEP-Indikatoren (GBEP, 2011), Zertifizierungsansätze). Die Anwendung der Indikatoren in bestehenden Berichterstattungen und Ansätzen wird in Kapitel 6.2 ausführlicher erläutert.

Neben den Kenngrößen der Nachhaltigkeit umfasst Tabelle 1 ebenso die Methoden, mit denen die Indikatoren erhoben bzw. erfasst werden können. Dabei wurden jeweils die aus Sicht der Autoren wesentlichen Methoden, ohne Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Diese Zusammenstellung umfasst zum einen wissenschaftliche Methoden (z. B. Lebenszyklusanalysen, Immissionsmodellierungen, Stoffstromanalysen, Input-Output-Analysen) zum anderen statistische Erhebungen (z. B. im Rahmen der volkswirtschaftlichen- und umweltökonomischen Gesamtrechnung) sowie empirische Erhebungen, deren Erhebungsmethoden und Anwendung.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Geltungsbereiche der Indikatoren spielen für die Übertragbarkeit auf ein nationales Monitoring eine wichtige Rolle. Zum einen ist hier das räumliche Geltungsgebiet der Indikatoren von Bedeutung (lokal, regional, sektoral, national, global). Zum anderen erfassen die Indikatoren die ökologischen, ökonomischen und sozialen Effekte der Bioökonomie an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfungskette (vgl. Kapitel 5; 8.2). In Anlehnung an die ISO Norm 14040 (idF. v. 2006; DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 2009) kann die Wertschöpfungskette (biobasierter) Produkte in verschiedene Abschnitte untergliedert werden. Die umfassende Betrachtung des gesamten Lebenszyklus wird mit *cradle-to-grave* bezeichnet. Reicht der Geltungsbereich eines Indikators vom Anbau/ Rohstoffproduktion bis zum Werkstor der Konversionsanlage (einschl. Konversionsschritt), wird er mit *cradle-to-gate* bezeichnet. Der *gate-to-gate* Geltungsbereich von Indikatoren bezieht sich ausschließlich auf einen Prozessschritt z. B. Konversions-, Weiterverarbeitungs- oder Recyclingschritt. Einige Indikatoren können je nach gewünschter Aussage auf unterschiedlichen Aggregationsebenen angegeben bzw. verdichtet werden. Je nach Geltungsbereich und Aggregationsebene unterscheidet sich die Bezugsgröße, z. B. Fläche, Produkt, Wirtschaftssektoren, Staat.

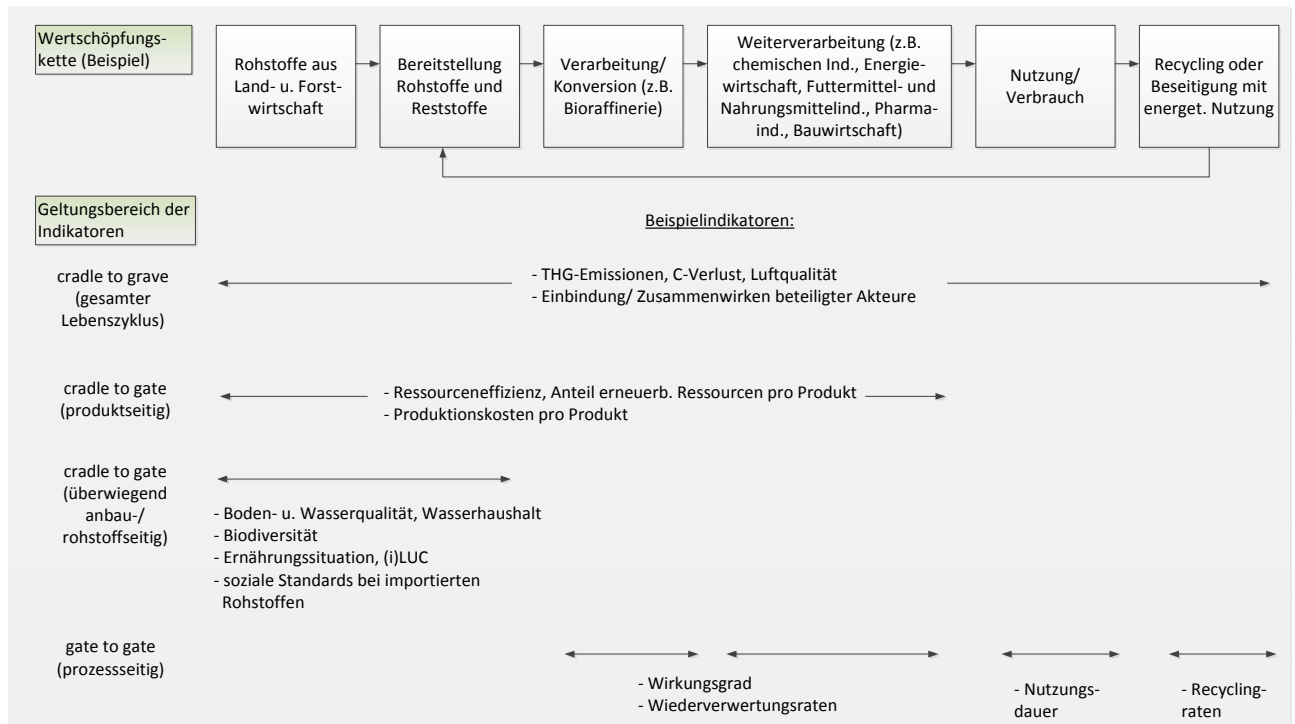


Abbildung 4 Geltungsbereich der Indikatoren entlang der Wertschöpfungskette

Tabelle 1 Indikatoren und Methoden einer nachhaltigen Entwicklung der Bioökonomie

Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral <sup>3</sup> , national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung) <sup>4</sup>
Ökologische Nachhaltigkeit				
Beitrag zum Klimaschutz	Ausstoß klimawirksamer Gase	THG-Emissionen/THG-Einsparung [g CO <sub>2</sub> -Äq./Produkt, Sektor, Staat]	Cradle-to-grave, cradle-to-gate, sektoral, national	Treibhausgas-Bilanzierung, LCA
		THG-Emissionen aus Anbau [g CO <sub>2</sub> -Äq./Produkt, Sektor, Staat]	Cradle-to-grave, cradle-to-gate, sektoral, national	Treibhausgas-Bilanzierung, LCA
	Nachhaltiger Kohlenstoff Kreislauf	Absoluter Kohlenstoffverlust (Carbon Debt) [g CO <sub>2</sub> -Äq./ha, Produkt, Sektor]	Cradle-to-grave, cradle-to-gate, sektoral	Kohlenstoff-Bilanzierung
		Netto THG-Reduktion und Kohlenstoffbindung [g CO <sub>2</sub> -Äq./Produkt, Sektor]	Cradle-to-grave, cradle-to-gate, sektoral	Kohlenstoff-Bilanzierung
		Zeit um Kohlenstoffverlust durch THG-Reduktion aufzuwiegen [Jahre]	Cradle-to-grave, cradle-to-gate, sektoral	Kohlenstoff-Bilanzierung
Erhalt Bodenfruchtbarkeit und -funktion	Bodenqualität	Stickstoffanteil [mg/ha]	Cradle-to-gate, sektoral	Bodenuntersuchung, Bodenmonitoring
		Extrahierbarer Phosphor [mg/ha]	Cradle-to-gate, sektoral	Bodenuntersuchung, Bodenmonitoring

<sup>3</sup> Sektoral bedeutet, Indikator bezogen auf die Wirtschaftssektoren der Bioökonomie

<sup>4</sup> Die weitere Dokumentation der Methoden erfolgt in Tabelle 2.



Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral <sup>3</sup> , national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung) <sup>4</sup>
		Anteil organischer Kohlenstoff [kg/ha]	Cradle-to-gate, sektoral	Bodenuntersuchung, Bodenmonitoring, Humusbilanzierung
		Salzgehalt [mg/l]	Cradle-to-gate, sektoral	Bodenuntersuchung, Messung, elektrische Leitfähigkeit
		Belastung mit Schwermetallen[mg/ha]	Cradle-to-gate, sektoral	Bodenuntersuchung
	Bodenstruktur	Trockenrohdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Cradle-to-gate, sektoral	Bodenuntersuchung, Bodenmonitoring
	Erosion	Mittleres jährliches Bodenabtragsrisiko [t/ha]	Cradle-to-gate, sektoral	Differenzierende allgemeine Bodenabtragsgleichung, physikalisch-begründete Erosionsmodellierung
Erhalt Wasserhaushalt und Wasserqualität	Wasserqualität	Stickstoffkonzentration in Gewässern betroffener Wassereinzugsgebiete [mg/l]	Lokal, national	Erhebung Wasserqualität
		Phosphorkonzentration in Gewässern betroffener Wassereinzugsgebiete [mg/l]	Lokal, national	Erhebung Wasserqualität
		Anteil der bei der Rohstoffherzeugung anfallenden Stickstoffüberschüsse an der Stickstoffbelastung von Gewässern innerhalb betroffener Wassereinzugsgebiete [%]	Cradle-to-gate, sektoral	Stickstoffbilanz + Immissionsmodellierung für Stickstoff
		Anteil der bei der Rohstoffherzeugung anfallenden Phosphorüberschüsse an der Phosphorbelastung von Gewässern innerhalb betroffener Wassereinzugsgebiete [%]	Cradle-to-gate, sektoral	Phosphorbilanz + Immissionsmodellierung für Phosphor





Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral <sup>3</sup> , national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung) <sup>4</sup>
		Anteil der eingesetzten Pestizide an Verunreinigung von Gewässern innerhalb betroffener Wassereinzugsgebiete [%]	Cradle-to-gate, sektoral, lokal	Immissionsmodellierung für aktive Inhaltsstoffe
		Schadstoffimmissionen aus der Verarbeitung [mg/l, °C, µS/m (elektrische Leitfähigkeit), pH] in Gewässer	Cradle-to-gate, sektoral	Statistische Erfassung der Schadstoffemissionen aus der Verarbeitung
		Anteil an Sedimentimmissionen in Oberflächengewässer innerhalb betroffener Wassereinzugsgebiete [%]	Cradle-to-gate, sektoral, lokal	Immissionsmodellierung für Sediment
	Wasserquantität	Wasserverbrauch [l/Produkt, Sektor]	Cradle-to-gate, cradle-to-grave, sektoral	Wasserfußabdruck, Wasserhaushaltsmodellierung
		Anteil Wasserverbrauch aus Anbau an Gesamtverbrauch [%]	Cradle-to-gate, sektoral	Wasserfußabdruck, Wasserhaushaltsmodellierung
		Wasserstress in Anbaugebieten [Idx., %]	Cradle-to-gate, sektoral, lokal, national, regional, global	Falkenmark Water Stress Index, Withdrawals-to-availability ratio
Erhalt und Stärkung Biodiversität	Biodiversität des Ökosystems	Diversität als Vorhandensein von Indikatorspezies [Anzahl, Idx.]	Sektoral, lokal, national, regional, global	Artenzählung Indikatorspezies
	Habitat	Grünlandanteil bewirtschafteter Flächen [%]	Cradle-to-gate, sektoral	Nachweis und Erhebung über Flächenstrukturen
		Anteil semi-naturreller Habitat an Gesamtfläche [%]	Cradle-to-gate, sektoral	Nachweis und Erhebung über Flächenstrukturen
	Invasive Arten	Anteil Rohstoffe aus Invasiven Arten [%]	Cradle-to-gate, sektoral	Nachweis und Erhebung verwendeter Arten und räumliche Verteilung



Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral <sup>3</sup> , national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung) <sup>4</sup>
	Einsatz von Agrarchemikalien	Behandlungshäufigkeit Pestizide [Anwendungen/Jahr]	Cradle-to-gate, sektoral	Nachweis und Erhebung über Quantität, Zeit und Art eingesetzter Pestizide
		Wirkstoffmenge eingesetzter Pestizide [kg]	Cradle-to-gate, sektoral	Nachweis und Erhebung über Quantität, Zeit und Art eingesetzter Pestizide
		Düngereinsatz Stickstoffdünger [kg/ha]	Cradle-to-gate, sektoral	Nachweis, Erhebung der eingesetzten Menge von Stickstoffdünger
	Agrobiodiversität	Diversität verwendeter Nutzpflanzen [Anzahl/Farm, Fläche, Idx.]	Cradle-to-gate, sektoral, national	Nachweis und Erhebung verwendeter Arten und flächenbezogene Verteilung
		Genetische Diversität eingesetzter Nutzpflanzen [Idx.]	Cradle-to-gate, sektoral, national	Erhebung zur Genetische Diversität eingesetzter Nutzpflanzen
		Anteil Gentechnisch veränderter Organismen [% / Einheit, Sektor]	Cradle-to-gate, sektoral, national	Nachweis und Erhebung verwendeter Arten und räumliche Verteilung
Erhalt/Verbesserung Luftqualität	Gasförmige Schadstoffemissionen in die Atmosphäre (außer THGs)	Gesamtemissionen nach Schadstoff [mg/ Einheit, Sektor]	Cradle-to-gate, cradle-to-grave, sektoral	Emissionsmessung und -bilanzierung Luftschadstoffe, LCA
	Feinstaub	Feinstaubemissionen PM <sub>2,5</sub> [µg/Einheit, Sektor]	Cradle-to-gate, cradle-to-grave, sektoral	Emissionsmessung und -bilanzierung Luftschadstoffe, LCA
		Feinstaubemissionen PM <sub>10</sub> [µg/Einheit, Sektor]	Cradle-to-gate, cradle-to-grave, sektoral	Emissionsmessung und -bilanzierung Luftschadstoffe, LCA

Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral <sup>3</sup> , national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung) <sup>4</sup>
Vermeidung von Flächenkonkurrenzen	Flächeninanspruchnahme	Flächenbedarf durch Importe	Global	EE-Input-Output-Analyse
		Landnutzung/Flächenanteile	National, global	Flächenerhebung
		Landnutzungsänderungen (LUC)	National	Landnutzungserhebung
		Faktoren der indirekten Landnutzungsänderungen (ILUC-Faktoren)	Global	Ökonomische Gleichgewichts Modelle, deterministische Modelle
		Anteil Nutzung von degradierten oder ungenutzten Flächen	Lokal, national	Flächenerhebungen
	Nutzung von Reststoffen	Nutzung von Rest- und Abfallstoffen	Sektoral, national	Stoffstromanalyse (LCI), EE-Input-Output-Analyse
		Kaskaden- und Koppelnutzung s. ökonom. Nachhaltigkeit		
	Nachhaltige Ertragssteigerung	Ertragssteigerung durch Züchtungserfolge, verbesserte Anbaumethoden und technischen Fortschritt	National, global	Statistische Erhebungen (FAO Statistik)
		Integration Biomasseanbau für Bioökonomie in existierende Produktionsmethoden	Lokal	LIIB Methode
		Nutzung von Stilllegung im Rahmen einer Fruchtfolge	Lokal	LIIB Methode



Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral, national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung)
----------	-----------	-----------	--	--------------------------

Ökonomische Nachhaltigkeit

Ressourceneffizienz	Effizienz/ Produktivität $\left(\eta = \frac{U_{out}}{U_{in}}\right)$	Energetische Effizienz (Wirkungsgrad) = $\frac{\text{Nutzleistung [W]}}{\text{zugeführte Leistung [W]}}$	Gate-to-gate	Stoffstromanalyse (LCI)
		Rohstoffeffizienz = $\frac{\text{Rohstoff } i_{out} \text{ [kg]}}{\text{Rohstoff } i_{in} \text{ [kg]}}$	Gate-to-gate	Stoffstromanalyse
		Exergetische Effizienz = $\frac{\text{Exergie der Outputs [J]}}{\text{Exergie der Inputs [J]}}$	Gate-to-gate, cradle-to-grave	Exergie-Analyse
		Rohstoffproduktivität = $\frac{\text{BIP [€]}}{\text{Rohstoff [kg]}}$	Cradle-to-gate, cradle-to-grave, global, national, sektoral	Stoffstromanalyse (LCI), EE-Input-Output-Analyse
		Flächenproduktivität = $\frac{\text{Nutzen}}{\text{Fläche}}$	Cradle-to-gate, cradle-to-grave, global, national, sektoral	Stoffstromanalyse (LCI), EE-Input-Output-Analyse
		„Öko-Effizienz“ = $\frac{\text{Wertschöpfung}}{\text{Schadschöpfung}}$ (Bsp.: $\frac{\text{BIP}}{\text{kg CO}_2\text{-Äq.}}$ )	National, sektoral	EE-Input-Output-Analyse
	Schonung des Ressourceninputs ( $U_{in}$ )	Anteil erneuerbarer/ nicht erneuerbarer Ressourcen pro Produkt	Cradle-to-gate	Stoffstromanalyse (LCI)
		Anteil erneuerbarer/ nicht erneuerbarer Ressourcen pro Einwohner	National	EE-Input-Output-Analyse
		Direkter Materialeinsatz (DMI)	Sektoral, national, global, cradle-to-gate	EE-Input-Output-Analyse, Stoffstromanalyse (LCI)
		Inländische Materialverbrauch (DMC)	Sektoral, national	EE-Input-Output-Analyse
		Verwertungsgrad biogener Abfälle/Reststoffe	Sektoral, national	Stoffstromanalyse (LCI),

Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral, national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung)
	Erhöhung des nützlichen Outputs ( $U_{out}$ )	Ablagerungsquoten, Deponierung der Abfallströme	National	Abfallbilanz
		Wiederverwertungs-, Recycling-, Rückgewinnungsraten	Gate-to-gate	Stoffstromanalysen (LCI)
	Optimierung von Eigenschaften des Systems	Wiederverwertbarkeits-, Recyclingfähigkeits-, Rückgewinnbarkeitsraten	Gate-to-gate	Multikriterielle Bewertung
		Nutzungsdauer pro Produkt	Gate to gate	Stoffstromanalyse (LCI)
		Kaskadenfaktor: Faktor zur Mehrfachnutzung (MFN)	Lokal, sektoral	Stoffstromanalyse, Input-Output-Analyse
		Vorwärts gerichtete Verflechtung	National	Hybrid LCA
	Wertschöpfungspotenzial	Wertschöpfung	Bruttowertschöpfung	National, sektoral
Nettowertschöpfung			National, sektoral	Input-Output-Analyse
Wettbewerbsfähigkeit	Personalbezogen	Arbeitsproduktivität = $\frac{BIP}{\text{Erwerbstätigenstunde}}$	National, sektoral	Inlandsproduktberechnung
		Lohnkosten (Entgelt pro Arbeitnehmerstunde)	National, sektoral	Inlandsproduktberechnung
		Lohnstückkosten (Lohnkosten pro Arbeitsproduktivität)	National, sektoral	Inlandsproduktberechnung
	Produktbezogen	Produktionskosten pro Produkt	Cradle-to-gate	Annuitätenmethode

Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral, national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung)
Beschäftigung	Anzahl	Erwerbstätige je Wirtschaftszweig	National, sektoral	Mikrozensus
	Einkommen	Arbeitnehmerverdienste nach Wirtschaftszweigen	National, sektoral	Statistische Erhebung
		Löhne und Gehälter	National, sektoral	Inlandsproduktberechnung
		Bruttoarbeitsentgelt	National, sektoral	Beschäftigungsstatistik
	Qualifikation	Beschäftigte nach Ausbildungsabschlüsse (%)	National, sektoral	Beschäftigungsstatistik
	Ungleiche Einkommen	Gini-Koeffizient, Quintilverhältnis	National	Statistische Erhebung
Rahmenbedingungen innovativer Produkte und KMU	Förderung KMU	Anteil der KMU an Umsatz	National, sektoral	Statistische Erhebung
		Anteil der KMU an Bruttowertschöpfung	National, sektoral	Statistische Erhebung
		Zugang KMU zu Finanzmitteln	National, sektoral	Befragung
	Innovative Produkte	Siehe Innovation		
Innovation	Gesellschaftliche Innovation	Ausgaben für F&E (%des BIP)	National	Statistische Erhebung
		Ausgaben für F&E nach Sektoren	National, sektoral	Statistische Erhebung
		Anteil Wissenschaftler an Erwerbsbevölkerung	National, sektoral	Statistische Erhebung
	Produkt-/ Prozessinnovation	Zahl der Patentanmeldungen	National, sektoral	Statistische Erhebung
	Produktinnovation	Export von Hochtechnologien	National, sektoral	Statistische Erhebung
		Neuheitsgrad (Neue Märkte durch bestehende Märkte)	Cradle-to-grave, global	Hybrid-LCA



Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral, national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung)
	Prozessinnovation	Rohstoffproduktivität (BIP pro Rohstoffinput)	National, sektoral	EE-Input-Output-Analyse
		Energieproduktivität (BIP pro Energieinput)	National, sektoral	EE-Input-Output-Analyse

Soziale Nachhaltigkeit

Ernährungssicherheit	Preisentwicklung	Verbraucherpreise für Nahrungsmittel	National, global	Verbraucherpreisstatistiken	
	Ernährungssituation	FAO Food Security Indicators	National, global	Food Security Statistics	
	Flächenkonkurrenz	Siehe Vermeidung Flächenkonkurrenz			
Nachhaltiger Konsum	Verständnis	Anteil der Verbraucher die sich aktiv über Nachhaltigkeit von Produkten informieren [%]	National	Empirische Untersuchungen und Statistische Erhebung zu Konsumentenverhalten	
		Einfluss auf Kaufentscheidung	Anteil von Verbrauchern bei denen Nachhaltigkeit in Kaufentscheidung einfließt [%]	National	Empirische Untersuchungen und Statistische Erhebung zu Konsumentenverhalten
			Anteil der als nachhaltig zertifizierten Produkte am Binnenkonsum [%]	Sektoral, national	Statistische Erhebung
Enges Zusammenwirken beteiligter Akteure	Stakeholder	Einbindung von Stakeholdern bei Strategieentwicklung und Planung [qualitative Beschreibung]	Lokal, national, sektoral	Empirische Untersuchungen	
		Transparenz staatlicher Institutionen und im Hinblick auf ökologische und soziale Auswirkungen privater Tätigkeiten [qualitative Beschreibung]	Lokal, national, sektoral	Empirische Untersuchungen	
		„Accountability“ staatlicher und privater	Lokal, national, sektoral	Empirische Untersuchungen	



Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral, national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung)
		Akteure [qualitative Beschreibung]		
	Kooperation	Kooperation im Rahmen von PPP Projekten [qualitative Beschreibung]	Lokal, national, sektoral	Empirische Untersuchungen
		Kooperation im Rahmen von Forschungsprojekten [qualitative Beschreibung]	Lokal, national, sektoral	Empirische Untersuchungen
		Privatwirtschaftliche Kooperation [qualitative Beschreibung]	Lokal, national, sektoral	Empirische Untersuchungen
		Kooperation mit NGOs [qualitative Beschreibung]	Lokal, national, sektoral	Empirische Untersuchungen
Arbeitnehmerrechte	Beschäftigungsverhältnisse	Anteil der atypischen Beschäftigungsverhältnisse [%]	Sektoral, national	Beschäftigungsstatistik
		Anteil der unbefristeten Beschäftigungsverhältnisse an Gesamtbeschäftigungen [%]	Sektoral, national	Beschäftigungsstatistik
		Quote informeller Beschäftigung [%]	Sektoral, national	Statistische Erhebung zur Schwarzarbeit
	„Living wage“	Anteil Beschäftigter die zusätzlich auf staatliche Hilfen angewiesen sind [%]	Sektoral, national	Beschäftigungsstatistik
	Gewerkschaftliche Organisation	Anteil Betriebe in denen eine Arbeitnehmervertretung existiert [%]	Sektoral, national	Empirische Untersuchung zu Beschäftigungsverhältnissen
	Arbeitssicherheit	Ausfallstunden aufgrund von Arbeitsunfällen [Anzahl]	Sektoral, national	Statistische und qualitative Erhebung zu Unfällen und Erkrankungen



Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral, national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung)
		Quote an Berufskrankheiten erkrankter Arbeitnehmer [%]	Sektoral, national	Statistische und qualitative Erhebung zu Unfällen und Erkrankungen
Aus- und Fortbildung	Ausbildung	Anzahl und Quote betrieblich Auszubildender [Anzahl, %]	Sektoral	Empirische Untersuchung zu Beschäftigungsverhältnissen, Beschäftigungsstatistik
	Fortbildung	Nutzung von Fortbildungsmaßnahmen im Vergleich zur Gesamtwirtschaft [Anzahl]	Sektoral	Empirische Untersuchung zu Beschäftigungsverhältnissen
Soziale Gerechtigkeit	Einkommensungleichheit	Siehe Beschäftigung		
	Gender	Einkommenslücke durchschnittliches Einkommen von Männern und Frauen [Euro]	Sektoral, national	Empirische Untersuchung zu Beschäftigungsverhältnissen, Beschäftigungsstatistik
	Inklusion	Anteil von schwerbehinderten Angestellten [%]	Sektoral, national	Beschäftigungsstatistik
	Integration	Anteil von Angestellten mit Migrationshintergrund [%]	Sektoral, national	Beschäftigungsstatistik, Empirische Untersuchung zu Beschäftigungsverhältnissen
Entwicklung ländlicher Raum	Auskommen im ländlichen Raum	Bilanzierung Schaffung/ Zerstörung von Auskommen (auch Selbstständige) durch Expansion des Sektors unter Berücksichtigung von Verdrängungseffekten [Anzahl betroffener Existenzen]	Sektoral, lokal, national	Empirische Untersuchung
	Beschäftigung im ländlichen Raum	Anteil lokaler Arbeitnehmer [%]	Sektoral	Statistische Erhebung
	Beitrag zur Diversifizierung der ländlichen Ökonomie	Diversität der ländlichen Wirtschaft [Idx.]	Lokal, national	Statistische Erhebung

Leitziel	Kriterium	Indikator	Geltungsbereich (lokal, regional, sektoral, national, global, cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate)	Methode (der Ermittlung)
	Demografie	Einfluss auf die demografische Entwicklung [qualitative Beschreibung]	Sektoral, national	Statistische Erhebung
	Wertschöpfung im ländlichen Raum	Anteil der Wertschöpfung der im ländlichen Raum erfolgt [%]	Cradle-to-grave, sektoral	Statistische Erhebung
	Investitionen im ländlichen Raum	Private Investitionen des Sektors im ländlichen Raum [Euro]	Sektoral	Statistische Erhebung
	Einnahmen ländlicher Kommunen	Einnahmensteigerung ländlicher Kommunen [Euro]	Lebenszyklus, sektoral, national	Statistische Erhebung

Zwei Größen aus der Vielzahl der Indikatoren in Tabelle 1 werden in Form von Exkursen beispielhaft näher erläutert. Zum einen ist das die Größe der Ressourceneffizienz, die nachfolgend in einem Exkurs diskutiert wird, zum anderen die Größe der Kaskaden- und Koppelnutzung (in Kapitel 7).

