

Wackerbauer, Johann et al.

**Research Report**

## Ermittlung wirtschaftlicher Kennzahlen und Indikatoren für ein Monitoring des Voranschreitens der Bioökonomie

ifo-Forschungsberichte, No. 104

**Provided in Cooperation with:**

Ifo Institute – Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich

*Suggested Citation:* Wackerbauer, Johann et al. (2019) : Ermittlung wirtschaftlicher Kennzahlen und Indikatoren für ein Monitoring des Voranschreitens der Bioökonomie, ifo-Forschungsberichte, No. 104, ISBN 978-3-95942-067-9, ifo Institut - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München, München

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/213573>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

## Ermittlung wirtschaftlicher Kennzahlen und Indikatoren für ein Monitoring des Voranschreitens der Bioökonomie

*Johann Wackerbauer, Tilmann Rave, Lara Dammer, Stephan Piotrowski,  
Wiebke Jander, Philipp Grundmann, Sven Wydra, Ulrich Schmoch*



# Ermittlung wirtschaftlicher Kennzahlen und Indikatoren für ein Monitoring des Voranschreitens der Bioökonomie

Schlussbericht  
im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

## **Autoren**

*Dr. Johann Wackerbauer (Projektleitung, ifo Institut),  
Dr. Tilmann Rave (ifo Institut), Lara Dammer (nova-Institut),  
Dr. Stephan Piotrowski (nova-Institut), Wiebke Jander (ATB),  
Dr. Philipp Grundmann (ATB), Dr. Sven Wydra (Fraunhofer ISI),  
Prof. Dr. Ulrich Schmoch (Fraunhofer ISI).*

Mai 2019

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-95942-067-9

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlags ist es auch nicht gestattet, dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie) oder auf andere Art zu vervielfältigen.

© ifo Institut, München 2019

Druck: ifo Institut, München

ifo Institut im Internet:  
<http://www.cesifo-group.de>

# Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b> .....  | <b>I</b>   |
| <b>Tabellenverzeichnis</b> .....  | <b>III</b> |
| <b>1 Einleitung</b> .....   | <b>1</b>   |
| 1.1 Zielsetzung der Untersuchung .....  | 1          |
| 1.2 Zur Struktur dieses Schlussberichts.....  | 1          |
| 1.3 Zur Definition des Begriffs Bioökonomie .....   | 2          |
| 1.4 Die Systemgrenzen der Bioökonomie .....   | 4          |
| 1.5 Anforderungen an statistische Daten und Indikatoren .....   | 6          |
| <b>2 Indikatoren für die Bioökonomie</b> .....  | <b>7</b>   |
| 2.1 Datenverfügbarkeit und Strategien zur Erhebung von Biomassedaten.....   | 7          |
| 2.1.1 Ansätze zur Erfassung und Beschreibung der Biomasseströme   | 7          |
| 2.1.2 Abwärtsgerichtete Stoffstromanalyse (downstream tracing) ....   | 8          |
| 2.1.3 Aufwärtsgerichtete Stoffstromanalyse (upstream tracing).....  | 8          |
| 2.1.4 Prozessanalyse .....  | 9          |
| 2.1.5 Vergleich von Ansätzen zur Beschreibung der Biomasseströme  | 9          |
| 2.1.6 Handlungsempfehlungen.....  | 13         |
| 2.2 Abschätzung bioökonomierelevanter Teilbereiche unterhalb der<br>WZ-Klassifizierungen.....   | 15         |
| 2.2.1 Methoden zur Bestimmung der Bioökonomie zuzuordnender<br>Anteile an wirtschaftlichen Kennzahlen unterhalb der<br>WZ-Klassifizierung ..... | 16         |
| 2.2.2 Filter Substitution.....  | 21         |
| 2.3 Entwicklung von ökonomischen Indikatoren .....  | 24         |
| 2.3.1 Fragestellung .....   | 24         |
| 2.3.2 Übertragbarkeit vorhandener Konzepte für andere<br>Querschnittsbranchen.....  | 24         |
| 2.3.3 Konkrete Vorschläge.....  | 27         |
| 2.4 Kombination von ökonomischen Kennzahlen und ökologischen<br>Bilanzierungen .....  | 30         |
| 2.4.1 Zielsetzung.....  | 30         |
| 2.4.2 Bezug zur Biomasse.....   | 31         |
| 2.4.3 Ökologische Indikatoren .....   | 35         |
| 2.4.4 Zusammenfassung .....   | 41         |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 2.5      | Quantifizierung von Kaskaden- und Koppelnutzungen .....  | 41         |
| 2.5.1    | Definition der Begriffe Kaskaden- und Koppelnutzungen .....                                      | 41         |
| 2.5.2    | Kaskaden- und Koppelnutzungen in der statistischen Systematik .....                              | 45         |
| 2.5.3    | Fazit .....  | 49         |
| 2.6      | Innovations- und Bildungsindikatoren .....   | 50         |
| 2.6.1    | Forschung und Entwicklung .....  | 50         |
| 2.6.2    | Publikationen und Patente .....  | 52         |
| 2.6.3    | Output- und Outcome- Innovationsindikatoren .....  | 58         |
| 2.6.4    | Bildung .....  | 59         |
| 2.6.5    | Konkrete Vorschläge .....  | 64         |
| <b>3</b> | <b>Pilotstudie für Teilbereiche der Oleochemie .....</b>   | <b>65</b>  |
| 3.1      | Vorgehensweise und zentrale Ergebnisse der Pilotstudie .....                                     | 65         |
| 3.2      | Ergebnisse für die ökonomischen Indikatoren .....  | 69         |
| 3.2.1    | Bioschmierstoffe .....   | 70         |
| 3.2.2    | Biobasierte Tenside und Seifen .....   | 74         |
| 3.2.3    | Biobasierte Kunststoffe .....  | 74         |
| 3.2.4    | Biodiesel .....  | 75         |
| 3.2.5    | Diskussion .....   | 76         |
| 3.3      | Ergebnisse für die Innovationsindikatoren .....  | 77         |
| 3.3.1    | Bioschmierstoffe .....   | 77         |
| 3.3.2    | Biobasierte Tenside und Körperpflegemittel .....   | 83         |
| 3.3.3    | Pflanzenölbasierte Kunststoffe .....   | 87         |
| 3.3.4    | Fazit .....  | 91         |
| 3.4      | Ergebnisse für die Kombination von ökonomischen Kennzahlen und ökologischen Bilanzierungen ..... | 92         |
| 3.4.1    | Zielsetzung .....  | 92         |
| 3.4.2    | Ausgewählte Ergebnisse .....   | 92         |
| 3.4.3    | Methodische Schlussfolgerungen aus den Experteninterviews .....                                  | 100        |
| <b>4</b> | <b>Erfassung von Treibern und Hemmnissen im Übergang zur Bioökonomie ...</b>                     | <b>104</b> |
| 4.1      | Existierende Forschungsansätze und -ergebnisse .....   | 104        |
| 4.1.1    | Treiber .....  | 105        |
| 4.1.2    | Hemmnisse .....  | 106        |
| 4.2      | Vorschläge zum Einbezug in ein systematisches Monitoring .....                                   | 107        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.2.1    | Statusermittlung des aktuellen Ist-Zustands und kurzfristige<br>Entwicklung ..... | 108        |
| 4.2.2    | Vertiefte Analyse der Treiber und Hemmnisse .....                                 | 111        |
| 4.2.3    | Ermittlung des politischen Handlungsbedarfes und<br>-optionen .....               | 112        |
| <b>5</b> | <b>Empfehlungen zur Weiterentwicklung der statistischen Klassifikationen ...</b>  | <b>113</b> |
| 5.1      | Fragestellung.....  | 113        |
| 5.2      | Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der NACE- bzw.<br>WZ 2008-Klassifikation..... | 113        |
| 5.3      | Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der Produktionsstatistik.....                 | 114        |
| 5.4      | Diskussion der Erweiterungsmöglichkeiten im Workshop.....                         | 116        |
| 5.5      | Fazit .....   | 118        |
| <b>6</b> | <b>Schlussbemerkungen .....</b>   | <b>119</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis .....</b>   | <b>120</b> |
|          | <b>Anhang .....</b>   | <b>132</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Schematische Darstellung der Ansätze Stoffstromanalyse und Prozessanalyse, Beziehung zur Wertschöpfungskette  | 7  |
| Abbildung 2: Vergleich der Rohstoffproduktivität der Bioökonomie auf Basis der Indikatoren DMI und RMI, 2010   | 32 |
| Abbildung 3: Vergleich der Flächenproduktivitäten auf Basis der in Deutschland genutzten Flächen und der indirekt genutzten, weltweiten Flächen, 2010  | 32 |
| Abbildung 4: Übersicht zu Innovationsindikatoren   | 50 |
| Abbildung 5: Transnationale Patentanmeldungen in der Bioökonomie für ausgewählte Länder  | 56 |
| Abbildung 6: Anteil von Wirtschaftssektoren an bioökonomierelevanten Patenten  | 57 |
| Abbildung 7: Publikationen zu Bioschmierstoffen, weltweit  | 78 |
| Abbildung 8: Publikationen zu Bioschmierstoffen für ausgewählte Länder, 2012-2017  | 79 |
| Abbildung 9: Spezialisierung mit Referenz zu den Gesamtpublikationen bei Publikationen zu Bioschmierstoffen für ausgewählte Länder, 2012-2017  | 80 |
| Abbildung 10: Weltweite transnationale Patentanmeldungen für Bioschmierstoffe  | 81 |
| Abbildung 11: Transnationale Patentanmeldungen für Bioschmierstoffe im Zeitraum 2010-2015 für ausgewählte Länder   | 82 |
| Abbildung 12: Publikationen zu Bio-Tensiden, Reinigungsmitteln und Körperpflegemitteln, weltweit   | 84 |
| Abbildung 13: Publikationen zu Bio-Tensiden und Körperpflegemitteln für ausgewählte Länder, 2012-2017  | 84 |
| Abbildung 14: Weltweite transnationale Patentanmeldungen für Bio-Tenside und Körperpflegemittel  | 85 |
| Abbildung 15: Transnationale Patentanmeldungen für Bio-Tenside und Körperpflegemittel im Zeitraum 2010-2015 für ausgewählte Länder   | 86 |
| Abbildung 16: Publikationen zu Pflanzenölbasierte Kunststoffen, weltweit   | 88 |
| Abbildung 17: Publikationen zu Pflanzenölbasierte Kunststoffe für ausgewählte Länder, 2012-2017  | 88 |
| Abbildung 18: Weltweite transnationale Patentanmeldungen für pflanzenölbasierte Kunststoffe  | 89 |
| Abbildung 19: Transnationale Patentanmeldungen für Pflanzenölbasierte Kunststoffe im Zeitraum 2010-2015 für ausgewählte Länder   | 90 |
| Abbildung 20 Vergleich der Einsparung fossiler Energie durch biobasierte   | 94 |
| Abbildung 21 Biogener Rohstoffeinsatz in Tonnen, für öl-basierte Kunststoffe, Tenside, Schmierstoffe und Biodiesel im Jahr 2015 nach Rohstoffarten Produkte pro Tonne Produkt (in Megajoule pro Tonne) | 95 |
| Abbildung 22 Biogener Rohstoffeinsatz in Tonnen, für öl-basierte Kunststoffe, Tenside, Schmierstoffe und Biodiesel im Jahr 2015 nach Rohstoffarten   | 96 |

## Tabellenverzeichnis

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Tabelle 1:   | Bewertung der Eignung von ökologischen Indikatoren zur Nachhaltigen Entwicklung in Deutschland für den „Top-Down“-Ansatz                      | 36  |
| Tabelle 2:   | Ziele der Bioökonomie und korrespondierende Indikatoren aus Ökobilanzierungen und Vorschläge für weitere Indikatoren                          | 40  |
| Tabelle 3:   | Symbole der IPC, die sich in einer engen Definition auf die Bioökonomie beziehen  | 54  |
| Tabelle 4:   | Symbole der IPC, die sich zusätzlich in einer weiten Definition auf die Bioökonomie beziehen  | 55  |
| Tabelle 5:   | Berufsgruppen mit Relevanz zur Bioökonomie  | 61  |
| Tabelle 6:   | Studiengänge mit Relevanz zur Bioökonomie   | 62  |
| Tabelle 7:   | Welche Bedeutung haben die folgenden Treiber aktuell für Einführungen von Innovationen bei biobasierten Produkten in Deutschland? (ankreuzen) | 110 |
| Tabelle 8:   | Welche Bedeutung haben die folgenden Hemmnisse für Innovationsaktivitäten bei biobasierten Produkten in Deutschland? (ankreuzen)              | 111 |
|              |   |     |
| Übersicht 1: | Muster für ein Berichtsblatt  | 28  |
| Übersicht 2: | Themenbereich A - Allgemeine ökonomische Indikatoren  | 29  |
| Übersicht 3: | Themenbereich C – Biomasseaufkommen und –verwendung   | 34  |
| Übersicht 4: | Themenbereich B – Innovationsindikatoren  | 64  |
| Übersicht 5: | Expertengespräche im Rahmen der Pilotstudie   | 66  |

# 1 Einleitung

## 1.1 Zielsetzung der Untersuchung

Der Wirtschaftsstandort Deutschland ist weltweit dafür bekannt, effiziente, energiesparende und umweltverträgliche – eben „grüne“ – Technologien zu entwickeln. Eine nachhaltige Bioökonomie bietet die Chance, diese Kompetenz auszubauen und sich mit technologisch ausgereiften Produkten und Verfahren Alleinstellungsmerkmale in einem Wachstumsmarkt zu sichern. Die Bundesregierung zählt die Biotechnologie, eine Kernprozesstechnologie der modernen Bioökonomie, in der Hightech-Strategie zu den Schlüsseltechnologien für die Zukunftsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Mit der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ (2010) und der „Nationalen Politikstrategie Bioökonomie“ (2013) hat die Bundesregierung gezeigt, dass die Bioökonomie einen zentralen Stellenwert in der deutschen Innovationspolitik einnimmt. Eines der Ziele der „Nationalen Politikstrategie Bioökonomie“ besteht darin, ein umfassendes Monitoring der Bioökonomie aufzubauen, das den Transformationsprozess hin zu einer nachhaltigen, biobasierten, an natürlichen Kreisläufen orientierten Wirtschaftsweise beobachtet, misst und bewertbar macht.

Die Zielsetzung dieser Untersuchung besteht darin, zur Entwicklung der wissenschaftlichen Grundlagen für ein langfristiges Monitoring der Bioökonomie beizutragen. Durch ein kontinuierliches Monitoring soll eine Wissensbasis für politisches Handeln und für eine öffentliche Auseinandersetzung darüber geschaffen werden. Es sollen zugleich Potenziale sichtbar gemacht und Fehlentwicklungen aufgezeigt werden können und die öffentliche Wahrnehmung für Themen der Bioökonomie soll erhöht werden.

Zum Aufbau eines Monitorings der Bioökonomie sollen auf Basis wissenschaftlicher Forschung Kriterien und Indikatoren entwickelt und Verfahren der Datenerhebung etabliert werden, um möglichst alle Dimensionen der Bioökonomie messbar zu machen und Wirkmechanismen und Zusammenhänge durch eine systemische Erfassung abzubilden. So sollen Fortschritte, aber auch mögliche Hemmnisse oder Zielkonflikte im Transformationsprozess hin zu einer Bioökonomie sichtbar gemacht werden, um daraus gegebenenfalls notwendige Konsequenzen ziehen zu können. Die vorliegende Untersuchung bezieht sich vorrangig auf wirtschaftliche Kennzahlen und Indikatoren. Dabei werden aber auch Indikatoren für den Innovationsprozess, die Verbindung mit ökologischen Kennzahlen und Daten zur Verfügbarkeit der biologischen Ressourcen berücksichtigt, um zum Gesamtbild über das Voranschreiten der Bioökonomie beizutragen.

## 1.2 Zur Struktur dieses Schlussberichts

Im vorliegenden Schlussbericht werden die Ergebnisse aus fünf Zwischenberichten, die in einer dreijährigen Projektlaufzeit erstellt wurden, zusammengefasst und um abschließende

Empfehlungen ergänzt.<sup>1</sup> Nach einer Diskussion der Definition des Begriffs Bioökonomie und der Festlegung seiner Systemgrenzen werden in den weiteren Abschnitten dieses ersten Kapitels die daraus folgenden Anforderungen an statistische Daten und Indikatoren erörtert, wobei insbesondere die Daten und Informationen zu Biomasseangebot und Biomasseströmen einschließlich der Nebenerzeugnisse behandelt werden, da diese eine wichtige Voraussetzung für die Ermittlung von Kennzahlen und Indikatoren für ein Monitoring des Status und des Voranschreitens der Bioökonomie darstellen. In Kapitel 2 wird die Entwicklung der Indikatoren und Kennziffern beschrieben. Zunächst werden Methoden diskutiert, mit denen Bioökonomie-relevante Teilbereiche unterhalb der NACE- Klassifikation bzw. der WZ 2008 identifiziert werden können. Danach werden zunächst die verfügbaren ökonomischen Indikatoren dargestellt, des Weiteren wird die Kombination von ökonomischen Kennzahlen und ökologischen Bilanzierungen erörtert sowie die Möglichkeiten einer Quantifizierung von Kaskaden- und Koppelnutzung und abschließend die Innovations- und Bildungsindikatoren mit Bezug zur Bioökonomie erörtert. Kapitel 3 beschreibt die Ergebnisse der Pilotstudie, deren Zielsetzung es war, die in den vorangegangenen Arbeitsschritten erarbeiteten Methoden und Indikatoren auf einen Teilbereich der Bioökonomie praktisch anzuwenden. Dabei werden die Ergebnisse für ökonomische Indikatoren, für Innovationsindikatoren sowie für die Kombination von ökonomischen Kennzahlen und ökologischen Bilanzierungen dargestellt. In Kapitel 4 wird geprüft, inwieweit Informationen zu Treibern und Hemmnissen für einen Übergang hin zu einer biobasierten Wirtschaft in das Monitoring der Bioökonomie aufgenommen werden können und auf welche Art und Weise diese effizient erhoben werden können. In Kapitel 5 werden Empfehlungen zur Weiterentwicklung der statistischen Klassifikationen formuliert, die Differenzierungsmöglichkeiten im Hinblick auf biobasierte Produkte bieten und dabei auch die Darstellung der Effekte einer Kaskaden- und Koppelnutzung von Biomasse ermöglichen. In Kapitel 6 endet der Schlussbericht mit abschließenden Bemerkungen.

### 1.3 Zur Definition des Begriffs Bioökonomie

Auf nationaler bei Interesse wie auch auf internationaler Ebene existieren verschiedene Ansätze für die Definition bzw. die Abgrenzung des Begriffs „Bioökonomie“. Die Nationale Forschungsstrategie Bioökonomie (Federführendes Ressort: Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF) beinhaltet die älteste und im Grunde auch breiteste Definition. Danach erfasst das Konzept der Bioökonomie die Agrarwirtschaft sowie alle produzierenden Sektoren und ihre dazugehörigen Dienstleistungsbereiche, die biologische Ressourcen – wie Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen – entwickeln, produzieren, ver- und bearbeiten oder in irgendeiner Form nutzen. Der deutsche Bioökonomierat definiert die Bioökonomie als „die wissenschaftsbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems

<sup>1</sup> Die fünf Zwischenberichte können beim Auftraggeber der Studie per E-Mail an BUERO-IVC5@bmwi.bund.de angefordert werden, bzw. beim Auftragnehmer per E-Mail an Wackerbauer@ifo.de.

bereitzustellen“. Nach der Nationalen Politikstrategie Bioökonomie (Federführendes Ressort: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft BMEL) ist Bioökonomie die „wissensbasierte Erzeugung und Nutzung nachwachsender Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen“. Dies orientiert sich deutlich an der Definition des Bioökonomierats, mit dem Unterschied, dass statt von „*biologischen* Ressourcen“ von „*nachwachsenden* Ressourcen“ die Rede ist, was für die Interpretation allerdings keinen großen Unterschied macht.

Allerdings ist der Begriff „wissensbasiert“ jeweils nicht klar definiert. Er könnte implizieren, dass bestimmte traditionelle Bereiche, z.B. aus der Agrarwirtschaft oder der Nahrungsmittelindustrie, nicht einbezogen werden. Aber auch „traditionelle“ Bereiche der Bioökonomie beruhen auf sehr speziellem und teilweise über lange Zeit hinweg entwickeltem Wissen – die Landwirtschaft ist ein hervorragendes Beispiel dafür. Ein alleiniger Fokus auf neue Technologien und Produkte könnte zur Folge haben, dass der Querschnittscharakter der Bioökonomie nicht adäquat abgebildet würde und systemische Implikationen vernachlässigt würden. Entscheidend dabei ist das Verständnis der Bioökonomie als „System“.

Ein weiterer kontroverser Punkt bei der Betrachtung der sog. „wissensbasierten Bioökonomie“, die sich sehr stark auf innovative Prozesse bezieht, ist der Umgang mit der industriellen Biotechnologie. In der Biotechnologie werden Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen oder Pilze oder ihre Bestandteile (z.B. Enzyme, DNA) im Prozess eingesetzt, um den Rohstoff umzuwandeln. Dies wiederum bedeutet, dass es biotechnologisch hergestellte Produkte geben kann, deren Rohstoffe (teilweise) fossilen Ursprungs sind. In diesem Zusammenhang sei die OECD-Definition der Biotechnologie erwähnt, die im Bioeconomy Observatory für bioökonomisch relevante Patente verwendet wird. Danach ist Biotechnologie die Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen, Teile von ihnen, ihre Produkte oder Modelle von ihnen zwecks Veränderung von lebender oder nichtlebender Materie zur Erweiterung des Wissensstandes, zur Herstellung von Gütern und zur Bereitstellung von Dienstleistungen. „A bioeconomy can be thought of as a world where biotechnology contributes to a significant share of economic output. The emerging bioeconomy is likely to involve three elements: the use of advanced knowledge of genes and complex cell processes to develop new processes and products, the use of renewable biomass and efficient bioprocesses to support sustainable production, and the integration of biotechnology knowledge and applications across sectors (OECD 2009).“ Die Europäische Kommission wiederum definiert Bioökonomie folgendermaßen: „Bioeconomy is an economy using biological resources from the land and sea as well as waste, including food wastes, as inputs to industry and energy production. It also covers the use of bio-based processes to green industries (Europäische Kommission 2012).“

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass in einige Definitionen teilweise normative Zielsetzungen hineingeraten (z.B. „zukunftsfähig“, „ressourceneffizient“), die methodisch nur bedingt hilfreich

sind. Die zu wählende Definition sollte aber deskriptiv und nicht normativ sein. Um ein objektives, umfassendes und wertneutrales Monitoring-System aufbauen zu können, welches die Bioökonomie adäquat abbildet, folgt diese Arbeit daher einer breiten, stoff- und verfahrensorientierten Definition und interpretiert die kontroversen Punkte wie folgt:

- Alle Wertschöpfungsketten, die biologische Ressourcen produzieren oder nutzen, werden betrachtet. Zu berücksichtigen sind dabei sowohl die ökonomisch und mengenmäßig relevanten Industriebereiche wie die Holzwirtschaft und der Sektor der Lebens- und Genussmittel als auch neue Anwendungsbereiche, die zwar nicht aufgrund der verarbeiteten oder erzeugten Mengen, wohl aber aufgrund ihrer Innovationsstärke und relativen Wertschöpfung von Bedeutung sind.
- Sämtliche biologischen Ressourcen werden betrachtet; dies umfasst
  - a) alle Arten der Biomasse: Pflanzlich (Agrar-, Forst- und marine Biomasse), tierisch und aus Abfallströmen.
  - b) Prozesse, in denen biologische Ressourcen wie lebende Organismen (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen) bzw. Teile davon (z.B. DNA, Enzyme etc.) als Prozess-Wirkstoff verwendet werden.

## 1.4 Die Systemgrenzen der Bioökonomie

Bezüglich der Festlegung der Systemgrenzen der Bioökonomie sind fünf Ansätze zu unterscheiden:

- Festlegung der Systemgrenzen unter Verwendung von Ausschlusskriterien
- Festlegung der Systemgrenzen mit dem Substitutionsansatz
- Abgrenzung nach dem relevanten Wertschöpfungsanteil
- Beschränkung auf das Produzierende Gewerbe
- Beschränkung auf Wertschöpfungsstufen mit technologischen Verfahren

Der erste Ansatz ist auch der einfachste und umfassendste Ansatz zur Beschreibung der Systemgrenzen der Bioökonomie. Er hebt auf den *biologischen Ursprung* der genutzten Ressourcen gemäß der Forschungsstrategie des BMBF ab. Jedwede Produktion, Verarbeitung oder sonstige Nutzung biologischer Ressourcen wäre damit im Betrachtungsrahmen eingeschlossen. Damit müssten auch sämtliche Dienstleistungen, die im weitesten Sinne biologische Ressourcen nutzen, wie Gaststätten, Garten- und Landschaftsgestaltung, Botanische und Zoologische Gärten und Naturparks, als Teil der Bioökonomie verstanden werden.

Nach dem *Substitutionsansatz*, der in der Politikstrategie des BMEL angeführt wird, beruht die „biobasierte Wirtschaft“ auf dem Wandel von einer überwiegend auf fossilen Rohstoffen basierenden Wirtschaft zu einer auf erneuerbaren Ressourcen basierenden Wirtschaft. Alle

wirtschaftlichen Aktivitäten, die anstatt von endlichen (fossile sowie mineralische) biogene Rohstoffe verwenden, sind damit der biobasierten Wirtschaft zuzuschreiben.

Bei der Abgrenzung nach dem *relevanten Wertschöpfungsanteil*, werden nur jene Stufen der Wertschöpfungskette einbezogen, auf denen die ursprünglich eingesetzte Biomasse noch einen relevanten Anteil an der Wertschöpfung der jeweiligen Stufe ausmacht. Die Argumentation hinter diesem Ansatz ist, dass letztlich der volkswirtschaftliche Beitrag der nachwachsenden bzw. biologischen Rohstoffe abgeschätzt werden soll im Gegensatz zu einer vollständigen Betrachtung der entsprechenden Wertschöpfungsketten. Per Definition gehören allerdings grundsätzlich alle Wertschöpfungsstufen bis zur Endnachfrage zum Wertschöpfungssystem. Die Abgrenzung, wann der Wertschöpfungsanteil der Biomasse noch relevant ist und wann nicht mehr, wäre daher im Einzelfall zu prüfen und letztlich nur argumentativ lösbar.

Bei einer Beschränkung auf das *Produzierende Gewerbe* wären sämtliche Dienstleistungen eindeutig ausgeschlossen. Allerdings spielen die Dienstleistungen im Zusammenhang mit der Güterproduktion in arbeitsteiligen Ökonomien allgemein eine große Rolle. Die Bedeutung der Bioökonomie würde damit tendenziell unterschätzt. Diese Form der Abgrenzung ist eng verwandt mit der Abgrenzung nach relevantem Wertschöpfungsanteil der biologischen Rohstoffe. Diesem Ansatz scheinen die von der Europäischen Kommission in Auftrag gegebenen Studien zu folgen, die Handel und Dienstleistungen ausklammern sowie, und mehr oder weniger erkennbar nur erste Verarbeitungsstufen der Rohstoffe berücksichtigen (z.B. Philippidis et al. 2016, Mathijs et al. 2015).

Ebenfalls in einem engen Zusammenhang zu den beiden vorher genannten Ansätzen steht die Möglichkeit, nur Wertschöpfungsstufen einzubeziehen, so lange auf ihnen *technologische Verfahren* eingesetzt werden. Diesem Ansatz folgen beispielsweise die Arbeiten von Nusser et al. 2007 für die Biotechnologie und van de Velde (2016) für ausgewählte Schlüsseltechnologien („Key Enabling Technologies“) wie z.B. die Industrielle Biotechnologie. Dieser Ansatz klammert wiederum Handel, nachgelagerte Dienstleistungssektor sowie beim Beispiel der Biotechnologie alle Wertschöpfungsaktivitäten mit alternativen Verarbeitungsprozessen/-schritten von biologischen Ressourcen aus.

Um diese verschiedenen Argumentationslinien miteinander zu verbinden, wird im Folgenden eine flexible Vorgehensweise verfolgt, bei der ausgehend von der breiten Festlegung der Systemgrenzen für weitere Untersuchungsschritte geeignete Filter eingebaut werden, um zu gewährleisten, dass der Untersuchungsgegenstand nicht zu beliebig interpretiert werden kann. Dies ist zum einen ein Filter „Substitution endlicher Rohstoffe“. Mit diesem Filter wird die Zielsetzung der Bioökonomiestrategie, fossile bzw. endliche Rohstoffe zu substituieren, berücksichtigt. Der zweite Filter ist ein Filter „Produktionsstufen“, der für die biobasierte Wirtschaft eine sektorale Abschneidegrenze vorsieht, um Abgrenzungsprobleme, die im Handel und bei den sonstigen Dienstleistungen auftreten können, zu vermeiden. Mit diesem Filter wird die Nutzung von Biomasse nur bis zum Verarbeitenden Gewerbe einbezogen, was bedeutet, dass

nur der Produktion vorgelagerte Dienstleistungen, wie z. B. Forschung und Entwicklung, berücksichtigt werden, aber keine nachgelagerten Wirtschaftszweige, wie der Handel, Gaststätten, Garten- und Landschaftsgestaltung u. ä.

### **1.5 Anforderungen an statistische Daten und Indikatoren**

Die Möglichkeiten und Grenzen der Erfassung des Untersuchungsgegenstandes „Bioökonomie“ stehen in engem Zusammenhang mit den Anforderungen an die Qualität und Genauigkeit von Daten. In dieser Hinsicht werden in der Literatur Kriterien für die Eignung von Daten für einen bestimmten Analysezweck entwickelt (siehe u. a. Richter 2002). Als wichtige Kriterien gelten die Eindeutigkeit, die Vollständigkeit, die Präzision, die Vergleichbarkeit und die Aktualität. Die genannten Kriterien verlangen, dass nur solche Aktivitäten erfasst werden sollen, die eindeutig der Bioökonomie zuzurechnen sind, diese aber, soweit es methodisch möglich ist, vollständig. In Zusammenhang mit dem Kriterium der Präzision erfordert die Vollständigkeit aber auch, dass die erfassten Effekte nicht überschätzt werden. Insbesondere sind Doppelzählungen zu vermeiden. Das Kriterium der Vergleichbarkeit zielt darauf ab, dass die zu bildenden Kennziffern in Relation zu anderen Parametern gestellt werden können. Das kann in zeitlicher Hinsicht das Erfordernis sein, die Entwicklung der ökonomischen Kennziffern darstellen zu können oder in sektoraler Hinsicht der Vergleich von Indikatoren für die Bioökonomie mit Indikatoren für bestimmte andere Wirtschaftszweige. Außerdem sollte nach Möglichkeit auch die Vergleichbarkeit im internationalen Maßstab gewährleistet sein, was eine weitestgehende Anlehnung an die Systematiken der amtlichen Statistik erfordert. Zwischen den einzelnen Kriterien kann ein Spannungsverhältnis entstehen. So sollte die Aktualität der Daten nicht zu Lasten anderer Kriterien wie Eindeutigkeit, Vollständigkeit oder Präzision gehen.

## 2 Indikatoren für die Bioökonomie

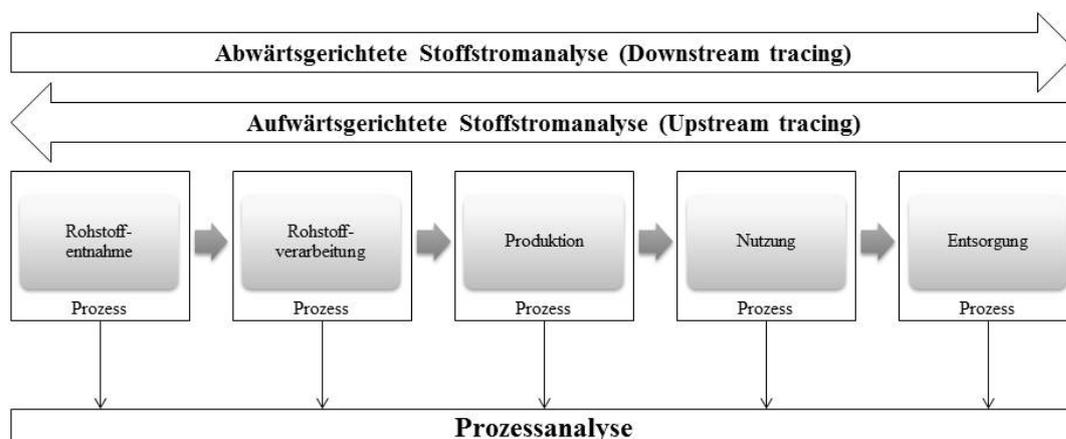
### 2.1 Datenverfügbarkeit und Strategien zur Erhebung von Biomassedaten

Dieses Kapitel beinhaltet neben der Vorstellung vorhandener und erforderlicher Daten eine Handlungsempfehlung zur Erfassung von Daten zu Biomasseströmen für das Bioökonomie-Monitoring. Es beschreibt Ansätze und Methoden für die systematische und kontinuierliche Erhebung von Daten einschließlich deren Weiterentwicklung, um Lücken in der Datenerhebung zu schließen.

#### 2.1.1 Ansätze zur Erfassung und Beschreibung der Biomasseströme

Ein bekannter und vielfach bewährter Ansatz zur Erfassung von Biomasseströmen ist die Stoffstromanalyse. Stoffstromanalysen werden, abhängig vom Bezugspunkt entlang der Wertschöpfungskette, ab- und aufwärtsgerichtet durchgeführt (vgl. Abbildung 1). Während abwärtsgerichtete Stoffstromanalysen die Verwendung der Biomasse in bestimmten Sektoren in den Fokus rücken und sich dabei offizieller Statistiken oder Expertenbefragungen bedienen, interessiert bei der aufwärtsgerichteten Stoffstromanalyse die Herkunft eines Produktbestandteils, welche mit Hilfe von Prozessdaten aus Unternehmen ermittelt werden kann. Stoffstromanalysen sind produktorientiert, weil der Untersuchungsgegenstand Materialien sind (und nicht z.B. Informationen). Außerdem wird die Verwendung von diesen Materialien in Produkten (im Gegensatz zu Prozessen) beschrieben.

**Abbildung 1: Schematische Darstellung der Ansätze Stoffstromanalyse und Prozessanalyse, Beziehung zur Wertschöpfungskette**



Quelle: Eigene Darstellung ATB.

Bei der Prozessanalyse stehen nicht die Stoffströme und Produkte, sondern die – zu definierenden – Prozesse im Mittelpunkt (vgl. Abbildung 1). Ziel ist es, durch die Erhebung von Prozessdaten Einblicke in alle für den Prozess relevanten Parameter zu bekommen. Während Stoffstromanalysen den Fluss von Materialien durch viele Prozesse verfolgen, untersuchen Prozessanalysen einen Prozess hinsichtlich vieler Parameter, darunter auch Materialflüsse. Stoffstrom- und Prozessanalysen schließen sich allerdings nicht gegenseitig aus. Eine Analyse kann stoffstrom- und prozessorientiert sein, wenn sie nur die Materialflüsse eines Prozesses zum Gegenstand hat. Dann ist der Prozess das Bezugssystem der Stoffstromanalyse. Im Folgenden bezieht sich die Diskussion um Stoffstromanalysen allerdings eher auf das Bezugssystem „Wertschöpfungskette“, also die Verfolgung der Biomasse von der Rohstoffentnahme bis zur Endnutzung. Mit „Prozessen“ sind einzelne Aktivitäten auf Unternehmensebene gemeint.

Alle Ansätze sollten eine eindeutige Zuordnung von WZ-Klassen und –Unterklassen zur Bioökonomie erlauben. Deshalb ist es erforderlich, dass Stoffstrom- und Prozessanalysen Informationen auf dieser Ebene liefern. Bei der Stoffstromanalyse sollte die Wertschöpfungskette so untergliedert werden können, dass Wertschöpfungsstufen den WZ-Klassen entsprechen.

### **2.1.2 Abwärtsgerichtete Stoffstromanalyse (downstream tracing)**

Ziel der abwärtsgerichteten Stoffstromanalyse ist es, die verwendete Biomasse zu quantifizieren und so lange entlang der Wertschöpfungsstufen weiter zu verfolgen, wie dies gemäß der Datenglage möglich ist. Den Ausgangspunkt der abwärtsgerichteten Stoffstromanalyse bildet die Quantifizierung der Gesamtmenge der verwendeten Biomasse. Die im Inland verwendete Biomasse kann ermittelt werden, wenn zur inländisch erzeugten Biomasse die importierte Biomasse hinzugerechnet und die exportierte Biomasse abgezogen wird. Diese Berechnung wird z.B. in der Eurostat-Datenbank zu Gesamtwirtschaftlichen Materialflussrechnungen (*Economy-wide Material Flow Accounts*) vollzogen. Je weiter disaggregiert es möglich ist, diese inländische Biomasseverwendung zu bestimmen, desto weitreichender sind die Schlussfolgerungen, die sich über ihre weitere Verwendung treffen lassen.

### **2.1.3 Aufwärtsgerichtete Stoffstromanalyse (upstream tracing)**

Die Stoffstromanalyse einer biologischen Ressource kann auch ausgehend von der letzten oder einer davorliegenden Wertschöpfungsstufe erfolgen. Dafür werden Informationen über die eingesetzten Rohstoffe über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg erfasst. Ziel der aufwärtsgerichteten Stoffstromanalyse ist es, Informationen über den Lebensweg eines Produktbestandteils sowie Angaben über den Ursprung und die Eigenschaften des Produktbestandteils zu erhalten. Aufgrund dieser Anforderung wird häufig der Begriff „Rückverfolgbarkeit“ (engl. traceability) verwendet. In der Umsetzung handelt es sich bei Rückverfolgbarkeits-Analysen häufig um erweiterte, d.h. über die Analyse von Materialflüssen hinausgehende, Stoffstromanalysen, wie nachfolgend beschrieben. Stoffstromanalysen werden dabei um Elemente der Prozessanalyse erweitert.

## 2.1.4 Prozessanalyse

Unter Prozessanalysen wird die Aufnahme, Dokumentation und Analyse von Ist-Prozessen verstanden. In Organisationen, wie Unternehmen oder Betrieben, werden Prozesse üblicherweise geplant und unter beherrschten Bedingungen durchgeführt, um Mehrwert zu schaffen. Dementsprechend ist das Ziel von Prozessanalysen mittels Beschreibung einzelner oder zusammenhängender Tätigkeiten innerhalb von Produktions- oder Wertschöpfungsketten ein besseres Verständnis der Prozesse zu erlangen und Schwachstellen und Verbesserungspotentiale zu erkennen. Mit Hilfe von kennzahlenbasierten Prozessanalysen können Unternehmen ihre Produktions- und Geschäftsprozesse effizienter gestalten, die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen und das Gesamtergebnis verbessern. Die Prozessanalyse trägt hierzu durch eine Zerlegung von Prozessen in ihre Einzelteile und deren systematische Beschreibung und Untersuchung bei.

## 2.1.5 Vergleich von Ansätzen zur Beschreibung der Biomasseströme

### 2.1.5.1 Aufwand/Nutzen-Verhältnis

Abwärtsgerichtete Stoffstromanalysen können mithilfe verfügbarer Statistiken zu Biomasseangebot und Biomassenutzung durchgeführt werden. Somit besteht ein geringer Erhebungsaufwand aber auch eine entsprechend hohe Ungenauigkeit. Die Anwendung der alternativen Ansätze, aufwärtsgerichtete Stoffstromanalyse und Prozessanalyse, wäre wesentlich aufwendiger, da entweder Rückverfolgbarkeitssysteme für jegliche Biomasse etabliert oder Geschäftsprozesse analysiert werden müssten. Zwar könnten bestehende Systeme ausgeweitet und vorhandene Prozessanalysen und Standardprozessbeschreibungen genutzt werden. Die somit erfassten Daten müssten aber noch zugänglich gemacht werden. Im Fall der aufwärtsgerichteten Stoffstromanalyse müssten für die Einbeziehung von Dienstleistungen bestehende Methoden erweitert oder neue Methoden entwickelt werden. Bei der Prozessanalyse besteht die Gefahr zu viel Aufwand zu betreiben, da die Prozesse in nahezu beliebigem Detail und Umfang beschrieben werden können.

Der Nutzen der alternativen Ansätze ergibt sich aus der Genauigkeit, mit der WZ-Klassen oder Teilbereiche der Bioökonomie zugeordnet und mit der biobasierte Anteile an Prozessen ermittelt werden können. Für die breit gesteckte Systemgrenze „Erzeugung und Verwendung biologischer Ressourcen“ wäre es beispielsweise ausreichend, wenn Abschnitt A (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei) als Ganzes betrachtet werden würde, weil in allen WZ-Klassen biologische Ressourcen erzeugt werden. Die Methoden der abwärtsgerichteten Stoffstromanalyse könnten hier mit hohem Nutzen und geringem Aufwand angewendet werden, und aufwärtsgerichtete Stoffstromanalyse und Prozessanalyse würden keinen Mehrwert für das Bioökonomie-Monitoring liefern. Immer dann, wenn in einer WZ-Klasse biogene *und* endliche Rohstoffe für die Produktion verwendet werden, sind dagegen Angaben der Unternehmen von hohem Wert und die Anwendung einer Methode der aufwärtsgerichteten Stoffstromanalyse oder Prozessanalyse sinnvoll.

Insgesamt ist der Aufwand bei abwärtsgerichteten Stoffstromanalysen am geringsten, aber der Nutzen ist auch geringer, da Stoffströme auf Schätzungen basieren und somit keine genauen Anteile der Biomasse an einer WZ-Klasse wiedergeben können. Ein Vorteil der alternativen Ansätze ist, dass eine exakte Quantifizierung der Biomasseanteile einer WZ-Klasse theoretisch möglich ist. Dies würde allerdings mit einem Mehraufwand einhergehen.

### 2.1.5.2 Datenqualität

Wichtige Kriterien für die Eignung von Daten sind: Eindeutigkeit, Klarheit, Präzision, Vollständigkeit, Vergleichbarkeit, Homogenität, Repräsentativität, Genauigkeit, Objektivität, Kohärenz und Aktualität.

Hinsichtlich der Kriterien Eindeutigkeit, Klarheit, Vollständigkeit und Präzision ist der Nutzen von (abwärts- und aufwärtsgerichteten) Stoffstromanalysen eingeschränkt, da nicht alle Aktivitäten der Bioökonomie quantifiziert werden, und viele Aktivitäten auf Grundlage der Stoffstromdaten nur indirekt der Bioökonomie zugeordnet werden können. Aufwärtsgerichtete Stoffstromanalysen verwenden häufig Daten auf der Unternehmensebene und zeichnen sich deshalb durch eine höhere Präzision und Granularität der Daten aus als abwärtsgerichtete Stoffstromanalysen. Die Vergleichbarkeit und Homogenität von Stoffstromanalysen ist auf die Betrachtung von Stoffströmen begrenzt. Hinsichtlich der Kriterien der Vollständigkeit und Objektivität erfüllen die Methoden der Stoffstromanalyse die allgemeinen Anforderungen, da durch die Massenbilanzierung Doppelzählungen ausgeschlossen sind und die objektive Nachprüfbarkeit gegeben ist. Die Ergebnisdaten von Stoffstromanalysen sind aufgrund der prozessübergreifenden Perspektive in einem mehr oder weniger konsistenten Rahmen eingebettet, was im Sinne des Kriteriums der Kohärenz vorteilhaft ist. Prozessanalysen zeichnen sich bei entsprechend sorgfältiger Beschreibung der Prozesse durch einen hohen Grad an Eindeutigkeit, Klarheit, Präzision, Vollständigkeit, Vergleichbarkeit, Homogenität, Objektivität und Kohärenz aus.

Die Erfüllung der Anforderungen an die Genauigkeit, Repräsentativität und Aktualität hängen in starkem Maße von Faktoren ab, die nicht durch die Ansätze festgelegt sind. Die Ansätze an sich geben nicht vor, wie mit Messfehlern umzugehen ist, wie häufig die Daten aktualisiert werden oder welche repräsentativen Prozesse ausgewählt werden.

### 2.1.5.3 Datenverfügbarkeit

Für das Bioökonomie-Monitoring stehen fragmentiert Daten zur Verfügung, zum Beispiel zum Biomasseangebot, zu Stoffströmen einzelner Rohstoffe oder einzelner Wertschöpfungsketten. Vielfach sind große Lücken zu verzeichnen, besonders bei der Verwendung der Biomasse in den WZ-Klassen.

Abwärtsgerichtete Stoffstromanalysen sind jedoch eng gekoppelt an regelmäßige, öffentlich zugängliche Statistiken (Produktions- und Handelsstatistik, Statistiken von Industrieverbänden). Daten, über die eine Verbindung zwischen Biomasseproduktion und -nutzung hergestellt werden kann, sind allerdings nicht Teil der öffentlichen Statistiken. Ein Stoffstrom kann also nur von der

Erzeugung bis zur Verwendung dargestellt werden, wenn zusätzliche Daten erhoben werden, wie bei der FNR-Studie (FNR 2014). Studien dieser Art sind allerdings sehr aufwendig und werden nicht regelmäßig rohstoff- und sektorübergreifend angefertigt.

Da Prozessanalysen auf einzelne Prozesse fokussieren, ist die Methode auch im Fall von Datenlücken anwendbar sofern auf eine Aggregation auf höherer Ebene verzichtet wird. Viele Daten werden im Rahmen von Rückverfolgbarkeitssystemen oder Prozessanalysen systematisch und regelmäßig erfasst. Eine systematische Erhebung könnte derzeit aber nur auf der Basis gesetzlich geforderter Informationen (z.B. für die Rückverfolgbarkeit) erfolgen. Die Daten sind nicht öffentlich und ein Zugang könnte aufgrund von Konflikten mit den Interessen der Unternehmen erschwert sein.

#### **2.1.5.4 Erfassung von Nebenerzeugnissen**

Verfügbare Daten zu Nebenerzeugnissen basieren auf Schätzungen und nur zu einem geringen Anteil auf der Basis von Erhebungen. Genaue Mengen werden beispielweise erfasst, wenn Biokraftstoffe der 2. Generation zertifiziert werden. Wenn Nebenerzeugnisse der Primärproduktion in Statistiken erfasst wären, könnten auch ihre Stoffströme nachvollzogen werden. Ebenso verhält es sich mit Nebenerzeugnissen der Weiterverarbeitung (Wahrung der Massenbilanz). Bisher mangelt es noch an einer systematischen Erhebung der Nebenerzeugnisse. Diese wäre Voraussetzung für eine umfassende, abwärtsgerichtete Stoffstromanalyse.

Nebenerzeugnisse müssten für die aufwärtsgerichtete Stoffstromanalyse nicht von vornherein erfasst sein; ihre Erhebung erfolgt vielmehr durch die Anwendung der jeweiligen Methoden. Gäbe es Rückverfolgbarkeitssysteme für alle Produkte, die Biomasse beinhalten, so würden Nebenerzeugnisse automatisch miterfasst werden. In der Prozessanalyse ist die Erfassung von Nebenerzeugnissen Bestandteil des Supply Chain Managements (Work- und Material Flow Managements). Die Prozessdaten können Hinweise zur Quantität und Qualität der in den Prozessen verwendeten Nebenerzeugnisse liefern.

#### **2.1.5.5 Anwendbarkeit auf substituierende Prozesse**

Die Substitution endlicher Rohstoffe ist nach derzeitigem Kenntnisstand nicht Teil existierender Erhebungen. Das liegt vor allem daran, dass sie ein Merkmal der Bioökonomie ist und bisher noch nicht für andere Zwecke erfasst wurde. Substitution ist durch abwärtsgerichtete Stoffstromanalysen nicht analytisch fassbar, da nur Biomasseströme verfolgt werden, nicht aber substituierende Produkte oder Prozesse.

Rückverfolgbarkeitssysteme eignen sich für die Erfassung weiterer Daten und Informationen, so auch der Substitution fossiler Rohstoffe. Teilweise bedienen sie sich hierfür der Methoden der Prozessanalyse. Analog zur Berechnung der THG-Einsparung könnte auch die Substitution erfragt werden (Selbstauskunft). Dies ist nur notwendig für Prozesse, die zurzeit endliche Rohstoffe verwenden, in der Vergangenheit verwendet haben oder theoretisch verwenden könnten.

Bei der Prozessanalyse sind im Gegensatz zu den anderen Ansätzen keine weitergehenden Methoden für eine Beschreibung und Bewertung von substituierenden Prozessen erforderlich, sofern die Informationen über die (Teil-)Prozesse in ausreichender Granularität verfügbar sind. Die Identifikation substituierender Prozesse könnte mit Hilfe einer Selbstauskunft durch die Wirtschaftseinheiten erfolgen. Eine dynamische Erfassung des Voranschreitens substituierender Prozesse mittels der Prozessanalyse setzt voraus, dass der Ist-Zustand von Prozessen in den Wirtschaftseinheiten in regelmäßigen Zeitabständen erfasst und ausgewertet wird.

### **2.1.5.6 Einbeziehung des Dienstleistungssektors**

Die Einbeziehung des Dienstleistungssektors in Stoffstromanalysen ist nicht ohne weiteres bzw. nur mithilfe von Schätzungen möglich, da keine enge Kopplung an Biomasseströme und physische Produkte besteht. Da Stoffstromanalysen ein Konzept der Produktionswirtschaft sind, gibt es keine Methoden für den Dienstleistungssektor. Auch eine differenzierte Betrachtung von Produktionsstufen ist nicht Teil dieser Analysen. Somit müsste eine erweiterte Methode ein „Abschneiden“ an einer bestimmten Produktionsstufe zulassen.

Die Prozessanalyse wird sowohl im Primär- und Sekundärsektor als auch im Tertiärsektor durchgeführt. Daher kann die Einbeziehung von Dienstleistungen am besten mit den Methoden der Prozessanalyse erfolgen. Die Erbringung von Dienstleistungen besteht in gleichem Maße aus Aktivitäten, die zu Teilprozessen zusammengefasst werden können, wie die Produktion von Gütern. Da die Prozessanalyse nicht auf Biomasseströme als Bezugsbasis angewiesen ist, erfolgt die Anrechnung von Dienstleistungen entsprechend ihres realen Beitrags zur Bioökonomie. Stehen nur einzelne Teilprozesse einer Dienstleistung im Zusammenhang mit der Bioökonomie, so können diese unabhängig von den restlichen Teilprozessen der Dienstleistung beschrieben und angerechnet werden. Dies setzt allerdings voraus, dass die Prozesse qualitativ und quantitativ ausreichend detailliert beschrieben sind.

### **2.1.5.7 Datenerhebung für Indikatoren**

Abwärtsgerichtete Stoffstromanalysen sind auf den Biomassestrom ausgerichtet und nicht auf die Erfassung weiterer Daten und Informationen. Durch die Erfassung des Biomasseangebots, einschließlich der Importgüter, können die für ein Monitoring der Ressourcennutzung der deutschen Bioökonomie aufgeführten Schlüsselindikatoren erfasst werden (O'Brien et al. 2015, S. 18). Dazu gehören der Anteil der in Deutschland produzierten Biomasse im Vergleich zur importierten Biomasse sowie der globale Flächen- und Wasserbedarf für die in Deutschland konsumierte Biomasse. Damit werden aber noch keine Informationen über die wirtschaftlichen Effekte einzelner Prozesse oder Produkte bereitgestellt.

Diese können unter anderem in Verbindung mit der aufwärtsgerichteten Stoffstromanalyse hergeleitet werden. Sie dient primär der Erfassung des Lebenswegs und der Herkunft eines Rohstoffs. Der Ansatz wird aber häufig auch für eine Erfassung nachhaltiger Eigenschaften eines Rohstoffs angewendet, wie zum Beispiel bei Zertifizierungssystemen. In diesem Fall ist die Rückverfolgbarkeit auch von großem Nutzen bei der Erstellung ökologischer Indikatoren. Aktuell gibt

es vor allem Informationen über die Nachhaltigkeit der Biokraftstoffprozesse. Für eine umfassende Datenerhebung müssten aber Rückverfolgbarkeitssysteme für alle biobasierten Produkte bestehen. Alternativ könnten Daten, welche unmittelbar als Indikatoren zur Bewertung ökonomischer und ökologischer Effekte verwendet werden können, mit Hilfe der Prozessanalyse erhoben werden. Eine Verkettung der Prozesse wäre dann allerdings notwendig, um Aussagen zu den Effekten von stufenübergreifenden Prozessen machen zu können, und es würde eine ähnliche Datenlage wie bei der Rückverfolgbarkeit erzielt werden.

Eine Besonderheit der Prozessanalyse ist die erweiterte Möglichkeit der Analyse von Kennzahlen und Indikatoren. Die Prozessanalyse erlaubt Aussagen über wirtschaftliche Indikatoren (z.B. Arbeitsplätze) sowie ökologische Indikatoren (z.B. Wasserverbrauch). Durch das Versehen von Prozessen mit Informationen wird das Auffinden von Schlüsselindikatoren erleichtert, die das Bewerten von Prozessen ermöglichen.

Im Hinblick auf das Monitoring der Bioökonomie mit ökonomischen und ökologischen Indikatoren kann festgehalten werden, dass Informationen zusätzlich zu Art und Menge der Biomasse durch aufwärtsgerichtete Stoffstromanalysen oder Prozessanalysen gesammelt werden können.

## 2.1.6 Handlungsempfehlungen

### 2.1.6.1 Verwendung verfügbarer Daten und Informationen

Verfügbar sind vor allem Daten zur Bestimmung des Biomasseangebots (bzw. der inländisch genutzten Biomasse), d.h. Daten wirtschaftlicher Aktivitäten, die biologische Ressourcen erzeugen. Daten zu wirtschaftlichen Aktivitäten, die biologische Ressourcen verwenden sind in geringerem Umfang verfügbar. Bis zur ersten Verarbeitungsstufe (Zucker, Stärke, Öle, Fette) ist die Datenlage zwar noch ausreichend, soweit Biomassearten eindeutig identifizierbar sind. Ab der ersten Verarbeitungsstufe kann die weitere Verwendung aber nur über Abschätzungen ermittelt werden. Dies würde nicht den Anforderungen der Eindeutigkeit, der Klarheit, der Präzision und der Vollständigkeit genügen. Es liegen zwar umfangreiche Daten auf Unternehmensebene vor, diese sind aber entweder nicht zugänglich oder nicht zusammengefasst.

Neben der Analyse der Stoffströme werden Daten auch mit Methoden der Rückverfolgbarkeit oder Prozessanalyse erfasst. Mit Hilfe der Rückverfolgbarkeit generierte Daten sind im Lebensmittel- und Biokraftstoffsektor zu finden und könnten möglicherweise von Zertifizierungsstellen abgefragt werden. Daten aus Prozessanalysen stehen für alle Sektoren teilweise zur Verfügung, je nachdem, wie viele Prozesse betrachtet werden. Diese Daten sind jedoch derzeit nur eingeschränkt für das Monitoring zugänglich.

Der biobasierte Anteil von Dienstleistungen wird nicht statistisch erfasst. Daten liegen möglicherweise durch Prozessanalysen für einzelne Dienstleistungsprozesse vor, diese sind aber nur eingeschränkt zugänglich. Prozessanalysen würden eine Einbeziehung von Dienstleistungen in das Monitoring ermöglichen, weil auch Informationsflüsse und sonstige Abläufe abgebildet werden,

und könnten deren Effekte genauer ermitteln als Schätzmethoden. Stoffstromanalysen sind auf Grund ihrer Fokussierung auf Biomasseströme weniger geeignet bzw. es müsste der Beitrag zur Bioökonomie mittels Schätzverfahren approximativ bestimmt werden.

Die Eigenschaft „Substitution endlicher Rohstoffe“ wird nicht statistisch erfasst. Methoden der Rückverfolgbarkeit und der Prozessanalyse wären im Stande, Informationen über diese Eigenschaft zu sammeln. Mithilfe der Prozessanalyse könnte genau erfasst werden, an welcher Stelle bzw. Aktivität welche Rohstoffe substituiert werden. Zudem würde aufgezeigt werden, welche Dienstleistungen zur Substitution beitragen. Rückverfolgbarkeitssysteme könnten um Informationen über die Substitution erweitert werden. Da die Information weder erfasst noch zugänglich ist, bedarf es der Anwendung der Methoden sowie statistischer Erhebungen.

Die Abbildung ökonomisch-ökologischer Effekte der Bioökonomie wird durch aufwärtsgerichtete Stoffstromanalysen unterstützt, weil Biomasse über ihren Lebensweg verfolgt wird. Einige ökologische Effekte werden beispielsweise im Rahmen von Biomasse-Zertifizierungen abgebildet. Verlässliche Daten gibt es nur im Bereich der Biokraftstoffe, da bestimmte ökologische Effekte auf Grund gesetzlicher Bestimmungen erfasst werden müssen.

