

Johannes Rupp, Jörg Böhmer, Katharina Heinbach, Hannes Bluhm, Jan Becker,  
Elisa Dunkelberg, Bernd Hirschl, Frank Wagener, Peter Heck

# Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie

Analyse und Bewertung von Wertschöpfungsketten einer nachhaltigen  
Koppel- und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen

Schriftenreihe des IÖW 217/20





Johannes Rupp, Jörg Böhmer, Katharina Heinbach, Hannes Bluhm, Jan Becker, Elisa Dunkelberg,  
Bernd Hirschl, Frank Wagener, Peter Heck

# Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie

Analyse und Bewertung von Wertschöpfungsketten einer nachhaltigen Koppel-  
und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen

gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über seinen  
Projektträger, die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

Schriftenreihe des IÖW 217/20  
Berlin, Februar 2020

ISBN 978-3-940920-20-1

# Impressum

Herausgeber:

Institut für ökologische

Wirtschaftsforschung (IÖW)

Potsdamer Straße 105

D-10785 Berlin

Tel. +49 – 30 – 884 594-0

Fax +49 – 30 – 882 54 39

E-mail: [mailbox@ioew.de](mailto:mailbox@ioew.de)

[www.ioew.de](http://www.ioew.de)

In Kooperation mit:



Hochschule Trier

Institut für angewandtes

Stoffstrommanagement - IfaS

Hochschule Trier - Umwelt - Campus

Birkenfeld

Campusallee 9926

D-55768 Neubrück

Die Schriftenreihe ist ein Ergebnis des Verbundvorhabens „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie – Analyse und Bewertung von Wertschöpfungsketten einer nachhaltigen Koppel- und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen (Phase I)“. Die dieser Schriftenreihe zugrunde liegenden Teilvorhaben „Ökonomische und ökologische Bewertung von Wertschöpfungsketten“ (IÖW) und „Technisch-betriebswirtschaftliche Bewertung von Wertschöpfungsketten“ (IfaS) wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über seinen Projektträger, die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) unter den Förderkennzeichen 22019515 und 22031015 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Zusammenfassung

Ziel der Nationalen Politikstrategie Bioökonomie ist es, den Weg zu bereiten für ein zukunftsfähiges Wirtschaften, das zunehmend auf nachhaltig erzeugten und nachwachsenden Ressourcen sowie biogenen Rest- und Abfallstoffen beruht. Das durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderte Forschungsvorhaben „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ verfolgte in diesem Zusammenhang das Ziel, Optionen für eine ländliche Bioökonomie in Deutschland aufzuzeigen und diese technisch, ökonomisch und ökologisch zu bewerten. Diese Schriftenreihe stellt die zentralen Ergebnisse des Projektes vor. Unter dem Begriff der ländlichen Bioökonomie verstehen die Autorinnen und Autoren die Weiterentwicklung einer biobasierten Wirtschaft, bei welcher der ländliche Raum nicht nur als Rohstofflieferant für industrielle Bioökonomiekonzepte betrachtet wird, sondern verstärkt selbst die Umsetzung von dezentralen Ansätzen vorantreibt.

Die Bioökonomie mit ihrer großen Vielfalt an Ausgangsstoffen, Wertschöpfungsketten und Produkten konnte im Vorhaben nicht in Gänze betrachtet werden. So fokussierte das Projekt auf ausgewählte Bereiche, die primär auf landwirtschaftlicher Biomasse basieren. Mit einem iterativen, kriterienbasierten Auswahlprozess wurden zudem drei Wertschöpfungsketten für die vertiefte Untersuchung ausgewählt. Zentrale Aspekte waren dabei Rohstoff- und Flächenpotenziale, heutige und zukünftige Marktpotenziale sowie die Relevanz für die Entwicklung des ländlichen Raums. Die ausgewählten Ketten sind:

- (1) Gärrestaufbereitung zu höherwertigen Düngemitteln und Fasern für Holzersatzwerkstoffe,
- (2) Pflanzenfasern (Hanf) für Dämmstoffe und naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) und
- (3) Pflanzenfasern (Gras) für die Herstellung von Papier und Kartonagen.

Für diese Wertschöpfungsketten erfolgte eine Technologie- und Infrastrukturanalyse, eine betriebswirtschaftliche Bewertung, eine Ermittlung der Wertschöpfung und Beschäftigung im ländlichen Raum sowie eine ökologische Bewertung. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht stellt sich eine wirtschaftliche Herstellung biobasierter Produkte bei den untersuchten Ketten unter den gegebenen Rahmenbedingungen derzeit schwierig dar. Gleichzeitig birgt insbesondere der Auf- und Ausbau von Wirtschaftsstrukturen über die Rohstoffbereitstellung hinaus Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale im ländlichen Raum. Die Umweltbewertung zeigt, dass eine Bioökonomie, die verstärkt auf den Einsatz von Biomasse setzt, nicht notwendigerweise über alle Wirkungskategorien und Umweltschutzgüter ökologische Vorteile mit sich bringt.

Auf Basis der Projektergebnisse und einer Vielzahl von Interviews und Veranstaltungen im Projekt erarbeiteten die Autorinnen und Autoren Handlungsempfehlungen für die Praxis und Empfehlungen zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens. Bei der Praxis reichen die zentralen Ansatzpunkte für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie von Aktivitäten der Sensibilisierung und Information der Akteure bis zur Umsetzung von mehr regionalen Leuchtturmprojekten. Um die ländliche Bioökonomie politisch zu fördern, ist es wichtig, dass sich die verschiedenen politischen Ebenen und Ressorts verzahnen und abstimmen. Weiterhin sollte die Agrar- und Strukturförderung entsprechend ausgerichtet und Marktzugänge von Wertschöpfungsketten, die einer effizienten und gleichzeitig umwelt- und klimaschonenden Nutzung von Biomasse entsprechen, gefördert werden. Auch eine verstärkte Unterstützung von Information, Kommunikation und Kooperation, wie sie bereits im Rahmen der Förderung des gesellschaftlichen Dialogs zur Bioökonomie erfolgt, ist wichtig. Derartige Formate bieten den Vorteil, unterschiedliche Sichtweisen der verschiedenen Akteure kennen zu lernen, Know-how aufzubauen und für eine ländliche Bioökonomie optimale Wirtschaftsstrukturen zu entwickeln.

## Abstract

The goal of the National Policy Strategy on Bioeconomy is to prepare the way toward a more sustainable economy, one increasingly based on sustainably produced and renewable resources, including biogenic residues and waste materials. In this context, the research project “Future Potentials of a Rural Bioeconomy”, funded by the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL), pursued the goal of identifying areas of potential economic opportunity for a rural bioeconomy in Germany, taking into account technical, economic and ecological aspects. This Text Series presents the main results of the project. We use the term “rural bioeconomy” to characterize the further development of a biobased economy in which rural areas are not only seen as suppliers of raw materials in an industrially-based bioeconomic concept, but also themselves increasingly promote the implementation of decentralized approaches.

It was not possible in this project to consider the bioeconomy, with its tremendous diversity of raw materials, value chains and products, in its entirety. The focus was on specific areas primarily based on agricultural biomass and by means of an iterative, criteria-based selection process, three value added chains were chosen for further investigation. Key aspects were potentials for raw materials and land, current and future market potential, as well as relevance for development of rural areas. The selected value chains are:

- (1) Fermentation residue treatment for improved fertilizers and fiber for wood substitutes,
- (2) vegetable fiber (hemp) for insulation and natural fiber-reinforced plastics (NFRP) and
- (3) vegetable fiber (grass) for the production of paper and cardboard.

For each of these value chains, a technology and infrastructure analysis, an economic assessment, a calculation of value added and employment in rural areas as well as an ecological assessment were carried out. The economic analysis of the three selected chains shows that the commercial production of bio-based products under the current given structural parameters would appear to be difficult. At the same time, the establishment and expansion of economic structures beyond the provision of raw materials shows particular potential for value added and employment in rural regions. The ecological assessment demonstrates that a bioeconomy that increasingly relies on the use of biomass does not necessarily bring ecological advantages with respect to all environmental impact categories and goods.

On the basis of the project results and a large number of interviews and events, we established recommendations for best practices and the design of an appropriate political and legal framework. The keys to developing a rural bioeconomy range from activities such as increasing stakeholder awareness and information dissemination to the implementation of further regional flagship projects. In order to promote a rural bioeconomy politically, it is first of all important to more closely coordinate and mesh the various levels and areas of policy-making. Furthermore, it is advisable to align agricultural and structural funding accordingly and to promote market access for value chains consistent with an efficient but at the same time environmentally and climate-friendly utilization of biomass. Equally important is more intensive support for the various means of information dissemination, communication and cooperation, as is already being done in the context of promoting a social dialogue on the bioeconomy. Such formats offer various advantages, including better awareness of the numerous stakeholder perspectives, increased know-how and the development of optimal economic and business structures for a rural bioeconomy.

## Die Autorinnen und Autoren

**Johannes Rupp** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ am IÖW. Schwerpunkte seiner Arbeit sind die Entwicklung und Analyse kommunaler und regionaler Klimaschutz- und Klimaanpassungsstrategien sowie Fragen der Akzeptanz und Beteiligung, u. a. im Bereich der Bioenergie / Bioökonomie.

**Kontakt: Johannes.Rupp@ioew.de**

**Tel. +49 – 30 – 884 594-67**

**Katharina Heinbach** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ am IÖW. Sie ist Dipl.-Geoökologin und zu ihren Themenschwerpunkten am IÖW zählen ökonomische Bewertungen, erneuerbare Energien, Sektorenkopplung und Bioökonomie.

**Kontakt: Katharina.Heinbach@ioew.de**

**Tel. +49 – 30 – 884 594-66**

**Hannes Bluhm** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsfeld Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz des IÖW. Er ist M.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen – Energie- und Ressourcenmanagement und beschäftigt sich mit den Themenschwerpunkten ökologische Bewertung, Sektorenkopplung und Marktanalysen.

**Kontakt: Hannes.Bluhm@ioew.de**

**Tel. +49 – 30 – 884 594-44**

**Dr. Elisa Dunkelberg** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsfeld Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz des IÖW. Sie ist Diplom-Ingenieurin für Technischen Umweltschutz und beschäftigt sich mit den Themenschwerpunkten ökologische Bewertung, Bioenergie und energetische Gebäudesanierung.

**Kontakt: Elisa.Dunkelberg@ioew.de**

**Tel. +49 – 30 – 884 594-36**

**Prof. Dr. Bernd Hirschl** ist Leiter des Forschungsfelds „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ am IÖW und Inhaber der Professur Management regionaler Energieversorgungsstrukturen an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg. Seine inhaltlichen Schwerpunkte liegen in der Entwicklung und interdisziplinären Analyse energie- und klimapolitischer Strategien und Instrumente

**Kontakt: [Bernd.Hirschl@ioew.de](mailto:Bernd.Hirschl@ioew.de)**

**Tel. +49 – 30 – 884 594-0**

**Jörg Böhmer** ist stellvertretender Leiter des Arbeitsbereichs Biomasse und Kulturlandschaftsentwicklung am IfaS. Inhaltliche Schwerpunkte seiner Arbeit liegen in der Entwicklung multifunktionaler Landnutzungskonzepte zur Integration gesellschaftlicher Leistungen in die Produktion, deren ökonomische Bewertung und Implementierung.

**Kontakt: [J.Boehmer@umwelt-campus.de](mailto:J.Boehmer@umwelt-campus.de)**

**Tel. +49 – 6782 – 17-2626**

**Jan Becker** ist Mitarbeiter im Arbeitsbereich Biomasse und Kulturlandschaftsentwicklung am IfaS. Inhaltliche Schwerpunkte seiner Arbeit liegen in der Erstellung von energetisch und stofflichen Biomassekonzepten.

**Kontakt: [J.Becker@umwelt-campus.de](mailto:J.Becker@umwelt-campus.de)**

**Tel. +49 – 6782 – 17-1569**

**Frank Wagener** ist Leiter des Arbeitsbereichs Biomasse und Kulturlandschaftsentwicklung am IfaS. Schwerpunkte seiner Arbeit liegen in der Entwicklung integrierter regionaler Entwicklungskonzepte und Kulturlandschaftsprojekte, die wertschöpfend Produktion und Umweltleistungen verknüpfen.

**Kontakt: [F.Wagener@umwelt-campus.de](mailto:F.Wagener@umwelt-campus.de)**

**Tel. +49 – 6782 – 17-2636**

**Prof. Dr. Peter Heck** ist Professor für angewandtes Stoffstrommanagement am Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier und geschäftsführender Direktor des IfaS. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen der regionalen Wertschöpfung, Klimaschutz, erneuerbaren Energien und Bioökonomie.

**Kontakt: [P.Heck@umwelt-campus.de](mailto:P.Heck@umwelt-campus.de)**

**Tel. +49 – 6782 – 17-1221**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>Begriffsbestimmung: Ländliche Bioökonomie.....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>Übersicht der relevanten Verwertungspfade, Anwendungsbereiche und Rahmenbedingungen .....</b>	<b>25</b>
3.1	Methodische Vorgehensweise und Auswahlprozess.....	25
3.2	Politisch-rechtlicher Rahmen .....	29
3.2.1	Explizite Bioökonomiepolitik .....	30
3.2.2	Implizite Bioökonomiepolitik .....	32
3.3	Potenzialanalyse .....	33
3.3.1	Methodische Vorgehensweise.....	33
3.3.2	Ergebnisse .....	34
3.4	Marktanalyse.....	39
3.4.1	Volkswirtschaftliche Bedeutung und Märkte der Bioökonomie.....	39
3.4.2	Analyse ausgewählter Märkte der Bioökonomie .....	40
<b>4</b>	<b>Technische, ökonomische und ökologische Bewertung ausgewählter Wertschöpfungsketten .....</b>	<b>43</b>
4.1	Methodische Vorgehensweise .....	43
4.1.1	Technologie- und Infrastrukturanalyse .....	43
4.1.2	Analyse der Stoffströme .....	45
4.1.3	Ökobilanzielle Betrachtungen .....	47
4.1.4	Betriebswirtschaftliche Analyse und Identifizierung von ökonomischen Schlüsselfaktoren .....	49
4.1.5	Analyse (regional-)ökonomischer Effekte.....	52
4.2	Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung zu höherwertigen Düngemitteln und Fasern für Holzersatzwerkstoffe.....	55
4.2.1	Technologie- und Infrastrukturanalyse .....	57
4.2.2	Analyse der Stoffströme .....	58
4.2.3	Ökobilanzielle Betrachtungen .....	59
4.2.4	Betriebswirtschaftliche Analyse und Identifizierung von ökonomischen Schlüsselfaktoren .....	65
4.2.5	Analyse (regional-)ökonomischer Effekte.....	69
4.3	Wertschöpfungskette Herstellung von Papier und Kartonagen aus Gras .....	77
4.3.1	Technologie-, Infrastruktur- und Stoffstromanalyse .....	78
4.3.2	Ökobilanzielle Betrachtungen .....	78
4.3.3	Betriebswirtschaftliche Analyse und Identifizierung von ökonomischen Schlüsselfaktoren .....	83
4.3.4	Analyse (regional-)ökonomischer Effekte.....	83
4.4	Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Hanf) für Dämmstoffe und naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK).....	87
4.4.1	Technologie- und Infrastrukturanalyse .....	89

4.4.2	Analyse der Stoffströme.....	89
4.4.3	Ökobilanzielle Betrachtungen .....	90
4.4.4	Betriebswirtschaftliche Analyse und Identifizierung von ökonomischen Schlüsselfaktoren.....	97
4.4.5	Analyse (regional-)ökonomischer Effekte .....	98
<b>5</b>	<b>Szenarienbasierte Hochrechnung der ökonomischen Effekte für fiktive Beispielprojekte/-regionen und Deutschland .....</b>	<b>107</b>
5.1	Berechnungen für fiktive Projekte / Beispielregionen .....	107
5.1.1	Vorgehensweise .....	107
5.1.2	Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung.....	108
5.1.3	Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Hanf).....	114
5.1.4	Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Gras).....	117
5.2	Szenarienbasierte Hochrechnung für Deutschland .....	120
5.2.1	Vorgehensweise .....	120
5.2.2	Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung.....	121
5.2.3	Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Hanf).....	124
5.2.4	Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Gras).....	126
<b>6</b>	<b>Empfehlungen für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie für die Praxis und Politik .....</b>	<b>128</b>
6.1	Handlungsempfehlungen für die Praxis .....	129
6.2	Empfehlungen zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens.....	137
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick zu weiterem Handlungs- und Forschungsbedarf.....</b>	<b>145</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>157</b>
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>165</b>
9.1	Kurzdarstellung des WeBEE-Modells des IÖW .....	165
9.2	Datengrundlage und Annahmen für die Neu-Modellierung von Wertschöpfungsketten.....	170
9.2.1	Datengrundlage und Annahmen Teil-Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung...	170
9.2.2	Datengrundlage und Annahmen Teil-Wertschöpfungskette Grasbereitstellung .....	173
9.2.3	Datengrundlage und Annahmen Teil-Wertschöpfungskette Hanfanbau beziehungsweise -bereitstellung.....	175
9.2.4	Datengrundlage und Annahmen Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss..	176
9.3	Annahmen zur regionalen Ansässigkeit für die szenarienbasierte Hochrechnung der ökonomischen Effekte .....	179
9.3.1	Berechnungen für fiktive Projekte / Beispielregionen .....	179
9.4	Sensitivitätsanalyse .....	182

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1:	Vorgehensweise bei der Erarbeitung von Grundlagen für die Auswahl von Wertschöpfungsketten.....	27
Abb. 3.2:	Kriterien-Set für die Vorauswahl von Wertschöpfungsketten.....	28
Abb. 3.3:	Flächenausbaupotenzial bis 2050.....	35
Abb. 3.4:	Ausbaupotenzial der Reststoffe.....	37
Abb. 4.1:	Beispieldarstellung Sankey-Diagramm.....	46
Abb. 4.2:	Normierte Emissionen und Aufwendungen des Produktsystems mit Gärrestverwertung sowie des Referenzsystems unterteilt nach Prozessschritten.....	62
Abb. 4.3:	Normierte Emissionen und Aufwendungen von Grasfaserpellets (1 t FM Base Case Szenario) im Vergleich zu Sulfatfasern.....	80
Abb. 4.4:	Treibhauspotenzial von Grasfaserpellets und Sulfatfasern.....	81
Abb. 4.5:	Entwicklung der Anbaufläche (ha) für Nutzhanf in Deutschland 1996 bis 2017 ..	88
Abb. 4.6:	Normierte Emissionen und Aufwendungen des Hanffaservlieses (1 kg, Base Case).....	93
Abb. 4.7:	Treibhauspotenzial des Hanffaservlieses und der Referenzprodukte.....	94
Abb. 5.1:	Potenzialkarte Gärrestfasern anhand der installierten Leistung.....	109
Abb. 5.2:	Potenzialkarte Gärrestfasern anhand des Gärrestaufkommens.....	110
Abb. 5.3:	Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung der Biogaserzeugung mit Gärrestaufbereitung in einer fiktiven Beispielregion, einmalige Effekte (Basisjahr 2016).....	111
Abb. 5.4:	Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung der Biogaserzeugung mit Gärrestaufbereitung in einer fiktiven Beispielregion, jährliche Effekte (Basisjahr 2016).....	112
Abb. 5.5:	Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch Hanfbereitstellung und Hanffaseraufschluss für ein fiktives Beispielprojekt, jährliche Effekte (Basisjahr 2016).....	115
Abb. 5.6:	Landkreise und Agglomerationen mit Grünlandpotenzialen anhand von Grünlandanteil und Veränderung im GVE-Bestand (Raufutterfresser) auf Landkreisebene.....	118
Abb. 5.7:	Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch Grasbereitstellung für eine fiktive Beispielregion, jährliche Effekte (Basisjahr 2016).....	119
Abb. 5.8:	Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Biogaserzeugung mit Gärrestaufbereitung in Deutschland, einmalige Effekte (Basisjahr 2016).....	122
Abb. 5.9:	Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Biogaserzeugung mit Gärrestaufbereitung in Deutschland, jährliche Effekte (Basisjahr 2016).....	123
Abb. 5.10:	Wertschöpfung und Beschäftigung durch Hanfbereitstellung und Hanffaseraufschluss in Deutschland, jährliche Effekte (Basisjahr 2016).....	125
Abb. 5.11:	Wertschöpfung und Beschäftigung durch Grasbereitstellung für den Einsatz in der Papierindustrie in Deutschland, jährliche Effekte (Basisjahr 2016).....	127
Abb. 9.1:	Wertschöpfungsdefinition des WeBEE-Modells.....	167
Abb. 9.2:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen – Gärrestaufbereitung Base Case.....	182
Abb. 9.3:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen – Gärrestaufbereitung Szenario Ausbeute+.....	183
Abb. 9.4:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen – Hanffaseraufschluss Base Case.....	184
Abb. 9.5:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen – Hanffaseraufschluss Szenario.....	185

## Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1:	Auswahl von Beispielen einer expliziten und impliziten Bioökonomiepolitik .....	29
Tab. 3.2:	Übersicht der Studienergebnisse zu den forstwirtschaftlichen Potenzialen .....	38
Tab. 3.3:	Auswahl an Anwendungsbereichen für die nähere Betrachtung im Vorhaben „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ .....	41
Tab. 4.1:	Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen bei der Biogaserzeugung im Allgemeinen sowie bei Einsatz des Verfahrens zur Gärrestverwertung .....	64
Tab. 4.2:	Finanzstruktur .....	66
Tab. 4.3:	Leistungstafel der Gärrestaufbereitung .....	66
Tab. 4.4:	Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte einer Biogasanlage mit 1 MW installierter elektrischer Leistung – jährliche Effekte .....	70
Tab. 4.5:	Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Anlage zur Gärrestaufbereitung nach Wertschöpfungsbestandteilen – einmalige Effekte „Base Case“ .....	73
Tab. 4.6:	Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Anlage zur Gärrestaufbereitung nach Wertschöpfungsbestandteilen – jährliche Effekte „Base Case“ .....	74
Tab. 4.7:	Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Anlage zur Gärrestaufbereitung nach Wertschöpfungsbestandteilen – einmalige Effekte „Ausbeute+“ .....	75
Tab. 4.8:	Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Anlage zur Gärrestaufbereitung nach Wertschöpfungsbestandteilen – jährliche Effekte „Ausbeute+“ .....	76
Tab. 4.9:	Mögliche Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen von Grasfaserpellets .....	83
Tab. 4.10:	Erlöse des Produktionsverfahrens Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“ und die Szenarien „Heuerlös 132 Euro/t“ und „Heuerlös 110 Euro/t“ .....	85
Tab. 4.11:	Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“ (konventionell / kbA) nach Wertschöpfungsbestandteilen - „Heuerlös 132 Euro/t“ .....	86
Tab. 4.12:	Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“ (konventionell / kbA) nach Wertschöpfungsbestandteilen - „Heuerlös 110 Euro/t“ .....	86
Tab. 4.13:	Untersuchte Szenarien und enthaltene Parametervariationen für Hanffaservlies	92
Tab. 4.14:	Mögliche Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen von Hanffaservlies .....	96
Tab. 4.15:	Leistungstafel Hanffaseraufschluss .....	97
Tab. 4.16:	Erlöse des Produktionsverfahrens Faserhanf .....	100
Tab. 4.17:	Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Faserhanf (konventionell) nach Wertschöpfungsbestandteilen .....	101
Tab. 4.18:	Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Faserhanf (kbA) nach Wertschöpfungsbestandteilen ...	101
Tab. 4.19:	Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte Hanffaseraufschlussanlage nach Wertschöpfungsbestandteilen – jährliche Effekte „Base Case“ .....	104

Tab. 4.20:	Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte Hanffaseraufschlussanlage nach Wertschöpfungsbestandteilen – jährliche Effekte Szenariobetrachtung .....	106
Tab. 6.1:	Auswahl an wünschenswerten Wirkungen und Aktivitäten durch die Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens einer ländlichen Bioökonomie .....	138
Tab. 9.1:	Technische Parameter der Anlage zur Gärrestverwertung .....	170
Tab. 9.2:	Investitions- und Investitionsnebenkosten der Anlage zur Gärrestverwertung ...	171
Tab. 9.3:	Betriebskosten der Anlage zur Gärrestverwertung (durchschnittliches Betriebsjahr) .....	172
Tab. 9.4:	Annahmen Ertragsniveau, allgemeine Kosten und Betriebsprämie für das Produktionsverfahren Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“ .....	173
Tab. 9.5:	Kosten des Produktionsverfahrens Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“	174
Tab. 9.6:	Annahmen Ertragsniveau, allgemeine Kosten und Betriebsprämie für das Produktionsverfahren Faserhanf .....	175
Tab. 9.7:	Kosten des Produktionsverfahrens Faserhanf .....	176
Tab. 9.8:	Technische Parameter Hanffaseraufschluss .....	176
Tab. 9.9:	Betriebskosten Hanffaseraufschlussanlage (durchschnittliches Jahr) .....	178
Tab. 9.10:	Annahmen zur regionale Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Biogasanlage Quelle: eigene Zusammenstellung IÖW .....	179
Tab. 9.11:	Annahmen zur regionale Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung .....	180
Tab. 9.12:	Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss .....	180
Tab. 9.13:	Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss .....	181
Tab. 9.14:	Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss .....	181

# Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
ADPE	Abiotic Depletion Potential for Elements
ADPF	Abiotic Depletion Potential for Fossil Fuels
AEE	Agentur für Erneuerbare Energien
AK-E	Arbeitskraft-Einheit
AKh	Arbeitskraftstunde
AP	Acid Potential
ARAP	Aktiver Rechnungsabgrenzungsposten
ASL	Ammoniumsulfatlösung
AUK	Agrarumwelt- und Klimaschutz
BAFA	Badische Naturfaseraufbereitung GmbH
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
BGA	Biogasanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BioSC	Bioeconomy Science Center
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
C.A.R.M.E.N	Centrale Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energie-Netzwerk
CaO	Calciumoxid
CML	Center of Environmental Science of Leiden University

---

CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2eq</sub>	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
DGS	Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.
dt	Dezitonne
DüngMG	Düngemittelgesetz
EAT	Earnings after Tax
EBIT	Earnings Before Interest and Tax
EBITDA	Earnings Before Interest, Tax, Depreciation and Amortisation
EBT	Earnings Before Tax
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz
EIP-Agri	Europäischen Innovationspartnerschaft Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit
EK	Eigenkapital
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EP	Eutrophierungspotenzial
EPD	European Product Declaration
ETS	Europäischer Emissionshandel
EU	Europäische Union
EWärmeG	Erneuerbare-Wärme-Gesetz des Landes Baden-Württemberg
F+E	Forschung und Entwicklung
FK	Fremdkapital
FM	Frischmasse
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
FPNR	Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe

GAK	Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GFK	glasfaserverstärkte Kunststoffe
GFP	Gemeinsame Fischereipolitik
GRW	Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur
GuV	Gewinn- und Verlustrechnung
GVE	Großvieheinheiten
GWP	Global Warming Potential
h	Stunde
ha	Hektar
HGB	Handelsgesetzbuch
HTC	Hydrothermale Carbonisierung
IfaS	Institut für angewandtes Stoffstrommanagement
IFRS	International Financial Reporting Standards
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IO	Input-Output
IÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
IRR	Internal Rate of Return
K	Kelvin
K <sub>2</sub> O	Kaliumoxid
KapG	Kapitalgesellschaften
kbA	kontrolliert biologischer Anbau
kg	Kilogramm
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KrWG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

---

KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
kW	Kilowatt
kW <sub>el</sub>	Kilowatt elektrisch
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kW <sub>th</sub>	Kilowatt thermisch
LAG	Lokale Aktionsgruppen
LCA	Life Cycle Assessment
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt
MW <sub>el</sub>	Megawatt elektrisch
N	Stickstoff
NawaRo	nachwachsende Rohstoffe
NFK	Naturfaserverstärkte Kunststoffe
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4</sub>	Ammonium
NH <sub>4</sub> -N	Ammonium-Stickstoff
NPV	Net Present Value
ODP	Ozone Depletion Potential
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphorpentoxid
PersU	Personenunternehmen
PJ	Petajoule

PO <sub>4</sub> <sup>3-eq</sup>	Phosphat-Äquivalent
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential
REA	Rauchgasentschwefelungsanlagen
RED	Renewable Energy Directive
SDG	Sustainable Development Goals
SO <sub>2eq</sub>	Schwefeldioxid-Äquivalent
ST	Stammholz
t	Tonne
TAM	technische Anlagen und Maschinen
t <sub>atro</sub>	Tonne absolut trocken
t <sub>TM</sub>	Tonnen Trockenmasse
TM	Trockenmasse
Tsd.	Tausend
UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
Vfm	Vorratsfestmeter
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
VZÄ	Vollzeitäquivalente
W	Watt
WACC	Weighted Average Cost of Capital
WeBEE	Wertschöpfung und Beschäftigung durch erneuerbare Energien
WPC	Wood Plastic Composites
WS	Wertschöpfung

# 1 Einführung

Die Bundesregierung hat am 17. Juli 2013 die nationale Politikstrategie Bioökonomie beschlossen (BMEL 2014). Ziel der Strategie ist es, "den Wandel zu einer auf erneuerbaren Ressourcen beruhenden rohstoffeffizienten Wirtschaft, die weniger fossile Rohstoffe einsetzt oder ganz ohne diese auskommt", zu unterstützen (BMEL 2014, 5). Eine solche Wirtschaft wird maßgeblich auf nachwachsenden Rohstoffen aufbauen, die von Seiten der Land-, Forst-, und Fischereiwirtschaft sowie aus Aquakulturen bereitgestellt werden. Von zunehmender Bedeutung ist außerdem die Verwendung von Rest- und Abfallstoffen, um eine effiziente Kreislaufwirtschaft zu erreichen. Sektoren, die diese Rohstoffe zu vielfältigen Produkten verarbeiten können, sind unter anderem die Chemie-, Holz-, Papier-, Bau-, Leder- und Textilindustrie sowie die Energie- und die Ernährungswirtschaft. Der Kreislaufwirtschaft und auch der Nachhaltigkeit wird im Update der Bioökonomiestrategie der Europäischen Kommission ein besonderer Stellenwert eingeräumt (Europäische Kommission 2018). Damit soll unter anderem auch in ländlichen Gebieten, im Sinne der „lokalen Bioökonomien“, der Anteil an Primärproduzenten gesteigert und neue Arbeitsplätze geschaffen werden, verbunden mit einem größeren Nutzen für die Primärerzeugende (Europäische Kommission 2018, S. 2 und 10).<sup>1</sup>

In den letzten zwanzig Jahren hat aufgrund der Förderstrukturen vor allem die energetische Biomassenutzung stark zugenommen, während bei der stofflichen Nutzung von Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen nur ein geringer Zuwachs zu beobachten war. Dies belegt unter anderem die Entwicklung der Anbaufläche für Rohstoffpflanzen im Bereich der stofflichen und energetischen Verwertung. Im Zeitraum 1999 bis 2018 hat sich diese verdreifacht (von knapp 800 Tsd. ha auf über 2,4 Mio. ha) (FNR 2019). Der Großteil davon entfiel mit 2,2 Mio. ha auf den Anbau von Energiepflanzen (vor allem Pflanzen für Biogas mit 1,35 Mio. ha und Raps für Biodiesel und Pflanzenöl mit rund 0,6 Mio. ha). Die Anbaufläche für Industriepflanzen zur stofflichen Verwertung umfasste dagegen nur knapp 0,3 Mio. ha. Dies sind vor allem Ölpflanzen (0,11 Mio. ha) und Pflanzen zur Stärkegewinnung (0,13 Mio. ha). Insgesamt umfasste die Anbaufläche für Energie- und Industriepflanzen im Jahr 2018 rund 16 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland. Laut einer Pressemitteilung der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) mit Verweis auf verschiedene Studien könnte diese Fläche auf bis zu bis 4 Mio. ha ansteigen, ohne die Selbstversorgung mit Nahrungsmitteln zu gefährden (FNR 2014).

Nutznieser dieser Entwicklung im Bereich der energetischen Nutzung waren aus ökonomischer Sicht bisher sowohl regionale als auch überregionale Akteure. Der ökonomische Nutzen lässt sich anhand der generierten Wertschöpfung messen. Diese lag beispielsweise im Jahr 2012 durch den Betrieb von Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse in Deutschland bei rund 1 Mrd. Euro, wovon mehr als 50 Prozent auf den Betrieb von Biogasanlagen zurückzuführen war (Aretz et al. 2013). Da sich die Mehrheit dieser Biogasanlagen im Eigentum von landwirtschaftlichen Betrieben befindet, verbleibt ein Großteil der generierten Wertschöpfung in der Region (trend:research und Leuphana Universität Lüneburg 2013).

---

<sup>1</sup> Nach Schätzungen könnten dies in biobasierten Industriezweigen bis 2030 eine Million neue Arbeitsplätze sein.

Eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Fläche für den Anbau von Biomasse für die energetische Nutzung ist aufgrund negativer ökologischer Effekte und der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion in den letzten Jahren zunehmend in die Kritik geraten (Jering et al. 2013). Die damit verbundene politische Debatte mündete letztlich in einer Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im August 2014, in der die Förderung der Bioenergie in vielen Punkten gestrichen oder stark eingeschränkt wurde.

In den letzten Jahren ist auch aufgrund dieser Novelle des EEG die Anzahl der Anlagenstandorte für die Biogasproduktion nur leicht angestiegen beziehungsweise relativ konstant geblieben. Gleiches gilt für die die Wärmebereitstellung auf Basis von Biomasse (FNR 2018, S. 6 und 38). In einzelnen Regionen hat der Zubau an Biogasanlagen auch stark abgenommen (vgl. Rupp et al. 2017). Diese Werte schlagen sich mitunter auf einzelne Wirtschaftsbereiche vor allem ländlicher Regionen nieder und bedürfen der Entwicklung neuer Wertschöpfungsstrategien und -konzepte. So wie der ländliche Raum beispielsweise eine Schlüsselfunktion für die Energiewende eingenommen hatte, könnte dieser auch „Motor“ für eine auf der Bioökonomie beruhenden Rohstoffwende sein.

### **Ziele und Hintergrund des Forschungsvorhabens „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“**

Übergeordnetes Ziel des dieser Veröffentlichung zugrundeliegenden Forschungsvorhabens „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie – Analyse und Bewertung von Wertschöpfungsketten einer nachhaltigen Koppel- und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen“ war das Aufzeigen von Potenzialfeldern innerhalb der Vielzahl der Bereiche der Bioökonomie, die der sozio-ökonomischen Entwicklung ländlicher Räume dienlich sind. Dies umfasste die technische, ökonomische sowie ökologische Analyse und Bewertung einzelner Verwertungspfade in unterschiedlichen Anwendungsbereichen, die im Idealfall auf einer nachhaltigen Koppel- und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen beruhen. Darauf aufbauend wurden für eine (Weiter-)Entwicklung von vor allem „Pionier“-Aktivitäten Handlungsempfehlungen für die Praxis und Empfehlungen für die Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens erarbeitet.

Damit leistet das Vorhaben, unter Berücksichtigung der Gewährleistung der Versorgung mit Nahrungsmitteln und der gemachten Erfahrungen der energetischen Biomassenutzung, einen Beitrag für eine effiziente und nachhaltige Verwertung von Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen und zeigt Wertschöpfungs- und auch Beschäftigungspotenziale für den ländlichen Raum auf. Auch bietet das Vorhaben eine gute Wissensbasis für die zukünftige Entwicklung von sowohl technisch, ökonomisch als auch ökologisch alternativen Verwertungspfaden der Biomassenutzung. Dies wiederum bietet Möglichkeiten für den zukünftigen Auf- und Ausbau von regional tragfähigen Bioökonomiekonzepten sowie die Entwicklung von innovativen Geschäftsmodellen im ländlichen Raum, jeweils unter Berücksichtigung der sich veränderten politischen und auch gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, wie der EEG-Novelle auf der einen Seite und einem stärkeren Fokus auf die stoffliche Verwertung und Nachfrage der Biomassen über „Green-Economy“-Aktivitäten auf der anderen Seite.

Das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) und das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) sehen in den Projektaktivitäten ein Leitvorhaben für die zukünftige bioökonomische Entwicklung im ländlichen Raum. Stellvertretend dafür stehen neben den erarbeiteten Grundlagen der technischen, ökonomischen und ökologischen Analyse und Bewertung insbesondere auch der Dialog mit Akteuren aus Politik und Verwaltung, Wissenschaft und Praxis. Über diesen eingeschlagenen Weg der Information und Kommunikation im Sinne des Austauschs

und der Netzwerkbildung können vielversprechende Ansätze für die Gestaltung einer ländlichen Bioökonomie ausgewiesen werden.

Mit dem Vorhaben wurden folgende Leitfragen adressiert:

- Was ist unter dem Konzept der ländlichen Bioökonomie zu verstehen?
- Wo steht die ländliche Bioökonomie und die Koppel- und Kaskadennutzung von Biomasse und von biogenen Rest- und Abfallstoffen heute – bezogen auf den politischen Rahmen, die Märkte und die verfügbaren Rohstoffe – aus wissenschaftlicher und praktischer Sicht?
- Welche Potenziale für dezentrale Ansätze und eine stofflich-energetische Bereitstellung und Nutzung von Biomasse und von biogenen Rest- und Abfallstoffen gibt es in ländlichen Räumen zukünftig?
- Wie steht es um die technologische Reife und Wirtschaftlichkeit von einzelnen Verwertungspfadern?
- Welche regionalökonomischen und ökologischen Effekte sind mit der Entwicklung von einzelnen Wertschöpfungsketten für den ländlichen Raum zu erwarten? Wer sind hier erste Pioniere und welches sind die zentralen Treiber, aber auch Hemmnisse?
- Welche Handlungen in der Praxis müssen zukünftig erfolgen und wie muss politisch gesteuert werden, um für ländliche Räume einen ökonomischen und darüber hinaus auch einen ökologischen nachhaltigen Mehrwert für die Gesellschaft zu leisten?
- Welcher zusätzliche Handlungs- und Forschungsbedarf besteht, um eine wertschöpfende stofflich-energetische Biomassenutzung und Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie auf- und ausbauen zu können?
- Welche Aktivitäten der Kommunikation und Kooperation bedarf es zukünftig hierfür?

Die Schriftenreihe ist in folgende Kapitel gegliedert:

- Nach dem erfolgten Einstieg und einer kurzen Vorstellung des Forschungsfokus und der Zielsetzung des Vorhabens widmet sich Kapitel 2 der Begriffsbestimmung für das Konzept der ländlichen Bioökonomie.
- Eine Übersicht der relevanten Verwertungspfade, Anwendungsbereiche und der Rahmenbedingungen einer ländlichen Bioökonomie gibt Kapitel 3. Dabei wird zunächst die methodische Vorgehensweise zur Auswahl der vertieft zu betrachtenden Wertschöpfungsketten skizziert. Im Anschluss wird auf den politisch-rechtlichen Rahmen, die Analyse von Biomassepotenzialen bezogen auf die Bereitstellung von Flächen und Rohstoffen sowie die Analyse von Märkten einzelner Produkte und Produktgruppen eingegangen.
- Kapitel 4, welches den Kern dieser Schriftenreihe bildet, stellt die methodische Vorgehensweise und Ergebnisse der vertieften Bewertung ausgewählter Wertschöpfungsketten dar. Dies umfasst die Technologie- und Infrastrukturanalyse, die Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Bewertung, die spezifischen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte als Resultat der Modellbildung für die ökonomische Betrachtung und die Ergebnisse der Lebenszyklusanalysen der Ökobilanzierung.
- In Kapitel 5 werden anschließend die Ergebnisse der szenarienbasierten Hochrechnung der (regional-)ökonomischen Effekte für fiktive Beispielprojekte und für fiktive Beispielregionen und für Deutschland beschrieben, um die möglichen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte auf regionale und nationaler Ebene im ländlichen Raum zu veranschaulichen.

- Ausgehend von den breit angelegten Arbeiten zu Beginn des Projekts (dargestellt in Kapitel 2 und Kapitel 3) und der Betrachtung einzelner Wertschöpfungsketten (dargestellt in Kapitel 4 und Kapitel 5) erfolgt in Kapitel 6 die Darstellung von Handlungsempfehlungen und Empfehlungen zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens für die zukünftige Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie.
- Kapitel 7 schließt mit einem Fazit und gibt einen Ausblick auf den weiteren Handlungs- und Forschungsbedarf.

Die Bearbeitung der dieser Schriftenreihe zugrundeliegenden beiden Teilvorhaben erfolgte als Verbundprojekt unter Leitung des IÖW und in enger Zusammenarbeit zwischen den Bearbeiterinnen und Bearbeitern von IÖW und IfaS. Die Verantwortung für die ökologische Bewertung und die Analyse der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte lag dabei beim IÖW. Für die Durchführung der Technologie- und Infrastrukturanalyse sowie der Analyse der Stoffströme und der betriebswirtschaftlichen Bewertung war das IfaS verantwortlich. Auch lag beim IfaS die Federführung für die Erarbeitung der Handlungsempfehlungen für die Praxis, während die Zuständigkeit für die Empfehlungen zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens beim IÖW verortet war. Zudem befasste sich das IÖW zu Beginn des Vorhabens schwerpunktmäßig mit der Analyse ausgewählter Märkte und der politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen sowie das IfaS mit der Analyse der Potenziale von Flächen und Rohstoffen und dem aktuellen Stand der Praxis.

## 2 Begriffsbestimmung: Ländliche Bioökonomie

In der Debatte zur Bioökonomie finden in der Politik, der Wissenschaft und der Praxis Ansätze einer dezentralen Wertschöpfung durch Verarbeitung und Veredelung nachwachsender Rohstoffe und biogener Rest- und Abfallstoffe im ländlichen Raum kaum Berücksichtigung. Dabei besteht jedoch grundsätzlich das Potenzial einer engen räumlichen Kopplung des Anbaus und der Rohstoffbereitstellung mit den Prozessen der Erst- und Weiterverarbeitung sowie der energetischen Nutzung der biogenen Roh- und Reststoffe. Es ist davon auszugehen, dass eine dezentrale Verwertung von Biomassen aufgrund der zumeist geringen Transportwürdigkeit ökonomische und ökologische Vorteile bietet. Die Entwicklung bei den erneuerbaren Energien hat zudem gezeigt, dass durch den Ausbau vorwiegend dezentraler Technologien eine Vielzahl von Akteuren von der Transformation des Energiesystems profitieren. Bei der energetischen Biomassenutzung sind dies insbesondere Akteure im ländlichen Raum, wie zum Beispiel landwirtschaftliche Betriebe, Privatpersonen und regionale Energieversorger. Dies belegt auch das vom IÖW bearbeitete Forschungsprojekt „Ermittlung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in drei ausgewählten Bioenergie-Regionen“, welches als Teil der wissenschaftlichen Begleitforschung der Fördermaßnahme „Bioenergie-Regionen“ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) die regionalökonomischen Effekte der Bioenergienutzung in den Bioenergie-Regionen Bodensee, Mittelhessen und Mecklenburgische Seenplatte ermittelt hat. Ein zentrales Ergebnis des Vorhabens ist, dass eine dezentrale, regionale Bioenergiewirtschaft positive Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte im ländlichen Raum haben kann (Rupp et al. 2017). Auch das IfaS hat sich mit regionalen Wertschöpfungsaspekten der Bioenergienutzung befasst sowie regionale Akteure zu diesem Themenbereich beraten (siehe u. a. DStGB et al. 2013). Ein aktuelles Beispiel ist das Projekt

MUNTER „Entwicklung eines Managementsystems für Landwirte und Kommunen für mehr Umwelt- und Naturschutz durch einen optimierten Energiepflanzenanbau“, gefördert im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP agri) (Wagener et al. 2017).

### **Regionale Cluster sind nicht zwingend Teil einer ländlichen Bioökonomie**

Die Bundesregierung und einzelne Bundesländer setzen bei der Entwicklung der Bioökonomie auf regionale Cluster. Beispiele sind das „BioEconomy Cluster“ in Halle, Sachsen-Anhalt, das Bioeconomy Science Center (BioSC) in Nordrhein-Westfalen sowie das Cluster „Nachwachsende Rohstoffe“ in Straubing, Bayern. Obwohl sich diese Cluster über Deutschland verteilen, sind mit diesen Clustern nicht zwingend immer dezentrale Bioökonomieansätze gemeint, die eine Stärkung von ländlichen Räumen intendieren. Der Fokus liegt überwiegend auf von wissenschaftlichen Einrichtungen wie Universitäten und Forschungszentren zentral organisierten Netzwerken, die an Kooperationen mit Industrieunternehmen gekoppelt sind. Diese Cluster orientieren sich in vielen Fällen am Einsatz großangelegter Bioraffinerietechnologien, um industrielle Prozesse in den einzelnen Regionen weiter auszubauen. Über die Bündelung von Expertise und finanziellen Ressourcen strahlen die Cluster zudem eine besondere Anziehungskraft auf einzelne Akteure aus. Die Folge ist die Stärkung einzelner weniger Standorte, gleichbedeutend mit der Stärkung der Regionen gegenüber überregionalen Wettbewerbern. Soll die Vielzahl der ländlichen Räume durch die Bioökonomie aufgewertet werden, so bedarf es einer Erweiterung oder Neuausrichtung dieses Clustergedankens. Mit der gezielten Förderung von im ländlichen Raum angesiedelten Wertschöpfungsketten, jenseits der reinen Fokussierung auf die Rohstoffbereitstellung, ist dies möglich. Eine Befragung von Expertinnen und Experten im Rahmen des Vorhabens zeigte, dass viele Akteure aus Forschung und Entwicklung sehr stark an technischen Lösungen für die Bioökonomie arbeiten, jedoch sozioökonomische Aspekte – wie die Stärkung der regionalen Wertschöpfung – nur wenig oder gar nicht im Blick haben. Auch in der Evaluation der „Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030“ stellen die beteiligten Forscherinnen und Forscher fest, dass eine Förderung von Projekten zur Stärkung des ländlichen Raums bisher vernachlässigt worden ist (Hüsing et al. 2017, S. 299). Ländliche Regionen bieten allerdings ein großes Potenzial für die Weiterentwicklung der Bioökonomie. Sie sind unabdingbar als Standort für die Bereitstellung unterschiedlicher nachwachsender Rohstoffe, insbesondere aus der Land- und Forstwirtschaft sowie im Bereich der biogenen Reststoffe. Darüber hinaus bieten sie Möglichkeiten für die Verarbeitung und Veredelung dieser Roh- und Reststoffe. Anders als im Anbau liegt in diesem Bereich auch ein Großteil der Bruttowertschöpfung (u. a. Efken et al. 2012).

### **Ländliche Bioökonomie bedarf dezentraler Ansätze**

Um der Aufwertung der ländlichen Räume gerecht zu werden und zur Weiterentwicklung der Bioökonomie beizutragen untersuchten das IÖW und IfaS im Rahmen des Projektes „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ Wertschöpfungsketten, bei denen zumindest ein Teil der Verarbeitungsschritte dorthin verlagert werden kann, wo die biogenen Ausgangsrohstoffe bereitgestellt werden.

Gemäß dem Verständnis der Autorinnen und Autoren ist unter dem Begriff der ländlichen Bioökonomie die Weiterentwicklung einer Bioökonomie zu verstehen, bei welcher der ländliche Raum nicht nur als Rohstofflieferant für industrielle Bioökonomiekonzepte betrachtet wird, sondern verstärkt selbst die Umsetzung von dezentralen Bioökonomieansätzen vorantreibt. Dies bedeutet, dass nach Möglichkeit ein Großteil der Wertschöpfungsstufen und -schritte innerhalb der Region realisiert werden. Damit soll erreicht werden, dass auch der ländliche Raum von den möglichen

positiven Effekten einer wachsenden Bioökonomie mit Blick auf Wertschöpfung und Beschäftigung profitiert (siehe Rupp et al. 2020).

Was in dem Vorhaben „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ nicht thematisiert wurde, ist die Frage, welche Teile der bestehenden zentralisierten industriellen Wertschöpfungsketten stärker dezentralisiert werden können. Dies bedarf einer gesonderten Prüfung. Weiterhin von Bedeutung für eine ländliche Bioökonomie sind – analog zur energetischen Biomassenutzung – finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten für ländliche Akteure. Dadurch können die Menschen in den ländlichen Räumen über die Rolle des Rohstofflieferanten hinaus an der Wertschöpfung vor Ort teilhaben.

Die Idee einer dezentralen, ländlichen Bioökonomie ist nicht gänzlich neu, sondern wird bereits in englischsprachigen wissenschaftlichen Publikationen aufgegriffen (Bugge et al. 2016). In der Publikation von Bugge et al. (2016, S. 9) werden drei verschiedene Sichtweisen („Visions“)<sup>2</sup> auf die Bioökonomie beschrieben. Die zweite und dritte Sichtweise nehmen Bezug auf den ländlichen Raum und dezentrale Konzepte:

1. Die *Biotechnologie Sichtweise* beschreibt eine technologisch anspruchsvolle, auf Erkenntnissen der Biochemie, der Biophysik, der chemischen Verfahrenstechnik, aber auch der Nanotechnologie oder der modernen Gentechnik aufbauende Bioökonomie. Die Wertschöpfungseffekte sollen sich durch die Kommerzialisierung von Forschung und Technologie ergeben. Räumlich ist sie ausgerichtet auf globale Cluster und zentrale Regionen. Treiber und Innovationsfaktoren sind Forschung und Entwicklung, Patente, Forschungsräte und Investierende.
2. Die *Bioressourcen Sichtweise* beschreibt die wirtschaftliche Verwertung biogener Roh- und Reststoffe durch neue oder effizientere Wertschöpfungsketten. Der Fokus ist prozessorientiert und liegt auf der Verarbeitung und Veredelung. Treiber und Innovationsfaktoren sind unter anderem die Optimierung der Landnutzung, inklusive der Einbindung degradierter Flächen in die Produktion von biogenen Brennstoffen, ebenso wie die Nutzung und Verfügbarkeit von nachwachsenden Rohstoffen, die Verwertung von Bioabfällen, der Maschinenbau sowie Forschung und Märkte. Bei dieser Sichtweise steht das Entwicklungspotenzial im ländlichen Raum im Vordergrund.
3. Die *Bioökologie Sichtweise* betont die Bedeutung der Umwelt für die Bioökonomie in Form von Biodiversität und intakten Ökosystemen. Sie zielt auf eine nachhaltige, integrierte und dezentrale Produktionsweise auf regionaler Ebene ab. Der Mehrwert wird geschaffen durch die zirkuläre, sich selbst tragende Herstellung hochwertiger Produkte. Treiber und Innovationsfaktoren sind die ökologische Landwirtschaft, Fragen der Ethik, ein transdisziplinäres Nachhaltigkeitsverständnis unter Berücksichtigung ökologischer Wechselwirkungen, die Wiederverwendung und das Recycling von Abfällen. Auch hier liegt der räumliche Fokus auf den Möglichkeiten für ländliche Regionen.

Im deutschsprachigen Raum kann die Nationale Forschungsstrategie der Biotechnologie Sichtweise zugerechnet werden. Eine Kombination aus Biotechnologie und Bioressourcen Sichtweise

---

<sup>2</sup> Da es sich bei den *Visions* um bestimmte Betrachtungsweisen des Begriffs handelt, verwenden wir das Wort „Sichtweise“ als Übersetzung. Bei Bugge et al. (2016) werden die *Visions* als Idealtypen verstanden. Verschiedene Forschungsansätze und Politikstrategien weisen unterschiedliche Ausprägungen und z. T. Verknüpfungen der einzelnen Sichtweisen auf. So folgt die Politikstrategie der OECD der Biotechnologie Sichtweise, die der EU der Bioressourcen Sichtweise und die der European Technology Platform TP Organics der Bioökologie Sichtweise auf die Bioökonomie (Bugge et al. 2016).

verfolgt die Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Gegenüber diesen beiden Ansätzen ist die Bioökologie Sichtweise in der politischen Debatte in Deutschland bislang unterrepräsentiert (Hackfort 2016). Ursache dafür ist unter anderem die mangelnde Repräsentation von zivilgesellschaftlichen Akteuren (wie z. B. Umwelt- und Naturschutzverbände) sowie Ökologinnen und Ökologen mit einem Verständnis zur Kulturlandschaftsentwicklung im Bioökonomierat der Bundesregierung (ibid.).

Mit dem Fokus auf die ländliche Bioökonomie wurden für das Forschungsvorhaben im Wesentlichen Aspekte der Bioressourcen und der Bioökologie Sichtweise aufgegriffen und gestärkt. Diese treten gegenüber dem bislang in der öffentlichen Debatte überwiegend biotechnologischen Verständnis der Bioökonomie weniger in Erscheinung. Letzteres ist stärker geprägt durch große Industrieanlagen, wie zum Beispiel zentral angelegten Bioraffinerien, die durch technologisch anspruchsvolle Verfahren die Potenziale der biogenen Rohstoffe oder sonstiger biologischen Ressourcen heben. Ob durch diesen zentralen Ansatz allein die Transformation zu einer nachhaltigen, biobasierten Wirtschaft gelingen kann, ist laut Gottwald (2015) auch aus Akzeptanzgründen fraglich.