### Exkurs Ressourcen (SCHÜTZ & BRINGEZU, 2008), (UMWELTBUNDESAMT, 2002):

„Natürliche Ressourcen sind alle Bestandteile der Natur, die für den Menschen einen Nutzen stiften, sei es direkt durch ihren konsumtiven Ge- und Verbrauch oder indirekt als Einsatzstoffe bei der Produktion von Sachgütern und Dienstleistungen (nicht erneuerbare Rohstoffe, fossile Energieträger; erneuerbare, nachwachsende Rohstoffe; genetische Ressourcen; ständig fließende Ressourcenströme wie Sonnenenergie, Wind und Wasser; der Boden).

Zu diesen relativ gut abgrenzbaren Elementen des Naturvermögens sind solche Leistungen hinzuzurechnen, die die Natur indirekt in sehr viel umfassenderer Weise für den Menschen erbringt: Die Aufnahme von Emissionen (Senkenfunktion) und die Aufrechterhaltung ökologisch-biogeochemischer Systeme, der Biodiversität, die globalen Stoffkreisläufe sowie der atmosphärische Strahlungshaushalt. Diese Funktionen und Systeme bilden eine essentielle Voraussetzung für die Verfügbarkeit der ökonomisch direkt verwertbaren Ressourcen und gewährleisten das Überleben der Menschheit an sich.“

### Exkurs Effizienz (HEIJUNGS, 2007)

Der Begriff Effizienz wird innerhalb von verschiedenen Disziplinen und zum Teil unkonventionell verwendet. Grundsätzlich bezieht sich Effizienz auf den Grad der Optimalität eines Systems. Innerhalb dieses Berichts wird Effizienz ( $\eta$ ) als das quantitative Verhältnis von nützlichem Output ( $U_{out}$ ) zu beanspruchtem Input ( $U_{in}$ ) eines Systems bezeichnet.

$$\eta = \frac{U_{out}}{U_{in}}$$

Dabei kann ein System unterschiedliche Grenzen annehmen. Ein System kann bspw. ein einzelner Prozess, eine Wertschöpfungskette oder auch eine gesamte Volkswirtschaft sein. Zudem ist es bei der Bildung von Effizienzgrößen sinnvoll, dass die Nutzen im Zähler und Nenner durch entsprechende gleiche Einheiten abgebildet werden, um zu gewährleisten, dass ein dimensionsloser Wert zwischen 0 und 1 ( $U_{out} \leq U_{in}$ ) erreicht wird.

In verschiedenen Disziplinen ist es nicht unüblich unterschiedliche Einheiten bei der Herleitung von Effizienz-Indikatoren zu verwenden. In diesen Fall wird jedoch der in den Wirtschaftswissenschaften häufig verwendete Begriff der Produktivität (Bsp.: Arbeitsproduktivität =  $\frac{\text{Ausbringungsmenge}}{\text{Eingesetzte Arbeitsstunden}}$ , Rohstoffproduktivität =  $\frac{\text{Ausbringungsmenge}}{\text{Eingesetzte Rohstoffmenge}}$ ) als besser geeignet erachtet.

### Exkurs Ressourceneffizienz:

Um eine Steigerung der Ressourceneffizienz eines Systems zu erlangen, ist es erforderlich, den Output ( $U_{out}$ ) gegenüber den Ressourceninput ( $U_{in}$ ) zu erhöhen. In der Literatur existieren diverse Indikatoren, die sich anhand ihrer Bezugsrahmen unterscheiden. Zum einen existieren Indikatoren, welche das Output-Input-Verhältnis im Ganzen abbilden (Effizienz, Produktivität). Zudem gibt es Indikatoren, die sich entweder auf die Output- oder die Inputseite beziehen. Bei diesen Indikatoren kann von einer Effizienzsteigerung gesprochen werden, sobald der entsprechende Ressourceninput über die Zeit abnimmt (bzw. der nützliche Output zunimmt) und zuvor sichergestellt wurde, dass der Output (bzw. Input) konstant geblieben ist. Abschließend stehen Indikatoren zur Verfügung, welche die Eigenschaften eines Systems adressieren. Bei der Optimierung von einzelnen Eigenschaften (z. B. Produktlebensdauer) wird davon ausgegangen, dass so auch das gesamte Output-Input-Verhältnis des betrachteten Systems erhöht wird.

Vor dem Hintergrund der hier verwendeten Definitionen der Begriffe Ressourcen und Effizienz ergibt sich eine Vielzahl von potentiellen Indikatoren, die auf eine Steigerung der Ressourceneffizienz/-produktivität abzielen und im Rahmen eines Bioökonomie-Monitorings Beachtung finden können (vgl. Ressourceneffizienz in Tabelle 1) und sollten. Weitere Kenngrößen, die als Inputindikator ( $U_{in}$ ) verwendet werden können, finden sich in Tabelle 1 im Bereich Ökologische Nachhaltigkeit.

## 6.2 Übertragbarkeit der Methode und Anwendung in bestehenden Bewertungsansätzen

Die in Tabelle 1 aufgeführten Indikatoren und Methoden werden in diesem Kapitel aufgegriffen und anhand konkreter Anwendungsfälle näher erläutert (vgl. 6.2.1). Im Anschluss erfolgt eine Diskussion der Übertragbarkeit der dargestellten Indikatoren auf ein Monitoring der Bioökonomie (vgl. Tabelle 2) sowie eine Darstellung des Handlungs- und Forschungsbedarfes, der wesentlichen Akteure und der beispielhaften Anwendung. Für letzteres werden in Kapitel 6.2.2 einige Beispiele näher erläutert.

### 6.2.1 Indikatoren, Methoden, Anwendung und Übertragbarkeit auf ein Bioökonomie-Monitoring

Im Folgenden werden die Materialsammlungen aus Tabelle 1 (Indikatoren und Methoden) und der nachfolgend aufgeführten Tabelle 2 (Methoden, Übertragbarkeit und Anwendung) zusammenfassend erläutert. Der Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit beschäftigt sich dabei vor allem mit den Erhebungsmethoden und Datenquellen. Es soll gezeigt werden, dass eine Vielzahl von potentiellen für ein Monitoring nutzbaren Datenquellen existiert, jedoch in bestimmten Bereichen auch Fehlstellen bei der Datenerfassung bestehen. Außerdem soll das Augenmerk auf wissenschaftlich fundierte Methoden gelegt werden, die genutzt werden können, um die komplexen ökologischen Sachverhalte zu erfassen und im Zusammenhang darzustellen. Der Bereich der ökonomischen Nachhaltigkeit wurde nicht in derselben Detailtiefe dokumentiert, da hier auf etablierte Instrumente und Datenquellen zurückgegriffen wurde und zum anderen parallel zum Sachstandsbericht Nachhaltigkeit und Ressourcenbasis ein gesonderter Sachstandsbericht zur Ökonomie erarbeitet wird. Im Bereich der sozialen Nachhaltigkeit wurde der Fokus vor allem auf die Begründung der verwendeten Kriterien und Indikatoren sowie auf die Datengrundlagen gelegt. Im Gegensatz zu den ökologischen Indikatoren ergeben sich die Kriterien hier weniger aus systemischen Gegebenheiten, sondern hängen stark von gesellschaftlichen Diskursen ab. Analog zum ökonomischen Sektor kommen auch hier überwiegend Standardmethoden zur Anwendung, die keiner weiteren Erläuterung bedürfen.

#### Indikatoren, Methoden und Anwendung von ökologischen Faktoren

##### Treibhausgasemissionen

Innerhalb der Europäischen Union findet im Biokraftstoffsektor zur Bilanzierung der THG-Emissionen und -reduktion zum Beispiel die Berechnungsmethode aus Anhang V der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (EU RED) Anwendung. Diese Berechnungsmethode ist angelehnt an die in den ISO Richtlinien 14040 und 14044 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (idF. v. 2006)) standardisierte Ökobilanzmethode (LCA). Die Bilanzierung umfasst dabei den gesamten Lebensweg von der Herstellung der Biomasse bis zur Produktion der Bioenergieträger und deren Nutzung. Um dauerhaft vergleichbare und hinreichend robuste Ergebnisse zu erzeugen, ist der EU RED Ansatz gegenüber der wissenschaftlichen Ökobilanzierungsmethode auf Basis der ISO-Normen deutlich vereinfacht. Die Ergebnisse aus diesen Bilanzierungen sind Gegenstand regelmäßiger Berichterstattungen der europäischen Mitgliedstaaten im Rahmen Ihrer Berichtspflichten in Bezug auf die, in der EU RED, definierten Ziele. Eine Erweiterung dieses Berechnungsansatzes und der Berichterstattung weitere Bereiche der Biomassenutzung ist grundsätzlich möglich. Dabei kann der Ausstoß von Klimagasen produktbezogen, sektorbezogen, aber auch aus Sicht eines Landes betrachtet werden. Eine Erweiterung wäre notwendig, um zum einen

Effekte aus indirekten Landnutzungsänderungen im Rahmen der THG-Bilanz zu erfassen und zum anderen bei einer möglichen stärkeren Fokussierung auf den Rohstoff Holz auch zeitliche Effekte in die Bilanzierung zu integrieren. So könnte perspektivisch auch der als „Carbon depth“ bezeichnete Aspekt in der Bilanzierung berücksichtigt werden. Carbon depth bezeichnet dabei den zeitlichen Aspekt bei Kohlenstofffreisetzung und -bindung. Im Hinblick auf die stoffliche Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Erzeugnisse wäre hier z. B. zu berücksichtigen, ob und für welchen Zeitraum diese Produkte selbst als Kohlenstoffsenke dienen und wie lange es dauert bis die gesamten Nettokohlenstoffverluste durch THG Einsparungen wieder aufgewogen werden können. (AGOSTINI u. a., 2013) (FARGIONE u. a., 2008).

### Bodenfunktion

Für die Messung und Bewertung der Bodenqualität sind der Stickstoffanteil, der extrahierbare Phosphor, der Humusanteil und die Trockenrohdichte die zentralsten Indikatoren. Die Bodenstruktur, die durch die Trockenrohdichte gemessen wird, hat dabei große Auswirkungen auf die Wasserspeicherkapazität des Bodens und damit auf die Verunreinigung von Gewässern durch die Auswaschung von Agrarchemikalien und Erosion. Aus den vier Indikatoren lassen sich die wichtigsten Kennwerte ableiten, um die Fruchtbarkeit von Böden zu bewerten (MCBRIDE u. a., 2011, S. 1279–1280). Im Hinblick auf Degradation ist auch die Belastung mit Schwermetallen zu messen. Ein Monitoring der Versalzung spielt in Deutschland eine untergeordnete Rolle, da sie meist als Folge künstlicher Bewässerung auftritt und diese eher selten eingesetzt wird. Auf europäischer Ebene ist das Thema Bodenversalzung jedoch von großer Relevanz hinsichtlich der Bewässerungswirtschaft in regenärmeren Regionen.

Landwirte in Deutschland sind z. T. bereits verpflichtet, Untersuchungen zur Bodenqualität durchzuführen. Dies trifft auf den Stickstoffanteil, extrahierbarer Phosphor, den Humusanteil und die Belastung mit Schwermetallen zu, nicht jedoch auf die Trockenrohdichte. Die nach Düngeverordnung vorgeschriebenen Bodenuntersuchungen erheben den Stickstoff und Phosphoranteil (DüV) und Untersuchungen zur Belastung mit Schwermetallen werden in der Klärschlammverordnung und der Bioabfallverordnung geregelt (AbfKlärV, BioAbfV). Die Cross-Compliance sieht außerdem wahlweise eine Humusbilanzierung oder eine Bodenhumusuntersuchung vor, die den Anteil an organischem Kohlenstoff feststellen soll (DirektZahlVerpflV). Eine Sammlung und statistische Auswertung der vorhandenen Daten ist notwendig, um ihre Aussagefähigkeit hinsichtlich eines Monitorings der Nachhaltigkeit im Bereich der Bioökonomie zu bewerten und sie nutzbar zu machen. Es ist außerdem zu empfehlen, dass in zukünftigen Revisionen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) im Sinne der Umsetzung einer guten fachlichen Praxis Bodenuntersuchungen, die die hier genannten Indikatoren abdecken, verpflichtend für alle Anbauflächen werden. Pro Produzent könnte dann eine Untersuchung vorgeschrieben sein, die die zeitliche Kohärenz der Daten sicherstellt. Dies sollte in der Praxis keine größere Belastung der Landwirte darstellen, da die meisten schon von mindestens einer der vorgenannten Regelungen betroffen sind.

### Wasserhaushalt/ Wasserqualität

Die primären Triebkräfte der Wasserverschmutzung von Oberflächen- als auch Grundgewässern durch landwirtschaftliche Aktivitäten sind der Einsatz von Stickstoff- und Phosphordünger, der Pestizideinsatz und die Bodenerosion. Erhebungen zur Wasserqualität erfolgen an den Ländermessstellen. Ergebnisse werden vom Umweltbundesamt und den Ministerien des Bundes, in Gewässergüteberichten der Bundesländer und Berichten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und der Flussgebiets-

kommissionen veröffentlicht. Zum Stickstoffüberschuss auf Agrarflächen werden von den Bundesländern bereits Daten erhoben. Zur Modellierung von Emissionen findet in Studien häufig das *Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem* (RAUMIS) des Thünen Instituts Anwendung. Es handelt sich hier um ein marktbasierendes Modell, weswegen es zum Monitoring der tatsächlichen Emissionen nur bedingt geeignet ist. Eine erweiterte Methode zur Phosphor und Stickstoffbilanzierung findet sich in (MEHL u. a., 2013). Die für das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg Vorpommern entwickelte Methode, bietet einen ganzheitlichen Ansatz der Faktoren wie die Kulturart, Stickstoffbindung durch Legumen, Nutzung von Kompost, Klärschlamm und Gärresten, anfallender Mist aus Tierhaltung, standortspezifische Daten wie Hangneigung, Ertragsdaten und atmosphärische Stickstoffdeposition einbezieht (MEHL u. a., 2013). Alle benötigten Informationen wurden dabei trotz der Komplexität des Modells aus bestehenden Datenquellen erhoben, jedoch liegt der Fokus der Arbeit auf der lokalen Ebene und bedient sich des Feldblocks als kleinste Analyseeinheit. Feldblöcke können die Flächen verschiedener Landwirte beinhalten, weswegen eine Zuweisung der Emissionen an einzelne Akteure, Produkte und damit an einen Sektor nicht direkt möglich ist. Methodisch steht jedoch einer Anwendung des Modells auf der Ebene einzelner Betriebe nichts im Wege, insofern Flächen, Anbau und Ertragsdaten einzelner Landwirte erhoben werden können. Die Ergebnisse lassen sich dann auf die Sektorebene und die nationale Ebene hochskalieren.

Mit Modellen, die die errechneten Stickstoff - und Phosphoremissionen den gemessenen Schadstoffeinträgen in oberirdischen und unterirdischen Gewässern zuweisen, beschäftigt sich im Besonderen das Forschungszentrum Jülich mit ihrem Wasserhaushaltsmodell GROWA, den Stickstofftransportmodellen DENUZ und WEKU und dem Flächen- und Pfaddifferenzierten Phosphormodell Me-Phos und das Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) mit MONERIS. Letzteres kommt auch zur Immissionsmodellierung von Pestiziden zum Einsatz genauso wie das Models for Assessing and Forecasting the Impact of Environmental Key Pollutants on Marine and Freshwater Ecosystems and Biodiversity (MODELKEY) an dem neben einer Vielzahl von europäischen Akteuren auch das Helmholtzzentrum für Umweltforschung beteiligt ist. Ein kausaler Zusammenhang zwischen der Erosion auf landwirtschaftlichen Flächen und dem Eintrag von Sediment in Gewässern lässt sich mit der proprietären Software EROSION 3D herstellen, die beim Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Anwendung findet.

Auf der Seite des Wasserverbrauchs sind besonders internationale Initiativen von Bedeutung. Das wohl ambitionierteste Projekt verfolgt das UNESCO Institute for Hydrological Education mit seinem Water Footprint Projekt. Es handelt sich hierbei um eine Bilanzierungsmethode, die den Nettowasserverbrauch von Rohstoffen und Endprodukten berechnet. Dabei fließen auch Kenngrößen wie die Evapotranspiration von Pflanzen und der indirekte Wasserverbrauch mit in die Berechnung ein. Die Methode wird in (HOEKSTRA u. a., 2011) erläutert. Die Studie (SONNENBERG u. a., 2009) zu in Deutschland erhältlichen Produkten wurde 2009 vom WWF veröffentlicht. Ein weiterer wichtiger Akteur ist UN WATER, die neben qualitativen Analysen auch Daten zur regionalen Wasserknappheit auf dem Globus veröffentlichten.

Einen differenzierteren Ansatz zur Wasserknappheit als UN WATER verfolgt das Center for Environmental Systems Research an der Universität Kassel, das im Verbund mit anderen Instituten wie dem Zentrum für Entwicklungsforschung der Universität Bonn am Global Water System Project beteiligt ist. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gesponserte Projekt stellt einen Wasseratlas mit Daten zu Knappheit und anderen Themen im Bereich Wasser zur Verfügung (GWSP).

Obwohl Wasserstress in Deutschland kaum eine Rolle spielt, ist die Aufnahme eines Indikators zum Monitoring nachhaltiger Bioökonomie in Erwägung zu ziehen. Zum einen im Sinne der internationalen Vergleichbarkeit der Indikatoren und um den Beitrag importierter Produkte zur Verknappung von Wasserressourcen in Partnerländern zu beobachten. Zum anderen im Hinblick auf klimatische Veränderungen in Deutschland und der Prävention einer zukünftigen Verknappung.

### Biodiversität

Im Kern wird die Biodiversität eines Ökosystems an der Anzahl verschiedener Spezies und im Falle der Anwendung eines Indizes häufig auch unter Einbeziehung der Konzentration dieser Spezies gemessen. In Deutschland findet im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung und der Länderinitiative Kernindikatoren der Indikator „Artenvielfalt, zur Landschaftsqualität“ Anwendung. Dieser nutzt die Entwicklung von 59 ökosystemtypischen Vogelarten um Aussagen über den Stand der biologischen Vielfalt in Deutschland zu tätigen. Bei den ausgewählten Vogelarten handelt es sich methodisch um sogenannte Indikatorspezies aus deren (Nicht-) Vorhandensein sich Aussagen über den Zustand des Ökosystems ableiten lassen. Eine direkte Anwendung des Indikators auf die Bioökonomie gestaltet sich als schwierig, da die Daten zu grobkörnig sind, um sie einzelnen landwirtschaftlichen Aktivitäten zuweisen zu können. Eine wichtige Initiative die sich mit der Aufstellung von Biodiversitätsindikatoren für die Landwirtschaft und dem Monitoring dieser auf Betriebsebene auseinandersetzt ist das EU Projekt „Indikatoren für Biodiversität in biologischen und extensiven Landwirtschaftssystemen“ (BioBio). Als tierische Indikatorspezies dienen den Autoren die Gruppen der Bienen, Hummeln, Spinnen und Erdwürmer (HERZOG u. a., 2012). Die Auswahl ist durchaus üblich, da die Populationen all dieser Arten zum einen besonders sensitiv auf Störungen im ökologischen System reagieren und zum anderen eine wichtige Rolle innerhalb des Ökosystems, besonders auch für die Landwirtschaft, einnehmen.

Auch die Diversität der verwendeten Nutzpflanzen, sowohl nach Arten als auch nach Genetik ist ein äußerst wichtiger Faktor. Die Zielstellung eines solchen Indikators wäre es Aussagen über die Risikoanfälligkeit einzelner Betriebe, Sektoren und des Gesamtsystems Landwirtschaft treffen zu können. Eine erhöhte Diversifizierung der Anbaukulturen, Mischfruchtanbau und Wechselfeldbau schützen vor Ernteaufällen durch Schädlingsbefall und Wetterextreme und vor extremen Gewinnverlusten durch Marktschwankungen. Die Wahl der Nutzpflanzen kann außerdem Auswirkungen auf die Biodiversität haben, insofern invasive Arten und gentechnisch veränderte Organismen Anwendung finden. Daten zum Anbau genetisch veränderter Organismen in Deutschland finden sich im GVO Standortregister des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit<sup>5</sup> (BVL). Informationen zu invasiven Arten in Deutschland liefert das Bundesamt für Naturschutz<sup>6</sup> (BfN).

(Billetter u. a., 2008) benennen als die zwei wichtigsten Triebkräfte der Artenvielfalt im Bereich der Landwirtschaft zum einen den Anteil semi-naturreller Habitats an der landwirtschaftlichen Fläche und zum anderen den Einsatz von Stickstoffdünger. Während mit dem steigenden Anteil von unbewirtschafteten Flächen, Baumreihen, Büschen und Biotopen die Vielfalt in den untersuchten Gebieten zunimmt, zeigt sich mit dem verstärkten Einsatz von Stickstoffdünger eine Abnahme der Artenzahl (BILLETTER u. a.,

---

<sup>5</sup> BVL: Standortregister. URL [http://apps2.bvl.bund.de/stareg\\_web/showflaechen.do](http://apps2.bvl.bund.de/stareg_web/showflaechen.do). - abgerufen am 2015-03-02

<sup>6</sup> BfN: Neobiota: Startseite. URL <http://www.neobiota.de/>. - abgerufen am 2015-03-02



2008, S. 145, 148). Im Rahmen der Cross-Compliance wird bereits der Erhalt von Landschaftselementen gefördert und es besteht eine Nachweispflicht für Landwirte die Direktzahlungen erhalten. Weiterhin könnte die Auswertung von Kartendaten und Satellitenbildern als Datenquelle für ein Monitoring dieses Indikators dienen.

Der Einsatz von Pestiziden hat eine direkte Auswirkung auf die Populationen der Flora und Fauna in landwirtschaftlichen Gebieten und zudem einen erheblichen Anteil an der Schadstoffbelastung von Gewässern. Um eine freiwillige Initiative handelt es sich bei dem Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendung (PAPA) das vom Julius Kühn Institut implementiert wird. Hier können Landwirte anonym an Erhebungen zu den verwendeten Chemikalien teilnehmen, die dann in unregelmäßigen Berichten zusammengefasst werden. Im Bereich der Emissionsmodellierung kommen zudem häufig markt-basierte Methoden zum Einsatz, um Aussagen über die verwendeten Mengen tätigen zu können.

### Luftqualität

Das Umweltbundesamt sammelt Daten zu den wichtigsten Emissionsquellen für THG-Emissionen und andere Luftschadstoffe in seiner Datenbank Zentrales System Emissionen. Teilweise werden diese in Deutschland im Rahmen des Projektes Luft 2030 / PAREST ausgewertet und veröffentlicht. Dabei kommen auch die Bilanzierungswerkzeuge GAS-EM des Thünen Instituts für den landwirtschaftlichen Sektor und TREMOD für den Verkehrssektor zum Einsatz (JÖRß u. a., 2014) Untersucht werden die Schadstoffe NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NMVOC, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> aufgeteilt auf fünf Sektoren von Emissionsquellen (JÖRß u. a., 2014).

Im Rahmen des Genfer Luftreinhalteabkommens und im Rahmen der Europäischen Richtlinie 2001/81/EC über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe und der Verordnung Nr. 691/2011 über europäische umweltökonomische Gesamtrechnungen findet außerdem auf europäischer Ebene eine Berichterstattung über Luftschadstoffemissionen statt, die wesentlich differenzierter erfolgt. Nach der Verordnung 691/2011 werden 14 Schadstoffe gegliedert auf 64 Wirtschaftssektoren erfasst (THOMAS, 2012). Abrufbar sind Daten hierzu bei der Europäischen Umweltagentur<sup>7</sup> (EEA) und unter EUROSTAT.

Eine weitere Berichterstattung von Emissionen findet im Rahmen der Verordnung (EG) 166/2006 über die Schaffung eines Europäischen Schadstoffreisetzungs- und -verbringungsregisters statt. Emissionsangaben müssen von den betroffenen Gewerben in eine Onlinedatenbank eingegeben werden und werden inklusive Firmenname und Standort in einem der Öffentlichkeit zugänglichen Schadstoffemissionsregister (PRTR) veröffentlicht. Das deutsche Schadstoffemissionsregister steht unter [thru.de](http://thru.de) zur Verfügung.