### **2.1.6.2 Erhebung weiterer Daten und Informationen**

Für das Monitoring ist es erforderlich, dass eine Verknüpfung der verwendeten Biomasse mit Prozessen hergestellt wird. Bisher kann nur stark begrenzt ermittelt werden, welche biologischen Ressourcen und wie viel davon in den Wirtschaftszweigen verwendet werden. Eine Erweiterung der Material- und Wareneingangserhebung des Statistischen Bundesamts wäre eine effiziente Option mit hohem Nutzen. Dafür müssten die Daten in kürzeren Zeitabständen, abhängig von der Anforderung an die Aktualität erhoben werden. Rohstoffe müssten differenzierter als bisher erfragt werden und zum Beispiel Nebenerzeugnisse einschließen. Einen großen Mehrwert hätten auch mengenmäßige Angaben zusätzlich zu monetären Angaben.

Eine alternative Möglichkeit der Erfassung weiterer Informationen, die zeitnah und mit geringem Aufwand umsetzbar ist, stellt die Abschätzung durch Experten der jeweiligen Wirtschaftszweige dar. Dies könnte ein Weg sein, ein Monitoring zeitnah zu beginnen, auch wenn dieses zunächst mit größerer Unsicherheit behaftet wäre.

Die Relevanz von Dienstleistungen für die Bioökonomie müsste für den Anfang abgeschätzt werden bzw. argumentativ hergeleitet werden. Langfristiges Ziel sollte aber eine exakte Zuordnung nach zuvor definierten Kriterien sein, wie zum Beispiel die Bereitstellung von Wissen und Informationen für die Erzeugung und Verwendung von biologischen Ressourcen. Hierfür bieten sich Prozessanalysen an, die Informationen darüber enthalten, welche Prozesse in der Produktion und Verwendung von biologischen Ressourcen durch welche Dienstleistungsprozesse unterstützt werden.

Um den Anteil substituierender wirtschaftlicher Aktivität mit Hilfe der aufwärtsgerichteten Stoffstromanalyse darzustellen, müssten Rückverfolgbarkeitssysteme um die entsprechenden Prozessinformationen erweitert und auf alle Biomasse nutzenden Sektoren ausgeweitet werden. Entsprechende gesetzliche Vorlagen wären zu schaffen, um einheitliche Informationen von möglichst vielen Akteuren erheben zu können.

Die Erfassung des Merkmals Substitution in Prozessen im Rahmen von Prozessanalysen erfordert eine Selbstauskunft der Prozessbetreiber inwieweit in den betrachteten, unternehmenseigenen Prozessen eine Substitution von endlichen Ressourcen stattgefunden hat. Alternativ könnten mit Hilfe von Materialbilanzen zu den Prozessen oder vergleichenden Material- und Wareneingangserhebungen indirekt Schlüsse darüber gezogen werden, ob eine Substitution stattgefunden hat. Voraussetzung ist die Erweiterung der Erhebung wie in Schritt 1 vorgeschlagen.

Eine Ausweitung der Rückverfolgbarkeitssysteme, wie in Schritt 2 beschrieben, wäre eine gute Möglichkeit, Umwelteffekte zu erfassen. Die Genauigkeit des Systems hängt dann davon ab, welche Effekte abgebildet werden sollen.

Die Anforderungen eines Monitorings der mit der Bioökonomie verbundenen ökonomischen und ökologischen Effekte lassen sich auch mit dem Ansatz der Prozessanalyse erfüllen, sofern die Prozessbeschreibungen auch die erforderlichen Indikatoren und Kennzahlen enthalten. Anfangs könnte das Monitoring auf Beschreibungen von Standardprozessen zurückgreifen, welche sukzessive durch erhobene Informationen von Ist-Prozessen in repräsentativen Unternehmen und Organisationen ersetzt werden können. Eine Festlegung auf das methodische Vorgehen im Rahmen der Pilotstudie erfolgt im Kapitel 3. Daraufhin erfolgt eine detailliertere Beschreibung für die Umsetzung der Methoden.

## **2.2 Abschätzung bioökonomierelevanter Teilbereiche unterhalb der WZ-Klassifizierungen**

In Kapitel 1.4 wurden verschiedene Systemgrenzen für die Bioökonomie diskutiert und eingegrenzt. Als umfassendster Ansatz zur Beschreibung der Systemgrenzen der Bioökonomie wurde die Abhebung auf den biologischen Ursprung der in der Bioökonomie genutzten Ressourcen genannt, sodass jedwede Produktion, Verarbeitung oder sonstige Nutzung biologischer Ressourcen im Betrachtungsrahmen eingeschlossen wäre. Als ergänzender Filter wurde der Substitutionsansatz vorgestellt, der nur Aktivitäten berücksichtigt, die tatsächlich zu einem Übergang von einer fossil-basierten zu einer biobasierten Wirtschaft beitragen. Bei der Konkretisierung dieser Systemgrenzen ergibt sich das Problem, dass in der vorhandenen amtlichen Statistik nicht ohne weiteres erkennbar ist, welche Wirtschaftszweige in welchem Umfang biologische Ressourcen nutzen und zur Substitution beitragen.

In diesem Kapitel 2.2 sollen daher Methoden für die Abschätzung bioökonomierelevanter Teilbereiche vorgestellt werden. Im ersten Teil (Abschnitt 2.2.1) werden Methoden zur Bestimmung der Bioökonomie zuzuordnender Anteile an wirtschaftlichen Kennzahlen unterhalb der Klassifizierung der Wirtschaftszweige (WZ) diskutiert, während im zweiten Teil (Abschnitt 2.2.2) der Substitutionsansatz weiter ausgeführt wird.

### **2.2.1 Methoden zur Bestimmung der Bioökonomie zuzuordnender Anteile an wirtschaftlichen Kennzahlen unterhalb der WZ-Klassifizierung**

Die WZ-Klassen stellen für die meisten Wirtschaftsbereiche die unterste Ebene dar, für die strukturelle und betriebswirtschaftliche Kennzahlen durch die Statistischen Ämter, Statistisches Bundesamt bzw. Eurostat, erhoben werden. Auf dieser Ebene ist jedoch in den meisten Fällen nicht erkennbar, welcher *Anteil* dieser Kennzahlen der Bioökonomie zuzuordnen wäre.

Zunächst könnten die WZ-Bereiche aufgrund ihrer Bezeichnungen vollständig oder anteilig aufgrund vereinfachender Annahmen der Bioökonomie zugerechnet werden. Dieser Ansatz bietet sich insbesondere für den Bereich der Dienstleistungen an, da hier im Gegensatz zum Verarbeitenden Gewerbe keine Produktion von Gütern erfolgt, deren bioökonomischer Anteil quantifiziert werden könnte.

Efken et al. 2012 haben diesen Ansatz bereits verfolgt. Eine Gegenüberstellung der Dienstleistungsbereiche die im Rahmen dieses Projektes zumindest in Teilbereichen der Bioökonomie zugeordnet werden sowie der Annahmen, die in Efken et al. 2012 für diese WZ-Bereiche getroffen wurden zeigte größtenteils eine Übereinstimmung der Einschätzung der Relevanz für die Bioökonomie, teilweise gibt es aber auch Unterschiede. So beziehen Efken et al. 2012 den gesamten Bereich der Handelsvermittlung (z.B. Makler für Agrarrohstoffe und Lebensmittel) nicht mit ein, ebenso den Einzelhandel mit Büchern, Zeitschriften und Zeitungen. Für den Lebensmitteleinzelhandel und Drogerien beruhte die Abschätzung von Efken et al. 2012 auf Marktforschungsdaten (Zuordnung zur Bioökonomie gemäß des mit Lebensmitteln erwirtschafteten Anteils am Umsatz), was notwendigerweise zu einer hohen Unschärfe führt. Insgesamt wird deutlich, dass eine eindeutige, objektive Zuordnung von Dienstleistungssektoren zur Bioökonomie hier an ihre Grenzen stößt.

Auf Ebene der Güter des Verarbeitenden Gewerbes kann mit entsprechendem Expertenwissen eine Abschätzung über biobasierte Anteile vorgenommen werden. Diese Methode wurde vom nova-Institut über mehrere Jahre entwickelt und angewandt, so dass mittlerweile gute Erfahrungswerte vorliegen (z.B. Piotrowski et al. 2016). Es folgt eine Kurzbeschreibung dieser Methode.

Für die Güter des Verarbeitenden Gewerbes liefert die Produktionserhebung des Statistischen Bundesamtes jährlich den *Wert* und die *Menge* der zum Absatz bestimmten Produktion. Die Mengenangaben liegen allerdings in unterschiedlichen Einheiten vor (überwiegend in kg, aber

teilweise auch in Stück, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, etc.), was eine Schätzung von biobasierten Mengenanteilen erschwert. Daher wurde in den bisherigen Arbeiten des nova-Instituts der Produktionswert eines Gutes als Grundlage genommen und unterstellt, dass ein bestimmter biobasierter Mengenanteil einen entsprechenden Anteil des Produktionswertes eines Gutes ausmacht.

Konkret wird bei diesem Ansatz der Produktionswert eines Gutes mit seinem geschätzten biobasierten Anteil multipliziert und das Ergebnis auf WZ-Klassenebene aufsummiert. So ergibt sich ein geschätzter biobasierter Produktionswert als Anteil des gesamten Produktionswertes einer Klasse. Dieser Anteil kann dann auf weitere wirtschaftliche Kennzahlen auf Ebene der jeweiligen WZ-Klasse übertragen werden.

Es hat sich gezeigt, dass für manche Güter eine Expertenschätzung des biobasierten Anteil recht zuverlässig möglich ist, während für andere selbst für in der jeweiligen Branche tätige Experten nur eine Einschätzung der Größenordnung möglich ist.

Ein Problem bei diesem Ansatz kann sich dann ergeben, wenn Angaben in der Produktionserhebung unvollständig sind und die Werte dieser Güter entsprechend nicht in die Berechnung des biobasierten Anteils eingehen. Dies kommt leider häufig vor, allerdings liegt dies meist nicht daran, dass diese Werte tatsächlich nicht bekannt sind, sondern dass diese einer Geheimhaltung unterliegen und deshalb nur öffentlich nicht einsehbar sind (Heinze 2017). Das Problem fehlender Werte dürfte also für ein Monitoring, bei dem die Rohdaten nicht öffentlich gemacht werden müssen, weniger gravierend sein.

Bei diesem Ansatz begeht man jedoch immer einen gewissen „Fehler“, da die Wirtschaftszweigklassifikation streng genommen nicht identisch ist mit der Güterklassifikation, da Unternehmen ihrer Haupttätigkeit nach einer WZ-Klasse zugeordnet werden, obwohl sie auch Güter anderer WZ-Klassen produzieren. Ein Vergleich der Produktionswerte, die nur nach WZ-Klasse ausgewiesen wurden, mit den Produktionswerten, die aufgrund der wirklichen Werte einzelner Güter zustande gekommen sind und dann auf WZ-Klassen-Ebene aggregiert wurden, zeigt jedoch, dass dieser Fehler, wenn nicht vernachlässigbar, so doch akzeptabel ist.

Ein weiterer Ansatz zur Abschätzung bioökonomierelevanter Anteile unterhalb der WZ-Klassen ergibt sich aus der Material- und Wareneingangserhebung (MWE), welche den Einkaufswert von bezogenen Rohstoffen und sonstigen fremdbezogenen Vorprodukten sowie Hilfsstoffen, Betriebsstoffen, Verpackungsmaterial, Küchen- und Kantinenwaren, Brenn- und Treibstoffen sowie Energie im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden erfragt (Statistisches Bundesamt 2013). Der Detaillierungsgrad reicht bis auf die Ebene der WZ-Klassen, d.h. es lässt sich der Vorleistungswert von Gütern einer WZ-Klasse für eine andere WZ-Klasse ablesen. Die MWE wird allerdings nur alle vier Jahre erhoben und liegt zuletzt für die Erhebungsjahre 2010 und 2014 vor (Statistisches Bundesamt 2017d).

Da die Vorleistungen einiger Klassen der MWE als vollständig biobasiert angesehen werden können, kann man ohne eigene Abschätzungen vornehmen zu müssen berechnen, welchen Anteil diese eindeutig biobasierten Vorleistungen am gesamten Vorleistungswert einer WZ-Klasse haben. Dieser Ansatz wurde z.B. von Efken et al. 2012 und Efken et al. 2016 verfolgt. In dieser Studie wurden insgesamt 11 WZ-Klassen, z.B. Erzeugnisse der Landwirtschaft und Jagd und Erzeugnisse pflanzlichen Ursprungs + Rohe pflanzliche Stoffe, vollständig der Bioökonomie zugerechnet.

Ein Vergleich der mit diesem Ansatz berechneten biobasierten Anteilen der WZ-Klassen innerhalb der Abteilung 20 (Herstellung chemischer Erzeugnisse) mit den biobasierten Anteilen gemäß der Abschätzung auf Basis der Produktionserhebung zeigte für manche Klassen, wie z.B. 20.41 (H. v. Seifen, Wasch- und Reinigungsmittel), 20.52 (H. v. Klebstoffen) und 20.59 (H. v. sonstigen chemischen Erzeugnissen) eine recht hohe Übereinstimmung, während die Ergebnisse besonders für 20.53 (H. v. Ätherischen Ölen) gravierend abweichen.

Die sehr unterschiedliche Bewertung der Klasse 20.53 ist vermutlich darin begründet, dass in der einen Methodik die *Vorleistungen* betrachtet werden, wohingegen die andere Methodik die biobasierten Anteile im *Produkt* betrachtet. Ätherische Öle wurden als vollständig biobasiert angenommen, da sie per Definition Extrakte aus Pflanzen darstellen. Für ihre Herstellung werden jedoch (petrochemische) Lösungsmittel verwendet, die im Produkt selbst nicht mehr enthalten sind. Diese werden offenbar in der MWE erfasst, denn neben Erzeugnissen der Landwirtschaft und Lebens- und Futtermitteln stellen Erzeugnisse der Klasse 20.59 (H. v. sonstigen chemischen Erzeugnissen) die einzige relevante Klasse an Vorleistungen dar.

Um die weiteren Ergebnisse nachvollziehen zu können, müssen die dieser Klasse zugeordneten Güter näher betrachtet werden. Zur Klasse 20.59 gehören z.B. u.a. Biodiesel und Schmierstoffe. Ohne dass die Statistik selbst nähere Auskunft gibt, liegt es demnach nahe, dass Vorleistungen in Form von pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten zu dem hohen Anteil biobasierten in der Klasse 20.59 maßgeblich beitragen.

Die vorgestellte Methode eignet sich gut, um schnell und ohne eigene Abschätzungen vornehmen zu müssen zu Aussagen über biobasierte Anteile zu kommen. Das Beispiel zeigt jedoch auch, dass die Ergebnisse nur dann näher interpretiert werden können, wenn Kenntnis über die einer WZ-Klasse zugeordneten Produkte besteht.

Zudem unterschätzt die Methode tendenziell die biobasierten Anteile, da ja nur eindeutig biobasierte Klassen berücksichtigt wurden. Alle teilweise biobasierten Mischklassen fehlen also bei dieser Methode. Chemische Erzeugnisse selbst sind z.B. wiederum Vorleistungen für andere chemische Erzeugnisse (z.B. Erzeugnisse der Klasse 20.14 (Sonstige organische Grundstoffe) für die Klasse 20.41 (Seifen, Wasch- und Reinigungsmittel). Da chemische Erzeugnisse als Vorleistungen jedoch nicht berücksichtigt wurden (nicht, wie Efken et al. 2012 schreiben, weil

kein biobasierter Anteil unterstellt wurde, sondern weil dieser Anteil nicht bekannt ist), ist der berechnete biobasierte Anteil tendenziell zu klein.

Ein Lösungsansatz für diese Problematik wäre, die nach der Methode auf Basis der Produktionserhebung berechneten biobasierten Anteile einzelner Klassen auch auf die Anteile der Vorleistungen zu beziehen, um somit differenziertere Ansätze im Hinblick auf die Mischklassen zu erhalten. Alternativ könnte auch die Datenerhebung der MWE differenzierter gestaltet werden, um die notwendigen Informationen zu erhalten. Der Unterschied der beiden Methoden (Berücksichtigung von Vorleistungen nach MWE oder biobasierter Anteil im Produkt) liegt sehr stark darin, dass bei der einen Methodik der biobasierte Anteil am Gesamtumsatz, bzw. Prozess betrachtet werden kann, während die andere Methodik nur den im Endprodukt verbleibenden biobasierten Anteil berücksichtigt. Bei der Auswahl einer der Methoden oder einer möglichen Kombination für ein Monitoring muss entschieden werden, was das eigentliche Ziel der Betrachtung sein soll.

Ein weiterer möglicher Ansatz zur Integration von Dienstleistungen und Handel ergibt sich aus der Betrachtung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR), da dort, im Gegensatz zur MWE, neben Produkten auch Dienstleistungen und Handel aufgeführt werden, die Vorleistungen für oder Lieferungen des Verarbeitenden Gewerbes darstellen.

Erstere werden in der Verwendungstabelle aufgeführt und letztere in der Aufkommenstabelle. Beide Tabellen zeigen allerdings die Vorleistungen bzw. Lieferungen für WZ-Klassen und nicht Gütergruppen. Wie oben bereits erwähnt, besteht der Unterschied darin, dass i.d.R. eine WZ-Klasse nicht ausschließlich einer einzelnen Gütergruppe zuzuordnen ist: Ein Unternehmen, das z.B. der WZ-Klasse 20.14 „H. v. Sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien“ aufgrund seiner Haupttätigkeit zuzuordnen ist, stellt nicht unbedingt ausschließlich Waren dieser Gütergruppe her.

Die Zuordnung von Vorleistungen zu Gütergruppen erfolgt erst in der Input-Output-Tabelle. Für eine Umsetzung des Filters „Produktionsstufen“ könnte man z.B. nur die Vorleistungen gemäß der Verwendungstabelle berücksichtigen, da diese ja dem Verarbeitenden Gewerbe vorgelagert sind. Allerdings sind in diesen Vorleistungen selbstverständlich ganz verschiedene Arten von Dienstleistungen enthalten, wie auch Leistungen des Handels (z.B. für den Einkauf von Vorprodukten). Dies zeigt, dass die bisher skizzierte Vorstellung, der Handel sei der Produktion nachgelagert und man könne durch ein Abschneiden nach der Produktion das Problem der Zuordnung des Handels umgehen, irreführend ist. Dennoch könnten weiterhin zum Setzen eines solchen Filters bestimmte Dienstleistungen aus der VGR getrennt berücksichtigt werden, z.B. die Vorleistungen der Abteilung 72 „Forschungs- und Entwicklungsleistungen“, die mutmaßlich abhängig von der physischen Beschaffenheit der nachgelagerten Produkte erbracht werden.

Um den Beitrag von Dienstleistungen und Handel zur Bioökonomie abzuschätzen könnte man ähnlich wie in Efken et al. 2012 annehmen, dass „der prozentuale Anteil biobasierter Rohstoffe

und Waren am Wert des gesamten Material- und Wareneinganges einer Wirtschaftsklasse einen entsprechenden prozentualen Anteil an der Wertschöpfung dieser Wirtschaftsklasse erzeugt“ und darüber hinaus „immaterielle“ Vorleistungen (Dienstleistungen und Handel) ebenso einen entsprechenden Anteil an dieser Wertschöpfung haben.

Der Anteil von Dienstleistungen und Handel am gesamten Vorleistungswert von ausgewählten Wirtschaftszweigen mit starkem Bezug zur Bioökonomie (u.a. Textilien und Bekleidung, Holzwaren, Papier und Pappe, chemische Erzeugnisse) beträgt etwa 20-30 %, mit nur geringen Unterschieden zwischen den Wirtschaftszweigen.

Ist man nun über die Abschätzung biobasierter Anteile auf Produktebene bereits zu einem Wert für den biobasierten Anteil insgesamt auf Ebene der Wirtschaftsabteilungen gelangt (z.B. für Abteilung 20 – Chemische Erzeugnisse), könnte man annehmen, dass derselbe Prozentsatz der Vorleistungen – Waren ebenso wie Dienstleistungen – der Bioökonomie zuzuordnen ist.

Wie erwähnt stellen die MWE und die VGR zwar in Teilen die gleichen Sachverhalte dar, nämlich die Vorleistungswerte für die Ebene der WZ-Klassen, beide Statistiken verfolgen jedoch ganz andere Zielsetzungen. Während die MWE eine Primärerhebung bei Unternehmen ist, besteht die VGR aus mehreren Strom- und Bestandsrechnungen, die aufeinander abgestimmt ein quantitatives Gesamtbild des wirtschaftlichen Geschehens beschreibt. Die MWE stellt hierfür nur eine von vielen Datenquellen dar, die auch nicht 1:1 übernommen, sondern für die Zwecke der VGR angepasst wird (Heinze 2017).

Um die teilweise gravierenden Unterschiede zu verdeutlichen, wurden die Vorleistungswerte bioökonomierelevante WZ-Abteilungen gemäß beider Quellen, VGR und MWE, verglichen. Nur in Bezug auf die Vorleistungswerte aus der Land- und Forstwirtschaft waren die Unterschiede besonders groß. Für die Abteilung 20 (Chemische Erzeugnisse) weist die VGR z.B. einen Vorleistungswert von 48 Mill. € aus und die MWE einen Wert von 2,5 Mrd. €. Für Holzwaren (ohne Möbel) lag der Vorleistungswert nach VGR bei etwa 1,5 Mrd. Euro, nach MWE dagegen bei 3 Mrd. €.

Betrachtet man statt nur der land- und forstwirtschaftlichen Erzeugnisse die Summe aller eindeutig biobasierten Vorleistungen (nämlich zusätzlich die Vorleistungen aus den Abteilungen Nahrungs- und Futtermittel sowie Holz- und Papierwaren) ergibt sich eine viel höhere Übereinstimmung zwischen VGR und MWE, vor allem für die Chemischen Erzeugnisse. Nach Auskunft des Statistischen Bundesamts liegt dies tatsächlich daran, dass für die Zwecke der VGR andere Zuordnungen vorgenommen wurden (Heinze 2017).

Eine weitere „Unschärfe“ bei der Verwendung der VGR auf Basis zuvor bestimmter biobasierter Anteile auf Ebene der WZ-Abschnitte ergibt sich dadurch, dass die Produktionserhebungen und die VGR zwar prinzipiell die gleichen Sachverhalte abbilden, z.B. Produktionswerte, methodisch und von der Zielsetzung her aber völlig unterschiedlich sind (Heinze 2017). Daher sind die

Produktionswerte der WZ-Abschnitte des Produzierenden Gewerbes gemäß der VGR und der Produktionserhebung auch nur ungefähr gleich. Für einige WZ-Abschnitte gibt es sogar erhebliche Abweichungen.

Alle drei vorgestellten Ansätze zur Schätzung biobasierter Anteile auf Ebene der WZ-Klassen haben ihre eigene Berechtigung. Die Schätzung über Anteile auf Güterebene erlaubt den höchsten Detaillierungsgrad. Nur die MWE und die VGR erlauben jedoch Aussagen über Vorleistungen für Produktionsprozesse und nur die VGR erlaubt auch Aussagen über Vorleistungen in Form von Dienstleistungen.

Es liegt daher nahe, alle drei Ansätze zu verknüpfen. Eine Möglichkeit der Verknüpfung besteht darin, in der Schätzung biobasierter Anteile anhand der MWE diejenigen WZ-Klassen zu berücksichtigen, die nur teilweise biobasierte Vorleistungen liefern, z.B. chemische Erzeugnisse. Die Abschätzung des biobasierten Anteils dieser Vorleistungen könnte anhand der Schätzung auf Güterebene erfolgen.

### 2.2.2 Filter Substitution

In Kapitel 1.4 wurden verschiedene Systemgrenzen für die Bioökonomie diskutiert. Unter ihnen ist der Substitutionsansatz, nach dem alle wirtschaftlichen Aktivitäten, die zu einem Übergang von einer fossil-basierten zu einer biobasierten Wirtschaft beitragen, Teil der Bioökonomie sind. Im Bioökonomie-Monitoring soll demnach nicht nur die Entwicklung traditioneller Bereiche wie der Ernährungswirtschaft, sondern vor allem auch das Voranschreiten der Bioökonomie im Sinne einer energetischen und stofflichen Nutzung biogener Rohstoffe dargestellt werden können.

In diesem Abschnitt soll die Umsetzbarkeit dieser Systemgrenze erörtert werden. Da sich das Monitoring-Vorhaben an der WZ-Klassifikation orientiert, wird auch der Substitutionsfilter danach ausgerichtet. Dies ermöglicht eine Betrachtung sowohl auf gesamtwirtschaftlicher Ebene als auch auf der Ebene der Wirtschaftsbereiche und erleichtert die Anbindung an bestehende Systeme der amtlichen Datenerhebung. In den vorherigen Abschnitten wurde bereits gezeigt, wie bioökonomierelevante Teilbereiche ohne Substitutionsfilter mit dem „bio-based share approach“ abgeschätzt werden können. Wenn der Übergang von einer fossil- zu einer biobasierten Wirtschaft dargestellt werden soll, müssten die Güter zusätzlich auf ihre substituierende Eigenschaft geprüft werden. Nur Substitutionsgüter, d.h. Güter, die vergleichbare Funktionen ausweisen, sind bei Anwendung des Substitutionsfilters einzubeziehen. In der Papierindustrie wird zum Beispiel zu einem großen Anteil Biomasse verarbeitet, das Produkt besteht also hauptsächlich aus Biomasse („stoffliche Nutzung“), aber eine Steigerung der Papierproduktion würde wahrscheinlich nicht zur Substitution fossiler Rohstoffe beitragen – im Gegenteil, Produktionssteigerungen würden eher einen höheren fossilen Energieverbrauch bewirken.

Die Substitution in den einzelnen Wirtschaftsbereichen kann ermittelt werden, indem die Nutzung biobasierter Produkte, welche fossil-basierte Produkte ersetzen können, der gesamten Nutzung bio- und fossil-basierter Produkte gegenübergestellt wird (Jander, Grundmann 2019):

$$SSI_i = \frac{FRS_i}{FRC_i + FRS_i}$$

$SSI_i$  – Substitutionsanteil in einem Sektor i (Substitution Share Indicator)

$FRS_i$  – Einsparung fossiler Rohstoffe (Fossil Resource Saving)

$FRC_i$  – Theoretische Nutzung fossiler Rohstoffe (Fossil Resource Consumption)

$$FRS_i = \sum_{b,f=1}^n X_{bi} * (FRE_{fi} * SF_i - FRE_{bi})$$

$X_{bi}$  – Menge der biobasierten Produkte

$FRE_{fi}$  – Verbrauch fossiler Rohstoffe entlang des Lebenszyklus von fossil-basierten Produkten (Fossil Resource Equivalent)

$SF_i$  – Substitutionsfaktor

$FRE_{bi}$  – Verbrauch fossiler Rohstoffe entlang des Lebenszyklus von biobasierten Produkten (Fossil Resource Equivalent)

$$FRC_i = \sum_{b,f=1}^n X_{fi} * FRE_{fi} + X_{bi} * FRE_{bi}$$

$X_{fi}$  – Menge der fossil-basierten Produkte

Die biobasierten Produkte sparen die Differenz zwischen dem Verbrauch fossiler Rohstoffe der beiden Substitutionsgüter ein ( $FRE_{fi} - FRE_{bi}$ ). Hintergrund der Überlegung ist, dass biobasierte Produkte nicht vollständig aus Biomasse bestehen und dass in vorgelagerten Produktionsstufen neben biogenen auch fossile Rohstoffe eingesetzt werden. Ein korrigierender Substitutionsfaktor ist dann erforderlich, wenn von einem biobasierten Substitutionsgut mehr oder weniger Menge erforderlich ist, um die gleiche Funktion wie das fossil-basierte Substitutionsgut zu erfüllen.

Für den Indikator „Substitutionsanteil“ sind Angaben auf Produktebene erforderlich. Die Menge bio- und fossil-basierter Produkte in einem Wirtschaftsbereich ( $X_{bi,fi}$ ) könnte entweder die Menge der verwendeten Vorprodukte (Input-Sicht) oder die Menge der produzierten Güter (Output-Sicht) sein. Aus Input-Sicht werden in den Wirtschaftsbereichen biobasierte anstatt fossil-basierte Produktionsfaktoren genutzt. Es geht also darum, welche Vorprodukte und

Betriebsstoffe genutzt werden und ob diese bio- oder fossil-basiert sind. Aus Output-Sicht werden in den Wirtschaftsbereichen biobasierte Substitutionsgüter, also mit fossil-basierten Gütern vergleichbare Güter, hergestellt. Die Wahl der Sichtweise hängt davon ab, welche Daten verfügbar sind, denn letztendlich ist es für eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung unerheblich, welche Sichtweise angenommen wird, da die Güter des einen Sektors die Vorprodukte eines anderen Sektors sind. Wenn einzelne Wirtschaftsbereiche analysiert werden sollen, ist die Wahl des Ansatzes jedoch entscheidend für das Ergebnis. Für die Umsetzung der Input-Sicht müssten Daten zur Verwendung von fossilen und biogenen Rohstoffen und Vorprodukten auf disaggregierter Ebene erst noch erhoben werden. Da sich Angaben in der Produktionsstatistik auf die Herstellung von Gütern beziehen, ist die Output-Sicht aus Gründen der Datenverfügbarkeit leichter umsetzbar, obwohl auch hier Datenlücken im Bereich der innovativen biobasierten Güter bestehen. Substitutionsfaktoren können mit Hilfe der technischen Eigenschaften von Produkten ermittelt werden und sind in der Literatur zu finden. Die Koeffizienten für den Verbrauch fossiler Rohstoffe ergeben sich aus Lebenszyklusanalysen und können verschiedenen Lebenszyklus-Datenbanken und der wissenschaftlichen Literatur entnommen werden.

Aus methodischer Sicht erfordert der Substitutionsfilter, dass mit Hilfe von Experten eine Verbindung zwischen fossil- und biobasierten Substitutionsgütern hergestellt wird. Für die Input-Sicht sind regelmäßige Berichte der technischen Möglichkeiten erforderlich. Diese Informationen müssten dann bei der Datenerhebung verwendet werden. Für die Output-Sicht besteht die Herausforderung darin, dass für den Primärsektor möglicherweise nicht eindeutig ermittelt werden kann, ob die Erzeugnisse zur Substitution fossiler Rohstoffe beitragen, da die Verwendungsmöglichkeiten vielfältig sind. Die Relation von Produkten könnte sich besonders schwierig im Falle von Dienstleistungen gestalten. Hierfür bedarf es der Entwicklung einer neuen Methodik.

Ein Monitoring mit Substitutionsfilter, welches den Übergang von einer erdöl-basierten zu einer biobasierten Wirtschaft ausweist, stellt hohe Anforderungen an die Methodik und Datenverfügbarkeit. In der Pilotstudie im Chemie- oder Kunststoffsektor wird der Substitutionsfilter angewendet (siehe Kapitel 3.4) und hinsichtlich des Aufwands und der Genauigkeit bewertet.

## 2.3 Entwicklung von ökonomischen Indikatoren

### 2.3.1 Fragestellung

Indikatoren sind Messgrößen, die komplexe Sachverhalte vereinfacht abbilden und Entwicklungen aus z.B. wirtschaftlicher und/oder ökologischer Perspektive darstellen sollen. Sie werden bereits regelmäßig zur Beschreibung der Umweltwirtschaft (als Querschnittsbranche), aber auch bestimmter Teilbereiche der Bioökonomie genutzt. Um die geeigneten Kennziffern und Indikatoren aus einer methodischer Perspektive zu entwickeln werden in diesem Abschnitt ökonomische Analysemethoden, die den Nexus zwischen Umwelt und Wirtschaft abbilden bzw. für die Bioökonomie genutzt werden könnten, dargestellt.

### 2.3.2 Übertragbarkeit vorhandener Konzepte für andere Querschnittsbranchen

Da die Bioökonomie eine Querschnittsbranche ist, soll in diesem Abschnitt dargestellt werden, welche Indikatoren für andere Querschnittsbranchen wie die Umweltwirtschaft oder die Gesundheitswirtschaft hergeleitet werden. Erste Anhaltspunkte, welche wirtschaftlichen Kennziffern für die Beschreibung der Umweltwirtschaft verwendet werden, bietet die amtliche Statistik. In der **Statistik der „Waren und Dienstleistungen für den Umweltschutz“ des Statistisches Bundesamtes** wird für Deutschland seit dem Jahr 1998 (beginnend mit dem Berichtsjahr 1997) eine Erhebung der Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz nach §16 Abs.1 des Umweltstatistikgesetzes vom September 1994 durchgeführt. Diese Erhebung umfasst die Merkmale „Einheiten mit umweltschutzbezogenen Umsätzen“, „Umsatz mit Umweltschutzgütern und -dienstleistungen nach In- und Ausland“ sowie „Beschäftigte für den Umweltschutz“. Umsätze, die direkt mit der Abfallsammlung, -behandlung und/oder -beseitigung bzw. direkt mit der Abwassersammlung, -behandlung und/oder -beseitigung erzielt werden, können der **Umsatzsteuerstatistik** entnommen werden. Dort werden die Merkmale „Anzahl Steuerpflichtige“ und „Lieferungen und Leistungen in €“ ausgewiesen, die im Wesentlichen der Anzahl der steuerpflichtigen Unternehmen und dem Umsatz entsprechen.

Aufbauend auf die amtliche Statistik können Auswertungen für einen bestimmten Untersuchungsgegenstand vorgenommen werden. So ist die Vorgehensweise beim **produktionswirtschaftlichen Ansatz des Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung (NIW)**. Dieser greift auf amtliche Daten der Produktions- und Außenhandelsstatistik zurück, wobei die umweltrelevanten Produktions- und Außenhandelsvolumina auf Basis einer Liste „potenzieller Umweltschutzgüter“ ermittelt werden (Gehrke/Schasse 2015). Auf diese Weise werden die folgenden Kennziffern ausgewiesen:

- Produktionsvolumen von potenziellen Umweltschutzgütern (in €)
- Außenhandel Deutschlands mit potenziellen Umweltschutzgütern (Einfuhr und Ausfuhr in €)
- Exporte verschiedener Länder von potenziellen Umweltschutzgütern (in €)

- Welthandelsanteile verschiedener Länder bei potenziellen Umweltschutzgütern (in %)
- Außenhandelsspezialisierung Deutschlands bei potenziellen Umweltschutzgütern, gemessen durch:
  - Exportspezialisierung oder „Relativer Weltexportanteil“ RXA: Anteil am Welthandel bei einer bestimmten Produktgruppe im Vergleich zu Industriewaren insgesamt (dimensionslos), oder:
  - Außenhandelsspezialisierung RCA („Revealed Comparative Advantage“): Export/Import-Relation bei einer bestimmten Produktgruppe im Vergleich zu Industriewaren insgesamt (dimensionslos).

Eine alternative Methodik zur angebotsseitigen Erfassung der Umsatz- und Beschäftigungszahlen im Umweltschutz basiert auf dem **Betriebspanel des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung IAB** (Horbach/Blien/von Hauff 2011). Das Betriebspanel des IAB stellt eine repräsentative Stichprobe aller deutschen Betriebe mit sozialversicherungspflichtig Beschäftigten dar, wobei gelegentlich Fragen zur Produktion von Umwelttechnik und Umweltdienstleistungen in die Befragung aufgenommen werden. Diese beziehen sich darauf, welche Betriebe Güter und/oder Dienstleistungen für den Umweltschutz auf dem Markt anbieten, welche Bereiche des Umweltschutzes diese mit Ihrem Angebot abdecken, welcher davon der bezogen auf den Umsatz Bedeutendste ist und welcher Anteil vom gesamten Umsatz auf die Herstellung von Umweltschutzgütern und welcher Anteil auf Umweltschutzdienstleistungen entfällt. Hier wäre es grundsätzlich vorstellbar, analog entsprechende Sonderfragen zum Thema „Bioökonomie“ einzubauen.

In **Umfragen von Forschungsinstituten** bei den Unternehmen der Umweltwirtschaft, wie sie das ifo Institut in unregelmäßigen Abständen durchführt, wird eine ganze Reihe von Indikatoren, teils quantitativer, teils qualitativer Natur, abgefragt. So wurden in der letzten bundesweiten schriftlichen Befragung der Unternehmen der Umweltwirtschaft folgende Kennziffern erhoben (Wackerbauer et al. 2014):

- Jahr des Markteintritts
- Beschäftigte im Umweltschutzbereich
- Umsatz mit Umweltschutzgütern
- Auslandsumsatz mit Umweltschutzgütern
- Daraus abgeleitet: Exportquote bei Umweltschutzgütern
- FuE-Aufwendungen im Umweltbereich
- Daraus abgeleitet: FuE-Quote im Umweltbereich
- Umsatzanteile der einzelnen Umweltbereiche
- Umsatzverteilung auf Absatzregionen

- Herkunft der Zulieferer
- Einschätzung verschiedener Standortfaktoren
- Herkunft der stärksten Konkurrenten
- Wettbewerbsvorteile der Konkurrenten
- Wichtigste Nachfragefaktoren
- Größte Hemmnisse für die Geschäftsentwicklung
- Einschätzung der zukünftigen Nachfrageentwicklung in verschiedenen Absatzregionen
- Erwartung der zukünftigen Umsatz- und Beschäftigtenentwicklung am Standort

Durch derartige Umfragen kann durch eine geeignete Ausgestaltung des Fragebogens ein umfassendes Bild der zu untersuchenden Branche gezeichnet werden und eine Vielzahl von Indikatoren sowohl quantitativer als auch qualitativer Art gewonnen werden. Sie sind daher im Vergleich zur amtlichen Statistik besonders dafür geeignet, kurzfristig und flexibel aktuelle wirtschafts- und/oder umweltpolitische Fragestellungen aufzugreifen.

Das **OECD-Indikatorenset Green Growth** verfügt bereits über einen vorläufigen, wenn auch noch unvollständigen Satz an Indikatoren, die zur Messung einer entsprechenden Entwicklung benutzt werden soll. Ökonomische Indikatoren sind dabei in einer von vier Gruppen zu finden, und zwar in Gestalt der Umwelt- und Ressourcenproduktivität. Unter „Produktivität“ versteht man dabei die Wirtschaftsleistung dividiert durch das Maß der Umweltnutzung, also z.B. das Bruttoinlandsprodukt dividiert durch den Rohstoffverbrauch. Für den Bereich der Bioökonomie könnten davon folgende Indikatoren abgeleitet werden:

- Die Energieproduktivität, soweit sie sich auf die Produktivität von Bioenergie bezieht (Bruttoinlandsprodukt pro Einheit biogener Primärenergie)
- Die Ressourcenproduktivität, bezogen auf die inländische (nichtenergetische) Materialproduktivität (Bruttoinlandsprodukt pro Einheit inländischen Verbrauchs biotischen Materials)

Die in jüngerer Zeit entstandenen volkswirtschaftlichen Berechnungsmethoden zur **Gesundheitswirtschaft** weisen Parallelen zur Bioökonomie auf, da es sich jeweils um Bereiche handelt, die in der existierenden Wirtschaftszweig-Klassifikation nicht eindeutig abgegrenzt werden können. Das BMWi hat die Entwicklung solcher Berechnungen für die Gesundheitswirtschaft durch die Projekte „Erstellung eines Satellitenkontos (2009) sowie „Nutzung und Weiterentwicklung des deutschen Gesundheitssatellitenkontos (GSK) zu einer Gesundheitswirtschaftlichen Gesamtrechnung (GGR)“ sowie weiteren Aktualisierungen zur Gesundheitswirtschaftlichen Gesamtrechnung (u.a. BMWi 2016) gefördert. Die ausgewiesenen Kennzahlen beziehen sich auf:

- Erwerbstätige (absolut und Anteil an der Gesamtwirtschaft)
- Zuwachsraten der Erwerbstätigen

- Bruttowertschöpfung
- Wachstumsrate der Bruttowertschöpfung
- Verhältnis Bruttowertschöpfung zu Produktionswert
- Exporte (absolut und Anteil am Gesamtexport)
- Importe (absolut und Anteil am Gesamtimport)
- Außenhandelsüberschuss (absolut und Anteil am gesamten Außenhandelsüberschuss)
- Vorleistungen (absolut und sektorale Struktur)
- Konsumausgaben der Gesundheitswirtschaft (absolut und Anteil am Gesamtkonsum)

Im Kern wird analog zum produktionswirtschaftlichen Ansatz bei der Erfassung der Umweltwirtschaft versucht, die Gesundheitswirtschaft auf Gütergruppenebene abzugrenzen. Für nicht eindeutig der Gesundheitswirtschaft zurechenbare Produktgruppen (z.B. Lebensmittel, Versicherungen, Bücher, Laborausrüstung) erfolgt die Bestimmung von Anteilen durch zusätzliche Marktinformationen und Experteneinschätzungen (Henke et al. 2010). Diese werden aber nicht genauer benannt und die Anteile auch nicht ausgewiesen. Zudem erfolgte in der letzten Aktualisierung der Gesundheitswirtschaftlichen Gesamtrechnung eine explizite Ausweisung der Biotechnologie mit Bezug zur Gesundheitswirtschaft (BMWi 2016). Einer Übertragung dieses Konzepts auf die Bioökonomie stehen allerdings einige Hürden entgegen: So ist zu vermuten, dass die Anzahl der Gütergruppen, die nicht vollständig, aber teilweise zur Bioökonomie gezählt werden müssen, deutlich größer ist als bei der Gesundheitswirtschaft, bei der erheblichen Teilssegmente vollständig dazu gezählt werden können (z.B. Pharmaindustrie, Gesundheitsdienstleistungen etc.). Auch die zugrundeliegende Proportionalitätsannahme zur Ableitung weiterer Indikatoren wäre für die Bioökonomie kritisch zu hinterfragen.

### 2.3.3 Konkrete Vorschläge

In diesem Arbeitsschritt werden für die Branchen, die als bioökonomierelevant identifiziert werden können, Methoden zur Herleitung wirtschaftlicher Kennzahlen und Indikatoren entlang der etablierten Systematik der Wirtschaftszweige (NACE) entwickelt. Als Ergebnis wurde pro Indikator eine Handreichung erarbeitet, welche Datenbanken als Basis genutzt werden sollten, welche relevanten Bereiche bzw. Bioökonomieanteile dort zu finden sind, und wie eine Verknüpfung mit anderen Kennzahlen erreicht werden kann. Diese Handreichung besteht aus Berichtsblättern für jeden einzelnen Indikator, die einheitlich nach folgendem Muster (Übersicht 1) erstellt wurden:

**Übersicht 1: Muster für ein Berichtsblatt**

|  |   |         |
|--|---|---------|
| Indikator:   | <i>(Bezeichnung des Indikators)</i>   | Kennung |
| Beschreibung:  |   |         |
| Datenquelle:   |   |         |
| Art der Quelle:                                      | <i>(Amtliche Statistik/halb-amtlich/Verbandsstatistik/<br/>Umfragen etc.)</i> |         |
| Methodik der Indikatoreableitung:                    |   |         |
| Erfasste Bereiche<br>gemäß WZ 2008:                  |   |         |
| Datenlücken:   |   |         |
| Verknüpfungsmöglichkeiten mit<br>anderen Kennzahlen: |   |         |
| Relevante Bioökonomieanteile:                        |   |         |

Die vorgeschlagenen Indikatoren lassen sich folgenden drei Themenbereichen zuordnen:

- Themenbereich A: Allgemeine ökonomische Indikatoren
- Themenbereich B: Innovationsindikatoren
- Themenbereich C: Indikatoren für Biomasseaufkommen und -verwendung

Folgende Übersicht 2 bietet einen Überblick über die vorgeschlagenen ökonomischen Indikatoren<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Die einzelnen Berichtsblätter für die Indikatoren wurden im dritten und vierten Zwischenbericht dokumentiert.

**Übersicht 2: Themenbereich A - Allgemeine ökonomische Indikatoren**


---

|      |  |
|------|--|
| A 1  | Anzahl der Unternehmen <sup>3</sup>      |
| A 2  | Anzahl der Betriebe <sup>4</sup>         |
| A 3  | Umsatz                                   |
| A 4a | Inlandsumsatz                            |
| A 4b | Auslandsumsatz                           |
| A 5  | Lohnsumme                                |
| A 6  | Beschäftigte                             |
| A 7  | Arbeitsintensität                        |
| A 8  | Investitionen                            |
| A 9  | Bruttoproduktionswert                    |
| A 10 | Materialverbrauch                        |
| A 11 | Sonstige Vorleistungen                   |
| A 12 | Nettoproduktionswert                     |
| A 13 | Bruttowertschöpfung zu Marktpreisen      |
| A 14 | Verbrauchssteuern                        |
| A 15 | Kostensteuern abzüglich Subventionen     |
| A 16 | Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten      |
| A 17 | Abschreibungen                           |
| A 18 | Nettowertschöpfung zu Faktorkosten       |
| A 19 | Bruttoeinkommen aus selbständiger Arbeit |
| A 20 | Subventionen                             |

---

Diese ökonomischen Indikatoren sind in den einschlägigen Wirtschaftsstatistiken relativ einfach zu entnehmen, soweit die entsprechenden Wirtschaftszweige eindeutig der Bioökonomie zugeordnet werden können. Wenn dies jedoch nicht möglich ist, muss der Bioökonomie-Anteil am jeweiligen Wirtschaftszweig für die verschiedenen Indikatoren mit der in Abschnitt 2.2 beschriebenen Methode ermittelt werden.

<sup>3</sup> Als Unternehmen gilt die kleinste rechtliche Einheit, die aus handels- und/oder steuerrechtlichen Gründen Bücher führen und einen Jahresabschluss aufstellen muss. Vgl. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/FAQ/UnterschiedBetriebUnternehmen.html>

<sup>4</sup> Ein Betrieb ist einer rechtlichen Einheit zugeordnet. Somit kann ein Unternehmen aus einem oder mehreren Betrieben bestehen. Im Gegensatz zum Unternehmen gelten Betriebe als örtlich gebundene Einheiten. Vgl. ebenda.

## 2.4 Kombination von ökonomischen Kennzahlen und ökologischen Bilanzierungen

### 2.4.1 Zielsetzung

Das Ziel der Bioökonomie ist laut Bioökonomierat (2018) eine nachhaltige Wirtschaftsweise, welche Rohstoffe nicht nur nutzt, sondern auch „im Sinne von Umwelt- und Ressourcenschutz“ langfristig erhält. Um die Erreichung sowohl wirtschaftlicher als auch ökologischer Ziele in einem Bioökonomie-Monitoring messen zu können, sind relative Indikatoren, welche wirtschaftliche Indikatoren der Bioökonomie zur eingesetzten Biomasse in Beziehung setzen, hilfreich. Wie hoch ist die Wertschöpfung pro Tonne Biomasse, Hektar oder Joule? In diesem Kapitel diskutieren wir zunächst die Anwendbarkeit der drei Bezugsgrößen Masse, Landfläche und Energiegehalt im Rahmen des Bioökonomie-Monitorings.

Diese Indikatoren (Biogener Rohstoffeinsatz in t oder MJ, Flächenbedarf in ha) können allerdings kaum die vielfältigen ökologischen Auswirkungen der Bioökonomie darstellen. Einige Indikatoren können direkt an eine Bezugsgröße „gekoppelt“ werden. Beispielsweise ermöglicht die Angabe einer relativen, ökonomischen Kennzahl in €/ha landwirtschaftlich genutzter Fläche eine Kombination mit der ökologischen Kennzahl „Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft“, welche in kg/ha angegeben wird. Ebenso ist es möglich, Umweltauswirkungen wie zum Beispiel das Versauerungspotential in SO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro kg eines Produkts mit Hilfe des Produktpreises in Relation zur Wertschöpfung pro Tonne Biomasse eines Bioökonomie-Sektors zu setzen. Andere ökologische, ebenso wie ökonomische, Indikatoren beziehen sich auf einen Sektor ohne dabei zwischen bioökonomie-relevanten und nicht bioökonomie-relevanten Teilen des Sektors zu unterscheiden. In Deutschland wird beispielsweise „Emissionen von Luftschadstoffen“ als einer der „Indikatoren zur nachhaltigen Entwicklung“ für 49 Sektoren ausgegeben.

Kurz gesagt, um ökologische Indikatoren mit ökonomischen Indikatoren kombinieren zu können, müssen sie sich auf das gleiche System beziehen, welches durch die ökonomischen Indikatoren vorgegeben ist (WZ-Klassenebene). Ökologische Indikatoren liegen entweder auf nationaler/sektoraler Ebene oder auf Produktebene vor, aber sie beziehen sich selten auf die Bioökonomie oder den bioökonomischen Teil eines Sektors.

Im zweiten Teil dieses Abschnitts soll daher gezeigt werden, mit Hilfe welcher Methoden ökologische Kennzahlen auf Bioökonomie-Sektoren (nach WZ-Klassifikation) bezogen werden können, um eine Kombination mit ökonomischen Kennzahlen zu ermöglichen.

## 2.4.2 Bezug zur Biomasse

Ausgehend von einer Bruttowertschöpfung von 140 Mrd. € beträgt die berechnete Wertschöpfung der Bioökonomie<sup>5</sup> pro Tonne eingesetzter Biomasse für das Jahr 2010 492 €<sup>6</sup>. Die genutzte Biomasse wurde mit Hilfe des Materialfluss-Indikators „Direkter Materialeinsatz (biotischer Rohstoffe)“ (DMI, Direct Material Input) berechnet, welcher sich aus der Summe der „Verwerteten inländischen Entnahme biotischer Rohstoffe“ und der „Einfuhr von biotischen Rohstoffen“ zusammensetzt. Biotische Rohstoffe sind „natürlich vorkommende Stoffe tierischer oder pflanzlicher Herkunft, die unmittelbar aus der Umwelt entnommen werden“ (Kaumanns, Lauber 2016). Gezüchtete Nutztiere und Produkte daraus sind außerhalb der Systemgrenzen, jedoch die für Tiere notwendigen biotischen Rohstoffe, wie Futtermittel, fließen in die Berechnung ein.

Die bioökonomische Wertschöpfung pro Quadratkilometer land- und forstwirtschaftlich genutzter Fläche betrug im Jahr 2010 475.224 €, wenn wiederum die von Efken et al. (2016) berechnete Wertschöpfung von 140 Mrd. € zugrunde gelegt wird.<sup>7</sup>

Eine weitere Alternative ist der Bezug zum Energiegehalt der Rohstoffe. Im Gegensatz zu den anderen beiden Bezugsgrößen gibt es keine Kennzahl in der amtlichen Statistik, die den Einsatz von Biomasse in Energieeinheiten angibt, sodass eine Umrechnung der Masse in Energieeinheiten erst noch erfolgen müsste. Es ist möglich, einen Bezug zum energetischen und nicht-energetischen Einsatz von Biomasse-Energieträgern (in TJ) herzustellen<sup>8</sup>. Biomasse-Energieträger sind *feste biogene Stoffe* (z.B. Holzreste, Sägespäne, Pellets, Schwarzlauge, Tiermehl, Stroh), *flüssige biogene Stoffe* (nicht für Verkehrszwecke; z.B. Palmöl, Pflanzenöl, Harzöl, Methanol) und *Biogas* (z.B. Biomethan, Gas aus Biomasse) (Statistisches Bundesamt 2017a). Die Statistik könnte somit genutzt werden, um die Energieproduktivität (€/MJ) der verwendeten biogenen Energieträger zu ermitteln. Für die Berechnung wird die bioökonomische Wertschöpfung durch den Einsatz von Biomasse-Energieträgern geteilt. Diese Angabe ist nur sinnvoll für biobasierte Sektoren, die die genannten Energieträger nutzen. Diese Art des Energiebezugs ist somit nicht geeignet für Sektoren, die andere Biomasse (sogenannte Primärenergieträger) verwenden (z.B. Getreide, Vollholz) und andere Sekundärenergieträger aus Biomasse verwenden (z.B. Biodiesel für Verkehrszwecke).

Die Kennzahlen „Materialeinsatz biotischer Rohstoffe (in Tonnen)“ und „Land- und forstwirtschaftlich genutzte Fläche (in km<sup>2</sup>)“ bilden nicht ab, wie viel Biomasse oder Fläche erforderlich ist, um importierte Halb- und Fertigwaren im Ausland herzustellen, also z.B. wie viel

<sup>5</sup> In den folgenden Beispielen wird eine Bruttowertschöpfung der Bioökonomie von 140 Mrd. € im Jahr 2010 (Efken et al. 2016) angenommen. Die Methodik von Efken et al. (2016) ähnelt der im 3. Zwischenbericht vorgeschlagenen Methode.

<sup>6</sup> DMI 2010: 284.530.000 t (Quelle: Statistisches Bundesamt, Tabelle 85131-0004)

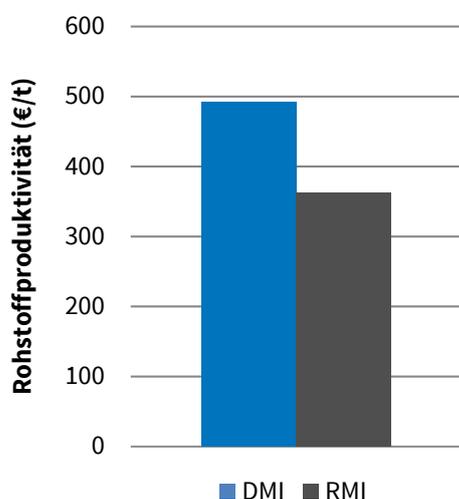
<sup>7</sup> Fläche (Landwirtschaft, Wald) für die Produktion von Biomasse 2010: 294597,628 km<sup>2</sup> (Quelle: Statistisches Bundesamt, Code 33111-0001)

Futtermittel oder landwirtschaftliche Fläche verwendet wurde, um importiertes Rindfleisch herzustellen. Diese Kritik am DMI führte zur Erstellung eines neuen Indikators (Buyny et al. 2009), dem „Rohstoffeinsatz“ (RMI, Raw Material Input), welcher den Rohstoffverbrauch bioökonomischer Importe abbilden soll. Dafür werden Importmengen mit sogenannten Rohstoffäquivalenten multipliziert.

Mit dem DMI und dem RMI stehen bereits entwickelte Indikatoren für einen Massenbezug ökonomischer Kennzahlen zur Verfügung, deren Quantifizierung teilweise in Materialflussrechnungen Statistischer Ämter zu finden ist. Für den DMI stehen Zeitreihen ab 1995 zur Verfügung (Quelle: Statistisches Bundesamt, Tabelle 85131-0004). RMI Daten sind verfügbar für die Jahre 2010-2014 (Statistisches Bundesamt 2018). Im Jahr 2010 wurden 387 Mill. Tonnen Biomasse aus In- und Ausland verwertet. Die Rohstoffproduktivität der Bioökonomie ist mit Bezug zum RMI um 129 €/t geringer (363 €/t) als mit Bezug zum DMI (vgl. Abbildung 2).

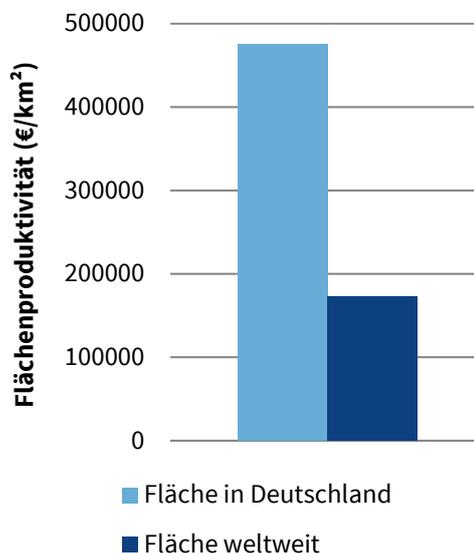
Bezieht man die Fläche ein, die notwendig ist, um Importgüter herzustellen, so verringert sich die Flächenproduktivität um 302.385 €/km<sup>2</sup> auf 172.839 €/km<sup>2</sup> (vgl. Abbildung 3).<sup>9</sup> Berechnungen

**Abbildung 2: Vergleich der Rohstoffproduktivität der Bioökonomie auf Basis der Indikatoren DMI und RMI, 2010**



Quelle: Efken et al. 2016, Destatis 2018

**Abbildung 3: Vergleich der Flächenproduktivitäten auf Basis der in Deutschland genutzten Flächen und der indirekt genutzten, weltweiten Flächen, 2010**



Quelle: Efken et al. 2016, Fischer et al. 2017

<sup>9</sup> UBA 2017: Agrarfläche (360.000 km<sup>2</sup>, davon 240.000 km<sup>2</sup> importiert), Grünlandfläche (150.000 km<sup>2</sup>, davon 90.000 km<sup>2</sup> importiert), Waldfläche (300.000 km<sup>2</sup>)

zum Flächenbedarf von Importgütern werden nicht regelmäßig durchgeführt und liegen zuletzt für das Jahr 2010 vor (Fischer et al. 2017).