### 3 Übersicht der relevanten Verwertungspfade, Anwendungsbereiche und Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel wird zunächst auf die methodische Vorgehensweise und den Auswahlprozess der im Projekt „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ näher betrachteten Wertschöpfungsketten eingegangen (Abschnitt 3.1). Darüber hinaus werden zur besseren Verortung der ländlichen Bioökonomie die wesentlichen Erkenntnisse aus der Analyse des politisch-rechtlichen Rahmens und hier im Speziellen die explizite beziehungsweise eher implizite Ausrichtung der Bioökonomiepolitik thematisiert (Abschnitt 3.2). Daran anschließend erfolgt die Darstellung der Analyse von Rohstoff- und Flächenpotenzialen von relevanten Biomassen und biogener Rest- und Abfallstoffe (Abschnitt 3.3) sowie die Darstellung der Analyse ausgewählter Märkte der Bioökonomie (Abschnitt 3.4). Zusammen mit einer Bestandsaufnahme von Erfahrungen mit bioökonomischen Ansätzen aus Forschung und Entwicklung sowie in der Praxis leisteten diese Erkenntnisse zu Beginn des Forschungsvorhabens eine wichtige Grundlage für die weiteren Arbeiten im Projekt.

#### 3.1 Methodische Vorgehensweise und Auswahlprozess

Die Bioökonomie mit ihrer großen Vielfalt an Ausgangsstoffen, Wertschöpfungsketten und Produkten konnte im Rahmen des Projektes nicht in Gänze betrachtet werden. Vielmehr musste eine Fokussierung auf ausgewählte Bereiche vorgenommen werden, da die Analyse der Technologien und Stoffströme sowie die ökologische und ökonomische Bewertung nur für ausgewählte Verwertungspfade durchgeführt werden kann. Diese Fokussierung erfolgte über einen iterativen Auswahlprozess, der im Folgenden erläutert wird.

Der erste Schritt dieses iterativen Prozesses ist eine **Fokussierung auf ausgewählte Bereich beziehungsweise Sektoren der Bioökonomie**. Bioökonomische Wertschöpfungsketten finden sich

unter anderem in der Land- und Forstwirtschaft, der Energiewirtschaft und der Nahrungsmittelindustrie, aber auch in der Chemie und Pharmazie und der Papier- und Textilindustrie. Das macht deutlich, dass es sich um eine große Vielfalt an Wertschöpfungsketten beziehungsweise -netzen handelt. Die Engführung auf bestimmte Bereiche der Bioökonomie erfolgte bereits beim Projektdesign und damit vor Beginn der eigentlichen Projektarbeiten. Ein Fokus ergibt sich durch die Konzentration auf gekoppelte stofflich-energetische Nutzung von Biomasse mit dem Ziel, unterschiedliche Verfahren der Koppel- und Kaskadennutzung zu betrachten. Nach Arnold et al. (2009) lassen sich hier drei Möglichkeiten unterscheiden:

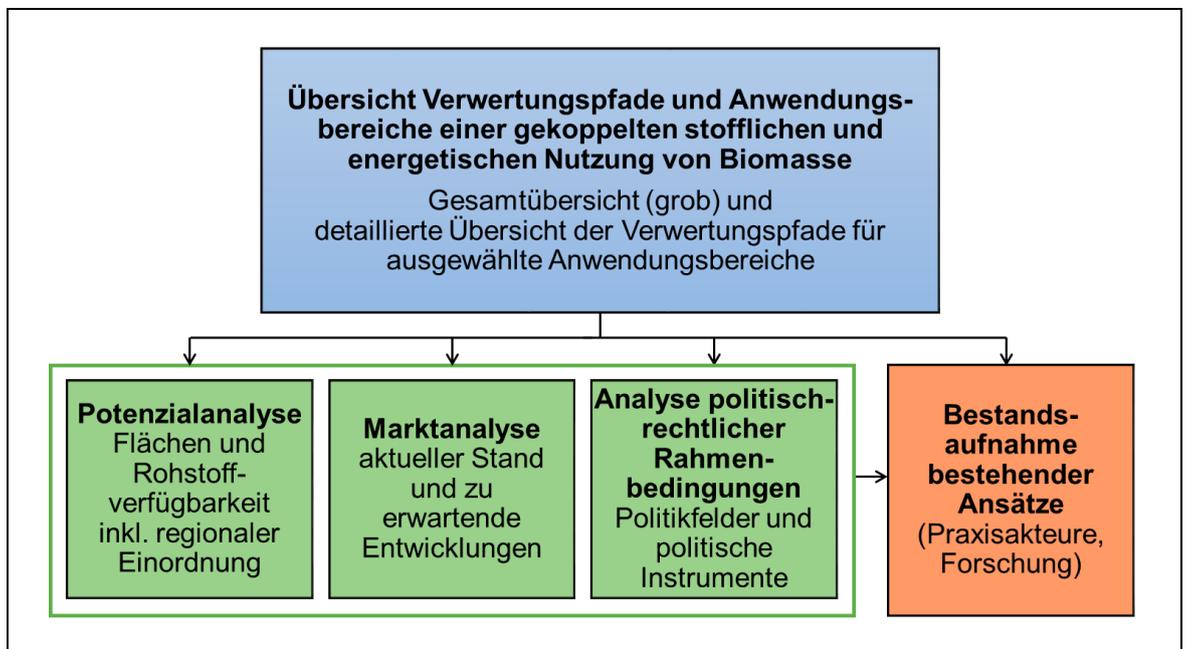
1. Neben- und Koppelproduktnutzung: die Pflanzenteile der gewachsenen Pflanze werden gegenüber dem Hauptprodukt anderweitig genutzt
2. Parallele Nutzung der ganzen Pflanze in verschiedenen Anwendungen: die Pflanzenteile werden im selben Prozessschritt verschiedenen Anwendungen (stofflich oder energetisch) zugeführt
3. Kaskadennutzung: sequentielle Nutzung von biogenen Rohstoffen für stoffliche und energetische Anwendungen d. h. der pflanzliche Rohstoff wird erst stofflich, dann energetisch genutzt.

Die Verknüpfung stofflicher und energetischer Verwertungspfade ist für die Autorinnen und Autoren von Interesse, weil für den Bereich der ausschließlich energetischen Biomassenutzung bereits umfangreiches Wissen zu ökonomischen und ökologischen Effekten vorliegt. Dafür stehen die Vorarbeiten der beteiligten Institute IÖW und IfaS. Dabei fanden die Projektarbeiten unter der Prämisse statt, dass die Sicherung der Ernährung Vorrang hat, wenngleich die Nahrungs- und Futtermittelproduktion nicht näher betrachtet wird. Mit dem Verständnis einer ländlichen Bioökonomie der Autorinnen und Autoren (siehe Kapitel 2) ergab sich eine weitere und zentrale Fokussetzung auf dezentrale Konzepte. Zudem lag ein Schwerpunkt auf der Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse und auf Bereichen, bei denen ein hohes Wissensdefizit besteht beziehungsweise deren Verwertungspfade noch nicht etabliert sind.

Im zweiten Schritt des Auswahlprozesses wurde die **Erarbeitung von Grundlagen für die Auswahl der vertieft zu betrachtenden Wertschöpfungsketten** vorgenommen. Dafür wurde zunächst ein Überblick über relevante Verwertungspfade und Anwendungsbereiche einer Koppel- und Kaskadennutzung von Biomasse im Kontext der Bioökonomie erarbeitet. Ausgehend von dieser Gesamtübersicht wurden in einem weiteren Schritt die Verwertungspfade und Produkte identifiziert werden, welche aktuell bedeutsam sind beziehungsweise in naher Zukunft voraussichtlich an Bedeutung gewinnen werden und für diese ausgewählten Anwendungsbereiche eine detaillierte Übersicht der Verwertungspfade erstellt. Die ausgewählten Anwendungsbereiche sind

- biobasierte Chemikalien  
(biobasierte Plattformchemikalien / Spezial- und Feinchemikalien)
- biobasierte Düngemittel / Nährstoffe / Sekundärrohstoffe
- Biopolymere und Bio-Elastomere
- biobasierte Fasern und Füllstoffe  
(unter anderem Fasern und Füllstoffe für Verbundwerkstoffe und Dämmstoffe)
- biobasierte Baustoffe & Holz(ersatz)werkstoffe  
(Fokus auf innovative Konzepte, keine Betrachtung der klassischen Holzwerkstoffindustrie).

Aufbauend darauf erfolgte für die oben aufgelisteten Anwendungsbereiche eine **Potenzialanalyse** (siehe Abschnitt 3.3), eine **Marktanalyse** (siehe Abschnitt 3.4) sowie die **Analyse politisch-rechtlicher Rahmenbedingungen** (siehe Abschnitt 3.2). Gleichzeitig lief eine **Bestandsaufnahme bestehender bioökonomischer Ansätze in Praxis und Forschung**. Eine schematische Darstellung der Vorgehensweise zeigt Abb. 3.1. Ziel der Analysen war es, Wertschöpfungsketten zu identifizieren, für die es 1) nennenswerte Rohstoff- und Flächenpotenziale in Deutschland gibt 2) für deren Produkte es bereits jetzt oder in Zukunft Absatzchancen gibt und 3) die eine Relevanz für die Entwicklung des ländlichen Raums haben. Für die Analysen wurde die aktuell verfügbare Literatur ausgewertet und Gespräche mit ausgewählten Expertinnen und Experten für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche durchgeführt. Für die Bestandsaufnahme bioökonomischer Wertschöpfungsketten in Praxis und Forschung wurden diese zunächst über ein Schneeballsystem identifiziert und im nächsten Schritt leitfadengestützte Interviews mit den Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartnern geführt.



**Abb. 3.1: Vorgehensweise bei der Erarbeitung von Grundlagen für die Auswahl von Wertschöpfungsketten**

Quelle: eigene Darstellung IÖW

Nach der Erarbeitung von Grundlagen für die ausgewählten Anwendungsbereiche folgte die **kriterienbasierte Vorauswahl von potenziell relevanten Wertschöpfungsketten** für die detailliertere Betrachtung der technischen Aspekte und Stoffströme sowie der Quantifizierung ökonomischer und ökologischer Effekte im weiteren Projektverlauf. Hierzu wurde zunächst ein Kriterien-Set entwickelt, das sowohl technische, ökologische und ökonomische Aspekte sowie die Frage nach dem Potenzial für Dezentralität und projektbezogene Kriterien beinhaltet (siehe Abb. 3.2). Mit Hilfe dieses Kriterien-Sets wurde von den Autorinnen und Autoren eine Vorauswahl von sieben Wertschöpfungsketten vorgenommen. Dabei wurden sowohl aktuell bereits praxiserprobte Pfade und Produkte als auch zukünftig potenziell relevante Verwertungspfade und Produkte, die sich gegenwärtig noch überwiegend im Pilotstadium befinden, berücksichtigt.

1. Faserdämmstoffe (Hanf)
2. WPC (Holzreststoffe)
3. Grasfasern Papierherstellung
4. Holzersatzwerkstoffe & Düngemittel aus Gärresten
5. Nahrungsergänzungs- & Düngemittel aus Grassilage
6. Torfersatzprodukte aus Anbaubiomasse
7. Biokunststoffe & Textilfasern aus Restmilch



**Abb. 3.2: Kriterien-Set für die Vorauswahl von Wertschöpfungsketten**

Quelle: eigene Darstellung IÖW

Die Diskussion dieser Vorauswahl von möglichen, im weiteren Projektverlauf näher zu untersuchenden Wertschöpfungsketten erfolgte über einen Expertenworkshop zusammen mit Expert/innen aus Politik und Wissenschaft sowie Vertreter/innen des BMEL und der FNR. Ziel war eine Zahl von drei bis fünf Wertschöpfungsketten, bei der nach Möglichkeit unterschiedliche Anwendungsbereiche und gleichzeitig unterschiedliche Ansätze (Koppelproduktnutzung, parallele Nutzung, stofflich-energetische Kaskadennutzung) repräsentiert sind. Die **finale Auswahl** wurde nach einer zusätzlichen Abstimmung mit den Vertreterinnen und Vertretern des BMEL und der FNR vorgenommen. Im Ergebnis wurden drei Wertschöpfungsketten für die vertiefte Analyse ausgewählt, diese sind:

1. Gärrestaufbereitung zu höherwertigen Düngemitteln und Fasern für Holzwerkstoffe
2. Pflanzenfasern (Hanf) für Dämmstoffe und naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK)
3. Pflanzenfasern (Gras) für die Herstellung von Papier und Kartonagen

## 3.2 Politisch-rechtlicher Rahmen

Seit über 10 Jahren gibt es eine politische Debatte über die Bioökonomie in der EU und in Deutschland (BMBF und BMEL 2014, S. 4). Sie soll einen ganzheitlichen Strukturwandel in der Wirtschaft herbeiführen: von einer fossilen zu einer biologisch nachwachsenden oder erneuerbaren Rohstoffbasis und von linearen zu zirkulären Stoffströmen (BMEL 2014). Dabei besteht die Bioökonomie aus vielen Sektoren mit Bezügen zu anderen Wirtschafts- und Politikbereichen.

Die Bioökonomiepolitik erstreckt sich in einem Mehrebenensystem vertikal über die verschiedenen politischen Ebenen der EU, Deutschlands und der Bundesländer. Gleiches gilt horizontal über die Abdeckung der verschiedenen Politikfelder wie der Agrar-, Umwelt- und Klima-, Wirtschafts- und Energie- sowie der Forschungs- und Verbraucherschutzpolitik. Um diese Vielfalt für das Themenfeld der ländlichen Bioökonomie zu ordnen bietet sich eine Unterscheidung in eine explizite und implizite Bioökonomiepolitik an.<sup>3</sup> Explizit ist jede Form der Politik, die sich ausdrücklich mit der Bioökonomie als gesamtwirtschaftlichen Wandel zu einer erneuerbaren Rohstoffbasis befasst. Implizit sind all jene Politikbereiche, die primär andere Sachgebiete steuern und dabei (mitunter unbeabsichtigt) Konsequenzen für die Bioökonomie haben (siehe Tab. 3.1).

**Tab. 3.1: Auswahl von Beispielen einer expliziten und impliziten Bioökonomiepolitik**

Quelle: Eigene Darstellung IÖW in Anlehnung an Pannicke et al. (2015a)

Politikfelder	Explizit	Implizit		
	Bioökonomie	Agrar-, Forst- und Fischerei	Energie	Klimaschutz
EU	Bioökonomie-strategie für Europa	Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) Gemeinsame Fischereipolitik (GFP)	Erneuerbare Energien Richtlinie (RED)	Europäischer Emissionshandel (ETS)
Deutschland und Bundesländer	Nationale Forschungs-strategie Bioökonomie Nationale Politikstrategie Bioökonomie Forschungs- und Politikstrategien der Länder	Direktzahlungs-Durchführungsgesetz Agrarmarkt-strukturgesetz Waldstrategie 2020	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG) Baden-Württemberg	Klimaschutzfahr-plan Klimaschutzge-setz Baden-Württemberg/ Nordrhein-West-falen

<sup>3</sup> Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Arbeitsgruppe „Governance der Bioökonomie“ des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) schlagen eine ähnliche Unterscheidung vor. Sie grenzen die „direkte“ von einer „indirekter Bioökonomiepolitik“ ab (Pannicke et al. 2015a, S. 226).

### 3.2.1 Explizite Bioökonomiepolitik

Die wichtigsten Strategiepapiere expliziter Bioökonomiepolitik für Deutschland sind die Bioökonomiestrategie der Europäischen Kommission „Innovation for Sustainable Growth – A Bioeconomy Strategy for Europe“ aus dem Jahr 2012 und ein Update aus dem Jahr 2018, sowie die Nationale Forschungsstrategie Bioökonomie (2010) und die Nationale Politikstrategie Bioökonomie (2013) der deutschen Bundesregierung. Die Papiere werden im Folgenden bezugnehmend auf eine ländliche Bioökonomie kurz dargestellt.

In ihrer Bioökonomiestrategie erklärt die Europäische Kommission folgende für den ländlichen Raum relevante Ziele: Wirtschaftliches Wachstum und Arbeitsplätze, eine Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Ressourcen, eine Verbesserung der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit der Urproduktion und verarbeitender Gewerbe (Europäische Kommission 2012, S. 10). Hauptziele der Bioökonomie sollten die Ernährungssicherheit, Klimaschutz und Klimaanpassung sowie der Erhalt der natürlichen Ressourcen sein (ibid., S. 23). Als Vision gibt die Kommission eine CO<sub>2</sub>-arme Wirtschaft für das Jahr 2050 innerhalb eines ressourceneffizienten Europas mit erhöhter Kohlenstoffbindung in landwirtschaftlichen Böden und Waldressourcen vor (ibid., S. 12). Im Update der europäischen Bioökonomiestrategie mit dem Titel „Eine nachhaltige Bioökonomie für Europa. Stärkung der Verbindungen zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt“ wird der Nachhaltigkeit und der Kreislauforientierung ein besonderer Stellenwert eingeräumt: „[...] Um erfolgreich zu sein, muss die europäische Bioökonomie die Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft in den Mittelpunkt stellen. Daraus werden sich Impulse für die Erneuerung unserer Industrie, die Modernisierung unserer primären Produktionssysteme, den Umweltschutz und die Verbesserung der biologischen Vielfalt ergeben.“ (Europäische Kommission 2018, S. 1). Relevant für eine ländliche Bioökonomie sind diesbezüglich vor allem die vorgesehenen Investitionen in Forschung, Innovation und Qualifikation sowie die verbesserte Verzahnung der politischen Maßnahmen, ein stärkeres Engagement der Akteure, ebenso wie die Stärkung der relevanten Märkte und der Wettbewerbsfähigkeit in der Bioökonomie. Darüber soll, im Sinne der „lokalen Bioökonomien“, in ländlichen Gebieten, der Anteil an Primärproduzierenden sowie deren Nutzen gesteigert und neue Arbeitsplätze geschaffen werden (ibid., S. 2 und 10). Die Realisierung dieser Ziele und der Vision der Bioökonomiestrategie werden durch die Forschungs- und Innovationsförderung sowie die Schaffung eines kohärenten Politikrahmens angestrebt. Finanzielle Mittel werden über das Förderprogramm „Horizon 2020“ bereitgestellt. Über diese Förderung hinaus soll es auf EU-Ebene keine Förderung biobasierter Forschung und Innovationen geben. Vielmehr soll die Förderung auf Ebene der lokalen und regionalen Wirtschaftsräume der einzelnen Nationalstaaten stattfinden. Durch die Förderung regionaler Angebot- und Nachfragemassnahmen sieht die Europäische Kommission in der Bioökonomie Chancen für die Entwicklung ländlicher Regionen (Europäische Kommission 2012, S. 12).

Ein kohärenter Politikrahmen für die Bioökonomie in Europa und den Mitgliedsstaaten soll über eine implizite Bioökonomiepolitik über die bereits bestehende Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) entstehen (siehe Abschnitt 3.2.2). Der beabsichtigte verstärkte Fokus der künftigen Kohäsionspolitik auf Innovation und nachhaltiges Wachstum soll lokalen und regionalen Akteuren breite Möglichkeiten zur Kofinanzierung von Programmen und Projekten bieten, die die Bioökonomie im Rahmen von nationalen und regionalen Strategien fördern (Europäische Kommission 2012, S. 27).

Die Forschungsförderung steht auch im Fokus der Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie der Bundesregierung, aufgelegt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Darin formuliert die Bundesregierung folgende Ziele, relevant für die Bioökonomie im ländlichen Raum: Globale Ernährungssicherung und nachhaltige Agrarproduktion, die Produktion gesunder

und sicherer Lebensmittel, die industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe und einen Ausbau von Energieträgern auf Basis von Biomasse (BMBF 2010). Die Ziele erstrecken sich entlang dreier Leitlinien: 1. Menschen nachhaltig versorgen, 2. Nutzungswege gemeinsam betrachten und 3. Gesamte Wertschöpfungsketten in den Blick nehmen (BMBF 2010, S. 10). Vor allem die zweite und dritte Leitlinie betonen die Bedeutung der effizienten Nutzung nachwachsender Rohstoffe, inklusive der Nutzung biogener Reststoffe, und bieten damit Anknüpfungspunkte für eine ländliche Bioökonomie. Allerdings wird die Förderung einer dezentralen Wertschöpfung in der Forschungsstrategie nicht ausdrücklich erwähnt. Dies zeigt die Evaluation der Forschungsstrategie, in welcher die beteiligten Forscherinnen und Forscher festhalten, dass eine Förderung von Projekten zur Stärkung des ländlichen Raums bisher vernachlässigt worden ist (Hüsing et al. 2017, S. 299).

Zusätzlich zu der Forschungsstrategie hat sich die Bundesregierung 2013 durch ihre Nationale Politikstrategie im Bereich der Bioökonomie breiter aufgestellt. Unter Federführung des BMEL wurde die Strategie 2014 veröffentlicht und eine interministerielle Arbeitsgruppe gegründet (BMEL 2016b). Durch die ressortübergreifende Abstimmung bemüht sich die Bundesregierung der thematischen Vielfalt der Bioökonomie gerecht zu werden. In der Strategie und dessen Fortschrittsbericht gibt es über die Ziele, Leitgedanken, prioritären Handlungsfelder und Schwerpunktmaßnahmen indirekt Bezüge zur ländlichen Bioökonomie (BMEL 2014; BMEL 2016c). Als Beispiel ist die sachgerechte Umsetzung der GAP über die Umsetzung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen und Programmen für den ländlichen Raum zu nennen. Die konkrete Ausgestaltung der Maßnahmen obliegt hierbei den Bundesländern (BMEL 2016c, S. 56). Ein anderes Beispiel ist die Förderung von Innovationen und Produkten der Kaskaden- und Koppelnutzung (BMEL 2016c, S. 76). Im Gegensatz zur Forschungsstrategie wird die energetische Nutzung von Biomasse nicht explizit als Ziel genannt. Mit anderen Zielen und Leitgedanken geht die Politikstrategie über die Forschungsstrategie hinaus. Denn die Bioökonomie soll auch Beschäftigung und Wertschöpfung schaffen und sichern, „gerade auch in ländlichen Räumen“ (BMEL 2014, S. 9 f.).

Eine explizite und umfassende Politik für eine ländliche Bioökonomie gibt es bislang nicht. Die Europäische Kommission möchte durch die Bioökonomie zwar Wertschöpfung und Beschäftigung in ländlichen Räumen fördern, ergreift dazu aber keine Maßnahmen jenseits der Forschungsförderung. Die deutsche Bundesregierung verfolgt über die Bioökonomie nicht ausdrücklich das Ziel der Stärkung ländlicher Räume, auch wenn das BMEL in seinem Fortschrittsbericht zur Nationalen Politikstrategie Bioökonomie die Möglichkeit einer Förderung der „nachhaltigen Produktion und Nutzung von Biomaterialien mit Mitteln aus dem Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums“ (ELER) (BMEL 2016c, S. 43 und 44) erwähnt. Umso stärker ergreifen vereinzelt die Bundesländer – neben den Möglichkeiten der Ausgestaltung einzelner Maßnahmen der GAP – die Initiative und bemühen sich um die Vision einer ländlichen Bioökonomie. In Baden-Württemberg und Bayern gibt es dazu konkrete Ansätze. Hervorheben ist hier die Erstellung der Landesstrategie Baden-Württemberg „Nachhaltige Bioökonomie“, mit dem Strategiestrang „Nachhaltige Bioökonomie für die ländlichen Räume“. Grundlage dafür war ein Dialogprozess mit verschiedenen Arbeitskreisen zu unterschiedlichen Themen, von der Bereitstellung und Nutzung von Biomasse, über die Schaffung von politischen Rahmenbedingungen, bis hin zum Wissenstransfer und gesellschaftlichen Dialog (vgl. BioProBW 2018). Untermuert wird diese Relevanz durch eine Rede des Ministers für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Peter Hauk, in der er darauf hinweist, dass insbesondere der ländliche Raum durch „die Schaffung regionaler, biobasierter Wirtschaftskreisläufe von der Bioökonomie profitieren könne“ (Hauk 2016). Dazu werden in Baden-Württemberg seit 2002 die (industrielle) Biotechnologie- und Bioökonomieforschung gefördert (BioProBW 2017). Demgegenüber gibt es in Bayern seit über 25 Jahren Forschung und Koordination im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe, zunächst durch das Centrale Agrar-Rohstoff-Marke-

ting- und Energie-Netzwerk (C.A.R.M.E.N.) und seit 2001 durch das Kompetenzzentrum Nachhaltige Rohstoffe (Konaro). Bayern verfügt zudem über gute Wirtschaftsstrukturen im ländlichen Raum (Küpper 2016). In anderen Bundesländern liegt der Fokus dagegen eher auf zentralen, industriell geprägten Prozessen (wie z. B. in NRW mit dem Bioeconomy Science Centre oder in Sachsen-Anhalt mit dem Bioeconomy Cluster). Außerdem können auch Kommunen die ländliche Bioökonomie über eigene Aktivitäten fördern, wie zum Beispiel die Stadt München über das Münchner Förderprogramm Energieeinsparung („CO<sub>2</sub>-Bonus“) und die damit verbundene Förderung nachwachsender Kohlenstoff speichernder Baustoffe (vgl. C.A.R.M.E.N. e.V. 2016).

### 3.2.2 Implizite Bioökonomiepolitik

Durch das „Vakuum“ an expliziter ländlicher Bioökonomiepolitik gewinnt die implizit die Bioökonomie betreffende Politik an Bedeutung. Diesbezüglich prägen diverse politische Instanzen und Instrumente auf EU-, Bundes- und Landesebene – stellvertretend für verschiedene Politikfelder – die Bioökonomie in Deutschland. Ihre Entscheidungen beeinflussen das Handeln der Akteure und die vorgefundenen Rahmenbedingungen, sowohl auf nationaler Ebene als auch im ländlichen Raum. Prinzipiell kann das jede Politik sein, die eine dezentrale Produktion, Verarbeitung, den Handel und Konsum oder das Recycling und die Wiederverwendung von Biomasse und biogenen Abfall- und Reststoffen beeinflusst. Anstelle einer umfassenden Analyse der potenziell bedeutsamen Politikbereiche lohnt sich der Blick auf das gegebene politische Instrumentarium von einzelnen Wertschöpfungsketten. Für zwei der drei Wertschöpfungsketten, die in dem Forschungsvorhaben, das dieser Schriftenreihe zugrunde liegt, näher untersucht wurden, lassen sich überblicksartig folgende Aussagen treffen: Die Herstellung von Düngemitteln und Holzersatzwerkstoffen aus Gärresten ist maßgeblich abhängig von der Installation und dem Betrieb von Biogasanlagen. Diese sind durch die Energiepolitik beeinflusst und durch das Anlagenrecht reglementiert. Die Verarbeitung von Gärresten fällt zudem unter das Kreislaufwirtschaftsgesetz sowie hinsichtlich der Bereitstellung von Düngemitteln unter die Düngemittelverordnung, zu fassen unter der Agrar- und Umweltpolitik. Bei der Verarbeitung von Gärresten können über die Erweiterung der Biogastechnologie zudem vermehrt Bioraffineriekonzepte zum Einsatz kommen. Diese sind durch das Bundesimmissionsschutzgesetz reguliert. Darüber hinaus ist die Entwicklung der Nutzung von Gärresten abhängig, ob die Biogastechnologie weiterhin als strategische Komponente für einen zukünftigen Energiemix und als wichtiges Element der Klimapolitik erhalten bleibt oder die Technologie als Auslaufmodell angesehen wird. Betrachtet man demgegenüber den Anbau von Faserpflanzen für die Produktion und den Vertrieb von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, so kann auf Erfahrungen aus der Vergangenheit zurückgegriffen werden. Durch die Förderung derartiger Dämmstoffe kam es zeitweise zu einem Erstarren des Hanfanbaus und dessen Verarbeitung. Mit der Einstellung der Förderung endete dieser „Boom“ und die Wertschöpfungskette verblieb in der Nische. Auch ist der Anbau von Hanffasern durch die Anzeigepflicht durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung für verschiedene Nutzungen reguliert beziehungsweise der Einsatz von Dämmstoffen durch das Baurecht reglementiert. Mit diesen Beispielen wird deutlich, dass Investitionen in bestimmte Technologien und Verfahren – die dienlich für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie sein können – implizit vom politisch-rechtlichen Rahmen einzelner oder mehrerer Politikbereiche abhängen, siehe diesbezüglich auch Abschnitt 6.2.