### Vermeidung von Flächenkonkurrenzen

Um den Druck auf die verfügbaren Flächen bedingt durch die Vielzahl an konkurrierenden Flächennutzern zu vermeiden, sollten direkte und indirekte Flächenneuinanspruchnahmen durch die

---

<sup>7</sup>EEA: Datasets – European Environment Agency (EEA). [http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data#c11=&c17=&c5=all&c0=5&b\\_start=0](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data#c11=&c17=&c5=all&c0=5&b_start=0). - abgerufen am 2015-03-02



biobasierte Wirtschaft vermieden werden (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2014). Maßnahmen wie die Nutzung von ungenutzten oder degradierten Flächen, Kaskaden- und Koppelnutzungen, der Einsatz von Rest- und Abfallstoffen oder eine Intensivierung der Landnutzung durch nachhaltige Ertragssteigerungen mindern den Nutzungsdruck. Über Flächen- und Landnutzungs-erhebungen, z. B. über die FAO Statistiken, die Auswertung von Satelliten- und Luftbildern können Landnutzungen sowie Landnutzungsänderungen überwacht werden. Die Daten der LULUCF Berichterstattung für die europäische Kommission könnten ebenfalls für ein Monitoring der Landnutzungsänderungen genutzt werden. Der Einsatz von Rest- und Abfallstoffen als Rohstoffe der Bioökonomie können Stoffstromanalysen und EE-Input-Output-Analysen entnommen werden. Nachhaltige Ertragssteigerungen sind über Züchtungserfolge, verbesserte Anbaumethoden und technischen Fortschritt möglich. Die Entwicklung der Erträge kann ebenfalls der FAO Statistik entnommen werden. Im Zuge der Bemühungen nur jene Biokraftstoffe zu nutzen, die keine oder nur mit geringen direkten und indirekten Landnutzungsänderungen verbunden sind („Low Indirect Impact Biofuel“), wurde vom WWF, Ecofys und EPFL die LIIB-Methode entwickelt, die auch in bestehende Zertifizierungssysteme integriert werden kann. Diese Methode beinhaltet u. a. auch den Nachweis auf Betriebsebene, dass über integrierte Bewirtschaftungsmethoden (Zuckerrohr-Rind) und der Nutzung von stillgelegten Flächen in der Fruchtfolge Erträge nachhaltig gesteigert wurden (VAN DE STAALJ u. a., 2012).

### **Indikatoren, Methoden und Anwendung von ökonomischen Faktoren**

Aufgrund der parallel zu diesem Sachstandsbericht laufenden Aktivitäten in Bezug auf ökonomische Kriterien eines Bioökonomie-Monitorings werden die in der Tabelle 2 aufgeführten Indikatoren und Methoden weniger umfassend diskutiert als in den Bereichen Ökologie und Soziales. Vielmehr soll eine allgemeine Einschätzung gegeben werden.

Für die Erhebung von ökonomischen Nachhaltigkeitsindikatoren steht eine Reihe von Methoden zur Verfügung. Die Bezugsrahmen der Indikatoren sind im Wesentlichen prozess- und volkswirtschaftlich orientiert. Aus volkswirtschaftlicher Sicht lassen sich diese Indikatoren bereits zum Teil mit etablierten Methoden ermitteln. Für die Volkswirtschaftliche Betrachtung werden bereits durch das Statistische Bundesamt im Rahmen der volkswirtschaftlichen bzw. umweltökonomischen Gesamtrechnung verschiedene Indikatoren erhoben. Dabei kommen Input-Output-Tabellen bzw. Environmentally-Extended-Input-Output-Tabellen zur Anwendung. Für ein Bioökonomie-Monitoring bedarf es unter Umständen einer Weiterentwicklung dieser Tabellen und Werkzeuge. Zudem eignen sich weitere statistische Methoden die, zum Teil unter Mitwirkung, durch das Statistische Bundesamt angewandt werden (Statistische Erhebungen, Mikrozensus, Beschäftigungsstatistik). Für eine detailliertere Betrachtung und die Ermittlung prozessorientierter Indikatoren eignen sich insbesondere Stoffstromanalysen, Exergieanalysen und technische Analysen.

### **Indikatoren, Methoden und Anwendung von sozialen Faktoren**

Für ein Monitoring der sozialen Auswirkungen der Bioökonomie stehen die Leitziele Ernährungssicherheit, nachhaltiger Konsum, enges Zusammenwirken beteiligter Akteure, Arbeitnehmerrechte, Aus- und Fortbildung, soziale Gerechtigkeit und Entwicklung des ländlichen Raumes im Vordergrund.

### Ernährungssicherheit

Die zwei Hauptmedien, in denen sich die Auswirkung der stofflichen und energetischen Nutzung landwirtschaftlicher Erzeugnisse auf die Ernährungssicherheit am deutlichsten zeigt, sind Markt und Fläche. Die erhöhte Nutzung der Agrarerzeugnisse außerhalb des Lebensmittelmarktes vermindert deren Verfügbarkeit für diesen und führt zur Erhöhung der Preise. Dies kann sich negativ auf die Ernährungssituation von Konsumenten auswirken, kann aber auch positive Effekte dahingehend haben, dass die eher extensiv arbeitenden Produzenten aus ärmeren Ländern am Weltmarkt wettbewerbsfähiger werden und sich dadurch deren Nahrungssituation durch erhöhte Einkommen verbessert (vgl. FAO, 2008). Auch die Konkurrenz um Ressourcen stellt ein Problem dar. Zum Beispiel wenn durch höhere Nachfrage die Pachtpreise für Ackerflächen steigen und damit für die Nahrungserzeugung zu teuer werden. Innerhalb der räumlichen Dimension zeigen sich dies als Verdrängungseffekte, dort wo die Erzeugnisse landwirtschaftlicher Flächen nicht mehr als Nahrungsmittel sondern anderweitig genutzt werden. Diese Effekte sind besonders auch auf globaler Ebene spürbar. Zur Verminderung negativer Auswirkung sind neben der eigentlichen Ernährungssituation deswegen Flächeneffekte und die Veränderung von Nahrungsmittelpreisen zu beobachten. Mit dem Monitoring der globalen Ernährungssituation setzt sich die Food and Agriculture Organization (FAO) auseinander. Von den vier Dimensionen der Nahrungssicherheit: Verfügbarkeit, Zugang, Stabilität und Nutzung (FAO u. a., 2014) wirkt sich die stoffliche und energetische Nutzung dabei primär auf die Verfügbarkeit und die Stabilität aus.

### Nachhaltiger Konsum

Studien zum Konsumentenverhalten im Hinblick auf nachhaltige Produkte werden in Deutschland regelmäßig vom Umweltbundesamt veröffentlicht. Siehe dazu (STEINEMANN u. a., 2015) und (RÜCKERT-JOHN u. a., 2012). Eine internationale Studie liegt mit (HAYWARD u. a., 2014) vor.

### Zusammenwirken beteiligter Akteure

Für den Erfolg einer Nachhaltigkeitsstrategie ist besonders auch das Zusammenwirken aller Akteure von Bedeutung. Das betrifft zum einen die Einbindung von Bürgern und Interessengruppen in Entscheidungsprozesse und zum anderen die Kooperation verschiedener Akteure. Kooperation kann zur Generierung und dem Transfer von Wissen dienen, Kosten senken und Wettbewerbsfähigkeit herstellen. Sie kann Konflikte vermeiden und Interessen aufeinander abstimmen. In einem Monitoring wäre dies in qualitativer Weise zu beschreiben, um positive Praxisbeispiele zu identifizieren. Ein besonderes Augenmerk sollte dabei auf dem Grad der Transparenz und der Möglichkeit staatliche und nichtstaatliche Akteure zu Rechenschaft zu ziehen liegen. Die Beteiligung von Bürgern kann nur sichergestellt werden, wenn diesen die notwendigen Informationen zur Verfügung stehen.

### Arbeitnehmerrechte

Zur Bewertung der sozialen Performance im Hinblick auf die Arbeitnehmer, ist neben dem Einkommen auch die Art und Umsetzung der Beschäftigungsverhältnisse von großer Wichtigkeit. Indikatoren sollten hierbei dazu in der Lage sein, prekäre beziehungsweise atypische Beschäftigung von dauerhafter und existenzsichernder Beschäftigung abzugrenzen. Hierbei spielt auch die Quote der Schwarzarbeit eine

Rolle, da der informelle Arbeitnehmer auf soziale Dienstleistungen und Sicherheiten des Staates verzichten muss. Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung führt jährlich mit seinem IAB<sup>8</sup> Betriebspanel repräsentative Befragungen zum Thema Beschäftigung durch. Zugang zu den Informationen kann auf der Plattform des Forschungsdatenzentrums der Bundesagentur für Arbeit (IAB) erlangt werden. Ein Datensatz enthält dabei unter anderem Angaben zu Beschäftigungszahlen, Löhnen und Gehältern, Anzahl der Auszubildenden, Anzahl weiblicher Mitarbeiter, Zahl befristeter Angestellter, Finanzierung von Weiterbildungen und dem Vorhandensein einer Arbeitnehmervertretung im Betrieb.<sup>9</sup> Zahlen zu Arbeitnehmern, die auf staatliche Hilfen angewiesen sind und zu Ausbildungsplätzen finden sich auf dem Statistikportal der Bundesagentur für Arbeit und ein Indikator zur atypischen Beschäftigung wird vom Statistischen Bundesamt eingesetzt (BOOCKMANN u. a., 2010) diskutiert ausführlich Methoden, Studien und Datenquellen zum Ausmaß von Schwarzarbeit. Zur Einschätzung des Ausmaßes können hier sowohl Daten aus Befragungen Verwendung finden, als auch aus den Datenbanken zuständiger Behörden, wie der ProFis Datenbank der Finanzkontrolle Schwarzarbeit oder den Steuerprüfungsdaten des Finanzamtes (BOOCKMANN u. a., 2010). Von Vorteil für ein Monitoring ist, dass Studien den Anteil der Schattenwirtschaft bereits häufig sektoral analysieren (BOOCKMANN u. a., 2010). Problematisch ist, dass sich die Errechnung der Dunkelziffer in der Modellbildung grundsätzlich als schwierig darstellt. Das führt unter anderem auch dazu, dass die Ergebnisse unterschiedlicher Erhebungen stark voneinander abweichen (BOOCKMANN u. a., 2010).

Eine zentrale Größe innerhalb der Arbeitnehmerrechte ist zudem die Arbeitssicherheit. Die gesetzlichen Unfallversicherungsträger erfassen alle meldepflichtigen Arbeitsunfällen und Berufserkrankungen. Berichte werden von diesen selbst, von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und dem Bundesministerium für Arbeit und Soziales veröffentlicht.

### Soziale Gerechtigkeit

Einkommensgleichheit, Gleichberechtigung von Männern und Frauen, Behinderten und Nicht-behinderten und Migranten und Alteingesessenen sollen hier als wichtigste Kriterien der sozialen Gerechtigkeit dienen. Die Liste an Indikatoren könnte hier gegebenenfalls noch erweitert werden um auch andere Dimension von Ungleichheit wie Unterschiede in der Qualität der Arbeit, Aufteilung von Verantwortung, etc. abzubilden. Werte zur allgemeinen Einkommensgleichheit im Sektor und zur Einkommenslücke zwischen Frauen und Männern lassen sich aus Beschäftigungsstatistiken berechnen. Als Datenbasis können auch hier die Statistiken der Bundesagentur für Arbeit dienen, die auch Angaben zu schwerbehinderten Arbeitnehmern und zur nationalen Herkunft ausländischer Arbeitnehmer erfassen. Nach eigenen Angaben ist die Arbeitsagentur bemüht die separate Erfassung innerhalb ihrer Statistiken auf Mitbürger die einen Migrationshintergrund besitzen auszuweiten<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> Das Forschungsdatenzentrum der BA im IAB - Datenzugang.  
[http://fdz.iab.de/de/FDZ\\_Establishment\\_Data/IAB\\_Establishment\\_Panel/IAB\\_Establishment\\_Panel\\_Data\\_Access.aspx](http://fdz.iab.de/de/FDZ_Establishment_Data/IAB_Establishment_Panel/IAB_Establishment_Panel_Data_Access.aspx).  
abgerufen am 2015-03-02

<sup>9</sup> Eine Excel Tabelle mit dem vollständigen Variablensatz steht unter  
[http://doku.iab.de/fdz/iabb/Erg%C3%A4nzung\\_Paneldatensatz.xlsx](http://doku.iab.de/fdz/iabb/Erg%C3%A4nzung_Paneldatensatz.xlsx) [letzter Zugriff 22.02.15] bereit.

<sup>10</sup> Bundesagentur für Arbeit (BfA) Arbeitsmarkt - statistik. [https://statistik.arbeitsagentur.de/nn\\_280842/Statischer-Content/Grundlagen/Methodische-Hinweise/AST-MethHinweise/Migrationshintergrund.html](https://statistik.arbeitsagentur.de/nn_280842/Statischer-Content/Grundlagen/Methodische-Hinweise/AST-MethHinweise/Migrationshintergrund.html). - abgerufen am 2015-03-02

Im internationalen Bereich gestaltet sich die Bewertung der sozialen Folgen und der Auswirkungen auf Gleichheit und Ungleichheit als wesentlich schwieriger. Es existiert zwar eine Vielzahl an Indikatoren zum Monitoring der sozialen Situation in Drittstaaten und besonders Frameworks, wie die *Human Development Reports*, die im Rahmen der Armutsbekämpfung und des nachhaltigen Wachstums Daten erheben, haben auch Indikatoren zur Messung der Ungleichheit implementiert, jedoch sind diese Berichte grundsätzlich auf eine Bewertung nationaler Ökonomien und Gesellschaften ausgerichtet. Die vorhandenen Daten sind dadurch zu grobkörnig, um sie zur Entwicklung eines Sektors oder gar einzelner Wertschöpfungsketten in Beziehung zu setzen. Deswegen wird sich eine Beobachtung von Auswirkungen und Wirkungszusammenhängen hier besonders auch auf qualitative Einzelfalluntersuchungen stützen müssen.

### Entwicklung des ländlichen Raumes

Der Bioökonomiesektor kann potentiell einen Beitrag zu den Entwicklungszielen des ländlichen Raumes hinsichtlich der ökonomischen Entwicklung, Beschäftigung und Existenzsicherung, Diversifizierung der Ökonomie, lokaler Wertschöpfung und indirekt – über Steuereinnahmen – auch zur Infrastruktur und Dorf-/Stadtentwicklung leisten. Die Indikatoren Anteil lokaler Arbeitnehmer, Anteil der Wertschöpfung die im ländlichen Raum erfolgt und Einnahmen ländlicher Kommunen sollen innerhalb einer sektoralen Betrachtung dazu dienen, den Beitrag des Sektors zur ländlichen Ökonomie zu bestimmen. Mit Hilfe des Indikators Private Investitionen des Sektors im ländlichen Raum lassen sich Aussagen über die Zukunftsfähigkeit der Aktivitäten treffen. Auf die Krisenresistenz bezogen wäre außerdem zu beobachten, inwiefern ein Beitrag zur Diversifizierung der Wirtschaftsstrukturen geleistet wird. Eine qualitative Analyse zu Auswirkungen auf die demografische Entwicklung kann aufzeigen, ob sich Änderungen in den Abwanderungsraten junger Leute zeigen.

Die Bewertung der Effekte ökonomischen Handelns auf Einkommen und Beschäftigung erfolgt am besten als Bilanzierung der positiven und negativen Auswirkungen. Während durch neue Aktivitäten innerhalb der Bioökonomie Arbeitsplätze und Einkommen geschaffen werden, können diese an anderer Stelle zerstört werden. Das Kriterium Auskommen im ländlichen Raum soll sich dieser Problematik annehmen. Der Begriff wurde gewählt, weil er im Gegensatz zu Einkommen die existenzsichernde Seite von abhängiger und unabhängiger Beschäftigung betont und er eine Anzahl betroffener Individuen identifiziert. Zu beachten wären dabei direkte und indirekte Markt-, Flächen- und Beschäftigungseffekte.

### **Tabellarische Darstellung der skizzierten Inhalte**

In der folgenden Tabelle 2 wird dargestellt, inwieweit die in Tabelle 1 aufgeführten Methoden (letzte Spalte der Tabelle 1) auf ein Monitoring der biobasierten Wirtschaft übertragbar sind oder nur mit Anpassung angewendet werden können. Daneben wird in der Tabelle 2 auch aufgezeigt, ob es im Rahmen der Anwendung der Methoden für ein Bioökonomie-Monitoring noch Handlungs- oder Forschungsbedarf besteht, welche Akteure auf dem Gebiet der Umsetzung der Methoden über Erfahrungen und Expertise verfügen und in welchen bestehenden Ansätzen diese Methoden bereits Anwendung finden. Die Methoden werden je für den Bereich der ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit aufgeführt und sind je alphabetisch sortiert.

Tabelle 2 Übertragbarkeit der Methoden und Anwendung in bestehenden Ansätzen

Methode	Übertragbar auf nationales Monitoring	Handlungs- und/oder Forschungsbedarf	Akteure (u. a.)	Methodenanwendung in bestehenden Ansätzen
Ökologische Nachhaltigkeit				
Artenzählung Indikatorspezies	ja	Unter Umständen Durchführung auf Feldebene notwendig. Ist jedoch von untergeordneter Bedeutung, wenn Daten zu Flächennutzung und Düngemittel- und Pestizideinsatz vorliegen.	Landesämter für Umwelt	LIKI, Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, (McBRIDE u. a., 2011), (GBEP, 2011), BioBio Projekt (HERZOG u. a., 2012), (BILLETTER u. a., 2008)
Bodenmonitoring	ja		Lfl	Bodendauerbeobachtung in Bayern (CAPRIEL & SEIFFERT, 2009)
Bodenuntersuchung	mit Anpassung	Bodenstruktur muss in Bodenuntersuchung einfließen, Daten müssen statistisch erfasst und Zeiträume harmonisiert werden		(Cross-Compliance), (GBEP, 2011), (McBRIDE u. a., 2011), (AbfklärV), (BioAbfV), (DüV)
Differenzierende allgemeine Bodenabtragsgleichung (dABAG)	ja	Statistische Erfassung		Agrarwissenschaftliche Standardmethode, u. a. VESTOLA-Projekt
Emissionsmessung und -bilanzierung Feinstaub	ja		Ökoinstitut, UBA	(GBEP, 2011), PAREST, (McBRIDE u. a., 2011), PRTR / thru.de
Emissionsmessung und -bilanzierung Luftschadstoffe	Ja		TI, Ökoinstitut, IZT, IER, ifeu, UBA	(GBEP, 2011), PAREST, (JÖRß u. a., 2014), PRTR / thru.de
Erhebung Wasserqualität	ja	Statistische Erfassung	Landesämter für Umwelt, UBA, LAWA, Flusskommissionen	Gewässergüteberichte der Bundesländer, Berichte des Bundes, des UBA, der Flusskommissionen und der LAWA
Erhebung zur Genetische Diversität eingesetzter Nutzpflanzen	nein	Repräsentative Erhebungen sollten ausreichen		BioBio Projekt (HERZOG u. a., 2012)

Methode	Übertragbar auf nationales Monitoring	Handlungs- und/oder Forschungsbedarf	Akteure (u. a.)	Methodenanwendung in bestehenden Ansätzen
Falkenmark Water Stress Index	ja		UN WATER	(FALKENMARK u. a., 1989)
Flächenerhebung	ja		DLR, FAO	FAO Statistik, Satelliten- und Luftbildauswertung z. B. GLOBCOVER 2009 (BONTEMPS u. a., 2010), (EER), (Cross-Compliance), BioBio Projekt (HERZOG u. a., 2012), (BILLETER u. a., 2008)
Humusbilanzierung	mit Anpassung	Ausweitung auf Bioökonomie, statistische Erfassung	Ti	(Cross-Compliance), Projekt: Bodenzustandserhebung Landwirtschaft des Ti
Immissionsmodellierung für aktive Inhaltsstoffe von PSM in Gewässer	ja	Statistische Erfassung	IGB, Ufz	(GBEP, 2011), (McBRIDE u. a., 2011), MODELKEY, MONERIS
Immissionsmodellierung für Phosphor- und Stickstoffeinträge in Gewässer	ja	Statistische Erfassung	Forschungszentrum Jülich, IGB	GROWA, DENUZ, WEKU, Me-Phos, MONERIS
Immissionsmodellierung für Sediment	mit Anpassung	Methode zu komplex, um großflächig angewendet zu werden, statistische Erfassung	GEOGNOSTICS, TU Freiberg	EROSION 3D (Proprietäre Software)
Landnutzungserhebung	ja		Ti, UBA	Berichtspflicht der LULUCF nach Beschluss 529/2013/EU, Artikel 10 (EUROPÄISCHES PARLAMENT & EUROPÄISCHER RAT (idF. v. 2013))
Nachweis und Erhebung über Quantität, Zeit und Art eingesetzter Pestizide	ja	Erhebung exakter und flächendeckender Daten	JKI	BioBio Projekt (HERZOG u. a., 2012)
Nachweis und Erhebung	ja	Erhebung exakter und flächendeckender Daten		BioBio Projekt (HERZOG u. a., 2012),

Methode	Übertragbar auf nationales Monitoring	Handlungs- und/oder Forschungsbedarf	Akteure (u. a.)	Methodenanwendung in bestehenden Ansätzen
verwendeter Arten und räumliche Verteilung				(BILLETER u. a., 2008), PAPA, neobiota.de, GVO Standortregister
Nachweis, Erhebung der eingesetzten Menge von Stickstoffdünger	ja	Erhebung exakter und flächendeckender Daten		(BILLETER u. a., 2008)
Phosphorbilanz	ja	Statistische Erfassung	Biota	(MEHL u. a., 2013)
Physikalisch-begründete Erosionsmodellierung	mit Anpassung	Methode zu komplex, um großflächig angewendet zu werden, statistische Erfassung	GEOGNOSTICS, TU Freiberg	EROSION 3D (Proprietäre Software)
Statistische Erfassung der Schadstoffemissionen aus der Verarbeitung	ja	Statistische Erfassung	UBA	(WHG), (BImSchG), (GBEP, 2011), PRTR / thru.de
Stickstoffbilanz	ja	Statistische Erfassung	Landesämter für Umwelt, TI, Biota	Liki, RAUMIS, (MEHL u. a., 2013)
Treibhausgas-Bilanzierung, Life Cycle Assessment			TI, DBFZ, IFEU	2009/28/EG bzw. Biokraft-NachV,(GBEP, 2010)
Wasserfußabdruck	ja		UNESCO IHE	(HOEKSTRA u. a., 2011), (GBEP, 2011)
Wasserhaushaltsmodellierung	ja		Forschungszentrum Jülich	GROWA
Withdrawals-to-availability ratio	ja		CESR	GWSP - Global Water System Project

Methode	Übertragbar auf nationales Monitoring	Handlungs- und/oder Forschungsbedarf	Akteure (u. a.)	Methodenanwendung in bestehenden Ansätzen
Ökonomische Nachhaltigkeit				
Annuitätenmethode	ja		DBFZ, Fraunhofer ISI, IZES	VDI-Richtlinie 6025
Beschäftigungsstatistik	ja		Bundesagentur für Arbeit; STBA	
EE-Input-Output-Analyse	Gegebenenfalls mit Anpassungen	Gegebenenfalls Erhöhung des sektoralen Detaillierungsgrades und Erweiterung von Umwelteffekten	STBA	Umweltökonomische Gesamtrechnung
Exergie-Analyse	ja		Dewulf et al. 2007	
Hybrid-LCA	mit Anpassungen	Zusammenführung von Input-Output-Tabellen und Stoffstromanalysen (LCA)	Suh 2009, Wood 2012	
Inlandsproduktberechnung	ja		STBA	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
Input-Output-Analyse	Gegebenenfalls mit Anpassungen	Gegebenenfalls Erhöhung des Detaillierungsgrades	STBA	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
Intra-/Intersektorale Stoffstromanalyse	mit Anpassungen	Es fehlt bisher eine universell anwendbare einheitliche Methode	Uni Hamburg, DBFZ, Nova-Institut, Wuppertal Institut, Ifeu	(MANTAU, 2010), (CARUS u. a., 2014)
LIIB Methode	mit Anpassung	Bisher nur Kontrolle auf Betriebsebene	WWF, Ecofys, EPFL	LIIB Zertifizierung (VAN DE STAALJ u. a., 2012)
Ökonomische Gleichgewichtsmodelle und deterministische Modelle	mit Anpassung	Es fehlt eine wissenschaftlich fundierte Beurteilung der indirekten Effekte, Ableitung eines ILUC-Faktors bisher nicht wissenschaftlich belegt	Technische Universität Berlin, TI	Geplant für Berichterstattung innerhalb der 2009/28/EG



Methode	Übertragbar auf nationales Monitoring	Handlungs- und/oder Forschungsbedarf	Akteure (u. a.)	Methodenanwendung in bestehenden Ansätzen
Statistische Erhebung der Erträge	ja		FAO	FAO Statistik
Statistische Erhebung, Flächenerhebung, Befragung, Mikrozensus, Abfallbilanz	ja		STBA	
Stoffstromanalyse (LCI)	ja		DBFZ, Nova-Institut, IFEU, FNR, Öko-Institut	DIN EN ISO 14040 (HEIJUNGS & SUH, 2002)
Soziale Nachhaltigkeit				
Empirische Untersuchung zu Beschäftigungsverhältnissen	ja		IAB	IAB Betriebspanel
Empirische Untersuchungen und Statistische Erhebung zu Konsumentenverhalten	ja		UBA, HHL	(HAYWARD u. a., 2014), (RÜCKERT-JOHN u. a., 2012), (STEINEMANN u. a., 2015)
Food security statistics	ja		FAOSTAT	
Statistische Erhebung zur Schwarzarbeit	ja		IAW	(BOOCKMANN u. a., 2010)
Statistische und qualitative Erhebung zu Unfällen und Erkrankungen	ja	Aggregation der Daten nach Sektor und Produkt	Gesetzliche Unfallversicherungsträger	(BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (BMAS) & BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN (BAUA), 2014)
Verbraucherpreisstatistiken	ja		STBA, EUROSTAT, FAOSTAT	

## 6.2.2 Anwendung der Methoden in etablierten Anwendungsfeldern (Anwendungsbeispiele)

Wie bereits in den Kapiteln 6.1.2 und 6.2.1 ausgeführt finden einige der Indikatoren und Methoden aus Tabelle 1 bereits Anwendung. Einige etablierte Anwendungsfelder werden nun im Folgenden ausführlicher beschrieben.