Die Bezugsgröße DMI ist auf nationaler sowie sektoraler Ebene verfügbar, die Größe RMI nur auf nationaler und stark aggregierter Ebene, aber nicht auf der Ebene von WZ-Klassen. Für einen Vergleich bioökonomischer Sektoren auf WZ-Klassenebene wäre die Verwendung von Rohstoff-

äquivalenten sinnvoll, da ermittelt werden könnte, wie viel Biomasse in den Vorketten genutzt wurde. Der „Import“ eines biobasierten Vorprodukts von einem Sektor in einen anderen Sektor könnte somit dargestellt werden. Mit den „biobasierten Anteilen“ (siehe Kapitel 2.2) wurde eine Möglichkeit entwickelt, die in einzelnen Sektoren (WZ-Klassen) genutzte Menge an biogenen Rohstoffen abzuschätzen.

Sind die in einem Sektor eingesetzten biogenen Rohstoffe und deren Mengen bekannt, kann mit Hilfe der Flächenerträge die Flächenproduktivität einzelner bioökonomischer Sektoren ermittelt werden. Flächenerträge sind für die meisten biogenen Rohstoffe verfügbar und es wird empfohlen, für die jeweilige Anbauregion spezifische Erträge zu verwenden, sofern die Region bekannt ist.

Ein Bezug zu weiteren Rohstoff-Indikatoren ist möglich. Folgende Auflistung zeigt die Indikatoren für den Themenbereich C „Biomasseaufkommen und -verwendung“ (vgl. Übersicht 3). Indikator C3 entspricht dem oben vorgestellten „Direkten Materialeinsatz (biotischer Rohstoffe)“, Indikator C1 entspricht „Land- und forstwirtschaftlich genutzte Fläche“ und C5 dem „Rohstoffeinsatz“. Indikatoren zur Biomasseverwendung beziehen sich auf einzelne Bereiche der Bioökonomie.

### Übersicht 3: Themenbereich C – Indikatoren für Biomasseaufkommen und -verwendung

#### ■ Biomasseaufkommen

---

- C 1 Fläche für die Produktion von Biomasse
    - C 1.1 Landwirtschaftlich genutzte Fläche
      - C 1.1.1 Fläche für die Produktion von Industriepflanzen
      - C 1.1.2 Fläche für die Produktion von Energiepflanzen
      - C 1.1.3 Ackerfläche
      - C 1.1.4 Dauerkulturen
      - C 1.1.5 Dauergrünland
      - C 1.1.6 Stilllegungsflächen/Brache
      - C 1.1.7 Flächen im ökologischen Anbau
    - C 1.2 Waldfläche
  - C 2 Inländischer Verbrauch biotischer Rohstoffe sowie Halb- und Fertigwaren aus Biomasse
    - C 2.1 Verwertete inländische Entnahme biotischer Rohstoffe
    - C 2.2 Einfuhr von Gütern aus Biomasse (Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren)
    - C 2.3 Ausfuhr von Gütern aus Biomasse (Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren)
  - C 3 Produktionsmenge primärer, biogener Rohstoffe
    - C 3.1 Produktionsmenge pflanzlicher Erzeugnisse
    - C 3.2 Produktionsmenge tierischer Erzeugnisse
    - C 3.3 Produktionsmenge landwirtschaftlicher Erzeugnisse
    - C 3.4 Produktionsmenge forstwirtschaftlicher Erzeugnisse
    - C 3.5 Produktionsmenge Fischerei- und Aquakulturerzeugnisse
  - C 4 Produktionsmenge sekundärer, biogener Rohstoffe
    - C 4.1 Produktionsmenge Reststoffe
    - C 4.2 Produktionsmenge Abfallstoffe
- 

#### ■ Biomasseverwendung

---

- C 5 Materialeinsatz biotischer Rohstoffe zur Herstellung von Gütern
  - C 6 Erzeugung von Bioenergie
    - C 6.1 Elektrizitätserzeugung aus Biomasse
    - C 6.2 Wärmeerzeugung aus Biomasse
    - C 6.3 Erzeugung von Biokraftstoffen
  - C 7 Verwendung von Bioenergie in Produktionsbereichen
  - C 8 Biobasierter Anteil in einem Wirtschaftszweig
  - C 9 Erzeugung von biobasierten Produkten
  - C 10 Substitutionsanteil in einem Wirtschaftszweig
-

## 2.4.3 Ökologische Indikatoren

### „Top-Down“-Ansatz

Einige ökologische Indikatoren sind auf nationaler Ebene verfügbar. In Deutschland werden sie in den „Indikatoren zur nachhaltigen Entwicklung“ zusammengefasst (Statistisches Bundesamt 2017b). Ökologische Indikatoren für die Abschätzung von Umweltwirkungen der Bioökonomie können ohne weitere Berechnungen verwendet werden, wenn sie eindeutig und ausschließlich durch Aktivitäten der Bioökonomie hervorgerufen werden, z.B. durch die Biomasseproduktion. Da beispielsweise der Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft nur durch bioökonomische Aktivitäten hervorgerufen wird, kann die Kennzahl direkt verwendet und mit ökonomischen Kennzahlen kombiniert werden. Wenn sich Indikatoren nicht oder nur teilweise auf biobasierte Sektoren beziehen, sondern auch auf nicht biobasierte Sektoren, dann ist die Verwendung eines „Top-Down“-Ansatzes erforderlich. Der „Top-Down“-Ansatz nutzt auf nationaler oder sektoraler Ebene verfügbare Daten und ermöglicht die Aufteilung der Indikatorwerte auf biobasierte Untersektoren mit Hilfe der „Biobasierten Anteile“ (siehe dazu Kapitel 2.2). Der Indikatorwert wird entsprechend des biobasierten Anteils eines Sektors ermittelt. Dabei wird angenommen, dass der Umwelteffekt direkt proportional zum biobasierten Anteil ist:

#### Formel 1: Berechnung eines ökologischen Indikators mit dem „Top-Down“-Ansatz

$$U_{B\ddot{O}} = \sum_{i=1}^n U_{gesamt} * BBS_i$$

$U_{B\ddot{O}}$  – Umwelteffekt der Bioökonomie

$U_{gesamt}$  – Umwelteffekt der gesamten Wirtschaft

$BBS_i$  – Biobasierter Anteil eines Sektors  $i$  („Bio-based share“, siehe (Ronzon et al. 2017))

Der „Top-Down“-Ansatz ist nicht zu verwechseln mit der aufwärtsgerichteten Stoffstromanalyse, welche Gegenstand von Kapitel 2.1 ist. Der Top-Down-Ansatz meint, dass Daten auf aggregierter, nationaler oder sektoraler, Ebene vorhanden sind und diese durch geeignete Verfahren auf eine detailliertere Ebene bezogen werden. Die aufwärtsgerichtete Stoffstromanalyse geht, je nach Datenverfügbarkeit, von biobasierten Endprodukten aus und versucht die Herkunft der Rohstoffe nachzuvollziehen. Der im nächsten Abschnitt behandelte „Bottom-Up“-Ansatz meint, dass detaillierte Prozessdaten auf einen Sektor hochgerechnet werden, wohingegen die abwärtsgerichtete Stoffstromanalyse die vorhandene Biomasse bis zum Endprodukt nachverfolgt.

Die folgenden nationalen Indikatoren für ökologische Nachhaltigkeit erfordern die Anwendung des „Top-Down“-Ansatzes“, da sie sich sowohl auf biobasierte als auf nicht biobasierte Sektoren beziehen (vgl. Tabelle 1).

**Tabelle 1: Bewertung der Eignung von ökologischen Indikatoren zur Nachhaltigen Entwicklung in Deutschland für den „Top-Down“-Ansatz.**

| Indikatornummer             | Nachhaltigkeitsindikator                                       | Anwendung „Top-Down“-Ansatz? |
|-----------------------------|--|------------------------------|
| NE2-03-02-A-1               | Emissionen von Luftschadstoffen (2005=100)                     | WZ08: 49 Sekt.               |
| NE2-06-01-A                 | Phosphor in Fließgewässern (% Messt. m. eingeh. OW)            | WZ08: 01, 37-39              |
| NE2-07-01-A und NE2-07-01-B | Primärenergieverbrauch und Endenergieproduktivität (2008=100)  | WZ08: 48 Sekt.               |
| NE2-07-02-A                 | Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch (%)  | WZ08: 48 Sekt.               |
| NE2-12-01-A                 | Marktanteil von Produkten mit staatlichen Umweltzeichen (%)    | WZ08: Ausgewählte Sektoren   |
| NE2-12-02-A-1               | EMAS-Organisationsstandorte (Anzahl)                           | WZ08: Klassen                |
| NE2-13-01-A                 | Treibhausgasemissionen in CO <sub>2</sub> -Äquival. (1990=100) | WZ: 49 Sekt.                 |
| -                           | Wassereinsatz (in Mill. m <sup>3</sup> )                       | WZ: 49 Sekt.                 |
| -                           | Abwasser (in Mill. m <sup>3</sup> )                            | WZ: 49 Sekt.                 |

Quelle der Indikatoren: Statistisches Bundesamt 2017b

Die Indikatoren Energieverbrauch, Emissionen von Luftschadstoffen, THG-Emissionen, Wassereinsatz, Abwasser und EMAS-Organisationsstandorte können mit dem „Top-Down“-Ansatz auf die Bioökonomie bezogen werden. Wir schlagen vor, dass Indikatoren zum **Energieverbrauch** (Primärenergieverbrauch, Endenergieproduktivität, Anteil Erneuerbarer Energien) leicht verändert verwendet werden. Die Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR, Teil 2, Energie) weist den Endenergieverbrauch für 48 Produktionsbereiche und mehrere Primär- und Sekundärenergieträger aus. Auf dieser Basis können mit Hilfe der biobasierten Anteile der Endenergieverbrauch der Bioökonomie und der Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien abgeschätzt werden (sowie weiterer Energieträger). Ähnlich kann im Fall der Indikatoren **Emissionen von Luftschadstoffen** und **THG-Emissionen** verfahren werden. Daten sind in den UGR (Teil 3, Anthropogene Luftemissionen) für 49 Produktionsbereiche und 11 Emissionsarten zu finden. Aus den UGR-Daten könnten die Indikatoren **Wassereinsatz** und **Abwasser** (in Mill. m<sup>3</sup>) ermittelt werden. Diese werden sowohl für Produktionsbereiche als auch für Wirtschaftsbereiche ausgewiesen. Sie sind als Teil der Nachhaltigkeitsindikatoren in Tabelle 1 mit aufgeführt.

Der Indikator **EMAS-Organisationsstandorte** beschreibt, wie viele Standorte das Umweltmanagementsystem EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) zur Verbesserung des betrieblichen

Umweltschutzes eingeführt haben. Für das Bioökonomie-Monitoring würden nur solche Unternehmen betrachtet werden, die hauptsächlich biobasierte Produkte herstellen. Dank des EMAS-Registers können EMAS-Organisationen nach WZ-Klassen gefiltert werden, sodass von vornherein eindeutig biobasierte Bereiche ausgewählt werden können. Für WZ-Klassen, die keinen eindeutigen biobasierten Bezug haben, könnte der Indikator mit der Methode der biobasierten Anteile geschätzt werden. Dies ist nur unter der Annahme möglich, dass die Wahrscheinlichkeit der Einführung von EMAS genauso hoch in biobasierten Sektoren wie in nicht biobasierten Sektoren ist.

Für die folgenden Indikatoren in Tabelle 1 werden alternative Methoden vorgeschlagen:

Der Indikator **Phosphor in Fließgewässern** kann zu einem großen Anteil der Bioökonomie zugeordnet werden, da die Hauptquellen für Phosphor in Fließgewässern die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion und die Abwasserindustrie (Kläranlagen) sind (Statistisches Bundesamt 2017b). Die Pflanzenproduktion ist vollständig biobasiert, wohingegen die Abwasserindustrie teilweise biobasiert ist, da der Phosphor in Kläranlagen zum Teil aus nicht biobasierten Aktivitäten, besonders aus der Verwendung von Maschinengeschirrspülmitteln, stammt. Der Anteil des Phosphors in Gewässern aus Kläranlagen liegt bei ca. 26% und aus der Landwirtschaft bei ca. 73% (Gethke-Albinus 2012). Der Phosphor in Kläranlagen stammt zu 80% aus Haushalten und zu 20% aus der Düngemittelindustrie und aus sonstigen Industrien, welche nach der Abgrenzung in diesem Projekt nicht als biobasiert gelten. Wiederum 80% des Phosphors in Haushalten stammen aus einem biobasierten Sektor, nämlich aus der Nahrungsmittelindustrie. Die restlichen 20% entspringen der Detergentienindustrie und den Importen, welche hier als nicht biobasiert gelten. Das heißt, dass ca. 17%<sup>10</sup> des Phosphors durch bioökonomische Aktivitäten verursacht und durch Kläranlagen in Gewässer gelangt ist. Zusammen mit dem Phosphor aus der Pflanzenproduktion ergibt sich ein biobasierter Anteil am Indikator von ca. 90%. Mit Hilfe eines Korrekturfaktors und eines Massenbezugs könnte dieser Indikator auch auf Bioökonomie-Sektoren, vor allem auch auf jene die landwirtschaftliche Biomasse verwenden, bezogen werden.

Der Indikator **Marktanteil von Produkten mit staatlichen Umweltzeichen** könnte für die Bioökonomie anzeigen, wie groß der Anteil nachhaltiger biobasierter Produkte an allen biobasierten Produkten ist. Es werden die Umweltkennzeichen EU-Energieverbrauchskennzeichnung, EU-Biosiegel, EU Ecolabel und Blauer Engel einbezogen (UBA 2017). Da nur eine Auswahl von Produkten in dem Indikator enthalten ist, könnte er nach derzeitigem Stand die Bioökonomie-Sektoren „Lebensmittel“ und „Hygienepapier“ enthalten. Bio-Lebensmittel hatten beispielsweise einen Marktanteil von 4,7% im Jahr 2015 (UBA 2017). Andere, nicht biobasierte Produkte, wie z.B. Haushaltsgeräte, Leuchtmittel und Autos, müssten aus dem Index herausgenommen werden. Im Fall von Farben/Lacken, Pflegeprodukten und Waschmitteln ist unklar, ob es biobasierte Versio-

<sup>10</sup> D.h. 80% von 80% von 26%,  $1 = (0,8 \cdot 26) \cdot 0,8$

nen mit und ohne Umweltkennzeichen gibt. Entsprechende Daten müssten erhoben werden. Zukünftig sollen weitere, für die Bioökonomie relevante Umweltkennzeichen und Produkte einfließen, z.B. Holzprodukte (FSC, PEFC), Fischereiprodukte (MSC) und Textilien (GOTS) (UBA 2017). Eine Herausforderung könnte die Zuordnung der Produktgruppen zu WZ-Klassen sein, da sich der Indikator auf den Konsum (und entsprechende Sektoren wie Wohnen, Ernährung, Mobilität) bezieht. So werden Bio-Lebensmittel in der WZ-Abteilung A01 (Landwirtschaft), aber auch in C10 (Nahrungsmittel) hergestellt.

### „Bottom-Up“-Ansatz

Ökologische Indikatoren, die nicht auf nationaler oder sektoraler Ebene verfügbar sind und daher nicht mit Hilfe des „Top-Down“-Ansatzes auf die Bioökonomie bezogen werden können, erfordern die Anwendung des „Bottom-Up“-Ansatzes. Die hier beschriebene Methode basiert auf Ergebnissen von produktspezifischen Ökobilanzierungen ( $U_p$ ), welche mit Hilfe von Produktionsmengenangaben ( $X_p$ ) auf Sektorebene hochskaliert werden:

#### Formel 2: Berechnung eines ökologischen Indikators mit dem „Bottom-Up“-Ansatz

$$U_{B\ddot{O}} = \sum_{p=1}^n U_p * X_p$$

$U_{B\ddot{O}}$  – Umwelteffekt der Bioökonomie

$U_p$  – Umwelteffekt eines biobasierten Produkts p

$X_p$  – Produktionsmenge eines biobasierten Produkts p

Laut UBA (2013) ist die Ökobilanz „ein Verfahren, um umweltrelevante Vorgänge zu erfassen und zu bewerten“. Zwei Grundsätze werden beschrieben, und zwar:

- „Medienübergreifende Betrachtung“ (Umweltmedien: Boden, Luft, Wasser)
- „Stoffstromintegrierte Betrachtung“ (Vor- und nachgelagerte Prozesse)

Die Anwendung der Ökobilanz wird allerdings häufig auf bestimmte Wirkungskategorien, wie z.B. Treibhausgaspotenzial, oder auf bestimmte Abschnitte des Produkt-Lebenswegs, z.B. Cradle-to-factory gate, begrenzt und ist aus diesem Grund für den „Bottom-Up“-Ansatz geeignet.

Die größte Herausforderung bei der Kombination von ökonomischen und ökologischen Kennzahlen mit Hilfe des „Bottom-Up“-Ansatzes sind die unterschiedlichen Systemgrenzen: Die in Kapitel 2.3 beschriebenen ökonomischen Kennzahlen beziehen sich größtenteils auf Sektoren (WZ-Klassen), während ökologische Kennzahlen auch vorgelagerte Sektoren einbeziehen (cradle-to-factory-gate), also die durch vorgelagerte Sektoren verursachten (indirekten) Umwelteffekte. Wenn  $U_p$  (siehe Formel 2) für alle Sektoren der Bioökonomie berechnet werden würde, käme es zu Doppelzählungen. In der Literatur wird versucht, die Methoden der LCA (Life cycle assessment,

Ökobilanz) und der LCC (Life cycle costing, Lebenszyklus-Kostenrechnung) zu harmonisieren, indem eine neue Methode zur Berechnung der LCC vorgeschlagen wird (Heijungs et al. 2013). Die Veränderung der ökonomischen Kennzahlen war nicht Ziel dieses Untersuchungsschritts, dennoch ist es möglich, Ökobilanzierungen zur Kombination von ökonomischen und ökologischen Kennzahlen trotz unterschiedlicher Systemgrenzen zu verwenden, und zwar für:

1. Die Bildung ökologischer Kennzahlen für die **gesamte Bioökonomie**: Nur Ergebnisse von Ökobilanzen von Endprodukten werden einbezogen, weil dadurch Doppelzählungen vermieden werden (p in Formel 2 wäre definiert als ein biobasiertes Endprodukt). Alternativ könnten jene Prozesse einer Ökobilanz ausgewählt werden, die mit der WZ-Klassifikation korrespondieren (p in Formel 2 wäre definiert als ein Prozess).
2. Die Bildung ökologischer Kennzahlen für **sektorale Analysen der Bioökonomie**: Ergebnisse von Ökobilanzen aller Produkte eines biobasierten Sektors werden einbezogen, egal ob sie Zwischen- oder Endprodukte sind (p in Formel 2 wäre definiert als ein biobasiertes Produkt eines bestimmten Sektors).

Die Ergebnisse von Sachbilanzen werden in Wirkungsabschätzungen genutzt, um Wirkungskategorien zu bilden. Die Wirkungskategorien können als ökologische Indikatoren dienen.

Die Wirkungsabschätzungen werden in LCA-Datenbanken für den Lebensweg eines Produktes „bis zum Fabrikator“, also einschließlich aller vorgelagerten Prozesse, dargestellt, sodass es nicht möglich ist, die Wirkung bestimmter, mit der WZ-Klassifikation korrespondierender Prozesse abzuschätzen. Diese Vorgehensweise würde gesonderte Berechnungen für jeden Prozess erfordern und somit einen unverhältnismäßig hohen Aufwand bedeuten. Tabelle 2 zeigt in der linken Spalte, welche ökologischen Nachhaltigkeitsziele mit der Bioökonomie verfolgt werden (vgl. BMEL 2014). Den Zielen entsprechende Indikatoren können aus gängigen Wirkungskategorien hergeleitet werden. Die Wirkungskategorien wurden der LCA-Datenbank Ecoinvent (Ecoinvent) entnommen. Wir schlagen weitere Indikatoren vor (in orange), die auf der Basis von Ökobilanz-Datenbanken erstellt werden können, jedoch weitere Modellierung erfordern. Der von uns in Kapitel 2.2 vorgeschlagene Substitutionsindikator könnte beispielsweise den Wandel von einer fossil-basierten zu einer biobasierten Wirtschaft darstellen.

**Tabelle2: Ziele der Bioökonomie und korrespondierende Indikatoren aus Ökobilanzierungen und Vorschläge für weitere Indikatoren (blau markiert).**

| <b>Ziel</b>  | <b>Indikator / Kennzahl</b>                           | <b>Quelle<br/>(bei Ecoinvent: LCIA Methoden)</b>               |
|--|---|--|
| Wandel von einer fossil-basierten zu einer biobasierten Wirtschaft | Kumulierter Energieverbrauch (fossile Rohstoffe)      | Ecoinvent: z.B. „Cumulative energy demand“                     |
|  | Substitution (Einsparung fossiler Rohstoffe)          | Siehe Vorschlag Kapitel 2.2                                    |
| Nachhaltige Nutzung nachwachsender Ressourcen                      | Kumulierter Energieverbrauch (Biomasse)               | Ecoinvent: z.B. „Cumulative energy demand“                     |
| Beitrag zum Klimaschutz  | Treibhauspotenzial                                    | Ecoinvent: z.B. „IPCC 2013“                                    |
|  | Treibhausgaseinsparung                                | Siehe auch (Adler et al. 2015)                                 |
| Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und -funktion                        | Terrestrische Ökotoxizität                            | Ecoinvent: z.B. „CML 2001“, „ReCiPe“                           |
|  | Versauerungspotenzial                                 | Ecoinvent: z.B. „ILCD 2016 Midpoint“, „IMPACT 2002+“, „ReCiPe“ |
|  | Terrestrisches Eutrophierungspotenzial                | Ecoinvent: z.B. „ILCD 2016 Midpoint“                           |
|  | Schwermetalleinleitung in den Boden                   | Ecoinvent: z.B. „Ecological scarcity 2013“                     |
|  | Einleitung radioaktiver Substanzen in den Boden       | Ecoinvent: z.B. „Ecological scarcity 2013“                     |
|  | Pestizide im Boden                                    | Ecoinvent: z.B. „Ecological scarcity 2013“                     |
|  | Verbrauch von Phosphor                                | Vorschlag in (Adler et al. 2015)                               |
|  | Versauerungspotenzial                                 | Ecoinvent: z.B. „ILCD 2016 Midpoint“, „IMPACT 2002+“, „ReCiPe“ |
| Erhalt Wasserhaushalt und -qualität                                | Aquatisches Eutrophierungspotenzial                   | Ecoinvent: z.B. „ILCD 2016 Midpoint“, „IMPACT 2002+“, „ReCiPe“ |
|  | Meeres-/Süßwasser-Ökotoxizität (Wasser bzw. Sediment) | Ecoinvent: z.B. „CML 2001“, „ReCiPe“                           |
|  | Schwermetalleinleitung in Gewässer                    | Ecoinvent: z.B. „Ecological scarcity 2013“                     |
|  | Einleitung radioaktiver Substanzen in Gewässer        | Ecoinvent: z.B. „Ecological scarcity 2013“                     |
|  | Wasserverbrauch                                       | Ecoinvent: z.B. „ReCiPe“                                       |
|  | Verursachung von Pestiziden im Boden                  | Ecoinvent: z.B. „Ecological scarcity 2013“                     |
| Erhalt und Stärkung der Biodiversität                              | Behandlungshäufigkeit Pestizide (Anwendungen/Jahr)    | Vorschlag in (Adler et al. 2015)                               |
|  | Wirkstoffmenge eingesetzter Pestizide (kg)            | Vorschlag in (Adler et al. 2015)                               |
|  | Düngereinsatz Stickstoffdünger (kg/ha)                | Vorschlag in (Adler et al. 2015)                               |
| Erhalt und Verbesserung der Luftqualität                           | Sommersmog  | Ecoinvent: z.B. „ReCiPe“                                       |
|  | Ozonabbau   | Ecoinvent: z.B. „ReCiPe“                                       |
|  | Schwermetalleinleitung in die Luft                    | Ecoinvent: z.B. „Ecological scarcity 2013“ (LCIA Methode)      |

#### 2.4.4 Zusammenfassung

Kurzfristig lässt die Datenlage Massen- und Flächenbezüge auf nationaler Ebene zu. Der Bezug zur indirekt genutzten, d.h. im Ausland produzierten und verarbeiteten, Biomasse sollte ermöglicht werden, ist aber abhängig von der Weiterentwicklung des Indikators „Rohstoffeinsatz“ (RMI) und dessen Verfügbarkeit in einer Zeitreihe. Für das Bioökonomie-Monitoring empfehlen wir eine Abschätzung des direkten und indirekten biogenen Rohstoffeinsatzes und des globalen Flächenbedarfs für einzelne Bioökonomie-Sektoren.

Die Umrechnung der Masse in Energieeinheiten könnte zusätzliche Informationen liefern, falls sich der Energiegehalt der Biomassen stark unterscheidet. Eine Umrechnung könnte auf solche Sektoren beschränkt werden, die bezüglich des Energieeinsatzes verglichen werden sollen.

Da wir ökonomische Kennzahlen auf Sektoren (nach WZ-Klassifikation) beziehen, müssen für eine Kombination mit ökologischen Kennzahlen diese ebenso auf WZ-Klassenebene vorliegen. Die Wahl der Methode hängt davon ab, auf welcher Ebene (nationaler/sektoraler Ebene oder Produktebene) ökologische Kennzahlen vorhanden sind. Wir schlagen folgende Vorgehensweisen vor:

1. Für Indikatoren auf nationaler/sektoraler Ebene: Zuordnung der Werte nationaler Nachhaltigkeitsindikatoren zu biobasierten Sektoren („Top-Down“-Ansatz)
2. Für Indikatoren auf Produkt- bzw. Rohstoffebene:
  - a. Hochrechnung von Indikatorwerten aus Wirkungsabschätzungen für Produkte („Bottom-Up“-Ansatz)
  - b. Hochrechnung von Indikatorwerten aus Wirkungsabschätzungen für eingesetzte biogene Rohstoffe („Bottom-Up“-Ansatz)

Die vorgeschlagenen Methoden sollten zunächst für einige, im Rahmen des Monitorings als wichtig empfundene ökologische Indikatoren, geprüft werden.

## 2.5 Quantifizierung von Kaskaden- und Koppelnutzungen

In diesem Kapitel soll ermittelt werden, ob eine Kaskaden- und Koppelnutzung innerhalb der deutschen statistischen Systematik quantifizierbar ist, und ob sie, wenn ja, wirtschaftliche Effekte hat.

### 2.5.1 Definition der Begriffe Kaskaden- und Koppelnutzungen

Der Begriff der Kaskadennutzung ist kein (abfall-)rechtlich definierter Begriff. Da amtliche Statistiken zur Abfallentsorgung und -verwertung aber auf Grundlage rechtlich definierter Begriffe der Kreislaufwirtschaft erstellt werden, finden sich folglich dort auch nicht direkt Daten

zur Kaskadennutzung. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) kennt folgende Hierarchie der Maßnahmen zur Vermeidung und der Abfallbewirtschaftung:

1. Vermeidung,
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung,
3. Recycling,
4. Sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,
5. Beseitigung.

In vorangegangenen Studien wurde daher der Versuch unternommen, den Begriff der Kaskadennutzung anhand seiner Überschneidung und Abgrenzung von diesen Begriffen zu definieren.

In dem Projekt für das Umweltbundesamt mit dem Titel „Biomassekaskaden: Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis“ hat das nova-Institut gemeinsam mit dem ifeu-Institut, dem IZES-Institut und dem Wuppertal Institut eine Definition von Kaskadennutzung erarbeitet (Fehrenbach et al. 2017). Danach liegt eine Kaskadennutzung von Biomasse vor, wenn ein biogener Rohstoff zu einem biobasierten Endprodukt verarbeitet und dieses Endprodukt mindestens ein weiteres Mal stofflich oder energetisch genutzt wird. Die energetische Verwendung führt automatisch zum Ende der Kaskade (abgesehen von einer möglichen weiteren Nutzung von Asche oder CO<sub>2</sub>). Es kann allerdings durchaus auch eine stoffliche Verwendung, z.B. als Kompost oder Verfüllung (s.u.) das Ende einer Kaskade bilden kann, da in solchen Fällen eine nachfolgende energetische Verwertung praktisch ausgeschlossen werden kann.

Man spricht von einer einstufigen Kaskadennutzung von Biomasse, wenn ein biogener Rohstoff zu einem biobasierten Endprodukt verarbeitet wird und dieses Endprodukt mindestens ein weiteres Mal energetisch genutzt wird. Eine mehrstufige Kaskadennutzung von Biomasse liegt vor, wenn ein biogener Rohstoff zu einem biobasierten Endprodukt verarbeitet wird und dieses Endprodukt mindestens ein weiteres Mal stofflich genutzt wird. Erst nach der stofflichen Mehrfachnutzung kann eine energetische Nutzung folgen.

In Fehrenbach et al. 2017 wird weiter ausgeführt, dass mehrstufige Kaskadennutzungen bisher nur für sehr wenige Arten von Biomasseträgern bzw. Wertschöpfungsketten erreicht werden. Die Einbeziehung auch einstufiger Kaskadennutzungen in die obige Definition erweitert daher die Möglichkeiten, Kaskadennutzungen überhaupt in der Praxis identifizieren zu können und setzt daher die ersten Schritte zur Steigerung der Kaskadennutzung insgesamt.

Mit dem Kaskadenprinzip wird häufig ein abnehmendes Wertschöpfungsniveau assoziiert. Dies ist naheliegend, auch aufgrund der Herkunft des Wortes Kaskade von italienisch *cascare* = fallen. Allerdings kann nicht schlüssig begründet werden, warum ein gleichbleibendes oder

zunehmendes Wertschöpfungsniveau nicht dem Sinn der Kaskadennutzung, nämlich Materialien solange wie möglich im Wirtschaftskreislauf zu verwenden, entsprechen sollten.

In Fehrenbach et al. 2017 wurde sowohl ein „open loop“-Recycling, also ein Recycling mit stetig abnehmenden Wertschöpfungsniveau, als auch ein „upcycling“, also ein Recycling mit zunehmenden Wertschöpfungsniveau, in die Definition der Kaskadennutzung eingeschlossen. Ein „closed-loop“-Recycling, also eine immer wiederkehrende, gleichwertige stoffliche Verwendung des gleichen Rohstoffs, wurde dagegen von der Definition ausgeschlossen. Dies scheint wenig schlüssig und daher sollte auf eine Unterscheidung nach Wertschöpfungsniveau bei der Definition der Kaskadennutzung ganz verzichtet werden. Ein Recycling gemäß KrWG ist damit in jedem Fall Teil einer Kaskadennutzung.

In Fehrenbach et al. 2017 wurden außerdem die im KrWG genannten Begriffe der Wiederverwendung, Vorbereitung zur Wiederverwendung sowie Beseitigung (z.B. Deponierung) von der Definition der Kaskadennutzung ausgeschlossen. Dies ist nachvollziehbar, da im Fall einer Wiederverwendung bzw. Vorbereitung zur Wiederverwendung gar nicht erst eine Umwandlung von einem Abfallstrom in ein neues Produkt stattfindet (nach §3 KrWG bezeichnet eine Wiederverwendung „jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren“) und im Fall einer Beseitigung ebenfalls kein neues Produkt entsteht. Allerdings wird selbstverständlich auch bei der Abfallbehandlung und -beseitigung (WZ 38.2) Wertschöpfung erzielt.

In Fehrenbach et al. 2017 wird schließlich noch argumentiert, dass eine stoffliche End-Verwendung als „Verfüllung“ vom Begriff der Kaskadennutzung auszuschließen wäre, da solche Maßnahmen keine spätere energetische Verwertung mehr zulassen und somit das Ende der Kaskade darstellen. Das KrWG bezeichnet den Begriff der Verfüllung als eine „sonstige stoffliche Verwertung [...] bei der Abfälle als Ersatz für andere Materialien genutzt werden“. Der Begriff der Verfüllung wurde durch die Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EC) eingeführt, dort aber nicht näher als im KrWG definiert. Eine genauere Definition findet sich erst in einem Beschluss der Europäischen Kommission von 2011 (Europäische Kommission 2011). Danach bezeichnet Verfüllung „eine Verwertungsmaßnahme, bei der geeignete Abfälle als Ersatz für Materialien, die keine Abfälle sind, zur Auffüllung von Abgrabungen oder für Bauzwecke bei der Landschaftsgestaltung verwendet werden“. Zur Beurteilung, ob eine Maßnahme eine Verfüllung darstellt, ist weiterhin der § 3, Abs. 23 KrWG hilfreich: „Verwertung im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis die Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen.“ Die Verwendung eines Abfalls muss also einem sinnvollen Zweck dienen und andere Materialien ersetzen. Die Aschen aus Müllverbrennungsanlagen (MVA) können z.B. auf Deponien als Ersatzbaustoff verwendet

werden für Entwässerungsschichten, Baustraßen, Abdeckungen, Profilierungen und Gasdrän- oder Ausgleichsschichten (Beck und Kröger 2005). In diesem Fall stellt die Maßnahme eindeutig eine sonstige Verwertung (in diesem Fall eine Verfüllung) im Sinne im Sinne des KrWG dar.

Eine Verfüllung gilt in der Abfallrahmenrichtlinie nicht als Recycling, sondern als „sonstige stoffliche Verwertung“. Dennoch wird die Verfüllung gemäß der Abfallrahmenrichtlinie in die Recyclingquote mit der Zielvorgabe von 70 Gewichtsprozent bis 2020 eingerechnet (Statistisches Bundesamt 2017c). Anhand dieser Argumente sollte auch die Verfüllung in die Definition der Kaskadennutzung eingeschlossen werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass sich der Begriff der Kaskadennutzung vom Recycling-Begriff dadurch unterscheidet, dass er auch eine sonstige stoffliche oder energetische Verwertung einschließt. Entscheidend ist, dass ein Rohstoff möglichst lange zur Erzielung von Wertschöpfung im Wirtschaftskreislauf verbleibt. Der Begriff des Recyclings stammt zudem stark aus der Abfallwirtschaft und schließt die Betrachtung der Produkte und ihrer wirtschaftlichen Effekte gar nicht mit ein. Diese Lücke schließt der Begriff der Kaskadennutzung.

Im Vergleich zum Begriff der Kaskadennutzung ist der Begriff der Koppelnutzung relativ unstrittig. Einfach ausgedrückt ist mit Koppelnutzung die parallele Erzeugung mehrerer Produkte aus der gleichen Biomasse gemeint. Der Begriff impliziert jedoch, dass sich bestimmte Produkte eindeutig als Haupt- und andere als Koppelprodukte identifizieren ließen. Dies ist jedoch oft nicht der Fall: je nach Marktlage kann mit einem vermeintlichen Nebenprodukt mehr Wertschöpfung erzielt werden als mit dem Hauptprodukt. Um derartige Abgrenzungsprobleme zu vermeiden, könnte allgemeiner von Multi-Output Systemen gesprochen werden.

Sowohl Kaskaden- als auch Koppelnutzung verfolgen das Ziel, Rohstoffe möglichst lange (Kaskaden) bzw. vollständig (Koppelnutzung) zu nutzen. Das nova-Institut hat mit dem Biomass Utilization Factor (BUF) einen Ansatz entwickelt, beide Betrachtungsebenen in einem Indikator zu vereinen (Vis et al. 2016). Bei diesem Ansatz wird, ausgehend von der geernteten Agrar- oder Forstbiomasse (in Trockenmasse) ein einzelner Wert berechnet, der aussagt, wie vollständig (Koppelnutzungen) und wie oft (Kaskadennutzung) dieselbe Biomasse in einer biobasierten Wertschöpfungskette oder einem Sektor genutzt wird.

Die Tatsache, dass das deutsche KrWG „Kaskadennutzung“ nicht als eigene Kategorie vorsieht, erschwert sowohl die genaue Einordnung dieses Begriffs in die deutsche Politikstrategie wie auch die eindeutige Zuordnung in die Klassifizierungen der Abfallstatistik.

Die einschlägigen Strategiepapiere der Bundesregierung zur Bioökonomie – Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie (BMBF 2010), Nationale Politikstrategie Bioökonomie (BMEL 2014), Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (BMELV 2009), Roadmap Bioraffinerien (BMELV, BMBF, BMU, BMWi 2012) – nehmen alle Bezug auf den Begriff der Kaskadennutzung, ohne ihn jedoch genau zu definieren. Die Papiere sind sich

jedoch dahingehend einig, dass Kaskadennutzung für die folgenden übergeordneten politischen Ziele einen Beitrag leisten kann:

- Der CO<sub>2</sub>-Minderungseffekt wird vergrößert, wenn die Biomasse erst (ggf. mehrfach) stofflich, und dann energetisch verwendet wird.
- Nutzungskonkurrenzen um Biomasse zwischen stofflichen und energetischen Nutzungen werden entschärft, wenn Biomasse in Kaskaden genutzt wird.
- Dies bedeutet insgesamt, dass Biomasse effizienter genutzt wird durch Kaskaden.

Die Nationale Politikstrategie Bioökonomie stellt trotz des Fehlens der Begriffe Kaskaden- und Koppelnutzung im KrWG explizit einen Bezug zwischen diesen Begriffen und der Kreislaufwirtschaft her: „Durch die Kaskaden- und Koppelnutzung von Biomasse können Rohstoffe im Rahmen der Kreislaufwirtschaft vollständig und hochwertig verwertet werden.“ (BMEL 2014). Konkrete Politikziele gibt es für die Kaskadennutzung jedoch nicht – was allein schon aufgrund der fehlenden Definition nicht sonderlich verwunderlich ist.

Auf europäischer Ebene ist die Lage ähnlich. In den letzten Jahren hat der Begriff „Kaskade“ oder „Kaskadennutzung“ an Bedeutung gewonnen und wird in mehreren politischen Papieren explizit genannt und priorisiert, ohne jedoch rechtlich bindende Vorgaben oder Richtlinien zu schaffen, die die Kaskadennutzung wirklich fördern würden.

## 2.5.2 Kaskaden- und Koppelnutzungen in der statistischen Systematik

Im Folgenden werden zwei Arten von Statistiken, Produktionserhebungen und Abfallstatistiken, danach untersucht, ob sich dort Kaskaden- oder Koppelnutzungen identifizieren lassen. Erst wenn sich diese überhaupt identifizieren lassen, könnten deren wirtschaftlichen Effekte quantifiziert werden.

### 2.5.2.1 Produktionserhebungen

Um ein Recycling- bzw. ein Kaskadensystem überhaupt erst möglich zu machen, müssen Sekundärrohstoffe getrennt gesammelt und für folgende Nutzungen verfügbar gemacht werden. Bis zum Jahr 2008 enthielten die Produktionserhebungen des Statistischen Bundesamtes Produktionsmengen und -werte von Sekundärrohstoffen, wenn auch teilweise unvollständig. Diese enthielten auch Stoffgruppen mit überwiegend oder teilweise biobasierten Anteilen, z.B. Altholz, Altmaterialien aus Papier und Pappe und wiedergewonnene Chemikalien aus Chemieabfällen.

Mit der Revision der Wirtschaftszweig- und Güterklassifikation 2009 (GP 2009) ist die Erfassung der Produktionsmengen von Sekundärrohstoffen wieder aufgegeben worden. Dies wurde damit begründet, dass die Rückgewinnung von Werkstoffen, das heißt die Erzeugung von Sekundärrohstoffen, zwar weiterhin Teil des Produzierenden Gewerbes sei, eine Erhebung von Produktionsdaten für Sekundärrohstoffe in den europäischen und nationalen statistischen Rechtsvorschriften jedoch nicht vorgesehen sei (Greulich 2009, S. 45).

Durch die Erläuterung, dass es sich bei Sekundärrohstoffen um rückgewonnene Werkstoffe handelt, wird klar, dass es sich tatsächlich um ein werkstoffliches Recycling bzw. um Kaskadennutzungen handelt. Durch die Angabe von Produktionsmengen und -werten kann sogar ausgerechnet werden, welcher Erlös je Tonne Sekundärrohstoff erzielt werden konnte. Aus dieser Statistik ist jedoch nicht erkennbar, ob die gewonnenen Sekundärrohstoffe tatsächlich vormals als Produkt genutzt wurden oder originär als Abfall während eines Produktionsprozesses angefallen sind. Die Kategorie „Abfälle, Schnitzel und Bruch von Kunststoffen“ könnte z.B. sowohl ein Recycling von Kunststoffprodukten als auch von Ausschuss der Kunststoffproduktion beinhalten.

Das aktuelle Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (GP 2009) enthält nun leider mit Ausnahme von Erzeugnissen aus Altpapier keine Produkte mehr, die auf die Verwendung von Sekundärrohstoffen schließen lassen.

Innerhalb der WZ-Klassifizierung findet sich schließlich noch in Abschnitt E (Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen) die Klasse 38.32, welche die „Rückgewinnung sortierter Werkstoffe“ umfasst. In den Strukturellen Unternehmensstatistiken in Eurostat finden sich für diese Klasse die gleichen wirtschaftlichen Kennzahlen wie für andere industrielle Sektoren, also z.B. Umsatz, Anzahl der Beschäftigten und Wertschöpfung, jedoch keine Produktionsmengen.

In der Verordnung zur Schaffung einer neuen statistischen Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen (CPA), ist diese Klasse zwar in Unterklassen nach Art der Werkstoffe unterteilt, bisher scheinen jedoch auf dieser Ebene keine statistischen Daten erfasst zu werden.

Koppelprodukte könnten durch eine Durchsicht des Güterverzeichnisses für Produktionsstatistiken identifiziert werden, soweit ein Produkt eindeutig ein Nebenprodukt aus einem anderen Produktionsprozess darstellt. Dies ist zumindest für einige Prozesse möglich (z.B. Glycerin aus der Biodieselerzeugung). Welchen Anteil diese an der Gesamtheit an biobasierten Koppel- bzw. Multi-Output-Prozessen ausmachen, ist jedoch nicht zu ermitteln.

### **2.5.2.2 Abfallstatistik**

Ein weiterer Ansatz zur Ermittlung von Kaskadennutzungen besteht in der Auswertung der Abfallstatistiken. Die setzt allerdings voraus, dass Stoffe, die einer Kaskadennutzung zugeführt werden, tatsächlich vorher als gemäß KrWG als Abfall deklariert wurden.

In der Statistik zur Abfallentsorgung des Statistischen Bundesamtes (Fachserie 19, Reihe 1, Statistisches Bundesamt 2017) sind Inputmengen in thermische Abfallbehandlungsanlagen und Feuerungsanlagen nach Art des Abfalls aufgeführt. Hier ist eine Vielzahl an Abfallstoffen enthalten, die teilweise oder vollständig biologischen Ursprungs sind.

Diese Statistik enthält auch Tabellen zum Output aus den Anlagen, jedoch nur zu stofflichen Outputs, also Abfällen, die nicht in thermische Energie umgesetzt werden konnten. Nur wenn der Wert der gewonnenen Energie ermittelt werden könnte, könnte auch der wirtschaftliche Mehrwert aus der Kaskadennutzung berechnet werden, zumindest für einstufige Kaskaden, bzw. für die letzte Stufe einer mehrstufigen Kaskade, da der Ursprung der Abfälle auch nicht weiter rückverfolgt werden kann. Für den Wert der gewonnenen Energie müssten andere Quellen herangezogen werden.

Soweit eine Nutzung der bei der Verbrennung freiwerdenden Energie stattfindet, kann unterstellt werden, dass es sich um eine Kaskadennutzung handelt (mit der Einschränkung, dass, wie im Fall der produzierten Sekundärrohstoffe, nicht erkennbar ist, ob die verbrannten Abfälle tatsächlich vorher als Produkt genutzt wurden).

In der Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes sind neben den Anlagen zur energetischen auch Anlagen zur stofflichen Verwertung von Abfällen enthalten, einschließlich ihrer Art des Outputs, z.B. Mengen an produziertem Basisöl aus Altölen. Weiterhin enthält die Abfallstatistik Outputmengen von Sortieranlagen nach Art des Outputs, z.B. „Abfälle aus verarbeiteten Textilfasern“. Allerdings ist dann nicht weiter ersichtlich, wie diese sortierten Abfälle verwendet wurden.

Abgesehen von Holz und Papier kann in Abfallbehandlungsanlagen in den meisten Fällen nicht zwischen fossilen/mineralischen und biobasierten Materialien unterschieden werden und diese damit auch nicht getrennt wiederverwertet werden. Im Fall von biobasierten Kunststoffen ist dies z.B. für drop-in Polymere nicht möglich und für neuartige Polymere wie PLA zwar prinzipiell möglich, aber bisher kaum umgesetzt (Fehrenbach et al. 2017, S. 24).

Das impliziert dann aber auch, dass sich die wirtschaftlichen Effekte eines Recyclings zwischen konventionellen und biobasierten drop-in Kunststoffen gar nicht unterscheiden, da durch das Recycling immer Mischungen aus konventionellen und biobasierten Polymeren entstehen würden, abhängig vom Verhältnis des Inputs.

Seit Oktober 2017 besteht in Eurostat ein Datensatz mit Indikatoren zur Kreislaufwirtschaft (Eurostat 2017). Diese Indikatoren sollen dazu dienen, einen Überwachungsrahmen für den Übergang der EU zu einer Kreislaufwirtschaft aufzubauen und wurden nach ihrer Verfügbarkeit in bestehenden Statistiken, Relevanz, Akzeptanz, Glaubwürdigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Robustheit ausgewählt (Europäische Kommission 2018).

Eine der in Eurostat abrufbaren Statistiken zeigt die „Behandlung der Abfälle nach Abfallkategorie, Gefährlichkeit und Abfallbehandlung“ (cei\_wm040). Diese Statistik enthält Informationen zur Verwendung der Abfälle und lässt daher Rückschlüsse für Kaskadennutzungen zu. Nach Auskunft des Statistischen Bundesamtes werden diese Daten zur Abfallverwertung und Abfallbeseitigung gemäß der „Verordnung (EU) Nr. 849/2010 vom 27. September 2010 zur

Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2150/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Abfallstatistik“, Anhang II, an Eurostat geliefert und dort veröffentlicht. Eine Veröffentlichung durch das Statistische Bundesamt selbst erfolgt nicht (Schellhorn 2017).

Für eine Liste an Abfallkategorien wird die Behandlung unterteilt in (mit der in Eurostat verwendeten Codierung):

- Deponierung/Beseitigung
- Ablagerung in oder auf dem Boden (DSP\_D)
- Behandlung im Boden und Einleitung in Gewässer (DSP\_O)
- Verbrennung/Beseitigung (INC)
- Verbrennung/energetische Verwertung (RCV\_E)
- Verwertung außer energetischer Verwertung
- Verwertung außer energetische Verwertung – Verfüllung (RCV\_B)
- Verwertung außer energetische Verwertung – ohne Verfüllung (RCV\_O)

Dem Recycling- bzw. Kaskadenprinzip würden die Verwertungskategorien RCV\_E, RCV\_B und RCV\_O entsprechen. Bei der Kategorie RCV\_O handelt es sich im weitesten Sinne um eine stoffliche Verwertung. Wenig verwunderlich dominiert diese bei Papier- und Pappeabfällen während bei Holzabfällen die energetische Verwertung dominiert. Nur für die Kategorie der chemischen Abfälle ist ein stofflicher Verwertungsanteil von rund 60% überraschend.

Eine Nachfrage beim Verband der Chemischen Industrie (VCI) konnte den hohen stofflichen Verwertungsanteil von chemischen Abfällen nicht aufklären (Benzing 2018). Nach Auskunft des VCI hat das Umweltbundesamt (UBA) für eine Studie auf Basis einer VCI-Erhebung und der PRTR-Datenbank (Pollutant Release and Transfer Register; dt. Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister) nur für die gefährlichen Abfälle der Chemischen Industrie eine Unterscheidung in stoffliche und energetische Verwertung vorgenommen. Nach dieser Veröffentlichung betrug im Jahr 2012 das Gesamtaufkommen gefährlicher Abfälle der Chemischen Industrie 1,24 Mill. t und von diesen wurden 0,52 Mill. t beseitigt, 0,53 Mill. t energetisch und 0,18 Mill. t stofflich verwertet (Zotz et al. 2016, S. 148). Der Anteil stofflicher Verwertung lag also mit etwa 15% viel geringer als nach den Eurostat-Daten (in Eurostat wird ebenfalls unterschieden in gefährliche und nichtgefährliche Abfälle, der stoffliche Verwertungsanteil unterscheidet sich hier aber nur wenig).

Die PRTR-Datenbank ist auf Grundlage der Verordnung (EG) Nr. 166/2006 über die Schaffung eines Europäischen Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregisters entstanden und bietet Daten zu Schadstoff- und Abfallmengen einzelner Betriebe nach WZ-Klassen. Durch die Identifizierbarkeit einzelner Betriebe und deren Zugehörigkeit zu WZ-Klassen bietet der PRTR-Datenbestand einen sehr hohen Detaillierungsgrad. Direkte Rückschlüsse über die Art der Abfälle (z.B. ob biobasiert oder nicht) ermöglicht er dennoch nicht. Die einzigen Anhaltspunkte bieten

die WZ-Zugehörigkeit des verursachenden Betriebes und die Kategorisierung in gefährliche und nichtgefährliche Abfälle. Ein Ansatz zur Erfassung von Daten über biobasierte Abfälle könnte daher eine Ausweitung der Berichtspflicht in der Verordnung (EG) Nr. 166/2006 sein.

Neben dieser Statistik enthalten die Eurostat-Indikatoren zur Kreislaufwirtschaft auch einen Datensatz zur Behandlung von Verpackungsabfällen nach Art der Verpackung, z.B. Verpackungen aus Papier und Pappe. Die Kategorien der Abfallbehandlung sind hier etwas anders als in der vorher genannten Statistik, die Schlussfolgerungen jedoch ähnlich.

### 2.5.3 Fazit

In diesem Kapitel wurde herausgearbeitet, wie sich der Begriff der Kaskadennutzung zu rechtlich definierten Begriffen der Kreislaufwirtschaft verhält. Dies ist ein wichtiger Schritt, da der Begriff der Kaskadennutzung bisher hauptsächlich in politischen Strategiepapieren verwendet wurde ohne genau definiert zu werden. Es wurde herausgearbeitet, dass eine Kaskadennutzung von Biomasse vorliegt, wenn ein biogener Rohstoff zu einem biobasierten Endprodukt verarbeitet und dieses Endprodukt mindestens ein weiteres Mal stofflich oder energetisch genutzt wird. Dies kann die Maßnahmen Recycling, sonstige stoffliche Verwertung oder energetische Verwertung aus der Abfallrahmenrichtlinie umfassen.

Zu diesen Kategorien der Kreislaufwirtschaft liegen umfangreiche statistischen Daten vor, die durch die derzeitige politische Priorisierung der Kreislaufwirtschaft in Zukunft eher noch detaillierter werden dürften. Die Statistiken geben Auskunft über die Abfallarten und -mengen, die den oben genannten Verwertungsmaßnahmen zugeführt werden. In diesem Sinne lassen sich also Kaskadennutzungen identifizieren. Was jedoch fehlt, sind Informationen darüber, wie die behandelten Abfälle vor ihrer Einstufung als Abfall verwendet wurden und wie sie nach der Abfallbehandlung tatsächlich verwendet werden.

Mehrstufige Kaskaden sind in den amtlichen Statistiken praktisch nicht identifizierbar. Dies liegt nicht primär daran, dass solche Kaskaden auch in der gegenwärtigen produktionswirtschaftlichen Realität selten sind, sondern an der grundlegenden Struktur der Statistiken, die eine Nachverfolgung von Stoffflüssen über Wertschöpfungsstufen hinweg nur eingeschränkt ermöglicht.

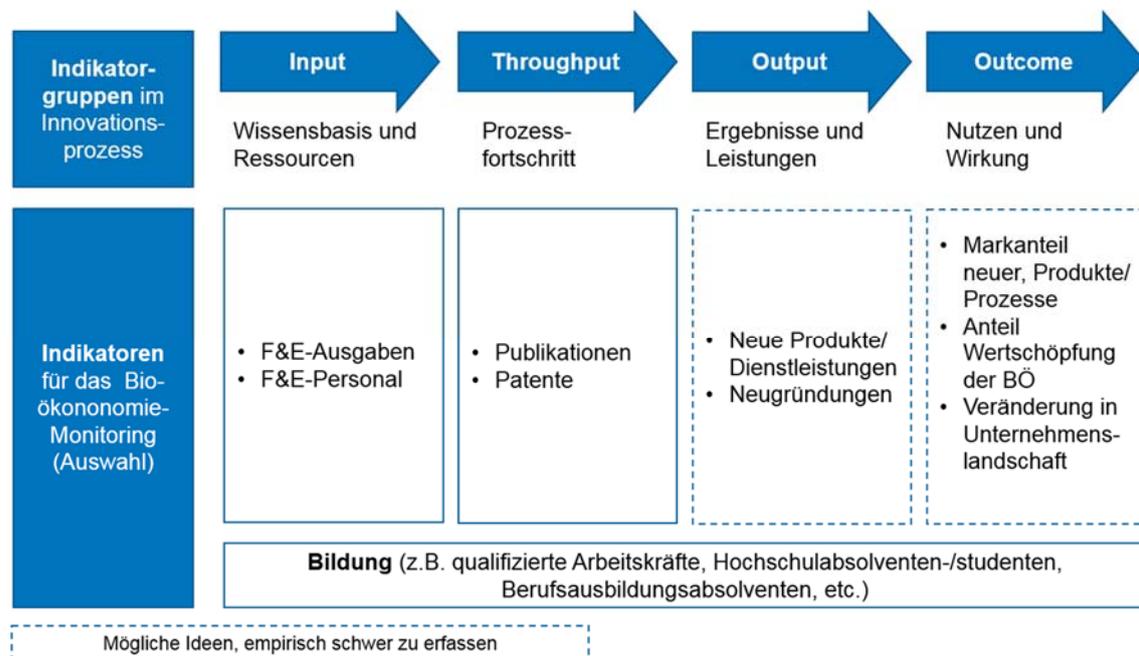
Die Ermittlung wirtschaftlicher Effekte von Kaskadennutzung anhand amtlicher Statistiken erweist sich als noch schwieriger. Um wirtschaftliche Effekte von Kaskadennutzung zu quantifizieren, könnte der Versuch unternommen werden, die über eine Nutzungskaskade hinweg generierten Effekte (z.B. Wertschöpfung und Arbeitsplätze) auf die anfänglich in die Kaskade eingespeiste Biomasse zu beziehen. Wäre dieser Ansatz erfolgreich, könnte gezeigt werden, dass durch eine Kaskadennutzung höhere wirtschaftliche Effekte je eingesetzter Menge an Biomasse erzielt werden können. Gleiches würde bei einer Koppelnutzung gelten, da auch

durch eine Erzeugung mehrerer Produkte aus der gleichen Biomasse höhere Effekte erzielt würden.

## 2.6 Innovations- und Bildungsindikatoren

Die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft ist stark durch Innovationen geprägt. Dies gilt auch für die Bioökonomie. Die Frage, ob sie sich im Wettbewerb mit anderen Wirtschaftsbereichen halten oder sogar ausweiten kann, hängt in erheblichem Maße von Innovationen ab. Das Ziel des Kapitels ist die Prüfung und Bildung relevanter Indikatoren für Innovationen und Bildung. Hierfür werden Indikatoren entlang des Innovationprozesses diskutiert (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Übersicht zu Innovationsindikatoren



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer ISI.

Der Hauptfokus liegt dabei darauf Indikatoren für die gesamte Bioökonomie zu identifizieren. Bei der Auswahl der betrachteten Indikatoren und Datenquellen ist daher von hoher Relevanz inwieweit die Vergleichbarkeit zwischen Teilsegmenten der Bioökonomie gewährleistet ist. Außerdem sollte der mit der Erhebung verbundene Arbeitsaufwand verhältnismäßig zum erwarteten Erkenntnisgewinn sein. Letzteres trifft oft nicht zu, wenn Informationen "bottom-up" aus Einzelinformationen erhoben werden müssen.

### 2.6.1 Forschung und Entwicklung

Ein wichtiger Input für Innovationen sind Aktivitäten in Forschung und Entwicklung (FuE). Nicht alle Innovationen beruhen auf FuE, aber in der Regel ist FuE eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Innovationen. Von daher ist es für eine Analyse der Innovationstätigkeit in der

Bioökonomie wesentlich, auch die diesbezüglichen Aufwendungen und Personal<sup>11</sup> zu erfassen. Dabei wird sinnvollerweise zwischen öffentlichen FuE-Ausgaben und FuE-Ausgaben der Unternehmen in der Bioökonomie unterschieden (JRC 2014).

Die öffentlichen Ausgaben für die Bioökonomie werden seit dem *Bundesbericht Forschung und Innovation* (BuFi) 2014 unter den *Ausgaben des Bundes für Wissenschaft, Forschung und Entwicklung* ausgewiesen. Die Bioökonomie ist dort als Förderbereich aufgeführt, wobei die Definition auf der Leistungsplansystematik des Bundes 2009 beruht. Erste Daten liegen ab 2011 vor.

Entsprechend dem Bundesbericht Forschung und Innovation betragen die FuE-Ausgaben des Bundes für die Bioökonomie im Jahr 2011 rund 220 Mill. € und sind seitdem auf 273 Mill. € im Jahr 2017 angestiegen (BMBF 2016; BMBF2018).