## 3.3 Potenzialanalyse

Die Analyse von Biomassepotenzialen dient im Allgemeinen dazu, einen Überblick über Schwerpunkte und Entwicklungsmöglichkeiten für die nachhaltige Nutzung von Biomasse zu gewinnen. Eine derartige Analyse ersetzt damit keine Planung und erhebt daher keinen Anspruch auf eine hohe Genauigkeit. Im Kontext des Vorhabens dienten die durchgeführten Potenzialanalysen maßgeblich dazu, relevante Biomassenutzungspfade und -wertschöpfungsketten von weniger relevanten abzugrenzen.

Analog zur energetischen Biomassenutzung kann für die stoffliche Nutzung zum einen auf Anbau-biomasse und zum anderen auf Reststoffe zurückgegriffen werden. Dementsprechend gliedert sich die Potenzialerhebung in eine Analyse zu Flächenpotenzialen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe und in eine Analyse von Reststoffpotenzialen aus der forstwirtschaftlichen und landwirtschaftlichen Produktion (Nahrungs-, Futtermittel- und Energieerzeugung), die für eine ländliche Bioökonomie zur Verfügung stehen können.

Die Erhebung der Flächen- und Reststoffpotenziale erfolgte zunächst über eine Recherche und Auswertung relevanter Fachliteratur. Ergänzend hierzu und für eine Einordnung der Literaturergebnisse wurden eigene Berechnungen zu Flächen- und Reststoffpotenzialen angefertigt. Insgesamt wurde so eine breite Diskussionsgrundlage zu den Biomassepotenzialen für eine ländliche Bioökonomie geschaffen sowie wesentliche Potenziale identifiziert und näher quantifiziert.

### 3.3.1 Methodische Vorgehensweise

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden sowohl Studien mit Fokus auf dem Thema Energie als auch verschiedene Arbeiten speziell zur stofflichen Biomassenutzung recherchiert und ausgewertet.

Die Analyse des Forstsektors ist wichtig für eine ganzheitliche Betrachtung der Potenziale der Bioökonomie, da die Forstwirtschaft sowohl flächen- als auch mengenmäßig in Deutschland eine bedeutende Ressource bewirtschaftet. In Ergänzung zur Untersuchung forstlicher Biomassepotenziale wurden auch landwirtschaftliche Reststoffe näher betrachtet. Die Analyse der Reststoffpotenziale ist eine weitere wichtige Grundlage für die Identifizierung geeigneter Wertschöpfungsketten einer ländlichen Bioökonomie. Zur besseren Handhabbarkeit werden die Rest- und Abfallstoffe aus dem kommunalen und industriellen Bereich getrennt ausgewiesen.

Die eigenen Berechnungen basieren auf den folgenden Potenzialkategorien:

Das **theoretische Potenzial** beschreibt die in einem Betrachtungsraum und innerhalb einer bestimmten Zeitspanne – in der Regel auf ein Jahr bezogen – theoretisch verfügbare, gesamte Menge einer Biomasse. Diese Potenzialkategorie stellt das maximale Angebot einer Potenzialart dar und bildet somit die Obergrenze der Flächen- oder Rohstoffpotenziale, die einen theoretischen Beitrag zum Ausbau der stofflichen und energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen leisten können (Kaltschmitt et al. 2009).

Das **technische Potenzial** beschreibt den technisch nutzbaren Anteil des theoretischen Potenzials. In der folgenden Potenzialanalyse stellt das technische Potenzial eine Größe dar, die aus heutiger Sicht ohne Nutzungseinschränkungen maximal bereitgestellt werden kann. Die Verwendung

von Getreidestroh zur Verbesserung der Humusbilanz ist ein Beispiel für eine häufige Nutzungseinschränkung, da das hierzu auf dem Acker verbleibende Stroh nicht für eine anderweitige, z. B. stoffliche Nutzung zur Verfügung steht.

Das **genutzte Potenzial** (Bestand) setzt sich aus den bereits vorhandenen Flächen- oder Rohstoffpotenzialen zusammen, die aktuell in stofflichen oder energetischen Nutzungspfaden verwendet werden. Hierzu zählt beispielsweise die stoffliche Nutzung von Stroh als Einstreu oder als Humusverbesserer sowie Flächen, die aktuell zur Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt werden. Es ist anzumerken, dass dieses Potenzial nur näherungsweise bestimmt werden kann und somit eine Abschätzung darstellt.

Das künftige **Ausbaupotenzial** ergibt sich aus der Ermittlung des technischen abzüglich des genutzten Potenzials im Betrachtungsraum. Damit dient es als Grundlage für die Entwicklung von Maßnahmen und das Aufzeigen langfristiger Entwicklungschancen im Bereich der ländlichen Bioökonomie.

Die im folgenden dargestellten Ergebnisse bilden in diesem Sinne letztendlich technische Potenziale sowie teilweise genutzte und Ausbaupotenziale ab.

## 3.3.2 Ergebnisse

### 3.3.2.1 Flächenpotenziale

In Deutschland werden aktuell rund 4,6 Mio. ha Grünland bewirtschaftet. Die Verfügbarkeit an Grünlandfläche wird im Wesentlichen durch die Tierhaltung (Raufutterfresser) und durch die Flächenumwidmung bestimmt. Hinsichtlich der vorhandenen Biogasanlagen wurde im Anbaumix ein Grünlandflächenbedarf (bezogen auf 12 Prozent massenbezogener Einsatz von Grassilage von circa 0,21 Mio. ha berechnet, die bei der Analyse des Ausbaupotenzials berücksichtigt wurden (Scheffelowitz et al. 2015). Daraus ergibt sich unter den aktuellen Gegebenheiten und den getroffenen Annahmen ein Ausbaupotenzial von rund 61.000 ha Grünlandfläche.

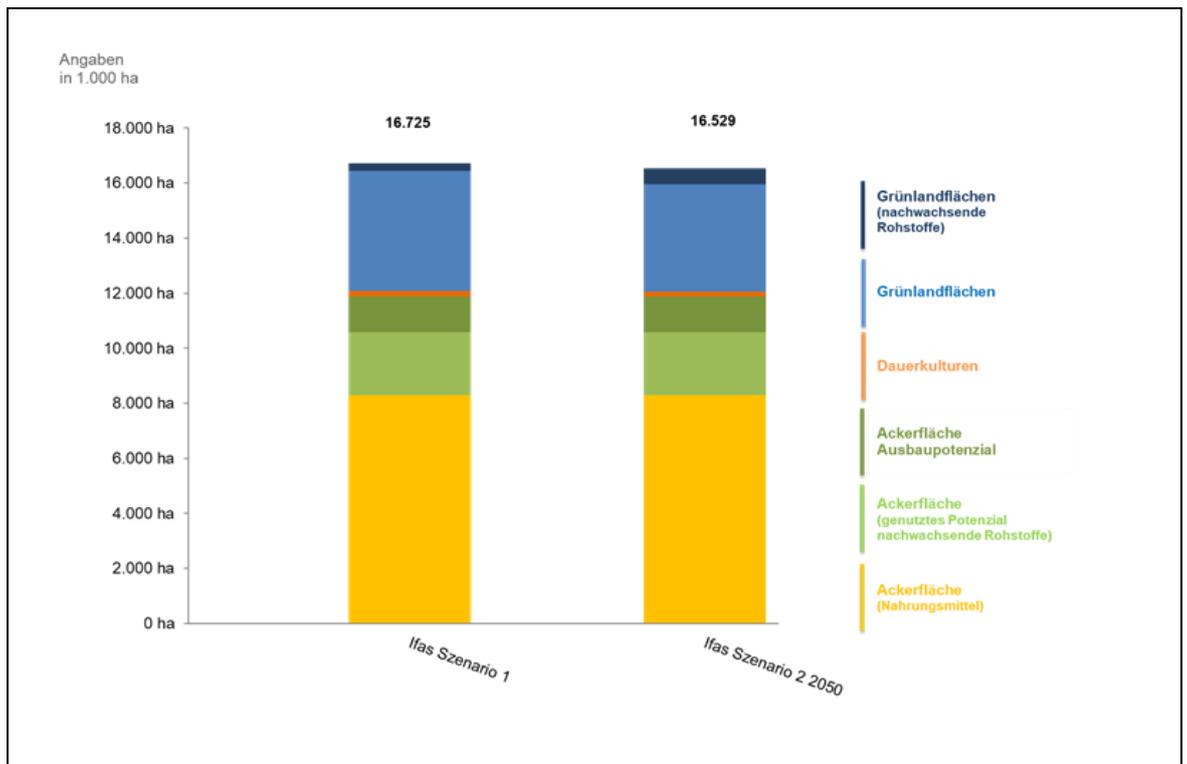
Im Hinblick auf die Flächenverluste zeigt sich, dass Grünlandflächen die höchste Verlustrate von circa 12 Prozent (620.000 ha, in den letzten 20 Jahren) im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzflächen aufweisen. In der gleichen Zeitspanne reduzierte sich auch die Viehhaltung im Bereich der raufutterverzehrenden Tierarten (z. B. Rinder um rund 26 Prozent; Schafe um rund 51 Prozent) (BMEL 2015a). Ausgehend von diesem Strukturwandel kann angenommen werden, dass die Flächenverluste (circa 620.000 ha) sowie die Grünlandnutzung zur Substratproduktion für die stoffliche und energetische Verwertung (circa 210.000 ha) bilanziell aus dem reduzierten Grünlandbedarf für die Raufuttergewinnung bereitgestellt wurden. Aufgrund dieser Gegebenheit wurden im Bereich der Grünlandnutzung zwei Szenarien betrachtet. **Szenario 1** zeigt die Flächenpotenziale unter der aktuellen landwirtschaftlichen Flächennutzung und Tierhaltung. **Szenario 2** legt die Entwicklung der letzten zwanzig Jahre zugrunde in Bezug auf Flächen- und Viehbestandsentwicklung und schreibt diese Entwicklungen mittels potenzieller Trendlinie bis 2050 fort. Das Szenario nimmt damit bis 2050 einen Grünlandflächenverlust von 4 Prozent und eine Abnahme der raufutterverzehrenden Tiere (Rinder) um 12 Prozent an.

Die Analyse zeigt, dass die Grünlandflächenpotenziale im Wesentlichen von der Rinderhaltung abhängig sind. Entspricht die künftige Entwicklung dem Szenario 1, könnten Grünlandflächenpotenziale in einer Größenordnung von 0,27 Mio. ha zur Verfügung stehen. Unter Berücksichtigung des

genutzten Potenzials von rund 0,21 Mio. ha beträgt das Ausbaupotenzial in diesem Szenario etwa 0,06 Mio. ha. Im Hinblick auf das Szenario 2 würden langfristig rund 0,57 Mio. ha für die stoffliche und/oder energetische Nutzung zur Verfügung stehen.

Ausgehend von den erörterten Ergebnissen können Flächenpotenziale zwischen 3,8 und 4,1 Mio. ha bereitgestellt werden. Hieran haben die Grünlandflächen einen Anteil zwischen circa 5 bis 15 Prozent.

Die Ergebnisse der Potenzialanalyse werden in Abb. 3.3 dargestellt.



**Abb. 3.3: Flächenausbaupotenzial bis 2050**

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IfaS

### 3.3.2.2 Reststoffpotenziale

Die Reststoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion wurden für die Bereiche Ackerkulturen, Viehhaltung, Energieproduktion sowie Obst- und Rebanlagen bestimmt. Für die Markfruchtflächen wird angenommen, dass zukünftig 30 Prozent der Flächen für die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen zur Verfügung stehen, dies entspricht einer Fläche von etwa 2,32 Mio. ha. Im Bereich der Stilllegungsflächen (0,19 Mio. ha) wurde angenommen, dass diese künftig zu 100 Prozent für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden. Somit stehen insgesamt für den Bereich der Rohstoffproduktion für die stoffliche und energetische Nutzung etwa 2,51 Mio. ha zur Verfügung. Die genutzte Markfruchtfläche beträgt zusätzlich etwa 1,22 Mio. ha welche von den 2,51 Mio. ha abgezogen werden müssen. Aktuell werden 2,27 Mio. ha Ackerfläche (inkl. z. B. Flä-

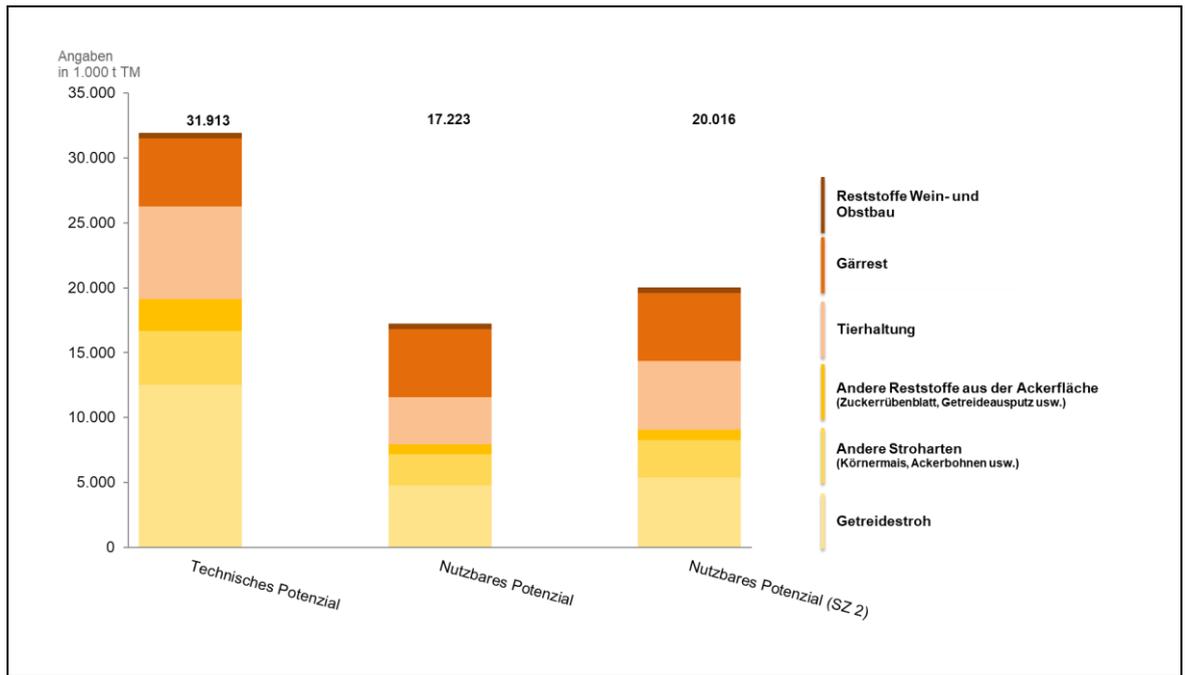
chen für Energiemaisanbau) für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Nach Addition der dargelegten 1,29 Mio. ha, ergibt sich in Summe eine Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe von 3,56 Mio. ha. Es zeigt sich, dass der Bestand an Ackerflächen mit einer Zunahme von circa 64.000 ha in den letzten 20 Jahren relativ konstant blieb. Deshalb wird für die folgenden Szenarien angenommen, dass im Bereich der Ackerflächen für die Zukunft keine wesentlichen Änderungen zu erwarten sind.

Die Reststoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion wurden für die Bereiche Ackerkulturen, Viehhaltung, Energieproduktion sowie Obst- und Rebanlagen bestimmt. Die Analyse ergab ein theoretisches Potenzial von etwa 52 Mio. Tonnen Trockenmasse (TM) pro Jahr, welches vorrangig durch die Fraktionen Getreidestroh und Reststoffe aus der Tierhaltung (circa 34 Mio.  $t_{TM}/a$ ) bestimmt wird. Unter Berücksichtigung von Restriktionen (z. B. Bergungsraten) wurde ein technisches Potenzial von rund 32 Mio.  $t_{TM}$  identifiziert.

Von dem technischen Potenzial wurde das genutzte Potenzial (z. B. Stroh als Einstreumaterial, Humusaufbau usw.) von rund 14,7 Mio.  $t_{TM}/a$  in Abzug gebracht. Diese Einschätzung über die Nutzung der Materialien erfolgte auf Grundlage von Literaturdaten. Von dem technischen Potenzial wurde das genutzte Potenzial (z. B. Stroh als Einstreumaterial, Humusaufbau usw.) von rund 14,7 Mio.  $t_{TM}/a$  abgezogen.

Im Hinblick auf nutzbare Rohstoffe wurden zwei Szenarien erstellt. Das nutzbare Potenzial zeigt das Rohstoffpotenzial, welches unter Berücksichtigung der identifizierten Nutzungspfade mobilisiert werden kann. Im Szenario nutzbares Potenzial SZ 2 wird angenommen, dass künftig durch die technische Entwicklung Bergungsverluste reduziert werden (Ackerkulturen um 10 Prozent und Weinbau um 5 Prozent) sowie eine Reduktion (20 Prozent) des nicht erschließbaren Anteils der tierischen Exkrememente möglich ist.

Im Ergebnis könnten unter den dargestellten Annahmen zwischen 17 Mio.  $t_{TM}/a$  und 20 Mio.  $t_{TM}/a$  an Rohstoffen für die energetische oder stoffliche Nutzung bereitgestellt werden. An dieser Menge haben die Reststoffe aus der Tierhaltung einen Anteil von circa 53 Prozent (8,8 bis 10,5 Mio.  $t_{TM}/a$ ). Reststoffe aus Erntenebenprodukten bilden die zweitgrößte Reststoffgruppe mit circa 45 Prozent (8 bis 9 Mio.  $t_{TM}/a$ ). Nebenprodukte aus der Weinbergspflege und -neuanlage haben mit 2 Prozent einen geringen Anteil am nutzbaren Potenzial.



**Abb. 3.4: Ausbaupotenzial der Reststoffe**  
 Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IfaS

### 3.3.2.3 Forstpotenziale

Deutschland ist zu knapp einem Drittel mit Wald bedeckt: Damit sind 11,4 Mio. ha der gesamten Fläche Deutschlands Waldflächen, 10,9 Mio. ha davon macht der bestockte Holzboden aus. In Bezug auf die Waldfläche gab es seit der letzten Bundeswaldinventur nur geringfügige Veränderungen. Die Waldfläche verzeichnete im Zeitraum von 2002 bis 2012 einen Flächenverlust von circa 58.000 ha, dem stehen 108.000 ha Flächengewinne an neuem Wald gegenüber. In Summe hat die Waldfläche in diesem Zeitraum um 0,4 Prozent (50.000 ha) zugenommen (BMEL 2014).

Die Besitzverhältnisse des deutschen Waldes gliedern sich in Privatwald (48 Prozent), Landeseigentum (29 Prozent), Körperschaftseigentum (19 Prozent) und Bundeseigentum (4 Prozent). Die jeweiligen Anteile unterscheiden sich allerdings stark innerhalb der Bundesländer. Es wird prognostiziert, dass der Holzvorrat bis 2052 auf 3,9 Mrd. Vorratsfestmeter (Vfm) ansteigen wird. Dies entspricht einer jährlichen Steigerung von etwa 0,1 Prozent pro Jahr (BMEL 2016a).

Die Ergebnisse in den dargestellten Studien (siehe Tab. 3.2) weisen bis 2020 ein nutzbares Holzpotenzial von bis zu 23 Mio. t<sub>TM</sub>/a aus, wobei die größten Potenziale im Waldrestholz liegen (8,6 bis 10,6 Mio. t<sub>TM</sub>/a). Mantau (2012a) gibt einen breiten Korridor (12 bis 42 m<sup>3</sup>) für die Waldrestholzpotenziale an. Die Umrechnung auf Tonnen Trockenmasse erfolgt über einen Mittelwert, aus diesem Grund kann die Masseneinheit abweichen. Die nachfolgende Tabelle listet die wesentlichen Szenarien und Ergebnisse aus der Literaturlauswertung auf und gibt einen Überblick über die relevanten Studien sowie die darin erfassten forstlichen Potenziale.

**Tab. 3.2: Übersicht der Studienergebnisse zu den forstwirtschaftlichen Potenzialen**

\*Umrechnung TM: 5 MWh/t; ST = Stammholz

Studie	Ergebnis		Bemerkung
Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur (O A 2016)	weitere Potenziale vor allem im Kleinprivatwald		Darstellung ausgewählter Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur
Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen. Status quo in Deutschland (Brosowski et al. 2015)	Großes ungenutztes Potenzial im Bereich Waldrestholz (Laub- und Nadelholz):	11,8 Mio. t <sub>TM</sub>	Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen. Status quo in Deutschland (Brosowski et al. 2015)
Biomassepotenziale und Nutzungskonkurrenzen (Majer et al. 2013)	Großes ungenutztes Potenzial beim Waldrestholz und ungenutzter Zuwachs:		Biomassepotenziale und Nutzungskonkurrenzen (Majer et al. 2013)
	Waldrestholz:	8,6 Mio. t <sub>TM</sub>	
	Zuwachs ungenutzt:	5,1 Mio. t <sub>TM</sub>	
Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015 (Mantau 2012b)	Daten zur Holznutzung (2010) Holzverbrauch 135,4 Mio. m <sup>3</sup> Stoffliche Nutzung 67,1 Mio. m <sup>3</sup> Energetische Nutzung 68,4 Mio. m <sup>3</sup>		Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015 (Mantau 2012b)
	Nennenswertes Potenzialreserven nur im Waldrestholz Breiter Korridor von 12-42 Mio. m <sup>3</sup> Realistisch ca. 20 Mio. m <sup>3</sup>	ca. 6,5 Mio. t <sub>TM</sub> ca. 23,5 Mio. t <sub>TM</sub>	
Globale und regionale Verteilung von Biomassepotenzialen - Status-quo und Möglichkeiten der Präzisierung (Thrän et al. 2010)	Potenzial vorrangig beim ungenutzten Zuwachs und Waldrestholz Genutztes und nicht verwendetes ST-Potenzial: 246 PJ* Waldrestholz: 164 PJ* Zuwachs ungenutzt: 101PJ*	ca. 14,6 Mio. t <sub>TM</sub> ca. 10,6 Mio. t <sub>TM</sub> ca. 5,6 Mio. t <sub>TM</sub>	Globale und regionale Verteilung von Biomassepotenzialen - Status-quo und Möglichkeiten der Präzisierung (Thrän et al. 2010)

## 3.4 Marktanalyse

### 3.4.1 Volkswirtschaftliche Bedeutung und Märkte der Bioökonomie

Die Bioökonomie umfasst eine Vielzahl an unterschiedlichen Roh- und Ausgangsstoffen als auch verschiedenen Verwertungspfaden und damit zusammenhängend eine große Vielfalt an Produkten. Es gibt somit – ähnlich wie bei der Bioökonomiepolitik – eigentlich nicht „den Bioökonomiesektor“, sondern eine Vielzahl an Wirtschaftsbereichen, die unter der Bioökonomie zu fassen sind oder teilweise biobasierte Anteile haben. Hierzu zählen beispielsweise die Wirtschaftsbereiche Land- und Forstwirtschaft, Chemie und Pharmazie, Energiewirtschaft, Papier- und Textilindustrie, Nahrungsmittelindustrie und das Baugewerbe. Eine klare Abgrenzung der biobasierten Wirtschaft von den anderen Wirtschaftsbereichen ist demnach nicht oder kaum möglich. Dies stellt eine Herausforderung dar, wenn es um die Erfassung der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Bioökonomie geht.

Das nova-Institut aus Köln hat im Auftrag des ‚Bio-based Industries Consortiums‘ Daten der europäischen Statistikbehörde Eurostat ausgewertet und das Marktvolumen der biobasierten Wirtschaft in der EU analysiert (Piotrowski et al. 2016). Demzufolge erzielte die Bioökonomie (Primärsektor plus biobasierte Anteile der anderen Sektoren) im Jahr 2013 einen Umsatz von 2,1 Billionen Euro in den 28 EU Staaten (ibid., S. 3). Über die Hälfte des Umsatzes wurde durch die Sektoren Lebensmittelverarbeitung und -handel erzielt, während auf die anderen Marktsegmente knapp eine Billion Euro entfiel. Die Bioökonomie stellte insgesamt 18,3 Millionen Arbeitsplätze in den 28 EU-Staaten bereit, ohne Berücksichtigung des Lebensmittelsektors und der Tabakindustrie reduziert sich die Zahl auf 13,8 Millionen Arbeitsplätze. Davon sind rund 77 Prozent dem Primärsektor zuzurechnen (ibid.). Die biobasierten Märkte ohne den Primärsektor sowie die Lebensmittelverarbeitung und -handel stellten bei einem Umsatz von 600 Milliarden Euro 3,2 Millionen Arbeitsplätze (ibid.). Betrachtet man diese Zahlen genauer, so wird deutlich, dass im verarbeitenden Gewerbe in der Bioökonomie insgesamt ein höherer Umsatz pro Arbeitsplatz erzielt wird als in der Urproduktion. In diesem Zusammenhang besonders auffällig ist der Bereich der Bioenergie, mit einem Umsatz von knapp 80 Milliarden Euro bei nur knapp 100.000 Arbeitsplätzen. Dies entspricht einem Verhältnis von 800.000 Euro Umsatz pro Arbeitsplatz. Zum Vergleich erzielte der Landwirtschaftssektor knapp 40.500 Euro Umsatz pro Arbeitsplatz. Weitere untersuchte Sektoren waren die Herstellung von Textilien und Bekleidung, die Herstellung von Papier und Papierprodukten, die Forst- und Holzindustrie, die Chemie- und Kunststoffindustrie sowie die biobasierte Pharmazeutik.