### Zertifizierungssysteme

Einige der in den vorherigen Kapiteln genannten Indikatoren kommen in Zertifizierungssystemen in der Land- und Forstwirtschaft schon seit längerem zur Anwendung. Im Bereich der Biomassebereitstellung zur energetischen Nutzung liegt der Schwerpunkt häufig auf ökologischen Indikatoren, was unter anderem, auf die Nachhaltigkeitsanforderungen der Erneuerbare Energien Richtlinie 2009/28/EG (EU-RED), zurückzuführen ist. Dort werden sie zur Sicherstellung und Überprüfung der Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien der EU-RED eingesetzt und sind ein integraler Bestandteil der Nachhaltigkeitsgesetzgebung. Im Zuge der verstärkten Nachhaltigkeitsdebatte werden vermehrt ökonomische und auch soziale Kriterien integriert. In der Bioenergiezertifizierung sind die abgedeckten Themengebiete zumeist: Treibhausgasemissionen, schützenswerte Flächen, Einhaltung von „guter landwirtschaftlicher Praxis“ sowie die Einhaltung von Menschen-, Arbeits- und Landrechten. Aus den Erfahrungen, die mit Zertifizierungssystemen im Bioenergiekontext in den letzten Jahren gesammelt wurden, können wertvolle Anhaltspunkte für die Gestaltung eines Bioökonomie-Monitorings gewonnen werden.

Prinzipiell sind die Nachhaltigkeitskriterien der Bioenergieerzeugung übertragbar und können auch bei primär stofflicher Nutzung angewandt werden, da viele Rohstoffe die für die Erzeugung von Bioenergie wie beispielsweise Pflanzliche Öle, auch stofflich verwendet werden können. Dies trifft besonders auf die Phase der Rohstoffbereitstellung zu. Die übrige Produktionskette von biobasierten Produkten unterscheidet sich jedoch grundlegend von denen der Bioenergie und weisen häufig eine hohe Komplexität und Vernetzung auf, speziell in der Produktions- und Entsorgungsphase. Daraus ergeben sich Schwierigkeiten für Standardisierungsprozesse wie Sie für Zertifizierungssysteme nötig sind. Ein Beispiel ist die Bewertung der THG Emissionen mit einer Lebenszyklusanalyse. Hier stellt sich die Frage nach der Wahl eines geeigneten Referenzsystems, welches bei biobasierten Produktionsketten aufgrund des komplexen Aufbaus schwierig zu identifizieren und abzugrenzen ist. Eine detailliertere Analyse der Probleme liefert (CARUS u. a., 2014).

Es wurden in den letzten Jahren verschiedene Aktivitäten initiiert um bestehende Zertifizierungssysteme auf die stoffliche Nutzung von Biomasse auszuweiten. So wurde die „Initiative Nachhaltige Rohstoffbereitstellung für die Stoffliche Biomassenutzung“ (INRO) auf Initiative des BMELV gegründet. Sie hat zum Ziel, eine freiwillige Zertifizierung von Nachhaltigkeit Standards der Rohstoffproduktion bis zur Erstverarbeitung der Industrie zu erreichen. Es soll jedoch kein eigenes Zertifizierungssystem aufgebaut werden um Mehrfachzertifizierung und einen stark vergrößerten Aufwand zu vermeiden. Dazu wurde ein Kriterienkatalog vereinbart, der mit bestehenden Zertifizierungssystemen abgeglichen wird (INRO, 2013). Dieser Prozess ist aktuell noch nicht vollständig abgeschlossen. Zurzeit werden folgende Zertifizierungssysteme von INRO empfohlen (INRO, 2014): ISCC & ISCC+ (Biomasse und Produkte), Roundtable on sustainable Biomaterials (RSB, Biomasse und Produkte), Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO, Palmöl), REDcert (Biomasse Europa), Rainforest Alliance (im speziellen: „Sustainable Agricultural Network, Biomasse), Bonsucro (Zuckerrohr).

Das 2012 eingeführte ISCC+ stellt bereits eine Erweiterung des bestehenden ISCC-Systems um Nachhaltigkeitskriterien für die Nahrungsmittel- und Futterindustrie sowie eine stoffliche Biomasse-nutzung dar. Auch andere Zertifizierungssysteme wie der RSB<sup>11</sup> (ehemals Roundtable on Sustainable Bioenergy) haben ihren Focus bereits auf die stoffliche Nutzung von Biomasse erweitert und Kriterien zu sozialer und ökonomischer Nachhaltigkeit aufgenommen. Eine tiefergehende Analyse der Zertifizierungssysteme und deren mögliche Übertragbarkeit finden sich in (CARUS u. a., 2014).

Wichtig für die Anwendung eines Indikators in einem Zertifizierungssystem ist neben der wissenschaftlichen Qualität dessen einfache Operationalisierbarkeit um den Aufwand für die Akteure auf ein praktikables Maß zu beschränken. Das hat zu Folge, dass die Bandbreite von verfügbaren Indikatoren eingeschränkt wird. In der EU und in Deutschland werden bereits eine Vielzahl von Daten außerhalb von Zertifizierungssystemen erhoben, aus denen sich wichtige Indikatoren (vgl. Tabelle 1) ableiten lassen, die sich besser für ein nationales Bioökonomie-Monitoring eignen. Für das Nachhaltigkeitsmonitoring der Bundesregierung wird beispielsweise auch schon eine Vielzahl von Indikatoren erfasst, von denen einige eine wichtige Rolle für ein Bioökonomie-Monitoring spielen. Es ist allerdings zu erkennen, dass noch Fehlstellen, etwa hinsichtlich der Bewertung von Flächennutzung, bestehen. Da diese Daten-Verfügbarkeit jedoch in vielen Ländern nicht gegeben ist oder diese nicht zugänglich sind, kann sich Zertifizierung besonders für in die europäische Union importierte Biomassen als Steuerungsinstrument und zum Monitoring eignen.

### **GBEP Global Bioenergy Partnership**

Die GBEP ist eine internationale Multi-Stakeholder Initiative im Bereich der Bioenergie, an der sich eine Vielzahl von Ländern und internationalen Organisationen beteiligt. Sie wurde 2006 ins Leben gerufen, mit dem Ziel die internationale Kooperation im Bereich der nachhaltigen Biomasse zu fördern und einen Konsens in Bezug auf wichtige Nachhaltigkeitsindikatoren zu erarbeiten. Neben der Förderung des Dialoges stellt sie auch Werkzeuge für politische Entscheidungsträger zur Verfügung, insbesondere im Hinblick auf eine nachhaltige Bioenergiebereitstellung und -nutzung. (GBEP, 2011) In diesem Rahmen wurde im Jahr 2011 unter dem Titel *The Globale Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for Bioenergy* ein vielbeachtetes Framework veröffentlicht, das dem Monitoring des Bioenergiesektors im Hinblick auf dessen Nachhaltigkeit dienen soll.

Der Aufbau orientiert sich, wie die Struktur der meisten Zertifizierungsstandards, an den drei Säulen: Ökologie, Wirtschaft und Soziales innerhalb derer dann Kriterien und Indikatoren aufgestellt werden. Die Kriterien in den drei Bereichen sind dabei gleichmäßiger verteilt, als dies in einem Großteil der Standards der Fall ist, in denen die ökonomische Säule meist unterrepräsentiert ist. Dies kann auf unterschiedliche Zielstellungen zurückgeführt werden. Die primäre Aufgabe der Zertifizierer ist es sicherzustellen, dass die zertifizierten Unternehmen ein Mindestmaß an Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllen. Diese Anforderungen ergeben sich zuallererst aus ökologischen und sozialen Missständen.

Das GBEP Framework hat als Monitoringtool eine andere Ausgangslage. Es ist für die Bewertung des Sektors auf der nationalen Ebene vorgesehen und die erhobenen Daten sollen als Grundlage für

---

<sup>11</sup> RSB: What is the RSB? | RSB Roundtable on Sustainable Biomaterials. <http://rsb.org/about/what-is-rsb/>. - abgerufen am 2015-02-13. – Roundtable on Sustainable Biomaterials

politische Entscheidungsprozesse nutzbar sein. Dabei können ökonomische Fragen nicht vernachlässigt werden. Ein weiterer wichtiger Unterschied zu den Zertifizierungsstandards ist, dass die GBEP Indikatoren nicht normativ sind. Es werden damit in den Indikatoren weder zu erreichende Schwellenwerte oder Zielvorgaben definiert noch sind sie in irgendeiner Form bindend für die Mitgliedsstaaten (GBEP, 2011).

Die Beschreibung der Indikatoren im Framework erfolgt sehr detailliert, mit Angabe einer Messeinheit und der methodischen Grundlagen, einer ausführlichen Begründung ihrer Relevanz, einer Beschreibung der wissenschaftlichen Basis und einer Einschätzung ihrer Umsetzbarkeit (GBEP, 2011). Auch auf die Wechselwirkungen mit anderen Indikatoren und Themenfeldern wird eingegangen.

### **Volkswirtschaftliche und umweltökonomische Gesamtrechnung**

Im Rahmen des Europäischen Statistischen Systems (ESS) werden Prioritäten für die Weiterentwicklung der Statistik in der EU gesetzt. Dabei wird empfohlen, dass Indikatoren für Nachhaltigkeit und Umwelt möglichst auf Grundlage von Gesamtrechnungen entwickelt werden sollen. Die Entwicklung eines Bioökonomie-Monitorings könnte diese grundsätzlichen Bemühungen unterstützen, indem Analyseinstrumente für die wissenschaftliche Politikberatung weiter entwickelt und Nachhaltigkeitsindikatoren in ein Gesamtrechnungssystem eingebettet werden.

Die Zusammenführung und Weiterentwicklung von verschiedenen Methoden und Indikatoren ist prinzipiell möglich und Stand von abgeschlossenen (z. B. EXIOPOL<sup>12</sup>, CREEA<sup>13</sup>) und laufenden europäischen Forschungsprojekten (z. B. DESIRE<sup>14</sup>).

Die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen<sup>15</sup> (VGR) des Statistischen Bundesamtes bestehen aus der Inlandsproduktberechnung, der Input-Output-Rechnung, der Vermögens-, der Erwerbstätigen-, der Arbeitsvolumen- und der Finanzierungsrechnung. Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) ist international eine zentrale Größe zur Messung der wirtschaftlichen Leistung einer Volkswirtschaft. Mit Hilfe der Input-Output-Rechnung werden Güterströme und Produktionsverflechtung innerhalb einer Volkswirtschaft sowie zwischen der inländischen Wirtschaft und der übrigen Welt dargestellt. Das geschieht in Form von Aufkommenstabellen, Verwendungstabellen und Input-Output-Tabellen. Höhe, Zusammensetzung und Veränderung von Vermögensbeständen ist Inhalt der Vermögensrechnung.

Die Umweltökonomische Gesamtrechnung<sup>16</sup> (UGR) versucht die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft und Natur abzubilden. Wesentliche Umweltprobleme entstehen dadurch, dass große Mengen von Energieträgern, mineralischen Rohstoffen sowie sonstigen Materialien aus der Umwelt entnommen werden, dann in Produktionsprozessen und durch den Konsum der privaten Haushalte verändert oder verbraucht werden und schließlich wieder als Emissionen in die Umwelt abgegeben werden. In den

---

<sup>12</sup> <http://www.feem-project.net/exiopol/index.php>

<sup>13</sup> <http://www.creea.eu/>

<sup>14</sup> <http://fp7desire.eu/>

<sup>15</sup> <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen.html>

<sup>16</sup>

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen.html>

traditionellen VGR finden diese Materialströme nur zum Teil (soweit sie mit monetären Strömen verbunden sind) ihren Niederschlag. Für die vollständige Darstellung müssen aber auch solche Ströme erfasst und als Teil der Wirtschaft dargestellt werden, die nicht in monetären, wohl aber in physischen Einheiten gemessen werden können.

## Fazit Kapitel 6

### Vorhandene Grundlagen

Ein Großteil der in Tabelle 1 aufgeführten Indikatoren entstammt dem wissenschaftlichen Nachhaltigkeitsdiskurs und findet bereits Anwendung in übergeordneten regelmäßigen Berichterstattungen (z. B. nationale Umweltindicatorsysteme; Berichterstattungspflicht innerhalb der EU RED) bzw. ist Bestandteil von Nachhaltigkeitsbewertungsansätzen (GBEP-Indikatoren, Zertifizierungssysteme) für Produktsysteme zur stofflichen und energetischen Biomassenutzung. Die Berücksichtigung der dargestellten Indikatoren in den verschiedenen Berichterstattungen und Bewertungsansätzen ist dabei zum Teil jedoch nicht konsistent hinsichtlich Vollständigkeit, Regelmäßigkeit und der Betrachtungstiefe.

Die methodischen Grundlagen (wissenschaftliche Methoden, statistische oder empirische Erhebungen) zur Messung und Erhebung der diskutierten Nachhaltigkeitskriterien sind vorhanden, unterscheiden sich allerdings zum Teil deutlich in Bezug auf ihre Komplexität, Praktikabilität und den Stand der Standardisierung bzw. Übertragbarkeit auf andere und neue Anwendungsfelder.

Die Datengrundlage für die Erhebung der diskutierten Nachhaltigkeitsindikatoren im Rahmen eines Monitorings der Bioökonomie ist für biobasierte Produkte auf Basis heimischer oder europäischer Rohstoffe größtenteils gegeben. Lücken bestehen noch bei der Datenerfassung zur stofflichen Nutzung von Biomasse. Für Rohstoffe aus Drittstaaten ist der Datenzugang zum Teil schwierig bzw. frei zugängliche Daten sind teilweise hoch aggregiert. Ein möglicher Ansatz für die Integration dieser Rohstoffströme in ein Monitoringsystem ist perspektivisch die Erweiterung von entsprechenden Zertifizierungsansätzen mit Massenbilanzsystemen.

### Handlungsbedarf

Angesichts der großen Vielfalt an Indikatoren und Methoden besteht die Notwendigkeit die für die Überwachung einer nachhaltigen Entwicklung der Bioökonomie entscheidenden und praktikablen Indikatoren zu identifizieren. Ein Weg dahin wird in Kapitel 8 beschrieben. Sind die Indikatoren identifiziert, besteht die Herausforderung darin, mit (harmonisierten) praktikablen Methoden die entsprechenden notwendigen verfügbaren Daten zu erheben und in einem Monitoringsystem zusammenzubringen. Für den Start eines Monitoringsystems der Bioökonomie werden in den Handlungsempfehlungen zu diesem Bericht (vgl. Kapitel 1.2) Startkriterien bzw. Indikatorbereiche vorgeschlagen (i. zunehmende Wertschöpfung bzw. Effizienz pro eingesetzter Ressource (Land oder Biomasse), ii. steigender Klimaschutzbeitrag pro produziertem Bioökonomieprodukt bzw. kumulierter nationaler Bioökonomieaktivität, iii. zunehmende Substitution von fossilen Ressourcen durch die stoffliche und energetische Biomassenutzung in einer biobasierten Wirtschaft, iv. für die Bioökonomie nutzbare Biomasse bzw. noch erschließbare Biomasse und zusätzlich Nutzung in zunehmend höherwertigen Nutzungskaskaden, v. zunehmender Anteil von biobasierten Produkten mit nachweislich nachhaltiger Rohstoffbasis.)

Da einige Indikatoren bereits in regelmäßigen Berichterstattungen erhoben werden, sollten Anknüpfungspunkte zu diesen und Möglichkeiten der Erweiterung bzw. Weiterentwicklung geprüft werden. Zertifizierungssysteme, die für ein Bioökonomie-Monitoring ebenfalls Informationen liefern können, sollten weiter harmonisiert werden. Für einige Methoden, vor allem für die, die komplexere Nachhaltigkeitsaspekte abbilden wie z. B. indirekte Landnutzungsänderungen, Kohlenstoffbilanzen sind (globale) Modellierungen bzw. eine Methodenweiterentwicklung und -harmonisierung notwendig. Hier besteht die Herausforderung für diese Modelle eine bessere Datenbasis zu schaffen.

## 7 Biomassepotenziale und Nutzung

Für eine biobasierte Wirtschaft und zur Abschätzung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Effekte, sind Kenntnisse zur Ressourcenbasis von fundamentaler Bedeutung. Entsprechende Monitoringmethoden existieren für die verschiedenen Rohstoffklassen auf unterschiedlichen Entwicklungsstadien und in variabler Auflösung. Das folgende Kapitel verdeutlicht relevante Betrachtungsebenen und listet in modularer Form „Methodenbausteine“ für ein zielgrößenabhängiges Monitoring.

### 7.1 Ebenen der Potenzialbetrachtung

Die Bestimmung und Definition von Biomassepotenzialen bedarf klarer, durch die jeweiligen Betrachtungsebenen determinierter Systemgrenzen. Potenziale können als Flächen-, Rohstoff-, Brennstoff- oder Bioenergiepotenziale ausgewiesen werden. Weiterhin hat sich die von (KALTSCHMITT u. a., 2009a) geprägte Unterscheidung theoretischer, technischer, wirtschaftlicher und erschließbarer Potenziale etabliert. Im Rahmen dieses Sachstandsberichtes werden jeweils modulartig Erhebungsmethoden theoretischer, technischer und wirtschaftlicher Biomassepotenziale betrachtet, um die steigende Komplexität entlang dieser Konkretisierung zu berücksichtigen. Analog werden Methoden zur Bestimmung der aktuellen Biomassenutzung dargestellt.

Die folgende Auflistung von Einflussparametern, Datengrundlagen („Methodenbausteinen“) und entsprechenden Akteuren fokussiert zunächst auf Erhebungsmethoden zur Bestimmung von Biomassepotenzialen auf nationaler Ebene. Da in diese nationalen Ansätze auch Informationen kleinräumigerer Betrachtungsebenen einfließen, handelt es sich um eine offene Auflistung, die je nach Detailgrad und Focus erweiterbar bleibt.

Das **theoretische Biomassepotenzial** beschreibt die in einer gegebenen Region innerhalb eines bestimmten Zeitraumes theoretisch nutzbare Menge an Biomasse. Das theoretische Biomassepotenzial markiert damit die Obergrenze des theoretisch realisierbaren Beitrags zur stofflichen und/oder energetischen Nutzung.

Der tatsächlich nutzbare Anteil dieser Obergrenze wird durch gegebene Restriktionen eingeschränkt und durch das **technische Biomassepotenzial** beschrieben. Die berücksichtigten Restriktionen können technischer Art sein (z. B. Bergungsraten), aber auch aus anderen „unüberwindbaren“ strukturellen, gesetzlich und gesellschaftlich verankerten Begrenzungen erwachsen (z. B. Vorrang der Nahrungsmittelproduktion, Schutzgebiete, Cross-Compliance-Reglungen). Das technische Biomassepotenzial beschreibt folglich die zeit- und ortsabhängige, primär aus technischer Sicht stofflich oder energetisch nutzbare Menge einer Biomasse.

Durch Berücksichtigung weiterer Restriktionen werden Potenzialbegriff und -definition an spezifische Fragestellungen angepasst (z. B. nachhaltiges oder erschließbares Biomassepotenzial). Bei einigen Abfällen und Reststoffen werden theoretisches und technisches Biomassepotenzial als deckungsgleich betrachtet, insbesondere dann, wenn das Potenzial direkt an den Produktionsprozess des Hauptproduktes gekoppelt ist.



Ebenfalls von der Fragestellung abhängig ist die Berücksichtigung von räumlichen und materiellen Nutzungsrestriktionen und Nutzungskonkurrenzen. In einem bioökonomischen Kontext stehen sich zunächst die stofflich-energetische Nutzung und die Produktion von Lebens- und Futtermitteln gegenüber. Durch eine voranschreitende Etablierung von Kaskaden- und Reststoffnutzung verändern sich Systemgrenzen, wodurch verstärkt an die spezifische Fragestellung angepasste Definitionen erforderlich werden.

Unter Berücksichtigung ökonomischer Rahmenbedingungen beschreibt das **wirtschaftliche Potenzial** den wirtschaftlich erschließbaren Anteil des technischen Potenzials. Durch kurzfristig variable wirtschaftliche Randbedingungen (wie Ölpreisänderung, Veränderung der steuerlichen Abschreibungsmöglichkeiten, Energie-, Öko-, oder CO<sub>2</sub>-Steuer) und insbesondere durch regionale Faktoren (wie Zahlungsbereitschaft, Logistik des Einzugsgebietes, etc.) unterliegt das wirtschaftliche Potenzial starken zeitlichen und räumlichen Schwankungen. Approximativ kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die aktuelle Nutzung das derzeitige wirtschaftliche Potenzial abbildet. Abbildung 5 illustriert die Addition von Restriktionen und Nutzungseinschränkungen über die Potenzialbegriffe nach (KALTSCHMITT u. a., 2009a).

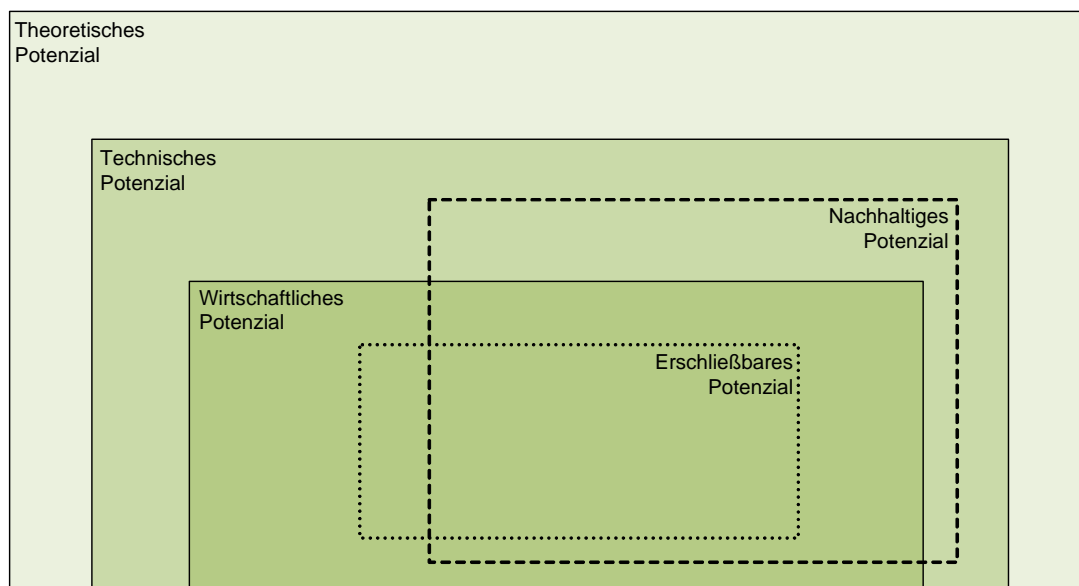


Abbildung 5 Unterschiedliche Ebenen des Biomassepotenzials

Je nach Forschungsziel finden unterschiedliche Kombinationen von Restriktionen und Rahmenbedingungen (bzw. der zugehörigen methodischen Schritte) Anwendung um die gewünschten Potenzial-ebenen, räumlichen Auflösungen und Detailgrade zu erreichen. Aus diesem Grund müssen klare Anforderungen an die Umfänglichkeit und Transparenz von Biomassepotenzialerhebungen gestellt werden und entsprechende Dokumentation erfolgen.

Für die energetische Biomassenutzung werden im „Methodenhandbuch“ des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ entsprechende Herangehensweisen unter Berücksichtigung von



Technologiekennwerten, Gestehungskosten und Klimagasenwirkungen dargestellt (DANIELA THRÄN u. a., 2010)<sup>17</sup>.

Eine wichtige Variable entlang der Potenzialkonkretisierung bilden die berücksichtigten Konversions- und Nutzungspfade. Je nach tatsächlicher oder zugewiesener Nutzung können sich sehr unterschiedliche technische Restriktionen und Effizienzen ergeben. Bei der Konzeption eines Biomassemonitorings ist folglich zu beachten, dass Potenziale ab einer gewissen Betrachtungsebene abhängig vom Gefüge der Nutzungsarten bzw. Konversionspfade sind.

Da durch eine Gegenüberstellung von Biomassepotenzial und **Biomassenutzung** zudem auf freie Potenziale geschlossen werden kann, ist ein möglichst hochauflösendes Monitoring der Biomassenutzung zielführend.

## 7.2 Methoden der Potenzialbetrachtung

Eine umfassende Analyse der aktuell für Deutschland verfügbaren Daten zu Biomassepotenzialen und -nutzung erfolgt in einem laufenden Projekt am DBFZ (unveröffentlichte Projektergebnisse BIOPOT; FKZ22020114). Insgesamt wurden Datensätze zu 114 Biomassen angelegt, auf Vollständigkeit geprüft und verglichen. Dadurch werden, abhängig von den Zielfragen, die Identifikation besonders vielversprechender Rohstoffe oder die Ableitung einer hohen Forschungsrelevanz ermöglicht.

In den folgenden Abschnitten 7.2.2 bis 7.2.4 werden zu den Biomassegruppen („Landwirtschaftliche Anbaubiomasse, Nebenprodukte und Reststoffe“, „Forst- und Holzwirtschaft“, „Kommunale Abfälle und Reststoffe“) zunächst jeweils Erhebungsmethoden für Biomassepotenziale auf nationaler Ebene beschrieben. Tabellarisch werden die einzelnen „Methodenbausteine“ (Datenquellen, Datensätze, Akteure, Anwender) zur Bestimmung theoretischer Potenziale und zur Berücksichtigung unterschiedlicher technischer Restriktionen aufgelistet. Die starke räumliche und zeitliche Diversität wirtschaftlicher Potenziale macht eine gesonderte Darstellung relevanter Parameter und Erhebungsmethoden erforderlich (siehe 7.2.5).