Bei diesen Zahlen ist zu berücksichtigen, dass es sich nur um Ausgaben des Bundes handelt. Dass auch die Bundesländer vielfältige Forschungsaktivitäten zur Bioökonomie finanzieren (BMBF 2014), wird durch den Bericht nicht berücksichtigt. Nur in einzelnen Bundesländern findet eine dezidierte Förderung der Bioökonomie im Rahmen eigener Programme statt (z.B. Baden-Württemberg) während in anderen Bundesländern einzelne Aktivitäten im Rahmen größerer Programme zu vermuten sind, die nicht generell nach der Leistungsplansystematik des Bundes zugeordnet werden können. Daher ist eine Erfassung nur mit Zusatzaufwand und Beteiligung der Bundesländer möglich. Ebenso ist zu beachten, dass Förderung durch die EU nicht im obigen Bericht berücksichtigt wird.

Bei den FuE-Ausgaben der Unternehmen kann grundsätzlich auf die Angaben der FuE-Erhebung des Stifterverbandes der deutschen Wirtschaft zurückgegriffen werden (Stifterverband Wissenschaft 2017a, 2017b). Dort sind die FuE-Ausgaben der Wirtschaft nach der Sektorklassifikation entsprechend der WZ 2008 auf einem 2-Steller-Niveau ausgewiesen. Dieses Detaillierungsniveau ist für eine zutreffende Abgrenzung der Bioökonomie jedoch zu grob. Daher müssen, um die FuE-Ausgaben für die Bioökonomie zu ermitteln, Anteile für die WZ-Zweige ermittelt werden (siehe Kapitel 2.2).<sup>12</sup>

Zusammenfassend kann gefolgert werden, dass private und öffentliche FuE-Aktivitäten eine wichtige Kennzahl für Inputaktivitäten zu Innovationen in der Bioökonomie bilden, ihre systematische Erfassung bisher nur eingeschränkt möglich ist. So sind bei öffentlichen Ausgaben bislang nur FuE-Ausgaben des Bundes systematisch erfasst und bei privaten FuE-Ausgaben

<sup>11</sup> FuE-Personal wird im Folgenden nicht weiter vertieft, da der zusätzliche Informationsgehalt zu den FuE-Aufwendungen und den anderen Bildungsindikatoren (siehe unten) begrenzt ist.

<sup>12</sup> Eine Alternative zu den dargestellten Anteilen wäre speziell für FuE die Nutzung von Patentanteilen der Bioökonomie in einem Sektor (siehe Kapitel 2.6.2). Da Patente zwar nicht zwingend, aber durchaus oftmals aus FuE-Aktivitäten resultieren, könnte diese Vorgehensweise zielgenauer sein, um den Anteil der Bioökonomie-FuE-Aufwendungen an allen FuE-Aufwendungen dieses Wirtschaftszweiges abzuschätzen.

besteht erneut die Herausforderung der Bestimmung von Anteilen in Sektoren, die der Bioökonomie nur teilweise zugerechnet werden können.

### 2.6.2 Publikationen und Patente

Die statistische Analyse wissenschaftlicher Publikationen und ihrer Zitationen (Bibliometrie) stellt eine Möglichkeit zur Bewertung der Leistungsfähigkeit des Wissenschafts- und Innovationssystems über die Zeit und im Ländervergleich dar. Sie bietet eine wichtige Orientierung für die weitere technologische Entwicklung von Unternehmen oder anwendungsorientierter FuE-Einrichtungen. Zu diesem Zweck werden verschiedene Literatur- und Zitationsdatenbanken verwendet (z.B. Scopus, Web of Science). Die genauere Identifizierung von Literatur im Bereich der Bioökonomie oder ihrer Teilbereiche kann mit einer Kombination aus Zeitschriften/Büchern und Schlagwortsuche (bezüglich Titel, Schlüsselwörter, Abstract, Buchserie u. ä.) erfolgen. Der größte Nachteil von bibliometrischen Indikatoren besteht darin, dass nur eine sehr indirekte Beziehung zu einem innovativen Marktoutput vorliegt. Wissenschaftliche Veröffentlichungen spiegeln einen wissenschaftlichen Fortschritt wider, der sich aber nicht unbedingt oder nicht direkt kommerziell verwerten lässt.

Demgegenüber haben Patente eine engere Verbindung zur Kommerzialisierung bzw. ökonomische Nutzung von Erfindungen. Patentanmeldungen beziehen sich auf Erfindungen im technischen Bereich, die im internationalen Maßstab neu sind und für die ein gewerbliches Anwendungsinteresse der Anmelder unterstellt wird. Denn sie gewähren ihrem Inhaber einen zeitlich begrenzten Schutz vor konkurrierenden Entwicklungen und sind somit ein gewerbliches Schutzrecht. Die Anmeldung eines Patents ist mit erheblichen Kosten verbunden. Es ist daher anzunehmen, dass eine Patentanmeldung in der Regel dann vorgenommen wird, wenn mit dem Patent eine Gewinnerwartung verbunden ist. Patentdaten sind tendenziell objektiv und verlässlich, da sie eine Vollerhebung darstellen und keine Verzerrung im Antwortverhalten wie z.B. bei Befragungen beinhalten. Selbstverständlich haben Patentindikatoren aber auch ihre Grenzen, dazu gehören u.a.

- Einige Innovationen (z.B. Organisatorische Innovationen, Dienstleistungsinnovationen) sind nicht patentierbar.
- Einige (patentierbare) marktrelevanten Innovationen werden nicht patentiert. So werden viele Innovationen durch andere Mechanismen (z.B. betriebliche Geheimhaltung, Schnelligkeit in der Entwicklung oder der Vermarktung usw.) geschützt.<sup>13</sup> Die Patentneigung variiert dabei über Sektoren/Industriezweige und Anwendungsbereiche sowie über die Zeit hinweg.

<sup>13</sup> Ein Beispiel ist, dass bei Enzymscreening und -optimierung KMUs zunehmend häufig keine Patentierungen anstreben, da diese zu kostenaufwändig für den potenziellen Markt sind und die oft beabsichtigte Zusammenarbeit mit Großunternehmen, die einen freien IP-Zugang erwarten, einschränken.

Diese Limitierung der Aussagekraft muss bei der Interpretation der Indikatoren berücksichtigt werden.

Für die Patentanalyse ist es zunächst erforderlich, diejenigen Bereiche von Patentanmeldungen zu ermitteln, die der Bioökonomie zuzurechnen sind. Zu diesem Zwecke müssen alle Codes der Internationalen Patentklassifikation (IPC) im Hinblick auf Verbindungen zur Bioökonomie durchgegangen werden. In einer engen Definition geht es um Unterklassen (4-Steller) und Hauptgruppen (8-Steller) der IPC, die sich unmittelbar auf die Nutzung biologischer Ressourcen beziehen. Diese Abgrenzung ist sehr nah an derjenigen der Wirtschaftssektoren. Demgegenüber würde sich eine weite Definition auch auf Geräte und Verfahren zur Bearbeitung biogener Rohstoffe beziehen. Dies findet auch in Wirtschaftssektoren statt, die gar nicht im vorliegenden Monitoring zur Bioökonomie gezählt werden (z.B. Maschinenbau). Die entsprechenden Klassifikationen der IPC sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 zusammengestellt.<sup>14</sup>

Zur Illustration der Unterschiede zwischen der engen und der weiten Definitionen bietet sich das Beispiel der Landwirtschaft an. Neue Pflanzen gehören demnach entsprechend der engen Definition zur Bioökonomie, landwirtschaftliche Maschinen und Geräte kommen bei der weiten Definition hinzu. In den meisten Fällen ist die Zuordnung zur Bioökonomie offensichtlich, in manchen Fällen kann darüber diskutiert werden. Folglich sind die Zuordnungen nach Tabelle 3 und 4 als Vorschlag zu betrachten. In Gesprächen mit Stakeholdern ergab sich, dass die weite Definition insofern als passender eingeschätzt wird, als dass eine solche eine höhere Kompatibilität zur Abgrenzung der Bioökonomie bei vergleichbaren Ansätzen für ein Bioökonomiemonitoring in Deutschland aufweist.

Als schwierig erwies sich in Analogie zu anderen Arbeitsschritten des Monitorings die Zuordnung von solchen Patentklassen, die Bioökonomiepatente beinhalten, aber nicht vollständig der Bioökonomie zuzuordnen sind. Sofern es keinen expliziten Hinweis in den Patentklassen bzgl. der Relevanz für die Bioökonomie ergab, wurden diese nicht einbezogen. Dies trifft z.B. für Maschinen für die Chemie oder Maschinen für Textilien in der weiten Definition zu, die nicht einbezogen wurden, obwohl sich teilweise eine Relevanz für die Bioökonomie vermuten lässt.

<sup>14</sup> Das skizzierte Vorgehen zur Abgrenzung der Bioökonomie weicht von dem des Joint Research Centre der Europäischen Kommission im Rahmen des EU Bioeconomy Observatory Patentindikatoren ab (JRC 2014). Dabei wurde die Bioökonomie in 3 (nicht überschneidungsfreie) Bereiche untergliedert: Biotechnologie, Land- und Forstwirtschaft sowie diejenigen verarbeitenden Industrien, die gemäß dem JRC vollständig der Bioökonomie zugerechnet werden können (Nahrungs- und Futtermittel, Tabak, Leder, Holz, Papier und Pappe). Dabei wurden Konkordanztabellen – dies sind Entsprechungstabellen von Patentklassen zu Wirtschaftszweigklassifikationen – verwendet ohne genauere Angabe der verwendeten Codes der Internationalen Patentklassifikation (IPC).

Tabelle 3: Symbole der IPC, die sich in einer engen Definition auf die Bioökonomie beziehen

| IPC-Klassifikation  | Inhalt   |
|---|--|
| <b>Landwirtschaft, Lebensmittel</b>                                       |  |
| A01H  | Neue Pflanzen  |
| A01P  | Chemische Mittel zur Regulierung des Pflanzenwachstums             |
| A21D  | Konservieren von Mehl oder Teig zum Backen                         |
| A23 außer N, P  | Lebensmittel   |
| A24B  | Tabak  |
| A43B, C   | Schuhwerk  |
| C05F  | Organische Düngemittel   |
| C13   | Zuckerindustrie  |
| F23G 7/02, 10   | Verbrennen von organischen Stoffen                                 |
| <b>Medizin</b>  |  |
| A61K 38   | Medikamente mit Peptiden   |
| A61K 39   | Medikamente mit Antigenen oder Antikörpern                         |
| A61K 48   | Medikamente mit genetischem Material                               |
| G01N 33/44-98   | Analysieren von biologischen Stoffen                               |
| <b>Holz, Papier, Textilien</b>  |  |
| B27K  | Behandeln von Holz   |
| B27N  | Herstellen von Gegenständen aus Holzspänen oder -fasern            |
| D21B, C, D  | Cellulose zur Papierherstellung                                    |
| C14   | Häute, Felle, Leder  |
| D01B, C, D  | Behandlung von natürlichen Fasern und Fäden                        |
| D01F 02, 04   | Fäden aus natürlichen Stoffen                                      |
| <b>Chemie</b>   |  |
| C02F 3, C02F 11/02, 04  | Biologische Behandlung von Wasser und Schlamm                      |
| C07G 11-15  | Antibiotika, Vitamine, Hormone unbekannter Zusammensetzung         |
| C07K  | Peptide  |
| C08C  | Behandlung von Kautschuken   |
| C08H  | Derivate von natürlichen makromolekularen Verbindungen             |
| C08B  | Polysaccharide   |
| C08L 01, 03, 05, 07, 13, 15, 17, 19, 21, 87, 89, 91, 93, 97, 99           | Massen auf der Basis von natürlichen makromolekularen Verbindungen |
| C09D 11/04, 06, 08  | Tinten auf der Basis von natürlichen Stoffen                       |
| C09D 103, 105, 107, 113, 115, 117, 119, 121, 189, 191, 193, 197, 199      | Überzugsmittel auf der Basis von natürlichen Stoffen               |
| C09F  | Naturharze   |
| C09H 01   | Natürliche Stoffe zur Herstellung von Leim                         |
| C09J 101, 103, 105, 107, 113, 115, 117, 119, 121, 189, 191, 193, 197, 199 | Farbstoffe auf natürlicher Basis                                   |
| C11B, C, D  | Natürliche Fette, Wachse, Reinigungsmittel                         |
| C12   | Biochemie  |
| G01N 33/2-14, 44, 46  | Analysieren von natürlichen Stoffen                                |

Quelle: <https://depatinet.dpma.de/ipc/>

**Tabelle 4: Symbole der IPC, die sich zusätzlich in einer weiten Definition auf die Bioökonomie beziehen**

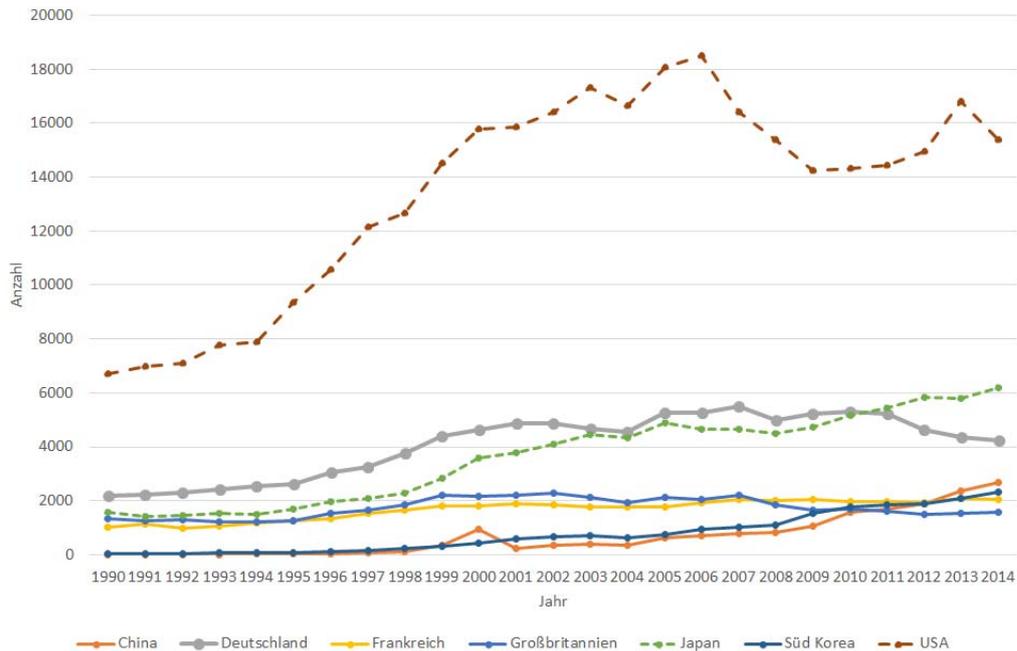
| IPC-Klassifikation                  | Inhalt  |
|-------------------------------------|---|
| <b>Landwirtschaft, Lebensmittel</b> |   |
| A01 außer A01H, A01P                | Landwirtschaftliche Maschinen und Geräte              |
| A21 außer A21D                      | Backgeräte  |
| A22                                 | Fleischverarbeitungsmaschinen                         |
| A23N, P                             | Lebensmittelverarbeitungsmaschinen                    |
| A24 außer B                         | Tabakverarbeitungsmaschinen                           |
| B02                                 | Maschinen zur Getreidezerkleinerung                   |
| C05 außer C05F                      | Chemische Düngemittel                                 |
| C09K 101                            | Zusammensetzungen für landwirtschaftliche Bohrlöcher  |
| F25D                                | Kühlschränke  |
| <b>Medizin</b>                      |   |
| A61 außer (A61K 38, 39, 48)         | Medizinische Geräte                                   |
| <b>Holz, Papier, Textilien</b>      |   |
| B31                                 | Maschinen zur Herstellung von Gegenständen aus Papier |
| B27 außer B27K                      | Maschinen zur Holzbearbeitung                         |
| A43                                 | Maschinen zur Herstellung von Schuhwerk               |
| D01D                                | Maschinen zur Herstellung von Filamenten              |
| D21F, D21G, D21H, D21J              | Maschinen zur Papierherstellung                       |

Quelle: <https://depatisnet.dpma.de/ipc/>

Im Folgenden wird beispielhaft die Gesamtentwicklung der transnationalen<sup>15</sup> Patente in verschiedenen Länder für die weite Definition aufgezeigt (vgl. Abbildung 5). Der relativ starke Aufwuchs an Patentanmeldungen in den 1990er Jahren darf dabei nicht überbewertet werden, da in dieser Zeit durch eine Umstellung des Patentverhaltens (z.B. zunehmende Bedeutung von Patenten für Lizenzierungen) insgesamt ein Anwachsen der Patentanmeldungen zu beobachten war (Blind et al. 2006). Das Anwachsen der Patentanmeldungen seit dem Jahr 2000 kann dagegen als realer Zuwachs interpretiert werden. Insgesamt ist eine deutliche Dominanz der USA bei Patentanmeldungen zur Bioökonomie festzustellen.

<sup>15</sup> Transnationale Patente sind Erfindungen, die entweder beim Europäischen Patentamt oder als internationale Anmeldungen (bei der World International Property Organisation, WIPO) angemeldet wurden (Frietsch und Schmoch 2010). Dabei müssen Doppelzählungen des gleichen Patents beim Europäischen Patentamt und WIPO identifiziert und gelöscht werden

Abbildung 5: Transnationale Patentanmeldungen in der Bioökonomie für ausgewählte Länder



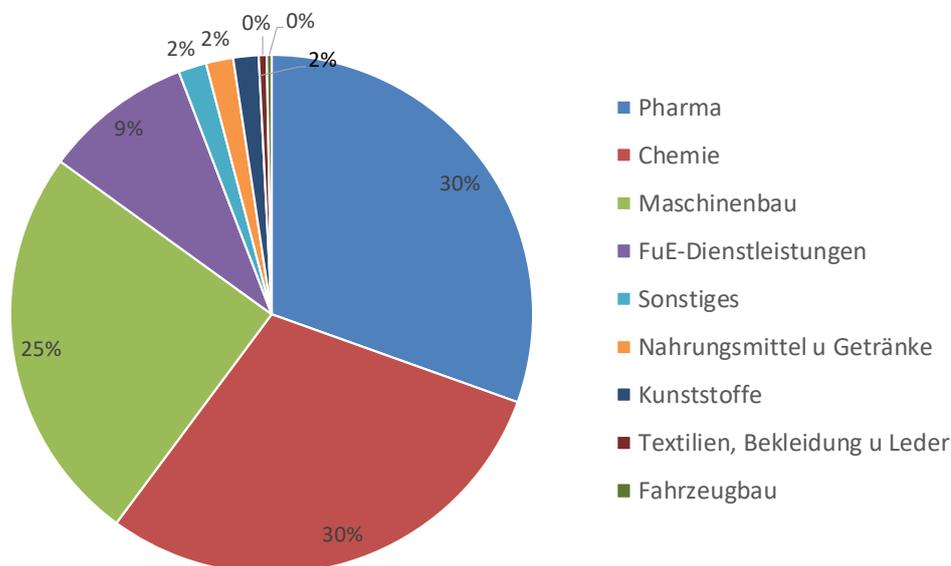
Quelle: PATSTAT, eigene Analysen und Recherchen Fraunhofer ISI.

Ausgehend von den Ausgangsdefinitionen können verschiedene patentstatistische Analysen durchgeführt werden, z.B. Entwicklungen in Teilsegmenten oder internationale Vergleiche. Diese wurden in den Berichtsblättern im 3. und 4. Zwischenbericht dargestellt. Daneben wäre es sowohl für bibliometrische Daten als auch Patentanalysen erkenntnisreich weiterführende Analysen zur Charakterisierung des Innovationsgeschehens durchzuführen. Beispielsweise könnte in der Patentstatistik näherungsweise zwischen der Entwicklung der Arten von Innovationen unterschieden werden. Daneben könnte die Konvergenz zwischen Industrien über die Analyse der Aktivitäten und Beziehungen von Akteuren aus verschiedenen Branchen bspw. über Netzwerkanalysen untersucht werden (z.B. Golembiewski et al. 2015). Diese Analysen würden einen Monitoringbericht aber tendenziell überfrachten und werden hier nicht direkt weiter vertieft.

Ein im Rahmen dieses, auf Wirtschaftssektoren ausgerichteten, Monitorings aber besonders relevanter Aspekt ist dabei das Mapping der Patente auf Wirtschaftszweige. Dieses Mapping ermöglicht Aussagen in welchen Branchen besonders hohe Aktivitäten in der Bioökonomie zu beobachten. Zudem kann innerhalb einer Branche geschaut werden, welchen Anteil Patente mit Bezug zur Bioökonomie an allen Patenten eines Wirtschaftszweiges haben, also welche Bedeutung die Bioökonomie einnimmt. Hierfür sind bioökonomierelevante Patente über Patent-/ Unternehmensdatenbankverknüpfungen auf WZ-Klassifikation zu übertragen, d.h. es wird ermittelt, welcher Wirtschaftszweigklassifikation die Unternehmen zugeordnet werden können, die in der Bioökonomie patentieren. Damit kann entweder gemessen werden, welchen Anteil Bioökonomiepatente in einem Wirtschaftszweig einnehmen oder welchen Anteil Wirtschaftszweige an den gesamten Bioökonomiepatenten einnehmen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgte als Test bezüglich der Machbarkeit eine Auswertung der erteilten Patente in Deutschland anhand der Patentdatenbank PATSTAT, die das Fraunhofer ISI mit der Unternehmensdatenbank Orbis verknüpft hat.<sup>16</sup> Da die aktuelle vorliegende Verknüpfung nur für die Jahre 2010-2012 vorliegt erfolgt die Auswertung für diese Jahre. Als exemplarisches Ergebnis zeigt Abbildung 6 den Anteil der Wirtschaftszweige an allen bioökonomierelevanten Patenten (weite Definition). Damit wird die Bedeutung einzelner Wirtschaftssektoren für Innovationen in der Bioökonomie näherungsweise abgebildet. Zur Vereinfachung wurden Wirtschaftssektoren mit geringen Patentzahlen zu größeren Bereichen (z.B. Textilien, Bekleidung und Leder) zusammengefasst. Es dominiert der Chemiesektor (30 %), die pharmazeutische Industrie (15 %) und der Maschinenbau (25 %).

**Abbildung 6: Anteil von Wirtschaftssektoren an bioökonomierelevanten Patenten**



Quelle: Fraunhofer ISI auf Basis Patstat und Orbis.

Zusammenfassend bilden Patente geeignete Innovationsindikatoren für die Bioökonomie. Es ist aber natürlich zu berücksichtigen, dass es bekannte Einschränkungen in der Aussagekraft solcher Indikatoren gibt (z.B. unterschiedliches Patentverhalten in verschiedenen Wirtschaftssektoren). Die Abgrenzung der Bioökonomie erfolgt technologisch und kann anhand der sehr detaillierten Patentklassifikationen vergleichsweise gut erfolgen.

<sup>16</sup> Eine Erklärung zu den verwendeten Datenbanken und genaue Daten zur Abdeckung der Grundgesamtheit (die für die Wirtschaftszweige hoch ist) erfolgte im 3. Zwischenbericht. Eine andere Möglichkeit die eine höhere Transparenz und Nachverfolgbarkeit ermöglicht wäre die Nutzung von Konkordanztabellen von IPC und WZ-Codes. Da diese Konkordanztabellen in der Regel deutliche Unschärfen aufweisen, wurde darauf verzichtet.

### 2.6.3 Output- und Outcome- Innovationsindikatoren

Während FuE-Aktivitäten, Bildung und Patentanmeldungen im Kontext von Innovationsaktivitäten als Input- und Throughput-Indikatoren anzusehen sind, spiegeln sie nicht das Ergebnis der Innovationsbemühungen wieder. Gerade für innovative Bereiche der Bioökonomie (z.B. biobasierte Chemikalien) wäre es von hoher Aussagekraft, inwieweit Innovationen tatsächlich auf den Markt gebracht werden, wie ihr Diffusionsverlauf ist und v.a. welche Effekte sie auf die Ökonomie haben, aber auch auf Nachhaltigkeit oder weitere gesellschaftliche Ziele. Daher wären zusätzliche Output- (z.B. Zahl neu eingeführter Produkte) oder Outcome/Impact-Indikatoren (z.B. Veränderungen in der Unternehmensstruktur durch Neugründungen oder Schließungen; Wachstum der Bioökonomie vs. Nicht-Bioökonomie-Bereiche, Effekte auf Nachhaltigkeit etc.) hilfreich, um die wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung von Innovationen zu bestimmen (Rose und McNiven 2006).

Eine Möglichkeit Informationen über Verwertung bzw. Markteinführung und deren Effekte zu gewinnen besteht über Innovationsbefragungen. Dies könnte beispielweise über die Ableitung oder Erweiterung von Indikatoren für die Bioökonomie geschehen und an bereits angelegte Innovationsbefragungen wie dem Community Innovation Survey (CIS) geknüpft sein. Das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung führt hierzu jährlich wiederkehrende Innovationsbefragungen im Rahmen des Mannheimer Innovationspanels durch, die sektoral differenziert werden können (für das produzierende Gewerbe und den Dienstleistungssektor). Befragungen nach Wirtschaftssektoren (in der Regel auf 2-Steller-Ebene) sind allerdings Grenzen gesetzt: auch hier müsste man die bioökonomischen Anteile schätzen. Die Validität einer solchen Schätzung ist fraglich, da die Korrelation zwischen diesen Indikatoren und Innovationsaktivitäten sehr unklar ist. Geeigneter wäre zur Zurechnung von Innovationen zur Bioökonomie konzeptionell eine entsprechende Zusatzfrage, ob (alle oder ein Teil der) Innovationen eines Unternehmers zur Bioökonomie gehören. Als Alternative wäre natürlich die Etablierung einer spezifischen Innovationsbefragung für die Bioökonomie grundsätzlich denkbar. Diese wäre aber sehr aufwändig und eine ausreichende Antwortquote unwahrscheinlich.<sup>17</sup> Darüber hinaus sind generelle Schwächen derartiger Befragungen und Experteneinschätzungen zu berücksichtigen (Subjektivität, verzerrte Wahrnehmungen etc.).

Eine andere Möglichkeit wäre eine eher qualitative/quantitative Sekundäranalyse – ggf. gekoppelt mit Interviews zu neuen /verbesserten Produkten auf einem bestimmten Markt und

<sup>17</sup> Das Joint-Research Center der EU hat für einen Teil der Bioökonomie in der Vergangenheit Befragungen aufsetzen lassen, die v.a. F&E- und Marktentwicklungen umfassen (z.B. Natrass et al. 2016). Allerdings wurden – vermutlich aufgrund der recht begrenzten Antwortbereitschaft der Akteure – solche Umfragen nicht wiederholt, sondern in neueren Studien des JRC verstärkt auf Sekundäranalysen und Experteninterviews zur Generierung entsprechender Informationen gesetzt.

deren Diffusionsverlauf über Umsatz oder Produktionsmenge. Folgende Elemente würden sich z.B. für eine solche Analyse anbieten<sup>18</sup>:

- Identifikation innovativer Entwicklungen, relevanter Akteure, z.B. über Patentanalysen/Förderdatenbanken, Expertengespräche
- Identifizierung über (neue) Produktangebote über Datenbanken<sup>19</sup>, Expertengespräche etc.
- Marktdaten / Produktionskapazitäten zur Bestimmung des zeitlichen Diffusionsverlaufs
- Informationen aus den ökonomischen Indikatoren zur Bioökonomie

Allerdings sind solche Analysen zeitaufwändig, die Datenverfügbarkeit ist begrenzt und nicht immer klar, ob Effekte kausal neuen Innovationen zugeschrieben werden können. Somit weicht diese Vorgehensweise, Methodik und Art der Ergebnisse gegebenenfalls erheblich von einem quantitativen Monitoring ab und kann nicht direkt integriert werden. Vielmehr könnte dies in einem Monitoring als Vertiefungsanalyse zur Ergänzung quantitativer Indikatoren dienen.

Zusammenfassend sind aktuell keine übergreifenden Indikatoren zu Outcome und Impact von Innovation in der Bioökonomie für ein Monitoring verfügbar, perspektivisch besteht hier Weiterentwicklungsbedarf. Daneben sind Analysen bioökonomischer Teilsegmente hilfreich, die sich in der Regel auf eine Reihe von Quellen stützen.

## 2.6.4 Bildung

Bei neuen Technologien, Innovationssystemen oder Transformationsprozessen haben Indikatoren über Bildung und Qualifikation eine sehr hohe Bedeutung und fließen in quantitativen Bewertungen des Innovationsystems eines Landes mit ein, da qualifizierte Arbeitskräfte hier im besonderem Maße benötigt werden. In der Bioökonomie werden Bildung und qualifizierte Arbeitskräfte zurzeit intensiv diskutiert, da dort ein erheblicher Engpass bei der zukünftigen Entwicklung gesehen wird (z.B. OECD 2017; BMEL 2014). Neben der Frage, ob zukünftig genug qualifizierte Arbeitskräfte zur Verfügung stehen werden, werden die sich verändernden qualitativen Anforderungen an ebendiese diskutiert. So ist z.B. die Einbindung bioökonomischer Aspekte in die Berufsbildung als Maßnahme in der Politikstrategie Bioökonomie (BMEL 2014) verankert. Denn die hohe Inter- und Transdisziplinarität der Bioökonomie, sowie die Herausbildung neuer Teildisziplinen (z.B. Bioinformatik) und Berufsbilder an den Schnittstellen etablierter Disziplinen/Berufe bedarf der kontinuierlichen Integration neuer, Bildungsinhalte in Curricula.

<sup>18</sup> Vergleichbare Ansätze werden beispielsweise in Studien der Europäischen Kommission verfolgt, wie die sogenannte „Sugar platform study“ (Taylor et al. 2015) oder die aktuell laufende Studie BIO-SPRI, die aber nicht den Anspruch haben, die gesamte Bioökonomie oder deren Teilsegmente komplett zu erfassen.

<sup>19</sup> Es wurden zu unterschiedlichen Zwecken in den vergangenen Jahren Datenbanken zu biobasierten Produkte entwickelt, u.a. <https://datenbank.fnr.de> ; <http://innprobio.innovation-procurement.org/bio-based-products-services/database/>; <https://biobased-procurement.eu/> ; <http://www.materialdatacenter.com/mb/>; <http://www.biobasedeconomy.eu/research/open-bio/database/>; <http://www.okcompost.be>

Bislang sind Indikatoren zur Qualifikation und Bildung für die Bioökonomie zwar als relevant erwähnt (z.B. O'Brien et al. 2015), aber kaum systematisch untersucht worden. Lediglich das Bioeconomy Observatory (JRC 2014) schlägt konkrete Indikatoren und Datenquellen vor, z.B. das FuE-Personal für die Bioökonomie als auch tertiäre Bildungsabschlüsse (ISCED 5-6) mit Relevanz zur Bioökonomie.

Im Folgenden werden verschiedene Indikatoren und Datenquellen erörtert, die unterschiedliche Aspekte bzgl. der Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte betreffen. Für die Indikatoren wird jeweils untersucht, inwieweit sich die Bioökonomie darin abbilden lässt. Dabei gilt, dass

- einige Berufe/Studiengänge etc. sich recht eindeutig und vollständig der Bioökonomie zurechnen lassen. Diese Abgrenzung stellt eine Art Untergrenze dar, und ist von der Abgrenzungslogik vergleichbar zur getroffenen Abgrenzung der Patentgruppen.
- einige Berufe/Studiengänge etc. für die Bioökonomie relevant sind, jener aber nicht vollständig zugerechnet werden können. Diese lassen sich gerade bei der Hochschul- oder Berufsausbildung als Potenzial für die Bioökonomie interpretieren. Viele der Absolventen können gemäß ihrer Ausbildung einen Beitrag in der Bioökonomie leisten, werden jedoch wahrscheinlich in anderen Bereichen tätig sein.

### 2.6.4.1 Erwerbstätige nach Anforderungsniveaus

Ein möglicher Indikator sind die in der Bioökonomie tätigen Personen, differenziert nach Bildungsabschluss oder Expertise, z.B. Anzahl und Anteil der in der Bioökonomie tätigen Personen mit Tertiärabschluss. In Verbindung mit Altersgruppen oder Tätigkeiten lassen sich weitere Sachverhalte erheben, wie z.B. der Substitutionsbedarf für zukünftig ausscheidende Hochqualifizierte (z.B. Ausweisen des Anteils der über 55-jährigen). Im sektoralen oder internationalen Vergleich kann die Wissensintensität der Bioökonomie als Ausdruck der Wettbewerbsfähigkeit analysiert werden. Eine geeignete Vorgehensweise ist dabei die Nutzung von Berufsgruppenklassifikationen auf Basis der Beschäftigtenstatistik der Bundessagentur für Arbeit.<sup>20</sup> Dort sind nach der aktuellen "Klassifikation der Berufe 2010 (KldB 2010)" Berufsgruppen auf recht niedrigem Aggregationsniveau bestimmt, so dass die Bioökonomie vergleichsweise trennscharf abgegrenzt werden kann. Die Zurechnung der Berufsgruppen zur Bioökonomie ist auf der sogenannten 3-Steller-Ebene recht gut möglich - eine Zurechnung auf der 4-Steller-Ebene ergibt fast keine Unterschiede - und wird in Tabelle 5 dargestellt. Dabei wird darin unterschieden, ob diese der Bioökonomie vollständig oder nur teilweise zugerechnet werden können.

<sup>20</sup> Eine Alternative wäre eine Abschätzung des Qualifikationsniveaus der Erwerbstätigen nach Wirtschaftszweigen auf Basis der Fachserie 1 Reihe 4.1.2 des Statistischen Bundesamtes oder über Sonderauswertungen auf Basis des Mikrozensus. Allerdings wäre für die Abschätzung von Kennzahlen für Sektoren, die nicht vollständig der Bioökonomie zugerechnet werden, über die zusätzlich notwendige proportionale Zurechnung des Qualifikationsniveaus (neben der ohnehin zu nehmenden Proportionalität der Anzahl der Erwerbstätigkeiten in einem Sektor) die mögliche Ungenauigkeit besonders groß.

Tabelle 5: Berufsgruppen mit Relevanz zur Bioökonomie

| Bioökonomie voll zurechenbar |  | Bioökonomie teilweise zurechenbar |   |
|------------------------------|--|-----------------------------------|---|
| KldB 2010                    | Bezeichnung                                  | KldB 2010                         | Bezeichnung   |
| 111                          | Landwirtschaft                               | 221                               | Kunststoff- und Kautschukherstellung und -verarbeitung                                |
| 112                          | Tierwirtschaft                               | 222                               | Farb- und Lacktechnik   |
| 113                          | Pferdewirtschaft                             | 231                               | Papier- und Verpackungstechnik  |
| 114                          | Fischwirtschaft                              | 234                               | Drucktechnik und -weiterverarbeitung, Buchbinderei                                    |
| 115                          | Tierpflege                                   | 281                               | Textiltechnik und -produktion   |
| 116                          | Weinbau                                      | 282                               | Textilverarbeitung  |
| 117                          | Forst- und Jagdwirtschaft, Landschaftspflege | 283                               | Leder-, Pelzherstellung und -verarbeitung   |
| 121                          | Gartenbau                                    | 332                               | Maler- und Lackierer-, Stuckateurarbeiten, Bauwerksabdichtung, Holz- und Bautenschutz |
| 122                          | Floristik                                    | 343                               | Ver- und Entsorgung   |
| 223                          | Holzbe- und -verarbeitung                    | 413                               | Chemie  |
| 291                          | Getränkeherstellung                          | 624                               | Verkauf von drogerie- und apothekenüblichen Waren, Sanitäts- und Medizinbedarf        |
| 292                          | Lebensmittel- und Genussmittelherstellung    |                                   |   |
| 293                          | Speisenzubereitung                           |                                   |   |
| 412                          | Biologie                                     |                                   |   |
| 623                          | Verkauf von Lebensmitteln                    |                                   |   |
| 633                          | Gastronomie                                  |                                   |   |

Quelle: Paulus /Matthes (2013)

Die Qualifikation kann nach dem in der Arbeitsmarktstatistik etablierten Anforderungsniveau bestimmt werden. Hier lassen sich 4 Gruppen unterscheiden:

- Helfer (keine berufliche oder eine einjährige Ausbildung)
- Fachkraft (eine mindestens zweijährige Berufsausbildung oder ein berufsqualifizierender Abschluss einer Berufsfach- oder Kollegschule)
- Spezialist (Meister- oder Techniker Ausbildung bzw. weiterführender Fachschul- oder Bachelorabschluss)
- Experte (ein mindestens vierjähriges abgeschlossenes Hochschulstudium)

Ein möglicher Vorteil von diesem Ansatz ist daher auch, dass sie eine Kombination mit den unten näher erläuterten Indikatoren zur beruflichen Bildung (=Fachkraft) weiterführende Aussagen bzgl. des Ersatzes an ausgebildetem Personal ermöglicht.

#### 2.6.4.2 Hochschulabsolventen/-studenten<sup>21</sup>

Für auf Forschung beruhende Innovationen in der Bioökonomie werden insbesondere akademisch qualifizierte Fachkräfte benötigt. Über die Anzahl der Studierenden, der Studienanfänger, und der Hochschulabsolventen in Bioökonomie-relevanten Studiengängen können Aussagen dazu getroffen werden, wie hoch der Nachwuchs an hoch qualifizierten Arbeitskräften in der Bioökonomie ist.

Das Statistische Bundesamt weist in den Fachserie 11 Reihe 4.1 und Reihe 4.2 die Studienanfänger, Studenten und Prüfungsabschlüsse nach Studienfächern aus. Dort wird nach 289 Fächergruppen unterschieden. Die Zurechenbarkeit zur Bioökonomie ist mit gewissen Einschränkungen möglich. So wurden nach eigenen Auswertungen 31 Studiengänge voll der Bioökonomie zugerechnet, 18 Studiengänge sind z.T. relevant für die Bioökonomie und stellen somit ein weiteres Potenzial dar (vgl. Tabelle 6).

Eine testweise generierte Auswertung für das Wintersemester 2016/2017 anhand der entsprechenden Fachserien des Statistischen Bundesamtes ergab, dass jeweils ca. 6-7% aller Absolventen, Studierenden und Studienanfänger direkt der Bioökonomie zurechenbar sind und ca. 12% zu Studiengängen, die zum Teil relevant für die Bioökonomie sein können. Der hohe letztere Wert liegt u.a. an den Studiengängen Wirtschaftsingenieurwesen und Chemie, die tendenziell nur einen sehr kleinen Bezug zur Bioökonomie haben.

**Tabelle 6: Studiengänge mit Relevanz zur Bioökonomie**

| Bioökonomie voll zurechenbar       | Bioökonomie teilweise zurechenbar     |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Abfallwirtschaft                   | Chemie                                |
| Agrarbiologie                      | Chemie-Ingenieurwesen / Chemietechnik |
| Agrarökonomie                      | Energietechnik (ohne Elektronik)      |
| Agrarwissenschaft / Landwirtschaft | Geowissenschaften                     |
| Biochemie                          | Gesundheitstechnik                    |
| Bioinformatik                      | Haushaltswissenschaften               |
| Biologie                           | Kunststofftechnik                     |
| Biomedizin                         | Maschinenbau/-wesen                   |
| Biotechnologie                     | Medizinische Informatik               |
| Brauwesen / Getränketechnologie    | Mikrosystemtechnik                    |
| Ernährungswissenschaft             | Pharmazie                             |
| Forstwissenschaft, -wirtschaft     | Regenerative Energien                 |

<sup>21</sup> Neben den betrachteten Indikatoren zur Anzahl der Bildungsabschlüsse oder der Studierenden kann aus politischer Sicht die entscheidungsmäßig vorgelagerte Einrichtung von Studienmöglichkeiten betrachtet werden, um das Bildungssystem genauer zu charakterisieren. Mögliche Fragen wären z.B. welche und wie viele Studiengänge etabliert werden, ob diese in Clustern mit industriellen Aktivitäten entstehen, welche Differenzierung das Angebot hat, etc. Die Abgrenzung der Bioökonomie-relevanten Studienfächer kann entweder durch eigenhändige Zusammenstellung relevanter Studiengänge auf Basis von Übersichtsportalen zu Studiengängen (z.B. studis-online.de) oder auf Basis bestehender Portale wie z.B. die Übersicht zu Studiengängen der Biowissenschaften von <https://www.master-bio.de/schwerpunkte> erfolgen.

|  |  |
|--|--|
| Gartenbau  | Umwelttechnik (einschl. Recycling)                                       |
| Geoökologie  | Verfahrenstechnik  |
| Haushalts- und Ernährungswissenschaften                          | Versorgungstechnik   |
| Holz-/Fasertechnik   | Wasserwirtschaft   |
| Holzbau  | Werkstofftechnik   |
| Holzwirtschaft   | Wirtschaftsingenieurwesen mit<br>ingenieurwissenschaftlichem Schwerpunkt |
| Interdisziplinäre Studien (Schwerpunkt<br>Ingenieurwissenschaft) |  |
| Interdisziplinäre Studien (Schwerpunkt<br>Naturwissenschaften)   |  |
| Landespflege / Landschaftsgestaltung                             |  |
| Lebensmittelchemie   |  |
| Lebensmitteltechnologie  |  |
| Meliorationswesen  |  |
| Milch- und Molkereiwirtschaft                                    |  |
| Naturschutz  |  |
| Pflanzenproduktion   |  |
| Tiermedizin / Veterinärmedizin                                   |  |
| Tierproduktion   |  |
| Umweltschutz   |  |
| Weinbau und Kellerwirtschaft                                     |  |

Quelle: Studiengangliste in Statistisches Bundesamt, Fachserie 11 Reihe 4.1 und Reihe 4.2

### 2.6.4.3 Berufliche Bildung

Das System der beruflichen Bildung ist in Deutschland von großer Bedeutung für die Ausbildung qualifizierter Fachkräfte (Gehrke et al. 2017). Die Anwendung der neuen technologischen Entwicklungen in der Bioökonomie benötigt qualifiziertes Personal, andernfalls würde fehlendes Know-how ein signifikantes Hemmnis für Absorption und Diffusion der neuen Entwicklungen darstellen. Die Höhe und Entwicklung der Ausbildungszahlen in Bioökonomie-relevanten Fächern ist daher von hoher Bedeutung für die Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte. In der Bioökonomie sind v.a. Absolventen nach Ausbildungsberufen nach KldB 2010 in der Fachserie 11 Reihe 3 erfasst. Auswertungen für das Jahr 2016 ergeben, dass nach dieser getroffenen Abgrenzung rund 10,8% der Auszubildenden der Bioökonomie voll zugerechnet werden können und rund 2,1% teilweise der Bioökonomie.

Zusammenfassend sind mehrere Bildungsindikatoren für die Bioökonomie geeignet. Durch die unterschiedlichen Klassifikationen von Bildungs- und Berufsgruppen müsste für die einzelnen Indikatoren jeweils eine Abgrenzung der Bioökonomie vorgenommen werden. Dadurch bleibt die Vergleichbarkeit und Verknüpfbarkeit der Indikatoren miteinander beschränkt. Zu beachten ist, dass für relevante qualitative Aspekte in der Bildung (z.B. Veränderung von Curricula) keine Bioökonomie-spezifischen Informationen zur Verfügung stehen.

### 2.6.5 Konkrete Vorschläge

In den vorangegangenen Teilkapiteln wurden verschiedene Indikatoren für Innovationen und Bildungen in der Bioökonomie diskutiert. Die folgende Übersicht 4 fasst diejenigen Indikatoren zusammen, die sich aktuell mit zumindest akzeptabler Datenqualität erheben lassen und wertvollen Informationsgehalt liefern. Die entsprechenden Berichtsblätter wurden im 3. Und 4. Zwischenbericht aufgeführt, die auf Anfrage bereitgestellt werden.<sup>22</sup>

#### Übersicht 4: Themenbereich B - Innovationsindikatoren

---

|      |   |
|------|---|
| B 1  | Anzahl der Patente  |
| B 2  | Patentsignifikanz   |
| B 3  | Patentspezialisierung (RPA – Revealed Patent Advantage)           |
| B 4  | Patentanzahl nach Teilsegmenten                                   |
| B 5  | Anzahl der Publikationen  |
| B 6  | Publikationssignifikanz   |
| B 7  | Publikationsspezialisierung (RLA – Revealed Literature Advantage) |
| B 8  | Publikationsanzahl nach Teilsegmenten                             |
| B 9  | Öffentliche FuE-Aufwendungen                                      |
| B 10 | Private FuE-Aufwendungen  |
| B 11 | Qualifikation der Beschäftigten                                   |
| B 12 | Hochschulabsolventen/-studenten                                   |
| B 13 | Auszubildende   |

---

<sup>22</sup> Die fünf Zwischenberichte können beim Auftraggeber der Studie per E-Mail an BUERO-IVC5@bmwi.bund.de angefordert werden, bzw. beim Auftragnehmer per E-Mail an Wackerbauer@ifo.de.

## 3 Pilotstudie für Teilbereiche der Oleochemie

### 3.1 Vorgehensweise und zentrale Ergebnisse der Pilotstudie

Zielsetzung der Pilotstudie war es, die in den vorangegangenen Arbeitsschritten entwickelten Methoden und Indikatoren auf einen Teilbereich der Bioökonomie praktisch anzuwenden. Dies erfolgte anhand der jeweils identifizierten Datenquellen mit Ergänzung durch Expertengespräche, die sowohl dazu beitragen sollten eventuelle Datenlücken annäherungsweise zu schließen, als auch die Aussagekraft bzw. mögliche Einschränkungen der erarbeiteten Indikatoren für den jeweiligen Teilbereich zu validieren. Anhand der Befunde aus der Pilotstudie wurde überprüft, inwieweit Änderungen der in den vorangegangenen Arbeiten identifizierten und bewerteten Indikatoren sowie der Methoden für ihre Ermittlung sinnvoll erscheinen.

Als Gegenstand der Pilotstudie wurden in Absprache mit dem Auftraggeber bestimmte Teilbereiche der Oleochemie ausgewählt. In der Klassifikation der Wirtschaftszweige gibt es nicht einen, sondern mehrere Bereiche, die der Oleochemie zugeordnet werden können. Dies erschwert die Abgrenzung, welche WZ-Bereiche der Oleochemie zuzuordnen sind und welche nicht. Um den großen Bereich der Oleochemie daher weiter einzugrenzen wurden für die Pilotstudie folgende Produktgruppen ausgewählt:

- 1 **Pflanzenölbasierte Kunststoffe:** Diese Produktgruppe umfasst die biobasierten Polyamide und Polyurethane in WZ-Klasse 20.16 (H. v. Kunststoffen in Primärformen).
- 2 **Biobasierte Tenside und Seifen:** Diese Gruppe findet sich in WZ-Klasse 20.41 (H. v. Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln).
- 3 **Biobasierte Schmierstoffe:** Diese Gruppe befindet sich in der WZ-Klasse 20.59 (H. v. sonstigen chemischen Erzeugnissen a.n.g.). Diese Gruppe hat den Vorteil, dass im Jahr 2016 in Eurostat ein eigener Code für teilweise biobasierte Schmierstoffe eingeführt wurde, zum dem nun erste Daten vorliegen.
- 4 **Biodiesel:** Diese Gruppe befindet sich ebenfalls in der WZ-Klasse 20.59 (H. v. sonstigen chemischen Erzeugnissen a.n.g.). Biodiesel wurde vor dem Hintergrund in die Pilotstudie aufgenommen, dass damit zu rechnen war, dass es für die übrigen Teilbereiche der Oleochemie aufgrund der schlechten Datenlage nicht möglich sein könnte, die vorgeschlagenen Methoden in ausreichendem Maße zu testen. Daher sollte Biodiesel als ein oleochemisches Produkt für das die Datenlage vergleichsweise gut ist, mit untersucht werden.

Für diese vier Produktgruppen sollte in der Pilotstudie versucht werden, die im Projekt entwickelten Methoden und Indikatoren anzuwenden. Dies umfasst v.a. die in Abschnitt 2.2 entwickelten Methoden zur Abschätzung bioökonomierelevanter Teilbereiche unterhalb der WZ-Klassifizierung und die im 3. und 4. Zwischenbericht dargestellten Berichtsblätter zu allgemeinen

ökonomischen Indikatoren sowie Innovationsindikatoren und Indikatoren zu Biomasseaufkommen und -verwendung.

Als Basisjahr für die Pilotstudie wurde 2015 ausgewählt, da für dieses Jahr sowohl die Daten des Statistischen Bundesamtes also auch weitere Datenquellen, die zum Vergleich herangezogen werden könnten, relativ vollständig vorlagen.

Schließlich sollte in der Pilotstudie der Versuch unternommen werden, eine Verknüpfung zwischen dem Biomasseangebot und seiner Verwendung in den ausgewählten Bereichen der Oleochemie herzustellen. Dementsprechend sollte die gesamte Wertschöpfungskette vom Biomasseangebot bis zu deren Verwendung in der Herstellung von chemischen Erzeugnissen (WZ 20) Bestandteil der Pilotstudie sein. Zu diesem Zweck wurde ein Sankey-Diagramm erstellt, das eine Stoffstrombilanz für pflanzliche und tierische Öle und Fette in Deutschland im Jahr 2015 darstellt (siehe Anhang 1). Den Schwerpunkt dieser Stoffstrombilanz bilden die für die Pilotstudie untersuchten Pfade. Daher ergeben sich im Sankey-Diagramm erhebliche Mengen an Ölen und Fetten für andere, nicht weiter ausgeführte Verwendungen.

### Übersicht 5: Expertengespräche im Rahmen der Pilotstudie

| Name                                       | Organisation   | Datum des Gesprächs | Thema                          |
|--|--|---------------------|--------------------------------|
| Rolf Luther                                | FUCHS Lubricants   | 09.07.2018          | Bio-Schmierstoffe              |
| Peter Greven                               | Peter Greven GmbH  | 24.07.2018          | Bio-Schmierstoffe              |
| Berthold Wallfarth                         | Verband der Schmierstoffindustrie  | 31.07.2018          | Bio-Schmierstoffe              |
| Wolf-Dietrich Kindt                        | Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie                                     | 13.08.2018          | Biodiesel                      |
| Edgar Remmele, Daniela Dressler            | Technologie- und Förderzentrum Straubing   | 17.08.2018          | Biodiesel                      |
| Karlheinz Hill                             | unabhängiger Chemiker, ehem. Cognis und BASF                                     | 31.08.2018          | Biobasierte Tenside und Seiden |
| Harald Käb                                 | Narocon, ehem. European Bioplastis   | 13.08.2018          | Biokunststoffe                 |
| Sebastian Spierling                        | Hochschule Hannover, Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe (IfBB) | 31.08.2018          | Biokunststoffe                 |
| Dietmar Peters, Norbert Holst, Arno Becker | Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)  | 05.09.2018          | Themenübergreifend             |

Im Rahmen der Pilotstudie zu den Teilbereichen der Oleochemie haben im Zeitraum von Juli bis September 2018 insgesamt 9 Expertengespräche stattgefunden. Die Liste der Gesprächspartner

und die besprochenen Themen sind in Übersicht 5 aufgeführt. Wenn im folgenden Text Bezug auf Aussagen der Experten genommen wird, sind deren Namen zur besseren Lesbarkeit und Abgrenzung von Literaturquellen kursiv gesetzt.

Neben den Expertengesprächen stand zu Beginn der Pilotstudie im März 2018 gerade die „Sektorstudie zum Aufkommen und zur stofflichen und energetischen Verwertung von Ölen und Fetten in Deutschland (2011-2016)“ zur Verfügung, die von Dr. Rainer Busch im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) durchgeführt wurde (Busch 2018). Diese Studie lieferte wertvolle Daten und Erkenntnisse für die Pilotstudie, sodass diese Studie eine der Hauptliteraturquellen bildete.

Bevor die Vorgehensweise bei der Pilotstudie im Detail dargestellt wird, werden an dieser Stelle deren zentralen Ergebnisse vorab zusammengefasst, um darzustellen, inwieweit einerseits die Annahmen für die Ermittlung der Indikatoren und Kennzahlen bestätigt wurden und in welchen Fällen sich andererseits abzeichnete, dass die getroffenen Annahmen revidiert werden müssen.

#### **Ergebnisse für die ökonomischen Indikatoren:**

- Unter den theoretisch entwickelten methodischen Ansätzen für die Ableitung wirtschaftlicher Kennzahlen für Teilbereiche der Bioökonomie unterhalb der WZ-Klassifizierung stellt die Verknüpfung zwischen Wirtschaftszweig- und Güterklassifikation derzeit den einzigen praktikablen Ansatz dar, der Aussagen zu Kennzahlen auf der Ebene unterhalb der WZ-Klassen ermöglicht.
- Die Expertengespräche ergaben, dass die errechnete biobasierte Produktionsmenge grundsätzlich realistisch ist. Allerdings wiesen die Experten auch darauf hin, dass das Verhältnis Produktionswert zu Produktionsmenge für biobasierte Alternativen deutlich höher sein kann als bei den fossilen Varianten. Dies würde bedeuten, dass der biobasierte Mengenanteil nicht ohne weiteres auf den Anteil am Produktionswert übertragen werden kann. Auch wird nicht immer klar zwischen „biobasiert“ und „biologisch abbaubar“ unterschieden.
- Der Indikator „Anzahl der Unternehmen“ ist in vielen Produktgruppen eine rein fiktive Größe, da die meisten Unternehmen sowohl fossile als auch biobasierte Varianten herstellen. Häufig gilt dies auch für den Indikator „Anzahl der Betriebe“.
- Die biobasierten Anteile können sich im Zeitablauf ändern und müssten für ein Monitoring in regelmäßigen Abständen überprüft werden, obgleich dieser Anteil in einzelnen Produktgruppen für die letzten 10 Jahre als relativ konstant eingeschätzt wurde.
- In einzelnen Produktgruppen wie den biobasierten Kunststoffen ist es nicht eindeutig, ob die ermittelte Menge überhaupt in Deutschland produziert wird, oder ob es sich um Importe handelt.
- Wo neben der Produktionsstatistik weitere Datenquellen vorhanden sind, wie die Amtlichen Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland oder die Energiestatistik, sind z. T. deutliche Abweichungen in den Ergebnissen für die biobasierten Mengen festzustellen, die weitergehende Überprüfungen erforderlich machen.

- Schwachstellen in der Produktionsstatistik erschweren eine Quantifizierung der biobasierten Produktion in einzelnen Teilbereichen, womit ein Monitoringsystem der Bioökonomie allein auf Grundlage der Produktionserhebung unzureichend wäre.
- Durch die Einführung dezidierter Codes für biobasierte Produkte innerhalb der PRODCOM-Systematik besteht allerdings eine klare politische Tendenz, diese Systematik für ein Monitoring der biobasierten Produktion zu nutzen.
- Damit ist festzuhalten, dass der verfolgte methodische Ansatz als solcher für die Bestimmung biobasierter Produktionsanteile durchaus geeignet ist, dafür aber die Produktionserhebung verbessert werden muss.

**Ergebnisse für die Innovationsindikatoren:**

- Die vorgeschlagenen Innovationsindikatoren zu Patent- und Publikationsindikatoren ließen sich für die Teilsegmente der Pilotstudie gut ermitteln und die Ergebnisse wurden von den Experten als sehr plausibel eingeschätzt.
- Allerdings sind andere, in der Pilotstudie nicht untersuchte Teilsegmente der Bioökonomie möglicherweise nicht gleichermaßen eindeutig wissenschaftlich und technologisch abgrenzbar.
- Bei dem Versuch, innovative neue Produkte abzugrenzen und deren Verbreitung über veröffentlichte Informationen (Pressemeldungen, Marktstudien, etc.) zu erfassen, gab es Schwierigkeiten, die notwendigen Informationen zu bekommen. Für diese Indikatoren sind daher nur vorsichtige und eher unkonkrete Schlussfolgerungen zulässig. Hier wären eher offene Expertengespräche - trotz geringer Objektivität - eine geeignetere Informationsquelle, um zu detaillierteren Aussagen zu kommen.