In einer ähnlichen Untersuchung haben Forscherinnen und Forscher des Thünen-Instituts um Josef Efken die volkswirtschaftliche Bedeutung der Bioökonomie für Deutschland ermittelt. Sie betrachteten die Produktbereiche Land-, Ernährungswirtschaft, Gartenbau, Forst- und Holzwirtschaft, Fischereiwirtschaft, die stoffliche Nutzung landwirtschaftlicher Produkte, die energetische Nutzung sowie sonstige biobasierte Dienstleistungen. Allerdings liegt das Bezugsjahr der Studie (2007) bereits 10 Jahre zurück (Efken et al. 2012, S. 5). Zu diesem Zeitpunkt stellte die biobasierte Wirtschaft in Deutschland mit fast fünf Millionen Beschäftigten rund 12,5 Prozent der Arbeitsplätze in Deutschland und mit 164 Milliarden Euro rund 7,6 Prozent der Bruttowertschöpfung (Efken et al. 2012, S. 29). Zwar lassen sich die Studien aufgrund von Unterschieden bei der Datengrundlage und der methodischen Vorgehensweise nicht direkt miteinander vergleichen. Mit Blick auf Wertschöpfung und Arbeitsplätze zeigen die Ergebnisse der Studie von Efken et al. in eine ähnliche Richtung. So entsteht bei der Verarbeitung biogener Rohstoffe eine höhere Wertschöpfung pro Arbeitsplatz als in der Primärproduktion. Auch zeigt der Vergleich der Primärproduktion mit der Verarbeitung von und dem Handel mit biobasierten Produkten, dass die Verarbeitung und der Handel

mit einer höheren Wertschöpfung und ebenso mehr Arbeitsplätzen verbunden sind als die Primärproduktion (Efken et al. 2012, S. 30).

Die Märkte der Bioökonomie entstehen einerseits durch das Angebot unterschiedlicher biogener Rohstoffe und andererseits durch die Nachfrage nach biobasierten Produkten und Dienstleistungen. Das Angebot kann grundsätzlich aus unterschiedlichen Quellen stammen. Primär entstammen die Rohstoffe der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft sowie dem Gartenbau. Wichtige Ressourcen sind zudem biogene Reststoffe, die bei der Erzeugung, der Verarbeitung, dem Handel und/oder Konsum von biobasierten Produkten entstehen. Im Zuge der Transformation von einer fossil-basierten zu einer biobasierten Wirtschaft, werden nicht nur die traditionellen Märkte (wie z. B. der Bausektor) biogene Rohstoffe nachfragen, sondern vermehrt auch all diejenigen Märkte, welche bislang eine fossile Rohstoffbasis nutzen (unter anderem der Chemie- und der Pharmasektor).

Die Nachfragemärkte für biobasierte Produkte lassen sich in vier Nutzungssegmente unterteilen: Erzeugung von Nahrungs- oder Futtermittel sowie die Erzeugung von stofflichen Produkten oder Energie. Zwischen diesen Segmenten können über die Zeit oder regional konzentriert Nutzungskonkurrenzen auftreten, da die Anbauflächen und biogenen Reststoffmengen das Angebot der zur Verfügung stehenden biogenen Rohstoffe beschränken. Der Erzeugung von Nahrungsmitteln kommt dabei eine Sonderrolle zu. Um die Ernährung einer weiter wachsenden Weltbevölkerung zu sichern, muss die Nahrungsmittelproduktion in der Konkurrenz mit den anderen Nutzungssegmenten Priorität genießen.

### 3.4.2 Analyse ausgewählter Märkte der Bioökonomie

Im Zuge des Projektes „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ wurde eine Analyse für ausgewählte Märkte durchgeführt. Zentrales Ziel dieser Analyse war es, Verwertungspfade und Produkte zu identifizieren, für die es eine heimische Rohstoffbasis gibt, für die heute oder in Zukunft plausible Absatzchancen bestehen und die gleichzeitig eine Relevanz für den ländlichen Raum haben.

Die Bioökonomie mit ihrer großen Vielfalt an Ausgangsstoffen, Wertschöpfungsketten und Produkten konnten im Rahmen des Vorhabens nicht in Gänze betrachtet werden. Vielmehr musste eine Fokussierung auf ausgewählte Bereiche vorgenommen werden (siehe Abschnitt 3.1). Mit dieser Fokussierung wurde die Marktanalyse für die in Tab. 3.3 dargestellten Anwendungsbereiche durchgeführt.

**Tab. 3.3: Auswahl an Anwendungsbereichen für die nähere Betrachtung im Vorhaben „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“**

Quelle: Eigene Darstellung IÖW in Anlehnung an FNR (2014a, 12)

Chemische Märkte	Sonstige stoffliche Märkte
<ul style="list-style-type: none"> <li>– biobasierte Chemikalien (biobasierte Plattformchemikalien / biobasierte Spezial- und Feinchemikalien)</li> <li>– Biopolymere und Bio-Elastomere</li> <li>– biobasierte Düngemittel / Nährstoffe / Sekundärrohstoffe</li> <li>– oleochemische Erzeugnisse</li> <li>– biobasierte Verbundwerkstoffe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– biobasierte Fasern und Füllstoffe für Dämmstoffe und Holzersatzwerkstoffe</li> <li>– biobasierte Fasern für die Papierindustrie</li> </ul>

Für die Marktsegmente erfolgte zunächst eine Bestandsaufnahme hinsichtlich der Produkte und Anwendungsbereiche, des Marktvolumens, der Struktur der Betriebe sowie der geografischen Verbreitung der Produktion und der Im- und Exportsituation. Darauf aufbauend wurde das Marktpotenzial analysiert, d. h. welche zukünftigen Entwicklungen zu erwarten sind und was mögliche fördernde und hemmende Faktoren sein können. Dafür wurde die verfügbare Literatur recherchiert und ausgewertet, Interviews mit Expertinnen und Experten durchgeführt sowie Unternehmensdatenbanken hinsichtlich der Größe der registrierten Unternehmen ausgewertet. Eine zentrale Literaturquelle war dabei die Veröffentlichung „Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe“ (FNR 2014a). Zentrale Ergebnisse der Marktanalyse werden im folgenden Abschnitt dargestellt. Für einzelne Anwendungsbereiche wurden die Analyse nicht in der oben dargestellten Tiefe durchgeführt, da die biobasierten Produkte wie beispielsweise Papier aus Gras oder Laminat auf Basis von Gärrestfasern noch im Pilotstadium sind und Aussagen zum Marktvolumen, der Struktur der Betriebe sowie der Im- und Exportsituation gegenwärtig nicht möglich sind.

### Chemische Märkte

Zu den chemischen Märkten im Bioökonomiekontext gehören gemäß der Gliederung von FNR (2014a, S. 12) biobasierte Chemikalien, biobasierte Kunst- und Werkstoffe, Bioschmierstoffe sowie biobasierte Wasch- und Körperpflegemittel. Chemikalien und hier insbesondere Plattformchemikalien sowie biobasierte Kunststoffe gelten laut Aeschelmann und Carus (2015) als große Wachstumsmärkte der Bioökonomie im globalen Kontext. Allerdings erfordern diese Produktgruppen in der Herstellung technisch anspruchsvolle Verfahren und entsprechende Investitionsvolumina. Dies stellt eine Restriktion für dezentrale Konzepte dar. Zudem dominiert bisher die petrochemische Industrie diese Märkte. Bei den Biokunststoffen gehört Deutschland aufgrund der mangelnden Rohstoffverfügbarkeit nicht zu den bedeutendsten Produktionsstandorten; der Schwerpunkt der Produktion liegt in Asien. Allgemein ist der Markt für biobasierte Kunststoffe gekennzeichnet von globalen Verflechtungen. Die deutschen Hersteller sind überwiegend der Großindustrie zuzuordnen. Die Aktivitäten bezüglich der Produktion von biobasierten Plattformchemikalien beschränken sich bisher auf Pilotanlagen. Um die Petrochemie als Wettbewerber herauszufordern, bedürfte es einer gewissen Anlagen- und Investitionsgröße, die gegen eine dezentrale ländliche Bioökonomie spricht. Bei den Plattformchemikalien wäre jedoch grundsätzlich eine dezentrale Produktion von Vorprodukten (bspw. durch landwirtschaftliche Akteure) denkbar. Ähnlich sieht die Situation bei Bioschmierstoffen aus, auch hier dominieren internationale Großkonzerne den Markt in Deutsch-

land. Durch diese Einschränkungen sind die Marktsegmente der chemischen Märkte für eine ländliche Bioökonomie nur in Ausnahmefällen oder mit Blick auf Nischenmärkte von Interesse. Ein solcher Nischenmarkt mit Entwicklungspotenzial liegt beispielsweise bei der Aufbereitung von Gärresten zu Düngemitteln und Gärrestfasern vor, welcher insbesondere für Regionen mit Nährstoffüberschüssen interessant sein könnte.

Eine andere Situation zeigt der Markt für biobasierte Verbundwerkstoffe, insbesondere der naturfaserverstärkten Kunststoffe (NFK). Laut Carus et al. (2015) weisen NFK, neben den ökologischen Vorteilen, auch ökonomische Vorteile verglichen mit den konventionellen glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) auf. Nachfrage besteht in Deutschland aktuell überwiegend durch die Automobilindustrie; weitere Absatzmöglichkeiten werden zukünftig in der Elektro- und Möbelindustrie gesehen. Die Naturfasern oder Halbzeuge für die Produktion von NFK werden derzeit überwiegend importiert, was unter anderem auf den politisch-rechtlichen Rahmen für den Faserpflanzenanbau in Deutschland zurückzuführen ist. Grundsätzlich besteht hier die Möglichkeit für den Auf- und Ausbau dezentraler Anbau- und Erstverarbeitungsstrukturen im ländlichen Raum. Bei den deutschen Herstellern biobasierter Verbundwerkstoffen dominieren zudem kleine und mittlere Unternehmen (KMU) den Markt, wodurch eine gewisse Dezentralität und damit eine Verteilung der Produktionskapazitäten auf die Regionen in Deutschland möglich ist. Die Standorte der bekannten Hersteller von NFK verteilen sich über insgesamt zehn Bundesländer in Deutschland; grundsätzlich ist jedoch aktuell noch die enge räumliche Anbindung an die Automobilindustrie ein wichtiger Standortfaktor.

### **Sonstige stoffliche Märkte**

FNR (2014a, S. 12) fassen unter dem Bereich „sonstige stoffliche Märkte“ die Marktsegmente pharmazeutische Produkte, Bauen und Wohnen sowie Papier, Pappe und Kartonage. Vor dem Hintergrund der oben dargestellten Fokussierung des Forschungsvorhabens und der Expertise der Autor/innen erfolgte eine nähere Betrachtung biobasierter Fasern für Dämmstoffe und Holzersatzwerkstoffe (Bauen und Wohnen) sowie biobasierter Fasern für die Papierindustrie (Papier, Pappe und Kartonage). Gegenwärtig ist der deutsche Markt für Dämmstoffe dominiert von Dämmstoffen aus mineralischen und fossilen Rohstoffen; Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe sind preislich aktuell nicht konkurrenzfähig und verbleiben somit in der Nische. Mit Blick auf den ländlichen Raum, werden hier jedoch, ähnlich wie bei den NFK, bei Dämmstoffen auf Basis von Faserpflanzen Potenziale für den Auf- und Ausbau dezentraler Anbau- und Erstverarbeitungsstrukturen im ländlichen Raum gesehen. Auch hier handelt es sich bei den Herstellern überwiegend um KMU. Das Marktsegment Baumaterialien umfasst eine große Produktvielfalt, mehrheitlich auf der Rohstoffbasis Holz. Damit kann es grundsätzlich zu den traditionellen Märkten der Biomasse gezählt werden. Diese Zuordnung bedeutet jedoch nicht, dass in diesem Segment keine Innovationen und Weiterentwicklungen der Verfahren und Produkte stattfinden. Ein Beispiel neben diversen Innovationen bei der Verarbeitung von Holz, ist die Weiterverarbeitung von Gärrestfasern zu Holzersatzwerkstoffen. Aufgrund der großen Bandbreite konnte der Markt für Baumaterialien im Rahmen des Projektes nicht umfassend analysiert werden; es kann jedoch festgehalten werden, dass Holzersatzwerkstoffe wie Faserplatten und Laminat auf Basis von Gärrestfasern sich auf einen etablierten Markt zu behaupten haben. Die Verwertung von Grasfasern für die Papierherstellung ist derzeit noch im Pilotstadium. Die Autorinnen und Autoren sehen hier, aufgrund der Inwertsetzung zum Teil ungenutzter Grünlandpotenziale, die Möglichkeit für den Aufbau dezentraler Verwertungsstrukturen. Dies ist gleichbedeutend mit einer hohen Relevanz für den ländlichen Raum. Durch die Integration in die bestehenden Strukturen der Papierindustrie besteht Potenzial für eine Weiterentwicklung dieses Anwendungsbereiches.

## 4 Technische, ökonomische und ökologische Bewertung ausgewählter Wertschöpfungsketten

Um tiefere Aussagen zu ökonomischen Erfolgsfaktoren, ökologischen Auswirkungen und Potenzialen einer ländlichen Bioökonomie für Wertschöpfung und Beschäftigung im ländlichen Raum treffen zu können, wurden einige Einzeltechnologien einer näheren Analyse unterzogen.

Im Zuge einer vorangehenden Auswahl besonders geeigneter Wertschöpfungsketten (siehe Abschnitt 3.1) wurden drei thematische Schwerpunkte gesetzt:

1. Aufbereitung von Biogasgärresten zu höherwertigen Produkten
2. Raffineriekonzepte und andere stoffliche Verwertung von Gras zu höherwertigen Produkten
3. Aufbereitung von Faserpflanzen zu höherwertigen Produkten

Innerhalb dieser Schwerpunkte wurden zunächst jeweils mehrere Einzeltechnologien einer ersten technischen Analyse unterzogen, um ein Bild vom technischen Entwicklungsstand, der Verfügbarkeit von Daten für eine vertiefende Betrachtung und dem Stand der Markteinführung zu gewinnen. Anhand der Zwischenergebnisse wurden letztlich drei einzelne technologische Ansätze für die vertiefende Betrachtung ausgewählt. Die Ergebnisse hierzu werden nachfolgend ausgeführt.

### 4.1 Methodische Vorgehensweise

Die zuvor ausgewählten Wertschöpfungsketten wurden im weiteren Verlauf des Vorhabens einer schrittweise tiefergehenden Analyse unterzogen. Grundlage hierfür waren jeweils Befragungen zentraler Akteure dieser Wertschöpfungsketten sowie teilweise erneute Bereisungen mehrerer relevanter Praxisanlagen und Projekte. Im ersten Schritt wurden dabei Daten und Informationen zur technischen Beschaffenheit und der Infrastruktur (Abschnitt 4.1.1) sowie den jeweiligen Stoffströmen (Abschnitt 4.1.2) erhoben und aufbereitet. Aufbauend auf diesen Daten erfolgten eine ökobilanzielle Betrachtung (Abschnitt 4.1.3) sowie ökonomische Analysen mit mehreren unterschiedlichen Auswertungsschwerpunkten (Abschnitte 4.1.4 und 4.1.5).

#### 4.1.1 Technologie- und Infrastrukturanalyse

Ziel der Technologie- und Infrastrukturanalyse war die Gewinnung eines grundlegenden Überblicks über den technisch-praktischen Aufbau der betrachteten Wertschöpfungsketten, die eingesetzten technischen Anlagen und Komponenten und deren Kennwerte (Durchsatz, Leistung, Wirkungsgrade etc.) sowie einer Einschätzung zur technologischen Reife, eventuellen technischen Hürden und dem gegebenen Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Betrachtungsgegenstand waren im ersten Schritt, abweichend zum ursprünglichen Projektplan, eine größere Anzahl Wertschöpfungsketten als in der abschließenden, vertiefenden Betrachtung. Dieser Weg wurde gewählt, da im Hinblick auf die Praxistauglichkeit und den Stand der Markteinführung teilweise große Unsicherheiten bestanden. Der Anspruch, innovative Wertschöpfungsketten für eine stofflich-energetische (evtl. gekoppelte) Biomassenutzung zu betrachten, bei denen

eine hohe Umsetzungswahrscheinlichkeit und Erfahrungen mit ersten Anlagen im Praxismaßstab vorhanden sind, stellte sich als große Herausforderung dar.

Auf dem Gebiet der Aufbereitung von Gärresten aus Biogasanlagen wurden eine Anlage, bei der eine Ammoniak-Strippung mit der Extraktion von Fasern kombiniert wird, sowie eine Anlage, bei der feste, separierte Gärrückstände pelletiert werden, ausgewählt. Zum Thema Hanfaufbereitung wurden Gespräche mit zwei Betreibern von Aufbereitungsanlagen geführt. Im Bereich der Verwertung von Gras wurden eine Bestandsanlage zur Gewinnung von Grasfasern in Verbindung mit der Biogaserzeugung, ein Anlagenkonzept zur Extraktion von Düngemitteln und feinchemischen Bestandteilen aus Grassilage sowie ein Konzept zur Herstellung von Papierrohstoffen auf Basis von Heu ausgewählt.

Die Datenerfassung baute zunächst auf den Erkenntnissen aus den vorangegangenen Experteninterviews auf. Ausgehend von den hier bereits erfassten Informationen wurden individuelle Fragenkataloge zusammengestellt, anhand derer eine detaillierte telefonische Befragung sowie anknüpfende Vor-Ort-Termine stattfanden. Inhalt der Befragungen waren allgemeine Daten der Unternehmen sowie spezifische Fragen zu den jeweiligen Wertschöpfungsketten und der eingesetzten Technik, zu Stoff- und Energieströmen und zur Ökonomie. Die Bereisungen fanden hauptsächlich zwischen März und Juli 2017, verknüpft mit einem Treffen der jeweiligen Akteure, statt.

Die erhobenen Informationen und Daten wurden tabellarisch in Microsoft Excel zusammengestellt. Anhand der Datensammlung erfolgten eine Ergänzung und ein Abgleich mit Erfahrungswerten und Literaturdaten, sofern keine Messdaten der Praxisakteure für die Wertschöpfungsketten im praxisrelevanten Maßstab vorlagen. Aus den zusammengestellten Daten wurden Flussdiagramme zu den Verfahrensschritten innerhalb der Wertschöpfungsketten entwickelt und im Rahmen mehrfacher Rückkopplungsprozesse mit den Praxisakteuren abgestimmt.

Im Anschluss an die Interview- und Bereisungsphase wurde für die Wertschöpfungsketten Gärrestaufbereitung und Grasraffinerien jeweils ein Workshop veranstaltet, zu dem wichtige Vertreterinnen und Vertretern aus Forschung und Entwicklung sowie Praxisakteure eingeladen wurden. Für die Wertschöpfungskette Hanfaufbereitung wurde angesichts einer mangelnden Anzahl verfügbarer Akteure auf einen Workshop verzichtet – stattdessen fand hier eine zweite, zusätzliche Bereisung einer Praxisanlage statt.

Auf den Workshops wurden die bis dahin vorgenommenen Recherchen gemeinsam mit den erstellten Potenzialanalysen und Stoffstromdiagrammen (Abschnitt 4.1.2) präsentiert und mit den Teilnehmenden diskutiert. Die Handlungsempfehlungen, die während der Workshops geäußert wurden, finden sich in Abschnitt 6.1 wieder.

Drei Praxisbeispiele – jeweils eines für die drei Bereiche Gärreste, Gras und Hanf – wurden unter den Gesichtspunkten Innovation, Praxisnähe und Datenverfügbarkeit im Anschluss für weitergehende Analysen ausgewählt.

- zum Thema Gärrestaufbereitung eine Ammoniak-Strippung mit integrierter Faser-Gewinnung
- im Bereich der Grasverwertung ein Aufbereitungsverfahren für die Gewinnung von Fasern aus Heu als Grundstoff für die Papierherstellung
- Aufbereitungsanlage zur Gewinnung von Fasern und Schäben aus Hanf

Die folgenden Beschreibungen der Wertschöpfungsketten basieren auf den bis dahin gesammelten Informationen.

## 4.1.2 Analyse der Stoffströme

Die Analyse der Stoff- und Energieströme ausgewählter Wertschöpfungsketten diente

- zur Schaffung eines Überblicks über Mengengerüste bzgl. der eingesetzten Rohstoffe, der erzeugten Produkte und Nebenprodukte,
- zur Einordnung der Wertschöpfungsketten in den regionalen Kontext anhand von Potenzialen und Märkten, sowie als grundlegende Information zur praktisch-logistischen Gestaltung der Ketten auf regionaler Ebene,
- als Grundlage zur Einschätzung der Skalierbarkeit der eingesetzten Technologien und
- zur Schaffung einer Datenbasis für die ökologische und ökonomische Bewertung.

Die Analyse und Modellierung der Stoff- und Energieströme erfolgte analog zur Technologie- und Infrastrukturanalyse (Abschnitt 4.1.1) anhand von Daten aus Interviews und Bereisungen. Im Zuge der Recherchen wurden Informationen zum Rohstoffeinsatz, dem Materialdurchsatz in verschiedenen Prozessschritten, erreichbaren Kapazitäten sowie Produktionsmengen von Haupt- und Nebenprodukten erhoben. Dabei wurden im Projektteam für jede Wertschöpfungskette spezifische Systemgrenzen festgelegt, so dass sich die Betrachtung der Wertschöpfungsketten in allen betrachteten Fällen nicht auf End-Konsumenten-Produkte, sondern auf die Herstellung von Vorprodukten bezog.

Dies waren konkret

1. Pellets aus Grasfasern für die Herstellung von Papier und Kartonagen,
2. Nährstoffkonzentrate zur Verwendung als Düngemittel und Fasern für die Herstellung unter anderem von Holz(ersatz)werkstoffen und
3. Hanffasern und -vliese für die Weiterverarbeitung zu Dämmstoffen und naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK).

Je Wertschöpfungskette und Anlage wurde dabei ein Stoffstrommodell erstellt, anhand dessen die Stoff- und Energieströme innerhalb der Anlagen berechnet und anhand von sogenannten Sankey-Diagrammen (Abb. 4.1) visualisiert wurden. Sankey-Diagramme sind Flussdiagramme in denen Stoffströme über Pfeile dargestellt werden, deren Dimensionierung dem Mengenverhältnis der Stoffe zueinander entspricht. In den Diagrammen wurden außerdem Mengenangaben und Einheiten abgebildet. Jeder Stoffstrom verläuft dabei zwischen zwei Ankerpunkten die als Prozessschritte beziehungsweise Anlagenteile dargestellt sind.<sup>4</sup>

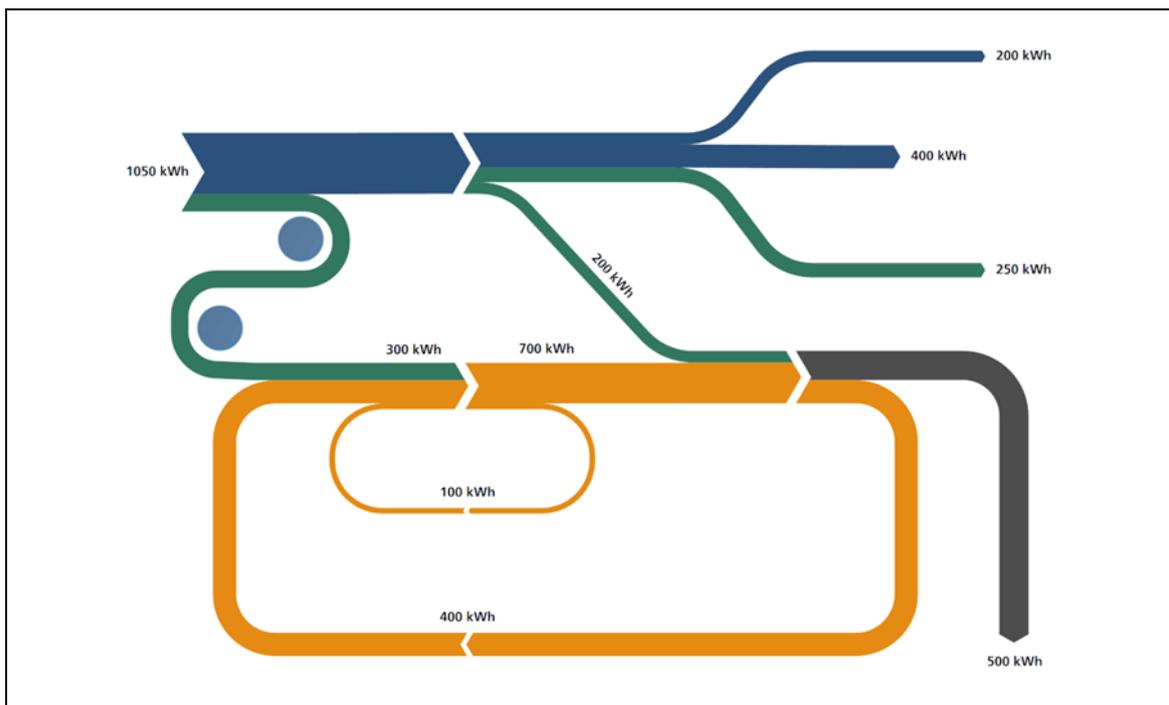
Das jeweilige Modell wurde mit den gesammelten Informationen gespeist. Dort wo aufgrund von fehlenden Erfahrungswerten oder Geschäftsgeheimnissen der Praxisakteure Lücken blieben, wurden Werte anhand von Fachinformationen und Literaturangaben herangezogen. Die Ergebnisse

<sup>4</sup> <https://www.ifu.com/e-sankey/>

sowie gegebenenfalls widersprüchliche oder ungenaue Daten wurden jeweils in mehreren Korrekturschleifen mit den Akteuren erörtert.

Die Stoffströme der Anlagen wurden in den Sankey-Diagrammen jeweils in Tonnen Trockenmasse pro Jahr ( $t_{TM}/a$ ) für die organischen Bestandteile und Tonnen pro Jahr ( $t/a$ ) für den Wasseranteil und die Störstoffe dargestellt, worunter unerwünschte mineralische Anteile wie Erde und Steine oder Verunreinigungen wie Kunststoffanteile im Ausgangsmaterial zu verstehen sind. Im Hinblick auf Rohstoffeinsatz und Produktionsmenge wurden im Modell und in den erstellten Sankey-Diagrammen die maximalen Verarbeitungskapazitäten gezeigt, die in den bestehenden beziehungsweise in Planung befindlichen Anlagen erreichbar sind.

Die Energieströme wurden jeweils als elektrische- und Wärmeenergie in Kilowattstunden pro Jahr ( $kWh/a$ ) abgebildet. Während in den Diagrammen nicht nach Energieträgern differenziert wird, wurden diese bei der Datensammlung in Abhängigkeit von Wissensstand und Datenverfügbarkeit mit-erfasst. Anhand der vorhergehenden Potenzialanalysen (Abschnitt 3.3) wurde eine abschließende Bewertung der Wertschöpfungsketten im Hinblick auf regionale Schwerpunkte für eine künftige Anwendung in Deutschland sowie eine Einordnung in regionale Mengengerüste vorgenommen. Aus Gründen des Datenschutzes wird im Endbericht keines der Diagramme hinterlegt.