Die Berechnungsgrundlagen und Methoden zur Erfassung der stofflichen und energetischen Biomassenutzung werden im Abschnitt 7.3 dargestellt. Die Erfassungs- und Erhebungsmethoden der geschilderten „Potenzialstufen“ werden nach Einflussparametern und Datengrundlagen in Methodenmodule gegliedert (siehe Tabelle 3 bis Tabelle 5, Lesebeispiel und Abbildung 6 in 7.2.1). Durch den modularen Aufbau ist es möglich, die Einzelmethoden entsprechend der Zielstellung zu kombinieren.

Das Monitoring des Potenzials und der Nutzung im Bereich der Forst- und Holzwirtschaft wird auf nationaler Ebene bereits auf einem hohen, etablierten Niveau vollzogen. Hier wurden Einzelschritte weniger detailliert dargestellt als beispielsweise im landwirtschaftlichen Bereich.

Die vorliegende Arbeit erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Ausführungen konzentrieren sich auf die wichtigsten, nachvollziehbaren Methoden basierend auf zugänglichen Datengrundlagen.

---

<sup>17</sup> <https://www.energetische-biomassenutzung.de/de/downloads/methodenhandbuch.html>

## 7.2.1 Methodenmodule und Lesebeispiele

Anhand der Berechnung von Strohpotenzialen (ZELLER u. a., 2012) folgt ein Lesebeispiel für die Anwendung der aufgelisteten Methodenmodule. Abbildung 6 verdeutlicht das im Folgenden geschilderte Vorgehen.

Jede Zeile der nachfolgenden Tabelle 3 bis Tabelle 5 stellt ein Methodenmodul mit Angabe der betrachteten Potenzialebene, der Einflussparameter und der Datengrundlage sowie weiterer Informationen zu Anwendern etc. dar. Für die Anwendung komplexer und weit entwickelter Methoden ist der Kooperationsbedarf in der letzten Spalte aufgelistet, da sich dieser stets in Abhängigkeit zu Forschungsfragen, Zielgrößen und angestrebten Detailgraden ergibt.

Die Grundlage für die Berechnung des theoretischen Potenzials von Anbaubiomassen (Absatz 7.2.2) sind Informationen über Anbauflächen und Erträge pro Fläche (z. B. Getreide, Heu). Zur Berechnung stehen verschiedene Methodenmodule und Datengrundlagen zur Auswahl. Im Fall von Stroh kann die anfallende Strohmenge aus dem Kornertrag (Agrarstrukturerhebung) und dem Stroh/Korn-Verhältnis (Düngemittelverordnung) berechnet werden. Aus dem theoretischen Potenzial ergibt sich das technische Potenzial mittels Reduzierung durch Nutzungskonkurrenzen, Nachhaltigkeitsfaktoren und technische Einschränkungen.

Für die Berechnung des technischen Potenzials von Anbaubiomassen können die Einflussparameter: „Nahrungsmittelbedarf“, „Tierfutterbedarf“, „Naturschutzrestriktionen“, „Biomasse für Humuserhalt“, „stoffliche Nutzung“, „Ernte-, Transport- und Lagerungsverluste“, „Energiegehalt“ und „Konversionseffizienz“ berücksichtigt werden. Für diese Parameter wiederum existieren jeweils mehrere Datengrundlagen. Da Stroh nicht direkt im Nahrungsmittelsektor genutzt wird, der Tierfutterbedarf in diesem Beispiel über die stoffliche Nutzung (Einstreu, Tierfutter, Mulch) abgedeckt wird und die Nutzung von Stroh nicht durch flächenhafte Naturschutzrestriktionen eingeschränkt ist, werden nur die Einflussparameter: „Biomasse für Humuserhalt“, „stoffliche Nutzung“ und „Ernte- und Transportverluste“ betrachtet. Als Methodenmodul dient im Stroh-Beispiel das REPRO-Model (Software: Repro von INL<sup>18</sup>) zur Humusbilanzierung nach der VDLUFA- und Humuseinheiten-Methode (VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA), 2009; LEITHOLD u. a., 1997) und Angaben zu Ernte- und Transportverlusten aus Expertenbefragungen und Literaturquellen. Die resultierende Masseneinheit wird in diesem Fall in ein Brennstoffpotenzial umgerechnet. Die Konversionseffizienz wurde nicht berücksichtigt, da das resultierende Strohpotenzial stark von den betrachteten Technologien und der Verteilung der Strohmenge je Konversionspfad abhängt.

Das wirtschaftliche Potenzial wurde im geschilderten Beispiel nicht auf nationaler Ebene berücksichtigt. Ein solcher Ansatz ist multifaktoriell, hochkomplex und beruht meist auf Annahmen, die stark von politischen und wirtschaftlichen Faktoren geprägt werden. Dementsprechend fluktuieren die Ergebnisse stark und können nur in Bandbreiten angegeben werden. Stattdessen erfolgte in der Beispielstudie eine Kostenbetrachtung auf betriebswirtschaftlicher Ebene für verschiedene Bereitstellungs- und Anlagenkonzepte. Die Einflussparameter „Produktionskosten“, „Transport- und Lagerungskosten“,

---

<sup>18</sup> <http://www.nachhaltige-landbewirtschaftung.de/repro/>

„Bereitstellungs-/Konditionierungskosten“, „Konversionskosten“, „Distributions-/Einspeisekosten“ und „Erlöse“ stellen die Basis für Einzelbetrachtungen von Anlagen, aber auch von Potenzialen auf höherer räumlicher Ebene dar. Im Beispiel der Stroh-Studie wurden „Transport- und Lagerungskosten“ und „Bereitstellungs-/Konditionierungskosten“ mit Daten aus der Literatur (KTBL, 2009b, FNR, 2011) für mehrere Bereitstellungskonzepte und Transportentfernungen berechnet. Die „Konversionskosten“ wurden für mehrere Anlagenkonzepte basierend auf Literaturwerten aus einer Vielzahl an Quellen ermittelt. Den Kosten wird der Erlös, laut EEG-Vergütung und Gutschriften für Nebenprodukte (Wärmeerzeugung) gegenübergestellt.

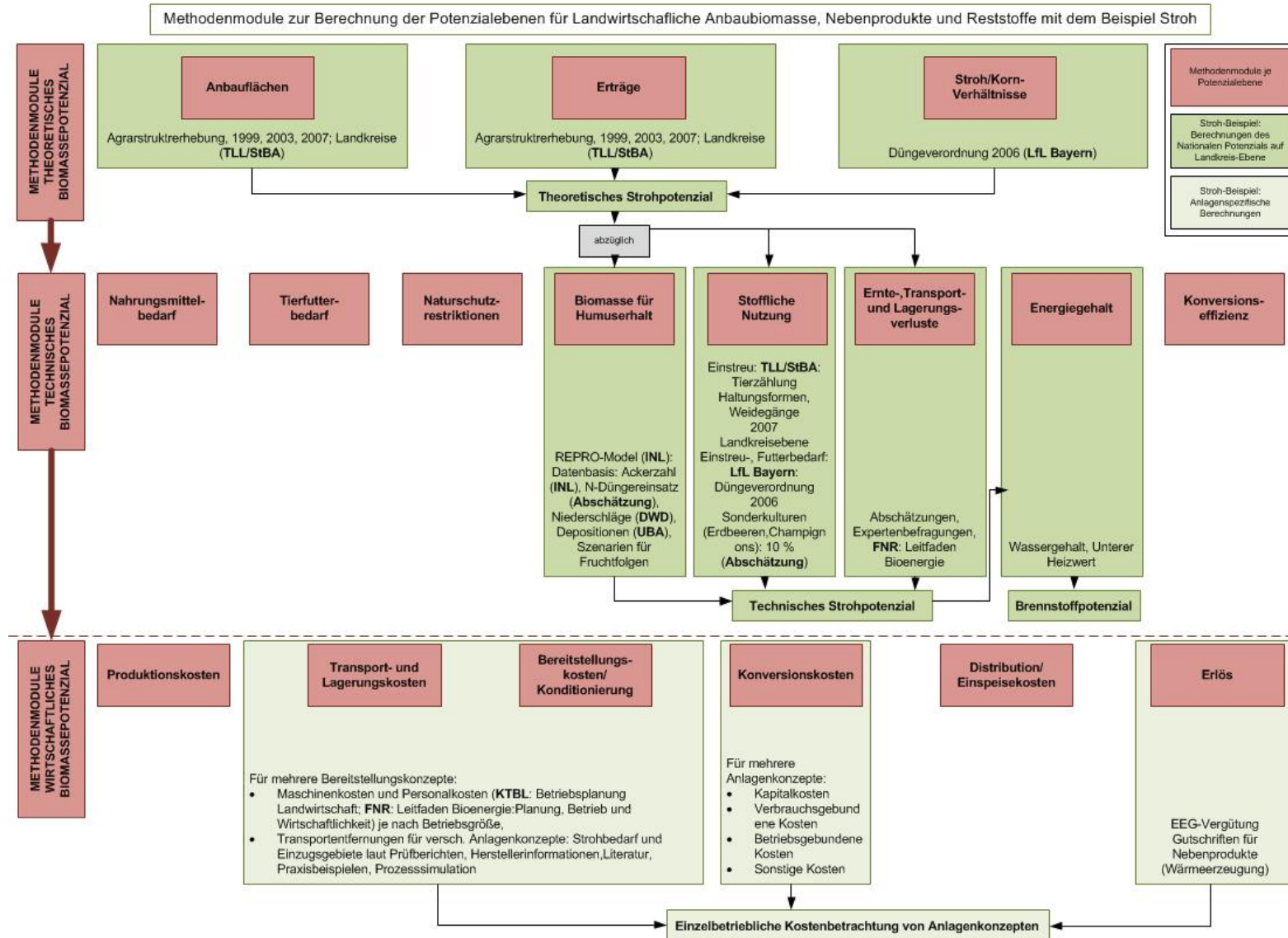


Abbildung 6 Anwendbare Methodenmodule (rote Felder), die bei der Berechnung landwirtschaftlicher Biomassepotenziale einfließen können. (Quelle: Eigene Darstellung DBFZ) Am Beispiel der „Strohstudie“ (Zeller u. a., 2012) wird ein Berechnungspfad (grüne Felder) der Module für die Berechnung von Strohpotenzialen verdeutlicht.

## 7.2.2 Methoden zur Potenzialberechnung landwirtschaftlicher Anbaubiomasse, Nebenprodukte und Reststoffe

Zu den landwirtschaftlichen Anbaubiomassen zählen Grünlandbiomassen (halmgut- und krautartige) und landwirtschaftliche Hauptprodukte wie z. B. Lignocellulosepflanzen (KUP, Ganzpflanzensilagen), Öl- und Faserpflanzen (Raps, Sonnenblumen, Öllein, Faserlein), Zucker- und Stärkepflanzen (Zuckerrüben, Kartoffeln, Getreide, Körnermais) sowie Nebenprodukte (z. B. Zwischenfrüchte, Stroh, Rübenblätter und Reststoffe aus dem Gemüseanbau).

Die einzelnen Berechnungsschritte zur Ermittlung der Biomassepotenziale werden in Form von Methodenmodulen in Tabelle 3 aufgelistet. Je nach Rohstoff und Zielgröße werden unterschiedliche Kombinationen der Methodenmodule verwendet. Anhand der Berechnung des Strohpotenzials in der Studie von ZELLER u. a., (2012) wird ein Lesebeispiel gegeben, das die Handhabung und Benutzung der Methodenmodule in Tabelle 3 verdeutlicht.

Im Wesentlichen können zwei Methoden für die Berechnung des theoretischen Potenzials für Anbaubiomassen unterschieden werden. Einerseits können statistische Daten zu Flächen und Erträgen (StBA, InVeKoS), andererseits Methoden der Fernerkundung aber auch die Kombination aus beiden zur Anwendung kommen. In jeder Hinsicht führen die Berechnungen zu komplexen Modellen.

Im Landwirtschaftsbereich liefern die Agrarstrukturerhebung (ASE) und die Landwirtschaftszählung statistische Daten bis auf Gemeindeebene. Diese Daten sind über die Bundesländer oder das Forschungsdatenzentrum des Statistischen Bundesamtes (FDZ - StBA) abrufbar. Die Landwirtschaftserhebung liefert in zehnjahresscheiben umfangreiche Daten. Die ASE-Daten werden alle zwei Jahre aktualisiert, berücksichtigen aber weniger Variablen. Die Daten sind auf einer Aggregationsebene, die keine Rückschlüsse auf Einzelbetriebe zulässt, öffentlich zugänglich. Feldblockscharfe Daten liegen in der InVeKoS-Datenbank vor. Diese Daten sind aufgrund von Datenschutzbestimmungen nicht öffentlich zugänglich.

Aus den Potenzialen der Anbaubiomassen ergeben sich anteilig die jeweils anfallenden Reststoffmengen. Im Falle von Stroh wird der Ertrag beispielsweise aus dem Stroh-Korn-Verhältnis abgeleitet [DüV, DEUTSCHER BUNDESTAG (idF. v. 2006)].

Zur Verortung der Anbaubiomassen und deren Reststoffen können geografische Informationssysteme verwendet werden, um statistische Informationen mit Geodatensätzen (z. B. Corine Landcover<sup>19</sup>, ATKIS BasisDLM<sup>20</sup>, GlobeCover<sup>21</sup>) zu kombinieren. Hierbei können zwar räumliche Zuordnungen erreicht werden, jedoch wird die Datenqualität immer durch die räumliche Qualität der Eingangsdaten beschränkt.

---

<sup>19</sup> [http://www.corine.dfd.dlr.de/intro\\_de.html](http://www.corine.dfd.dlr.de/intro_de.html)

<sup>20</sup> [http://www.geobasis-bb.de/GeoPortal1/produkte/atk\\_dlm1.htm](http://www.geobasis-bb.de/GeoPortal1/produkte/atk_dlm1.htm)

<sup>21</sup> [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate/ESA\\_global\\_land\\_cover\\_map\\_available\\_online](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/ESA_global_land_cover_map_available_online)

Um das technisch nutzbare Potenzial für eine stoffliche und energetische Nutzung zu ermitteln sind vom theoretischen Potenzial der Bedarf für die Lebensmittel- und Tierfutterproduktion, sowie Nutzungseinschränkungen durch die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsfaktoren (z. B. Naturschutzrestriktionen, Humuserhalt) und technisch bedingte Ernte-, Transport-, und Lagerverluste abzuziehen. Die Basisdaten für diese Einflussfaktoren reichen von statistischen Daten (z. B. StBA), Modellen (z. B. Repro-Model zur Humusbilanzierung<sup>22</sup>) und Literaturwerten bis zur Primärdatenerhebung.

Exkrementen aus der Nutztierhaltung fallen im Wesentlichen in der Landwirtschaft an. Die energetische Verwertung in Biogasanlagen stellt nicht per se eine Nutzungskonkurrenz zur bisherigen Nutzung als Wirtschaftsdünger dar, da auch Gärreste als leicht pflanzenverfügbare Dünger eingesetzt werden können.

Eine der aktuellsten und umfassendsten Studie zur Berechnung des theoretischen und technischen Potenzials von Wirtschaftsdünger auf nationaler Ebene wurde am DBFZ erstellt. Anhand von Daten zu Tierzahlen und Haltungsformen aus Agrarstrukturerhebung und Landwirtschaftszählung (StBA) und dem Aufkommen an Wirtschaftsdünger pro Tier und Haltungsform (KTBL, 2009a), wurden theoretische Potenziale berechnet. Das technische Potenzial ergibt sich aus dem theoretischen Potenzial, reduziert um den Gülleanteil, der in der Freilandhaltung anfällt und nicht energetisch genutzt werden kann (Landwirtschaftszählung, StBA).

Die Berechnung der Wirtschaftsdüngerpotenziale kann zukünftig (Agrarstrukturerhebungen alle zwei Jahre) durch das DBFZ per Datenabfrage beim Statistischen Bundesamt mit einer räumlichen Auflösung auf Landkreisebene automatisiert durchgeführt werden. Daten zur aktuellen Nutzung werden im EEG-Monitoring (DBFZ) bereitgestellt.

---

<sup>22</sup> <http://www.nachhaltige-landbewirtschaftung.de/repro/>

Tabelle 3 Methodenmodule zur Berechnung landwirtschaftlicher Anbaubiomasse, Nebenprodukte und Reststoffe. Die Handhabung der Module wird an einem Lesebeispiel in Absatz 7.2.1 und Abbildung 6 verdeutlicht

Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
NawaRo, Grünland								
Theoretisch	Anbauflächen	Agrarstruktur-erhebung (Statistik)	Hektarzahlen (Feldfrüchte, Grünland)	StBA, Statistische Landesämter	alle 2-3 Jahre	Gemeinde	DBFZ, TLL, TI, Uni Hohenheim (Daten von FAO-Stat), IFEU, IZES, IfaS, Wuppertal-Institut	-
		Landwirtschaftszählung (Statistik)	Hektarzahlen (Feldfrüchte, Grünland)	StBA, Statistische Landesämter	alle 10 Jahre	Gemeinde	DBFZ, TLL, TI, IFEU, IZES, IfaS	-
		Corine Land Cover (Fernerkundung)	Biotoptypenflächen (Grünland, etc.)	DLR-DFD, Umweltbundesamt	1990, 2000, 2006, 2012	Standort	HNEE, DBFZ	-
		ATKIS BasisDLM (Vermessung, Fernerkundung)	Agrarflächen (GIS-Shapes)	Landesvermessungsämter, BKG	alle 5 Jahre	Standort	HNEE, DBFZ, Fraunhofer UMSICHT	-
		InVeKoS (Statistik/ Melderegister)	Hektarzahlen (Grünland intensiv, extensiv, KUP)	StMELF	jährlich	Feldblock-scharf	DBFZ, TI, HNEE	-
	Erträge	Düngemittelverordnung (Literatur)	Stroh-Korn-Verhältnis	BMELV	2007	National	DBFZ, TLL, KIT-ITAS, DLL	-

Potenzial / Betrachtungs-ebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
	Erträge	Agrarstruktur-erhebung (Statistik)	Erträge für Hauptfruchtarten und Grünland	StBA, Statistische Landesämter	alle 2-3 Jahre	Gemeinde	DBFZ, TLL, TI, Uni Hohenheim (Daten von FAO-Stat), IFEU, IZES, IfaS, Wuppertal-Institut	-
		Landwirtschafts-zählung (Statistik)	Erträge für Hauptfruchtarten und Grünland	StBA, Statistische Landesämter	alle 10 Jahre	Gemeinde	DBFZ, TLL, TI, IFEU, IZES, IfaS	-
	Modellsimulation LPJmL (Modellierung)	Produktivität und Erträge der wichtigsten Nutzpflanzen (weltweit) inkl. Nachhaltigkeitsfaktoren	PIK	abhängig von Grundlagen- daten	-	PIK	PIK	
	Vegetations- model BETHY (Fernerkundung, Modellierung)	Nettoprimärproduktion pro Flächeneinheit	DLR (M. Thum; K.P. Günther), ESA	abhängig von Grundlagen- daten	1 km <sup>2</sup> -Raster	DLR	DLR-DFD	
	Berechnungs- modell YIELDSTAT (Modellierung)	Biomasse pro Flächeneinheit	ZALF/TLL	abhängig von Grundlagen- daten	abhängig von Ausgangs- daten	ZALF/TLL	ZALF	
	Berechnungs- modell bym (Modellierung)	Biomasse pro Flächeneinheit	HNEE	abhängig von Grundlagen- daten	abhängig von Ausgangs- daten	HNEE	HNEE	
	Berechnungs- modell RAUMIS (Modellierung)	Biomasse pro Flächeneinheit	TI/Uni Bonn	abhängig von Grundlagen- daten	abhängig von Ausgangs- daten	TI/Uni Bonn	TI	



Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
	Erträge	Berechnungsmodell GISCAME (Modellierung)	Biomasse pro Flächeneinheit	Uni Bonn - ZEF	abhängig von Grundlagendaten	Standort	ZEF (Uni Bonn)	ZEF (uni Bonn)
		Ertragsdatenbank in: Grünlandenergie Havelland - Entwicklung von übertrag-baren Konzepten zur naturverträglichen energetischen Nutzung von Gras und Schilf am Beispiel der Region Havelland (Literatur)	Grünlanderträge nach Region, Bodenzahl, Feuchteregime, Schnittzeitpunkt, Düngung	(SAUTER u. a., 2013)	2013	National/ Bundesland	DBFZ	-
Technisch	Nahrungsmittelbedarf	BMELV: Statistische Jahrbücher (Statistik/ Literatur)	Verbrauch von div. Nahrungsmitteln	BMELV	jährlich	National	Uni Hohenheim (Daten von FAO-Stat)	-
	Tierfutterbedarf	Agrarstrukturerhebung (Statistik)	Tierplätze, Haltungsformen	StBA, Statistische Landesämter	alle 2-3 Jahre	Gemeinde	DBFZ, Uni Hohenheim (Daten von FAO-Stat)	-
		Landwirtschaftszählung (Statistik)	Tierplätze, Haltungsformen	StBA, Statistische Landesämter	alle 10 Jahre	Gemeinde	DBFZ, HNEE	-
		InVeKoS (Statistik/ Melderegister)	Tierbestände	StMELF	jährlich	Betriebsebene		-

Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
		KTBL: Faustzahlen für die Landwirtschaft (Literatur)	Futtermittelbedarf	(KTBL, 2009b)	2009	National	DBFZ	-
Stoffliche Nutzung		Agrarstrukturerhebung (Statistik)	Tierplätze, Haltungsformen; Fläche für gartenbauliche Erzeugnisse	StBA, Statistische Landesämter	alle 2-3 Jahre	Gemeinde	DBFZ	-
		Landwirtschaftszählung (Statistik)	Tierplätze, Haltungsformen; Fläche für Gartenbauliche Erzeugnisse (Erdbeeren) und Speisepilze	StBA, Statistische Landesämter	alle 10 Jahre	Gemeinde	DBFZ	-
		KTBL: Faustzahlen für die Landwirtschaft (Literatur)	Einstreubedarf pro Tierplatz, Mulchbedarf pro Produkteinheit	(KTBL, 2009b)	2009	National	DBFZ	-
	Naturschutzrestriktionen	ATKIS-DLM (Vermessung)	Gebiete mit Naturschutzrestriktionen (GIS-Shapes)	Landesvermessungsämter, BKG, BfN	alle 5 Jahre	Standort	DBFZ, HNEE, ifeu, lzes, BUND	-
		Expertenbefragungen (Primärdatenerhebung)	Nutzungseinschränkungen in Naturschutzgebieten	-	-	-	-	-
		Bundesnaturschutzgesetz (Literatur)	Nutzungseinschränkungen in Naturschutzgebieten	-	-	National	DBFZ, HNEE, lzes, ifeu	-
	Humuserhalt	VDLUFA-Methodenbuch Band 1 (Literatur)	Humus-Äquivalente je Feldfrucht	(VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA), 2009)	-	National	LfL - Agrarökologie; TLL	-

Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
	Humuserhalt	Humuseinheitenmethode: "Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme" (Literatur)	Humus-Äquivalente je Feldfrucht	(HÜLSBERGEN, 2003)	-	National	LfL - Agrarökologie; TLL	-
		Berechnungsmodelle (auf Basis von Bodenzahlen, Klima, Düngung; z. B.: REPRO) (Modellierung)	Humusbilanz	Uni Halle; INL <a href="http://www.nachhaltigelandbewirtschaftung.de/rep/ro/">http://www.nachhaltigelandbewirtschaftung.de/rep/ro/</a>	-	Standort	Uni-Halle, INL, TLL	INL, Uni Halle
	Ernte- Transport- und Lagerungsverluste	Expertenbefragungen (Primärdatenerhebung)	Ernte- und Transportverluste je nach Verfahren und Fruchtart	-	-	-	Fraunhofer IML - Projektzentrum Verkehr, Mobilität, Umwelt; TLL	

Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
	Ernte- Transport- und Lagerungsverluste	MIL: Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg (Literatur)	Trockenmasse- und Silageverluste von Grünland	MIL	2010	Brandenburg	DBFZ	
	Energiegehalt (Biogasausbeuten, unterer Heizwert, etc.)	LfL: Biogasausbeuten-Datenbank	Trockenmasse, Biogasausbeuten, Methangehalt, Brennwert	LfL <a href="http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/">http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/</a>	-	-	-	
		KTBL: Faustzahlen für die Landwirtschaft	Trockenmasse, Biogasausbeuten, Methangehalt, Brennwert	(KTBL, 2009b)	2009	-	DBFZ	
		FNR: Basisdaten Bioenergie Deutschland	Heizwert, Energiegehalt, Heizöl-Äquivalent, Biodieselertrag, Bioethanolertrag, Kraftstoff-Äquivalent, Methanertrag	(FNR, 2012)	jährlich	-	AGEE-Stat, FNR, Meó, ASG	
		FNR: Leitfaden Bioenergie	Heizwert, Energiegehalt, Heizöl-Äquivalent, Biodieselertrag, Bioethanolertrag, Kraftstoff-Äquivalent	(FNR, 2011)	2007	-	FNR	
Methodenmodule								

Potenzial / Betrachtungsebene	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
tierische Exkrememente								
Theoretisch	Exkrementanfall	Agrarstrukturhebung (Statistik)	Haltungsformen, Tierzahlen	StBA, Statistische Landesämter	alle 2-3 Jahre	Gemeinde	DBFZ	
		Landwirtschaftszählung (Statistik)	Haltungsformen, Tierzahlen	StBA, Statistische Landesämter	alle 10 Jahre	Gemeinde	DBFZ	
		KTBL: Faustzahlen für die Landwirtschaft (Literatur)	Exkrementanfall pro Tierart und Haltungsform	KTBL, 2009b	2009	National	DBFZ	
Technisch	Anteil nutzbarer Exkrememente (Erschließungsfaktor)	Landwirtschaftszählung (Statistik)	Anteil Weidehaltung	StBA, Statistische Landesämter	alle 10 Jahre	Gemeinde	DBFZ	
	Energiegehalt (Biogas-, Methangehalt, Heizwert)	LfL: Biogasausbeuten-Datenbank (Literatur)	Trockenmasse, Biogasausbeuten, Methangehalt, Brennwert	LfL <a href="http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/">http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/</a>				

### 7.2.3 Methodengrundlagen zur Potenzialberechnung in Forst- und Holzwirtschaft

Forst- und holzwirtschaftliche Rohstoffe stellen als Bau- und Werkstoffe sowie als Energieträger eine wichtige Ressource der biobasierten Wirtschaft in Deutschland dar. Der Verbrauch von Holzrohstoffen nimmt aufgrund positiver Materialeigenschaften in den vergangenen 20 Jahren kontinuierlich zu (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF), 2014).