### Ergebnisse für die Kombination ökonomischer und ökologischer Indikatoren:

- Grundsätzlich stehen zwei Methoden zur Abschätzung ökologischer Indikatoren und deren Kombination mit wirtschaftlichen Indikatoren zur Verfügung, wobei
- der Top-Down-Ansatz anzuwenden ist, wenn der entsprechende Indikator auf nationaler und sektoraler Ebene verfügbar ist und Informationen über die biobasierten Anteile vorhanden sind.
- der Bottom-Up-Ansatz anzuwenden ist, wenn der entsprechende Indikator auf Produktebene verfügbar ist und die biobasierten Produktionsmengen bekannt sind.
- Bei der Anwendung des Top-Down-Ansatzes sollten Daten des Statistischen Bundesamts um Informationen und Daten aus Ökobilanz-Datenbanken und Experteninterviews ergänzt werden. Ob Korrekturfaktoren erforderlich sind, hängt von der Art des ökologischen Indikators sowie vom betrachteten Sektor ab.
- Der Bottom-Up-Ansatz ist aufwendig und könnte für eine detailliertere Betrachtung einzelner Bereiche und einzelner Indikatoren, welche nicht auf sektoraler Ebene verfügbar sind, angewandt werden.
- Eine Vielzahl von ökologischen Indikatoren sollten in ein Monitoring integriert werden, um mehrere Dimensionen der ökologischen Nachhaltigkeit abzubilden. Da viele Auswirkungen mit dem Anbau von biogenen Rohstoffen zusammenhängen, empfiehlt es sich, zunächst den Bezug zur Rohstoffbasis (Indikator „Biogener Rohstoffeinsatz“) als Grundlage für rohstoffbezogene Indikatoren herzustellen. Hierfür sind genaue Angaben zu biobasierten Produktionsmengen erforderlich, welche regelmäßig und konsistent erhoben werden sollten, und zu Art, Herkunft sowie Anbaumethoden der Rohstoffe.
- Der Indikator „Substitutionsanteil“ ist geeignet, um das Voranschreiten der Bioökonomie in einzelnen Sektoren wiederzugeben. Er könnte sowohl mit ökonomischen als auch mit ökologischen Indikatoren kombiniert werden, um die Auswirkungen des Wandels von einer fossil-basierten zu einer biobasierten Wirtschaft darzustellen.
- Während die Datengrundlage in den Bereichen Bio-Schmiermittel und Biodiesel relativ gut ist, gibt es kaum Informationen und Daten zur Bio-Kunststoffproduktion und kaum Informationen zur Rohstoffzusammensetzung von Bio-Tensiden und zur Herkunft der erforderlichen Rohstoffe.

## 3.2 Ergebnisse für die ökonomischen Indikatoren

In Kapitel 2.2 wurden mehrere methodische Ansätze vorgestellt, um wirtschaftliche Kennzahlen für Teilbereiche der Bioökonomie unterhalb der WZ-Klassifizierung abzuleiten. Von diesen stellt die Verknüpfung zwischen WZ- und Güterklassifikation derzeit den einzigen Ansatz dar, der Aussagen zu Kennzahlen unterhalb der WZ-Klassen ermöglicht. Da die ausgewählten Bereiche für die Pilotstudie sämtlich Teilmengen einzelner WZ-Klassen sind, ist dies auch der einzige Ansatz, deren Eignung in der Pilotstudie untersucht wurde. Der Ansatz wird im Folgenden noch einmal kurz erläutert.

Für die Güter des Verarbeitenden Gewerbes liefert die Produktionserhebung des Statistischen Bundesamtes jährlich den Wert und die Menge der zum Absatz bestimmten Produktion. Der Produktionswert eines Gutes wird mit seinem geschätzten biobasierten Anteil multipliziert und das Ergebnis auf WZ-Klassenebene aufsummiert. So ergibt sich ein geschätzter biobasierter Produktionswert als Anteil des gesamten Produktionswertes einer WZ-Klasse. Weitere wirtschaftliche Kennzahlen wie Lohnsumme, Beschäftigte und Umsatz liegen in der amtlichen Statistik nur auf Ebene der WZ-Klassen vor. Unter der vereinfachenden Annahme, dass die Produktionswerte je Tonne innerhalb einer WZ-Klasse ungefähr gleich sind kann für diese wirtschaftlichen Kennzahlen der gleiche Anteil für die biobasierten Produkte angenommen werden wie ihr Anteil am Produktionswert der zugehörigen WZ-Klasse.

### 3.2.1 Bioschmierstoffe

Zubereitete Schmiermittel finden sich in der Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes in der Unterklasse 20.59.41. Eine Anwendung der beschriebenen Methode ergibt eine errechnete biobasierte Produktion im Jahr 2015 in Deutschland von knapp 50.000 t, was sich, wie weiter unten erläutert wird, mit brancheninternen Abschätzungen deckt. Mit biobasierter Produktion ist hier der Anteil der Gesamtproduktion an Schmierstoffen gemeint, der auf Basis von pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten hergestellt wurde.

Im Folgenden wird zunächst erläutert, auf welcher Grundlage diese Abschätzung erfolgte. Ziel der Ermittlung des biobasierten Anteils an der Schmierstoffproduktion ist es dann, wie auch für die weiteren untersuchten Teilbereiche der Oleochemie, diesen geschätzten biobasierten Mengenanteil zur Abschätzung wirtschaftlicher Kennzahlen heranzuziehen.

Im Jahr 2016 wurde durch Eurostat der neue Code 20.59.41.59 für „Schmiermittel mit einem Gehalt an biobasiertem Kohlenstoff von mindestens 25 GHT, die mindestens zu 60% biologisch abbaubar sind“<sup>23</sup> durch Teilung des ehemaligen Codes 20.59.41.57 in 20.59.41.58 und 20.59.41.59 in die PRODCOM-Liste aufgenommen. Der Mindestgehalt von 25% biobasiertem Kohlenstoff geht auf die Norm EN 16807 zurück, die vorsieht, dass ein Schmierstoff nur dann als Bioschmierstoff bezeichnet werden darf, wenn dieser Mindestgehalt enthalten ist (Luther 2018).

Im Gegensatz zur PRODCOM-Liste, die jährlich aktualisiert wird, werden bisher Anpassungen des Güterverzeichnisses für Produktionsstatistiken (GP) nur alle 7-10 Jahre vorgenommen (das aktuelle GP stammt dem Jahr 2009). Daher hinkt das deutsche GP den recht häufigen Änderungen der PRODCOM-Liste hinterher.

Da das Statistische Bundesamt dennoch bereits Daten für die aktuelle PRODCOM-Liste an Eurostat liefern muss, liegen tatsächlich auch für Deutschland schon Produktionszahlen für die

<sup>23</sup> Wie die Beschreibung des Codes deutlich macht, orientiert sie sich an der Norm DIN EN 16575 für biobasierte Produkte (EN 16575). Dort heißt es: „Das biobasierte Produkt wird üblicherweise durch den Gehalt an biobasiertem Kohlenstoff oder den biobasierten Gehalt [Anteil eines Produktes, abgeleitet aus Biomasse] charakterisiert.“ In diesem Sinne ist in der Pilotstudie der Begriff „biobasierter Anteil“ zu verstehen.

teilweise biobasierten Schmierstoffe im Code 20.59.41.59 vor. Allerdings zeigte ein Vergleich der verfügbaren Daten bei Eurostat und beim Statistischen Bundesamt dass offenbar, als erste Abschätzung, für Deutschland hier nur der bisherige Code 20.59.41.57, der mit der Änderung 2015/2016 weggefallen ist, jeweils zur Hälfte zwischen 20.59.41.58 und 20.59.41.59 aufgeteilt wurde, sowohl in Bezug auf die Produktionsmenge als auch den Produktionswert.

Eine Nachfrage beim Statistischen Bundesamt bestätigte, dass bei der Weiterleitung an Eurostat diese Annahme aus Mangel genauerer Daten getroffen wurde. Für das Jahr 2019 liegt allerdings ein aktualisiertes Güterverzeichnis vor, dass die Änderungen der PRODCOM-Liste berücksichtigt, so dass für die kommenden Jahre die tatsächliche Produktion biobasierter Schmierstoffe in Deutschland erhoben wird (Baumgärtner 2018a).

Schmierstoffe, die im Code 20.59.41.59 gemeldet werden, enthalten definitionsgemäß einen biobasierten Kohlenstoffanteil von mindestens 25 Gewichtsprozent. Da es darunter auch einige Schmierstoffe mit sehr viel höheren biobasierten Kohlenstoffgehalten geben wird, könnte vereinfachend ein durchschnittlicher Anteil von 50% biobasierter Produktion im Code 20.59.41.59 angenommen werden. Im Expertengespräch mit der FNR wurde die Aussage getroffen, dass einige Hersteller von Bioschmierstoffen nur die Norm erfüllen (25% biobasiert), andere dagegen weit darüber hinausgehen (z.B. 75% biobasiert), sodass man annehmen kann, dass Bioschmierstoffe im Mittel etwa zu 50% tatsächlich biobasiert sind.

Für die übrigen GP-Positionen der Unterklasse 20.59.41 liegen keine Anhaltspunkte vor, um biobasierte Anteile zu schätzen. Die Expertengespräche haben gezeigt, dass eine biobasierte Produktionsmenge von etwa 50.000 t innerhalb der Branche als realistisch angesehen wird. Die geschätzten biobasierten Anteile anhand der Produktionsstatistik sollten also ungefähr zu diesem Gesamtergebnis führen. Wenn man für die übrigen GP-Positionen jeweils einen biobasierten Anteil von 10% ansetzt, kommt man insgesamt auf eine biobasierte Produktionsmenge von rund 46.000 t, also nahe an den 50.000 t die in der Branche als realistisch angesehen werden.

Da die Angaben zur Produktion biobasierter Schmierstoffe im Code 20.59.41.59 letztlich freiwillig sind, werden diese bisher von den Herstellern nicht immer korrekt gemeldet, u.a. auch aus strategischen Gründen. So wird z.B. bei biobasierten Schmierstoffen auf Palmöl- oder Palmkernölbasis ein 100%iger Herkunftsnachweis und eine Nachhaltigkeitszertifizierung gefordert, was bei der Menge an Additiven unverhältnismäßig aufwändig wäre und insgesamt zu einem hohen Aufwand für das meldende Unternehmen führt.

Die Expertengespräche haben außerdem gezeigt, dass die Statistik „Amtliche Mineralöl-daten für die Bundesrepublik Deutschland“ des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) in viel stärkerem Maße für die Ermittlung der gesamten Produktionsmenge an Schmierstoffen wie auch biobasierten Schmierstoffen herangezogen wird als die Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes. Dies hat nicht zuletzt damit zu tun, dass die dort aufgeführten

Sortengruppen viel verständlicher sind als die Bezeichnungen in der Produktionsstatistik. Auch der Verband der Schmierstoffindustrie (VSI) selbst beruft sich auf die BAFA-Statistik.

In den Amtlichen Mineralöldataen werden die Bruttoreaffinerieerzeugung, Ein- und Ausfuhren und die Inlandsablieferung von Schmierstoffen aus Raffinerien aufgeführt, unterteilt in verschiedene Sortengruppen. Für diese Sortengruppen führt Busch 2018 geschätzte biobasierte Anteile auf.

Aus der Übertragung dieser biobasierten Anteile auf die Größe „Inlandsablieferung“ ergibt sich eine Einsatzmenge von Pflanzenölen und tierischen Fetten für biobasierte Schmierstoffe von 48.676 t. Die Inlandsablieferung beinhaltet die inländische Erzeugung zuzüglich Importen und abzüglich Exporten und sagt daher etwas aus über die inländische Verwendung und nicht über die inländische Produktion. Dies entspricht demnach nicht der bisherigen Betrachtung, die ja zum Ziel hat, wirtschaftliche Kennzahlen der inländischen Produktion biobasierter Produkte abzuleiten.

Gemessen an der Größe „Bruttoreaffinerieerzeugung“ ergibt sich eine Einsatzmenge von Pflanzenölen und tierischen Fetten von 107.697 t. Allerdings kann nach Aussage der FNR die Bruttoreaffinerieerzeugung ebenfalls nicht gleichgesetzt werden mit der inländischen Produktion, da diese Größe auch Recyclingöle und Eigenverbrauch der Raffinerien enthält. Daher sei die inländische Nettoproduktion gar nicht valide zu ermitteln und die Inlandsablieferung, unter der vereinfachenden Annahme, dass sich Im- und Exporte ungefähr aufheben, für die weiteren Berechnungen am ehesten geeignet.

Diese biobasierte Produktionsmenge von knapp 50.000 t wurde in den Expertengesprächen als realistisch eingeschätzt. Allerdings wurde auch angemerkt, dass die Branche sich mehr oder weniger auf „gefühlte 5%“ biobasierte Erzeugung gemessen an der Inlandsablieferung verständigt hätte und man so auf die absolute Menge von etwa 50.000 t kommt, ohne dass weder diese Zahl noch der Anteil von 5% konkret belegt werden könnten.

Die in der BAFA-Statistik aufgeführten Sortengruppen entsprechen ebenfalls Zolltarifnummern. Die diesen entsprechenden WZ-Klassifikationen finden sich allerdings tatsächlich in der Klasse 19.20 Mineralölverarbeitung wieder (Eurostat 2018). Der Erhebungskreis für die BAFA-Statistik zeigt allerdings, dass dort auch Schmierstoffhersteller ihre Erzeugung melden, die zumindest teilweise biobasierte Produkte herstellen (BAFA 2018). Die ist dadurch zu erklären, dass das Mineralödatengesetz (MinöDatG) vorsieht, dass Produkte ebenfalls als „Erdölerzeugnisse“ gelten, wenn diese aus anderen Rohstoffen gewonnen werden, also keine oder nur geringe Mengen an Erdöl enthalten, in ihrer Verwendbarkeit aber Erdölerzeugnissen gleichstehen (§ 3 MinöDatG).

Ein weiteres Ergebnis der Expertengespräche war, dass oft in der Branche, der Literatur und eventuell auch in der Statistik nicht klar zwischen biologisch abbaubaren und biobasierten Schmierstoffen unterschieden wird. Für den Sektor Schmierstoffe hat die Abbaubarkeit letztlich

eine sehr hohe Bedeutung, z.B. beim Einsatz im Forstbereich, in dem Öle leicht in die Umwelt gelangen. Zudem gibt es für die Vergabe des Blauen Engels bzw. des EU-Ecolabels verbindliche Vorgaben bezüglich der Abbaubarkeit, aber nicht zum Einsatz nachwachsender Rohstoffe. Dieser Verzicht auf einen Mindestgehalt nachwachsender Rohstoffe in einen Schmierstoff zum Erlangen des EU-Ecolabels ist erst in seiner letzten Revision 2018 eingeführt worden, davor galt eine Mindestquote von 50% biobasierte Inhaltsstoffe (Luther 2018).

Insgesamt ergibt sich ein Anteil biobasierter Schmierstoffe am Produktionswert der zugehörigen Klasse 20.59 von 0,93%. Dieser Anteil von 0,93% kann nun für eine erste Abschätzung der wirtschaftlichen Effekte biobasierter Schmierstoffe auf die weiteren wirtschaftlichen Kennzahlen der WZ-Klasse 20.59 bezogen werden.

Es wurde in den Expertengesprächen angemerkt, dass das Verhältnis Produktionswert/Produktionsmenge für biobasierte Schmierstoffe durchaus um das 2,5-fache höher sein kann als für fossile Schmierstoffe. Dies würde bedeuten, dass der biobasierte Mengenananteil nicht einfach gleich dem Anteil am Produktionswert angenommen werden kann und es müssten Korrekturfaktoren in der dargestellten Methode eingebaut werden.

Neben Deutschland haben einige weitere Mitgliedstaaten ebenfalls für die Jahre 2016 und 2017 bereits Daten zur Produktion in den neugeschaffenen PRODCOM-Codes 20.59.41.58 (nicht biobasierte Schmierstoffe) und 20.59.41.59 (teilweise biobasierte Schmierstoffe) an Eurostat geliefert. Anders als für Deutschland ist in diesen Ländern die Produktion nicht einfach je zur Hälfte auf beide Codes aufgeteilt worden und die Relationen Produktionswert/Produktionsmenge unterscheiden sich teilweise stark, sodass hier erste Rückschlüsse auf Preisunterschiede zwischen bio- und nicht-biobasierten Schmierstoffen gezogen werden können. Die Unterschiede zwischen den Mitgliedstaaten sind aber zu groß, um für Deutschland jetzt schon einen belastbaren Korrekturfaktor vorzuschlagen. Wie erwähnt, wurde das Güterverzeichnis aktualisiert, sodass für die kommenden Jahre genauere Produktionsdaten für die biobasierten Schmierstoffe vorliegen werden.

Der Indikator „Anzahl der Unternehmen“ lässt sich mit dem dargestellten Ansatz wahrscheinlich nicht sinnvoll ableiten, da es keine reinen Hersteller von Bioschmierstoffen gibt. Vielmehr stellen die meisten Unternehmen sowohl fossile als auch biobasierte Schmierstoffe her.

Eine Ableitung biobasierter Produktion und wirtschaftlicher Kennzahlen auf Basis geschätzter biobasierter Anteile auf Produktebene führt natürlich zu dem Problem, dass sich diese Anteile im Zeitablauf ändern und diese dann für ein Monitoring in regelmäßigen Abständen überprüft werden müssten. Für die letzten 10 Jahre wurde der biobasierte Anteil an Schmierstoffen von den Experten jedoch als relativ konstant eingeschätzt.

### 3.2.2 Biobasierte Tenside und Seifen

Für Tenside (Unterklasse 20.41.20) und Seifen (Unterklasse 20.41.31) ergibt sich für das Jahr 2015 eine errechnete biobasierte Produktion, bzw. eingesetzte Menge an pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten von ungefähr 555.000 t.

Die biobasierten Anteile hierfür wurden aus der Studie von Busch 2018 übernommen und konnten in den Expertengesprächen bestätigt werden. Allerdings wurden in Busch 2018 die in Produkten verwendeten Mengen an Fettsäuren bzw. Fettalkoholen in manchen Fällen in ursprünglich hierfür notwendige Mengen an Öl umgerechnet (für die kationischen Tenside, Alkylpolyglycoside und andere Tenside) und manchmal nicht (für anionische und nichtionische Tenside und Seifen). Dies scheint inkonsistent und daher wurden in den biobasierten Anteilen nur die eingesetzten Mengen an Fettsäuren bzw. Fettalkoholen berücksichtigt. Dadurch ist die gesamte biobasierte Menge geringer als in Busch 2018 (554.756 t statt 646.898 t).

Was in der Produktionserhebung im Gegensatz zur Studie von Busch 2018 fehlt, sind die Alkylpolyglycoside (APG). Busch 2018 gibt für diese Gruppe an Tensiden ohne Quellenangabe in jedem Jahr die gleiche Produktionsmenge von 25.000 t an. Es scheint jedoch so, dass die APG in der Produktionserhebung des Statistischen Bundesamtes zu den nichtionischen Tensiden gezählt werden, denn die von Busch 2018 angegebene Menge für die nichtionischen Tenside beträgt nur 417.347 t während für die GP-Position 20.41.20.50 eine Produktionsmenge von 442.347 t angegeben wird. Die Lücke beträgt genau 25.000 t, also genau die Menge die in Busch 2018 für APG genannt werden.

Als Ausgangsstoffe für biobasierte Tenside und Seifen kommen Fettsäuren und Fettalkohole in Frage. Eine Aufteilung dieser beiden Ausgangsstoffe in die einzelnen Produktgruppen ist in Busch 2018 zwar vorgenommen worden, diese ist aber mit so hohen Unsicherheiten behaftet, dass sie nicht für weitere Auswertungen verwendet wurde.

Anteil biobasierter Tenside und Seifen am Produktionswert der WZ-Klasse 20.41 sich ergibt, wenn man zunächst anhand der angenommenen Anteile in Anhang 2 den Produktionswert biobasierter Tenside und Seifen ausrechnet und dann den Anteil dieses Produktionswertes am gesamten Produktionswert der zugehörigen WZ-Klasse (13,4%).

Wie für die Schmierstoffe kann nun für eine erste Abschätzung der wirtschaftlichen Effekte biobasierter Tenside und Seifen der errechnete Anteil biobasierter Tenside und Seifen am Produktionswert der WZ-Klasse 20.41 (13,4%) auf die weiteren wirtschaftlichen Kennzahlen der WZ-Klasse 20.41 bezogen werden.

### 3.2.3 Biobasierte Kunststoffe

Für das Jahr 2015 ergibt sich eine errechnete biobasierte Produktion von knapp 23.000 t Bio-PA und knapp 12.000 t Bio-PU. Für die Studie von Piotrowski et al. 2018 wurde auf Basis von

Expertengesprächen ein biobasierter Anteil an der EU-Produktion von 2% für PA und 1% für PU angenommen. Diese Abschätzungen wurden als erste Annäherung für den biobasierten Anteil der PA- und PU-Produktion in Deutschland übernommen.

Die Datenlage zu Bio-PA und -PU ist jedoch deutlich schlechter als in den anderen Teilbereichen der Oleochemie. So ist es nicht einmal sicher, ob Bio-PA derzeit überhaupt in

Deutschland produziert wird. Für Bio-PU gibt es dagegen auf jeden Fall deutsche Produzenten, auch wenn hier die Datenlage ebenfalls schlecht ist.

Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Bereichen der Oleochemie ist es daher für die biobasierten Kunststoffe nicht möglich, die Schätzung biobasierter Anteile anhand anderer Quellen zu verbessern.

### **3.2.4 Biodiesel**

Das Statistische Bundesamt gibt über die Produktion von Biodiesel in Deutschland Auskunft sowohl in der Energiestatistik (Statistisches Bundesamt 2018) als auch in der Erhebung der Produktion des Verarbeitenden Gewerbes (Statistisches Bundesamt 2016). Die Erhebung im Rahmen der Energiestatistik erfolgt, ähnlich wie im Fall der Schmierstoffe, auf einer bestimmten gesonderten Rechtsgrundlage, in diesem Fall dem Energiestatistikgesetz (EnStatG). Gemäß der Energiestatistik ergibt sich für 2015 eine inländische Erzeugung von Biodiesel von 3.085.163 t. Dies deckt sich ungefähr mit der von der FNR angegebenen Menge von 3,01 Mill. t (FNR 2017). Die Menge von etwa 3 Mill. t wurde ebenfalls durch den Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie (VDB) durch Befragungen der Mitgliedsfirmen und Schätzung der übrigen Hersteller bestätigt.

In der Erhebung der Produktion des Verarbeitenden Gewerbes des Statistischen Bundesamtes wurde bisher dagegen Biodiesel gemeinsam mit Bioethanol zur Verwendung im Verkehr in der Position 20.59.59.90.3 erfasst. Für 2015 weist diese Position eine Produktionsmenge von rund 2,98 Mill. t auf. Verwunderlich ist, dass diese Menge eher zu der Produktionsmenge reinen Biodiesels passt. Der Bundesverband der Deutschen Bioethanolwirtschaft (BDBe) gibt eine Bioethanol-Produktion von rund 740.000 t in 2015 an (BDBe 2018), sodass die Gesamtmenge aus Biodiesel und Bioethanol knapp 3,8 Mill. t betragen müsste.

Nach Auskunft des Statistischen Bundesamtes (Baumgärtner 2018) könnte die Tatsache, dass die Produktionsmenge der Position 20.59.59.90.3 eher zum reinen Biodiesel passt, damit erklärt werden, dass die meldenden Betriebe von vornherein hier nur Biodiesel angegeben haben und Bioethanol dagegen in der Position 20.14.74.00 (Ethylalkohol, unvergällt) oder 20.14.75.00 (Ethylalkohol, vergällt). Diese Unklarheit in der Amtlichen Statistik wird im Güterverzeichnis 2019 beendet, in dem eine neue Position 20.59.58.00.0 „Biodiesel und Biodieselmischungen, kein Erdöl oder Öl aus bituminösen Mineralien enthaltend oder mit einem Gehalt an Erdöl oder Öl aus bituminösen Materialien von weniger als 70 GHT“ eingeführt wird.

Wie beschrieben, ist die GP-Position für Biodiesel offensichtlich fehlerbehaftet. Da die Produktionsmenge aber annähernd der Produktionsmenge von Biodiesel entspricht, kann angenommen werden, dass dies auch für den Produktionswert gilt. So ergibt sich ein Anteil von Biodiesel von 6,84% am gesamten Produktionswert der Klasse 20.59. Dieser Anteil von 6,84% kann nun für eine erste Abschätzung der wirtschaftlichen Effekte von Biodiesel auf die weiteren wirtschaftlichen Kennzahlen der WZ-Klasse 20.59 bezogen werden.

Die Biokraftstoffbranche macht insgesamt einen Umsatz von etwa 3 Mrd. € und Biodiesel macht hieran einen Anteil von ungefähr zwei Drittel aus, also rund 2 Mrd. € (*Kindt*). Dies entspricht ungefähr dem mit der beschriebenen Methode errechneten Umsatz. Die Methode zur Ableitung wirtschaftlicher Kennzahlen anhand biobasierter Anteile führte also in diesem, relativ einfachen Fall, zu einem plausiblen Ergebnis.

Die errechnete Anzahl Beschäftigter in der Biodieselproduktion von ca. 3.200 scheint dagegen überschätzt zu sein. Gemäß des VDB sichert Biodiesel in Deutschland ungefähr 23.000 Arbeitsplätze. Diese Abschätzung beruft sich auf Studien zu volkswirtschaftlichen Effekten der Bioenergie im Auftrag des BMWi (z.B. in O'Sullivan et al. 2018). Die 23.000 Arbeitsplätze beinhalten aber die ganze Wertschöpfungskette von der Landwirtschaft über Ölmühlen etc. und sind daher mit unserer Abschätzung (ca. 3.200 Beschäftigte) nicht direkt vergleichbar. Nach Auskunft des VDB dürfte die Anzahl der Beschäftigten nur in der Biodieselproduktion geringer sein. Der VDB hat dazu zwar keine eigene Erhebung, aber eine grobe Abschätzung führte zu dem Ergebnis, dass bei ungefähr 20 Biodieselherstellern in Deutschland und etwa 50 Mitarbeitern je Werk eine Gesamtzahl an Beschäftigten in der Biodieselproduktion von 1.000 realistisch erscheint.

### 3.2.5 Diskussion

Die Pilotstudie zu Teilbereichen der Oleochemie hat Schwachstellen in der Produktionsstatistik offenbart, die dazu führen, dass sich eine Quantifizierung der biobasierten Produktion in diesen Teilbereichen als schwierig erwiesen hat. Hervorzuheben ist, dass sich in den Expertengesprächen mehrfach gezeigt hat, dass die an das Statistische Bundesamt meldenden Unternehmen ihre Produktion offenbar häufig nicht in die richtige GP-Position eintragen, sei es aus strategischen Gründen, Bequemlichkeit oder weil die Bezeichnungen nicht richtig verstanden werden.

Im Fall der Schmierstoffe und Biodiesel werden auf Grundlage gesonderter Rechtsvorschriften (Mineralölstatistikgesetz und Energiestatistikgesetz) parallel zur Produktionserhebung Statistiken geführt, die innerhalb der Branchen als maßgeblich für die Quantifizierung der Produktion angesehen werden. Diese Situation dürfte ein Monitoringsystem der Bioökonomie allein auf Grundlage der Produktionserhebung derzeit sehr erschweren.

Gleichzeitig gibt es jedoch durch die Einführung dezidierter Codes für biobasierte Produkte innerhalb der PRODCOM-Systematik eine klare politische Tendenz, diese Systematik für ein Monitoring der (europäischen) Bioökonomie bzw. biobasierter Produktion zu nutzen. Die Schlussfolgerung aus der Pilotstudie ist also eher, dass die Produktionserhebung verbessert werden muss und nicht, dass dieser methodische Ansatz insgesamt zu verwerfen wäre.

### **3.3 Ergebnisse für die Innovationsindikatoren**

Zur Messung von Innovationsaktivitäten/-ergebnissen wurden in der Pilotstudie, soweit sinnvoll anwendbar, die in den Berichtsblättern vorgeschlagenen Indikatoren für die folgenden drei Produktgruppen erhoben: Bioschmierstoffe, biobasierte Tenside und Körperpflegemittel, pflanzenölbasierte Kunststoffe. Für das als weniger innovativ einzuschätzende Produktsegment Biodiesel erfolgte aufgrund des durchaus signifikanten Ressourcenaufwands keine Analyse.

Konkret wurden Publikations- und Patentanalysen durchgeführt. Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Gesamtentwicklung und Verteilung auf Länder dargestellt, aus Platzgründen sind Ergebnisse zur Spezialisierung der Länder auf die Produktgruppe nur kurz im Text genannt und bis auf ein einleitendes Beispiel bei Publikationen zu Bioschmierstoffen auf Grafiken verzichtet worden. Ergänzend wurde zur Abschätzung der Kommerzialisierung von Innovationen für die drei genannten Produktgruppen eine strukturierte Analyse von Produktdatenbanken, den Pressemeldungen von führenden Unternehmen in Deutschland sowie Marktstudien durchgeführt.

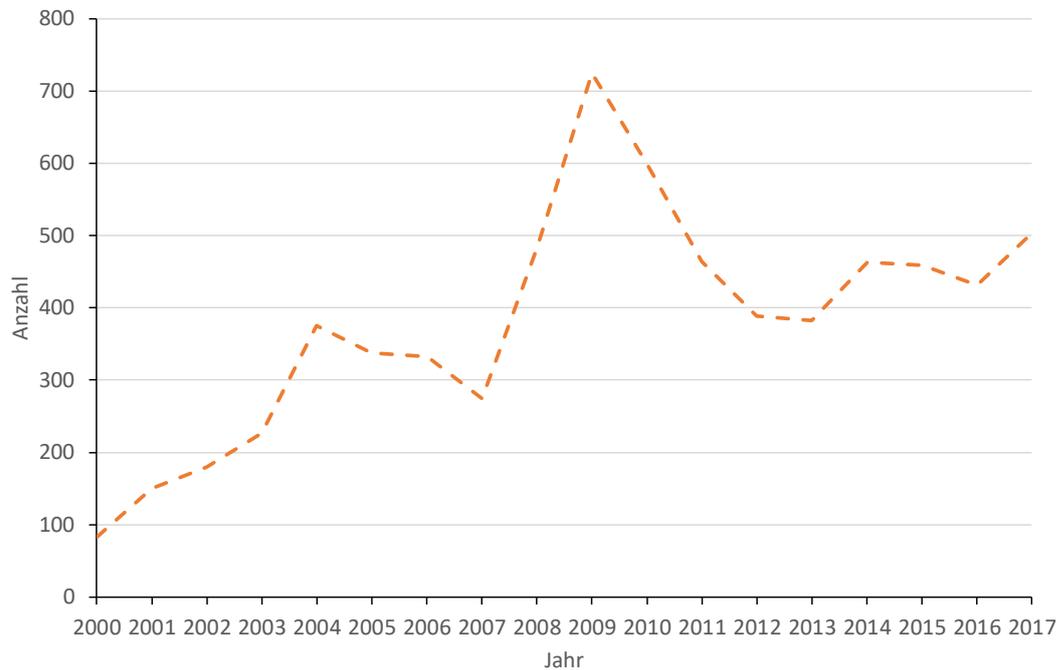
#### **3.3.1 Bioschmierstoffe**

##### **3.3.1.1 Publikationsanalyse**

Die Indikatoren zu Publikationen sollen Aussagen darüber treffen, wie intensiv zu dem Thema geforscht wird und wie die wissenschaftliche Wettbewerbsfähigkeit von Deutschland und Europa einzuschätzen ist.<sup>24</sup> Bei der weltweiten Entwicklung der Anzahl der Publikationen zeigt sich eine Wachstumsphase in den 2000er Jahren mit anschließendem Rückgang (vgl. Abbildung 7). Nach Einschätzung der befragten Experten kann dies mit einem gesteigerten Interesse an Bioschmierstoffen - welches durch Einführung des EU-Ecolabels für Bioschmierstoffe verstärkt wurde - zusammenhängen. Der Rückgang ab 2009 ist vermutlich der Finanz- und Wirtschaftskrise zuzurechnen.

<sup>24</sup> Die Publikationsanalyse wurde mit der Datenbank COMPENDEX durchgeführt, einer anwendungsorientierten technisch-naturwissenschaftlichen Publikationsdatenbank. Die Suche basierte auf den Stichwortkombinationen (GREASE OR LUBRICANT? or 607?(/CC) AND BIO?

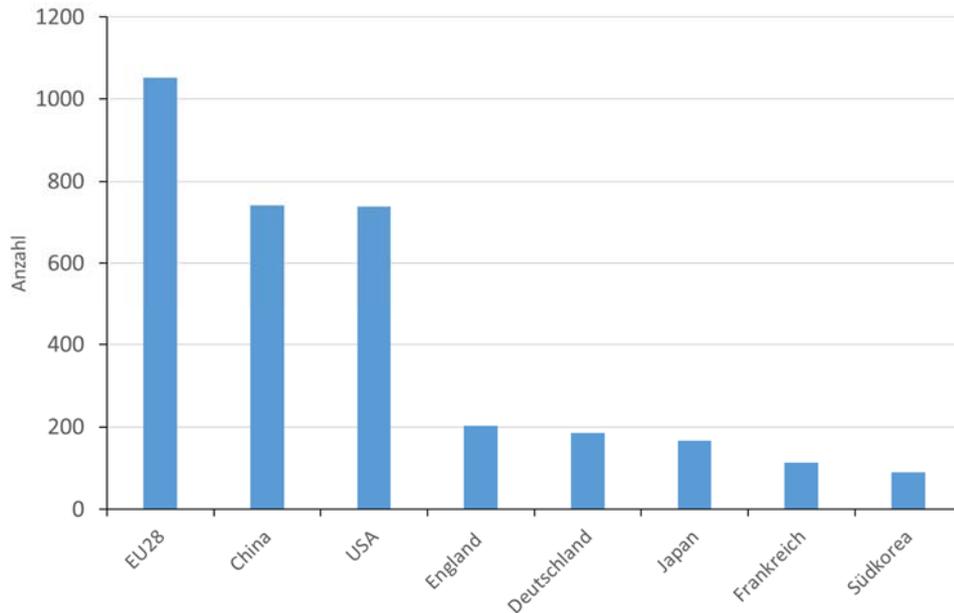
Abbildung 7: Publikationen zu Bioschmierstoffen, weltweit



Quelle: COMPENDEX, Recherchen von Fraunhofer ISI

Beim Vergleich der führenden Länder bei Publikationen zu Bioschmierstoffen ergibt sich eine Situation nach Abbildung 8: Hier liegt die EU vor den USA. Auffällig ist auch die hohe Zahl chinesischer Publikationen. Die befragten Experten können diese Ergebnisse weitgehend gut nachvollziehen, bei der hohen Anzahl chinesischer Publikationen war jedoch ein Teil überrascht. Es wurde diesbezüglich angemerkt, dass es durchaus Länderunterschiede in der Qualität („häufige Neuerfindung des Rads“) und nachhaltigen Marktrelevanz der Publikationen geben kann; für die EU werden diese Aspekte positiv bewertet, d.h. ein hoher Neuigkeitsgrad und eine nachhaltige Marktrelevanz attestiert.

Abbildung 8: Publikationen zu Bioschmierstoffen für ausgewählte Länder, 2012-2017

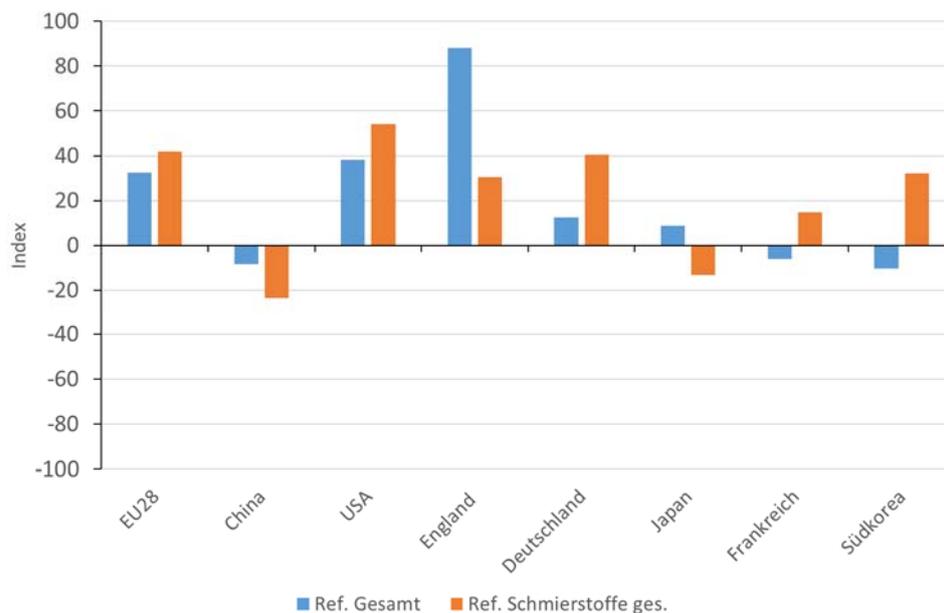


Quelle: COMPENDEX, Recherchen von Fraunhofer IS

Abbildung 9 gibt die Spezialisierung auf Bioschmierstoffe wieder. Sie wird berechnet durch den Anteil eines Landes bei den weltweiten Publikationen von Bioschmierstoffen geteilt durch den Anteil an allen Schmierstoffen (orangener Balken). Die negativen Werte bspw. bei Japan geben wieder, dass Japan bei Bioschmierstoffen einen deutlich geringeren Anteil an Patenten hat als bei Schmierstoffen insgesamt, und somit auf andere Teilsegmente von Schmierstoffen spezialisiert ist. Der blaue Balken gibt die Spezialisierung gemessen an allen Patenten wieder.

Bei den Spezialisierungsindices mit Referenz auf alle Publikationen (blauer Balken) zeigen sich für China trotz der hohen absoluten Zahlen leicht negative Indices, da die Gesamtzahlen für China in der Datenbank hoch sind, England erreicht eine stark positive Spezialisierung, Frankreich dagegen eine durchschnittliche (vgl. Abbildung 10). Bei Referenz auf alle Publikationen zu Schmierstoffen ergibt sich ein ähnliches Bild, für Deutschland und Südkorea werden die Werte positiver.

Abbildung 9: Spezialisierung mit Referenz zu den Gesamtpublikationen bei Publikationen zu Bioschmierstoffen für ausgewählte Länder, 2012-2017



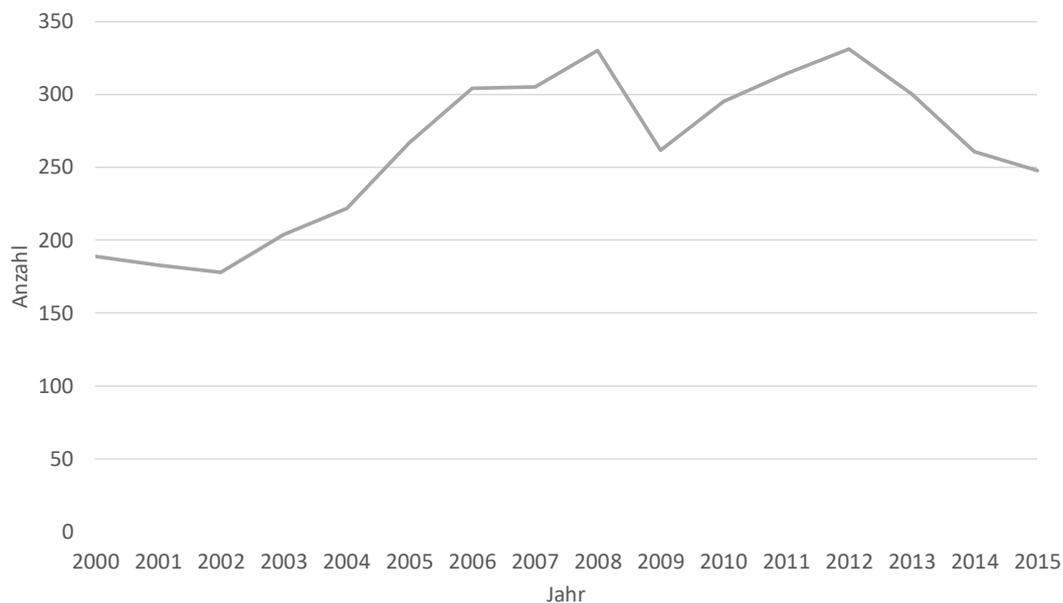
Quelle: COMPENDEX, Recherchen und Berechnungen von Fraunhofer ISI

### 3.3.1.2 Patentanalyse

Die Indikatoren zu Patenten sollen Aussagen über die Entwicklung der anwendungsorientierten Forschung und ihrer Ergebnisse ermöglichen und wie die technologische Wettbewerbsfähigkeit von Deutschland und Europa einzuschätzen ist.<sup>25</sup>

Dabei wurden in der Analyse transnationale Patente ermittelt. Transnationale Patente sind solche, die in mehreren Ländern angemeldet werden und demnach eine gewisse Bedeutung für den globalen Markt haben. Daraus ergibt sich insgesamt ein Verlauf nach 9. Nach einem Anstieg bis 2008 sind aktuell rückläufige Zahlen zu beobachten, wenn auch auf einem hohen absoluten Niveau. Die Experten können diese Entwicklung gut nachvollziehen, der Anstieg Mitte der 2000er Jahre wird wie bei Publikationen auf die Einführung des EU-Ecolabels für Bioschmierstoffe zurückgeführt, während sich in den letzten Jahren die stagnierenden Marktentwicklungen bemerkbar machen.

<sup>25</sup> Die Patentanalyse wurde mit Hilfe der Stichworte (((GREASE OR LUBRICANT? or C10M/IPC) AND (BIO? or natural or plant or animal or organism)) or biolubricant?) not A61K/IPC durchgeführt, da es zu diesem Gebiet keine speziellen Patentklassifikationen gibt. Deshalb wurde die Datenbank World Patents Index (WPINDEX) genutzt, die bei Stichwortrecherchen besonders ertragreich ist. Die IPC-Klassifikation A61K (Medikamente) wurde ausgeschlossen, da hier - etwa bei Zäpfchen - biologische Schmierstoffe verwendet werden, die für die hier interessierenden technologischen Anwendungen nicht interessant sind.

**Abbildung 10: Weltweite transnationale Patentanmeldungen für Bioschmierstoffe**

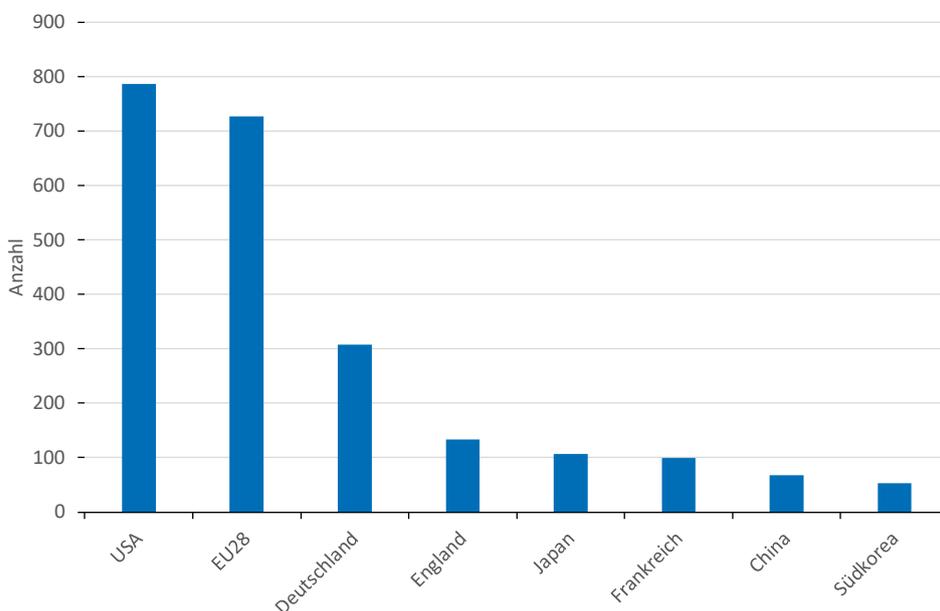
Quelle: WPINDEX (STN), Recherchen von Fraunhofer ISI

Für den Zeitraum 2010 bis 2015 ergibt sich nach Zahl der transnationalen Patentanmeldungen eine Reihenfolge der wichtigsten Länder gemäß Abbildung 11. In diesem Fall liegen die Zahlen für die USA über denen der EU; Deutschland führt die übrigen Länder an. Die Experten halten die Reihenfolge der führenden Länder für plausibel<sup>26</sup> und führen diese auf – sich zwischen den Ländern unterscheidende – positive Rahmenbedingungen zurück. Als Beispiele wurden die gesetzlichen Vorgaben zum Einsatz von Bioschmierstoffen in der Schifffahrt in den USA, die Verbreitung von Offshore-Anlagen mit Einsatz von Bioschmierstoffen in England sowie die ausgeprägte Forschungsförderung von Bioschmierstoffen in Deutschland genannt.

Die Rangfolge nach absoluten Zahlen entspricht allerdings nicht der der Spezialisierung. Danach liegen die USA, die EU, Deutschland und England in einem mittleren Bereich oder leicht positiven Bereich, wenn als Referenz die gesamten Patentanmeldungen eines Landes gewählt werden. Die Indizes der übrigen Länder sind ausgeprägt negativ. Bei einer Referenz der Spezialisierung auf alle Anmeldungen zu Schmierstoffen fällt der Index für England negativ, für Deutschland leicht negativ aus für Das bedeutet, dass bei Deutschland der Anteil von Bioschmierstoffen innerhalb der Schmierstoffe unter dem weltweiten Durchschnitt liegt.

<sup>26</sup> Einer der Experten hielt die Anzahl der Patente für Frankreich für überraschend gering und hätte höhere Werte erwartet.

**Abbildung 11: Transnationale Patentanmeldungen für Bioschmierstoffe im Zeitraum 2010-2015 für ausgewählte Länder**



Quelle: WPINDEX (STN), Recherchen von Fraunhofer ISI

### 3.3.1.3 Einführung und Verbreitung von Innovationen in Deutschland<sup>27</sup>

Auf Basis von Produktdatenbanken, den Pressemeldungen der ca. 8 führenden Unternehmen in Deutschland bzgl. Marktpräsenz/Patentanmeldungen sowie Marktstudien wurde soweit wie möglich die Relevanz von Innovationen am Markt abgeschätzt.

Es gibt seit vielen Jahren bereits eine hohe Produktvielfalt an Bioschmierstoffen im deutschen Markt. So sind beispielsweise in der FNR Produktdatenbank<sup>28</sup> 24 Anbieter mit 230 Angeboten verzeichnet. Die führenden Unternehmen haben dabei 1 - 2 neue Produktlinien am Markt in den letzten 3 - 4 Jahren eingeführt. Auffällig ist, dass bei einigen der führenden patentierenden internationalen großen Chemieunternehmen keine Produktankündigungen oder Einträge in der FNR Produktdatenbank gefunden. Mengenmäßig ist der Bioschmierstoffmarkt in Deutschland in den letzten Jahren deutlich gewachsen. Nach der bereits oben genannten Studie im Auftrag der FNR (Busch 2018) ist die Menge an Ölen und Fetten in Schmierstoffen in Deutschland von ca. 24.000 t im Jahr 2011 auf rund 48.000 t im Jahr 2016 gestiegen. Der Anteil an Ölen und Fetten in Schmierstoffen hat sich damit zwischen 2011 und 2016 von 2,3% auf 4,7% verdoppelt. Zukünftig wird ein moderates Wachstum des Marktes für Bioschmierstoffe erwartet. Kommerzielle Marktstudien prognostizieren für die nächsten 5 Jahre ein Wachstum von ca. 4-6 % p.a. (Markets & Markets 2017a; Frost & Sullivan 2014; Kline Group 2017). Es lässt sich anhand von Sekundärquellen nicht abschließend klären, ob die prognostizierte Marktdynamik und -

<sup>27</sup> Aufgrund der begrenzten zeitlichen Ressourcen der Interviewpartner wurden diese Befunde zwar den Experten vorgelegt, aber nicht näher diskutiert.

<sup>28</sup> <https://bioschmierstoffe.fnr.de/service/datenbank-bioschmierstoffe/>

aussichten durch neue Innovationen stattfinden, oder eine Marktausweitung bestehender Produkte zu diesen Entwicklungen beiträgt.

### 3.3.2 Biobasierte Tenside und Körperpflegemittel

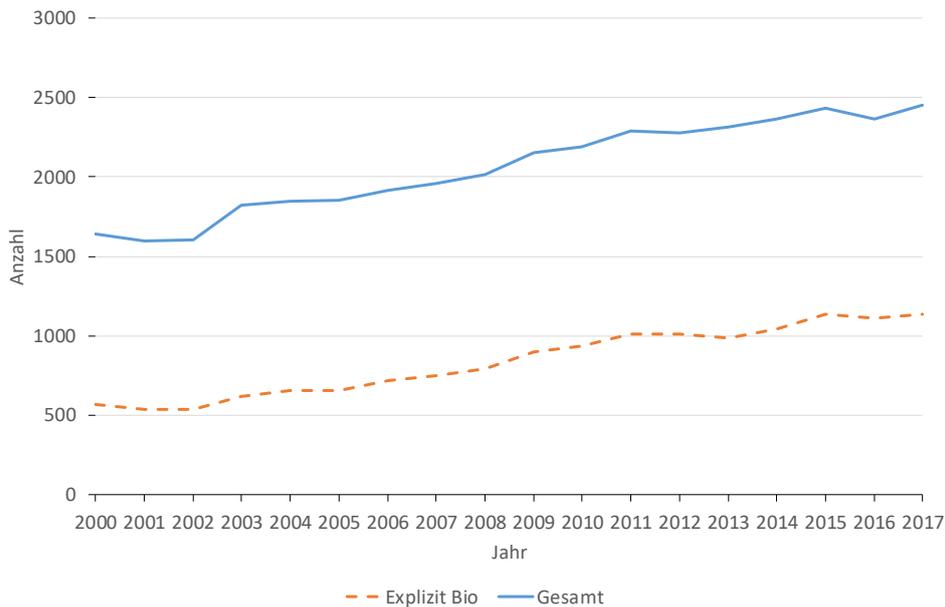
#### 3.3.2.1 Publikationsanalyse

Für die Analyse der Publikationen für biobasierte Tenside und Körperpflegemittel wurden verschiedene Stichwortkombinationen verwendet.<sup>29</sup> Die Publikationsanalyse wurde in der Datenbank SCISEARCH, dem naturwissenschaftlichen Teil von Web of Science (WoS), durchgeführt. Um einen expliziten Bezug zur Bioökonomie herzustellen, wurde diese Stichwortkombination mit "bio? or natural or plant or animal or organic" verbunden. Daraus ergibt sich ein Zeitreihe nach Abbildung 12. Es ergeben sich ähnliche Trends für Tenside, Reinigungsmittel und Körperpflegemittel insgesamt und für jene mit explizit biologischem Bezug. Es ist davon auszugehen, dass in der Mehrzahl der Fälle ohne expliziten biologischen Bezug dennoch ein solcher gegeben ist (siehe analog Patente unten). Im Zeitverlauf steigt der Anteil mit explizit biologischem Bezug von 35 auf 46 %. In jedem Fall steigen die wissenschaftlichen Aktivitäten im Zeitverlauf. Diese Entwicklung ist nach Expertenaussagen plausibel. Dabei wurde ebenfalls erwähnt, dass sich die Inhalte deutlich verändert haben, und biotechnologische Ansätze stärker an Bedeutung gewinnen.

Beim Vergleich der führenden Länder bei explizit biologisch orientierten Publikationen ergibt sich eine Situation nach Abbildung 13. Hier liegt die EU vor den USA. Auffällig hoch sind dagegen die Publikationszahlen von China, das bei Patenten (siehe unten) nur schwach in Erscheinung tritt. Werden zu den Publikationen Spezialisierungsindices im Vergleich zu allen Publikationen errechnet, ergeben sich für die meisten Länder durchschnittliche Werte, nur bei China und Südkorea sind die Indices ausgeprägt negativ. Wenn man alle Chemiepublikationen als Referenz nimmt, sind die Indices für China, Südkorea und auch Japan noch ausgeprägter negativ, für die anderen Länder dagegen positiver, insbesondere für England. Deutschland weist eine leicht positive Spezialisierung auf.

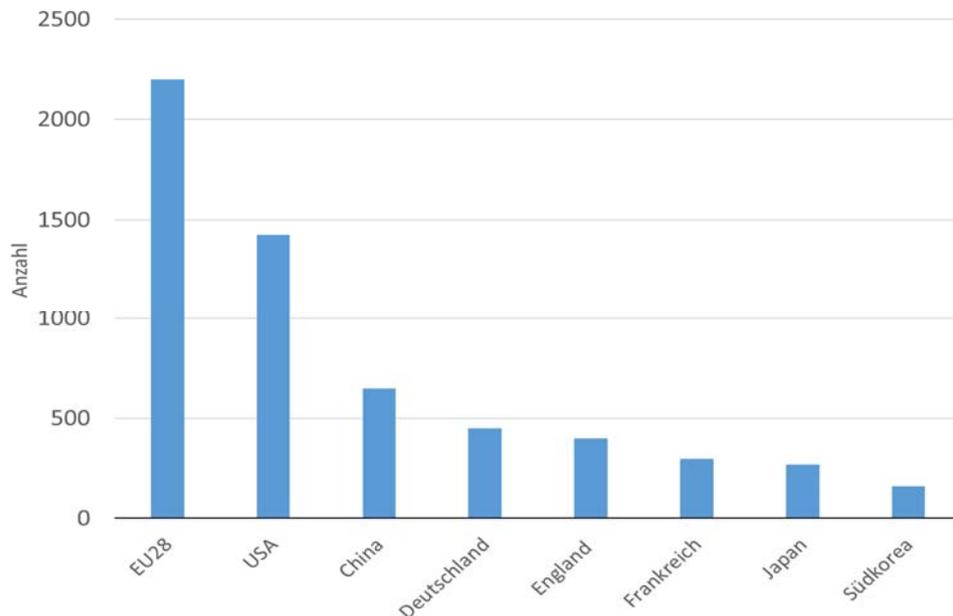
<sup>29</sup> "tenside? or (soap or detergent?) or (cleaning and (preparation? or substrate or substance or agent)) or ((perfumes or toilet) and (preparation? or substrate or substance or agent))"

Abbildung 12: Publikationen zu Bio-Tensiden, Reinigungsmitteln und Körperpflegemitteln, weltweit



Quelle: SCISEARCH, Recherchen von Fraunhofer ISI

Abbildung 13: Publikationen zu Bio-Tensiden und Körperpflegemitteln für ausgewählte Länder, 2012-2017

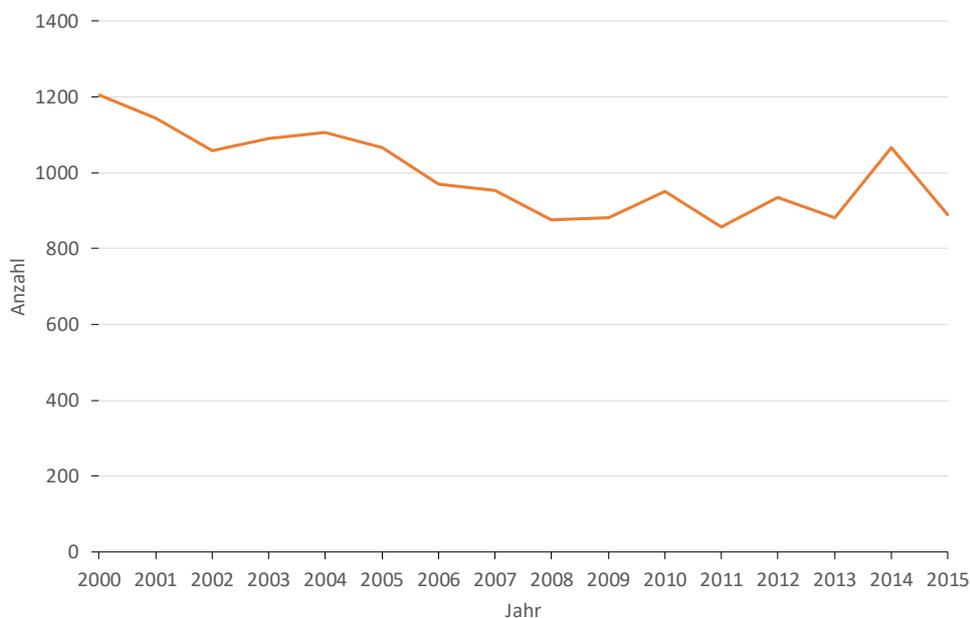


Quelle: SCISEARCH, Recherchen von Fraunhofer ISI

### 3.3.2.2 Patentanalyse

Für die Patentanalyse wurde die Produktgruppe über den Patentklassifikationscode C11D<sup>30</sup> abgebildet. Nach einer Stichwortrecherche sind nur rund 30 % der Dokumente in der Klassifikation C11D mit Begriffen wie "Bio", "natürlich", "pflanzlich" oder "tierisch" verbunden. Es werden aber nicht alle Patente im Zusammenhang mit der Herstellungsbasis stehen. Relevant ist hier, dass die Klasse C11 insgesamt "Tierische oder pflanzliche Öle, Fette, fettartige Stoffe oder Wachse; daraus gewonnene Fettsäuren; Reinigungsmittel; Kerzen" betrifft und die darunterliegende Unterklasse C11D "Reinigungsmittelgemische; Verwendung einzelner Stoffe als Reinigungsmittel; Seifen oder Seifenherstellung; Harzseifen; Gewinnung von Glycerin". Es ist daher davon auszugehen, dass es zu 100 % um biobasierte Stoffe geht. Daraus ergibt sich insgesamt ein Verlauf nach Abbildung 14. Im Gegensatz zu den Publikationen ist die Patententwicklung rückläufig.