**Abb. 4.1:** Beispieldarstellung Sankey-Diagramm

Quelle: <https://www.ifu.com/e-sankey/sankey-diagramm/>

### 4.1.3 Ökobilanzielle Betrachtungen

Die Umweltbewertung zu den drei Wertschöpfungsketten ist detailliert in Dunkelberg und Bluhm (2019) dokumentiert. Die Darstellung der Methode und der Ergebnisse erfolgt in der vorliegenden Schriftenreihe daher in verkürzter Form und konzentriert sich auf wesentliche Ergebnisse und Aussagen.

Als Methode zur Ermittlung der Umweltwirkungen kam die **Ökobilanzierung** nach DIN EN ISO14040 ff. zum Einsatz. Den Normen folgend bestehen die Ökobilanzen aus den vier Komponenten (1) Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens, (2) Sachbilanz, (3) Wirkungsabschätzung und (4) Auswertung (Klöpffer und Grahl 2009; Kaltschmitt und Schebek 2015). Parallel zur Erstellung der Ökobilanzen fand eine kritische Prüfung durch zwei externe Sachverständige statt.

**Die übergeordneten Ziele** der in dem Projekt „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ erstellten **Ökobilanzen** sind,

- erstens, zu untersuchen, inwiefern und unter welchen Rahmenbedingungen die Herstellung und Nutzung der ausgewählten biobasierten Produkte mit einem ökologischen Nutzen im Vergleich zu den potenziell substituierten (fossilen) Referenzprodukten einhergeht und
- zweitens, zu untersuchen, welche Aspekte aus ökologischer Perspektive bei der Umsetzung einer ländlichen Bioökonomie zu beachten sind, zum Beispiel welche Prozessschritte und auch Wirkungskategorien aufgrund großer Nutzen oder Lasten eine besondere Relevanz haben und welche Verbesserungspotenziale zur Minderung der negativen Umweltwirkungen bestehen.

Es handelt sich um einen Technologievergleich, bei dem die untersuchten biobasierten Produkte beziehungsweise Zwischenprodukte mit derzeit im Markt vorherrschenden, potenziell substituierbaren Produkten verglichen werden. Ein Herstellervergleich erfolgte nicht. Die erstellten Ökobilanzen können als Überblicks- oder **Screening-Ökobilanzen** bezeichnet werden, da in einigen Prozessschritten aufgrund fehlender Primärdaten in LCA-Datenbanken vorhandene Sekundärdatensätze, Standard-Emissionsfaktoren und überschlägige Schätzwerte Eingang fanden. Die Primärdaten zu den Herstellungsverfahren beziehen sich zum Großteil auf bestehende Pilotanlagen. Eine Skalierung auf großmaßstäbliche Anlagen ist nicht ohne weiteres möglich, da Unsicherheiten über mögliche nicht lineare Veränderungen in den Aufwendungen und Emissionen bestehen. Die Ergebnisse der drei Ökobilanzen geben Hinweise darauf, inwiefern und unter welchen Rahmenbedingungen die drei biobasierten Produkte ökologische Vor- und / oder Nachteile gegenüber substituierten Produkten haben (können) und welche Prozessschritte und Wirkungskategorien besonders relevant sind.

Bestandteil des Screenings ist die **Gegenüberstellung mehrerer Szenarien** (z. B. bezüglich der Substratbereitstellung oder der Betriebsführung der Anlagen) inklusive verschiedener methodischer Designs bei der Ökobilanzierung (Systemerweiterung und Allokation). Für alle drei betrachteten Wertschöpfungsketten wurde als Basis-Szenario ein Base Case definiert, der sich auf die aktuelle beziehungsweise geplante Betriebsführung der jeweiligen (Pilot-)Anlagen bezieht. Als Primärdaten wurden Daten aus Befragungen der Anlagenbetreiberinnen und -betreibern mit Bezug auf das Jahr 2016 gewonnen. Um mit Unsicherheiten umzugehen, wurden anhand eines Modellchecks die ergebnisrelevanten Parameter und Input-Output-Flüsse identifiziert und für einflussreiche Parameter, Min- und Max-Werte gewählt, die in die Berechnung der Ergebniswerte der Wirkungskategorien Eingang fanden und die für die untersuchten Wertschöpfungsketten weitere Szenarien (Min- und Max-Szenario) bilden.

Die Ökobilanzen erstrecken sich nicht in allen drei Fällen über den gesamten **Lebensweg** von der Biomassebereitstellung bis zur Entsorgung, sondern enden teilweise bei Zwischenprodukten (Cradle-to-Gate). Dies ist vor allem auf Einschränkungen bezüglich der Verfügbarkeit von Primärdaten zurückzuführen. Eine Erläuterung zu diesem Aspekt findet sich in Dunkelberg und Bluhm (2019). Laut Klöpffer und Grahl (2009) entspricht das Auslassen einzelner Lebenswegphasen dem Vorgehen bei Screening-Ökobilanzen. Eine abschließende Beurteilung der ökologischen Vorteilhaftigkeit des einen oder anderen Produktes beziehungsweise Produktsystems ist jedoch erst nach dem Schließen der jeweiligen Datenlücken möglich.

Bei zwei der drei Wertschöpfungsketten handelt es sich um **Multi-Output-Prozesse**, das heißt in der Prozesskette werden mehrere Produkte mit unterschiedlicher Funktionalität erzeugt. Die Normen geben die Empfehlung, sofern möglich, eine Allokation, das heißt eine Zuordnung der Input- und Output-Flüsse des Systems auf unterschiedliche Produkte zu vermeiden (DIN EN ISO 14040ff). Eine Möglichkeit zur Vermeidung von Allokation ist es, eine Systemerweiterung vorzunehmen, sofern dies aufgrund der Komplexität der Prozesse möglich und sinnvoll ist (vgl. Kaltschmitt und Schebek 2015). Im konkreten Anwendungsfall erfolgte eine Systemerweiterung fallspezifisch nach der Nutzenkorbmethode oder der Gutschriftenmethode. Grundgedanke der Nutzenkorbmethode ist die Nutzengleichheit der betrachteten Produktsysteme. Bei der Nutzenkorbmethode werden alle Nutzen des untersuchten Produktsystems, sprich des Nutzenkorbes, erhoben. Diesem Nutzenkorb wird ein Referenzsystem gegenübergestellt, das die äquivalenten Nutzen mit Produkten aus anderen Rohstoffen und Herstellungspfaden abdeckt (vgl. Kaltschmitt und Schebek 2015). Diese Methode ermöglicht für das komplexe Produktsystem der Düngemittel- und Gärrestfaserbereitstellung ein übersichtliches Vorgehen. Aufgrund einer verständlicheren Lesbarkeit wird für den Lebenszyklus des Hanffaserdämmvlieses die Gutschriftenmethode angewandt. Ergänzend zur Systemerweiterung erfolgte in einem Szenario jeweils eine ökonomische Allokation der Umweltlasten. Der Ansatz dient dazu, die ökonomische Wertigkeit der Produkte und Nebenprodukte miteinander in Relation zu setzen und die potenziellen Umweltwirkungen entsprechend dieser Relation zuzuordnen.

In der **Sachbilanzphase** findet eine Bestandsaufnahme von Input- und Outputdaten in Bezug auf die zu untersuchenden Systeme statt. Die verwendeten Sachbilanzdaten stammen aus unterschiedlichen Quellen. Die Daten zu den Produktionsprozessen kommen weitgehend aus Befragungen von Anlagenherstellern und Anlagenbetreiberinnen und -betreiber der jeweiligen Pilotanlagen. Für die Bereitstellung der nachwachsenden Rohstoffe wurde vornehmlich auf Literaturquellen und Regelwerke zurückgegriffen. Für den Lebenszyklus des Hanffaservlieses erfolgten Befragungen von Landwirten. Laut Becker et al. (2018) ist beim Biomasseanbau die Verwendung von Durchschnittswerten für LCAs sinnvoll, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien herzustellen und übertragbare Aussagen treffen zu können. Die Daten zum Anbau der Biomassen stammen zum großen Teil aus den Werken des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Darüber hinaus wurde an mehreren Stellen auf generische Datensätze aus der Schweizer Datenbank Ecoinvent zurückgegriffen. Dies betrifft die Abbildung von Transportprozessen (Traktoren, LKW), die Herstellung von Materialien und Chemikalien wie zum Beispiel mineralische Düngemittel, Kalk und Gips.

Der **geografische Bezug**, der Parameter wie die landwirtschaftlichen Anbaubedingungen, die Zusammensetzung des Strommixes sowie die Art der Wärmeerzeugung bestimmt, ist Deutschland. Bei der Auswahl der Sekundärdaten und generischen Daten wurde ebenfalls auf geografische Passgenauigkeit geachtet. Teilweise liegen in den verfügbaren Datenbanken keine auf Deutschland bezogenen Prozessdaten vor. In diesem Fall wurden möglichst für Europa gültige Datensätze herangezogen. **Zeitlich** beziehen sich die Ökobilanzen auf den **Status Quo**, das heißt es werden

die aktuell gültigen rechtlichen, technischen und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen unterstellt. Die Primärdaten aus der Befragung sind gültig für das Jahr 2016. Bei den Sekundärdaten und generischen Daten wurde ebenfalls auf Aktualität geachtet.

Die **Wirkungsabschätzung** erfolgte nach der Methode des CML (Center of Environmental Science of Leiden University). Die in SimaPro 8.5 verwendeten Charakterisierungsfaktoren stammen aus der CML-IA, Version 4.2, aus dem Jahr 2013, die letzten methodischen Anpassungen erfolgten laut Dokumentation im November 2017. Für die LCAs zu den drei Wertschöpfungsketten wurden die sieben CML-Wirkungskategorien Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe, ADPF), Verknappung von abiotischen Ressourcen (nicht-fossile Stoffe, ADPE), Versauerung von Boden und Wasser (AP), Ozonabbau (ODP), globale Erwärmung (GWP), Eutrophierung (EP), photochemische Ozonbildung (POCP) ausgewertet. Darüber hinaus sind **landnutzungsbezogene Wirkungen** wichtige Aspekte bei der Erzeugung und Bereitstellung von Biomasse (Becker et al. 2018). Als Sachbilanzindikator wird daher die für eine Wertschöpfungskette spezifische Flächenbelegung in Hektar pro Jahr ausgewiesen, das heißt die für die land- und forstwirtschaftliche Produktion benötigte Fläche (Gärtner et al. 2013). Die **Wassernutzung** kann ebenfalls ein wichtiger Aspekt bei der Biomasseerzeugung sein. Die Bilanzierung der Wassernutzung beschränkt sich in dieser Studie auf das sogenannte „Blaue Wasser“. Gemeint ist hiermit Wasser, das aus dem Grundwasser oder aus Oberflächenwasser entzogen wird und verdunstet, in ein Produkt eingearbeitet oder nicht wieder in den selben Wasserkörper zurückgeführt wird (Becker et al. 2018). Diese einfache Erfassung des Wasserverbrauchs erlaubt im Sinne der Screening-Ökobilanz eine erste Einschätzung, inwiefern dies ein relevanter Aspekt ist, der an anderer Stelle vertieft analysiert werden sollte.

Anschließend an die Wirkungsabschätzung erfolgt eine **Normierung** nach der CML-Methode, nach der die Werte zu den Wirkungskategorien dimensionslos vorliegen (Lundie 2013). Referenzgrößen sind die Gesamtemissionen innerhalb einer Wirkungskategorie in Europa im Jahr 2000 (nach CML-IA). Die Normierung macht deutlich, in welchen Wirkungskategorien die untersuchten Produkte und Produktsysteme besonders hohe Anteile im Verhältnis zu den im Bezugsraum insgesamt auftretenden Emissionen verursachen. Somit ist es möglich, einzuschätzen, welche Wirkungskategorien in den jeweiligen Wertschöpfungsketten aus Umweltperspektive besonders relevant sind.

#### 4.1.4 Betriebswirtschaftliche Analyse und Identifizierung von ökonomischen Schlüsselfaktoren

Die betriebswirtschaftliche Analyse wird durch Aufstellen einer Strukturbilanz, Gewinn- und Verlustrechnung, Geldmittelflussrechnung und Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die Ziele hierbei sind folgende:

- ökonomische Bewertung der jeweiligen zentralen Verfahren innerhalb der betrachteten Wertschöpfungsketten.
- Identifikation der Stellschrauben für die Wirtschaftlichkeit der Verfahren.

Die Berechnungen beinhalten die Betriebskosten, Investitionskosten und Erlöse. Die Datenerhebung fand durch Befragung der Technologieträger und Expertinnen und Experten statt und wurde durch eine Literaturrecherche ergänzt. Die verwendeten Zahlen der jeweiligen Wertschöpfungsketten befinden sich im Anhang in Abschnitt 9.2. Da die Anlagen häufig noch im Pilotbetrieb sind oder für die benötigten Werte keine Messungen durchgeführt werden, handelt es sich dabei zum Teil um Abschätzungen der Akteure. Darüber hinaus wurden diese Zahlen, soweit möglich, mit Literaturwerten abgeglichen.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde für die Wertschöpfungsketten „Pflanzenfasern (Hanf) für Dämmstoffe und naturfaserverstärkte Kunststoffe“ und „Gärrestaufbereitung zu Düngemitteln & Fasern für Holzersatzwerkstoffe“ durchgeführt. Für die ökonomische Bewertung der Wertschöpfungskette „Pflanzenfasern (Gras) für die Herstellung von Papier und Kartonagen“ fehlte es an einer Datengrundlage für die ökonomische Bewertung (siehe Abschnitt 4.3.3). Bei den beiden erstgenannten Wertschöpfungsketten wurden jeweils ein „Base Case“ genanntes Szenario berechnet, das die Anlagen mit der Betriebsweise zum Zeitpunkt der Befragung darstellt und ein Szenario, das eine gesteigerte Produktionsleistung abbildet. Hierfür wurden die Strukturbilanz, eine Gewinn- und Verlustrechnung, sowie eine Geldmittelflussrechnung aufgestellt. Im Anschluss daran erfolgt die Sensitivitätsanalyse, die darstellt, welche Kosten- und Erlösfaktoren den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit besitzen. Mit Hilfe dieser Schlüsselindikatoren soll Rückschluss auf die Steuerungsmöglichkeiten für den ökonomischen Erfolg der Technologien getroffen werden. Im Folgenden werden die Methodik und Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen- und Sensitivitätsanalyse erläutert.

#### 4.1.4.1 Wirtschaftlichkeitsbewertung

##### **Strukturbilanz – „Standardised Balance Sheet“**

Eine Strukturbilanz wird von Analysten genutzt, um Bilanzen von Unternehmen vergleichbar und besser analysierbar zu machen. Dabei wird die Handelsbilanz des Unternehmens strukturell aufbereitet. Die strukturelle Aufbereitung bedeutet, dass die Vielzahl der gelisteten Bilanzkonten der Aktiva und Passiva in bilanzanalytische Sammelkonten wie Anlage- und Umlaufvermögen beziehungsweise in Eigen- und Fremdkapital umstrukturiert werden. Dies sorgt dafür, die Bilanz einfacher und verständlicher zu machen, um ökonomische Kennzahlen direkter bestimmen zu können. Für die Restrukturierung der Bilanz existieren Grundsätze, jedoch keine allgemein verbindlichen Regeln.

Die Strukturbilanz berechnet aus der Auflistung des Inventars, den Forderungen aus Lieferung und Leistung sowie den Verbindlichkeiten gegenüber Lieferanten, das betriebliche Umlaufkapital. Unter Verrechnung weiterer Bilanzgrößen, wie dem aktiven Rechnungsabgrenzungsposten (Arap) und Rückstellungen, wird das Nettoumlaufvermögen ermittelt. Die Berechnung des Nettoumlaufvermögens dient in erster Linie der Ermittlung von Außenständen.

Aus Gründen der Komplexität, die realen Zahlungsströme für Einkauf von Verbrauchsmaterialien und Verkauf von Produkten zeitgetreu bestimmen zu können, werden alle Ein- und Auszahlungen als zeitlich gleichwertig innerhalb eines Geschäftsjahres behandelt. Somit weisen die in dieser Studie kalkulierten Ketten das Nettoumlaufvermögen als Null aus.

Durch Addition des Anlagevermögens, bestehend aus Sachanlagen (TAM – technische Anlagen und Maschinen) sowie Grund und Boden, mit dem Nettoumlaufvermögen, wird das gebundene Kapital ermittelt. Des Weiteren zeigt die Strukturbilanz die Entwicklung des Eigen- und Fremdkapitals sowie des Kassenbestandes. Dabei ist die Strukturbilanz stets an die Gewinn- und Verlust- sowie die Geldmittelflussrechnung gekoppelt. Das Modell folgt einer „Walze“. Die Berechnungen laufen über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren.

##### **Gewinn- und Verlustrechnung – „Income Statement“**

Das Lexikon der Wirtschaft von der BPB definiert die Gewinn- und Verlustrechnung (GuV) als Teil des Jahresabschlusses. Durch die Erfassung und Verrechnung aller in einem Geschäftsjahr ange-

fallenen Erträge und Aufwendungen, wird der Erfolg oder Verlust als Jahresüberschuss beziehungsweise Jahresfehlbetrag ausgewiesen. Die GuV hat somit die Aufgabe, das Zustandekommen des Erfolgs aus den einzelnen Erfolgsquellen nach Art und Höhe erkennbar zu machen, dadurch einen Einblick in das Zustandekommen des Jahresergebnisses zu vermitteln und so die Bilanz zu ergänzen. Zu diesem Zweck verlangt das Handelsgesetzbuch die unsaldierte Gegenüberstellung sämtlicher Aufwands- und Ertragsarten (Pollert et al. 2009). Die GuV beschreibt somit die operative Leistungsfähigkeit des Unternehmens.

Die Gewinn- und Verlustrechnung der Wertschöpfungsketten orientiert sich an den Vorgaben der IFRS. Durch Verrechnung der Umsatzerlöse aus dem Verkauf der Produkte, mit den Materialkosten, ergibt sich die Rohmarge. Die Summe aus Rohmarge, Personalkosten, sonstige Ausgaben und administrative Kosten bildet den Rohertrag (englisch: EBITDA – Earnings before Interest, Tax, Depreciation and Amortisation). Rohertrag abzüglich der nicht zahlungswirksamen Abschreibungen, ergibt die Einnahmen vor Zinsen und Steuern (englisch: EBIT – Earnings before Interest and Tax). Die Summe aus EBIT und Zinsergebnis resultiert im zu versteuernden Einkommen (englisch: EBT – Earnings before Tax), das nach Abzug der Körperschaftsteuer den Gewinn- beziehungsweise Verlustvortrag nach Steuer (englisch: EAT – Earnings after Tax) ausweist.

### **Geldmittelflussrechnung – „Cash Flow Statement“**

Die unzulängliche Liquiditätsorientierung einer Bilanz verhüllt den genauen Einblick in die Liquiditätslage des Unternehmens. Drohende Zahlungsengpässe und Liquiditätslücken können nur rechtzeitig erkannt werden, wenn aus der Bilanz und GuV eine Geldmittelflussrechnung abgeleitet wird. Das HGB hält derzeit keine autonome zeitraumbezogene Rechnung zur Finanzlage vor, die die für die Beurteilung des dynamischen Aspekts der Finanzlage bedeutsamen finanziellen Stromgrößen präsentiert. Zusammen mit den Informationen, die der Jahresabschluss liefert, dient die Geldmittelflussrechnung einer besseren Beurteilung des Unternehmens. Dabei steht die Bewertung über

- die Fähigkeit, Zahlungsüberschüsse zu erwirtschaften,
- die Fähigkeit, die Zahlungsverpflichtungen zu erfüllen und das Eigenkapital zu bedienen,
- die Auswirkungen von Investitions- und Finanzierungsvorgängen auf die Finanzlage sowie
- die Gründe für die Divergenz zwischen Jahresergebnis und Netto-Geldfluss aus laufender Geschäftstätigkeit,

im Fokus der Aktivität. Die Geldmittelflussrechnung kann entweder originär durch unmittelbare Erfassung der Zahlungsströme oder derivativ aus den Jahresabschlussdaten erstellt werden. Die Aufstellung der Geldmittelflussrechnung der Wertschöpfungsketten erfolgt originär.

Eine Geldmittelflussrechnung, als periodenbezogene Rechnung zur Finanzlage, schlüsselt die entsprechenden Rechnungszwecke nach sachlichen Gesichtspunkten auf und gliedert diese in neue, eigenständige Bereiche.

Maßgeblich für die hier vorliegende Geldmittelflußrechnung sind die Regelungen der IFRS, wonach die Geldflüsse in die Bereiche:

- operating activities/ laufende Geschäftstätigkeit,
- investing activities/ Investitionstätigkeit,
- financing activities/ Finanzierungstätigkeit,

untergliedert werden. Durch Untergliederungen kann jeder Tätigkeitsbereich in seinem Informationsgehalt angereichert werden, wodurch eine differenzierte Analyse ermöglicht wird. Bereinigt wird die EBITDA, als beschreibende Größe der laufenden Geschäftstätigkeit, um die Steuern und den Veränderungen im Nettoumlaufvermögen (englisch: Net Working Capital), worauf sich der reine Geldmittelfluss des operativen Geschäfts (englisch: Cash Flow from operation) ergibt. Die Investitionen in Holzhackschnitzelanlagen stellen den reinen Geldmittelfluss des investiven Geschäfts (englisch: Cash Flow from investing activities) dar. Die Summe aus operativem und investivem Cash Flow ergibt den Free Cash Flow. Der Free Cash Flow zeigt, wie viel Liquidität im Geschäftsjahr nach Investitionen frei zur Verfügung steht. Der Free Cash Flow muss dazu in der Lage sein, Kredite zu tilgen und Dividenden zu zahlen. Fremd- und Eigenkapital sind im Unternehmen Zuflüsse. Die Tilgung und Zinsen auf Fremdkapital sind Abflüsse. Auch die Ausschüttungen von Dividenden auf das Eigenkapital stellen Abflüsse dar. Die Summe der Zu- und Abflüsse beschreibt die Finanzierungstätigkeit (englisch: Cash Flow from financing activities). Die Summe aus Cash Flow from financing activities und Free Cash Flow nennt man Total Cash Flow. Der Total Cash Flow gibt an, wie viel Geld am Ende der Periode (Geschäftsjahr), nach Zahlung aller Verbindlichkeiten, übrig bleibt. Hierdurch ist erkennbar, wie viel zusätzlicher Finanzierungsbedarf (hier Eigenkapital) besteht, um die jeweilige Technologie anzuschieben. Ein negativer Total Cash Flow führt zu einer Reduktion des Kassenbestandes. Ein positiver Total Cash Flow führt zu einer Erhöhung des Kassenbestandes.

#### 4.1.4.2 Sensitivitätsanalysen

Sensitivitätsanalysen dienen dazu, den Einfluss unterschiedlicher Einzelfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit des betrachteten Verfahrens zu veranschaulichen. Aufbauend auf den betriebswirtschaftlichen Analysen im Projekt wurden die betrachteten Wertschöpfungsketten anhand mehrerer ausgewählter Parameter untersucht. Hierzu wurden die Einflussfaktoren, die erwartungsgemäß großen Einfluss auf die Verfahren haben sowie solche, bei denen größere Veränderungen zu erwarten sind, ausgewählt. Beispiele hierfür sind Rohstoffpreise und Erlöse. Die Skalierung der Wertschöpfungsketten, also die Dimensionierung und der Durchsatz der Anlagen für die jeweiligen Szenarien wurden als statisch festgelegt. Es wird jeweils einer der Faktoren verändert, während alle anderen auf dem Standardwert blieben. Die Spannweiten besagter Faktoren wird dabei mit den Anlagenbetreiberinnen und -betreibern abgestimmt, um diese möglichst realistisch abbilden zu können.

Hierdurch kann beispielsweise bestimmt werden, inwiefern Rohstoffpreise und Erlöse der Produkte, Verarbeitungsmengen oder Investitionskosten das Ergebnis beeinflussen und wie die Politik solche Rechnungen beeinflussen kann. Die Wirtschaftlichkeit wird auch hier durch den Kapitalwert (engl.: NPV – net present value) bestimmt.

### 4.1.5 Analyse (regional-)ökonomischer Effekte

Zentrales **Ziel** der Analyse (regional-)ökonomischer Effekte im der Schriftenreihe zugrunde liegenden Vorhaben, war die Quantifizierung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale durch eine Koppel- und Kaskadennutzung von Biomasse im ländlichen Raum.

Es wurden dabei **zwei Betrachtungsebenen** in den Blick genommen: 1) die **regionale Ebene** und 2) die **nationale Ebene**. Mit der Berechnung der regionalökonomischen Effekte soll aufgezeigt werden, in welcher Größenordnung durch ausgewählte Verfahren (bspw. ein bestimmtes Herstellungsverfahren für die stoffliche Nutzung von Biomasse zzgl. der damit einhergehenden Bereitstel-

lung von Biomasse und der energetischen Verwertung) Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch eine stofflich-energetische Biomassenutzung auf regionaler Ebene zu erwarten sind. Neben der Betrachtung regionaler Effekte ist die Frage interessant, welche Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale mit einer Koppel- und Kaskadennutzung von Biomasse im ländlichen Raum auf Deutschlandebene generiert werden können.

Für die Ermittlung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten einer Koppel- und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen wurde auf ein seit mehreren Jahren bestehendes und in einer Vielzahl an Forschungsvorhaben **angewandtes Modell des IÖW zur Ermittlung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten durch Erneuerbare Energien (WeBEE-Modell)** zurückgegriffen (siehe hierzu u. a. Hirschl et al. 2010; Hirschl et al. 2015; Dunkelberg et al. 2015; Rupp et al. 2017; Salecki 2017). Das WeBEE-Modell basiert auf einem bottom-up-Ansatz und erlaubt eine Quantifizierung der direkten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte für verschiedene Ebenen (kommunale, Landes- und Bundesebene) sowie einzelne Technologien beziehungsweise landwirtschaftliche Produktionsverfahren und Bestandteile der Wertschöpfung. Der methodische Ansatz basiert auf der Additionsmethode zur Berechnung der Wertschöpfung, die im Rahmen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) auch als Verteilungsrechnung bezeichnet wird. Eine Kurzdarstellung des Modells und der methodischen Vorgehensweise bei der Ermittlung der Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte sowie der Vorgehensweise befindet sich im Anhang (siehe Abschnitt 9.1).

Die ermittelte Wertschöpfung setzt sich grundsätzlich aus den nachfolgend aufgeführten **drei Bestandteilen** zusammen (siehe dazu auch Abb. 9.1). Weiterhin werden die mit den ermittelten Beschäftigteneinkommen verbundenen Arbeitsplätze in Form von Vollzeitäquivalenten (VZÄ) ermittelt.

1. die um die Gewinnsteuern bereinigten **Gewinne** der beteiligten Unternehmen,
2. die **Nettoeinkommen** der beteiligten Beschäftigten und
3. die auf die Unternehmensgewinne und die Bruttoeinkommen gezahlten **Steuern** (differenziert nach Steuereinnahmen der Kommunen, der Länder und des Bundes).