Aufkommensseitig können neben der klassischen forstwirtschaftlichen Waldholzproduktion (Stammholz, Industrieholz, Waldrestholz) Holzreststoffe aus der industriellen Nutzung (Industrierestholz: Sägenebenprodukte, Hobelspäne, Schwarzlauge, sonstige) und Recyclingstoffe (Altholz, Altpapier) unterschieden werden.

Grundsätzlich unterliegt die forstwirtschaftliche Produktion langen Produktionszeiträumen. Das theoretische Rohholzaufkommen ist in erster Linie abhängig vom Altersklassenaufbau der bewirtschafteten Wälder. Nutzungen können infolgedessen vorgezogen oder zurückgestellt werden. Die primäre Zielgröße der deutschen Forstwirtschaft ist Stammholz. Industrieholz und Energieholz könnten demzufolge als Nebenprodukte der Stammholzproduktion bezeichnet werden (JUNKER u. a., 2014).

Jährliche Zuwächse (theoretisches Waldholzpotenzial) sowie mögliche Einschlagsmengen (technisches Waldholzpotenzial) können über Inventuren (Bundeswaldinventur (BWI), Landeswaldinventur (LWI), Forsteinrichtungen), amtliche Einschlagstatistiken und andere verwendungsseitige Rückrechnungen auf verschiedenen räumlichen Betrachtungsebenen erhoben werden.

Eine bundesweite Vergleichbarkeit ergibt sich aus der einheitlichen Methodenanwendung der Bundeswaldinventuren (BWI I-III)<sup>23</sup>. Auf Basis der Inventurstudien wird im Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodell (WEHAM) das potenzielle Rohholzaufkommen anhand von Wachstumsfunktionen und waldbaulichen Behandlungskonzepten szenarienbasiert modelliert<sup>24</sup>.

Bezüglich der Nutzung forstwirtschaftlicher Reststoffe existieren weiterhin Unsicherheiten bezüglich der Nachhaltigkeit. Hier ist eine weitere Versachlichung der Diskussion durch fundierte wissenschaftliche Befunde anzustreben.

Reststoffe und Nebenprodukte der Holzverarbeitenden Industrie (Sägenebenprodukte, Schwarzlauge, sonstiges Industrierestholz) werden im Rahmen stoffstrombasierter Erhebungen wie der Holzrohstoffbilanz<sup>25</sup> berücksichtigt (siehe 7.3).

---

<sup>23</sup> <https://www.bundeswaldinventur.de/index.php?id=2>

<sup>24</sup> <https://www.ti.bund.de/de/wo/projekte/weham/weham-basisszenario/>

<sup>25</sup> <http://www.ti.bund.de/de/wf/aktuelles-und-service/detail-aktuelles/news/detail/News/rohstoffmonitoring-holz/>

Tabelle 4 Methodenmodule zur Potenzialberechnung in Forst- und Holzwirtschaft. Die Handhabung der Module wird an einem Lesebeispiel in Absatz 7.2.1 und Abbildung 6 verdeutlicht.

Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
Forst und Holzwirtschaft								
Theoretisch	Waldfläche (für die Rohholzproduktion)	BWI I-III	Inventurdaten	TI für Waldökosysteme	alle 10 Jahre	Bundesland	TI	TI für Waldökosysteme
	Waldflächenbilanz	WGR	berechnetes Modul der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie	jährlich	Bundesland	TI	TI für Waldökosysteme
		BWI I-III		TI für Waldökosysteme	alle 10 Jahre	Bundesland	TI	TI für Waldökosysteme
	Holzvorrat	BWI I-III	Inventurdaten	TI für Waldökosysteme	alle 10 Jahre	Bundesland	TI	TI für Waldökosysteme
	Jährlicher Zuwachs	BWI I-III	Inventurdaten	TI für Waldökosysteme	alle 10 Jahre	Bundesland	TI	TI für Waldökosysteme
	Jährlicher Zuwachs	WEHAM	Zuwachsmodul	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie			TI	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
	Waldholzaufkommen	BWI, Mobilisierungsszenarien	EFISCEN	European Forest Institut (EFI)	alle 5 Jahre	EU 27		European Forest Institut (EFI)
Technisch	Waldfläche (für die Rohholzproduktion geeignet, begehbarer Wirtschaftswald ohne Nutzungsverbot)	BWI I-III	Inventurdaten	TI für Waldökosysteme	jährlich	Bundesland	TI	TI für Waldökosysteme
	Waldfläche mit Totalschutz	Berichtspflicht für Forest Europe		BMEL	4-jährig	national		
	Physische Holzvorratsbilanz	WGR, WEHAM, FGR	Aktualisierung der Methodik zur Waldgesamtrechnung	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie		national	TI	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
	Rohholzpotential	WEHAM	Holzaufkommensmodellierung	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie			TI	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie



Potenzial / Betrachtungs-ebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
	Holzrohstoff-monitoring	BWI, Primärdaten		TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie	alle 3 Jahre	Bundesland	TI	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
	Holzmarktberichte	Statistik		BMEL				
Reststoffe und Nebenprodukte der Holzverarbeitenden Industrie								
Theoretisch/ Technisch	Sägenebenprodukte	Rohstoffmonitoring HOLZ	Produktionskapazitäten der Holzindustrie	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie	alle 3 Jahre	Bundesland	TI	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
	Schwarzlauge	Rohstoffmonitoring HOLZ	Produktionskapazitäten der Holzindustrie	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie	alle 3 Jahre	Bundesland	TI	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
	sonstiges Industrierestholz	Rohstoffmonitoring HOLZ	Produktionskapazitäten der Holzindustrie	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie	alle 3 Jahre	Bundesland	TI	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
Recyclingstoffe								
Theoretisch/ Technisch	Altholz	Holzrohstoff-monitoring	Befragung, Bilanzierung	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie	2006	national	TI	TI für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
	Altpapier	Bilanziert über direkte Nutzung der Haushalte	Befragung, Statistik	VDP-Statistik	jährlich	national		Verband Deutscher Papierfabriken



## 7.2.4 Methodengrundlagen zur Potenzialberechnung kommunaler Abfälle und Reststoffe

Abfälle und Reststoffe können den Kategorien: Siedlungsabfälle, Klärschlämme, Halmgut- und holzartige Biomasse aus der Landschaftspflege und Reststoffe aus der Nahrungs- und Futtermittelindustrie, der Holzverarbeitenden Industrie und der Biotechnologie zugeordnet werden. Die Heterogenität dieser Stoffgruppe spiegelt sich auch in uneinheitlichen Berechnungsansätzen wider (siehe Tabelle 5).

Zu den biogenen Siedlungsabfällen können Bioabfälle, der biogene Anteil im Hausmüll, Grünabfälle, gemischte Verpackungen, Alttextilien und sonstige biologische Abfälle (z. B. Altspeiseöle, Marktabfälle, etc.) gezählt werden. Per Definition stehen die Potenziale dieser Reststoffe über das Pro-Kopf-Aufkommen (Primärdatenerhebungen) in Abhängigkeit zu Siedlungsflächen (ATKIS BasisDLM) und Einwohnerzahlen (amtliche Statistiken). Halmgut- und holzartige Biomassen sind entsprechend abhängig von der Ursprungsflächengröße und dem Ertrag. Sammelraten, Störstoffanteile und Verlustraten wirken restriktiv.

Halmgut- und holzartige Biomassen aus der Landschaftspflege (Landschaftspflegematerial) stellen bei der Potenzialermittlung eine Herausforderung dar. Definitionen der betrachteten Biomassen als auch Abgrenzungen der Flächen z. B. von Straßenbegleitflächen variieren teilweise erheblich. Die Biomasserträge sind abhängig vom Standort und der Bewirtschaftung (z. B. Schnitthäufigkeiten), diesbezügliche Literaturangaben umfassen eine große Ertragsbandbreite. Geografische Informationen zu Flächentypen (Heide, Moor, Plantagen, Grünanlagen, Friedhofsflächen, Waldflächen, Verkehrsflächen) sind in ATKIS BasisDLM verfügbar. Das theoretische Potenzial wird in der Nutzung eingeschränkt durch Bergungsraten, Restriktionen, Naturschutzbestimmungen und durch Verluste bei der Silage.

Das Aufkommen und die Nutzung von Klärschlämmen werden in der Statistik zur Klärschlamm-entsorgung (StBA) detailliert aufgelistet.

Die Datenlage zum Aufkommen und der Nutzung industrieller Reststoffe ist dagegen sehr lückenhaft und beruht im Wesentlichen auf Primärdatenerhebungen durch die Befragungen von Verbänden und Unternehmen zu Produktions- und Abfallmengen. Aus diesen Daten und der Abschätzung von Reststoffquoten für bestimmte Produktionspfade, können Rückschlüsse auf Abfallmengen gezogen werden.

Eine umfangreiche, detaillierte Studie zu Glycerin als Reststoff der Biodieselproduktion wurde im Rahmen des GRAIL-Projektes<sup>26</sup> erarbeitet (DBFZ). Die Erstellung einer aktualisierten Datenbank aller Biodieselhersteller innerhalb der EU mit Angabe der Produktionsmengen ermöglicht die Abschätzung und Lokalisierung der anfallenden Glycerin-Mengen.

---

<sup>26</sup> <http://www.grail-project.eu/>

Tabelle 5 Methodenmodule zur Potenzialberechnung kommunaler Abfall- und Reststoffe. Die Handhabung der Module wird an einem Lesebeispiel in Absatz 7.2.1 und Abbildung 6 verdeutlicht.

Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
Industrielle Reststoffe aus Nahrungs-, Futtermittelindustrie, Zigaretten u. Tabakproduktion, chemische Industrie, Pharmaindustrie und Biotechnik								
Theoretisch	Produktionsmengen	Konjunkturerhebung Verarbeitendes Gewerbe (Statistik)	Wert, Menge und Gewicht von div. produzierten Waren	StBA	pro Quartal	National	HS Bremen, Uni Gießen	HS Bremen
		BMELV: Statistische Jahrbücher (Statistik/Literatur)	Produktionsmengen von div. Nahrungsmitteln	BMELV	jährlich	National	HS Bremen, Uni Gießen	HS Bremen
		ZMP: Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle	Handelskurse, Marktpreise	ZMP	täglich	National	HS Bremen, Uni Gießen	HS Bremen
		AMI: Agrarmarktinformationen	Handelskurse, Marktpreise	AMI	täglich	National	HS Bremen, Uni Gießen	HS Bremen
	Reststoffquoten je Produktionspfad (Reststoff/ Produkt od. Rohstoffeinheit)	AWARENET: Handbook for the prevention and minimisation of waste and valorisation of by-products in European agro-food industries (Literatur)	anfallende Reststoffmengen für div. Verarbeitungsprozesse	(GAIKER TECHNOLOGY CENTRE, 2004)	2004	National (EU)	GAIKER Technology Centre, HS Bremen, Uni Gießen	
	Interviews mit Unternehmen und Fachverbänden (Interviewleitfaden)	Primärdatenerhebung (Primärdatenerhebung)	Produktionsmengen, Abfallmengen				HS Bremen, Uni Gießen	

Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
	Firmenauflistung	Hoppenstedt Firmendatenbank (Datenbank/ Homepage)	Adress- und Telekommunikationsdaten nach Branchen	Bisnode Deutschland GmbH	tägliche Aktualisierung	Standort	HS Bremen, Uni Gießen	
Technisch	Nutzung (z. B.: Tierfutter, Kosmetikindustrie)	unklar						
	Interviews mit Unternehmen und Fachverbänden (Interviewleitfaden)	Primärdatenerhebung	Verwertung/Verwendung von Reststoffen				HS Bremen, Uni Gießen	
	Firmenauflistung	Hoppenstedt Firmendatenbank (Datenbank/ Homepage)	Adress- und Telekommunikationsdaten nach Branchen	Bisnode Deutschland GmbH	tägliche Aktualisierung	Standort	HS Bremen, Uni Gießen	
<b>Klärschlamm</b>								
Theoretisch	Klärschlamm-aufkommen	Abfallstatistik: Abfallentsorgung (Statistik)	Klärschlamm-mengen aus div. Branchen	StBA	jährlich	National	DBFZ, KIT-ITAS	
Technisch	Klärschlamm-verwertung	Erhebung der öffentlichen Abwasserentsorgung (Statistik)	Entsorgungsmengen für stoffl. Verwertung (Landwirtschaft, Landschaftsbau), thermische Entsorgung, Deponierung	StBA	jährlich	Landkreis	KIT-ITAS	

Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
Halmgut- und holzartige Biomasse (von Grünanlagen, Friedhofs-, Weinbau-, Moor-, Wegbegleit-, Heideflächen, Obstplantagen, Landschaftspflege)								
Theoretisch	Flächen	ATKIS BasisDLM (Vermessung, Fernerkundung)	Friedhofflächen, Grünanlagen, Heideflächen, Moorflächen, Obstplantagen, Weingärten, Verkehrsflächen, Waldflächen	Landesvermessungsämter, BKG	alle 5 Jahre	Standort	Fraunhofer UMSICHT, DBFZ	
	Erträge	DBFZ: Gutachterliche Einordnung des Landschaftspflegebonus im EEG 2009 (Literatur)	Erträge (Friedhofflächen, Grünanlagen, Heideflächen, Moorflächen, Obstplantagen, Weingärten)	(THRÄN u. a., 2009)	2009	National	DBFZ	
		DVL: Vom Landschaftspflegematerial zum Biogas - ein Beratungsordner (Literatur)	Erträge (Landschaftspflegematerial div. Biotoptypen)	(DEUTSCHER VERBAND FÜR LANDSCHAFTSPFLEGE E.V. (DVL), 2014)	2014	National	-	
Technisch	Bergungsraten	Annahmen/Befragungen/Literaturwerte in: Bioenergieregionen (Literatur)	Bergungsraten für Halmgut und Holz je Flächenkategorie	<a href="https://www.dbfz.de/forschung/referenzprojekte/bioenergieregionen.html">https://www.dbfz.de/forschung/referenzprojekte/bioenergieregionen.html</a>	2014	National	DBFZ	



Potenzial / Betrachtungs-ebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
	Silageverluste	DBFZ: Grünlandenergie Havelland - Entwicklung von übertragbaren Konzepten zur naturverträglichen energetischen Nutzung von Gras und Schilf am Beispiel der Region Havelland (Literatur)					DBFZ	
	Nutzungs-konkurrenz (Kompostwerke, Vergärung (Biogas))	EEG-Monitoring	Grünschnitt in Biogasanlagen				DBFZ	
	Naturschutz-restriktionen	unklar						
	Energiegehalt	DVL: Vom Landschaftspflegematerial zum Biogas - ein Beratungsordner (Literatur)	Biogaserträge (Landschaftspflegematerial div. Biotoptypen)	(DEUTSCHER VERBAND FÜR LANDSCHAFTSPFLEGE E.V. (DVL), 2014)DVL (Deutscher Verband für Landschaftspflege)	2014	National		
		LfL: Biogasausbeuten-Datenbank (Literatur)	Trockenmasse, Biogasausbeuten, Methangehalt, Brennwert div. Materialien	LfL <a href="http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/">http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/</a>	nicht relevant	nicht relevant		



Potenzial / Betrachtungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
	Energiegehalt	DBFZ: Gutachterliche Einordnung des Landschaftspflegebonus im EEG 2009 (Literatur)	Trockensubstanz, Biogasertrag, Methangehalt div. Mahdgut, Baum- und Strauchschnitt	(THRÄN u. a., 2009)	2009	National		
		Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren (Literatur)	Trockensubstanz, Brennwert, Biogasertrag, Methangehalt div. Mahdgut, Baum- und Strauchschnitt	(KALTSCHMITT u. a., 2009b)	2009	National		



Potenzial/ Betrach- tungsebene	Methodenmodule							
	Einflussparameter	Datengrundlage	Datenbeschreibung	Verwaltung, Urheber, Autor	zeitliche Auflösung der Daten	räumliche Auflösung der Daten	Anwender	Notwendigkeit für Kooperationen mit Datenhaltern, Anwendern
<b>Glycerin</b>								
Theoretisch	Biodieselhersteller	Herstellerdatenbank (Datenbank)	Biodieselhersteller und Produktions- kapazitäten	DBFZ (auf Basisdaten von: F.O.Licht, EBB, EuroStat, Primärdaten- erhebung DBFZ)	2014	National (EU)	DBFZ	DBFZ
Technisch	Glycerinanfall je Biodieselmenge	Literatur						
<b>Siedlungsabfälle</b>								
Theoretisch/ Technisch	Abfallaufkommen	Bevölkerungsdichte und Pro-Kopf Aufkommen	amtliche Statistik	StBA	jährlich	Bundesland	DBFZ	Witzenhausen-Institut
	Abfallerzeugung	Abfallbilanz	amtliche Statistik	StBA	4-jährlich	Bundesland	DBFZ	Witzenhausen-Institut
<b>Landschaftspflegematerial</b>								
Theoretisch/ Technisch	Flächentyp		Geografische Flächeninformationen	ATKIS BasisDLM		flächen- scharf		
	Erträge	nicht flächendeckend verfügbar	Schnitthäufigkeit	Bewirtschafter	nicht bekannt	nicht bekannt	DBFZ	Bewirtschafter
		nicht flächendeckend verfügbar	Bergungsraten	Bewirtschafter	nicht bekannt	nicht bekannt	DBFZ	Bewirtschafter

### 7.2.5 Berechnungsgrundlage wirtschaftlicher Biomassepotenziale

Die Basis zur Berechnung wirtschaftlicher Potenziale (vergleiche Abbildung 5) stellen Informationen zu folgenden Kostenbereichen dar:

- Produktionskosten (z. B. Anbau),
- Bereitstellungskosten (Ernte, Transport, Lagerung, Konditionierung, Umschlag),
- Konversionskosten (einschließlich Distributions- und Einspeisekosten, Erlöse).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, wie sie z. B. vom KTBL, TI (stoffliche und energetische Technologiepfade), vom Öko-Institut oder vom DBFZ (energetische Technologiepfade) durchgeführt werden, beziehen sich im Allgemeinen auf die einzelbetriebliche Ebene und beschreiben die ökonomischen Rahmenbedingungen im Vergleich zu einem Referenzsystem. Die Bewertung der komplexen Kombinationen möglicher Technologiepfade und Anlagengrößen und der regionalen Rohstoffverfügbarkeit sowie den resultierenden Transportdistanzen, führt zu multifaktoriellen Berechnungsmodellen. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist zeitlich stark eingeschränkt, da sich wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen schnell ändern können. Zur Berechnung wirtschaftlicher Potenziale auf nationaler Ebene in Deutschland ist uns keine Studie bekannt.

Wichtige Grundlagendaten für die Landwirtschaft werden u. a. vom KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) regelmäßig erhoben, berechnet und veröffentlicht (KTBL, 2009b).

Eine Möglichkeit das wirtschaftliche Potenzial abzubilden, ist die Erstellung von Cost-Supply-Curves. Diese fassen Kosteninformationen zu Produktions-, Bereitstellungs- und Konversionskosten in einer Rohstoff-Technologie-Kombination vor dem Hintergrund der Potenzialverfügbarkeit zusammen. Die Basisdaten für Cost-Supply-Curves beziehen sich auf zahlreiche Einzelinformationen aus Literatur, Statistischen Erhebungen und auch Expertenschätzungen. Eine umfangreiche Datensammlung wurde im Auftrag des Joint-Research-Centers (JRC) von ECN (Energy Research Centre of the Netherlands, NL), ALTERRA (NL), DTU (Technical University of Denmark) und dem DBFZ erstellt. Im Ergebnis liefern die umfangreichen Daten Cost-Supply-Curves für 510 Rohstoff/ Technologie-Kombinationen für 5 Zeithorizonte, 3 Potenzialszenarien, 2 Nutzungsszenarien und 35 Länder (EU und nicht-EU-Länder).

Für detailliertere Informationen zu ökonomischen Betrachtungen sei auf den „Sachstandsbericht über vorhandene Grundlagen und Beiträge für ein Monitoring der Bioökonomie: wirtschaftliche Kennzahlen“ des IfW (Institut für Weltwirtschaft) verwiesen.

### 7.3 Erfassung stofflicher und energetischer Biomassenutzung

Die Rohstoffverwendung einer biobasierten Wirtschaft erfolgt idealerweise durch von Rohstoffeffizienz und Kaskadennutzung geprägte Strukturen. Primäre biogene Rohstoffe liefern die Land- und Forstwirtschaft, in geringerem Umfang auch die Fischerei. Die in den nachfolgenden Produktionsprozessen der Futtermittel- und Nahrungsmittelproduktion, der Holz-, Papier-, Chemie- und Pharmaindustrie sowie der Energie-, Bau- und Abfallwirtschaft genutzten und erzeugten biogenen Rohstoffe werden wiederum inner- und intersektoral genutzt und weiterverwertet. Ein Monitoring der sich hierbei



ergebenden komplexen und sektorenübergreifenden Nutzungspfaden ist folglich ebenfalls auf einen Informationsfluss über sektorale Systemgrenzen hinweg aufzubauen.

Gegenwärtig angewandte Methoden zur Erfassung von relevanten Stoffströmen können durch Integration verschiedener Einzeldatensätze die geschilderte Komplexität partiell abbilden. Neben amtlichen Statistiken werden dabei Primärdatenerhebungen (z. B. Verbraucherbefragungen, Daten der Verbände, etc.), Hochrechnungen und Modellierungen genutzt. Im Folgenden werden aktuelle Forschungsbestrebungen eines Nutzungsmonitorings beschrieben. Diese Bestrebungen fokussieren meist auf bestimmte Rohstoffkategorien oder Nutzungspfaden und bilden deshalb nur Teile der Rohstoffnutzung ab.

Eine wertvolle übergeordnete Arbeit leistet die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) durch die Erstellung und Aufbereitung von Fachwissen und Zahlen zur stofflichen und energetischen Biomassenutzung und eine breite Öffentlichkeitsarbeit zu diesem Thema<sup>27</sup>. So wurden z. B. im Auftrag der FNR durch die AFC Consulting Group AG im Projekt „Erhebung statistischer Daten zu Preisen, Anbau und Verarbeitung von NawaRo in Deutschland Nutzungszahlen zu Nachwachsenden Rohstoffen im stofflichen und energetischen Bereich erhoben<sup>28</sup>. Die Erhebungen finden für den Bausektor einmalig und für den Bioenergie und Chemiesektor jährlich statt. Datengrundlagen sind Experten- und Betreiberbefragungen (BLE, Landesämter und Landwirtschaftskammern), das EEG-Monitoring, öffentliche Statistiken (StBA, EUROSTAT) und Verbandsveröffentlichungen (F.O.Licht, BDBe, BAFA, VDB, UFOP, DEPI).

Eine wesentlich breitere Palette an biogenen Rohstoffen und deren Nutzung deckt das NOVA-Institut in der UBA-geförderten Studie „Stoffliche Nutzung von Biomasse; Basisdaten für Deutschland, Europa und die Welt“ ab<sup>29</sup>. Neben landwirtschaftlich erzeugten Rohstoffen werden auch forstwirtschaftliche Rohstoffe und biogene Reststoffe bezüglich des Gesamtaufkommens, der stofflichen Nutzung, der Verarbeitung in den wichtigsten Branchen, der typischen Hauptprodukte und Importquoten erfasst. Stoffströme und Zwischenprodukte wurden mit Daten aus Publikationen, von Fachverbänden, Abfallbilanzen des Statistischen Bundesamtes (StBA, DESTATIS) und Abschätzungen aufgrund des Ernteaufkommens ermittelt.

Basisdaten zur Erzeugung und dem Verbrauch von land- und forstwirtschaftlichen Erzeugnissen aus biogenen Rohstoffen aus den Bereichen Ernährung, Landwirtschaft und Forst erhebt das BMEL jährlich in Form einer Verbrauchsstatistik. Die Daten erlauben die Analyse von Zeitreihen und geben Rückschlüsse über die stoffliche Nutzung biogener Rohstoffe. Daten zu Mengen, Gewichten, Werten und dem Absatz von Produkten (mehr als 5000 Kategorien) aus dem verarbeitenden Gewerbe bietet die vierteljährliche Produktionserhebung des StBA als Teil des Konjunkturberichtes. Dieser kann als eine weitere Grundlage zur Ableitung der Nutzung biogener Rohstoffe verwendet werden.