**Abbildung 14: Weltweite transnationale Patentanmeldungen für Bio-Tenside und Körperpflegemittel**

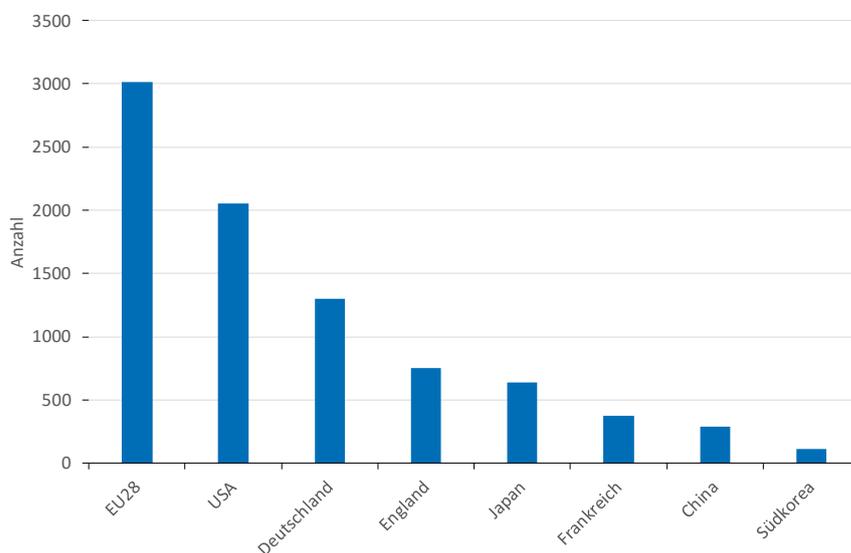


Quelle: WPINDEX (STN), Recherchen von Fraunhofer ISI

Für den Zeitraum 2010 bis 2015 ergibt sich nach Zahl der transnationalen Patentanmeldungen eine Reihenfolge nach Abbildung 15. Die EU liegt vor den USA, China liegt trotz beachtlicher Publikationszahlen hier deutlich weiter zurück.

<sup>30</sup> (Reinigungsmittelgemische; Verwendung einzelner Stoffe als Reinigungsmittel; Seifen oder Seifenherstellung; Harzseifen; Gewinnung von Glycerin auf der Basis tierischer oder pflanzlicher Stoffe)

**Abbildung 15: Transnationale Patentanmeldungen für Bio-Tenside und Körperpflegemittel im Zeitraum 2010-2015 für ausgewählte Länder**



Quelle: WPIINDEX (STN), Recherchen von Fraunhofer ISI

Die Rangfolge nach absoluten Zahlen entspricht allerdings nicht der der Spezialisierung. Danach liegt z. B. Deutschland nach absoluten Zahlen hinter den USA, weist aber eine deutlichere Orientierung auf diese Produktgruppe als die USA auf.

### 3.3.2.3 Einführung und Verbreitung von Innovationen in Deutschland

Auf Basis von Produktdatenbanken, den Pressemeldungen der ca. 8 führenden Unternehmen in Deutschland bzgl. Marktpräsenz/Patentanmeldungen sowie Marktstudien wurde soweit wie möglich die Relevanz von Innovationen am Markt abgeschätzt:

Biobasierte Tenside sind in einigen Segmenten seit längerer Zeit etabliert (z.B. Waschmittel). Der Absatz von Biotensiden ist in Deutschland in den letzten Jahren leicht gestiegen. Nach der Studie im Auftrag der FNR (Busch 2018) ist die Menge an Ölen und Fetten in Wasch-, Pflege- und Reinigungsmittel in Deutschland von ca. 589.000 t im Jahr 2011 auf rund 599.000 t im Jahr 2016 gestiegen. In den letzten 4-5 Jahren haben einige führende Unternehmen mehrere neue Produkte am Markt eingeführt (v.a. im Körperpflegebereich) und es wurden zumindest zwei biotechnologisch hergestellte Tenside im größeren industriellen Maßstab im Markt eingeführt.<sup>31</sup> Aber nicht für alle relevanten Unternehmen konnten aktuelle Meldungen gefunden werden. Zukünftig wird ein signifikantes Wachstum des weltweiten Marktes für Biotenside erwartet. Kommerzielle Marktstudien prognostizieren für die nächsten 5 Jahre ein Wachstum von ca. 6-7

<sup>31</sup> <https://www.biobasedworldnews.com/croda-officially-launches-new-100-bio-based-surfactants>; [https://corporate.evo-nik.com/en/media/press\\_releases/Pages/article.aspx?articleId=101537](https://corporate.evo-nik.com/en/media/press_releases/Pages/article.aspx?articleId=101537)

% p.a. für Biotenside (u.a. Markets & Markets 2017b). Für biobasierten Kosmetika sind die Wachstumsaussichten höher (10-13 % p.a.) (TechSci Research 2017), wobei befragten Experten diese Prognose äußerst optimistisch erscheint.

Insgesamt deuten die Entwicklungen darauf an, dass es in dieser Produktgruppe Markteinführungen v.a. bei hochpreisigen Produkten mit eher geringem Volumen gibt. Die Marktaussichten lassen vermuten, dass für die nächsten Jahre eine verstärkte Verbreitung von biobasierten Produktinnovationen erwartet wird.

### **3.3.3 Pflanzenölbasierte Kunststoffe**

#### **3.3.3.1 Publikationsanalyse**

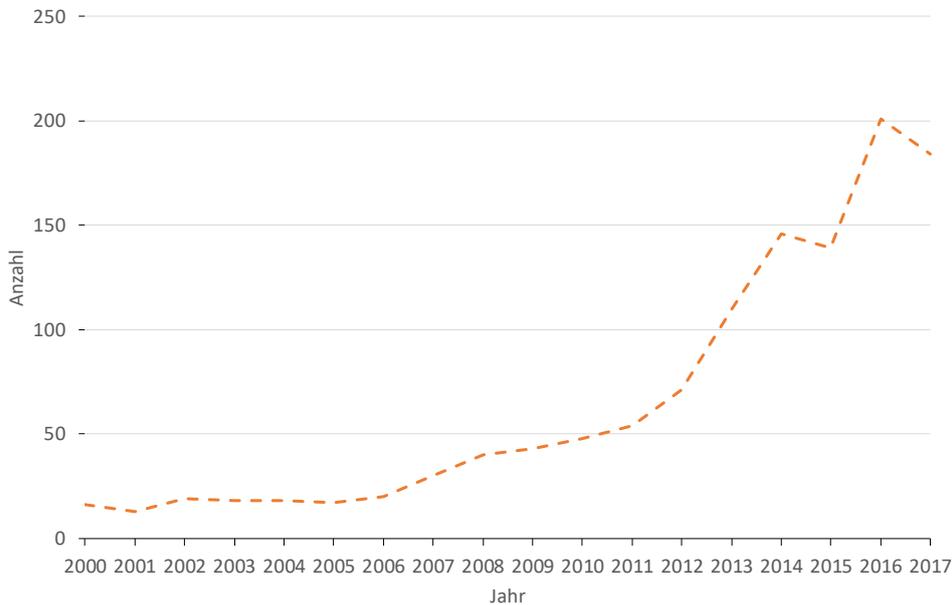
Für pflanzenölbasierte Kunststoffe ergibt sich eine Zeitreihe nach Abbildung 16.<sup>32</sup> Die Publikationen steigen im Zeitverlauf deutlich an, allerdings von einem eher niedrigen Ausgangsniveau aus. Beim Vergleich der führenden Länder bei Publikationen ist die stark führende Rolle der EU auffällig, und die hohen Publikationszahlen für China, die noch über denen für die USA liegen (vgl. Abbildung 17).

Bei den Spezialisierungsindices ergeben sich für die EU, Frankreich und Südkorea positive Werte, für die USA, Japan, China und England sind die Indices ausgeprägt negativ, wenn als Referenz die Gesamtpublikationen eines Landes herangezogen werden. Werden jedoch nur die Publikationen eines Landes zu Polymeren als Referenz genommen, ergibt sich bei den meisten Ländern ein ähnliches Bild. Bei den USA ist allerdings die Spezialisierung mit Gesamtreferenz negativ, mit Polymerreferenz leicht positiv.<sup>33</sup> Deutschland hat jeweils neutrale Spezialisierungswerte.

<sup>32</sup> Die Suche basierte auf den Stichwortkombinationen: " (bio based and polyamide?) or biopolyamide? or (bio based and polyurethane?) or biopolyurethane?" und stellt somit eine zur Patentrecherche (siehe unten) analoge Strategie dar.

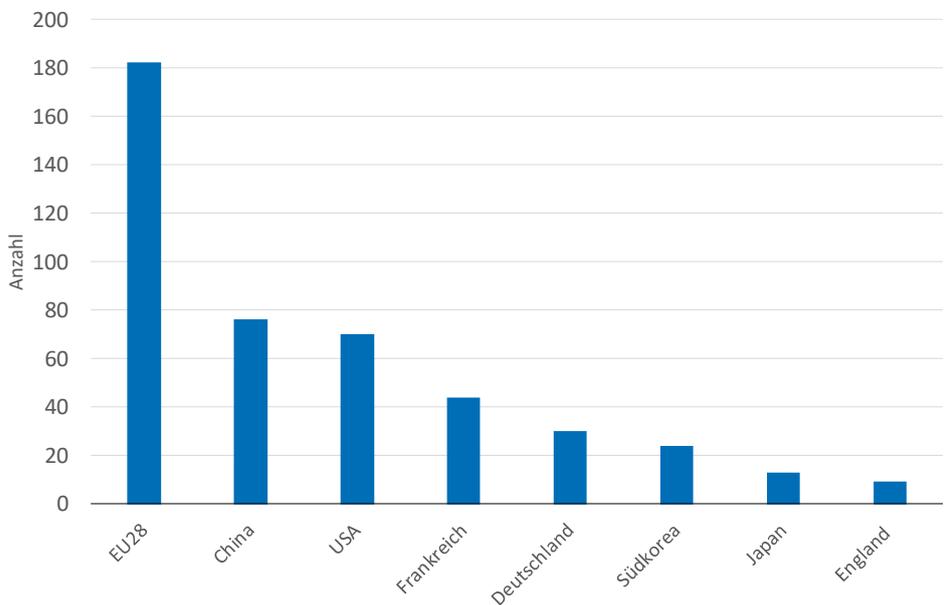
<sup>33</sup> Bei der Gesamtreferenz wirkt sich aus, dass Polymere innerhalb des Gesamtportfolios ein geringes Gewicht haben, pflanzenölbasierte Polymere innerhalb der Polymere jedoch überdurchschnittlich vertreten sind. Ähnliche Abweichungen sind bei China und Südkorea zu beobachten, allerdings in der Gegenrichtung. Hier sind pflanzenölbasierte Polymere innerhalb der Polymere schwächer vertreten.

Abbildung 16: Publikationen zu Pflanzenölbasierte Kunststoffen, weltweit



Quelle: SCISEARCH, Recherchen von Fraunhofer ISI

Abbildung 17: Publikationen zu Pflanzenölbasierte Kunststoffe für ausgewählte Länder, 2012-2017

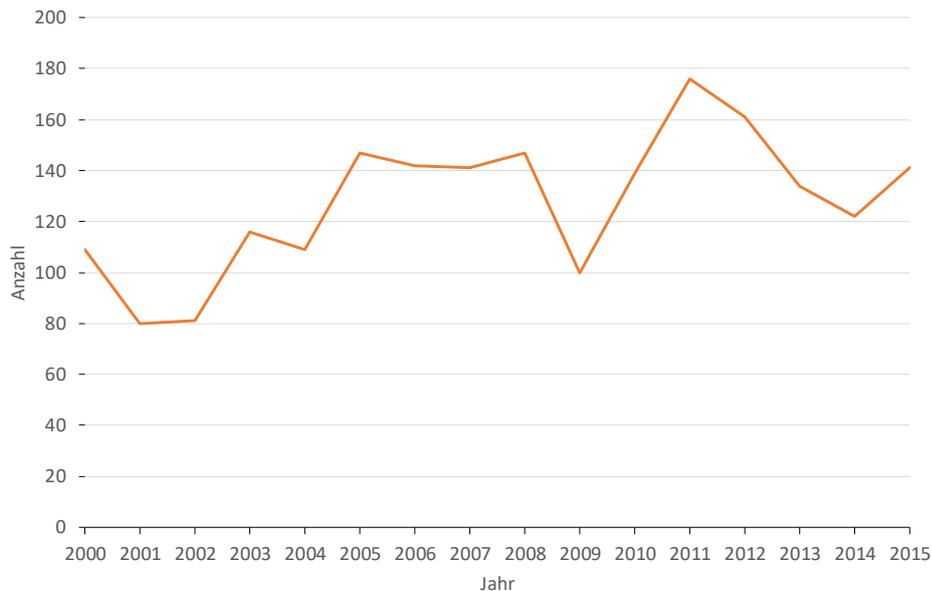


Quelle: SCISEARCH, Recherchen von Fraunhofer ISI

### 3.3.3.2 Patentanalyse

Die Patentanalyse wurde mit Hilfe von Stichworten<sup>34</sup> durchgeführt, da es zu diesem Gebiet keine speziellen Patentklassifikationen gibt. Es geht dabei um Polyamide oder Polyurethane, die auf pflanzlichen Ölen basieren. Daraus ergibt sich insgesamt ein Verlauf nach Abbildung 18, wonach sich ein insgesamt leichter Anstieg im Zeitverlauf zeigt.

**Abbildung 18: Weltweite transnationale Patentanmeldungen für pflanzenölbasierte Kunststoffe**

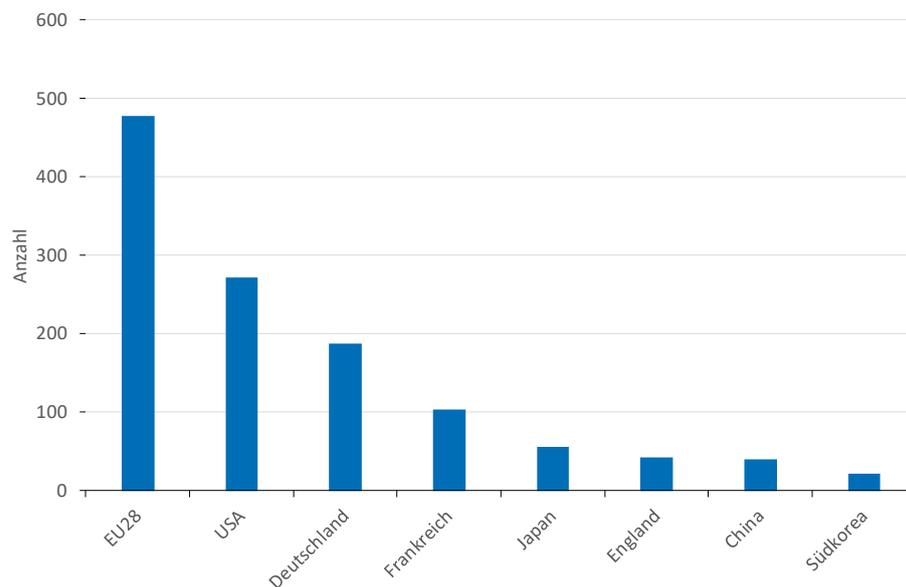


Quelle: WPINDEX (STN), Recherchen von Fraunhofer ISI

Für den Zeitraum 2010 bis 2015 ergibt sich nach Zahl der transnationalen Patentanmeldungen eine Reihenfolge der wichtigsten Länder nach Abbildung 19. Interessant ist hier die relativ starke Position von Deutschland im Vergleich zu Frankreich, England oder den südostasiatischen Ländern.

<sup>34</sup> (bio based polyamide? or ((bio based or plant or castor or sunflower or rapeseed or algae or ricinus) and polyamide?) or biopolyamide?) or (bio based polyurethane? or ((bio based or plant or castor or sunflower or rapeseed or algae or ricinus) and polyurethane?) or biopolyurethane?)

**Abbildung 19: Transnationale Patentanmeldungen für Pflanzenölbasierte Kunststoffe im Zeitraum 2010-2015 für ausgewählte Länder**



Quelle: WPINDEX (STN), Recherchen von Fraunhofer ISI

Die Rangfolge nach absoluten Zahlen entspricht allerdings nicht der der Spezialisierung. Danach liegt z. B. Japan nach absoluten Zahlen vor England, hat aber eine deutlich schwächere Orientierung auf pflanzenölbasierte Kunststoffe, soweit die Gesamtpatente als Referenz genommen werden. Bei einem Bezug auf alle Polymer-Patente eines Landes ergibt sich ein ähnliches Bild. Bei China sind die Werte bei Bezug auf die Gesamt-patente allerdings deutlich negativ, bei Referenz auf die Polymer-Patente dagegen fast neutral. Das bedeutet, dass innerhalb der Polymere der Anteil der pflanzenölbasierten Kunststoffe etwa dem Weltdurchschnitt entspricht. Deutschland hat bei den Spezialisierungsindices jeweils deutlich positive Werte.

### 3.3.3.3 Einführung und Verbreitung von Innovationen in Deutschland

Auf Basis von Produktdatenbanken, den Pressemeldungen der ca. 8 führenden Unternehmen in Deutschland bzgl. Marktpräsenz/Patentanmeldungen sowie Marktstudien wurde soweit wie möglich die Relevanz von Innovationen am Markt abgeschätzt.

Es gibt seit vielen Jahren bereits einige pflanzenölbasierte Kunststoffe (Bio-Polyamide/ PHA / Bio-Polyurethane im deutschen Markt. Die führenden Unternehmen am Markt haben in den letzten 3 Jahren fast keine neuen Produkte an Bio-Polyamiden am Markt eingeführt, es gibt jedoch einige Ankündigungen zu weiterverarbeiten Produkten aus pflanzenölbasierten Kunststoffen. Der Markt für pflanzenölbasierte Kunststoffe in Deutschland stagniert in den letzten Jahren. Nach der Studie im Auftrag der FNR (Busch 2018) ist die Menge an Ölen und Fetten für Polymere in Deutschland zwischen dem Jahr 2011 und dem Jahr 2016 konstant bei 163.000 Tonnen im Jahr geblieben. Zukünftig wird ein moderates Wachstum des weltweiten Marktes für

pflanzenölbasierte Kunststoffe erwartet. Marktstudien prognostizieren z.B. ein signifikantes Wachstum für PHA, aber keine signifikante Ausweitung für biobasierte Polyamide (NOVA 2018). Dies deutet in Verbindung mit neuen Produktankündigungen darauf hin, dass neue Innovationen nur begrenzt auf dem Markt eingeführt werden.

### 3.3.4 Fazit

Im Ergebnis zeigt sich ein differenziertes Bild für die Indikatoren, die sich im Quervergleich zwischen den drei Produktgruppen wie folgt zusammenfassen lassen:

Die weltweite Entwicklung von wissenschaftliche Publikationen zwischen 2000-2017 ist in allen drei Produktgruppen deutlich positiv. Deutschland liegt bei der Anzahl an Publikationen jeweils deutlich hinter den USA und China, aber vor den anderen Ländern; die Spezialisierung in Deutschland ist neutral bzw. leicht positiv. Bei den Patenten – die als Indikator eine höhere Marktnähe als wissenschaftliche Publikationen aufweisen – zeigt sich hingegen weltweit eine durchwachsene Entwicklung zwischen 2000-2015 in allen drei Produktgruppen. Deutschland ist bei der absoluten Anzahl an transnationalen Patenten jeweils mit führend und weist eine eher positive Spezialisierung in diesen Produktgruppen auf. Bei der Kommerzialisierung von Innovationen gibt es bei biobasierten Tensiden/Körperpflegemitteln und Bioschmierstoffen neue Markteinführungen, deren Marktbedeutung aber unklar ist. Die Marktentwicklungen in den letzten Jahren sind in den drei Produktgruppen stagnierend oder leicht positiv. Die Marktaussichten für die nächsten Jahre sind in allen drei Produktgruppen recht positiv, sie werden aber von den Experten tendenziell als zu optimistisch eingeschätzt. Die Rolle neuer Innovationen bei den vergangenen und zukünftigen Marktentwicklungen lässt sich objektiv nicht bestimmen.

Methodisch hat sich gezeigt, dass die Innovationsindikatoren, die für die Berichtsblätter vorgeschlagen wurden, sich für die Produktgruppen der Pilotstudie gut umsetzen lassen. Die Ergebnisse wurden von den Experten als sehr plausibel eingeschätzt und es konnten aus den Expertengesprächen häufig plausible Argumentationen für die Entwicklungen gewonnen werden. Einschränkend muss natürlich beachtet werden, dass sich nicht alle Produktgruppen der Bioökonomie in ähnlicher Weise gut wissenschaftlich und technologisch abgrenzen lassen. So lässt sich nicht ausschließen, dass die deutlich höheren Werte bei Tensiden und Körperpflegemitteln bei Patenten und Publikationen im Vergleich zu Bioschmierstoffen und pflanzenölbasierten Kunststoffen an der besseren Abgrenzbarkeit von biobasierten Tensiden und Körperpflegemitteln liegen.

Dies spricht aber vor allem auf höher aggregierter Ebene nicht grundsätzlich gegen die Indikatorik und Erhebungsmethodik; daher ergab sich bei den Berichtsblättern aus der Pilotstudie kein Anpassungsbedarf. Zur Ableitung von Informationen zur Kommerzialisierung von Innovationen lässt sich Folgendes schlussfolgern: Bereits bei der Erstellung der Factsheets sowie durch eine Expertenankündigung wurde deutlich, dass Informationen zum Markteintritt neuer Innovationen und deren Marktanteil nur indirekt durch die verschiedenen Quellen

ermittelt werden können. Die daraus geschlossenen Aussagen können daher auch nur vorsichtig interpretiert werden. In diesem Zusammenhang wurde auch in einem Interview angemerkt, dass eine Expertenbefragung dazu zielführender sei, da dadurch inhaltlich deutlich tiefer analysiert werden kann. Ob eine solche Expertenbefragung - die aus Gründen der Objektivität idealerweise anzahlmäßig über der Pilotstudie liegt - in ein Monitoring aufgenommen werden sollte, ergibt sich aus an der Bedeutung, die der Fragestellung zugemessen wird und hängt auch sicherlich damit zusammen, ob an anderer Stelle (siehe Kapitel 4 zu Treibern und Hemmnisse) Interviews oder schriftliche Befragung durchgeführt werden. Diese lassen sich dann ggf. kombinieren.

## 3.4 Ergebnisse für die Kombination von ökonomischen Kennzahlen und ökologischen Bilanzierungen

### 3.4.1 Zielsetzung

Durch die Pilotstudie sollten die in Kapitel 2.4 vorgestellten Methoden für die Ermittlung ökologischer Indikatoren für die gesamte Bioökonomie auf den Prüfstand gestellt werden. In Kapitel 2.4 (Kombination von ökonomischen Kennzahlen und ökologischen Bilanzierungen) wurden zwei Ansätze zur Abschätzung ökologischer Indikatoren und deren Kombination mit wirtschaftlichen Indikatoren vorgeschlagen. Die Methode nach dem **„Bottom-up“-Ansatz** multipliziert Ergebnisse aus produktspezifischen Ökobilanzierungen mit den biobasierten Produktionsmengen. Sie wurde auf die Indikatoren „Verbrauch fossiler Rohstoffe“, „Substitutionsanteil“ und „Treibhausgasemissionen der Rohstoffe“ angewendet. Die Methode nach dem **„Top-down“-Ansatz** bezieht auf sektoraler Ebene verfügbare Indikatoren mittels der biobasierten Anteile auf die biobasierten Teile eines Sektors. Exemplarisch für diese Methode wurde der Indikator „Energieverbrauch“ berechnet. Die Indikatoren „Biogener Rohstoffeinsatz“ und „Flächenbedarf“ wurden mit Hilfe der aufwärtsgerichteten Stoffstromanalyse (siehe Kapitel 2.1) ermittelt.

### 3.4.2 Ausgewählte Ergebnisse

#### 3.4.2.1 Verbrauch fossiler Rohstoffe in Terajoule

Dieser Indikator wird häufig in Ökobilanzierungen ausgewiesen, zuweilen auch unter der Bezeichnung „Kumulierter Energieaufwand, fossil“, und bildet die Grundlage für den Indikator „Substitutionsanteil“. Für den Indikator wurden die Produktionsmengen der jeweiligen Produkte der Pilotstudie mit Koeffizienten aus der Ökobilanz-Datenbank ecoinvent multipliziert. Beispielsweise schätzen wir, dass im Jahr 2015 ca. 23.000 t Bio-Polyamide auf der Basis von Rizinusöl hergestellt wurden und für die Produktion ca. 89.000 MJ fossile Energie pro Tonne erforderlich waren (Weiss et al. 2012).

### 3.4.2.2 Substitutionsanteil in Prozent

Dieser Indikator gibt an, wie viel fossile Energie durch die Herstellung von biobasierten Substitutionsgütern eingespart wurde. Für die Pilotstudie bietet sich nur der „Bottom-up“-Ansatz an, weil nach dieser Methodik auch der indirekte/kumulierte fossile Energieverbrauch einzubeziehen ist und weil auf Grund fehlender Angaben zum fossilen Energieverbrauch auf der Ebene der Unterklassen in der Statistik keine Input-Output-Modellierung sinnvoll wäre.

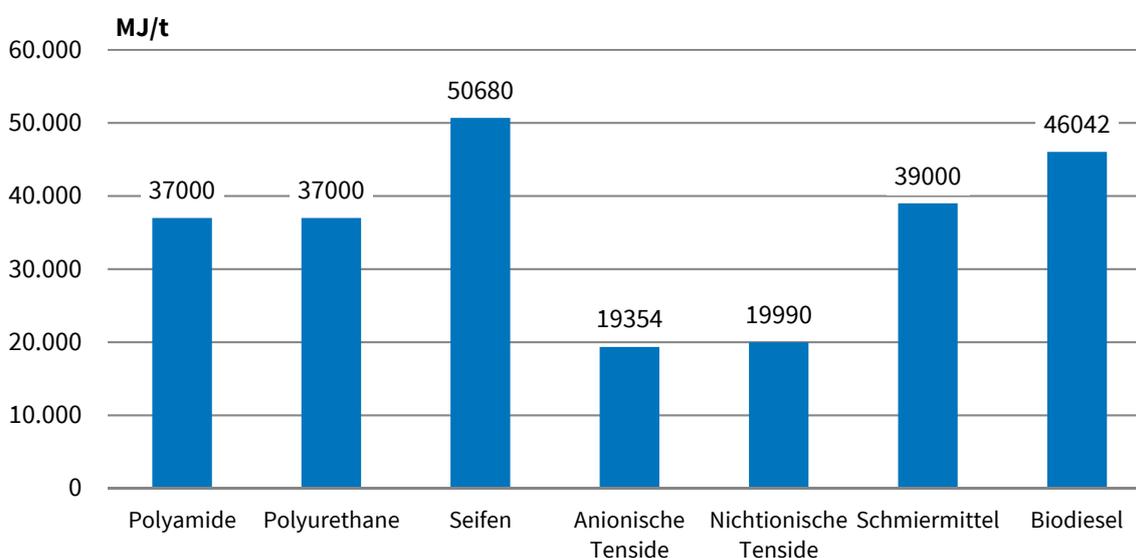
Im Betrachtungszeitraum wurde durch die Herstellung von Bio-PA ca. 0,59% des fossilen Energiebedarfs für Polyamide eingespart, für Polyurethane waren es 0,42%. Neben den zuvor diskutierten Ungenauigkeiten hinsichtlich der biobasierten Mengen, war es auch schwierig, Werte für die Einsparung entlang des Lebenswegs (FRE Parameter<sup>35</sup>) zu finden. In Weiss et al. (2012) wird ein Durchschnittswert für die Einsparung durch Biokunststoffe von 37.000 MJ/t angegeben. Um den fossilen Energiebedarf von Bio-PA und Bio-PUR (FRE<sub>b</sub>) zu bestimmen, haben wir die Einsparung von den Ecoinvent-Werten für PA und PUR (FRE<sub>t</sub>) abgezogen (siehe Überblick in 18). Diese Daten stammen hauptsächlich von PlasticsEurope auf der Basis von EcoProfiles. In einem Experteninterview wurde angemerkt, dass die Methodik intransparent sei und die Rohstoffproduktion vernachlässige. Während Biokunststoffhersteller (oder deren Zulieferer) Messungen auf dem Feld durchführen, verwendeten Kunststoffhersteller Daten aus Datenbanken und keine Prozessbilanzierung von Mineralölunternehmen. Die EU habe diese Datenlücke erkannt und ein Projekt ausgeschrieben, in dem eine einheitliche Datenbank für Kunststoffe und Biokunststoffe erstellt werden solle (*Spielring*). Genauere Lebenszyklus-Daten könnten aus der Biokunststoff-Datenbank der Software GaBi entnommen werden, die Angaben zu Polyamid 4.10 aus Rizinusöl, welches in Deutschland hergestellt wird, macht.

Durch die Herstellung von Biotensiden wurde 2015 ca. 6,1% der für die Herstellung von Tensiden erforderlichen fossilen Energie substituiert. Für die Berechnung wurde die Gruppe der Tenside weiter unterteilt in anionische, kationische und nichtionische Tenside. In Ecoinvent (2017) finden sich Werte für fossil-basierte Fettalkoholsulfate (anionisch) und Lineare Alkylbenzolsäure, welche zurzeit noch vollständig fossil-basiert ist, sowie zu biobasierten Fettalkoholsulfaten aus Kokos-, Palmkern- und Palmöl. Obwohl laut Busch (2018) Fettalkoholethersulfate die mengenmäßig wichtigsten anionischen Tenside sind, konnte für sie kein spezifischer FRE-Wert ermittelt werden. Wir haben annäherungsweise die gleichen Werte wie für Fettalkoholsulfate verwendet. Eine bessere Datengrundlage ist für kationische und nichtionische Tenside vorhanden. Kationische Tenside wurden in die Berechnung der Einsparung fossiler Energie nicht einbezogen, da sie laut FNR (2014) grundsätzlich biobasiert sind und kein fossiles Produkt substituieren. Da sie aber in der Produktion auch fossile Energie verbrauchen, verringern sie den Substitutionsanteil der Gruppe der Tenside. Ebenso sind Seifen ein traditionelles, biobasiertes Produkt, welches keine fossil-basierten Güter verdrängt. Hier zeichnet sich allerdings eine

<sup>35</sup> FRE = Fossil Resource Equivalent, für biobasierte Produkte = FRE<sub>b</sub>, für fossil-basierte Produkte = FRE<sub>t</sub>

entgegengesetzte Entwicklung ab: sogenannte Syndets<sup>36</sup> aus fossilen Rohstoffen können die biobasierten Seifen ersetzen und haben einen Marktanteil von ca. 8% (FNR 2014). Deshalb lohnt es sich, den Substitutionsanteil für Seifen zu bestimmen (für 2015 sind es 74%) und die möglicherweise „negative“ Substitution zu beobachten. Diese könnte schwerwiegender sein als Entwicklungen in anderen Produktklassen, da die Einsparung (oder negative Einsparung) fossiler Energie durch Seifen pro Tonne Produkt möglicherweise am höchsten ist, wie aus Abbildung 20 hervorgeht. An diesem Beispiel zeigt sich, wie wichtig ein Referenzzeitpunkt für die Bestimmung des Substitutionsanteils ist.

**Abbildung 20: Vergleich der Einsparung fossiler Energie durch biobasierte Produkte pro Tonne Produkt (in Megajoule pro Tonne)**

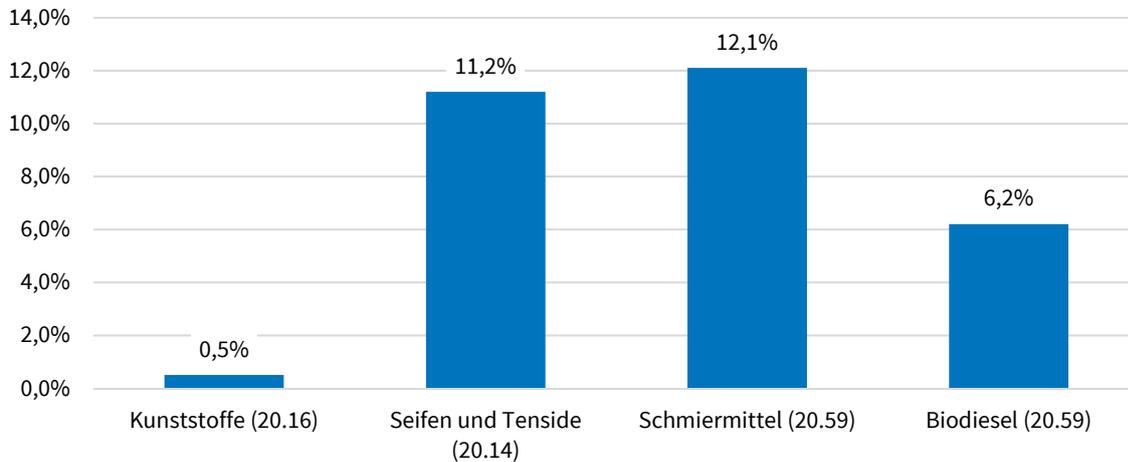


Quelle: Eigene Berechnung ATB auf Basis von Ecoinvent (2017) und Weiss et al. (2012).

Bioschmiermittel haben 2015 zu einer Einsparung fossiler Energie von ca. 12% geführt. Ähnlich wie bei den Biokunststoffen konnte kein FRE-Wert für Bioschmiermittel aus der Ecoinvent-Datenbank verwendet werden und auch hier wurde auf Weiss et al. (2012) zurückgegriffen. Obwohl die Größenordnung der Einsparung in den Experteninterviews bestätigt werden konnte, ist die Zahl aufgrund der Datenlücken recht unsicher. Eine bessere Datengrundlage findet sich für Biodiesel. Unsere Berechnung hat eine Einsparung von 6,2% fossiler Energie ergeben. Für Seifen und Tenside liegt dieser Substitutionsanteil bei 11,2% und für Kunststoffe bei 0,5% (vgl. Abbildung 21).

<sup>36</sup> Synthetic detergents

**Abbildung 21: Substitutionsanteil im Jahr 2015 in den WZ-Klassen 20.16 (Kunststoffe), 20.41 (Seifen und Tenside), 20.59 (Sonstige chemische Erzeugnisse) (in %)**

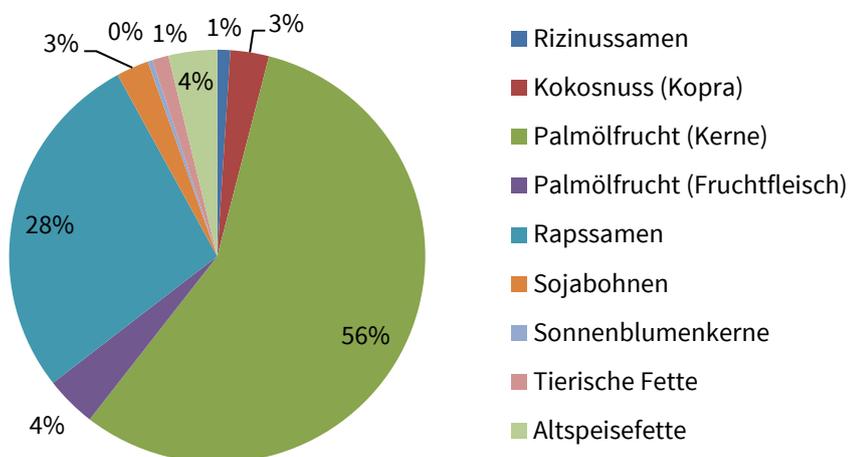


Quellen: Eigene Berechnungen ATB auf Basis von ecoinvent (2017), FNR (2014), Weiss et al. (2012), Statistisches Bundesamt (2016).

### 3.4.2.3 Biogener Rohstoffeinsatz in Tonnen

Für die Produktion von Kunststoffen, Tensiden, Schmierstoffen und Biodiesel auf Basis von pflanzlichen und tierischen Ölen wurden 2015 in Deutschland die in Abbildung 22 dargestellten Rohstoffe verwendet. Insgesamt wurden im Jahr 18 Mill. Tonnen biogene Rohstoffe in den betrachteten Bereichen in Deutschland eingesetzt. Mehr als die Hälfte der Rohstoffe machten Palmölfrüchte (Kerne und Fruchtfleisch) aus, die für Tenside und Schmiermittel eingesetzt werden. Durch die relativ hohe Produktionsmenge an Biodiesel aus Raps bestand mehr als ein Viertel der Rohstoffe in den betrachteten Bereichen aus Rapssamen.

**Abbildung 22: Biogener Rohstoffeinsatz in Tonnen, für öl-basierte Kunststoffe, Tenside, Schmierstoffe und Biodiesel im Jahr 2015 nach Rohstoffarten**



Quellen: Eigene Berechnung ATB auf Basis von FNR 2014, Busch 2018.

Die Berechnung erfolgte in zwei Schritten: Zunächst wurde mittels Konversionsfaktoren für die einzelnen Bereiche die Menge an erforderlichen pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten ermittelt. Diese Angabe ist nicht in allen Fällen gleich der biobasierten Produktionsmenge, da oft nur Teile der Pflanzenöle, z.B. bestimmte Fettsäuren, verwendet werden (Busch 2018). In einem zweiten Schritt wurde die Menge an erforderlichen Rohstoffen, also Samen, Kernen, o.Ä., mittels Konversionsfaktoren (Tonnen Rohstoff pro Tonne Öl) berechnet.

Mögliche Unsicherheiten ergeben sich vor allem bei den Biokunststoffen, weil der Faktor für z.B. Polyamide zwischen 1,41 für Bio-PA 6.10 und 2,38 für Bio-PA 11 stark variiert (Sperling, Peters/Becker/Holst, IfBB 2017). Faktoren unterscheiden sich besonders für solche Bio-PA, die vermutlich in Deutschland produziert werden, nämlich 6.10 und 10.10<sup>37</sup>. Weil es so schwierig ist, die exakten Produktionsmengen herzuleiten – Bio-PA 10.12 könnte z.B. auch nur zu 45% biobasiert sein und dann wäre der Konversionsfaktor 0,77 (Peters/Becker/Holst) –, kann kaum ein mittlerer, realistischer Wert abgeleitet werden. Genauere Abschätzungen liegen eher auf supranationaler Ebene vor, weil in anderen Ländern wesentlich größere Mengen produziert werden (Chinthapalli et al. 2018). Der Wert für Bio-PUR basiert nicht auf Prozessdaten, sondern es wurden die molaren Massen zwischen Rizinusöl und Bio-PUR verglichen, ohne Konversionsverluste zu berücksichtigen. Genauere Informationen müssten eingeholt werden, falls die Produktionsmenge an pflanzenöl-basierten Kunststoffen zukünftig steigen sollte.

<sup>37</sup> Evonik stellt Bio-PA 6.10, 10.10 und 10.12 her: <https://www.vestamid.com/product/vestamid/de/Produkte-Dienstleistungen/VESTAMID-Terra/>.

Die Faktoren für Rapssamen, Sojabohnen und Sonnenblumenkerne sind belastbar, weil konsistente Daten im Rahmen der Marktordnungs-Meldeverordnung von der BLE erhoben werden. Diese Werte wurden auch im Interview mit der FNR bestätigt. Schwieriger gestaltet sich die Ermittlung von Faktoren für importierte Öle. Man kann davon ausgehen, dass sich der Prozess der Ölgewinnung in den einzelnen Ländern unterscheidet. Für eine genauere Untersuchung wären Informationen zu Herkunftsländern der Öle für die einzelnen Bereiche erforderlich.

Verlässliche Daten und Informationen zur Rohstoffzusammensetzung gibt es für Biokunststoffe, Schmiermittel und Biodiesel. Der Rohstoffeinsatz in der Oleochemie hat sich in den letzten Jahren nicht signifikant geändert (*Luther, Greven, Wallfarth, Busch 2018*). Beim Biodiesel ist der Anteil der Pflanzenöle stetig von 81% im Jahr 2014 auf 71% im Jahr 2016 gesunken (*Peters/Becker/Holst, Kindt*). Größere Unsicherheiten gibt es bei dem Rohstoffeinsatz für Tenside. Laut Busch (2018) werden für anionische und nichtionische Tenside Laurin- und Stearinsäure verwendet, die nur in Kokos- und Palmkernöl enthalten sind. Andere Tenside werden auch aus Palmöl und tierischen Fetten hergestellt (FNR 2014).

Tenside können auch aus Stärke und Zucker hergestellt werden (Hill und Rhode 1999). Die vereinfachende Annahme, dass alle biobasierten Tenside öl-basiert sind, wurde in den Interviews nicht bestätigt (*Hill*). Diese Annahme würde aber das Ergebnis in einem systemischen Monitoring nicht verändern, weil alle Rohstoffe und nicht nur die öl-basierten Teil des Monitorings wären. Seifen können aus vielen verschiedenen Ölen und Fetten hergestellt werden (Busch 2018). Die Anteile wurden von uns geschätzt. Das Verhältnis der Rohstoffe ist volatil je nach Marktlage (Hill 2018) und den gewünschten Produkteigenschaften (*Peters/Becker/Holst*).

Wir schlussfolgern, dass die Kennzahl „Biogener Rohstoffeinsatz“ eine vorerst ausreichende Datengrundlage bezüglich der Rohstoffzusammensetzung und Konversionsfaktoren hat. Unsicherheiten bestehen besonders im Bereich der auf Rizinusöl basierenden Biokunststoffe und den auf Palm(kern)öl/Kokosöl basierenden Tensiden. Biokunststoffe werden nur in sehr geringen Mengen hergestellt, deshalb ist der Fehler in der Kennzahl gering. Die größte Unsicherheit besteht in allen Bereichen bei der biobasierten Produktionsmenge, wie sie im Abschnitt zu wirtschaftlichen Kennzahlen diskutiert wird. Bei der Diskussion der folgenden Indikatoren „Flächenbedarf“ und „THG-Emissionen der Rohstoffe“, welche sich auf den Rohstoffeinsatz beziehen, sind diese Unsicherheiten zu beachten.

#### **3.4.2.4 Flächenbedarf in Hektar**

Die weltweite Anbaufläche, die im Jahr 2015 erforderlich war, um die Ölpflanzen für die Herstellung der ausgewählten oleochemischen Produkte in Deutschland zu erzeugen, betrug ungefähr 3,95 Mill. ha. Den größten Flächenbedarf pro Tonne biobasierten Produkts haben Biokunststoffe auf Basis von Rizinusöl auf Grund des relativ hohen Ölbedarfs von Bio-PA und Bio-PUR (höchste Faktoren neben kationischen Tensiden, siehe 5. Zwischenbericht, Tabelle 18) und des relativ hohen Flächenbedarfs von Rizinussamen (höchster Faktor, siehe 5. Zwischenbericht, Tabelle 20).

Diese Werte können allerdings nur als grobe Orientierung dienen, da auch durch die Expertengespräche nicht zufriedenstellend geklärt werden konnte, aus welchen Ländern die Rohstoffe importiert wurden. Die Nachverfolgung sich jährlich ändernder Handelsströme von international gehandelten Rohstoffen ist eine Herausforderung (Schuh und Flachmann 2018), besonders auch für das Bioökonomie-Monitoring.

Wir nehmen weltweite, durchschnittliche Flächenertragsdaten der FAO als Grundlage, um den Flächenbedarf der einzelnen Rohstoffe zu berechnen. Der Gesamtflächenbedarf könnte auch um 1% geringer sein, wenn die verwendeten Rizinussamen in Indien angebaut wurden (88% der weltweiten Produktion) oder 10% höher, wenn sie aus Mosambik stammen. Kokosnüsse werden zu mehr als 50% in Indonesien und den Philippinen geerntet. Der Gesamtflächenbedarf wäre um 6% höher, wenn die Erträge in den Philippinen anstatt die Erträge in Indonesien für die Berechnung zu Grunde gelegt würden. Auch für Rapsertträge wurde der weltweite Durchschnitt verwendet, obwohl der Rohstoff wahrscheinlich aus Deutschland stammt. Weil der Rohstoffanteil von Rapsamen so hoch ist in der Pilotstudie und die Erträge weitaus höher sind in Deutschland als in anderen Ländern, würde sich der Gesamtflächenbedarf um 28% verringern, wenn für den gesamten Rapsbedarf der deutschen Biodieselproduktion der deutsche Durchschnittsertrag zugrunde gelegt würde. Auch gibt es Schwankungen von Jahr zu Jahr: Im ertragreichen Jahr 2009 wäre der Flächenbedarf 4% geringer gewesen als 2015 und im ertragsarmen Jahr 2011 wäre er 13% höher gewesen.

In IfBB (2017) wurde ein wesentlich geringerer Flächenbedarf für Bio-PUR ermittelt (0,43 ha/t im Vergleich zu dem von uns ermittelten Wert von 4,9 ha/t), weil angenommen wird, dass für die Herstellung von einer Tonne Bio-PUR 0,19 Tonnen Rizinusöl erforderlich sind. In eigenen Berechnungen hat das Nova-Institut eine erforderliche Menge von 2,5 Tonnen Rizinusöl je Tonne Bio-PUR ermittelt. Die Berechnungswege konnten bisher noch nicht verglichen werden und so konnte nicht abschließend geklärt werden, welcher Wert zugrunde gelegt werden sollte. Der hier dargestellte Wert für den Flächenbedarf von Bio-PUR ist somit äußerst unsicher.

### **3.4.2.5 Treibhausgasemissionen der Rohstoffproduktion in t CO<sub>2</sub>-Äquivalent**

In einem Zwischenschritt für den Indikator „Biogener Rohstoffeinsatz“ wurde der Bedarf an pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen errechnet. Dieser Ölbedarf kann ebenso als Bezugsgröße dienen und wäre bei einem Vergleich mit den THG-Emissionen der Erdölproduktion sinnvoller als der Bezug zu den biogenen Rohstoffen (Samen, Kerne, etc.). Aus diesem Grund werden hier, im Gegensatz zu den anderen Abschnitten, die Pflanzenöle als Rohstoff bezeichnet.

Durch den Einsatz von Pflanzenölen im betrachteten Bereich der Oleochemie wurden 2015 ungefähr 8,26 Mill. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausgestoßen. Das Ergebnis bezieht sich auf die Umwelteffekte der eingesetzten Pflanzenöle vom Anbau der Pflanzen bis zur Herstellung des Pflanzenöls (cradle-to-gate) und wurde nach dem „Bottom-up“-Ansatz berechnet. Der Rohstoffeinsatz für Biokunststoffe erfordert nach dieser Berechnung einen wesentlich höheren

Ausstoß an THG-Emissionen für die Ölproduktion pro Tonne Produkt als die anderen Produktgruppen.

Wie bereits in der methodischen Diskussion erwähnt, sind für eine genaue Abbildung der durch die Rohstoffproduktion verursachten THG-Emissionen Informationen zu Herkunft und Anbauweise der Rohstoffe entscheidend. Des Weiteren müssten alle Prozesse bilanziert sein, was für viele Agrarprozessketten nicht der Fall ist (*Spielring*). Ökobilanz-Datenbanken bilden nur ausgewählte Prozesse ab und für Rizinus- sowie Sonnenblumenöl sind keine Werte enthalten. Um eine grobe Abschätzung für die Pilotstudie vornehmen zu können, haben wir Koeffizienten aus der Ecoinvent-Datenbank (Methode: IPCC 2013 GWP 100a) und der Literatur entnommen, welche im 5. Zwischenbericht (dort Tabelle 21) dargestellt wurden. Wie auch beim Flächenbedarf wurden hier Importländer für die verschiedenen Pflanzenöle angenommen und es wäre für eine belastbare Aussage wichtig, die Herkunft der Rohstoffe und Öle zu kennen. Beispielweise ist der THG-Wert für Sojaöl aus Europa nur etwa ein Viertel so hoch wie der Wert für Sojaöl aus Brasilien (1,86 und 7,91 kg CO<sub>2</sub>-Äq).

Für Rizinusöl haben wir auch in der Literatur keine Werte gefunden und so behelfsmäßig den gleichen Ecoinvent-Wert wie für Sojaöl für die Berechnung verwendet. Dies kann nur eine sehr grobe Annäherung sein und sollte unbedingt verbessert werden. Ebenso sticht heraus, dass der Wert aus der Literatur für Sonnenblumenöl höher ist als für alle anderen Pflanzenöle. Da aber verhältnismäßig wenig Rizinus- und Sonnenblumenöl für die Produkte (Biokunststoffe, Seifen, Schmierstoffe) in der Pilotstudie verwendet wurde, ist der resultierende Fehler für das Gesamtergebnis gering. Die angegebenen Werte für die THG-Emissionen der Rohstoffe pro Tonne Biokunststoff sind kaum belastbar, weil die Werte für das eingesetzte Rizinusöl sehr unsicher sind.

Durch die Wahl des Modells „Allocation at the point of substitution“ in der Ecoinvent-Datenbank werden THG-Emissionen der Pflanzenölproduktion auf die Haupt- und Nebenprodukte aufgeteilt, was beim Flächenbedarf nicht der Fall war. Lediglich tierische Fette und Altspeisefette werden wie beim Flächenbedarf als Abfallprodukt behandelt und haben keine THG-Emissionswerte.

#### **3.4.2.6 Energieverbrauch in Terajoule**

Die vorangegangenen Indikatoren folgten einem „Bottom-up“-Ansatz, während dieser Indikator als Beispiel für die Anwendung des „Top-down“-Ansatzes dienen soll. Allerdings sei vorangestellt, dass diese Übung die Notwendigkeit eines Abgleichs mit Prozessdaten deutlich machen soll.

Der Indikator zeigt den Energieverbrauch eines Sektors an (Prozessenergie) und nicht den Energieverbrauch vorgelagerter Sektoren. Die stoffliche Verwendung von Energieträgern wird nicht einbezogen. Eine grobe Abschätzung des Energieverbrauchs der betrachteten Sektoren nach dem weiter oben beschriebenen „Top-down“-Ansatz hat für das Jahr 2015 12.575 TJ

ergeben. Dafür wurde der gesamte Energieverbrauch einer WZ-Klasse mit dem entsprechenden biobasierten Anteil multipliziert und dann wurden die Verbräuche addiert.

Aus den Experteninterviews ging hervor, dass diese Werte nicht die Realität abbilden und daher die Methode verfeinert werden sollte. Sie kann nur angewandt werden, wenn Daten für Indikatoren mindestens auf der Ebene der WZ 6-Steller zur Verfügung stehen, z.B. für den Energieverbrauch. In der Gruppe der Tenside gibt es zwischen den verschiedenen Tensiden (anionisch, kationisch und nichtionisch) große Unterschiede im Energieverbrauch.

Eine weitere Schlussfolgerung aus den Experteninterviews war, dass die „Top-down“-Methode um Korrekturfaktoren erweitert werden müsste, die biobasierte Produkte besser widerspiegeln. Ob Korrekturfaktoren notwendig sind, ist abhängig vom Indikator und vom Sektor. Für das Beispiel in der Pilotstudie, dem Energieverbrauch, hat sich herausgestellt, dass für Bioschmiermittel und Biotenside keine Korrekturfaktoren notwendig wären, während für Biodiesel ein Faktor von 10 realistisch erscheint.

### 3.4.3 Methodische Schlussfolgerungen aus den Experteninterviews

Der **„Bottom-up“-Ansatz** kann für die Herleitung ökologischer Indikatoren für biobasierte Endprodukte verwendet werden, sofern Ökobilanzen erstellt wurden. Der Fokus auf Endprodukte ist wichtig, um Doppelzählungen zu vermeiden und ein konsistentes Monitoring zu ermöglichen. Für alle biobasierten Endprodukte, die die Bioökonomie repräsentieren sollen, müssten Produktionsdaten erhoben und Ökobilanzen erstellt werden. Wirkungsabschätzungen in umfangreichen Ökobilanzen enthalten viele Wirkungskategorien, die als Indikatoren dienen könnten. Beispielsweise werden für den Product Environmental Footprint (PEF) 14 Kategorien vorgeschlagen, darunter nicht nur Indikatoren für den Klimawandel, sondern auch für Ozonabbau, Ökotoxizität von Süßwasser und Feinstaubbelastung (Manfredi et al. 2012). Die Indikatoren sollten nach Meinung mehrerer Experten an den Zielen der Bioökonomie ausgerichtet sein und den Vergleich mit einer Referenz zulassen, also beispielsweise Treibhausgas-Einsparungen anstatt Treibhausgas-Emissionen aufzeigen (Spirling, Remmele/Dressler). Für ein Monitoring würde es sich anbieten, zunächst mengenmäßig relevante, biobasierte Endprodukte auszuwählen (und regelmäßig zu aktualisieren), um den Aufwand des Monitorings zu verringern.

Der „Bottom-up“-Ansatz wurde für den Indikator „Verbrauch fossiler Rohstoffe in Terajoule“, der als Basis für die Berechnung des Indikators „Substitutionsanteil in Prozent“ dient, verfolgt. Bei der Berechnung des Indikators „Substitutionsanteil“ hat sich zwar gezeigt, dass Ergebnisse recht präzise ermittelt werden und von den Experten teilweise bestätigt werden konnten. Allerdings ist die Berechnung auf Produktebene aufwendig und für manche Produkte auf Grund fehlender Ökobilanzierungen nicht möglich (z.B. für Fettalkoholethersulfate und Schmierstoffe). Ein wichtiger Hinweis aus den Interviews war weiterhin, dass die für den Substitutionsanteil

erforderlichen Substitutionsfaktoren<sup>38</sup> oft nur für Endprodukte sinnvoll seien, weil sie je nach Anwendung variieren können (*Peters/Becker/Holst, Spierling, Greven*). Lediglich für Schmierstoffe und Biodiesel konnten die Substitutionsfaktoren bestätigt werden (*Luther, Greven, Kindt*). Wenn also der „Bottom-up“-Ansatz für die Berechnung des Substitutionsanteils herangezogen wird, sollte auch hier der Fokus auf Endprodukten liegen. Hier sollte dann nicht nur der biobasierte Anteil eines biobasierten Produkts zu Grunde gelegt werden, sondern die gesamte Produktionsmenge eines biobasierten Endprodukts, einschließlich nicht biobasierter Anteile. Beispielsweise sind kationische Tenside immer biobasiert (FNR 2014), haben aber auch nicht biobasierte Anteile (wir nehmen 85% biobasierten Anteil am Produkt an). Die biobasierten Anteile könnten ein Entscheidungskriterium dafür sein, ob ein bestimmtes Produkt als biobasiert eingeordnet wird. Auf Grund dieser methodischen Unschärfe und bestehenden Datenlücken sind die weiter unten angegebenen Substitutionsanteile nur grobe Richtwerte und erfordern eine Anpassung, wenn genauere Informationen zur Produktion biobasierter Güter zur Verfügung stehen. Da der Indikator „Substitutionsanteil“ die Referenz zur fossil-basierten Wirtschaft einschließt (Einsparung fossiler Rohstoffe anstatt Verbrauch fossiler Rohstoffe), wurde er von den Experten kaum hinterfragt, im Gegensatz zu anderen Indikatoren, die den Experten weniger aussagekräftig schienen.

Je nach Anzahl der biobasierten Endprodukte, kann die Ermittlung der Indikatoren sehr aufwendig sein, zumal bisher nur wenige biobasierte Endprodukte bilanziert wurden. Weniger aufwendig wäre die Ermittlung von Indikatoren, die sich nur auf den Rohstoff beziehen, beispielsweise Verursachung von Pestiziden/Schwermetallen im Boden, Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial. Wir stellen beispielhaft den Indikator „Treibhausgasemissionen der Rohstoffproduktion“ vor. Ökobilanzen für Rohstoffe sind oft vorhanden und müssten nur in einigen Fällen ergänzt werden. Dieser vereinfachte „Bottom-up“-Ansatz erlaubt den Vergleich der Rohstoffbasis der Bioökonomie mit der Rohstoffbasis der restlichen Wirtschaft. Hierfür wäre eine regelmäßige Erhebung zu den eingesetzten Rohstoffen (Art, Herkunft, Anbaumethoden) erforderlich, um die Bezugsgrößen „Biogener Rohstoffeinsatz“ und „Flächenbedarf“ abschätzen zu können. Eine wichtige Voraussetzung für die Bezugsgröße ist die möglichst genaue Angabe der Rohstoffbasis und deren Herkunft sowie Anbaumethoden. Da selbst durch die Interviews diese Informationen nur lückenhaft vorliegen, sollten die resultierenden Indikatoren, in unserem Fall der Flächenbedarf und die THG-Emissionen der Rohstoffproduktion, nicht als finale Ergebnisse verstanden werden, sondern eher als Basis für weitere Untersuchungen. Zum Beispiel sind für eine Berechnung des Flächenbedarfs nicht nur Informationen zur Herkunft der Pflanzenöle erforderlich, sondern auch zur Herkunft der Ölpflanzen, da diese nicht immer dort verarbeitet werden wo sie angebaut werden und manche Rohstoffe oder Vorprodukte zuvor nur im- und exportiert, aber im Lieferland nicht verarbeitet wurden. Daher lassen Angaben in der

<sup>38</sup> Ein Substitutionsfaktor gibt an, in welchem Verhältnis ein biobasiertes Produkt das entsprechende fossil-basierte Produkt ersetzen kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine eindeutige Zuordnung von Substitutionsfaktoren für manche Zwischenprodukte, wie z.B. Biopolymere, nicht möglich ist, wenn die weitere Verwendung unklar ist.