Bei der Betrachtung einer Region ist die Wertschöpfung auf regionaler Ebene von Interesse, d. h. die Gewinne nach Steuern der Unternehmen mit Sitz in der Region, die Nettoeinkommen der Beschäftigten, welche in der Region wohnhaft sind sowie die Steuereinnahmen der Kommunen in der Region. Die Kommunen erhalten die Gewerbesteuer in fast vollem Umfang; hiervon ist lediglich eine Umlage an den Bund und die Länder zu entrichten. Daneben partizipieren die Kommunen anteilig an der veranlagten Einkommen- (15 Prozent) sowie der Abgeltungsteuer (12 Prozent). Weiterhin können mit dem WeBEE-Modell neben den kommunal relevanten Wertschöpfungskomponenten auch die Wertschöpfungseffekte auf Länder- und auf Bundesebene berechnet werden. Auf der Landesebene werden hierbei Einnahmen aus der Körperschaft-, Einkommen-, Abgeltung- und Gewerbesteuer berücksichtigt, auf Bundesebene werden die jeweiligen Anteile an der Körperschaft-, Einkommen-, Abgeltung- und Gewerbesteuer, als auch Einnahmen durch den Solidaritätszuschlag und die Sozialabgaben der Arbeitnehmer/innen und Arbeitgeber/innen miteinbezogen.

Die mit dem WeBEE-Modell berechneten Ergebnisse sind jeweils auf ein konkretes Jahr bezogen, da relevante Inputgrößen beispielsweise die in einem Jahr gegebenen Kosten, die Umsatzerlöse, die Steuersätze oder das Lohnniveau sind. Für zukünftige Jahre können Annahmen für die oben genannten Parameter getroffen werden, für vergangene Jahre werden reale Größen recherchiert und angesetzt. Das **Betrachtungsjahr** für die Ermittlung der (regional-)ökonomischen Effekte im vorliegenden Vorhaben ist 2016.

Durch den modularen Aufbau des Modells ist es möglich, weitere Wertschöpfungsketten in die Systematik des WeBEE-Modells zu integrieren. Vor der Durchführung des Vorhabens war bereits eine große Bandbreite an EE-Technologien, darunter auch eine Vielzahl an Bioenergietechnologien, im Modell abgedeckt. Nicht im Modell abgebildet war jedoch die stoffliche Nutzung; Lücken bestanden auch bei der Bereitstellung von Biomasse. Deswegen erfolgte im Vorhaben, soweit eine ausreichende Datenbasis zur Verfügung stand, eine **Erweiterung des Modells um ausgewählte Wertschöpfungsketten**. Die Vorgehensweise und die Datenbasis für die Integration zusätzlicher Wertschöpfungsketten beziehungsweise Teilketten in das WeBEE-Modell des IÖW wird in den Abschnitten 4.2.5, 4.3.4 und 4.4.5 beschrieben.

In methodischer Hinsicht werden im Modell für alle relevanten Schritte beziehungsweise unternehmerischen Tätigkeiten entlang des gesamten Lebenszyklus der betrachteten Bioenergietechnologien beziehungsweise Verarbeitungsanlagen von Biomasse die jeweiligen Wertschöpfungseffekte ermittelt. Grundlage hierfür sind die spezifischen Kosten- und Erlöspositionen, die als Umsätze der jeweils durchführenden Unternehmen verstanden werden und als Ausgangsgröße für die Ermittlung der einzelnen Wertschöpfungsbestandteile dienen. An den meisten Wertschöpfungsschritten sind Unternehmen beteiligt, die Gewinne generieren, Beschäftigung erzeugen und Steuern zahlen. Einzelne Wertschöpfungsschritte können wiederum chronologisch in aggregierte **Wertschöpfungsstufen** zusammengefasst werden. Bei den Anlagen zur Energieerzeugung und zur Verarbeitung von Biomasse werden vier aggregierte Wertschöpfungsstufen unterschieden:

- Anlagenherstellung (Produktion von Anlagen und Anlagenkomponenten)
- Planung und Installation (sog. Investitionsnebenkosten)
- Anlagenbetrieb und Wartung (Wartung und Instandhaltung, Betriebspersonal etc.)
- Betreibergewinne (Gewinne der Betreibergesellschaft zzgl. Steuern).

Die ersten beiden Wertschöpfungsstufen beinhalten **einmalige Wertschöpfungseffekte**, die vor Inbetriebnahme der betrachteten Anlage anfallen. Dagegen sind die beiden Wertschöpfungsstufen des Anlagenbetriebes und der Betreibergesellschaft **jährlich wiederkehrende Effekte** über die gesamte Lebensphase der Anlage.

Die Wertschöpfungsketten der Biomassebereitstellung auf landwirtschaftlichen Flächen können nicht mit dieser Systematik differenziert werden. Vielmehr werden diese nach den einzelnen Arbeitsschritten differenziert. Dazu zählen unter anderem die Anlage und die Pflege, die Ernte der Feldfrüchte sowie der Transport des Ernteguts (siehe dazu auch Abschnitte 4.3.4.1 und 4.4.5.1). Die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte von landwirtschaftlichen Anbaukulturen werden im WeBEE-Modell flächenspezifisch ermittelt, d. h. die **spezifischen Ergebnisse** liegen in Form von Euro/ha beziehungsweise Vollzeitäquivalente/ha vor. Die spezifischen Effekte durch Bioenergie- und Verarbeitungsanlagen beziehen sich auf die installierte Leistung (Anlagen zur Energieerzeugung) beziehungsweise die Produktionsmenge (Verarbeitungsanlagen).

Voraussetzung für die Aktivitäten privatwirtschaftlicher Akteure und die Generierung von Wertschöpfung ist ein wirtschaftlicher Betrieb der Energieerzeugungs- beziehungsweise Verarbeitungsanlagen und die **Wirtschaftlichkeit** der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren. Für die Effekte im Anlagenbetrieb gilt einschränkend, dass ein Betrieb der Anlagen zwar mit Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten verbunden sein kann, beispielsweise durch das erforderliche Personal für den Betrieb und die Verwaltung der Anlage. Ist jedoch keine Wirtschaftlichkeit gegeben und der Anlagebetrieb mit Verlusten für die Betreibergesellschaft verbunden, sind die regionalökonomischen Effekte durch den Anlagenbetrieb lediglich über einen kurzen Zeitraum vorstellbar, da mittel-

bis langfristig mit einer Einstellung der wirtschaftlichen Tätigkeit zu rechnen ist. Die Wirtschaftlichkeitsbewertung ausgewählter Wertschöpfungsketten wird in den Abschnitten 4.2.4, 4.3.3 und 4.4.4 dargestellt. Bei der Analyse der (regional-)wirtschaftlichen Effekte wird in der Regel eine positive Wirtschaftlichkeit der Anlagen und Produktionsverfahren unterstellt.

Bei der Analyse mit WeBEE-Modell werden die Wertschöpfungsketten auf die direkt mit der Bereitstellung von Biomasse, der Verarbeitung sowie der energetischen Nutzung von Biomasse verbundenen Umsätze begrenzt. So wird beispielsweise die Produktion von Anlagenkomponenten in die Analyse der **direkten Effekte** einbezogen. Weiter vorgelagerte Umsätze und damit verbundene Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte sind indirekte Effekte. Für die Abschätzung dieser Effekte scheidet das WeBEE-Modell aufgrund der sehr hohen Verflechtungskomplexität auf den direkten Produktions- und Wertschöpfungsebene vorgelagerten indirekten Ebenen aus. Diese Effekte können jedoch grundsätzlich durch eine Kopplung des WeBEE-Modells mit einem erweiterten, statisch offenen IO-Modell ebenfalls ermittelt werden (siehe hierzu Aretz et al. 2013; Hirschl et al. 2015; Rupp et al. 2017).

Aufgrund der Fokussierung auf den ländlichen Raum konzentrieren sich die Analysen zudem auf die Teil-Wertschöpfungsketten, die eindeutig dem ländlichen Raum zugeordnet beziehungsweise dort angesiedelt werden können. Für die stoffliche Biomassenutzung bedeutet dies, dass die Rohstoffbereitstellung als auch die Erstverarbeitung von Biomasse bewertet werden. Die weitere Verarbeitung liegt außerhalb der im Vorhaben gesteckten **Systemgrenzen für die ökonomische Bewertung**.

Abhängig von den regionalen Gegebenheiten und dem Verwertungspfad kann die Herstellung biobasierter Produkte beziehungsweise die Bioenergieerzeugung und die damit verbundene Biomassebereitstellung aber auch zu einer **Verdrängung bestehender Flächennutzungen oder einer Substitution fossil-basierter Wertschöpfungsketten** führen. Mit dem WeBEE-Modell werden Brutto-Effekte berechnet und somit keine Netto-Effekte unter Berücksichtigung verdrängter Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in Wertschöpfungsketten einer alternativen Flächenbewirtschaftung, einer Herstellung von nicht biobasierenden Produkten oder fossilen oder nuklearen Wertschöpfungsketten der Energieerzeugung ermittelt. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse zu (regional-)ökonomischen Effekten stellen somit Bruttogrößen ohne Substitutionseffekte dar.

## 4.2 Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung zu höherwertigen Düngemitteln und Fasern für Holzersatzwerkstoffe

Die Aufbereitung von Gärresten zu höherwertigen Produkten ist ein junger Technologiezweig, der im Zuge der dynamischen Entwicklung als zusätzliches funktionales Element für große Biogasanlagen sowie Anlagen in Regionen mit einem insgesamt hohen Aufkommen an Wirtschaftsdüngern – aus Biogasanlagen und aus der Tierhaltung – in den letzten 10 bis 15 Jahren entstanden ist. Technisch sind die vorhandenen Gärrestaufbereitungsverfahren stark an Technologien zur Aufbereitung flüssiger Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung angelehnt.

Im Zuge des Projektes wurden mehrere Standorte bereit, an denen unterschiedliche Anlagenkonzepte zum Einsatz kommen. Unter den betrachteten Anlagen befanden sich mit Verdampfungs- und Strippungsanlagen zwei erprobte Technologien, die nach Einschätzung mehrerer Praxisak-

teure jedoch in hohem Maße vom Kraft-Wärme-Kopplungs-Bonus aus der EEG-Förderung profitieren und ohne erhebliche Zusatzerlöse aus der Vermarktung der erzeugten Düngemittel kaum konkurrenzfähig sind. Eine Anlage, in der separierte Gärreste getrocknet, pelletiert und anschließend als organischer Handelsdünger vermarktet werden, ist nach Angabe ebenfalls stark vom KWK-Bonus abhängig, bietet aber mit dem Dünger bereits heute ein sehr interessantes Produkt. Zum Zeitpunkt der Projektdurchführung wurde an der Integration weiterer Aufbereitungsverfahren in die Anlage gearbeitet. Ein Technologieanbieter hat eine Anlage entwickelt, die in der Lage ist, Ammoniumstickstoff in einer Strippungsanlage aus unseparierten Gärresten zu entziehen und anschließend stickstoffarme Fasern zu gewinnen. Damit wird hier die Erzeugung eines Stickstoff- sowie eines Kalkdüngers mit der Gewinnung von Fasern verknüpft. Angesichts vielversprechender Ansätze für eine Weiterentwicklung wurde dieser Anlagentyp im Zuge des Projektes als Praxisbeispiel für die vertiefende Betrachtung ausgewählt. Zur Erprobung und technischen Weiterentwicklung des hier betrachteten Verfahrens wurde bereits 2008 eine Pilotanlage in eine Biogasanlage im Praxismaßstab integriert.

Die Wertschöpfungskette in diesem Fall umfasst:

- die landwirtschaftliche Erzeugung von Biogassubstraten inklusive der Haltung von Tieren, deren Exkremente als Biogassubstrat zum Einsatz kommen,
- den Betrieb der Biogasanlage,
- den Betrieb der Gärrestaufbereitungsanlage,
- eventuelle Weiterverarbeiter der erzeugten Produkte – Fasern und Düngemittel sowie
- Handel, Endkunden und Entsorgungs- beziehungsweise Recyclingwirtschaft.

Die Systemgrenzen der ökologischen und ökonomischen Analysen wurden ausgehend von der zentralen Fragestellung der jeweiligen Bewertungen unterschiedlich gesteckt und sind wie folgt:

- ökologische Bewertung: Cradle-to-Gate-Ansatz, d. h. von der Biogaserzeugung inkl. der Bereitstellung von Biogassubstraten bis zum Vorprodukt (getrocknete Gärrestfasern) (siehe Abschnitt 4.2.3)
- betriebswirtschaftliche Analyse: Gärrestaufbereitungsanlage (siehe Abschnitt 4.2.4)
- (regional-)ökonomische Analyse: Biogasanlage und Gärrestaufbereitungsanlage (siehe Abschnitt 4.2.5).

Bei der Aufbereitung von Gärresten aus der Biogaserzeugung zu Düngemitteln und Gärrestfasern können die Reststoffe der Biogaserzeugung einer höherwertigen Verwertung zugeführt werden. Im Falle der Gärrestfasern schließt sich an die energetische Biomassenutzung eine stoffliche Nutzung an, da die Gärrestfasern unter anderem als Rohstoff zur Herstellung von Holzersatzwerkstoffen eingesetzt werden können. Es handelt sich somit um eine kaskadische Nutzung der Biomasse. Gleichzeitig ist das Verfahren ein Beispiel für die Koppelnutzung, da neben den Gärrestfasern weitere Produkte (die Düngemittel Ammoniumsulfatlösung (ASL) und Kalkdünger) hergestellt werden.

Die Aufbereitung kann grundsätzlich an bestehende Biogasanlagen angedockt werden. Ob eine Gärrestaufbereitung mit dem hier betrachteten Verfahren aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht sinnvoll ist, ist unter anderem abhängig von der Größe der Biogasanlage und damit dem möglichen Durchsatz an Gärresten, der Möglichkeit die Abwärme der Biogasanlage am Standort extern zu nutzen und ob es sich bei dem Standort der Biogasanlagen um eine Region mit

Nährstoffüberschüssen handelt. In landwirtschaftlichen Veredelungsregionen mit hoher Viehbesatzdichte sind große Nährstoffüberschüsse vorhanden und die Wirtschaftsdünger und – wenn diese als Substrat in Biogasanlagen zum Einsatz kommen – auch die Gärreste können in der betreffenden Region nicht zur Gänze ausgebracht werden. Gerade in diesen Regionen ist somit eine Aufkonzentration der Nährstoffe und in der Folge eine Erhöhung der Transportwürdigkeit eine interessante Option.

#### 4.2.1 Technologie- und Infrastrukturanalyse

Das Verfahren dient der Aufbereitung von Rückständen aus der Biogaserzeugung. Grundlage ist damit die Biogastechnologie. Ein Vorteil der Technik liegt darin, dass die mit einer solchen Anlage ausgestattete Biogasanlage höhere Anteile stickstoffreicher Substrate (z. B. Hühnertrockenkot) verwerten kann, ohne die Prozessbiologie zu gefährden. Bei der Verwertung dieser Einsatzstoffe sind marktabhängig geringere Substratkosten für die Biogaserzeugung oder sogar Entsorgungserlöse denkbar. In Regionen mit Stickstoffüberschüssen müssen die Wirtschaftsdünger (Flüssigmist und Gärreste) mitunter über längere Strecken transportiert werden, um auf dem Acker verwertet zu werden. Es besteht also ein weiterer Vorteil in den verringerten Transportkosten für den Stickstoff (N)-Export durch die Aufkonzentration in der Ammoniumsulfatlösung.

Die Technologie wurde und wird kontinuierlich weiterentwickelt. Eine zentrale Pilotanlage, auf der die nachfolgend beschriebenen Stoffstrom- und Energieangaben basieren, wird bereits an einem Standort betrieben. Hier werden die Einzelkomponenten und das Gesamtsystem im Rahmen verschiedener, aufeinander aufbauender F+E-Projekte im Praxismaßstab erprobt, weiterentwickelt und gegebenenfalls sukzessive erweitert.

Die Biogastechnologie, insbesondere die Nassvergärung, inklusive der Verstromung ist im Zuge der Förderung zu einer nicht nur ausgereiften, sondern auch vielfach erprobten Technologie geworden. Durch staatliche Förderung wurde zunächst eine höchstmögliche Auslastung der Blockheizkraftwerke zur Strom- und Wärmeengewinnung gefördert. Nun liegt der Fokus zunehmend auf dem Potenzial der Speicherbarkeit des Biogases beziehungsweise der Regelbarkeit der Verstromung zur Abdeckung von Spitzenlasten im Stromnetz. Bundesweit führt dieser Trend zu einer Zunahme an installierter Verstromungsleistung proportional zur gesamten Fermenterkapazität bei abnehmenden Laufzeiten.

Auch der Biogasanlagenbetreiber hat bereits in größere Hauben auf den Fermentern investiert, um so größere Mengen Gas vorhalten zu können. Die Anlage verfügt über je zwei Fermenter, Nachgärer und Endlager mit 33 m Durchmesser und 5,8 m Höhe. Das System wird thermophil, bei circa 50°C, betrieben. Die hydraulische Verweilzeit des Substrats beträgt circa 150 Tage. Es sind 175.000 t zur jährlichen Verwertung genehmigt

Zur Stromerzeugung sind fünf Blockheizkraftwerke mit einer Leistung von insgesamt 5,24 MW<sub>el</sub> und einem elektrischen Wirkungsgrad von 40,9 Prozent installiert, zukünftig sollen diese noch erweitert werden. Außerdem wird ein Teil des Biogases zu Biomethan aufbereitet und ins öffentliche Gasnetz eingespeist. Künftig sind 3,2 MW<sub>el</sub> als Grundlast geplant. Darüber hinaus wurde die Gesamtleistung in 2016/2017 über den Zubau weiterer BHKWs auf 6,1 MW erweitert, über die eine flexible Erzeugung von Spitzenlaststrom erfolgt. Die günstige Wärme aus dem Betrieb der Blockheizkraftwerke ist Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb einer Aufbereitung, die Kraftwerke sind jedoch kein direkter Bestandteil der Anlage selbst. Am Standort wird nur ein Teil der dort entstehenden Abwärme für den Prozess genutzt.

Vor der Beschickung der Strippungsanlage mit den Gärresten werden diese über einen Wärmetauscher auf Temperatur gebracht. Die Vorerwärmung wird mit der Abwärme des Blockheizkraftwerks betrieben.

Beim Strippungsprozess wird durch eine Erhitzung des Materials und die Durchleitung von ausgetriebenem Kohlendioxid als Kreislaufgas der Ammoniumstickstoff in gasförmiges Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) überführt. Das Strippungsverfahren ist generell ausgereift und wird vielfach in der Industrie eingesetzt. Die Besonderheit des Verfahrens liegt darin, dass hier unseparierte Gärreste (d. h. inklusive Feststoffanteil) ausgestrippt werden und dass dabei nicht unter Einsatz von Schwefelsäure gearbeitet wird, sondern durch den Zusatz von Gips.

Die Anlage erreicht Durchsätze von  $25 \text{ m}^3$  pro Stunde. In der eigentlichen Strippungsanlage wird das Ammoniak mit einem Strippgrad von 80 Prozent ausgegast und abgeschieden. Die Reaktion zu Ammoniumsulfatlösung erfolgt im Umsetzungsreaktor, der als separater Prozess dargestellt wurde.

In dem an die Strippung angeschlossenen Umsetzungsreaktor reagiert der gasförmige Ammoniak mit REA-Gips zu Ammoniumsulfatlösung, die in konzentrierter Form ein handelsübliches Düngemittel darstellt. Weiteres Produkt dieser Umsetzung im Ausgangsstrom des Umsetzungsreaktors ist Kalk.

Nach dem Umsetzungsreaktor erfolgt eine Pressung der Reaktionsprodukte in einer Kammerfilterpresse. Dabei handelt es sich um eine erprobte Technologie, die zum Beispiel in der Klärschlammmentwässerung gebräuchlich ist. Die Presse arbeitet im Batch-Verfahren und trennt den wässrigen Anteil vom Kalk. Der nasse Kalk befindet sich in Kammern aus wasserdurchlässigem Gewebe und wird seitlich zusammengepresst, wodurch die flüssige Phase größtenteils entweicht.

Die wässrige Phase aus der Strippung wird anschließend über eine Fest-Flüssig-Separation aufbereitet. Der gestrippte, von Stickstoff abgereicherte Gärrest wird in eine überwiegend feste und eine überwiegend flüssige Fraktion getrennt. Diese Separation wird erst nach der Strippung vorgenommen, da eine Strippung der Feststoffe allein nicht möglich ist. Zudem bringt die kontinuierliche Entnahme von Stickstoff aus dem Fermenter den Vorteil, dass ein höherer Anteil stickstoffreicher Substrate eingespeist werden kann, ohne für die Prozessbiologie kritische Ammonium ( $\text{NH}_4$ )-Mengen zu überschreiten. Durch die N-Abreicherung wird zudem eine vielseitige Verwendung der Fasern ermöglicht. Nach der Separation werden die Feststoffe weiter in die Trocknung gegeben und die flüssige Fraktion zurück in den Fermenter geleitet. Eine Entnahme des flüssigen Gärrests aus dem Gesamtsystem zur Ausbringung auf dem Feld erfolgt über einen Nachgärer und ein Gärrestlager.

Um die aus der Separation hervorgehenden Fasern für die Holzindustrie nutzbar zu machen, wird das Material von circa 70 Prozent auf einen Wassergehalt von rund 10 Prozent getrocknet. Die Trocknung erfolgt am Standort mittels eines Drehtrommeltrockners, wie er auch für die Getreidetrocknung verwendet wird. Auch hier wird Abwärme des Blockheizkraftwerkes genutzt.

## 4.2.2 Analyse der Stoffströme

Neben der Verwendung von Maissilage als Substrat für die Biogasanlage ist durch die Ammoniakstrippung als Bestandteil der Anlage auch der Einsatz von circa einem Drittel Hühner trockenkot möglich. Der im Zuge der Umsetzung im Biogasfermenter entstehende Gärrest stellt den aufzubereitenden Rohstoff für den Prozess dar, wobei die enthaltenen Fasern bereits im Biogasfermenter

aufgeschlossen werden. Die thermophile Vergärung trägt zur Zersetzung der Wachsschicht auf den eingesetzten pflanzlichen Substraten bei, wodurch das Material später unter anderem in der Holzwerkstoffindustrie besser verarbeitet werden kann.

Als Einsatzstoffe werden in der Biogasanlage insgesamt rund 102.500 t Substrat in Form von Silomais (55 Prozent der insgesamt eingesetzten Frischmasse (FM)), Geflügelmist (26 Prozent der gesamten FM), Getreidemehl (1 Prozent der gesamten FM), Roggen-Ganzpflanzensilage (7 Prozent der gesamten FM) und Grassilage (11 Prozent der gesamten FM) umgesetzt (Berechnungsgrundlage Substratmix 2015). Es werden jährlich rund 20.000 m<sup>3</sup> Biogas erzeugt, davon gehen circa 43 Prozent in die Biomethanerzeugung mit Einspeisung und circa 57 Prozent zur Vor-Ort-Verstromung in das BHKW. Endprodukte nach der Vergärung sind rund 75 bis 80.000 t flüssige Gärreste, die sich aus 9.120 t/a Trockenmasse und 66.880 t/a Wasser zusammensetzen. Der Stickstoffgehalt darin beträgt 669 t N, wovon 266 t/a als NH<sub>4</sub>-N enthalten sind.

Die fließfähigen, vorgewärmten Gärrückstände werden in die Anlage geleitet und weiter erhitzt. Der Stoffstrom verlässt die Einheit aufgetrennt in den gestrippten Gärrest und das mit Ammoniak angereicherte Stripppgas. Über rund 3.000 t Stripppgas werden insgesamt circa 213 t N pro Jahr, die in den Gärrückständen ursprünglich als Ammonium (NH<sub>4</sub>) vorliegen, in Form von Ammoniak aus dem Massenstrom entzogen. Hierzu werden im Umsetzungsreaktor 1.360 t REA-Gips zugesetzt. Als Endprodukt verlässt eine wässrige Mischung den Reaktor. Die Trennung der enthaltenen circa 1.000 t Kalk mit 2,8 Prozent Stickstoff und der 3.360 t ASL mit 5,5 Prozent Stickstoff erfolgt anschließend in einer Kammerfilterpresse.

Nach der Stripptung bleiben circa 456 t/a Stickstoff im flüssigen Massenstrom zurück. Es handelt sich hauptsächlich um organischen Stickstoff, nur 53 t NH<sub>4</sub>-N verbleiben nach der Ausgasung.

Separation und Trocknung der Fasern geschieht zuerst mittels Schneckenpressen, die die Fasern grob vom anhaftenden Wasser befreien, bevor ein Bandrockner diese im nächsten Schritt auf einen sehr kleinen Feuchtegehalt trocknet. Der Wassergehalt der Feststoffe wird hier von circa 2.550 t/a auf rund 100 t Wasser reduziert. Neben den verdunsteten 2.450 t Wasser entweichen circa 100 kg N in die Atmosphäre. Es verbleiben etwa 1.100 t Trockenmasse in den Fasern.

Zurück in den Fermenter gelangen mit rund 61.330 t pro Jahr der Großteil des Wassers und etwa 8.030 t Trockenmasse, die von der Separation nicht erfasst wurde. So gelangen insgesamt 440 t der ursprünglich circa 670 t N zurück in den Fermenter und mit circa 50 t N etwa ein Fünftel des verarbeitungstechnisch relevanten NH<sub>4</sub>-N.

### 4.2.3 Ökobilanzielle Betrachtungen

Das Vorgehen zur Erstellung der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung und die Ergebnisse der Ökobilanz werden an dieser Stelle zusammenfassend dargestellt, eine ausführliche Beschreibung findet sich in Dunkelberg und Bluhm (2019).

Die Ökobilanz bezieht sich auf ein zweistufiges Verfahren zur Aufbereitung von Gärresten aus der Biogaserzeugung, welches mehrere Produkte liefert. Dies sind aus der ersten Verfahrensstufe ein stickstoffreiches Düngemittel sowie ein Kalkdünger und aus der zweiten Stufe getrocknete Gärrestfasern, die als Rohstoff zur Herstellung von Holzersatzwerkstoffen (Span-/Faserplatten, Fußböden, Laminat) eingesetzt werden und dort Fasern aus Industrieholz oder Altholz ersetzen können.

**Ziel der Ökobilanz** ist es, aufzuzeigen, 1) wie die Umweltwirkungen des gesamten Produktsystems bestehend aus Biogasanlage, BHKW, Strippung und Fasergewinnung zur Bereitstellung der genannten Produkte im Vergleich zu einem Referenzsystem bestehend aus einer Biogasanlage und einem BHKW ohne Strippung und Fasergewinnung sowie den Herstellungsprozessen der substituierten Produkte (mineralische Stickstoffdünger, Kalk, Fasern aus Industrieholz) zu bewerten sind und 2) inwiefern und unter welchen Rahmenbedingungen ökologische Vorteile zu erwarten sind. Darüber hinaus soll 3) untersucht werden, welche Prozessschritte und Wirkungskategorien aus ökologischer Perspektive besonders relevant sind und worauf bei einer breiteren Anwendung dieses Verfahrens geachtet werden sollte, um negative Umweltwirkungen zu minimieren.