Der mengenmäßig wichtigste nachwachsende Rohstoff in Deutschland ist Holz. Dementsprechend gibt es für diesen Sektor umfangreiche Untersuchungen zu Stoffströmen. Die Nutzung der forstwirtschaftlich

---

<sup>27</sup> <http://fnr.de/basisdaten/>

<sup>28</sup> <https://mediathek.fnr.de/broschuren/marktanalyse.html>

<sup>29</sup> [http://www.nova-institut.de/download/Stoffliche\\_Nutzung\\_von\\_Biomasse\\_nova](http://www.nova-institut.de/download/Stoffliche_Nutzung_von_Biomasse_nova)

eingeschlagenen Holzmenge wird in jährlichen Holzmarktberichten des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft durch Zusammenstellung von Länderangaben erfasst. Diese Angaben setzen sich aus amtlichen Statistiken, der Holzbuchführung der Staatlichen Forstbetriebe und Schätzungen zusammen.

In einem 2-3-jährlichen Turnus werden in den Gesamtholzbilanzen des Thünen-Instituts für Forstökonomie das Gesamtholzaufkommen (inländischer Einschlag, Inlandsaufkommen von Altpapier und Altholz, Einfuhren sowie Lagerbestandsabgänge) und die Gesamtverwendung (Zunahme der Lagerbestände, Ausfuhren und rechnerischer Inlandsverbrauch) an Holz und Holzprodukten einschließlich Altholz und Altpapier bilanziert. Die Bilanzierungen berücksichtigen Einschlagsstatistiken (Statistisches Bundesamt, StBA), Eigenerhebungen der Papierindustrie (Verband Deutscher Papierfabriken, VDP), Ergebnisse des Projektes „Standorte der Holzwirtschaft – Holzrohstoffmonitoring“ (TI – Institut für Waldwirtschaft und Forstökonomie), Außenhandelsstatistiken (StBA) und Lagerbestandsänderungen (StBA, VDP, Schätzungen) (WEIMAR, 2014).

Das 1999 begonnene Forschungsvorhaben „Standorte der Holzwirtschaft - Holzrohstoffmonitoring“ wird am Institut für internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie des Thünen Institutes als „Rohstoffmonitoring HOLZ“ fortgeführt und optimiert, um die Produktionskapazitäten der Holzindustrie (Sägeindustrie, Holzwerkstoffindustrie, Holz- und Zellstoffindustrie) und deren Rohstoffbedarf sowie andere Bereiche des Aufkommens und der Verwendung kontinuierlich zu erfassen. Das Monitoring schließt dabei auch Altholz, Landschaftspflegeholz, Schnellwuchsplantagen, Biomasseheizanlagen, synthetische Kraftstoffe, Chemierohstoffe und Haushalte mit ein. Eine regionale Darstellbarkeit ist größtenteils gegeben<sup>30</sup>.

Altholzaufkommen, -marktvolumen, -verwertungspfade und -importmengen im Entsorgungssystem werden im Rahmen des Holzrohstoffmonitorings über die primärstatistische Vollerhebung von Altholz entsorgenden Unternehmen erfasst. Zu den direkt industriell genutzten Mengen und zu Importmengen der Endverwerter gibt es kaum gesicherte Informationen. Aus der Gegenüberstellung von Input und Output ergibt sich eine relativ große, im Entsorgungssystem nicht erfasste Menge (MANTAU u. a., 2012). Verfügbare Altpapiermengen sind maßgeblich durch Einsammelquoten bei Endverbrauchern limitiert. Der Altpapiermarkt ist über Eigenerhebungen des Verbandes Deutscher Papierfabriken erfasst (VDP, 2014).

### Energetische Nutzung

Das Erneuerbare Energien-Gesetz (Renewable Energy Directive) der EU verpflichtet alle Mitgliedstaaten alle zwei Jahre zur Berichterstattung zur Nutzung erneuerbarer Energien. Das ECN (Energy Research Centre of the Netherlands) koordiniert die NREAPs - Fortschrittsberichte (National Renewable Energy Action Plans, (NREAP Germany (idF. v. 2010))). Die Berichte untergliedern die Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen auf nationaler Ebene in den Bereichen: Energie, Heizen/ Kühlen und Kraftstoffe. Die betrachteten Rohstoffkategorien: Waldholz, nachwachsende Rohstoffe, Reststoffe und Nebenprodukte aus Landwirtschaft und Fischerei sowie biogene Abfall- und Reststoffe erlauben keine differenzierten Betrachtungen für einzelne Rohstoffe und Technologiepfade.

---

<sup>30</sup> <http://www.ti.bund.de/de/wf/projekte/rohstoffmonitoring-fuer-holz>

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Wissenschaftliche Vorbereitung und Begleitung der EEG-Monitoringberichte und des EEG-Erfahrungsberichtes für die Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben Ila Biomasse)" wurde am Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ) die Entwicklungen des Anlagenbestandes und der Stromerzeugung aus Biomasse untersucht. Das Vorhaben unterstützt die Erfüllung der regelmäßigen Berichtspflichten der Bunderegierung. Weiterhin werden wissenschaftliche Vorschläge zur Fortentwicklung der Rahmenbedingungen erarbeitet<sup>31</sup>. Mit Hilfe mehrjähriger Betreiberbefragungen in den Bereichen gasförmiger Bioenergieträger (Biogas und Biomethan) sowie fester und flüssiger Bioenergieträger wurden Datensätze zum Substrateinsatz, zur Vergütungsstruktur, zur Anlagentechnik sowie zur Flächennutzung von Energiepflanzen erzeugt und ausgewertet. Eine Verifizierung und Plausibilisierung der Befragungsergebnisse erfolgt durch einen Abgleich mit verfügbaren statistischen Daten.

In Kooperation mit dem Privaten Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH (INL) und der Bosch & Partner GmbH analysiert das DBFZ weiterhin die im Bereich der Stromerzeugung eingesetzten Biomassen nach Art und Menge, der aktuellen Zusammensetzung (Substrat- / Brennstoffmix) und den Substrat- und Brennstoffeinsätzen zur Stromerzeugung auf Bundeslandebene. Eine weitere Differenzierung erfolgt hinsichtlich der Leistungsgrößen der Anlagen und regionaler Unterschiede sowie der Inanspruchnahme von Anbauflächen. Das INL betrachtet weiterhin Änderungen der Fruchtfolgen im Zuge des Energiepflanzenanbaus und Auswirkungen auf die Grünlandbewirtschaftung (SCHEFFELOWITZ u. a., 2014).

Bezüglich der Rohstoffbasis für in Deutschland genutzte Biokraftstoffe existieren kaum valide Datenquellen, verfügbare Daten weichen teilweise stark voneinander ab. Für die Biokraftstoffproduktion kommen traditionell vor allem Pflanzen oder Pflanzenteile aus landwirtschaftlicher Produktion zum Einsatz. Zunehmend werden auch alternative Rohstoffe eingesetzt, die als biogene Nebenprodukte oder Abfälle bei der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln oder anderweitiger stofflicher Nutzung anfallen. Im Rahmen der Zertifizierung von Biokraftstoffen erfasst die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung eingesetzte Rohstoffmengen (NAUMANN u. a., 2014).

Biogene Festbrennstoffe werden überwiegend in Einzelraumfeuerungen und Heizkesseln (Kleinfeuerungsanlagen) eingesetzt. In der amtlichen Energiestatistik werden diese Anlagen jedoch nicht ausreichend erfasst. Eine Datenbereitstellung zur energetischen Nutzung von Biomasse im Wärmesektor (Anlagenbestand und Brennstoffeinsatz) ist im Rahmen der Brennstoffstatistik generell vorgesehen und wird am DBFZ gegenwärtig in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks weiter verbessert. Die Nutzung von biogener Wärme im Bereich Handel, Gewerbe und Dienstleistungen ist dagegen mit sehr hohen Unsicherheiten versehen (VIEHMANN u. a., 2011).

Graubereiche bei der energetischen Nutzung sind die Rohstoffbereitstellung im privaten Bereich (Gärten, Selbstwerbung etc.) sowie der Verkauf von biogenen Energieträgern über den offenen Markt (z. B. Grüngas oder im Rahmen von Ökostrom).

---

<sup>31</sup> [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/Berichte/Monitoring\\_ZB\\_Mai\\_2014.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Berichte/Monitoring_ZB_Mai_2014.pdf)

### Exkurs Nutzungskaskade

Nach (KOSMOL u. a., 2012) sind Nutzungskaskaden: „Eine Strategie, Rohstoffe oder daraus hergestellte Produkte in zeitlich aufeinander folgenden Schritten so lange, so häufig und so effizient wie möglich stofflich zu nutzen und erst am Ende des Produktlebenszyklus energetisch zu verwerten.“ Dabei werden sogenannte Nutzungskaskaden durchlaufen, die von höheren Wertschöpfungsniveaus in tiefere Niveaus fließen. Hierdurch wird die Rohstoffproduktivität gesteigert. Arnold u. a. beschreiben die Kaskadennutzung als sequentielle Nutzung von Biomasse die zumeist mit der energetischen Verwertung der Biomasse endet (ARNOLD u. a., 2009). Das Konzept der Kaskadennutzung ist eng mit den Themen Ressourceneffizienz (vgl. Vergleich Exkurs Effizienz), Kreislaufwirtschaft und Recycling verknüpft (ESSEL u. a., 2014). Die Entwicklung von Methoden zur Bestimmung von Kaskadenfaktoren und Synergieeffekten im Rahmen von Nachhaltigkeitsbewertungen und der Analyse von Biomassepotenzialen haben zu einer Vielzahl unterschiedlicher (theoretischer) Ansätze und Definitionen geführt (DORNBURG, 2004; KEEGAN u. a., 2013).

Traditionell spielt Kaskadennutzung in der Holzwirtschaft eine große Rolle. Deshalb gibt es speziell in diesem Bereich konkrete Ansätze zur Quantifizierung der „Kaskadenqualität“, d. h. der Häufigkeit der Wiederverwendung der eingesetzten forstwirtschaftlichen Biomasse. Dazu werden die Rohstoffflüsse zwischen den Quellen und Senken der Holznutzung untersucht. Der Kaskadenfaktor berechnet sich dann anhand der Ressourcenbilanz (Wood Resource Balance) aus dem Verhältnis von eingesetztem Rohstoff (Wald Holz) zur Holznutzung über die gesamte Nutzungskaskade (inkl. Altholz, Reststoffe, etc.). Je höher der Kaskadenfaktor, umso „intensiver“ wird die Ressource genutzt. Ein Kaskadenfaktor von 1 bedeutet dementsprechend eine Nutzung ohne Kaskade (MANTAU, 2010). Eine Schwierigkeit bei der Anwendung dieser Methode ist die Datenverfügbarkeit und deren Aktualität.

CARUS u. a. umschreiben Kaskadennutzen mit „Ressourcenstreckung“ und leiten einen Faktor für Mehrfachnutzung von Rohstoffen (MFN) ab. Dieser ergibt sich aus der Recyclingrate je Nutzenzyklus im Verhältnis zu neu zugeführtem Rohstoff. Aufgrund von Konsistenzproblemen wurde dieser Ansatzes jedoch wieder verworfen und einer zukünftigen Weiterentwicklung des zugrunde liegenden Konzeptes anheimgestellt (CARUS u. a., 2014). Die Komplexität von Kaskadenprozessen der stofflichen Biomassennutzung erfordert weitere Forschungsarbeit um Indikatoren zu entwickeln, die „Kaskadenqualitäten“ zuverlässig abbilden können.

## Fazit Kapitel 7

### Vorhandene Grundlagen

Monitoringmethoden existieren für die verschiedenen Rohstoffklassen auf unterschiedlichen Entwicklungsstadien und in variabler Auflösung. Die Bestimmung von Potenzialen bedarf der Definition klarer Systemgrenzen und Randbedingungen. Potenzialebenen werden je nach Forschungsfrage unterschieden und definiert (z. B. theoretische, technische, wirtschaftliche, nutzbare und nachhaltige Potenziale). Der Berechnungsaufwand steigt mit dem Grad der Konkretisierung und der Anzahl zu berücksichtigender Faktoren. Dementsprechend sind je nach Potenzialebene verschiedene Modularelemente erforderlich, die je nach Zielgröße und angestrebtem Detailgrad (räumliche, zeitliche Auflösung, berücksichtigte Restriktionen etc.) kombiniert werden.

Die wichtigsten vorhandenen Grundlagendaten bilden die Landwirtschaftszählungen (alle 10 Jahre), die Agrarstrukturerhebungen (alle 2 Jahre) die Bundeswaldinventuren (alle 10 Jahre) und die Abfallstatistik (jährlich). Die entsprechenden Daten sind verfügbar und können für ein Monitoring der Bioökonomie verwendet werden.

Die aktuellste Zusammenfassung und Gegenüberstellung von Biomassepotenzialdaten für Deutschland wurden unter Koordination des DBFZ im Projekt BIOPOT erstellt. Aus dieser Zusammenstellung lassen sich die höchsten ungenutzten Biomassepotenziale ableiten. Für einige Biomassen (z. B. aus der Landschaftspflege, Klärschlamm), existieren derzeit keine belastbaren Datengrundlagen. Die Ergebnisse werden demnächst veröffentlicht<sup>32</sup>.

### Handlungsbedarf

Die Zielgrößen, Systemgrenzen und Rahmenbedingungen für ein zukünftiges Biomassemonitoring müssen definiert und eine Methodenharmonisierung unter Berücksichtigung der biomassespezifischen Berechnungswege durchgeführt werden.

Für ein regelmäßiges Monitoring ist die Etablierung einer automatisierten Datenabfrage auf Basis von Daten der Agrarstrukturerhebung, Landwirtschaftszählung, Bundeswaldinventur und Abfallstatistik zur Ermittlung des theoretischen und technischen Potenzials anzuraten. Durch Freigabe von relevanten InVeKoS-Daten für ein Monitoring, könnten feldblockscharfer Informationen genutzt werden.

Die Erstellung nationaler Stoffstrommodelle (wie z. B. für Holz in Abbildung 1 dargestellt) ist notwendig, um potenziell durch Kaskadennutzung und Stoffstromumlenkung verfügbare Potenziale zu ermitteln. Weiterhin könnten Nachhaltigkeitsindikatoren (Absatz 6) an diese Modelle gekoppelt werden. Die notwendige Detailtiefe der Stoffstromerhebungen (mit einer Auflösung der Stoffströme auf ein Niveau innerhalb von Industriesektoren) steht zur Diskussion.

Ein wichtiger mittelfristiger Handlungsbedarf besteht in der Vernetzung datenhaltender Einrichtungen und biomasserelevanter Ressortforschung. Die institutionelle Kooperation und Koordination hinsichtlich Methodenharmonisierung und Datenaustausch sind Grundvoraussetzung für ein solides Monitoring.

---

<sup>32</sup>

<http://www.fnr.de/index.php?id=911&alles=1&status=Inhalt&fkz=22020114&suche=Stichwort%20eingeben!&suchefkz=22020114&sucheadresse=Namen%20eingeben!&von=01.04.1992&bis=01.04.2015&zeitraum=formular&minz=0&maxz=10&anzahl=10&zurueck=1>

## 8 Berücksichtigung von Bewertungskriterien bei der Gestaltung eines Bioökonomie-Monitoring

Die vorliegende Zusammenstellung zeigt deutlich, dass für die Beschreibung unterschiedlicher ökonomischer, ökologischer und sozialer Kenngrößen für die Bewertung von Nachhaltigkeit und Biomassepotenzialen im Umfeld der Bioökonomie vielfältige Indikatoren und Methoden vorliegen. Diese unterscheiden sich in:

- der Art der Erhebung notwendiger Eingangsdaten (Statistiken, regelmäßige Erhebungen, Einzelstudien, nicht-öffentliche Daten),
- der Abstraktionsebene (von kompartment-bezogenen Umweltindikatoren bis hin zu kumulierten Indikatoren auf einer sektoraler und/ oder volkswirtschaftlicher Ebene),
- dem Entwicklungsstand bei der Operationalisierung (einige Indikatoren werden bereits konkret im Rahmen von Monitoring- oder Zertifizierungsaktivitäten eingesetzt, bei anderen fehlen für eine ausreichende Operationalisierung die geeignete Datenbasis oder entsprechende Methoden),
- dem Geltungsbereich entlang der unterschiedlichen Prozesse und Ebenen der Wertschöpfungskette (so adressieren einige Indikatoren bestimmte Effekte in Verbindung mit der Rohstoffherzeugung, andere fokussieren auf technische Größen der Konversionsprozesse).

Für die Frage der Nutzbarkeit dieser umfassenden Darstellung von Kenngrößen für Nachhaltigkeit und Biomassepotenziale, bzw. im ersten Schritt für die Auswahl von besonders geeigneten Kenngrößen sind verschiedene Folgeschritte notwendig um zu einem systematischen, handhabbaren, transparenten und entwicklungsfähigen Monitoringansatz zu gelangen. Diese werden im Folgenden reißbrettartig skizziert.

### 8.1 Notwendige Schritte für die Konzeptionierung des Monitorings

Um die für ein Monitoring der Bioökonomie in den Bereichen Biomassepotenziale und Nachhaltigkeit relevanten Indikatoren einzugrenzen, sind im Vorfeld folgende Fragen zu klären:

1. Was sind die spezifischen Anforderungen bzw. Herausforderungen, die die Bioökonomie an Nachhaltigkeit und Biomasseressourcen stellt?
2. Was sind konkrete/prioritäre Entwicklungsziele der Bioökonomie in Hinblick auf Nachhaltigkeit und Biomassepotenziale? Sind diese ggf. quantifiziert?
3. Was sind begrenzende Faktoren und Risiken in den Bereichen Nachhaltigkeit und Biomassepotenziale, die die Bioökonomie nach dem Vorsorgeprinzip schützen und minimieren muss?
4. Kann an bestehende Zertifizierungsansätze (z. B. im Rahmen der EU RED für Bioenergie oder bestehenden Zertifizierungsframeworks) und Berichterstattungssysteme (z. B. das nationale Nachhaltigkeitsmonitoring) angeknüpft werden?

Es ist zu erwarten, dass die entsprechenden Einschätzungen, Prioritäten und Wertesysteme in Bezug auf geeignete Kenngrößen des Monitorings sich während eines andauernden Implementierungsprozesses der Bioökonomie verändern. Dennoch können bereits jetzt- gemäß der Strategie- und



Forschungsschwerpunkte zur Bioökonomie - folgende Prioritäten für ein Monitoring der Bioökonomie abgeleitet werden:

1. Besondere Anforderungen ergeben sich aus der **Sektorübergreifenden Verknüpfung von Prozessen und Produkten**. Dies wiederum macht ein Monitoring der Stoffströme entlang des Lebensweges von der Produktion unter Beachtung von Koppel- und Kaskadennutzungen bis zur Verwertung innerhalb der relevanten Wirtschaftsbereiche notwendig. Weiterhin gilt der **Vorrang der Ernährungssicherung**, was insbesondere der Berücksichtigung landwirtschaftlicher Biomassen auf internationaler Ebene Relevanz verleiht. Mit der Betonung des **Innovationspotenzials** der Bioökonomie erhält zudem die spezifische Wertschöpfung bezogen auf die eingesetzten Ressourcen einen hohen Stellenwert.
2. Quantitative Entwicklungsziele für die Bioökonomie sind bisher nicht formuliert. Generell ist die Bioökonomie in die **nachhaltige Entwicklung** eingebunden, d.h. die entsprechenden Ziele und Messgrößen (21 Schlüsselbereiche für eine nachhaltige Entwicklung (DIE BUNDESREGIERUNG, 2002) sollten durch Bioökonomieaktivitäten nachweislich unterstützt werden. Hier bestehen in vielen Bereichen deutliche Wechselwirkungen. Hervorzuheben ist die sehr große Bedeutung von Bioökonomie für den **Klimaschutz**, da durch die Rohstoffbereitstellung einerseits potenziell Klimagase im Bereich Land- und Forstwirtschaft freigesetzt werden können, andererseits bei der intelligenten Substitution fossiler Rohstoffe ein hohes Einsparpotenzial besteht.
3. Hinsichtlich der sensiblen Faktoren für die Bioökonomie in der Kurz- und Mittelfristperspektive wird die **produktive Landfläche** (Acker, Grasland, Wald) gegenwärtig als zentral gesehen. Ihre generelle Begrenztheit, ihre vielfältigen sozio-ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Wechselwirkungen und schließlich auch ihre komplexe Wechselwirkung mit dem **globalen Kohlenstoffhaushalt** lassen es sinnvoll erscheinen, den Flächenbedarf der Bioökonomie als relevante Entwicklungsgröße zu etablieren. Gleichzeitig ergibt sich aus der Flächenrestriktion auch die Anforderung einer zunehmenden und hochwertigen Nutzung von biogenen Reststoffen aus allen Sektoren (Land- und Forstwirtschaft, sonstige Flächennutzung, Industrie, Siedlungsabfall).

Damit ergeben sich – auch ohne quantitative Entwicklungsziele prioritäre Bereiche, die in einem Monitoring adressiert werden sollten.

## 8.2 Prozesse zur Konkretisierung und Definition von Zielindikatoren, Steuergrößen und Schutzgrößen

Die in den Kapiteln 6 und 7 dargestellten Indikatoren und Methoden bilden eine Grundlage für den Umgang und die konkrete Ausgestaltung der Kenngrößen für Nachhaltigkeit und Biomassepotenziale in einem Monitoring der Bioökonomie. Wie bereits dargestellt, muss die Herleitung bzw. Auswahl der relevanten Monitoringkenngrößen durch einen geeigneten Prozess (unter Beteiligung relevanter Akteure) abgesichert werden. Auf Basis der bisherigen Betrachtungen und den gesammelten Erfahrungen im Kontext der Biomassenutzung, könnten als erste Grundlage für einen solchen Prozess, die folgenden Kenngrößen verwendet werden.

Die primär mit einer biobasierten Wirtschaft verbundenen Entwicklungsziele können mit Hilfe von **Zielindikatoren** ausgedrückt werden. Erste Vorschläge hierfür sind:

- steigende Wertschöpfung pro genutzter Flächeneinheit,
- steigender Beitrag zur Klimagasreduktion durch die Bioökonomie.

Mit Hilfe von **Steuergrößen** kann der Fortschritt in Bezug auf die definierten Zielindikatoren im Rahmen eines Monitoringprozesses überprüft und dargestellt werden. Unter Berücksichtigung der bislang diskutierten Ziele und bestehenden Erfahrungen im Bereich der stofflichen und energetischen Biomassenutzung, könnten die folgenden **Steuergrößen** zum Monitoring der Entwicklung der Bioökonomie in Bezug auf die dargestellten **Zielindikatoren** genutzt werden:

- erzielte Wertschöpfung pro eingesetzte Biomasseeinheit:

Aus politischer und gesellschaftlicher Sicht können für ein Bioökonomie-Monitoring einzelne volkswirtschaftliche Effekte von besonderem Interesse sein. Innerhalb der Nationalen Politikstrategie Bioökonomie und der Forschungsstrategie Bioökonomie werden unterschiedliche ökonomische Leitgedanken verfolgt (Steigerung der Wertschöpfung, weitere Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch, Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit, Fachkräfteeinsatz, Förderung von KMU). Innerhalb Tabelle 1 wurden verschiedene ökonomische Indikatoren zusammengestellt, die unter anderem diese Leitgedanken adressieren. Dabei wurde festgestellt, dass bereits eine Reihe von Indikatoren im Rahmen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung für Deutschland durch das Statistische Bundesamt ermittelt werden, welche auch auf ein Bioökonomie-Monitoring übertragbar sind. Um mit Hilfe eines Monitoringansatzes einer differenzierten Betrachtung der einzelnen Sektoren der Bioökonomie gerecht zu werden, ist zu überprüfen inwieweit Anpassungen bzw. Weiterentwicklungen von den dabei verwendeten Methoden notwendig und möglich sind.

- kumulierte THG-Einsparung durch Bioökonomie:

Der mögliche Beitrag unterschiedlicher Sektoren der Bioökonomie zur Einsparung von THG-Emissionen kann auf Basis der Ökobilanzierungsmethodik (siehe Tabelle 1) bestimmt werden. Die Methoden für eine solche Analyse sind grundsätzlich verfügbar. Für eine entsprechende Analyse im Rahmen eines Monitorings müssten bestimmte vereinfachende methodische Annahmen (z. B. zum sinnvollen Aggregieren bestimmter Produktgruppen und zur Wahl geeigneter Referenzsysteme etc.) getroffen werden. Die notwendigen Eingangsdaten können im Rahmen des Monitoringprozesses erfasst werden.

- durch die Bioökonomie substituierte fossile Ressourcen:

Die Substitution fossiler Rohstoffe und der vermehrte Einsatz von erneuerbaren Ressourcen werden wiederkehrend als wichtiges Ziel in der Nationalen Bioökonomiestrategie formuliert. Motivation für dieses Ziel ist die Reduktion der Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Rohstoffen und die Entwicklung von nachhaltigen Rohstoffalternativen. Um entsprechende Indikatoren für ein Bioökonomie-Monitoring weiter zu operationalisieren kann auf den, in Kapitel 6 diskutierten „ökonomischen Indikatoren“, aufgebaut werden. Insbesondere die stoffstrombasierten



Indikatoren zur Rohstoffherkunft ermöglichen eine Quantifizierung der Substitution fossiler Ressourcen. Es ist jedoch wünschenswert, nicht nur die Substitution bei bestehenden Prozessen und Produkten in das Monitoring miteinzubeziehen, sondern auch Produkt- und Prozessinnovationen wie z. B. neue Produktlebenszyklen, neue Materialien und geänderte Konsumstrukturen zu berücksichtigen. Wichtige Elemente können hier Dynamiken sein, die auf sozialen Innovationen beruhen (Beispiel: Prosument). Indikatoren, die nur Substitution bewerten, laufen deshalb Gefahr kein vollständiges Bild der Ressourcennutzung zu zeichnen. Die Ausarbeitung eines geeigneten Indikatoren-Ansatzes bedarf noch weiterer Untersuchung.