Außenhandelsstatistik zuweilen keinen Rückschluss auf die Anbauländer zu (Peters/Becker/Holst, Schuh und Flachmann 2018).

Eine weitere Herausforderung ist die Berechnung des Flächenbedarfs von verarbeiteten Produkten, wenn nur ein Teil des Rohstoffs verwendet wird und Kuppelprodukte anderweitig verarbeitet werden. In den Interviews wurde dazu kritisch angemerkt, dass durch die Fettschmelzung von Schlachtabfällen wieder neue Produkte (Fett und Protein) entstehen, die dann keine Nebenprodukte, sondern Hauptprodukte seien (Greven). Insofern müsste auch hier ein Wert für den Flächenbedarf (Tierhaltung/Futtermittel) zugewiesen werden. Eine entsprechende Methode und Beispiele finden sich in Schuh und Flachmann (2018). Für die Pilotstudie nehmen wir vereinfachend an, dass alle Pflanzenöle Hauptprodukte sind und die entsprechenden Anbauflächen nur für die Produktion von Ölpflanzen belegt wurden, um Pflanzenöle für die Oleochemie herzustellen. Tierische Fette und Altspeisefette sind in der Pilotstudie Abfälle und haben keinen Flächenbedarf.

Eine weitere Alternative zum „Bottom-up“-Ansatz um den Aufwand zu reduzieren, jedoch nicht nur die Effekte der Rohstoffproduktion darzustellen, ist der **„Top-down“-Ansatz**. Die im 4. Zwischenbericht vorgeschlagene Methode stufen wir allerdings als zu ungenau ein, weil angenommen wird, dass alle Produkte einer WZ-Klasse (oder gar WZ-Gruppe/WZ-Abteilung<sup>39</sup>) den gleichen Umwelteffekt pro Tonne Produkt haben und somit auch, dass biobasierte Produkte den gleichen Umwelteffekt pro Tonne hätten wie erdölbasierte Produkte des gleichen Sektors. Besonders in den Interviews zu Schmierstoffen und Biodiesel stellte sich schnell heraus, dass z.B. durchschnittliche THG-Emissionswerte für Produktionsprozesse in der WZ-Klasse 20.59 wenig sinnvoll seien (Luther, Remmele/Dressler). Daraus schließen wir, dass Indikatorwerte tiefergegliedert für einzelne Produktgruppen, wie z.B. Schmiermittel, vorliegen müssten.

Deshalb sind Anpassungen notwendig, die wiederum den Aufwand erhöhen. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass zwischen Aufwand und Genauigkeit des Monitorings abgewogen werden kann, je nach den verfügbaren Ressourcen. Eine Variante mit wenig Aufwand müsste jedoch zumindest Indikatorwerte für einzelne Produktgruppen zur Verfügung stellen, biobasierte Anteile an den Klassen ermitteln und für einige Sektoren Korrekturfaktoren angeben, die Unterschiede zwischen biobasierten und anderen Produkten widerspiegeln. Viele der derzeit erhobenen „Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung“ werden aggregiert ausgegeben, aber wären sicherlich auf Anfrage auch auf WZ-Klassenebene oder darunter verfügbar. Zum Beispiel werden die THG-Werte der chemischen Industrie für den Nationalen Inventarbericht vom Umweltbundesamt aus Verbands- und Herstellerangaben ermittelt (Umweltbundesamt 2018, S. 107). Biobasierte Anteile müssten entweder wie bisher von Experten geschätzt oder durch statistische Ämter erhoben werden. Korrekturfaktoren für einzelne Indikatoren könnten ebenso von Experten geschätzt oder der technischen Literatur entnommen werden. In der Pilotstudie

<sup>39</sup> Abhängig von der Verfügbarkeit nationaler Indikatoren.

hat sich gezeigt, dass die Experten einen guten, ersten Überblick über biobasierte Anteile und Korrekturfaktoren haben.

Im Fall des hier exemplarisch ausgewählten Indikators „Energieverbrauch“ ist eine Analogie zwischen Umwelteffekten biobasierter und erdöl-basierter Produkte nur für Teilbereiche plausibel. Der Prozessenergieverbrauch von Bio-Polyamid (Bio-PA) und Bio-Polyurethan (Bio-PUR) sei beispielsweise vergleichbar mit dem Prozessenergieverbrauch von Polyamid (PA) und Polyurethan (PUR), wohingegen diese Annahme für andere Biokunststoffe, wie z.B. PLA, nicht zutreffend sei (*Spierling*). Für den Schmierstoffbereich sei diese Herleitung des Indikators Prozessenergieverbrauch auch plausibel (*Greven, Wallfarth*). Laut Herrn Luther sind die Energiekosten für Bioschmierstoffe etwas höher und es kann ein Korrekturfaktor ähnlich wie bei den wirtschaftlichen Kennzahlen angenommen werden. Für die meisten Bereiche sind Korrekturfaktoren erforderlich, z.B. ist der Prozessenergieverbrauch von Biodiesel etwa 10-mal höher als jener von Diesel (*Kindt*). Es hat sich also gezeigt, dass Interviews mit Branchenvertretern zielführend sind, um abschätzen zu können, wie stark sich biobasierte und erdöl-basierte Prozesse im Hinblick auf die betrachteten Indikatoren unterscheiden. Zusätzlich könnten Prozessanalysen aus der Literatur herangezogen werden.

Bei einem Vergleich biobasierter Sektoren untereinander und mit erdöl-basierten Sektoren spielen sowohl die Umwelteffekte der Rohstoffproduktion als auch die Weiterverarbeitung eine entscheidende Rolle. So sei es interessanter, den Kumulierten Energieaufwand (KEA) zu berechnen anstatt nur den Prozessenergiebedarf (*Luther, Remmele/Dressler, Greven*). Das wäre mit Hilfe einer Input-Output-Modellierung<sup>40</sup> möglich, wenn der direkte Energieaufwand aller relevanten Vorketten wie oben beschrieben bekannt wäre. Der „Top-Down“-Ansatz wäre also eine wichtige Vorarbeit für Modellierungsansätze.

Eine Input-Output-Modellierung wäre auch als Alternative zur Berechnung des Substitutionsanteils geeignet, da der „Bottom-up“-Ansatz methodische Defizite bei einer systemischen Analyse hat (*Kitzes 2013*). Da der Substitutionsanteil auf der Methodik der Ökobilanzierung basiert, müssten Abschneidegrenzen für einige vorgelagerte Prozesse angenommen werden. Wenn für jeden biobasierten und für jeden fossil-basierten Sektor mit Hilfe des „Top-down“-Ansatzes ein Wert für den direkten Verbrauch fossiler Rohstoffe ermittelt werden könnte, auch unter Zuhilfenahme prozess-basierter Daten und Informationen, dann könnte auch der indirekte Verbrauch fossiler Rohstoffe modelliert werden und Eingang in den Indikator „Substitutionsanteil“ finden.

<sup>40</sup> Mit Hilfe eines Input-Output-Modells können Effekte, die durch vorgelagerte Prozesse verursacht wurden, einbezogen werden. Für eine Einführung siehe *Kitzes (2013)*.

## 4 Erfassung von Treibern und Hemmnissen im Übergang zur Bioökonomie

Das Ziel des vorliegenden Kapitels ist es zu prüfen, inwieweit Informationen zu Treibern und Hemmnissen für einen Übergang hin zu einer biobasierten Wirtschaft in das Monitoring der Bioökonomie aufgenommen werden können und auf welche Art und Weise diese effizient erhoben werden könnten. Im Folgenden werden zunächst bisherige empirische Studien für Deutschland oder Europa dargestellt, die Ansätze zur Erfassung von Treibern und Hemmnissen in der Bioökonomie beinhalten. Danach erfolgt eine kurze Diskussion methodischer Ansätze und eine Präsentation von Vorschlägen für ein Monitoring, mit dessen Hilfe Treiber und Hemmnisse im Übergang zu einer Bioökonomie erfasst werden können.

### 4.1 Existierende Forschungsansätze und -ergebnisse

In der jüngeren Vergangenheit wurden bereits in zahlreichen Studien Treiber und Barrieren für verschiedene Teilbereiche der Bioökonomie für Deutschland und andere Länder herausgearbeitet. Eine Darstellung aller potenziell relevanten Studien ist an dieser Stelle nicht möglich und wäre wenig zielführend.

Stattdessen werden in Anhang 3 ausgewählte Studien aus Deutschland oder anderen EU-Mitgliedstaaten aus den letzten 3 - 4 Jahren aufgeführt, die aus methodischer Sicht vielversprechend erscheinen. Dabei ist generell zu beachten, dass die Erfassung von Treibern und Hemmnissen meist nur ein Teil weitreichenderer Forschungsfragen ist und die Vorgehensweise ggf. aus anderen Beweggründen entsprechend gewählt wurde. Zudem betrachten die Studien in der Regel nur Teile der Bioökonomie. Viele neuere Studien beschäftigen sich mit dem verstärkten Einsatz innovativer Produkte auf Basis von biogenen Ressourcen in industriellen („non-Food“) Anwendungen. Daneben ist für den Übergang zur Bioökonomie sowohl die Nutzung als Nahrungs-/Futtermittel also auch die Bereitstellung und effizientere Nutzung von biogenen Ressourcen relevant. Letzteres umfasst die Land-/Forstwirtschaft, Fischerei und Aquakultur aber auch Konzepte wie Kaskaden- und Koppelnutzung. Dieser sehr große Bereich kann nur exemplarisch erfasst werden, stattdessen stehen die Studien zur industriellen Nutzung von biogenen Ressourcen im Vordergrund. Generell zeigt sich über die verschiedenen Studien der industriellen Nutzung biogener Ressourcen hinweg, dass

- sich der Fokus bzgl. Segmenten der Bioökonomie, Erhebungsmethoden (Umfragen, Experteninterviews, Literaturrecherchen usw.) und Art der Ergebnisse (lange Listen von Treiber & Hemmnissen, bewertete Listen, ausgewählte Schwerpunkte) unterscheidet;
- sich die Studien in der Perspektive auf Treiber und Hemmnisse unterscheiden. Während in manchen Studien betrachtet wird, welche akteursspezifischen Handlungen entscheidend sind, analysieren andere Studien stärker produkt-/technologie-vergleichend. Bei ersteren werden v.a. die Vernetzung der Akteure und verschiedene Aspekte der politischen Steuerung

(v.a. Kohärenz/Mix, Kontinuität, etc.) thematisiert. Letztere hingegen nennen v.a. die fehlende Kostenwettbewerbsfähigkeit biobasierter Produkte und thematisieren technologische Herausforderungen auf unterschiedlichen Ebenen (z.T. geringer Reifegrad, Bottlenecks beim Downstream-Processing usw.);

- vor allem die Zahl und Bandbreite der Hemmnisse sehr groß ist. Eine Differenzierung nach Teilsegmenten, Wertschöpfungsstufen, Reifegraden von einzelnen Technologien etc. findet kaum statt, wenngleich davon auszugehen ist, dass einige Treiber und Hemmnisse in den unterschiedlichen Bereichen erheblich variieren. Treiber werden weniger explizit untersucht, wobei diejenigen Studien, die stärker Ansatzpunkte für eine dynamische Entwicklung der Bioökonomie betrachten, diese quasi mit beinhalten;
- Synergien und Konflikte mit den anderen Nutzungspfaden häufig nicht explizit betrachtet werden, bzw. nur aus der Perspektive eines Bereichs. In der Realität stellen jedoch potenzielle Treiber des einen Nutzungssektors (z.B. das EEG als Förderinstrument für Bioenergie) eine mögliche Barriere für andere Teilbereiche der Bioökonomie dar, z.B. aufgrund von Nutzungskonkurrenzen von Rohstoffen oder anderen, begrenzten Ressourcen (z.B. Forschungsförderungsgelder).

Wenn man die gesamten Nennungen in den verschiedenen Studien betrachtet, finden sich viele der in Anhang 3 nur einzeln genannten Argumente auch in anderen Studien wieder, was insgesamt auf ein gemeinsames Grundverständnis hindeutet.<sup>41</sup> Im Folgenden werden zentrale Treiber und Hemmnisse, die in mehreren Studien explizit oder implizit als Teil der Argumentation genannt werden, kurz zusammengefasst. Diese Kurzzusammenfassung soll verdeutlichen, wie der aktuelle Forschungsstand aussieht und welche inhaltliche Dimensionen von Treibern und Hemmnissen umfasst werden.

#### 4.1.1 Treiber

**Technologischer Fortschritt:** Technologischer Fortschritt trägt zu effizienteren und vielfältigeren Nutzungsmöglichkeiten biogener Ressourcen bei. Aktuell gelten beispielsweise das Genom-Editing, die synthetische Biologie und das Zusammenspiel von Biologisierung und Digitalisierung als zentrale Entwicklungen.

**Substitution fossiler Ressourcen:** Die zunehmende Wahrnehmung der Endlichkeit fossiler Rohstoffe war der zentrale Treiber bei der Entwicklung von den bisherigen deutschen Bioökonomiestrategien. Wenngleich die Substitution der Rohstoffbasis durch die aktuell niedrigeren Ölpreise und die Erschließung zusätzlicher Lagerstätten für fossile Ressourcen gerade bei preisgetriebenen Massenprodukten erschwert wird, so ist sie langfristig sicherlich weiterhin von Relevanz, zumal biogene Ressourcen eine sehr wichtige erneuerbare Kohlenstoffquelle bei der stofflich-industriellen Nutzung sind.

**Beiträge der Bioökonomie zu Klima-/Umweltschutz und Ernährungssicherheit:** Der potenzielle Beitrag zum Klima-/Umweltschutz und Ernährungssicherung hat in jüngerer

<sup>41</sup> Diese Gemeinsamkeiten gelten weniger für die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen, die implizit ein unterschiedliches Verständnis der (potenziellen) Rolle des Staates v.a. bzgl. marktnaher Eingriffsinstrumente zugrunde legen.

Vergangenheit zur politischen Legitimation der Bioökonomie an Bedeutung gewonnen. So muss eine weltweit steigende Nachfrage nach Lebensmitteln bei gleichzeitig möglichst geringen Lasten für Klima und Ökosysteme befriedigt werden. Dies erhöht den Druck zur Entwicklung und Implementierung von bioökonomischen Lösungen und Konzepten.

**Politische Unterstützung:** Die Entwicklung zahlreicher Strategien im internationalen Raum und eine in vielen Regionen verstärkte Forschungsförderung haben bislang erheblich zur Sichtbarkeit und Community-Bildung in der Bioökonomie beigetragen. Weitere politische Unterstützung wird auch zukünftig zentral für die Bioökonomie sein, da unter den aktuellen Rahmenbedingungen biobasierte Produkte nur begrenzt wettbewerbsfähig sind.

Neben diesen Makrotreibern sind auf der Mikroebene weitere Treiber relevant wie die potenzielle Ausweitung bisheriger Geschäftstätigkeiten, neue Umsatzmöglichkeiten oder auch (in einzelnen Fällen) Kosteneinsparungen.

### 4.1.2 Hemmnisse

**Kosten:** Bei einer Vielzahl von Produkten und Prozessen ist die Kostenwettbewerbsfähigkeit gegenüber fossil-basierten Produkten nicht gegeben. Die Kosten für biobasierte Produkte liegen häufig deutlich höher (50 % und mehr). Häufig sind es FuE-Kosten, Investitionskosten für neue Anlagen, höhere Rohstoffkosten oder geringere Effizienz gegenüber der langjährig optimierten Verbundproduktion in bestehenden Industrien, die zu diesem Kostennachteil führen.

**Technologische Herausforderungen:** Während technologischer Fortschritt ein wichtiger Treiber für die Bioökonomie ist, bestehen immer noch zentrale technologische Herausforderungen beim Übergang in die Bioökonomie. Sie umfassen grundsätzlich die Entwicklung von geeigneten Prozessen zum Aufschluss von Biomasse (inkl. Reststoffe), Konversion zu Zwischen-/Endprodukten, die Entwicklung innovativer Produkte sowie die Effizienzsteigerung von etablierten Verfahrensschritten.

**Mangelndes Wissen und Zahlungsbereitschaft bei Verbrauchern:** Die grundsätzliche Akzeptanz für und das Image von biobasierten Produkten in der Bevölkerung wird in vielen Studien positiv beurteilt. Allerdings ist das Wissen der Verbraucher über biobasierte Produkte oft gering, Kennzeichnungssysteme von biobasierten Produkten und möglichen Vorteilen noch unzureichend, und (teilweise damit zusammenhängend) die Bereitschaft mehr zu zahlen oftmals nicht ausreichend, um die hohen Kostennachteile auszugleichen. Zudem gibt es bei einzelnen Technologien (z.B. synthetische Biologie) und Anwendungen (z.B. Ernährung) auch durchaus Akzeptanzprobleme.

**Finanzierungsbedarf:** Nahezu alle Studien nennen Engpässe bei der Finanzierung als einer der Haupthürden für die Bioökonomie. Häufig sind erhebliche Investitionen in FuE, Anlagen und Marktvorbereitung nötig, während es gleichzeitig schwierig ist, private Investoren zu gewinnen, aufgrund der geringen Wahrnehmung und des hohen Marktrisikos (v.a. bei neuen Produkten).

**Politische Rahmenbedingungen:** Die politischen Rahmenbedingungen gelten insgesamt häufig noch als hinderlich für die Bioökonomie, dabei sind die Argumentationen der Studien unterschiedlich. Sie umfassen z.B. die Forderung nach weitreichender Unterstützung von biobasierten Produkten (v.a. mit Nachhaltigkeitsargumenten und niedrigen Reifegraden begründet), die verbesserungsfähige Abstimmung zwischen Politikressorts, die unzureichende Stabilität und Kontinuität der politischen Rahmenbedingungen, benachteiligende Regulierungen ggü. fossil-basierten Produkten, verbesserungsfähige Governance bei der Biomassebereitstellung und Nutzungskonkurrenzen.

**Rohstoffverfügbarkeit:** Besonders bei einer Zunahme von biobasierten Produkten werden erhebliche Engpässe bei der Rohstoffverfügbarkeit befürchtet, die sich hemmend auf Kommerzialisierungsaktivitäten auswirken. Die Rohstoffverfügbarkeit betrifft dabei Fragen möglicher Nutzungskonkurrenzen, Nutzungsmöglichkeiten von Rest- und Abfallstoffen, die Rohstoffherkunft und die Nachhaltigkeit beim Anbau zusätzlicher biogener Ressourcen.

Die Studien zur Land- und Forstwirtschaft zeigen, dass einige ähnliche Hemmnisse (z.B. Vernetzung zu anderen Sektoren) existieren, insbesondere aber die gesetzlichen Standards / Regelungen und Fördermechanismen sehr spezifisch sind. Zudem sind generell die Herausforderungen beim Ausbau von Kaskaden- und Koppelnutzung zu nennen. Eine Zusammenfassung ist aufgrund des großen Unterschiedes des Fokus der betrachteten Studien nicht möglich.

## 4.2 Vorschläge zum Einbezug in ein systematisches Monitoring

Folglich gibt es bereits vielfältige empirische Untersuchungen, die sich aber aufgrund der Heterogenität der Ansätze und Untersuchungsfelder nur annäherungsweise zu einem Gesamtbild vervollständigen lassen. Die Transformation zu einer Bioökonomie ist ein komplexer vielschichtiger Prozess, der in vielen bisherigen empirischen Erhebungen nicht vollständig adressiert wird. Damit erfüllt die bisherige empirische Basis tendenziell nicht die Anforderungen eines systematischeren Monitorings.

Methodisch gibt es kein generell zu präferierendes Erhebungsinstrument bzw. dessen Zuschnitt. In Frage kommende Lösungen sind jeweils mit individuellen, verschiedenen Vor- und Nachteilen verbunden. Beispielsweise liegt bei direkten Befragungen der Akteure (z.B. Online-Befragung) der Vorteil darin, dass direkt Einschätzungen durch die Community wiedergegeben werden und der Erhebungsaufwand eher gering ist. Ist die Befragung aber nicht repräsentativ bzw. ausgewogen, kann ein verzerrtes Bild entstehen. Bisher richten sich entsprechende Befragungen meist an motivierte Personen, die die Bioökonomie stark unterstützt sehen möchten, aber andere Akteursgruppen (z.B. Unternehmen aus traditionellen Wirtschaftsbereichen, die einen Einstieg in die Bioökonomie prüfen) bleiben unterrepräsentiert.

Häufig resultieren daraus Forderungen nach hoher gesetzgeberischer Unterstützung, die aber nicht unbedingt als objektives Bild eingestuft werden können.

Verschiedene Methoden ergänzen sich deshalb in der Regel und entsprechend ist die Vielzahl an Projekten und Ansätzen grundsätzlich zu begrüßen, da sie unterschiedliche Perspektiven auf die Bioökonomie ermöglichen. Wichtige Entscheidungskriterien für einen konkreten Ansatz zur Weiterentwicklung der empirischen Basis im Rahmen eines Monitorings sind v.a. welche und wie viele Segmente der Bioökonomie abgebildet werden sollen, ob ein mehrfaches standardisiertes Vorgehen erfolgen soll, und welche Forschungstiefe beabsichtigt ist. Daneben ist das Gesamtziel einer Erhebung - von dem die Abfrage nach Treibern und Hemmnissen nur einen Teil bildet - natürlich von Relevanz, insbesondere die Frage, ob die Ableitung politischer Handlungsempfehlungen gewünscht ist oder nicht.

Auf Basis der entscheidungsrelevanten Fragen werden im Folgenden drei Ansätze skizziert mit der die empirische Basis systematisch verbessert werden kann. Diese Ansätze unterscheiden sich im Forschungsziel sowie Bearbeitungsaufwand und -methodik. Die skizzierten Elemente schließen sich zwischen den Ansätzen nicht alle aus, aber können tendenziell einer Vorgehensweise zugeordnet werden.

### **4.2.1 Statusermittlung des aktuellen Ist-Zustands und kurzfristige Entwicklung**

Ein Ansatz könnte die deskriptive Ermittlung von Treibern und Hemmnissen möglichst für die gesamte Bioökonomie mit Untergliederung nach größeren Teilsegmenten (evtl. Wirtschaftssektoren) beinhalten.

Eine Möglichkeit zur Erhebung entsprechender Indikatoren für die Bioökonomie bieten breit angelegte Innovationsbefragungen. Dieses Erhebungsinstrument wurde bereits in Kapitel 2.6 diskutiert. Zu den Vorteilen zählen die Möglichkeit, zugleich zusätzliche andere interessante Informationen zu erheben, und dass Befragungen wie der Community Innovation Survey (CIS) bzw. das Mannheimer Innovationspanel MIP (welches für Deutschland auch die Daten für den CIS liefert) repräsentativ erfolgen, die Ergebnisse also für eine gesamte Branche gelten. Der entscheidende Nachteil ist, dass in bestehenden repräsentativen Befragungen wie den oben genannten nicht alle für die Bioökonomie relevanten Branchen abgefragt werden (v.a. Land- und Forstwirtschaft fehlen), und dass der biobasierte Teilbereich nicht explizit analysiert werden kann. Dies würde nämlich eine Anpassung bzw. Erweiterung des Surveys um zusätzlich Sektoren erfordern sowie die Aufnahme von bioökonomiespezifischen Sonderfragen – wie sie bisher alle paar Jahre bei Umweltinnovationen im MIP gestellt werden.

Sofern eine solche Erweiterung sich nicht realistisch umsetzen lässt, wäre eine Befragung sinnvoll, welche möglichst nah an einer repräsentativen Umfrage ist. Die Befragung sollte sich nicht nur an Akteure richten, die im Gebiet Bioökonomie aktiv und sichtbar sind und i.d.R. die

Bioökonomie stark unterstützt sehen möchten. Vielmehr sollten auch Akteursgruppen adressiert werden, die einen Einstieg in die Bioökonomie in Erwägung ziehen (z.B. aus traditionellen Wirtschaftszweigen) oder der Bioökonomie skeptisch bis ablehnend gegenüberstehen.

Dabei sollten für alle Segmente Treiber und Hemmnisse anhand vorgegebener einheitlicher Antwortkategorien (+ Freifeldangabe) abgefragt und Häufigkeiten der Nennungen ausgewertet werden. Dieser Ansatz hat eine starke Anlehnung an den eher quantitativ ausgerichteten Monitoringansatz und ist in den Tabellen 7 und 8 näher skizziert. Die Antwortkategorien orientieren sich dabei explizit an früheren Fragebögen des Mannheimer Innovationspanels. Dort wurden z.B. für Umweltinnovationen vertiefend entsprechende Fragen gestellt.

Ein Vorteil dieses Vorgehens läge in qualitativen Einschätzungen, die prinzipiell vergleichbar über mehrere Felder der Bioökonomie wären und auch für internationale Vergleiche verwendet werden könnten. Es wäre folglich gut zu sehen, ob die Treiber und Hemmnisse ähnlich über die Felder bzw. Länder hinweg sind.

Durch eine geeignete Zusatzabfrage von "soziodemografischen Daten" (z.B. Unternehmensgröße, -aktivität, Position in der Wertschöpfungskette, FuE-Intensität, Branchenzugehörigkeit...) könnte man die Häufigkeiten der Nennungen bzw. ihre Bewertung zudem weiter aufschlüsseln, um differenziertere Aussagen treffen zu können (z.B. in FuE sind andere Treiber/Hemmnisse relevant als bei Markteinführung/-wachstum; in Branche A/bei KMU sind andere Treiber/Hemmnisse relevant als in Branche B/bei Großunternehmen).

**Tabelle 7: Welche Bedeutung haben die folgenden Treiber aktuell für Einführungen von Innovationen bei biobasierten Produkten in Deutschland? (ankreuzen)**

| Treiber   | Hoch | Mittel | Gering |
|---|------|--------|--------|
| Steigende Kosten für fossile Rohstoffe  |      |        |        |
| Derzeitige oder erwartete Nachfrage nach biobasierten Lösungen  |      |        |        |
| Bessere wirtschaftliche Performance des biobasierten Produkts /<br>Prozesses gegenüber bestehenden Lösungen |      |        |        |
| Bessere ökologische Performance des biobasierten Produkts /<br>Prozesses gegenüber bestehenden Lösungen     |      |        |        |
| Bessere Materialeigenschaften des biobasierten Produkts gegenüber<br>bestehenden Lösungen                   |      |        |        |
| Verbesserung der Reputation des Unternehmens  |      |        |        |
| Öffentliche finanzielle Förderung von Innovationsaktivitäten  |      |        |        |
| Erfüllung bestehender gesetzlicher Vorgaben/Regulierungen   |      |        |        |
| Erwartung künftiger oder geänderter gesetzlicher Regelungen   |      |        |        |
| Sonstige ...  |      |        |        |

Selbstverständlich steht und fällt die Vergleichbarkeit damit, ob ähnliche Zielgruppen in der Befragung und eine hohe Repräsentativität erreicht werden. Dies würde einen erheblichen Erhebungsaufwand bedeuten. Sofern keine Koppelung an bestehende Befragungen wie das Mannheimer Innovationspanel möglich ist – evtl. als Zusatzmodul, welches alle 3 - 4 Jahre abgefragt wird – wäre der Erhebungsaufwand sehr hoch oder es müsste der Anspruch auf Repräsentativität deutlich eingeschränkt werden. Ein weiterer Nachteil eines solchen Vorgehens ist es, dass die Ergebnisse v.a. deskriptiver Natur sind und die Treiber und Hemmnisse nicht genauer charakterisiert werden.

**Tabelle 8: Welche Bedeutung haben die folgenden Hemmnisse für Innovationsaktivitäten bei biobasierten Produkten in Deutschland? (ankreuzen)**

| Hemmnisse  | Hoch | Mittel | Gering |
|--|------|--------|--------|
| Hohes wirtschaftliches Risiko                    |      |        |        |
| Hohe Innovationskosten                           |      |        |        |
| Mangel an internen/externen Finanzierungsquellen |      |        |        |
| Interne Widerstände in Unternehmen               |      |        |        |
| Mangel an geeignetem Fachpersonal                |      |        |        |
| Fehlende technologische Informationen            |      |        |        |
| Fehlende Marktinformationen                      |      |        |        |
| Mangelnde Kundenakzeptanz / fehlende Nachfrage   |      |        |        |
| Gesetzgebung und rechtliche Regelungen           |      |        |        |
| Fehlende Standards und Normen                    |      |        |        |
| Marktdominanz durch etablierte Unternehmen       |      |        |        |
| Sonstige ...                                     |      |        |        |

#### 4.2.2 Vertiefte Analyse der Treiber und Hemmnisse

Ein zweiter Ansatz wäre, die Treiber und Hemmnisse wesentlich differenzierter als im Rahmen eines großangelegten etablierten Rankings zu ermitteln. Hierzu müsste ein differenzierteres Konzept der Treiber und Barrieren entwickelt werden, welches idealerweise nach Teilsegmenten der Bioökonomie, Stufen der Wertschöpfungskette, Reifegrad der Technologieentwicklung („Technology Readiness Level“), und Marktdiffusionsgrad unterscheidet. Gegenfalls wäre auch eine Orientierung an dem technologischen Innovationssystemansatz sinnvoll, um eine systemische Perspektive abzubilden. Dabei wären auch die systemischen Abhängigkeiten zwischen den Teilsegmenten zu berücksichtigen. Hierfür wäre für die verschiedenen Teilsegmente mit zu erfassen, welche Wirkung von Nutzungskonkurrenzen, politischen Maßnahmen, die auch andere Segmente betreffen usw. ausgeht (z.B. inwieweit Landwirtschaft und verarbeitende Industrie von Regelungen zu biogenen Ressourcen betroffen sind) und welche Alternativen ggf. zur Verfügung stehen. Empirisch wäre zunächst eine umfangreiche Literaturanalyse anhand des entwickelten Rasters kombiniert mit anschließender Expertenbefragung zur Validierung und Bewertung der Bedeutung, geeignet. Bei der Expertenbefragung wäre analog zu a) zu beachten, dass eine breite Zielgruppe zur Befragung ausgewählt wird, um eine Verzerrung zu vermeiden.

Eine solcher Ansatz würde deutlich spezifischere Einblicke ermöglichen, wo konkrete Ansatzpunkte liegen (sofern Implikationen abgeleitet werden sollen). Nachteilig wäre bei diesem

Ansatz der sehr hohe Informationsbeschaffungsaufwand und die geringe Repräsentativität aus Akteurssicht.

#### **4.2.3 Ermittlung des politischen Handlungsbedarfes und -optionen**

Einen dritten Ansatz könnte die Ermittlung von Treibern und Hemmnissen zur Ableitung von politischem Handlungsbedarf und -optionen darstellen. Dies kann im Prinzip den vorherigen empirischen Ansatz mit integrieren. Es wäre aber im jeden Fall eine konzeptionelle Einbettung möglich, die deskriptive und – sofern außerökonomische Ziele mitberücksichtigt werden – normative Perspektiven integriert. Empirisch wäre die Zusammenfassung der bisherigen Evidenz zu gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Wirkungen zu ergänzen, um so weit wie möglich einschätzen können, wie vorteilhaft die biobasierte Produktgruppe ist und ggf. wo mögliche Einschränkungen zu adressieren sind. Daneben wären Erkenntnisse bzgl. der Eignung und Wirksamkeit von politischen Instrumenten für die Bioökonomie zu integrieren.

## 5 Empfehlungen zur Weiterentwicklung der statistischen Klassifikationen

### 5.1 Fragestellung

Auf Grundlage der vorgestellten vorhandenen statistischen Datenbasis soll diskutiert werden, ob eine Weiterentwicklung der WZ 2008 - bzw. NACE-Klassifizierungen zur eindeutigeren Abbildung der Bioökonomie möglich ist, um das Bioökonomie-Monitoring zu unterstützen. Inwieweit müssten bestehende Statistiken erweitert werden, um Differenzierungsmöglichkeiten im Hinblick auf biobasierte Produkte zu bieten und kann dabei auch die Darstellung der Effekte einer Kaskaden- und Koppelnutzung von Biomasse ermöglicht werden? Dabei sind neben der WZ 2008 auch Erweiterungsmöglichkeiten von Material- und Wareneingangserhebung sowie der Produktionserhebung von Interesse.

### 5.2 Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der NACE- bzw. WZ 2008-Klassifikation

Ein erster Ansatzpunkt wäre hier, auf der Ebene der Vier- bzw. Fünfsteller eine weitere Differenzierung nach biobasierter Produktion bzw. nicht-biobasierter Produktion vorzunehmen. Dies wird hier an einem ersten Beispiel für die Textilwirtschaft dargestellt. Für folgende Gruppen bzw. Klassen der Abteilung 13 Herstellung von Textilien müsste jeweils eine Differenzierung zwischen „Herstellung von ... unter Verwendung von Naturfasern“ einerseits und „Herstellung von ... unter Verwendung von Kunstfasern oder Mischgewebe“ andererseits vorgenommen werden:

13.1 Spinnstoffaufbereitung und Spinnerei

13.2 Weberei

13.3 Veredlung von Textilien und Bekleidung

13.9 Herstellung von sonstigen Textilwaren

13.91 Herstellung von gewirktem und gestricktem Stoff

13.92 Herstellung von konfektionierten Textilwaren (ohne Bekleidung)

13.93 Herstellung von Teppichen

13.94 Herstellung von Seilerwaren

13.95 Herstellung von Vliesstoff und Erzeugnissen daraus (ohne Bekleidung)

13.96 Herstellung von technischen Textilien

13.99 Herstellung von sonstigen Textilwaren a. n. g.

Als weiteres Beispiel soll an Hand der Abteilung 20 Herstellung von chemischen Erzeugnissen bzw. der dortigen Gruppe 20.1 Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen dargestellt werden. Dort müsste für folgende Klassen jeweils eine Differenzierung zwischen „Oleochemie“ (Chemie auf Basis nachwachsender Rohstoffe) einerseits und „Petrochemie“ andererseits vorgenommen werden:

20.12 Herstellung von Farbstoffen und Pigmenten

20.14 Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien

20.15 Herstellung von Düngemitteln und Stickstoffverbindungen

20.16 Herstellung von Kunststoffen in Primärformen

Entsprechende Differenzierungen müssten auch in den sonstigen Wirtschaftszweigen des Abschnitts C Verarbeitendes Gewerbe vorgenommen werden, mit Ausnahme von ausschließlich biobasierten Bereichen wie den Abteilungen 10 Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, 11 Getränkeherstellung, 12 Tabakverarbeitung, 16 Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel), 17 Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus oder Gruppe 18.1 Herstellung von Druckerzeugnissen. Für die im ersten Zwischenbericht identifizierten relevanten Gruppen von Abschnitt F Baugewerbe müsste ebenso eine Differenzierung verwendet werden danach, ob biobasierte Materialien verwendet werden oder andere.

### **5.3 Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der Produktionsstatistik**

Während für ein nationales Monitoring theoretisch Freiräume für zusätzliche Klassifizierungen bestehen, sollten auch die aktuellen Entwicklungen der EUROSTAT-Infrastruktur in diesen Überlegungen berücksichtigt werden. 2012 wurde ein Prozess begonnen, um drei neue biobasierte Materialien in die Combined Nomenclature (CN) und auch in die europäische Industriestatistik (NACE) aufzunehmen: Bernsteinsäure, 1,4-Butandiol und biobasierte Schmierstoffe. Es hat drei Jahre gedauert, diesen Prozess abzuschließen, denn erst Ende 2015 wurden die Produktcodes im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht. Bevor ein solch langwieriger Prozess begonnen wird, wird von der Kommission und den Mitgliedstaaten bewertet, ob die Einführung solcher Codes lohnenswert ist (z.B. ob der Handel mit den betreffenden Gütern eine signifikante Wertgrenze übersteigt). Dies geschieht, um den bürokratischen Aufwand für Unternehmen und nationale statistische Ämter auf einem sinnvollen Niveau zu halten.

Die Einführung der drei neuen CN-Codes geht auf die entsprechende Empfehlung der Renewable Raw Materials (RRM) Group an die Generaldirektion Steuern und Zollnummern (DG TAXUD) zurück (Europäische Kommission 2013). Die RRM Group wurde 2001 von der Europäischen Kommission als Arbeitsgruppe aus Industrieexperten geschaffen, um das Wissen zu biobasierten

Produkten zu bündeln, Daten zu erheben und Empfehlungen auszusprechen (Parisi und Ronzon 2016).

Nach Auskunft zweier damals maßgeblich an diesem Prozess beteiligten Experten, Rolf Luther von FUCHS Lubricants und Dr. Achim Boenke, damals DG GROW, waren für die Auswahl der drei Produkte im Wesentlichen drei Faktoren maßgeblich. Diese können zumindest als Anhaltspunkte dienen, welche Argumente für eine Weiterentwicklung der Produktionsstatistik auf europäischer Ebene vorgebracht werden müssten.

Erstens wurden die Produktions- und Handelsvolumen dieser Produkte zum damaligen Zeitpunkt als bedeutsam angesehen. Nach dem „Verhaltenskodex für die Verwaltung der kombinierten Nomenklatur“ (2000/C 150/03)<sup>42</sup> sollten Grenzwerte festgelegt werden, die bei einer Streichung, Schaffung oder Beibehaltung der CN-Codes Berücksichtigung finden sollten. Der Verhaltenskodex selbst legt diese Grenzwerte jedoch nicht fest. Vereinzelt findet sich jedoch in Leitfäden zur Einführung neuer CN-Codes die Aussage, dass dieser Grenzwert bei einem Handelswert von etwa 50 Mill. € liegt (Gammon 2018). Dies deckt sich mit Aussagen der Experten Luther und Boenke.

Allerdings bedeutet dieser Grenzwert nicht, dass CN-Codes die unterhalb dieser Schwelle liegen zwangsläufig wieder gestrichen werden. In dem genannten Verhaltenskodex heißt es: „Eine KN-Unterposition kann aufrechterhalten werden, selbst wenn das Handelsvolumen unterhalb des einschlägigen statistischen Schwellenwerts liegt, wenn die Kommission oder die Mitgliedstaaten dies mit qualifizierter Mehrheit wünschen.“ Ob die Codes für biobasierte Produkte auch bei schrumpfenden Märkten aufrechterhalten werden hängt also auch vom politischen Willen für ein kontinuierliches Monitoring der Bioökonomie ab.

Zweitens wurden die Produkte als gute „Testkandidaten“ angesehen, um Lücken in der Handelsstatistik für diese Substanzklassen zu schließen. Für andere Substanzklassen lagen dagegen bereits „repräsentative“ CN-Codes vor z.B. für Polymilchsäure (39.07.70.00) und Glycerin (29.05.45.00). Hiermit ist gemeint, dass es angesichts der großen Anzahl chemischer Erzeugnisse sinnvoll ist, zumindest je Substanzklasse ein repräsentatives biobasiertes Produkt vertreten zu haben.

Drittens war für diese Produkte durch das Europäische Komitee für Normung (CEN) die Entwicklung von Standards zur Identifizierung und Messung bereits weit fortgeschritten. Tatsächlich muss für die Einführung eines biobasierten Produktes in die Statistik bereits ein CEN Standard vorliegen, der den Mindestgehalt biobasierten Kohlenstoffs sowie eine Methode für deren Messung definiert. Diese Vorgaben sind wichtig, damit Zolllabore tatsächlich eine

<sup>42</sup> <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5827025/COC-COM-NOM-DE.PDF/593049d4-fe04-4565-bbba-933e03bc03fd?version=1.0>

zolltarifliche Abgrenzung der biobasierten und konventionellen Produkte vornehmen können. Im Fall der Schmierstoffe definiert die CEN Norm EN 16807 z.B., dass ein „biobasierter Schmierstoff“ mindestens einen biobasierten Kohlenstoffgehalt von 25% haben muss und zu mindestens 60% biologisch abbaubar sein muss. Die Norm EN 16575 für biobasierte Produkte legt wiederum fest: „Das biobasierte Produkt wird üblicherweise durch den Gehalt an biobasiertem Kohlenstoff oder den biobasierten Gehalt [Anteil eines Produktes, abgeleitet aus Biomasse] charakterisiert.“

Um die Produktionsstatistik für die Identifizierung der Kaskadennutzung verwenden zu können, müsste die Erfassung der Produktionsmengen von Sekundärrohstoffen wieder aufgenommen werden, die mit der Revision der Wirtschaftszweig- und Güterklassifikation 2009 (GP 2009) aufgegeben wurde. Die aktuelle GP 2019 enthält nämlich mit Ausnahme von Produkten aus Altpapier keine Produkte, die auf die Verwendung von Sekundärrohstoffen schließen lassen.

## 5.4 Diskussion der Erweiterungsmöglichkeiten im Workshop

Gegen Ende der dreijährigen Projektlaufzeit wurde ein Workshop veranstaltet, auf dem einschlägigen Experten auf dem Gebiet der Bioökonomie die bis dahin erzielten Ergebnisse vorgestellt wurden. Die Machbarkeit derartiger Erweiterungen der amtlichen Statistik wurde im Workshop in einer Arbeitsgruppe mit Vertretern von Statistischen Ämtern, Wirtschaftsverbänden, Forschungsinstituten, Ministerien und Fachagenturen diskutiert. Insbesondere wurden folgende Fragen gestellt:

- Sind derartige Differenzierungen von den Statistischen Ämtern grundsätzlich machbar?
- Sind derartig differenzierte Angaben von der Seite der Unternehmen her grundsätzlich zu leisten?
- Wie hoch ist der Aufwand einzuschätzen?

In der Diskussion wurde zum einen empfohlen, vorhandene Marktanalysen wie z. B. der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe zu nutzen und zum anderen für zusätzliche Erhebungen die Zusammenarbeit mit den einschlägigen Verbänden zu suchen. Ein möglicher Ansatzpunkt wäre auch, die Empfänger von FuE-Fördermitteln zu befragen.

Von Verbandsseite wurde dem jedoch entgegnet, dass man sich bei Befragungen kaum auf die Verbände stützen kann. Dies liegt zum einen daran, dass First Mover ihren Wettbewerbsvorteil nicht aufs Spiel setzen wollen und zum anderen, dass die Verbände keine Erfüllungsgehilfen der Statistik sein wollen. Die Verbände genießen ein hohes Vertrauen bei ihren Mitgliedern darin, dass unternehmensbezogene Daten vertraulich behandelt werden. Als weiteres Argument gegen Verbände als Datensammler spricht, dass sich Mitgliedschaften in Verbänden oft überschneiden

und es so zu Doppelzählungen kommen kann. Die Einbeziehung von Verbänden in ein Monitoring wurde aber dennoch als sinnvoll erachtet, da diese zum einen die politische Notwendigkeit der Datenerhebung erkennen und den Unternehmen vermitteln können und zum anderen für einen Plausibilitätscheck der Daten hilfreich sind.

Daher werde es am Ende immer auf eine informierte Schätzung hinauslaufen. Es wurde zwar eingeräumt, dass der Katalog der Förderempfänger bei der FNR genutzt werden könnte, jedoch wäre es wünschenswert, Marktlösungen für eine Erhebung zu finden, m.a.W. Unternehmensberater damit zu beauftragen. Diesem Vorschlag wurde entgegnet, dass bei einer rein privatwirtschaftlichen Auftragsvergabe kein kontinuierliches, unabhängiges Monitoring gewährleistet werden kann.

Hinsichtlich einer Erweiterung der Material- und Wareneingangserhebung (MWE) wurde von Seiten der Statistischen Ämter darauf hingewiesen, dass diese nur alle 4 Jahre durchgeführt wird und nicht auf Mengen- sondern nur auf Wertangaben basiert. Soweit Nachmeldungen neuer Produkte erfolgen, führen diese zwar zu Nachprüfungen, aber nur alle 4 Jahre ist eine Aktualisierung der Produktliste möglich, für das nächste Mal also im Jahr 2022. Allerdings ist die MWE eine rein deutsche Erhebung und kann damit unabhängig von EU-Vorgaben geändert werden.

Zudem bietet die MWE keine Differenzierung zwischen Inlandseinkauf und Auslandseinkauf. Wenn neue Produkte aufgenommen werden, kann auch Handelsware darunter sein. Die MWE kann auch nicht zwischen Vorprodukt, Handelsware und Rohstoff unterscheiden. Ob die eingekauften Materialien und Waren tatsächlich im Produktionsprozess eingesetzt werden, ist nicht zu erkennen. Generell geht der Trend zur Abschaffung der MWE, der nur dadurch aufgehalten wird, dass sie für Input-Output-Analyse erforderlich ist.

Ganz generell können Geheimhaltungspflichten in der amtlichen Statistik den vorgeschlagenen Erweiterungen entgegenstehen. Im Forschungsdatenzentrum besteht Zugang zu vertraulichen Daten, die aber nur anonymisiert verwendet werden dürfen. Ein entgegengesetzter Trend liegt darin, dass einschlägige Fachserien teilweise abgeschafft werden sollen, und in GENESIS dann weniger Informationen zu finden sind als vorher in der entsprechenden Fachserie. Was das Güterverzeichnis betrifft, verfügt das Statistische Bundesamt über ein nur ganz kleines Team und Aktualisierungen werden zudem nur alle zehn Jahre vorgenommen.

Was die Erweiterungsmöglichkeiten in der Abfallstatistik betrifft, so wurde von Verbandseite darauf hingewiesen, dass es bei Schmierstoffen im Abfallschlüssel darauf ankommt, wie sie entsorgt werden: Biogene Stoffe gehen nicht in den Mineralölkreislauf ein, aber hier liegen noch keine relevanten Mengen vor. Ein Abgleich verschiedener Datenquellen wie von OECD, FAO und Statistischem Bundesamt führt zu Differenzen, aus denen etwas abgeleitet werden kann. Was die Nutzung der Abfallstatistik für die Identifizierung der Kaskaden- und Koppelnutzung betrifft, wurde thematisiert, ob sich der Aufwand dafür überhaupt lohnt. Zum einen, weil es fraglich sei,

ob die Kaskaden- und Koppelnutzung überhaupt Aussagekraft für andere Indikatoren ermöglicht und zum anderen, weil sie den „Abschlussindikator“ nicht ändert.

## 5.5 Fazit

Abschließend lässt sich folgendes Fazit ziehen, was die Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der NACE-Klassifikationen betrifft:

- Theoretisch besteht die Möglichkeit, bei vorhandenen Statistiken auf der Ebene der Vier- bzw. Fünfsteller zwischen biobasierten Produkten und sonstigen zu unterscheiden. Allerdings herrschte beim Workshop eine große Skepsis, was Sonderauswertungen betrifft, mit deren Hilfe biobasierte Materialien und Produkte identifiziert werden könnten, da der Trend eher zu einem geringeren Aufwand bei den statistischen Erhebungen geht.
- Auch bei den Produktionsstatistiken soll der bürokratische Aufwand für die Unternehmen geringgehalten werden. Allerdings wurden drei neue biobasierte Materialien in die Combined Nomenclature (CN) und auch in die europäische Industriestatistik (NACE) aufgenommen. Wenn der politische Wille dafür vorhanden ist, kann dieser Ansatz beibehalten und ggf. sogar erweitert werden. Ergänzend müssten die Produktionsmengen von Sekundärrohstoffen wieder erfasst werden.
- Die Material- und Wareneingangserhebung (MWE) könnte als rein deutsche Erhebung unabhängig von EU-Vorgaben geändert werden. Allerdings wird sie nur alle 4 Jahre durchgeführt und basiert nicht auf Mengen- sondern nur auf Wertangaben.
- Was die Nutzung der Abfallstatistik für die Identifizierung der Kaskaden- und Koppelnutzung betrifft, ist es fraglich, ob sich der Aufwand dafür überhaupt lohnt.
- Weitere Datenquellen bieten Marktanalysen wie z. B. der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe bzw. der Katalog der Förderempfänger der FNR. Eine Einbeziehung von Wirtschaftsverbänden wurde als eher problematisch eingeschätzt.
- Die Realisierungschancen einer Umstellung der Statistiken sind ungewiss und der damit einhergehende Aufwand für Unternehmen und nationale statistische Ämter ist als relativ hoch einzuschätzen.

## 6 Schlussbemerkungen

Die Bioökonomie ist eine Querschnittsbranche, die sich über viele Wirtschaftszweige der amtlichen Statistik erstreckt. Diese Eigenschaft teilt sie mit anderen modernen Wirtschaftsbereichen wie der Umweltwirtschaft oder der Gesundheitswirtschaft. In der Systematik der Wirtschaftszweige deckt sie jedoch auch auf der untersten Gliederungsebene in vielen Fällen nur einen Teilbereich der jeweiligen Wirtschaftszweige ab. Diese Querschnitts-Eigenschaft bringt es mit sich, dass die Bioökonomie wie die anderen genannten Wirtschaftsbereiche in der amtlichen Statistik nicht eindeutig abgegrenzt werden kann und ihre vollständige Abbildung und Beschreibung auf dieser Basis schwierig ist. Zwar gibt es bereits eine Reihe von Marktstudien auf nationaler und europäischer Ebene, aber die Definition von Bioökonomie und deren sektorale Abgrenzung erfolgt in den vorhandenen Studien häufig ad hoc und in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielsetzung. Dies beeinträchtigt die Vergleichbarkeit der jeweiligen Ergebnisse.

In diesem Projekt wurde eine Methode entwickelt, mit der die Querschnittsbranche Bioökonomie eindeutig, vollständig und präzise erfasst werden kann und die somit eine Grundlage für ein Monitoring der Bioökonomie bietet. Für die vorgeschlagenen Indikatoren wurden als Handreichung Berichtsblätter entwickelt (siehe 3. und 4. Zwischenbericht), an Hand derer für die einzelnen Indikatoren beschrieben wird, welche Datenbanken als Basis genutzt werden können, welche relevanten Bereiche bzw. Bioökonomieanteile dort zu finden sind, mit welcher Methode der entsprechende Indikator abgeleitet werden kann und wie eine Verknüpfung mit anderen Kennzahlen zu bewerkstelligen ist. Diese Berichtsblätter beziehen sich auf allgemeine ökonomische Indikatoren, auf Innovationsindikatoren und auf Indikatoren für Biomasseaufkommen und -verwendung. Darüber hinaus wurden die Möglichkeiten der Identifizierung von Kaskaden- und Koppelnutzungen, der Kombination von ökonomischen Kennzahlen mit ökologischen Bilanzierungen sowie der Einbeziehung von Treibern und Hemmnissen in ein systematisches Monitoring dargestellt.

Die theoretisch entwickelte Methodik wurde in einer Pilotstudie empirisch auf einige ausgewählte Bereiche der Oleochemie angewendet. Die entsprechenden Fallstudien zeigen, dass der verfolgte methodische Ansatz für die Bestimmung biobasierter Produktionsanteile grundsätzlich geeignet ist, ließen aber auch erkennen, dass seine Umsetzung für die gesamte Ökonomie sehr aufwendig sein könnte. Auf alle Fälle stellt der hier zugrundeliegende Ansatz ein Angebot dar für eine einheitliche Vorgehensweise als Grundlage eines Bioökonomie-Monitorings.

## Literaturverzeichnis

- Adler, P.; Budzinski, M.; Erdmann, G.; Majer, S.; Meisel, K.; Schock, S.; Thrän, D. (2015): Sachstandsbericht über vorhandene Grundlagen für ein Monitoring der Bioökonomie: Nachhaltigkeit und Ressourcenbasis der Bioökonomie.
- BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) (2015): Amtliche Mineralöl Daten für die Bundesrepublik Deutschland, Monat: Dezember 2015.
- BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) (2018): Erhebungskreisfirmen zum integrierten Mineralölbericht.
- Baumgärtner, L. (Statistisches Bundesamt, E204) (2018): Persönliche Mitteilung per E-Mail, 09.04.2018.
- Baumgärtner, L. (Statistisches Bundesamt, E204) (2018a): Persönliche Mitteilung per E-Mail, 22.11.2018.
- BDBe (Bundesverband der Deutschen Bioethanolwirtschaft) (2018): Die deutsche Bioethanolwirtschaft in Zahlen, <https://www.bdbe.de/daten/marktdaten-deutschland>.
- Benzing, T. (Verband der Chemischen Industrie) (2018): Persönliche Mitteilung, 7.2.2018.
- Bioökonomierat (2017): Was ist Bioökonomie? <http://biooekonomierat.de/biooekonomie/> (Zugriff am 15.03.2017)
- Bioökonomierat (2018): Was ist Bioökonomie? Online verfügbar unter <http://biooekonomierat.de/biooekonomie/>, Zugriff am 2/19/2018.
- Bio-Tic (2015): Overcoming hurdles for innovation in industrial biotechnology in Europe – BIO-TIC Market Roadmap
- BLE (2018): Ölausbeute in % laut Marktordnungswaren-Meldeverordnung (MVO). E-Mail-Korrespondenz mit Enno Mewes (Ref. 423) am 10.09.2018.
- Blind, K.; Edler, J.; Frietsch, R.; Schmoch, U. (2006): Motives to patent: Empirical evidence from Germany, in: Research Policy, Vol. 35, S. 655-672.
- BMBF (2014): Bioökonomie in Deutschland. Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft. Berlin/Bonn: BMBF.
- BMBF (2016) Bundesbericht Forschung und Innovation 2016. Ergänzungsband 1: Daten und Fakten zum deutschen Innovationssystem, Berlin/Bonn: BMBF.

- BMBF (2018) Datenband Bundesbericht Forschung und Innovation 2018. Daten und Fakten zum deutschen Forschungs- und Innovationssystem, Berlin/Bonn: BMBF.
- BMBF (2010): Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie, [https://www.bmbf.de/pub/Nationale\\_Forschungsstrategie\\_Biooekonomie\\_2030.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Nationale_Forschungsstrategie_Biooekonomie_2030.pdf).
- BMBF (2010): Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie, [https://www.bmbf.de/pub/Nationale\\_Forschungsstrategie\\_Biooekonomie\\_2030.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Nationale_Forschungsstrategie_Biooekonomie_2030.pdf).
- BMEL (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie, am 30.1.2017 im Internet unter: <https://www.bmbf.de/files/BioOekonomiestrategie.pdf>
- BMEL (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie. <https://www.bmbf.de/files/BioOekonomiestrategie.pdf> (Zugriff am 15.03.2017)
- BMEL (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Nachwachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie. März 2014. Bonn: BMEL.
- BMEL (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie, <https://www.bmbf.de/files/BioOekonomiestrategie.pdf>.
- BMEL (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie, <https://www.bmbf.de/files/BioOekonomiestrategie.pdf>.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2008): Bekanntmachung über die Förderung der angewandten Forschung auf dem Gebiet der nachwachsenden Rohstoffe im Rahmen des Förderprogramms «Nachwachsende Rohstoffe» der Bundesregierung zum Schwerpunkt «Innovative Mehrfachnutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Bioraffinerien». 24. April 2008.
- BMELV (2009): Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, [http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Aktionsplan\\_NaWaRo.pdf?blob=publicationFile](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Aktionsplan_NaWaRo.pdf?blob=publicationFile).
- BMELV, BMBF, BMU, BMWi (2012): Roadmap Bioraffinerien, <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/RoadmapBioraffinerien.pdf?blob=publicationFile>.
- BMWi (2016): Gesundheitswirtschaft - Fakten & Zahlen, Ausgabe 2016. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/gesundheitswirtschaft-fakten-zahlen-2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=14](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/gesundheitswirtschaft-fakten-zahlen-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=14)
- Boenke, A. (2018): Persönliche Mitteilung, Dezember 2018.

- Bokelmann, W., Dornberg, A., Schwerdtner, W., Kuntosch, A., Busse, M., König, B., ... & Stahlecker, T. (2012): Sektorstudie zur Untersuchung des Innovationssystems der deutschen Landwirtschaft.
- Borremans, L., Marchand, F., Visser, M., & Wauters, E. (2018): Nurturing agroforestry systems in Flanders: Analysis from an agricultural innovation systems perspective. *Agricultural Systems*, 162, 205-219.
- Bourke, R. M.; Harwood T. (2009): Food and Agriculture in Papua New Guinea. Australian National University. p. 327. ISBN 978-1-921536-60-1
- Busch, R. (2018): Sektorstudie zum Aufkommen und zur stofflichen und energetischen Verwertung von Ölen und Fetten in Deutschland (2011-2016), Erstellt im Rahmen des BMEL-Auftrages: „Erhebung, Aufbereitung und Analyse statistischer Daten zum Anbau und zur Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe und Energiepflanzen in Deutschland sowie Weiterentwicklung von Methoden hierzu (NRstat)“ FKZ 22004416.
- Busch, R. (2018): Sektorstudie zum Aufkommen und zur stofflichen und energetischen Verwertung von Ölen und Fetten in Deutschland (2011-2016), Erstellt im Rahmen des BMEL-Auftrages: „Erhebung, Aufbereitung und Analyse statistischer Daten zum Anbau und zur Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe und Energiepflanzen in Deutschland sowie Weiterentwicklung von Methoden hierzu (NRstat)“ FKZ 22004416.
- Buyny, Šárka; Klink, Steffen; Lauber, Ursula (2009): Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung. Weiterentwicklung des direkten Materialinputindikators. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Chinthapalli, R., Carus, M., Baltus, W., de Guzman, D., Käb, H., Raschka, A. und Ravenstijn, J. (2018): Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities and Trends 2017-2022, [www.bio-based.eu/reports](http://www.bio-based.eu/reports).
- Ciliberti, S., Carraresi, L., & Bröring, S. (2016): Drivers of innovation in Italy: food versus pharmaceutical industry. *British Food Journal*, 118(6), 1292-1316.
- DIN EN 16575: Deutsche Norm DIN EN 16575 „Biobasierte Produkte – Terminologie“, Oktober 2014.
- Ecoinvent (2017): Ecoinvent 3.4; <https://www.ecoinvent.org/> (Zugriff am 02.10.2018)
- Ecoinvent: Ecoinvent 3.4. Online verfügbar unter <http://www.ecoinvent.org/>, Zugriff am 12/20/2017.