- für die Bioökonomie nutzbare Biomasse bzw. noch erschließbare Biomasse:

Für die gezielte Entwicklung einer nachhaltigen biobasierten Wirtschaft sollte ein Monitoring der Bioökonomie neben der Biomassenutzung auch die Ebene der Biomassepotenziale berücksichtigen. So können Biomasseangebot und -nutzung regelmäßig erfasst und eventuell notwendige Steuerungsmaßnahmen zur Erschließung noch ungenutzter Biomassepotenziale bzw. zur Vermeidung etwaiger Übernutzung bestimmter Biomassefraktionen entwickelt werden.

- zunehmender Anteil von biobasierten Produkten mit nachweislich nachhaltiger Rohstoffbasis:

In den letzten Jahren haben sich auf unterschiedlichen Ebenen Zertifizierungsansätze mit der Operationalisierung von ausgewählten Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche und energetische Biomassenutzung beschäftigt. Diese Ansätze sind auch für die breite Rohstoffbasis und -nutzung im Kontext der Bioökonomie nutzbar. Entsprechende Zertifikate können die Einhaltung bestimmter Nachhaltigkeitskriterien bei der Rohstoffherzeugung, -verarbeitung und -nutzung dokumentieren. Im Bereich der Nachhaltigkeitszertifizierung für Biokraftstoffe existiert eine umfassende Struktur zur Berichterstattung. Ähnliche Ansätze sind auch für andere Bereiche der Biomassenutzung denkbar.

- weitere Steuergrößen, welche sich gegebenenfalls aus ganzheitlichen Modellbetrachtungen ergeben (v.a. in Hinsicht auf den Kohlenstoffkreislauf)

Auf der Basis der hier diskutierten Steuergrößen kann die Entwicklung der Bioökonomie in Bezug auf ausgewählte Kenngrößen erfasst und diskutiert werden. Etwaige Fehlentwicklungen können so frühzeitig erkannt und Prozesse zu deren Korrektur entwickelt werden. Für die Funktionsfähigkeit eines Monitoringsystems ist es erforderlich, die Menge der betrachteten Indikatoren insgesamt zu limitieren. Um jedoch potenzielle negative Effekte der biobasierten Wirtschaft auch in Bereichen zu erkennen, welche nicht zwangsläufig direkt über die gewählten Indikatoren abgedeckt sind, sollten besonders sensible Bereiche oder **Schutzgrößen** frühzeitig identifiziert werden. Hier sollte geprüft werden, inwieweit eine Anschlussfähigkeit des Monitoringsystems an bestehende Berichterstattungen (z. B. im Bereich der Emissionsberichterstattung, der Umweltberichterstattung, etc.) besteht um Wechselwirkungen zwischen einer wachsenden biobasierten Wirtschaft und diesen Sektoren zu erkennen (siehe Abbildung 7).

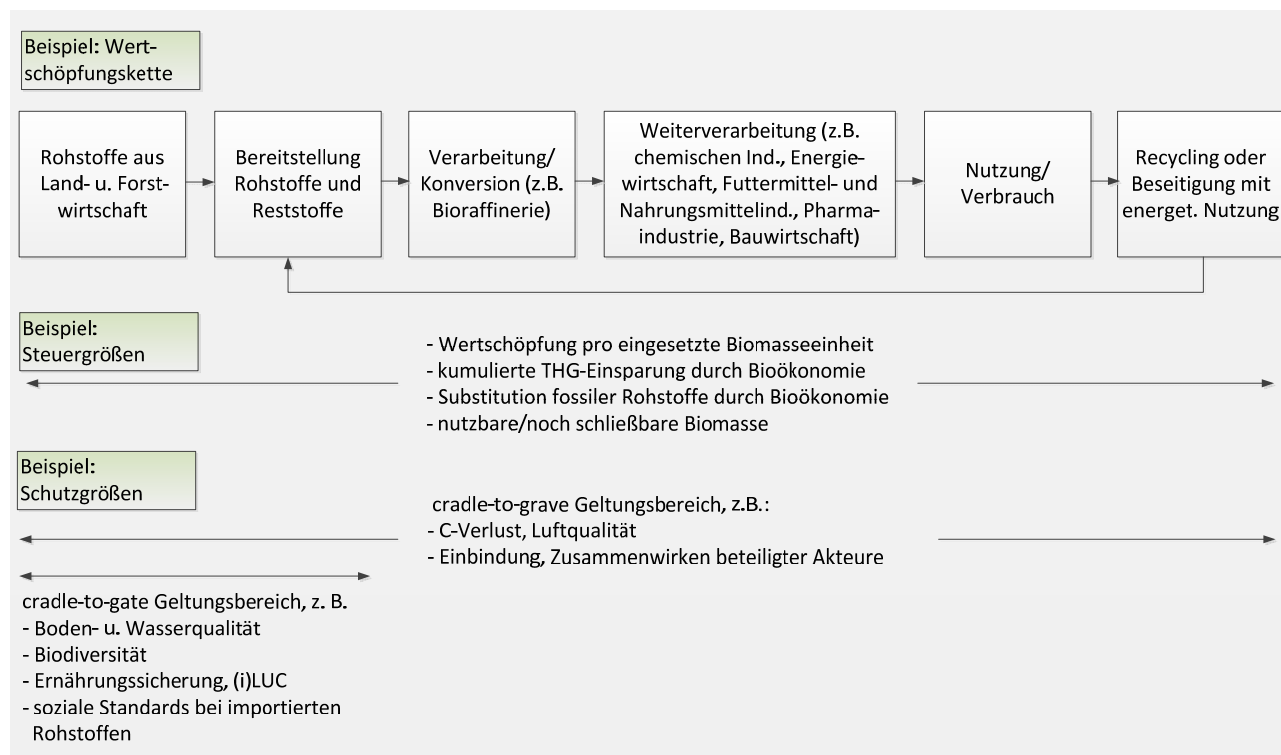


Abbildung 7 Verschiedene Ebenen beispielhafter Indikatorgrößen für eine Monitoring der Bioökonomie

### 8.3 Sicherstellung der Anschlussfähigkeit und Weiterentwicklung

Für eine breite Akzeptanz der Bioökonomie und für die Sicherstellung eines mittel- und langfristig wirksamen Monitoringinstruments sollten die relevanten Monitoringgrößen und das Monitoringkonzept mit Hilfe eines geeigneten Dialogprozesses mit relevanten Akteuren aus der Wissenschaft, der interessierten Öffentlichkeit und der Wirtschaft diskutiert und abgeglichen werden. Um ein Monitoring der Bioökonomie frühzeitig zu implementieren, können die aus den Vorüberlegungen resultierenden Indikatoren für eine erste Phase des Monitorings genutzt und falls notwendig, auf der Basis eines solchen Prozesses zum regelmäßigen Austausch (z. B. alle zwei Jahre) angepasst und weiterentwickelt werden.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Stoffstrom der Holznutzung in Deutschland (MANTAU, 2012).....	17
Abbildung 2 Beispielhafte Wertschöpfungskette .....	18
Abbildung 3 Ableitung von Indikatoren vom übergeordneten Ziel einer nachhaltigen Entwicklung der Bioökonomie.....	19
Abbildung 4 Geltungsbereich der Indikatoren entlang der Wertschöpfungskette.....	22
Abbildung 5 Unterschiedliche Ebenen des Biomassepotenzials .....	56
Abbildung 6 Anwendbare Methodenmodule (rote Felder), die bei der Berechnung landwirtschaftlicher Biomassepotenziale einfließen können. (Quelle: Eigene Darstellung DBFZ) Am Beispiel der „Strohstudie“ (Zeller u. a., 2012) wird ein Berechnungspfad (grüne Felder) der Module für die Berechnung von Strohpotenzialen verdeutlicht.....	60
Abbildung 7 Verschiedene Ebenen beispielhafter Indikatorgrößen für eine Monitoring der Bioökonomie .....	90

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Indikatoren und Methoden einer nachhaltigen Entwicklung der Bioökonomie.....	23
Tabelle 2 Übertragbarkeit der Methoden und Anwendung in bestehenden Ansätzen.....	45
Tabelle 3 Methodenmodule zur Berechnung landwirtschaftlicher Anbaubiomasse, Nebenprodukte und Reststoffet .....	63
Tabelle 4 Methodenmodule zur Potenzialberechnung in Forst- und Holzwirtschaft. ....	71
Tabelle 5 Methodenmodule zur Potenzialberechnung kommunaler Abfall- und Reststoffe.....	74

## Literatur- und Referenzverzeichnis

- AbfklärV – Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 12 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist
- AGOSTINI, ALESSANDRO ; GIUNTOLI, JACOPO ; BOULAMANTI, AIKATERINI: *Carbon Accounting of Forest Bioenergy. Conclusions and Recommendations from a Critical Literature Review, JRC Technical Reports* : Joint Research Center, 2013
- ARNOLD, KARIN ; VON GEIBLER, JUSTUS ; BIENGE, KATRIN ; STACHURA, CAROLINE ; BORBONUS, SYLVIA ; KRISTOF, KORA: *Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen: Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung, Wuppertal Papers* (Wuppertal Papers Nr. 180). Wuppertal : Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 2009
- BILLETTER, R. ; LIIRA, J. ; BAILEY, D. ; BUGTER, R. ; ARENS, P. ; AUGENSTEIN, I. ; AVIRON, S. ; BAUDRY, J. ; BUKACEK, R. ; u. A.: Indicators for Biodiversity in Agricultural Landscapes. A Pan-European Study. In: *Journal of Applied Ecology* Bd. 45 (2008), Nr. 1, S. 141–150
- BioAbfV – Bioabfallverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. April 2013 (BGBl. I S. 658), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 5. Dezember 2013 (BGBl. I S. 4043) geändert worden ist
- BONTEMPS, S. ; DEFOURNY, P. ; VAN BOGAERT, E.: *GLOBCOVER 2009. Product description manual* (2010)
- BOOCKMANN, BERNHARD ; DÖHRN, ROLAND ; GRONECK, MAX ; VERBEEK, HANS: *Abschätzung des Ausmaßes der Schwarzarbeit* : Institut für Angewandte Wirtschaftsforschung e.V., 2010
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (BMAS) ; BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN (BAUA) (Hrsg.): *Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2012. Unfallverhütungsbericht Arbeit*, 2014
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG: *Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft*. Bonn, Berlin, 2010
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF): *Bioökonomie in Deutschland - Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft*. Berlin, 2014
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: *Politikstrategie Bioökonomie. Nachwachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie*. Berlin, 2013
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT: *Nationale Politikstrategie Bioökonomie Nachwachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie*. Berlin : Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2014
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: *Fortschrittsbericht nach Artikel 22 der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, BMWi* (2011)
- CAPRIEL, PETER ; SEIFFERT, DETLEF: *20 Jahre Boden Dauerbeobachtung in Bayern. Teil 3. Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft*. Bd. 10/2009 : Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2009

- CARUS, MICHAEL ; RASCHKA, ACHIM ; FEHRENBACH, HORST ; RETTENMAIER, NIELS ; DAMMER, LARA ; KÖPPEN, SUSANNE ; THÖNE, MICHAEL ; DOBROSCHKE, STEPHAN ; DIEKMANN, LAURA ; U. A.: *Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse - Langfassung* : UBA, 2014
- CLINI, C. ; REBUA, M. ; ERICSON, S.-O.: *The global bioenergy partnership sustainability indicators for bioenergy*. first edition. Aufl. Rom : Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2011
- Cross-Compliance – Council Regulation (EC) No 73/2009 of 19 January 2009 Establishing Common Rules for Direct Support Schemes for Farmers under the Common Agricultural Policy and Establishing certain Support Schemes for Farmers. Amending Regulations (EC) No 1290/2005, (EC) No 247/2006, (EC) No 378/2007 and Repealing Regulation (EC) No 1782/2003
- DANIELA THRÄN ; ELMAR FISCHER ; UWE FRITSCHKE ; KLAUS HENNINGBERG ; KATJA ÖHMICHEN ; DIANA PFEIFFER ; RALS SCHMERSAHL ; TORSTEN SCHRÖDER ; VANESSA ZELLER ; U. A.: *Methodenhandbuch Methoden zur stoffstromorientierten Beurteilung für Vorhaben im Rahmen des BMU-Förderprogramms* (2010)
- DEUTSCHER BUNDESTAG: *Düngeverordnung – Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 18 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist*, 2006
- DEUTSCHER VERBAND FÜR LANDSCHAFTSPFLEGE E.V. (DVL): *Vom Landschaftspflegematerial zum Biogas - ein Beratungsordner*. In: *DVL-Schriftenreihe „Landschaft als Lebensraum“* Bd. 22 (2014)
- DIE BUNDESREGIERUNG: *Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung*. (2002)
- DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *DIN EN ISO 14040 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)*, Beuth Verlag GmbH, Berlin (2009)
- DirektZahlVerpflV – *Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung vom 4. November 2004 (BGBl. I S. 2778), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 15. Dezember 2011 (eBAZ 2011 AT144 V1) geändert worden ist*
- DORNBURG, VERONIKA: *Multi-functional biomass systems*. Utrecht : Universiteit Utrecht, Faculteit Scheikunde, 2004
- DüV – *Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist*
- EER – *RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG*
- ESSEL, ROLAND ; BREITMAYER, ELKE ; CARUS, MICHAEL ; FEHRENBACH, HORST ; GEIBLER, JUSTUS V. ; BIENGE, KATRIN ; BAUR, FRANK: *Discussion paper: Defining cascading use of biomass*, nova-Institut GmbH (2014)
- EUROPÄISCHES PARLAMENT & EUROPÄISCHER RAT: *Beschluss Nr. 529/2013/ EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Mai 2013 über die Anrechnung und Verbuchung von Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen infolge von Tätigkeiten im Sektor*

- Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft und über Informationen zu Maßnahmen in Zusammenhang mit derartigen Tätigkeiten, 2013
- FALKENMARK, MALIN ; LUNDQUIST, JAN ; WIDSTRAND, CARL: Macro-Scale Water Scarcity Requires Micro-Scale Approaches. Aspects of Vulnerability in Semi-Arid Development. In: *Natural Resources Forum* Bd. 13 (1989), Nr. 4, S. 258–267
- FAO: *The State of Food Insecurity in the World 2008. High Food Prices and Food Security. Threats and Opportunities*. Rome : FAO, 2008
- FAO ; IFAD ; WFP: *The State of Food Insecurity in the World. Strengthening the Enabling Environment for Food Security and Nutrition*. Rome : FAO, 2014
- FARGIONE, JOSEPH ; HILL, JASON ; TILMAN, DAVID ; POLASKY, STEPHEN ; HAWTHORNE, PETER: Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. In: *Science* Bd. 319 (2008), S. 1235–1238
- FNR: Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. - Datensammlung (2011)
- FNR: *Basisdaten Bioenergie Deutschland*. 9. Aufl. Gülzow : Selbstverlag, 2012
- FRIEB, H. ; BÜRINGER, H. ; DETZNER, K. ; HARTMANN, J. ; MARTONE, O. ; RADEMACHER, J. ; SPOHR, J. ; TESSMER, G. ; ZIMMERMANN, R.: *5. Erfahrungsbericht 2014 zu umweltbezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“*, 2014
- GAIKER TECHNOLOGY CENTRE: *AWARENET: Handbook for the prevention and minimisation of waste and valorisation of by-products in European agro-food industries*, 2004
- GBEP: *The Global Bioenergy Partnership Common Methodological Framework for GHG Lifecycle Analysis of Bioenergy. Version One*. : The Global Bioenergy Partnership, 2010
- GBEP: *The Global Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for Bioenergy. First Edition* : The Global Bioenergy Partnership, 2011
- GWSP: *GWSP Digital Water Atlas - Home*. URL <http://atlas.gwsp.org/>. - abgerufen am 2015-03-02
- VON HAUFF, M. ; KLEINE, A.: *Nachhaltige Entwicklung - Grundlagen und Umsetzung*. München, 2009
- HAYWARD, ROB ; MCLEAN, EDD ; JHANJI, ANGELA: *The Consumer Study. From Marketing to Mattering. The UN Global Compact-Accenture CEO Study on Sustainability* : Accenture, 2014
- HEIJUNGS, R.: From thermodynamic efficiency to eco-efficiency. In: *Quantified Eco-Efficiency – An Introduction with Applications* : Huppes, G. & Ishikawa, M., 2007
- HEIJUNGS, REINOUT ; SUH, SANGWON: *The Computational Structure of Life Cycle Assessment*. Dordrecht : Springer Science and Business Media, 2002
- HERZOG, F. ; BALÁZS, K. ; DENNIS, P. ; FRIEDEL, J. ; GEIJENDORFFER, I. ; JEANNERET, P. ; KAINZ, M. ; POINTEREAU, P. (Hrsg.): *Biodiversity indicators for european farming systems. A guidebook*, Art-Schriftenreihe. Bd. 17 : Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz -Tänikon Art, 2012
- HOEKSTRA, ARJEN Y. ; CHAPAGAIN, ASHOK K. ; ALDAYA, MAITE M. ; MEKONNEN, MESFIN M.: *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard* : Earthscan, 2011



- HÜLSBERGEN, K.-J.: *Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme*. Aachen, 2003
- INRO: *Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Biomassenutzung*: Initiative Nachhaltige Rohstoff bereitstellung für die stoffliche Biomassenutzung (INRO), 2013
- INRO: *Empfehlung für die Nutzung von Zertifizierungssystemen durch INRO*: Initiative Nachhaltige Rohstoffbereitstellung für die stoffliche Biomassenutzung, 2014
- JÖRß, WOLFRAM ; EMELE, LUKAS ; SCHEFFLER, MARGARETHE ; COOK, VANESSA ; HANDKE, VOLKER ; THELOKE, JOCHEN ; THIRUCHITTAMPALAM, BALENDRA ; DÜNNEBEIL, FRANK ; KNÖRR, WOLFRAM ; U. A.: *Luftqualität 2020/2030. Weiterentwicklung von Prognosen für Luftschadstoffe unter Berücksichtigung von Klimastrategien., Texte. Bd. 35* : Umweltbundesamt (UBA), 2014
- JUNKER, FRANZISKA ; HAß, MARLEN ; HUBOLD, GERD ; KREINS, PETER ; SALAMON, PETRA ; SEINTSCH, BJÖRN: *Potenziale einer biobasierten Wirtschaft (Thünen Working Paper 22)*, Braunschweig (2014)
- KALTSCHMITT, MARTIN ; HARTMANN, HANS ; HOFBAUER, HERMANN: *Energie aus Biomasse*. Heidelberg : Springer Verlag, 2009a
- KALTSCHMITT, MARTIN ; HARTMANN, HANS ; HOFBAUER, HERMANN: *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren* : Springer, 2009b – ISBN 9783540850946
- KEEGAN, DEARBHLA ; KRETSCHMER, BETTINA ; ELBERSEN, BERIEN ; PANOUTSOU, CALLIOPE: *Cascading use: a systematic approach to biomass beyond the energy sector*. In: *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* Bd. 7 (2013), Nr. 2, S. 193–206
- KOSMOL, JAN ; KANTHAK, JUDITH ; HERRMANN, FRIEDERIKE ; GOLDE, MICHAEL ; ALSLEBEN, MICHAEL ; PENNBRESSE, GERTRUDE ; SCHMITZ, STEFAN ; GROMKE, ULRICH: *Glossar zum Ressourcenschutz*, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau (2012)
- KTBL: *Faustzahlen Biogas*. 2., Auflage. Aufl.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2009a
- KTBL, KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT: *Faustzahlen für die Landwirtschaft*. 14. Aufl. : Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2009b
- LEITHOLD, G. ; HÜLSBERGEN, K.-J. ; MICHEL, D. ; SCHÖNMEIER, H.: *Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator*. In: *Initiativen zum Umweltschutz*, 5. Osnabrück : Zeller Verlag, 1997, S. 43–54
- MANTAU, U.: *Wood flows in Europe*. Celle, 2012
- MANTAU, UDO: *EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Methodology report*. Hamburg : University of Hamburg, 2010
- MANTAU, UDO ; WEIMAR, HOLGER ; KLOOCK, TOBIAS: *Standorte der Holzwirtschaft Holzrohstoffmonitoring - Altholz im Entsorgungsmarkt – Aufkommens- und Vertriebsstruktur 2010* (Abschlussbericht). Hamburg : Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, 2012
- MCBRIDE, ALLEN C. ; DALE, VIRGINIA H. ; BASKARAN, LATHA M. ; DOWNING, MARK E. ; LAURENCE, M. EATON ; EFROYMSON, REBECCA A. ; GARTEN, CHARLES T. ; KLINE, KEITH L. ; JAGER, HENRIETTE I. ; U. A.: *Indicators to*



- Support Environmental Sustainability of Bioenergy Systems. In: *Ecological Indicators* Bd. 11 (2011), S. 1277–1289
- MEHL, DIETMAR ; HOFFMANN, TIM ; KREBNER, LUTZ: *Regionalisierte Flächenbilanzen für Stickstoff und Phosphor auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in Mecklenburg-Vorpommern* : Biota - Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH, 2013
- NAUMANN, KARIN ; OEHMICHEN, KATJA ; ZEYMER, MARTIN ; MEISEL, KATHLEEN: *Monitoring Biokraftstoffsektor* (Nr. DBFZ Report Nr. 11 (2. Auflage)) : DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, 2014
- NREAP Germany, 2010
- RÜCKERT-JOHN, JANA ; BORMANN, INKA ; JOHN, RENÉ: *Umweltbewusstsein in Deutschland 2012. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage* : Umweltbundesamt, 2012
- SAUTER, PHILIPP ; BILLIG, ERIC ; DÖHLING, FRANK ; PILZ, ANDREAS ; BROSOWSKI, ANDRÉ ; KIRSTEN, CLAUDIA ; BOSCH, JACOB ; BÜCHNER, DANIEL ; MAJER, STEFAN ; U. A.: *Grünlandenergie Havelland - Entwicklung von übertragbaren Konzepten zur Nutzung von halmgutartigen Landschaftspflegematerialien am Beispiel der Region Havelland (Verbundvorhaben)* : DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, 2013
- SCHEFTELOWITZ, MATTES ; DANIEL-GROMKE, JAQUELINE ; RENSBERG, NADJA ; DENYSENKO, VELINA ; HILLEBRAND, KONRAD ; NAUMANN, KARIN ; ZIEGLER, DAVID ; WITT, JANET ; BEIL, MICHAEL ; U. A.: *Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben Ila Biomasse). Zwischenbericht Juni 2014*. Leipzig : DBFZ, 2014
- SCHÜTZ, H. ; BRINGEZU, S.: *Ressourcenverbrauch von Deutschland - aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen*. Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, 2008
- SONNENBERG, ANKE ; CHAPAGAIN, ASHOK ; GEIGER, MARTIN ; AUGUST, DOROTHEA: *Der Wasser-Fußabdruck Deutschlands. Woher stammt das Wasser, das in unseren Lebensmitteln steckt?* : WWF Deutschland, 2009
- VAN DE STAAL, J. ; PETERS, D. ; DEHUE, B. ; MEYER, S. ; SCHUELER, V. ; TOOP, G. ; LÁSZLÓ, M. ; JUNQUERA, V.: *Low Indirect Impact Biofuel (LIIB) methodology*, Ecofys, EPFL, WWF (2012)
- STEINEMANN, MYRIAM ; SCHWEGLER, REGINA ; SPESCHA, GINA ; ITEN, ROLF: *Marktbeobachtung Nachhaltiger Konsum. Entwicklung eines Instrumentes zur Langzeit-Erfassung von Marktanteilen, Trends und Treibern nachhaltigen Konsums, Texte*. Bd. 02/2015 : Umweltbundesamt (UBA), 2015
- THOMAS, JOACHIM: Luftemissionen. Berichterstattung an das Statistische Amt der Europäischen Gemeinschaften ab 2013. In: , *Wirtschaft und Statistik*. Bd. 8/2012 : Statistisches Bundesamt, 2012, S. 682–690
- THRÄN, DANIELA ; LENZ, VOLKER ; ZELLER, VANESSA ; SCHWENKER, ANDRE ; LORENZ, HELGE: *Gutachterliche Einordnung des Landschaftspflegebonus im EEG 2009 (Gutachten)*, DBFZ Leipzig (2009)
- UMWELTBUNDESAMT: *Nachhaltige Entwicklung in Deutschland: die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten*. Berlin : Erich Schmidt, 2002 — ISBN 3503066500 9783503066506
- VDP: *Statistische Kurzinformation deutscher Zellstoff- und Papierfabriken*, Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (2014)

- VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA): *Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden Einflußfaktoren und deren Auswirkungen, Bd. 1* (Mitteilungen), 2009
- VIEHMANN, CORNELIA ; WESTERKAMP, TANJA ; SCHWENKER, ANDRE ; SCHENKER, MARIAN ; THRÄN, DANIELA ; LENZ, VOLKER ; EBERT, MARCEL: *Ermittlung des Verbrauchs biogener Festbrennstoffe im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD-Sektor), DBFZ Report Nr. 10* (Enbericht). Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, 2011
- WEIMAR, HOLGER: *Holzbilanzen 2012 und 2013 für die Bundesrepublik Deutschland, Thünen Working Paper 31*. Hamburg: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, 2014
- WHG – Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 15. November 2014 (BGBl. I S. 1724) geändert worden ist
- ZELLER, VANESSA ; THRÄN, DANIELA ; ZEYMER, MARTIN ; BÜRZLE, BERNHARD ; ADLER, PHILIPP ; PONITKA, JENS ; POSTEL, JAN ; MÜLLER-LANGER, FRANZISKA ; RÖNSCH, STEFAN ; U. A.: *Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung, DBFZ Report ( Nr. 12)*. Leipzig : Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, 2012