- Efken J., Banse M., Rothe A., Dieter M., Dirksmeyer W., Ebeling M., Fluck K., Hansen H., Kreins P., Seintsch B., Schweinle J., Strohm K., Weimar H. (2012): Volkswirtschaftliche Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland, Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 07/2012.
- Efken, J., Dirksmeyer, W., Kreins, P., Knecht, M. (2016): Measuring the importance of the bioeconomy in Germany: Concept and illustration, NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, Vol. 77, Juni 2016, 9–17.
- Efken, Josef; Dirksmeyer, Walter; Kreins, Peter; Knecht, Marius (2016): Measuring the importance of the bioeconomy in Germany. Concept and illustration. In NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences 77, pp. 9–17. DOI: 10.1016/j.njas.2016.03.008.
- Europäische Kommission (2011): BESCHLUSS DER KOMMISSION vom 18. November 2011 mit Vorschriften und Berechnungsmethoden für die Überprüfung der Einhaltung der Zielvorgaben gemäß Artikel 11 Absatz 2 der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, [http://www.avocado.de/fileadmin/user\\_upload/infopool/pcl/gesetze-verordnungenrichtlinien/Berechnungsmethode\\_zur\\_Abfallrahmenrichtlinie\\_11.2011.pdf](http://www.avocado.de/fileadmin/user_upload/infopool/pcl/gesetze-verordnungenrichtlinien/Berechnungsmethode_zur_Abfallrahmenrichtlinie_11.2011.pdf).
- Europäische Kommission (2012): Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe.
- Europäische Kommission (2013): 5th Seminar of European Customs Chemists, [https://ec.europa.eu/taxation\\_customs/sites/taxation/files/docs/body/5secc\\_overview\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/taxation_customs/sites/taxation/files/docs/body/5secc_overview_report.pdf).
- Europäische Kommission (2013): 5th Seminar of European Customs Chemists, [https://ec.europa.eu/taxation\\_customs/sites/taxation/files/docs/body/5secc\\_overview\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/taxation_customs/sites/taxation/files/docs/body/5secc_overview_report.pdf).
- Europäische Kommission (2018): Leitlinien für die Nutzung von Lebensmitteln, die nicht mehr für den menschlichen Verzehr bestimmt sind, als Futtermittel, in: Amtsblatt der Europäischen Union, C 133/2, vom 16.04. 2018.
- Europäische Kommission (2018): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und der Ausschuss der Regionen über einen Überwachungsrahmen für die Kreislaufwirtschaft, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0029 &from =DE>.
- Eurostat (2016): PRODCOM List 2016, <http://www.statistics.gr/documents/20181/986974/PRODCOM+Descriptions+%28+2016+%29/ed0fdcb2-c5ea-45b7-a098-5f845c7148c2?version=1.0>.
- Eurostat (2017): Indikatoren der Kreislaufwirtschaft, [http://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node\\_code=cei\\_srm030](http://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node_code=cei_srm030).

- Eurostat (2018): Korrespondenztabelle CN 2015 – CPA 2.1, [http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/rerelations/index.cfm?TargetUrl=LST\\_LINK&StrNomRelCode=CN%202015%20-%20CPA%202.1&StrLanguageCode=EN](http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/rerelations/index.cfm?TargetUrl=LST_LINK&StrNomRelCode=CN%202015%20-%20CPA%202.1&StrLanguageCode=EN).
- FAOStat (2018): Crops. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Zugriff am 02.10.2018).
- Fehrenbach, H., Köppen, S., Kauertz, B., Detzel, A., Wellenreuther, F., Breitmayer, E., Essel, R., Carus, M., Kay, S., Wern, B., Baur, F., Biengen, K., von Geibler, J. (2017): BIOMASSEKASKADEN: Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis; Umweltbundesamt (Hrsg) (Texte 53/2017), 17/06.
- Figueiredo, F.; Castanheira, E. G.; Freire, F. (2012): LCA of sunflower oil addressing alternative land use change scenarios and practices. 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, 1.-4.10.2012
- Fischer, Günther; Tramberend, Sylvia; Bruckner, Martin; Lieber, Mirko (2017): Quantifying the land footprint of Germany and the EU using a hybrid accounting model. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-06\\_texte\\_78-2017\\_quantifying-land-footprint.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-06_texte_78-2017_quantifying-land-footprint.pdf), Zugriff am 3/13/2018.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR (2014): Marktanalyse nachwachsende Rohstoffe. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, 34).
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR (2018): Sektorstudie zum Aufkommen und zur stofflichen und energetischen Verwertung von Ölen und Fetten in Deutschland (2011-2016), <https://fnr.de/fileadmin/fnr/pdf/mediathek/22004416.pdf>
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR (2017): Entwicklung Biodiesel-Produktion und -Absatz in Deutschland, <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biokraftstoffe/entwicklung-biodiesel-in-deutschland.html>.
- Frietsch, R., Schmoch, U. (2010): Transnational patents and international markets, in: Scientometrics, Vol. 85, S. 185-200.
- Frost & Sullivan, Strategic Analysis of the Global Lubricant Market and the Impact of Bio-based Feedstock North America and Europe Push Premium, Sustainable Lubricants over Volume. M9FB-39, January 2014
- Gammon, M. (2018): Proposing a change to the Combined Nomenclature (CN), <https://www.uktradeinfo.com/CodesAndGuides/GoodClassificationSystems/Pages/CNDocuments.aspx>.

- Gehrke, B.; John, K.; Kerst, C.; Wieck, M (2017): Bildung und Qualifikation als Grundlage der technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2017, Studien zum deutschen Innovationssystem, Berlin: EFI.
- Gehrke, Birgit; Schasse, Ulrich (2015): Die Umweltschutzwirtschaft in Deutschland - Produktion, Umsatz und Außenhandel; Hrsg.: Umweltbundesamt, Reihe „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ 04/2015, Dessau-Roßlau.
- Giurca, A., & Späth, P. (2017): A forest-based bioeconomy for Germany? Strengths, weaknesses and policy options for lignocellulosic biorefineries. *Journal of Cleaner Production*, 153, 51-62.
- Golembiewski, B., Sick, N., & Bröring, S. (2015): Patterns of convergence within the emerging bioeconomy—The case of the agricultural and energy sector. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 12(03), 1550012.
- Heijungs, Reinout; Settanni, Ettore; Guinée, Jeroen (2013): Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: unifying LCA and LCC. In *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18 (9), pp. 1722–1733. DOI: 10.1007/s11367-012-0461-4.
- Heinze, A. (Statistisches Bundesamt) (2017): Persönliche Kommunikation, Februar 2017.
- Hellsmark, H., Mossberg, J., Söderholm, P., & Frishammar, J. (2016): Innovation system strengths and weaknesses in progressing sustainable technology: the case of Swedish biorefinery development. *Journal of Cleaner Production*, 131, 702-715.
- Hill, K.; Rhode, O. (1999): Sugar-based surfactants for consumer products and technical applications. *Lipid Science*, 101 (1), pp. 25-33. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4133\(19991\)101:1<25::AID-LIPI25>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4133(19991)101:1<25::AID-LIPI25>3.0.CO;2-N)
- Hodgson, E., Ruiz-Molina, M. E., Marazza, D., Pogrebnyakova, E., Burns, C., Higson, A., ... & Noël, Y. (2016): Horizon scanning the European bio-based economy: a novel approach to the identification of barriers and key policy interventions from stakeholders in multiple sectors and regions. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 10(5), 508-522.
- Horbach, Jens; Blien, Uwe; von Hauff, Michael (2001): Beschäftigung im Umweltschutzsektor in Deutschland – Eine empirische Analyse auf der Basis des IAB-Betriebspanels, Januar 2001.  
[http://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/Mineraloel/moel\\_erhebungskreisliste.html](http://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/Mineraloel/moel_erhebungskreisliste.html).

- IfBB (2017): Biopolymers – Facts and Statistics. [https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/faltblaetter\\_broschueren/Biopolymers-Facts-Statistics\\_2017.pdf](https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/faltblaetter_broschueren/Biopolymers-Facts-Statistics_2017.pdf) (Zugriff am 02.10.2018)
- Jander, Wiebke; Grundmann, Philipp (2019): Monitoring the Transition towards a Bioeconomy: A General Framework and a Specific Indicator. <Submitted manuscript>.
- Joint Research Centre (JRC) (2014): Bioeconomy Information System and Observatory Project, Set up of the Bioeconomy Observatory - Methodology Report, Brussels: European Commission.
- Kaumanns, Sven C.; Lauber, Ursula (2016): Rohstoffe für Deutschland. Bedarfsanalyse für Konsum, Investition und Export auf Makro- und Mesoebene. UBA Texte. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Texte, 62).
- Kitzes, Justin (2013): An Introduction to Environmentally-Extended Input-Output Analysis. In: Resources 2 (4), S. 489–503. DOI: 10.3390/resources2040489.
- Kline Group (2017): Bio-lubricants: Market Analysis and Opportunities, <https://www.kline-group.com/reports/bio-lubricants.asp>
- Kuokkanen, A., Mikkilä, M., Kahiluoto, H., Kuisma, M., & Linnanen, L. (2016): Not only peasants' issue: Stakeholders' perceptions of failures inhibiting system innovation in nutrient economy. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 20, 75-85.
- Legler, H. et al. (2006): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz, Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich, Dessau, Umweltbundesamt.
- Lemke, Manfred; Wackerbauer, Johann (2000): Handbuch der Umweltschutzwirtschaft – Definitionen, Marktstudien, Potentialanalysen, Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie, Oldenbourg, München, Wien.
- Lindner, Jan Paul (2014): Biologische Vielfalt in Ökobilanzen verankern. In *ÖW* 29 (3), p. 8. DOI: 10.14512/OEW290308.
- Luther, R. (2018): Kick-off meeting core group bio-based experts, Vortrag, 27.09.2018.
- Luther, R. (2018): Persönliche Mitteilung, Dezember 2018.
- Maier, S.; Oehmichen, K. (2010): Mögliche Ansätze zur Optimierung der THG-Bilanz von Biodiesel aus Raps. Deutsches BiomasseForschungszentrum (DBFZ). [https://www.ufop.de/files/5213/3907/5358/Optimierung\\_der\\_THG-Bilanz\\_von\\_RME.pdf](https://www.ufop.de/files/5213/3907/5358/Optimierung_der_THG-Bilanz_von_RME.pdf) (Zugriff am 02.10.2018)

- Manfredi, S.; Allacker, K; Chomkhamsri, K.; Pelletier, N.; de Souza, D. M. : Product Environmental Footprint (PEF) Guide. European Commission – Joint Research Centre. <http://ec.europa.eu/environment/eusd/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf> (Zugriff am 02.10.2018).
- Market & Markets (2017a): Bio-Lubricant Market by Base Oil Type (Vegetable Oil, Animal Fat), Application (Hydraulic Fluids, Metalworking Fluids, Chainsaw Oils, Mold Release Agents), End Use (Industrial, Commercial Transport, Consumer Automobile) - Global Forecast to 2022. <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/biolubricants.asp>
- Market & Markets (2017b): Biosurfactants Market by Type (Glycolipids (Sphorolipids, Rhamnolipids), Lipopeptides, Phospholipids, Polymeric Biosurfactants), Application (Detergents, Personal Care, Agricultural Chemicals, Food Processing), and Region - Global Forecast to 2022, [https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/biosurfactant-market-163644922.html?gclid=EAlaIqobChMI87DiybL92gIVwuFRCh35qAdFEAYASAAEgIP-mvD\\_BwEMarkets%20and%20Markets](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/biosurfactant-market-163644922.html?gclid=EAlaIqobChMI87DiybL92gIVwuFRCh35qAdFEAYASAAEgIP-mvD_BwEMarkets%20and%20Markets)
- Mathijs, E., Brunori, G., Carus, M., Griffon, L. Last (2015): Sustainable Agriculture, Forestry and Fisheries in the Bioeconomy. A Challenge for Europe. 4th SCAR Foresight Exercise; European Commission - DG Research and Innovation.
- Meyer, Wolfgang (2017): Einführung in die Grundlagen der Entwicklung von Indikatoren. In Angela Wroblewski, Udo Kelle, Florian Reith (Eds.): Gleichstellung messbar machen. Grundlagen und Anwendungen von Gender- und Gleichstellungsindikatoren. Wiesbaden: Springer VS, pp. 15–38.
- Millenium Ecosystem Assessment (MA) (2005): Ecosystems and Human Well-Being – Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Nattrass, L., Biggs, C., Bauen, A., Parisi, C., Rodríguez-Cerezo, E., & Gómez-Barbero, M. (2016): The EU bio-based industry: results from a survey. Institute for Prospective and Technological Studies, Joint Research Centre, European Commission
- NOVA (2018): Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities and Trends 2017-2022
- Nova-Institut (2015): Definition, Calculation and Comparison of the „Biomass Utilization Efficiency (BUE)“ of Various Bio-based Chemicals, Polymers and Fuels. Nova paper #8. <http://bio-based.eu/nova-papers/#novapaper8en> (Zugriff am 02.10.2018)
- O’Sullivan, M., Edler, D. und Lehr, U. (2018): Ökonomische Indikatoren des Energiesystems: Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000 – 2016, [https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.580944.de/diwkompakt\\_2018-127.pdf](https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.580944.de/diwkompakt_2018-127.pdf).

- O'Brien, M., Wechsler, D., Bringezu, S., Arnold, K. (2015): Sachstandsbericht über vorhandene Grundlagen und Beiträge für ein Monitoring der Bioökonomie: systemische Betrachtung und Modellierung der Bioökonomie. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.
- OECD (1999): The Environmental Goods and Services Industry – Manual for Data Collection and Analysis, Paris.
- OECD (2017): The next production revolution - Implications for governments and business. Paris
- Parisi, C. und Ronzon T. (2016): A global view of bio-based industries: benchmarking and monitoring their economic importance and future developments, JRC Technical Reports, <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC103038/lb-na-28376-en-n.pdf>.
- Paulus, W., Matthes, B. (2013): Klassifikation der Berufe \* Struktur, Codierung und Umsteigeschlüssel. (FDZ-Methodenreport, 08/2013 (de))
- Philippidis, G., M'Barek, R. und Ferrari, E. (2016): Drivers of The European Bioeconomy in Transition (BioEconomy2030), an exploratory, model-based assessment; EUR 27563 EN; doi:10.2791/529794.
- Piotrowski, S., Carus, M. und Carrez, D. (2016): European Bioeconomy in Figures, [http://biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/downloads/20160302\\_Bioeconomy\\_in\\_figures.pdf](http://biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/downloads/20160302_Bioeconomy_in_figures.pdf).
- Piotrowski, S., Carus, M. und Carrez, D. (2018): European Bioeconomy in Figures 2008 - 2015, [https://biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/documents/European\\_Bioeconomy\\_in\\_Figures\\_2008-2015\\_06042018.pdf](https://biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/documents/European_Bioeconomy_in_Figures_2008-2015_06042018.pdf).
- Purkus, A., Hagemann, N., Bedtke, N., & Gawel, E. (2018): Towards a sustainable innovation system for the German wood-based bioeconomy: implications for policy design. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3955-3968.
- Ronzon, T.; Lusser, M.; Klinkenberg, M. (ed.); Landa, L.; Sanchez Lopez, J. (ed.); M'Barek, R. et al. (2017): Bioeconomy Report 2016 (JRC Scientific and Policy Report).
- Rose, A., McNiven, C. (2006) 'Biotechnology: from measures of activities, linkages and outcomes to impact science, technology and innovation indicators in a changing world: responding to policy needs', a selection of the papers discussed at the OECD Blue Sky II Forum, OECD, Paris, S.215–230.
- Schellhorn, S. (Statistisches Bundesamt) (2018): Auskunft zu Statistiken der Abfallwirtschaft, 22.02.2018.

- Schuh, M.; Flachmann, C. (2018): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Flächenbelegung von Ernährungsgütern – Methoden und Konzepte. Statistisches Bundesamt
- Statistisches Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige Ausgabe 2008 (WZ 2008), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2012): Test des OECD-Indikatorensets Green Growth in Deutschland, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2013): Material- und Wareneingangserhebung im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden. <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/AlteAusgaben/MaterialundWareneingangserhebungAlt.html>, zuletzt besucht am 03.08.2017.
- Statistisches Bundesamt (2013a): Fachserie 19, Reihe 3.3.: Umsatz mit Umweltschutzgütern und Umweltschutzleistungen 2011, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2013b): Material- und Wareneingangserhebung, Fachserie 4 Reihe 4.2.4 – 2010, <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Strukturdaten/MaterialundWareneingangserhebung.html>.
- Statistisches Bundesamt (2016): Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden, Tabelle 2: Energieverbrauch nach Energieträgern, Deutschland, 2015.
- Statistisches Bundesamt (2016a): Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe 2016.
- Statistisches Bundesamt (2017): Umwelt – Abfallentsorgung 2015, [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallentsorgung2190100157004.pdf;jsessionid=F0D6F98669962CC82A28C38159F26704.InternetLive2?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallentsorgung2190100157004.pdf;jsessionid=F0D6F98669962CC82A28C38159F26704.InternetLive2?__blob=publicationFile).
- Statistisches Bundesamt (2017a): Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Qualitaetsberichte/Energie/EnergieverwendungBetriebe060.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Qualitaetsberichte/Energie/EnergieverwendungBetriebe060.pdf?__blob=publicationFile), Zugriff am 3/13/2018.
- Statistisches Bundesamt (2017b): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2016.

Statistisches Bundesamt (2017c): Umwelt – Abfallbilanz 2015: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallbilanz-PDF\\_5321001.pdf?blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallbilanz-PDF_5321001.pdf?blob=publicationFile).

Statistisches Bundesamt (2017d): Material- und Wareneingangserhebung, Fachserie 4 Reihe 4.2.4 – 2014, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Struktur/material-und-wareneingangserhebung-2040424149005.html>.

Statistisches Bundesamt (2018): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten, 2010 bis 2014. Wiesbaden. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/EnergieRohstoffe/Rohstoffaequivalente\\_5853101149004.pdf?blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/EnergieRohstoffe/Rohstoffaequivalente_5853101149004.pdf?blob=publicationFile), Zugriff am 3/13/2018.

Statistisches Bundesamt (2018a): Erhebung über Biotreibstoffe, Qualitätsbericht 2017, [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Qualitaetsberichte/Energie/Biotreibstoffe063.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Qualitaetsberichte/Energie/Biotreibstoffe063.pdf?__blob=publicationFile)

Stifterverband Wissenschaft (2017a): Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft. arendi. Analysen 2017, Essen: Stifterverband.

Stifterverband Wissenschaft (2017b): Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft. arendi. Zahlenwerk 2017, Essen: Stifterverband.

Taylor, R., Nattrass, L., Alberts, G., Robson, P., Chudziak, C., Bauen, A., ... & Chiaramonti, D. (2015): From the sugar platform to biofuels and biochemicals: final report for the European Commission Directorate-General Energy. E4tech/Re-CORD/Wageningen UR.

TechSci Research (2017): Global Organic Cosmetics Market Forecast & Opportunities, 2021 <https://www.techsciresearch.com/news/2274-organic-cosmetics-market-to-grow-at-13-till-2021.html>

Umweltbundesamt (2013): Ökobilanz. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekobilanz>, Zugriff am 3/13/2018.

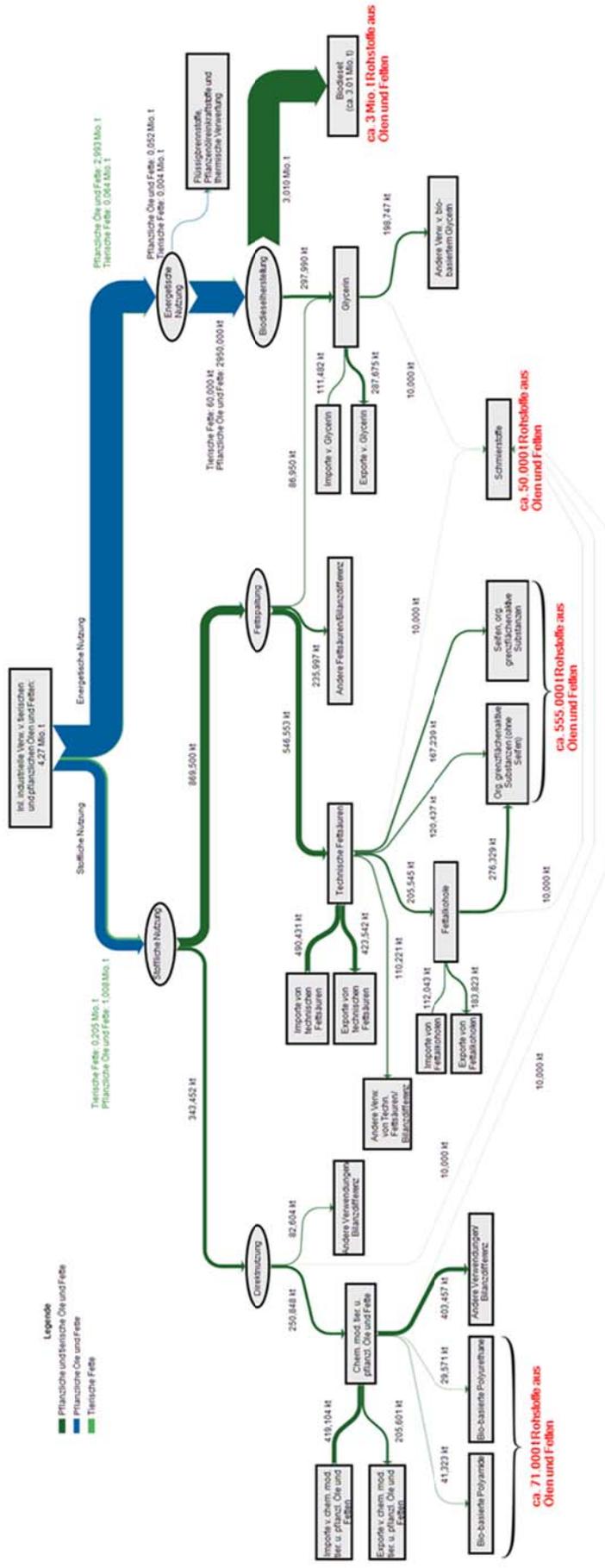
Umweltbundesamt (2014): Ökologische Innovationspolitik–Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse. UBA-Texte, 1, 2014.

Umweltbundesamt (2018): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2016. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-24\\_climate-change\\_12-2018\\_nir\\_2018.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-24_climate-change_12-2018_nir_2018.pdf)

- Umweltbundesamt (2018): PRTR-Gesamtdatenbestand (Stand: 20.09.2017), <https://www.thru.de/thrude/downloads/>.
- Van Gelder, J. W. (2004): Greasy Palms: European buyers of Indonesian palm oil. Friends of the Earth. [http://fuelresponsibly.org/doc/greasy\\_palms\\_buyers.pdf](http://fuelresponsibly.org/doc/greasy_palms_buyers.pdf) (Zugriff am 02.10.2018)
- Vis M., Mantau, U. und Allen, B. (Hrsg.) (2016): Study on the optimised cascading use of wood. No 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Endbericht, Brüssel 2016,
- Wackerbauer, J., Rave, T. und Triebswetter, U. (2014): Umweltwirtschaftsindex: Umfrage zur Lage und Entwicklung der Umweltwirtschaft, Umwelt, Innovation, Beschäftigung 04-2014, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Weiss, Martin; Haufe, Juliane; Carus, Michael; Brandão, Miguel; Bringezu, Stefan; Hermann, Barbara; Patel, Martin K. (2012): A Review of the Environmental Impacts of Biobased Materials. In: *Journal of Industrial Ecology* 16, S169-S181. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2012.00468.x.
- Wydra, S., Hüsing, B., Fischer, P., Jäger, A., Horvat, D. (2017): Brochure. Priorities for Addressing Opportunities and Gaps of Industrial Biotechnology for an efficient use of funding resources project.
- Zinke, H.; El-Chichakli, B.; Dieckhoff, P.; Wydra, S.; Hüsing, B. (2016): Bioökonomie für die Industrialisation. Ausgangslage für biobasierte Innovationen in Deutschland verbessern. Hintergrundpapier zum Bioökonomie-Innovationssystem
- Zotz, F., Weißenbacher, J., Dollhofer, M., Greßmann, A. (2016): Evaluation der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Wegfalls der Heizwertregelung des § 8 Abs. 3 Satz 1 KrWG, Texte, 21/2016, UBA-FB 002298.

Anhang 1: Sankey-Diagramm

## Stoffstrombilanz für pflanzliche und tierische Öle und Fette in Deutschland, 2015



## Anhang 2: Beispielrechnungen für die Ermittlung der biobasierten Anteile in den Untersuchungsbereichen der Pilotstudie

### Berechnung des Anteils von Polyamid und Polyurethane an WZ 20.16 H. v. Kunststoffen in Primärformen

| Deutschland 2015 |                                   | Produktionswert | Davon biobasiert |         |
|------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|---------|
|                  |                                   |                 | Mill. €          | Mill. € |
| 20.16.54.50      | Polyamid                          | 1945            | 39               | 2,0%    |
| 20.16.54.90      | Andere Polyamide                  | 478             | 10               | 2,1%    |
| 20.16.56.70      | Polyurethane                      | 2068            | 21               | 1,0%    |
|                  | Summe                             | 4491            | 70               |         |
| WZ 20.16         | H.v. Kunststoffen in Primärformen | 24508           | 70               | 0,29%   |

|      | Indikator                                | WZ 20.16 | BÖ-Anteil | Aktuelles Jahr |
|------|--|----------|-----------|----------------|
| A1   | Anzahl der Unternehmen                   | 435      | 1,2       | 2016           |
| A2   | Anzahl der Betriebe                      | 224      | 0,6       | 2017           |
| A3   | Umsatz (ohne Umsatzsteuer)               | 26534    | 75,8      | 2017           |
| A4a  | Inlandsumsatz                            | 10418    | 29,8      | 2017           |
| A4b  | Auslandsumsatz                           | 16116    | 46,0      | 2017           |
| A5   | Bruttolohn- und Gehaltssumme             | 3207     | 9,2       | 2017           |
| A6   | Tätige Personen (Anzahl)                 | 48558    | 139       | 2017           |
| A 7  | Arbeitsintensität                        | ---      |           |                |
| A 8  | Investitionen                            | 810,6    | 2         | 2016           |
| A 9  | Bruttoproduktionswert                    | 29357    | 84        | 2016           |
| A 10 | Materialverbrauch                        | 17991    | 51        | 2016           |
| A 11 | Sonstige Vorleistungen                   | 4096     | 12        | 2016           |
| A 12 | Nettoproduktionswert                     | 11366    | 32        | 2016           |
| A 13 | Bruttowertschöpfung zu Marktpreisen      | 7270     | 21        | 2016           |
| A 14 | Verbrauchssteuern                        | ---      |           |                |
| A 15 | Kostensteuern abzüglich Subventionen     | 207      | 1         | 2016           |
| A 16 | Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten      | 7063     | 20        | 2016           |
| A 17 | Abschreibungen                           | 934      | 3         | 2016           |
| A 18 | Nettowertschöpfung zu Faktorkosten       | 6129     | 18        | 2016           |
| A 19 | Bruttoeinkommen aus selbständiger Arbeit | ---      |           |                |
| A 20 | Subventionen                             | ---      |           |                |

**Berechnung des Anteils biobasierter Tenside und Seifen an WZ-Klasse 20.41 H. v. Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln**

| Deutschland 2015 |   | Produktionswert | Davon      |       | Anteil |
|------------------|---|-----------------|------------|-------|--------|
|                  |   |                 | biobasiert |       |        |
|                  |   | Mill. €         | Mill. €    |       |        |
| 20.41.20         | Organische grenzflächenaktive Stoffe (ohne Seifen)  | 1.641           | 540        | 32,9% |        |
| 20.41.31         | Seifen  | 198             | 178        | 89,9% |        |
|                  | Summe   | 1839            | 718        |       |        |
| WZ 20.41         | H. v. Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln | 5356            | 718        | 13,4% |        |

| Indikator |  | WZ 20.41 | BÖ-Anteil | Aktuelles Jahr |
|-----------|--|----------|-----------|----------------|
| A1        | Anzahl der Unternehmen                   | 367      | 49,2      | 2016           |
| A2        | Anzahl der Betriebe                      | 133      | 17,8      | 2017           |
| A3        | Umsatz (ohne Umsatzsteuer)               | 6740     | 903,5     | 2017           |
| A4a       | Inlandsumsatz                            | 4095     | 549,0     | 2017           |
| A4b       | Auslandsumsatz                           | 2646     | 354,7     | 2017           |
| A5        | Bruttolohn- und Gehaltssumme             | 1174     | 157,4     | 2017           |
| A6        | Tätige Personen (Anzahl)                 | 20755    | 2782,3    | 2017           |
| A 7       | Arbeitsintensität                        | ---      |           |                |
| A 8       | Investitionen                            | 333      | 44,6      | 2016           |
| A 9       | Bruttoproduktionswert                    | 10878    | 1458,3    | 2016           |
| A 10      | Materialverbrauch                        | 5380     | 721,2     | 2016           |
| A 11      | Sonstige Vorleistungen                   | 1993     | 267,2     | 2016           |
| A 12      | Nettoproduktionswert                     | 5498     | 737,0     | 2016           |
| A 13      | Bruttowertschöpfung zu Marktpreisen      | 3505     | 470       | 2016           |
| A 14      | Verbrauchssteuern                        | ---      |           |                |
| A 15      | Kostensteuern abzüglich Subventionen     | 210      | 28        | 2016           |
| A 16      | Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten      | 3294     | 442       | 2016           |
| A 17      | Abschreibungen                           | 270      | 36        | 2016           |
| A 18      | Nettowertschöpfung zu Faktorkosten       | 3205     | 430       | 2016           |
| A 19      | Bruttoeinkommen aus selbständiger Arbeit | ---      |           |                |
| A 20      | Subventionen                             | ---      |           |                |

**Berechnung des Anteils biobasierter Schmierstoffe an WZ 20.59 H. v. sonstigen chemischen Erzeugnissen**

| Deutschland 2015 |   | Produktionswert | Davon      |        |
|------------------|---|-----------------|------------|--------|
|                  |   |                 | biobasiert | Anteil |
|                  |   | Mill. €         | Mill. €    |        |
| 20.59.41         | Zubereitete Schmiermittel               | 707             | 152,16     | 21,5%  |
| WZ 20.59         | H. v. sonstigen chemischen Erzeugnissen | 16.394          | 152,16     | 0,93%  |

| Indikator |  | WZ 20.59 | BÖ-Anteil | Aktuelles Jahr |
|-----------|--|----------|-----------|----------------|
| A1        | Anzahl der Unternehmen                   | 1053     | 9,8       | 2016           |
| A2        | Anzahl der Betriebe                      | 343      | 3,2       | 2017           |
| A3        | Umsatz (ohne Umsatzsteuer)               | 18947    | 175,9     | 2017           |
| A4a       | Inlandsumsatz                            | 8013     | 74,4      | 2017           |
| A4b       | Auslandsumsatz                           | 10934    | 101,5     | 2017           |
| A5        | Bruttolohn- und Gehaltssumme             | 2745     | 25,5      | 2017           |
| A6        | Tätige Personen (Anzahl)                 | 47309    | 439       | 2017           |
| A 7       | Arbeitsintensität                        | ---      |           |                |
| A 8       | Investitionen                            | 495      | 4,6       | 2016           |
| A 9       | Bruttoproduktionswert                    | 23237    | 215,7     | 2016           |
| A 10      | Materialverbrauch                        | 15436    | 143,3     | 2016           |
| A 11      | Sonstige Vorleistungen                   | 2715     | 25,2      | 2016           |
| A 12      | Nettoproduktionswert                     | 7801     | 72,4      | 2016           |
| A 13      | Bruttowertschöpfung zu Marktpreisen      | 5086     | 47,2      | 2016           |
| A 14      | Verbrauchssteuern                        | ---      |           |                |
| A 15      | Kostensteuern abzüglich Subventionen     | 83       | 0,8       | 2016           |
| A 16      | Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten      | 5003     | 46,4      | 2016           |
| A 17      | Abschreibungen                           | 524      | 4,9       | 2016           |
| A 18      | Nettowertschöpfung zu Faktorkosten       | 4479     | 41,6      | 2016           |
| A 19      | Bruttoeinkommen aus selbständiger Arbeit | ---      |           |                |
| A 20      | Subventionen                             | ---      |           |                |

**Berechnung des Anteils Biokraftstoffe, Dieseleratz an WZ 20.59 H. v. sonstigen chemischen Erzeugnissen**

| Deutschland 2015 |   | Produktionswert | Davon   |            | Anteil |
|------------------|---|-----------------|---------|------------|--------|
|                  |   |                 | Mill. € | biobasiert |        |
| 20.59.59.903     | Biokraftstoffe, Dieseleratz             | 1,121           | 1,121   |            | 100,0% |
| WZ 20.59         | H. v. sonstigen chemischen Erzeugnissen | 16.394          | 1,121   |            | 6,8%   |

| Indikator | WZ 20.59                                 | BÖ -     |        | Aktuelles Jahr |
|-----------|--|----------|--------|----------------|
|           |  | WZ 20.59 | Anteil |                |
| A1        | Anzahl der Unternehmen                   | 1053     | 72,0   | 2016           |
| A2        | Anzahl der Betriebe                      | 343      | 23,5   | 2017           |
| A3        | Umsatz (ohne Umsatzsteuer)               | 18947    | 1296,0 | 2017           |
| A4a       | Inlandsumsatz                            | 8013     | 548,1  | 2017           |
| A4b       | Auslandsumsatz                           | 10934    | 747,9  | 2017           |
| A5        | Bruttolohn- und Gehaltssumme             | 2745     | 187,8  | 2017           |
| A6        | Tätige Personen (Anzahl)                 | 47309    | 3236   | 2017           |
| A 7       | Arbeitsintensität                        | ---      |        |                |
| A 8       | Investitionen                            | 495      | 33,9   | 2016           |
| A 9       | Bruttoproduktionswert                    | 23237    | 1589,4 | 2016           |
| A 10      | Materialverbrauch                        | 15436    | 1055,8 | 2016           |
| A 11      | Sonstige Vorleistungen                   | 2715     | 185,7  | 2016           |
| A 12      | Nettoproduktionswert                     | 7801     | 533,6  | 2016           |
| A 13      | Bruttowertschöpfung zu Marktpreisen      | 5086     | 347,9  | 2016           |
| A 14      | Verbrauchssteuern                        | ---      |        |                |
| A 15      | Kostensteuern abzüglich Subventionen     | 83       | 5,7    | 2016           |
| A 16      | Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten      | 5003     | 342,2  | 2016           |
| A 17      | Abschreibungen                           | 524      | 35,8   | 2016           |
| A 18      | Nettowertschöpfung zu Faktorkosten       | 4479     | 306,4  | 2016           |
| A 19      | Bruttoeinkommen aus selbständiger Arbeit | ---      |        |                |
| A 20      | Subventionen                             | ---      |        |                |

## Anhang 3: Studien zu Treibern und Hemmnissen in der Bioökonomie

| Autor Kurzname  | Titel  | Untersuchungsfeld    | Erhebungszeitraum | Land                       | Methode  | Zentrale Ergebnisse  |
|---|--|----------------------|-------------------|----------------------------|--|--|
| <b>Studien zur industriellen (non-food) Nutzung biogener Ressourcen</b> |  |                      |                   |                            |  |  |
| Natthass et al. 2016  | The EU bio-based industry: Results from a survey | biobasierte Produkte | März 15           | EU/ weite außerhalb der EU | Umfrage, basierend auf strukturiertem Fragebogen mit über 75 Fragen, n=133 Unternehmen | <p>Ranking von 12 Einschränkungen und 13 Treibern</p> <p><b>5 häufigste Einschränkungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Höhere Produktionskosten im Vergleich zu existierenden fossilen Alternativen</li> <li>- Technologische Reife oder Risiko im Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Verfahren</li> <li>- Verfügbarkeit von Mitteln für notwendige FuE</li> <li>- Verfügbarkeit von Mitteln zur Investition in Produktionskapazitäten</li> <li>- Erhöhte oder variable Rohstoffkosten</li> </ul> <p><b>5 häufigste Treiber:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserte Rentabilität</li> <li>- Umsatzwachstumspotenzial</li> <li>- Verbesserte Umweltleistung</li> <li>- Potenzial für die Entwicklung innovativer Produkte mit verbesserten Eigenschaften oder Leistungen</li> <li>- Verbesserte Wettbewerbsfähigkeit der Produkte</li> </ul> |

| <b>Autor Kurzname</b> | <b>Titel</b>  | <b>Untersuchungsfeld</b>        | <b>Erhebungszeitraum</b> | <b>Land</b>       | <b>Methode</b>  | <b>Zentrale Ergebnisse</b>   |
|-----------------------|---|---------------------------------|--------------------------|-------------------|---|--|
| Umweltbundesamt 2014  | Ökologische Innovationspolitik: Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige Nutzung von Biomasse | Stoffliche Nutzung von Biomasse | 2010-2012                | D/EU/USA/weltweit | - Datengrundlage durch Erhebung des novabio Instituts für das Jahr 2007/08 (aus Carus et al. 2010 und Carus et al. 2012)<br>- Ergebnisse mit Experten im Einzelgespräch sowie in Workshops diskutiert | Identifizierung von über 50 Hemmnissen<br><b>Wichtigste Hemmnisse:</b><br>- fragmentierte und inkohärente politische Steuerung<br>- schlechte Vernetzung der unterschiedlichen Politikbereiche sowie Akteure<br>- Konkurrenz-Dreieck (Petrochemie - Bioenergie/-kraftstoffe - Stoffliche Nutzung von Biomasse) |

| <b>Autor Kurzname</b> | <b>Titel</b>                     | <b>Untersuchungsfeld</b>    | <b>Erhebungszeitraum</b> | <b>Land</b> | <b>Methode</b>   | <b>Zentrale Ergebnisse</b>  |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------|--|---|
| Bio-Tic 2015          | Summary of Hurdles and Solutions | Industrielle Biotechnologie | 2012-2013                | EU          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Literaturübersicht</li> <li>- Interviews mit Experten, n=85</li> <li>- Informationen aus Workshops</li> </ul> | <p>Identifizierung von Markthürden<sup>1</sup></p> <p><b>Hauptthürden:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rohstoffverfügbarkeit</li> <li>- Biokonversion und Downstream-Verarbeitung</li> <li>- Geringere Kostenwettbewerbsfähigkeit gegenüber fossilen Produkten</li> <li>- Die Definition von Bioprodukt ist unklar, was die Kommunikation der Vorteile erschwert</li> <li>- Schlechte öffentliche Wahrnehmung und Sensibilisierung für biobasierte Produkte</li> <li>- Investitionshemmnisse und finanzielle Hürden / Kapitalanforderungen /</li> <li>- Vertrauensanforderungen</li> <li>- Humanressourcen</li> <li>- Ineffiziente Zusammenarbeit</li> <li>- Geistiges Eigentum (IP)</li> <li>- Barrieren bzgl. Nachhaltigkeit (z.B. kein allgemein akzeptiertes Zertifizierungssystem zur Nachhaltigkeit von biobasierten Produkten)</li> </ul> |

<sup>1</sup> Daneben stellt das Bio-TIC Projekt auch sehr konkrete technische Hemmnisse zusammen; aufgrund geringer Vergleichbarkeit zu anderen Studien wird dies hier nicht dargestellt

| Autor Kurzname          | Titel   | Untersuchungsfeld                                     | Erhebungszeitraum | Land             | Methode  | Zentrale Ergebnisse  |
|-------------------------|---|---|-------------------|------------------|--|--|
| Hodgson, E. et al. 2016 | Horizon scanning the European bio-based economy: a novel approach to the identification of barriers and key policy interventions from stakeholders in multiple sectors and regions. | biobasierte Produkte, Biokraftstoff und Bioraffinerie | Jun 14            | F/ D/ IT/ ES/ GB | Online-Umfrage, n=477 Experten aus dem Feld der biobasierten Forschung   | 24 Ansatzmöglichkeiten zur Unterstützung der Bioökonomie auf Basis der Funktionen eines technologischen Innovationssystems<br><br><b>Wichtigste Ansatzpunkte</b><br>- Erhöhung des Vertrauens von Investoren in die Bioökonomie<br>- Verbessertes Zugang zu finanzieller Unterstützung<br>- Demonstrationen von Technologien und Produkten<br>- Politische Kontinuität |
| Zinke et al. 2016       | Bioökonomie für die Industrialisierung  | Bioökonomie in 7 Wirtschaftssektoren/-bereichen       | 2014-2015         | Deutschland      | Innovationssystemanalyse für 7 Wirtschaftssektoren/-bereiche hinsichtlich Bioökonomie:<br><br>- Desk Research<br><br>- ca. 20 Interviews | Faktoren, treibende Akteure und Hemmnisse unterscheiden sich z.T. wesentlich zwischen den Sektoren. Finanziellen Ressourcen sind in vielen Bereichen ein zentraler Engpass in Deutschland  |

| <b>Autor Kurzname</b>  | <b>Titel</b>  | <b>Untersuchungsfeld</b>                                | <b>Erhebungszeitraum</b> | <b>Land</b> | <b>Methode</b>  | <b>Zentrale Ergebnisse</b>  |
|--|---|---|--------------------------|-------------|---|---|
| Hellsmark et al. 2016  | Innovation system strengths and weaknesses in progressing sustainable technology: the case of Swedish bio-refinery development. | Entwicklung fort-schrittlich er Biora-finerien Schweden | -                        | Schweden    | Funktionsana-lyse TIS (7 Funk-tionen):<br><br>- Umfrage mit semi-strukturier-ten Interviews, n=23<br><br>- Workshop mit wichtigsten TIS Stakeholdern, n=43<br><br>- Desk Research (Reports, Statis-tiken) | <b>Systemische Stärken (beeinflussen Funktionen):</b><br><br>-5 TIS-intern: nötige Forschungsinfrastruktur, Erfahrung zu verschie- denen komplementären Wertschöpfungsketten vorhanden, bedeu- tende Forschungsakteure und „entrepreneurial companies“, starke Netzwerke mit internationalen Links, langfristige Forschungsförde- rung<br><br>-2 national: Verarbeitung Biomasse zu hochwertigen Produkten als legitim erachtet, Zugang zu disziplinären Fähigkeiten und Infrastruk- tur<br><br>-1 TIS-international: Klare Zielvision<br><br>-1 international: überlappende Krisen (stärken Entwicklung) |
| <b>Systemische Schwächen (beeinflussen Funktionen):</b>  |   |   |                          |             |   |   |
| -5 TIS-intern: Fehlen von Politikinstrumenten für anstehende Phasen (Nischenmarkt und Marktwachstum), geringe Koordination zwischen Behörden, Schwache Industrieeinbindung und geringe Absorptions- kapazität Industrie, wenig interorganisationelle/interdisziplinäre Ko- operation, Unklarheit bzgl. Rollen, Kooperation, Ownership und Finanzierung von Forschungsinfrastruktur |   |   |                          |             |   |   |
| -1 international: Wettbewerb mit anderen Verwertungsoptionen der Nachwachsenden Rohstoffe und mit fossilen Rohstoffen  |   |   |                          |             |   |   |

| <b>Autor Kurzname</b>   | <b>Titel</b>  | <b>Untersuchungsfeld</b>                                     | <b>Erhebungszeitraum</b>      | <b>Land</b> | <b>Methode</b>   | <b>Zentrale Ergebnisse</b>   |
|---|---|--|-------------------------------|-------------|--|--|
| Giurca, A., Späth, P. 2017  | A forest-based bioeconomy for Germany? Strengths, weaknesses and policy options for lignocellulosic biorefineries | Entwicklung von Lignocellulose-Bioraffinerien in Deutschland | März - Juni 2016 (Interviews) | Deutschland | Funktionsanalyse TIS (6 Funktionen):<br>- Umfrage mit semi-strukturierten Interviews (zu Drivers und Barriers), n=17<br>- Desk Research (Reports, Statistiken) | <b>Systemische Stärken (beeinflussen Funktionen):</b><br>-Gruppe 1 (Politik): Potenzial für Koordinierung bestehender Politiken vorhanden, visionäre nationale Langzeitstrategien vorhanden, Internationale Commitments vorhanden<br>-Gruppe 2 (Ressourcen und Märkte): Potenzial der Kaskadennutzung von Ressourcen, Ölpreisvolatilität, Potenzial zur Unabhängigkeit von fossilen Ressourcen, Konsumtrends hin zu biobasierten Produkten<br>-Gruppe 3 (Technologie FuE): Existierende technologische Infrastruktur<br>-Gruppe 4 (Akteursnetzwerke): Sektorübergreifende und interdisziplinäre Forschungsnetzwerke, prominente Forschungsakteure und Firmen, Waldbau sieht sich selbst als Teil der Bioökonomie |
| <b>Systemische Schwächen (beeinflussen Funktionen):</b>   |   |  |                               |             |  |  |
| -Gruppe 1 (Politik): Unsicherheit bzgl. zukünftiger Politikgestaltung,<br>-Gruppe 2 (Ressourcen und Märkte): Unterschiedliche Reife; Industrien im Wettbewerb um Holz, globalisierter Holzmarkt, fossile Ressourcen günstig, etablierte effiziente Wettbewerber aus fossilbasierten Industrien, geringes Konsumentenbewusstsein, geringe Zahlungsbereitschaft von Konsumenten |   |  |                               |             |  |  |

| Autor Kurzname  | Titel  | Untersuchungsfeld   | Erhebungszeitraum | Land        | Methode   | Zentrale Ergebnisse  |
|---|--|---|-------------------|-------------|---|--|
|   |  |   |                   |             |   | -Gruppe 3 (Technologie FuE): Technologie mit niedrigem Reifegrad, Wettbewerb mit ausländischer Forschung<br><br>-Gruppe 4 (Akteursnetzwerke): Repräsentanten von etablierten Sektoren und Haupt-Suppliers nicht im Netzwerk, Kurzzeit-Förderung für Forschungsnetzwerke  |
| Purkus, A., et al. 2018                               | Towards a sustainable innovation system for the German wood-based bioeconomy: Implications for policy design | Innovationssystem der deutschen Waldbasierten Bioökonomie | -                 | Deutschland | Funktionsanalyse Technologisches Innovationssystem (7 Funktionen):<br><br>- Diskussionen in Workshops und Cluster-Meetings<br><br>- Desk Research | <b>Systemische Stärken (beeinflussen Funktionen):</b><br><br>- Politikansätze zur Bioökonomie<br><br>- Cluster gut entwickelt, Wissensaustausch vorhanden<br><br><b>Systemische Schwächen (beeinflussen Funktionen):</b><br><br>-Fehlen eines verlässlichen langfristigen Transitions-Policy-Mix<br><br>-Fehlen eines effektiven Selektionsumfeldes (unklar in welche Richtung Aktivitäten der Biotechnologie gehen sollen)<br><br>-Fehlen breiter „Advocacy Coalitions“ |
| <b>Studien zum Agro-Food Bereich, Kaskadennutzung</b> |  |   |                   |             |   |  |
| Borremans, et al.                                     | Nurturing agroforestry systems in Flanders:  | Agricullural Innovation System                            | -                 | Belgien     | Funktionsanalyse Agrarinnovationssysteme  | Umfangreiche Analyse und Bewertung der positiven und negativen Wirkungen der Parameter Akteure, Strukturfehler, Transformatorische Fehler auf die 7 AIS-Funktionen. Clustern der Ergebnisse in 5 Bereiche (1 Science-Technological, 2 Market-Financial, 3 Policy-  |

| <b>Autor Kurzname</b> | <b>Titel</b>   | <b>Untersuchungsfeld</b>               | <b>Erhebungszeitraum</b> | <b>Land</b> | <b>Methode</b>   | <b>Zentrale Ergebnisse</b>  |
|-----------------------|--|--|--------------------------|-------------|--|---|
| L., et al. 2018       | Analysis from an agricultural innovation systems perspective | (AIS) Agroforstsystem (AF) in Flandern |                          |             | <p>AIS (7 Funktionen) erweitert um Strukturelle (Akteurstypologie, Mikro-level Fehleranalyse) und Transformatorische (Direktionalität, Bedürfnisartikulation, Politikoordination, Reflexivität) Analyse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interviews, n=25</li> <li>- Desk Research</li> <li>- Fokusgruppen</li> </ul> | <p>Institutional, 4 Educational-Organizational, 5 Social-Behavioral) mit aufzeigen der jeweiligen Lessons learned</p> <p><b>Lessons learned:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Forschungsförderung, insb. bzgl. Produktivität und Kompatibilität von Agrarförderung (Landwirte beteiligen)</li> <li>- Schaffung von Marktmechanismen, die Landschafts- und Biodiversitätsaspekte inwertsetzen; stimulieren privater Investments und Konsumentennachfrage</li> <li>- Schaffung eines klaren, zukunftsfesten, ausgereiften Rechtsrahmens für Agrarförderung; Schaffung eines effektiven Anreizprogramms</li> <li>- Nutzung verschiedener Kommunikations- und Bildungskanäle zur Sensibilisierung von relevanten Akteuren für agrarökologische Prinzipien und deren gesellschaftlichen Vorteilen</li> <li>- Stärkung des Dialogs zwischen einflussreichen Gruppen zur Vertrauensbildung/ Erarbeiten gemeinsamer Visionen/ Aufbrechen existierender Abhängigkeiten/ Ermöglichen von Kooperationschancen</li> </ul> |

| <b>Autor Kurzname</b>      | <b>Titel</b>  | <b>Untersuchungsfeld</b>   | <b>Erhebungszeitraum</b> | <b>Land</b> | <b>Methode</b>  | <b>Zentrale Ergebnisse</b>   |
|----------------------------|---|--|--------------------------|-------------|---|--|
| Ciliberti, S., et al. 2015 | Drivers of innovation in Italy: food versus pharmaceutical industry | Vergleich Treiber und Barrieren von Innovationen der italienischen Ernährungsindustrie mit denen der Pharmaindustrie | 2004, 2010               | Italien     | Probit/Bivariate Probit-Modelle (Daten der italienischen "Community Innovation Survey") | <b>Treiber Food-Sector<sup>1</sup></b><br><u>1. Produktinnovation (in 2010):</u><br>- Innerhalb Firmengrenze: Interne FuE, Neue Methoden externe Beziehungen zu organisieren<br>- Außerhalb Firmengrenze: Anschaffung von Maschinen/Equipment/Software, Wissensquelle: Klienten<br><br><u>2. Prozessinnovation (in 2010):</u><br>- Innerhalb Firmengrenze: Interne FuE, Neue Methoden Prozesse zu organisieren<br>- Außerhalb Firmengrenze: Anschaffung von Maschinen/Equipment/Software |

<sup>1</sup> Da nicht der gesamte Pharmasektor der Bioökonomie zuzurechnen ist, werden nur die Ergebnisse für Food dargestellt

| Autor Kurzname  | Titel  | Untersuchungsfeld   | Erhebungszeitraum | Land     | Methode   | Zentrale Ergebnisse  |
|---|--|---|-------------------|----------|---|--|
| Kuokkanen, A., et al. 2016  | Not only peasants' issue: Stakeholders' perceptions of failures inhibiting system innovation in nutrient economy | Barrieren für systemische Transformation Landwirtschaft in Finnland (in Richtung zirkuläre Nährstoffwirtschaft P und N) | -                 | Finnland | Webbasierte Umfrage unter relevanten Stakeholdern, n=222<br><br>- Desk research | Erfragung der Barrieren und Zuordnung zu 7 Kategorien („Regulations, Policy interaction, Decision making, Subsidies, Market Structure, Infrastructure, demand“), In-Bezug-Setzen struktureller Fehler mit transformativischen Fehlern (angelehnt an Framework von Borremans et al. 2016) |
| <b>Barrieren (Technologie ist nicht die größte Barriere):</b>   |  |   |                   |          |   |  |
| 1. <u>Bereich Governance-Push (dieser ist zu schwach)</u>   |  |   |                   |          |   |  |
| - „Regulations“: 1 Recycling zu stark reglementiert, 2 Keine "korrektive" Regulierung von Mineraldünger, 3 Fehlende Politikkohärenz   |  |   |                   |          |   |  |
| - „Policy Interaction“: 1 keine vereinende Langzeitvision, 2 Schwache politische Kooperation außerhalb des Sektors, 3 Lobbystärke Regime, 4 Gegenseitige Abneigung Agrarsektor-Umweltschützer |  |   |                   |          |   |  |
| - „Decision Making“: 1 Rigide Entscheidungsmechanismen, 2 Kurzsichtiges Handeln, 3 Keine Flexibilität oder Bereitschaft zur Veränderung   |  |   |                   |          |   |  |
| 2. <u>Bereich Demand-Pull (dieser ist zu schwach)</u>   |  |   |                   |          |   |  |
| - „Subsidies“: 1 Traditionelle Sektoren bekommen Subventionen, 2 Ineffizientes System der GAP, 3 wenig Forschungsförderung  |  |   |                   |          |   |  |

| Autor Kurzname            | Titel  | Untersuchungsfeld   | Erhebungszeitraum | Land        | Methode   | Zentrale Ergebnisse  |
|---------------------------|--|---|-------------------|-------------|---|--|
|                           |  |   |                   |             |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- „Market Structure“: 1 Dominanz Mineraldünger, 2 Landwirtschaft nicht wettbewerbsfähig, 3 Supply Chain von Handel bestimmt, 4 Geringe Preise fossile Energie und Mineralien</li> <li>- Infrastructure: 1 Mangel an alternativer Logistik und Dienstleistungen rund um recycelte Nährstoffe, 2 Zentralisierte Abwasserbehandlung, 3 Landwirtschaftliche Produktionsstruktur</li> <li>- Demand: 1 Schwache Konsumentennachfrage und Zahlungsbereitschaft, 2 Mangelndes Wissen und Awareness, 3 Abneigung ggü. Recycling organischer Dünger</li> </ul>  |
| Bokelmann, W. et al. 2013 | Ergebnisse aus der Sektorstudie Innovationssystem der deutschen Landwirtschaft | Innovationssystem anhand von Fallstudien in drei Subsystemen entlang der VC (Precision Farming, Energie im Gartenbau, Tiermonitoring) |                   | Deutschland | <ul style="list-style-type: none"> <li>Methodenmix</li> <li>-Expertenworkshops</li> <li>-Expertenbefragung</li> <li>- 2-stufige Delphi-Befragung</li> </ul> | <p><b>Precision Farming</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schwäche: Transfer Wissenschaft-Praxis, langwierige Innovationsprozesse voller Feedbackschleifen, geringe Nachfrage Betriebe, fehlende Kompatibilität Technikkomponenten</li> <li>- Stärke/Treiber: hohe Innovationsfähigkeit Unternehmen</li> </ul> <p><b>Energie im Gartenbau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schwäche: Betriebe reine Nutzer (kein Feedback), Betriebe brauchen Einzellösungen (d.h. keine ökonomischen Skaleneffekte erreichbar), Netzwerke sind selektiv (mangelnder Austausch über Sektoren hinweg), Vielzahl Förderlinien und Bürokratie sind Hindernis für KMU, Innovationsprozesse voller Feedbackschleifen, geringe Nachfrage von Betrieben</li> </ul> |

| Autor<br>Kurz-<br>name | Untersu-<br>chungs-<br>feld | Erhe-<br>bungs-<br>zeitrau-<br>m | Land | Methode | Zentrale Ergebnisse  |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------|---------|--|
|                        |                             |                                  |      |         | <p>- Stärke/Treiber: rechtlichen und politische Rahmenbedingungen bieten Möglichkeiten für Innovationen; Marktnachfrage hin zu Diversifizierung der Produktpalette</p> <p><b>Tiermonitoring</b></p> <p>- Schwäche: mittel-/langfristiges Fehlen von Fachkräften, Lücken Langzeitvalidierung von Innovationen</p> <p>- Stärke/Treiber: hohe gesetzliche Standards/Vorgaben, gesellschaftlicher Diskurs, Zulieferer sehr innovativ und Weltmarktführer</p> |