Da es sich bei dem System, bestehend aus Biogasanlage, BHKW, Strippung und Fasergewinnung um ein komplexes Produktsystem mit mehreren Produkten und Nutzen handelt, kommt in der Ökobilanz die **Nutzenkorbmethode** zum Einsatz. Für jeden Nutzen, den das System erfüllt, wird ein Referenzsystem gewählt, das einen äquivalenten Nutzen erbringt. Es entstehen auf diese Weise zwei Nutzenkörbe mit äquivalentem Nutzen. Die funktionelle Einheit ist der gesamte Nutzenkorb der beiden Systeme – betrachtet über ein Jahr. Die Biogasanlage des Produktsystems erfüllt den Nutzen, Biogas und durch das angedockte BHKW letztlich Strom und Wärme zu erzeugen. Hierfür steht ein durch die bauliche Struktur bestimmtes Fermentervolumen zur Verfügung. Im betrachteten Produktsystem mit Gärrestverwertung wird neben Mais-, Getreide- und Grassilage Hühner trockenkot als Substrat eingesetzt. Nur durch den Entzug von Stickstoff durch die Strippung ist der Einsatz größerer Mengen von Hühner trockenkot möglich, ohne dass eine Ammoniakhemmung im Fermenter auftritt. Entfällt die Strippung, so muss ein anderes Substrat eingesetzt werden. Das **Referenzsystem** besteht demnach aus einer Biogasanlage der gleichen Größe, jedoch mit einem abweichenden Substratmix (mehr Mais-, Gras- und Getreidesilage anstelle von Hühner trockenkot), einem der Substratzusammensetzung entsprechenden Biogasertrag und einer dem Biogasertrag entsprechenden Strom- und Wärmebereitstellung. Neben Strom und Wärme erbringt das Produktsystem mit Gärrestverwertung die Nutzen Verwertung von Hühner trockenkot, da dieser ansonsten anderweitig verwertet oder entsorgt werden muss, die Bereitstellung von Pflanzennährstoffen aus Gärresten, der konzentrierten Stickstofflösung ASL und Kalk sowie die Bereitstellung von Fasern für die Herstellung von Holzersatzwerkstoffen. Der Nutzen der beiden Systeme, bestehend aus Biogasanlage und BHKW sowie im Untersuchungsfall aus der Anlage zur Gärrestverwertung, sind demnach: 1) Strom- und Wärmebereitstellung, 2) Verwertung von Hühner trockenkot, 3) Bereitstellung von Pflanzennährstoffen und 4) Bereitstellung von Fasern für die Herstellung von Holzersatzwerkstoffen.

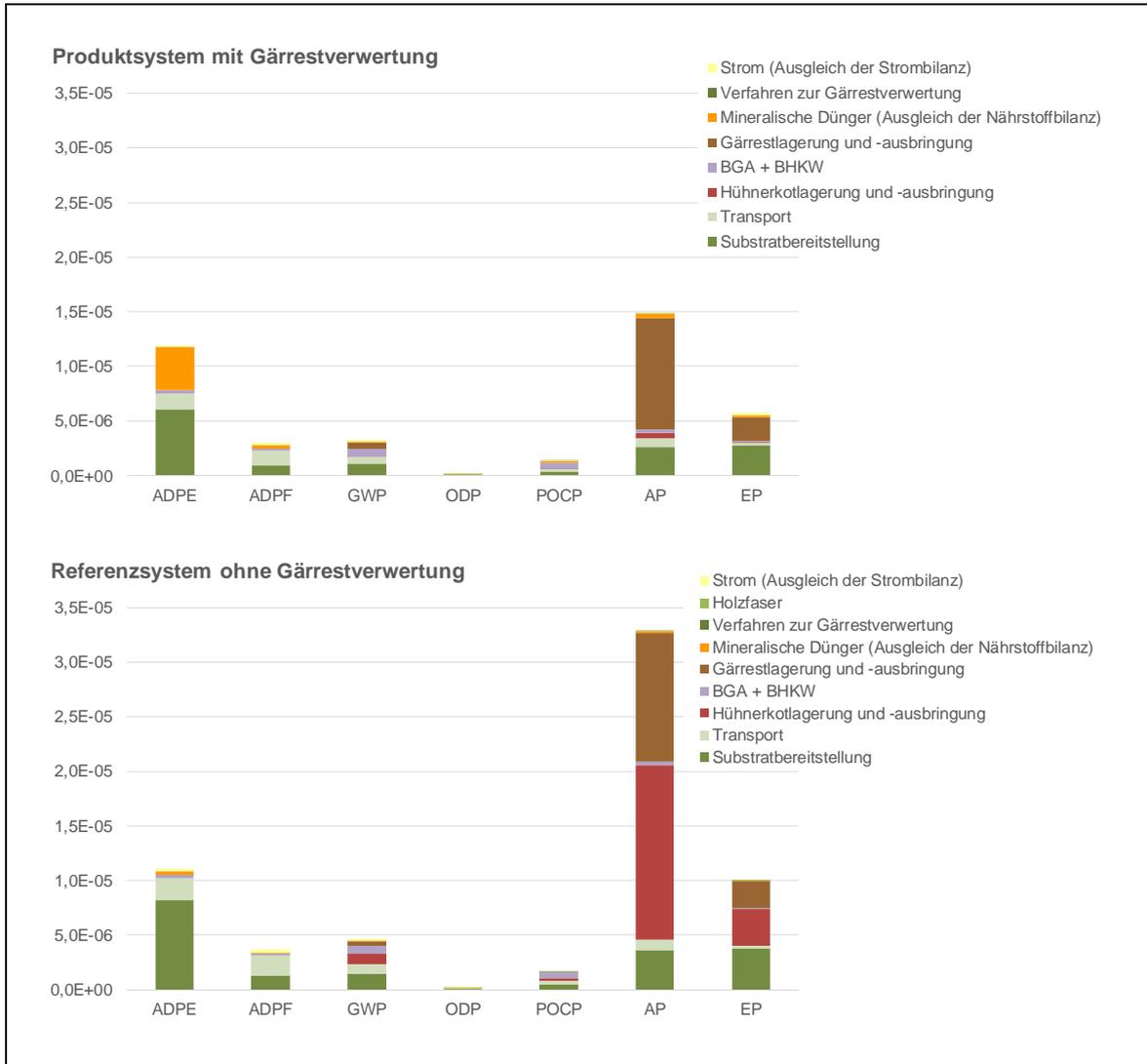
Die **Systemgrenzen** umfassen die Bereitstellung der Anbaubiomasse als Substrat für die Biogaserzeugung (Mais-, Getreide- und Grassilage) inklusive den Aufwendungen an Pestiziden und mineralischen Düngemitteln, den Feldemissionen und den Emissionen aus dem Maschineneinsatz, sowie den NO<sub>x</sub>-Emissionen aus den Silageverlusten. Die Silageverluste werden zudem in der Form berücksichtigt, dass entsprechend der Verluste mehr Anbaubiomasse erforderlich ist als in der Biogasanlage letztlich eingesetzt wird. Die CO<sub>2</sub>-Aufnahme wird in dieser Wertschöpfungskette nicht ausgewiesen, da keine langfristige Bindung des CO<sub>2</sub> erfolgt. Teil der Substratbereitstellung ist auch der Transport der Anbaubiomasse und des Hühner trockenkots zur Biogasanlage mittels LKW. Berücksichtigt wird die Bereitstellung der Anlagen selbst (Biogasanlage, BHKW, Anlagen zur Strippung und Fasergewinnung), die Aufwendungen für den Betrieb der Anlagen (z. B. Strom, Materialien) sowie die Emissionen aus dem Betrieb der Anlagen (diffuse Gasverluste der Biogasanlage, der Gärrestlagerung und des BHKW sowie die Emissionen aus der Verbrennung). Die biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Biogasverbrennung werden als nicht treibhaus-relevant gewertet. Die Differenz der Strombilanz zwischen dem Produktsystem mit Gärrestverwertung und dem Referenz-

system wird über den deutschen Strommix dem Verfahren mit geringerer Strombereitstellung zugerechnet. Innerhalb der Systemgrenzen liegen die Emissionen aus der Gärrestlagerung und -ausbringung sowie der Hühnertrockenkotlagerung und -ausbringung (die Ausbringung von Hühnertrockenkot ist nur beim Referenzsystem Teil der Ökobilanz). Die Betrachtung dieser Emissionen beschränkt sich auf Methan, Ammoniak und Lachgas. Berücksichtigt ist auch der Transport der nährstoffreichen Frachten (Gärreste, ASL, Kalkdünger) zum Einsatzort (landwirtschaftliche Flächen zur Feldausbringung). Die Differenz der Nährstoffbilanz zwischen Produktsystem mit Gärrestverwertung und Referenzsystem wird über mineralische Düngemittel dem Verfahren mit geringerer Nährstoffbereitstellung zugerechnet (die Nährstoffbilanz beschränkt sich auf N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O und CaO). Beim Referenzsystem ohne Gärrestverwertung kommt zur Herstellung der Nutzenäquivalenz die Herstellung von Fasern aus Industrieholz hinzu. Die Ökobilanzierung endet mit der Bereitstellung der getrockneten Gärrestfasern. Es handelt sich somit um einen Cradle-to-Gate-Ansatz.

Die LCA bezieht sich zur Untersuchung der genannten Aspekte auf verschiedene **Szenarien**. Drei Base Case-Szenarien beziehen sich zunächst auf die aktuelle Betriebsweise und die gemessenen Input- und Output-Flüsse an der Pilotanlage. Dies beinhaltet den Substratinput in die Biogasanlage aus dem Jahr 2016 und die jeweilige Ausbeute an Strom, ASL und Kalk (inklusive der Nährstoffgehalte), an Gärrestfasern sowie den externen Wärmenutzungsgrad der durch das BHKW bereitgestellten Wärme. An verschiedenen Stellen fließen mit Unsicherheit behaftete Parameter in die Modellrechnung ein. Dies betrifft zum Beispiel die Höhe der Emissionen bei der Hühnertrockenkotlagerung und -ausbringung. In das Base Case Szenario mit mittleren Aufwendungen (Mid-Szenario) fließen Werte ein, die auf Basis einer Literaturrecherche als am passendsten beurteilt wurden. In einem weiteren Schritt wurden für ausgewählte Input-Parameter der Modellrechnung Min- und Max-Werte gewählt, die in die Berechnung der Ergebniswerte für die Wirkungskategorien Eingang fanden und damit zwei weitere Szenarien für den Base Case (Min- und Max-Szenario) bilden. Ein weiteres Szenario löst sich von der betrachteten Pilotanlage und modelliert das gleiche System bei einem externen Wärmenutzungsgrad von 100 Prozent, da bei vielen Biogasanlagen in Deutschland die erzeugte Wärme bereits genutzt wird (Szenario „100 % externe Wärmenutzung“). Dieses Szenario erlaubt eine Einschätzung, unter welchen Standortbedingungen das Verfahren sinnvollerweise eingesetzt werden sollte. Eine ausführliche Dokumentation der Szenarien, der Datengrundlage, der Annahmen und der Unsicherheiten findet sich in Dunkelberg und Bluhm (2019).

Die **Verallgemeinerbarkeit der Ökobilanzergebnisse** ist eingeschränkt, da sich viele Daten und Informationen ausschließlich auf eine (Pilot)-Anlage beziehen. Allerdings fanden bereits einige Projekte zu dem Anlagenkomplex statt (nova-Institut 2015; Fechter und Kraume 2017; Roth und Wulf 2017), sodass Erfahrungen und Messdaten über einen längeren Zeitraum bestehen. Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen einige aus ökologischer Perspektive interessante Aspekte auf, die auch mit Blick auf eine Übertragbarkeit und eine breitere Umsetzung des Verfahrens von Interesse sind.

Das Produktsystem mit Gärrestverwertung weist in fast allen betrachteten Wirkungskategorien niedrigere Werte und somit geringere Umweltwirkungen auf als das Referenzsystem ohne Gärrestverwertung (Ausnahme ist das Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen, siehe Abb. 4.2). Allerdings sind die Unterschiede nicht in allen Wirkungskategorien signifikant, da viele, teils mit hohen Unsicherheiten behaftete Annahmen in die Berechnungen eingehen. Deutliche Unterschiede zwischen dem Produktsystem und dem Referenzsystem zeigen sich in den Wirkungskategorien Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial sowie dem Sachbilanz-Indikator Flächenbedarf.



**Abb. 4.2: Normierte Emissionen und Aufwendungen des Produktsystems mit Gärrestverwertung sowie des Referenzsystems unterteilt nach Prozessschritten**

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung IÖW, Inputdaten s. Dunkelberg und Bluhm (2019)  
 Erläuterungen: Normierung bezogen auf Emissionen im Bezugsraum EU 25+3 für das Jahr 2000; Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe, ADPF), Verknappung von abiotischen Ressourcen (nicht-fossile Stoffe, ADPE), Versauerung von Boden und Wasser (AP), Ozonabbau (ODP), globale Erwärmung (GWP), Eutrophierung (EP), photochemische Ozonbildung (POCP)

Ein Effekt der ersten Verfahrensstufe der Gärrestverwertung besteht darin, dass Hühnertrockenkot als Substrat in Biogasanlagen eingesetzt werden kann. Hühnertrockenkot weist im Vergleich zu anderen Wirtschaftsdüngern hohe Methanerträge auf und ist daher, sofern eine Ammoniakhemmung vermieden werden kann, ein interessantes Substrat für die Biogaserzeugung. Der Einsatz von Hühnertrockenkot in Biogasanlagen reduziert im Vergleich zu einer reinen NawaRo-Biogasanlage den Bedarf nach landwirtschaftlichen Anbauflächen. Alle Umweltwirkungen, die als Folge von Düngemittel- und Maschineneinsatz in Bezug zum Biomasseanbau stehen wie Treibhauspotenzial, Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial erfahren in diesem Prozessschritt eine Entlastung.

Als einen zentralen Leitgedanken formuliert die Nationale Politikstrategie Bioökonomie zudem den Aspekt der Ernährungssicherung, der auch im globalen Kontext Vorrang vor der Erzeugung von Rohstoffen für Industrie und Energie haben soll (BMEL 2014). In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von Hühner trockenkot anstelle von Anbaubiomasse ebenfalls als positiv zu bewerten, da dadurch weniger Fläche für Anbaubiomasse benötigt wird. Das Risiko, dass Bioenergie aufgrund des Flächenbedarfs in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion tritt und auch das Risiko indirekter Landnutzungsänderungen werden durch den Einsatz von Hühner trockenkot gemindert.

Der Einsatz von Hühner trockenkot als Biogassubstrat führt dazu, dass die alternative Verwertung, die Ausbringung des Hühner trockenkots auf landwirtschaftliche Flächen wegfällt. Die Lagerung und Feldausbringung von Hühner trockenkot kann je nach Lagerung- und Ausbringungsbedingungen und -verfahren zu erheblichen Ammoniak- und Lachgasemissionen führen (Hänel et al. 2018), die vor allem in den Wirkungskategorien Versauerungs-, Eutrophierungs- und Treibhauspotenzial zu hohen Werten beitragen. Zwar lassen sich die Emissionen durch fachgerechte Lagerung und Ausbringung minimieren (z. B. durch eine direkte Einarbeitung). In der Praxis ist jedoch davon auszugehen, dass nicht immer die aus Emissionssicht optimalen Verfahren Einsatz finden (Hänel et al. 2018). Werden für die Ausbringung des Hühner trockenkots und der Gärreste die gleichen Bedingungen bei der Ausbringung unterstellt (z. B. Einarbeitung innerhalb von 24 Stunden), so übertreffen in der Modellrechnung die Ammoniak- und Lachgasemissionen des Referenzsystems die des Produktsystems mit Gärrestverwertung. Ebenfalls relevant sind die Unterschiede bei der Lagerung des Hühner trockenkots. Laut Hänel et al. (2018) betragen die Emissionsfaktoren für Methan, Lachgas und Ammoniak bei der Vorlagerung von Geflügelkot für die Biogaserzeugung nur ein Zehntel der Werte eines normalen Lagers vor Feldausbringung. Diese Werte sind in der Ökobilanz berücksichtigt und führen dazu, dass insbesondere in den Wirkungskategorien Versauerung und Eutrophierung eine Entlastung durch den Einsatz des Verfahrens mit Gärrestverwertung in Kombination mit dem Einsatz von Hühner trockenkot als Biogassubstrat feststellbar ist.

Die Biogasanlage im Produktsystem mit Gärrestverwertung erzeugt etwa 2 Prozent weniger Methan als die Referenzbiogasanlage, da in dieser mehr Mais mit einem hohen spezifischen Methanertrag zum Einsatz kommt. Der etwas geringere Methanertrag führt gemeinsam mit dem Strombedarf des Aufbereitungsverfahrens dazu, dass das Produktsystem mit Gärrestverwertung etwas weniger Strom bereitstellt als das Referenzsystem. Dies wird in der Nutzenkorbmethode so berücksichtigt, dass dem Produktsystem mit Gärrestverwertung die Differenz in der Strombereitstellung zwischen den Systemen in Form des deutschen Strommixes zugerechnet wird. Auswirkungen zeigt dieses Vorgehen vor allem in den Wirkungskategorien Treibhausgaspotenzial und Potenzial für die Verknappung fossiler Energieträger, in dem der ökologische Nutzen des Produktsystems mit Gärrestverwertung im Vergleich zum Referenzsystem eher gering ausfällt.

Die zweite Stufe des Verfahrens, die Fasergewinnung, benötigt für die Trocknung größere Mengen an Wärme, sodass das Produktsystem mit Gärrestverwertung insgesamt weniger extern nutzbare Wärme bereitstellt als das Referenzsystem ohne Gärrestverwertung. Aus Klimaschutzgründen ist ein Einsatz des Verfahrens zur Gärrestverwertung daher nur dann sinnvoll, wenn am Ort der Biogasanlage keine Nutzungskonkurrenz um die Wärme besteht. Positiv formuliert kann eine Gärrestverwertung inklusive einer Faserbereitstellung eine sinnvolle Wärmenutzung an ländlichen Biogas-Standorten ermöglichen, wo andere geeignete Wärmeabnehmer fehlen.

Im Referenzsystem ohne Gärrestverwertung sind Fasern aus Industrieholz als direktes Referenzprodukt für die Gärrestfasern unterstellt. Da das Holzaufkommen in Deutschland begrenzt und die Holznachfrage sowohl für die stoffliche als auch die energetische Verwertung hoch ist, bezeichnete

Mantau (2012b) die Situation der Rohstoffversorgung im Holzmarkt als angespannt. Eine Substitution ist somit mit Blick auf die Rohstoffversorgung interessant und entspricht an dieser Stelle auch einem zentralen Leitgedanken in der Nationalen Politikstrategie Bioökonomie, dass „wo möglich und sinnvoll [...] die Kaskaden- und Koppelnutzung von Biomasse realisiert werden“ soll (BMEL 2014, 9). Die Bereitstellung der als Referenzprodukt unterstellten Holzfasern geht in den betrachteten Wirkungskategorien mit sehr geringen Umweltwirkungen einher, sodass ihre Substitution keinen direkten ökologischen Nutzen aufweist. Das in Deutschland insgesamt verfügbare Potenzial an stofflich nutzbarer Biomasse wird vielmehr durch die Gärrestfasern erhöht. Zuletzt lässt eine Auswertung der Umweltwirkungen bezogen auf die einzelnen Prozessabschnitte es zu, gemäß des formulierten Ziels der Ökobilanz auf mögliche Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen des Produktsystems hinzuweisen, wie sie in Tab. 4.1 aufgelistet sind.

**Tab. 4.1: Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen bei der Biogaserzeugung im Allgemeinen sowie bei Einsatz des Verfahrens zur Gärrestverwertung**

Quelle: Eigene Zusammenstellung und Darstellung IÖW

Prozessabschnitt	Relevante Wirkungskategorien (Anteil > 15 % an Gesamtemissionen)	Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen
Biomasseanbau	GWP, ADPF, ADPE, POCP, AP, EP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reduktion des Biomassebedarfs durch den Einsatz von Hühnertrockenkot erfolgt bereits</li> <li>– Maßnahmen zur Minimierung der Silierverluste</li> <li>– Umweltschonendes Düngermanagement auf den landwirtschaftlichen Flächen</li> </ul>
Transporte	GWP, ADPF, POCP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Konzentration der Nährstoffe in Form der ASL zur Erhöhung der Transportwürdigkeit erfolgt bereits</li> <li>– Möglichst geringe Distanzen zwischen Ort der Substratbereitstellung und Biogasanlage sowie zwischen Biogasanlage und Einsatz der Produkte, Vermeidung von Leerfahrten (letzteres bereits umgesetzt)</li> </ul>
BGA, BHKW, Verfahren zur Gärrestverwertung	GWP, POCP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maßnahmen zur Minimierung des Methanschlupfes (diffuse Gasverluste)</li> <li>– Standortprüfung: Einsatz des Verfahrens nur bei fehlender Wärmenutzungskonkurrenz, das heißt geringem externen Wärmenutzungsgrad (gegebenenfalls sollte nur eine Umsetzung der ersten Verfahrensstufe der Düngemittelauskopplung erfolgen)</li> <li>– Optimierung zwischen Biogasausbeute und Düngemittelgewinnung (Einsatz von Hühnertrockenkot), Einsatz alternativer Substrate zu Anbau-Biomasse</li> </ul>

Prozessabschnitt	Relevante Wirkungskategorien (Anteil > 15 % an Gesamtemissionen)	– Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen
Gärrest- und Hühner-trockenkot-lagerung und -ausbringung	GWP, AP, EP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gasdichte Gärrestlagerung erfolgt bereits (möglichst auch des Hühnertrockenkots)</li> <li>– Direkte Einarbeitung nach Ausbringung von Gärresten und Hühnertrockenkot</li> <li>– Beachtung der Jahreszeit und Witterung bei Ausbringung von Gärresten und Geflügelmist</li> </ul>
Nährstoffbilanz	ADPE	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rückgewinnung von Stickstoff aus den Gärresten durch die Strippung ist bereits erfolgreich</li> <li>– Maßnahmen zur Rückgewinnung von Phosphor aus den Gärresten prüfen</li> </ul>

## 4.2.4 Betriebswirtschaftliche Analyse und Identifizierung von ökonomischen Schlüsselfaktoren

### 4.2.4.1 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Für die Wirtschaftlichkeit der Anlagen sind insbesondere die verarbeiteten Mengen ausschlaggebend. Besonders bei technisch anspruchsvollen Gärrestaufbereitungen liegt hier der Schlüssel zum wirtschaftlichen Erfolg. Zudem spielt der Wärmebezug von der Biogasanlage beziehungsweise die direkte Kopplung ebenfalls eine große Rolle, da hier im Zuge der Kraft-Wärme-Kopplung Gewinne für die Biogasanlage generiert werden.

Anhand einer Vermögensbilanz können für diverse Zielgruppen unterschiedliche Informationen (Ergebnisse) mit Hilfe von Kennzahlen und Werten gewonnen werden. Einige Informationen, wie beispielsweise der Total Cash Flow oder das Working Capital dienen primär der Unternehmenssteuerung und Entscheidungsfindung, also der Innendarstellung. Andere Kennzahlen, wie beispielsweise die Internal Rate of Return (IRR) oder der Flow to Equity dienen der Außendarstellung und Bewerbung des Unternehmens. Eine weitere entscheidende Kennzahl zur Bewertung der Kreditwürdigkeit ist etwa der Schuldendienst- und Zinsdeckungsgrad. Die hier dargestellten Zahlen können die Wirtschaftlichkeit der Aufbereitungsanlage nicht vollständig abbilden, da hierzu die genauen Daten fehlten, da diese unter das Betriebsgeheimnis fielen. Dennoch wurden die gerechneten Kennzahlen in enger Zusammenarbeit mit den Unternehmen abgestimmt. Eine Detailkalkulation mit verifizierten Werten durch Einzelgespräche würde mehr Klarheit und Verlässlichkeit in die Kalkulation einbringen. Die Finanzstruktur ist in Tab. 4.2 dargestellt.

**Tab. 4.2: Finanzstruktur**

Position	Wert	Einheit
EK	20	%
Dividenden	10	%
FK	80	%
FK Zins	3,00	%
Steuern	30	%
Inflation	2	%
Kreditlaufzeit	10	a
Lebensdauer	15	a

Für die Berechnung wurde ein Faserpreis von 75 Euro/ $t_{atro}$  angenommen, der im mittleren Bereich der vom Anlagenbetreiber angenommenen Erlöse liegt.

Die folgende Leistungstafel (Tab. 4.3) veranschaulichen die ökonomische Leistung der Gärrestaufbereitungsanlage im Base Case und im Szenario mit Steigerung der Ausbeute.

**Tab. 4.3: Leistungstafel der Gärrestaufbereitung**

Quelle: eigene Berechnungen IfaS

	Base Case	Ausbeute+
WACC	4%	4%
Kapitalwert	-1.090.000 Euro	3.590.000 Euro
Payback period	-	6,8 a
Interner Zinsfuß	-3%	20%

Für das Gärrestaufbereitungsverfahren im Ausbeute+-Szenario zeichnet die Leistungstafel allerdings ein deutlich positiveres Bild gegenüber dem Base Case. Die beiden Szenarien unterscheiden sich dahingehend, dass dem Ausbeute+-Szenario eine um das 6-fach erhöhte Faserausbeute, verglichen zum aktuellen Stand, zugrunde liegt. Um diese Mengen zu realisieren, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt werden. Zum einen muss ein ausreichender Absatzmarkt für die Fasermengen gegeben sein und zum anderen müssen Optimierungen an der Anlage vorgenommen werden, die zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht durchgeführt wurden, aber als im Rahmen der Möglichkeiten erachtet werden.

Die Investitionskosten belaufen sich auf die reine Aufbereitungsanlage ohne Komponenten der Biogasanlage. Es sollte zudem bemerkt werden, dass für den Betrieb der Faserveredelungsanlage auf bestehende Maschinenteknik der Biogasanlage (bspw. Radlader) zurückgegriffen wird.

Im Prozess entstehen zum einen die Gärrestfasern und zusätzlich Ammoniumsulfatlösung, die in Wert gesetzt werden kann. Der Gärrest, der verarbeitet wird, kann kostenlos von der Biogasanlage bezogen werden, ebenso wie die benötigte Wärme, da bisher noch keine Wärmenutzung an der angeschlossenen Biogasanlage existierte.

Zur Verifizierung und exakten Bestimmung der angenommenen Daten (Preissteigerungsraten, Investitionen, Betriebs-, Verwaltungs- und Instandhaltungskosten, Wärmebedarf der Anlage, Guthaben- und Darlehenszinssätze, Eigen- und Fremdkapitalanteile etc.) müsste eine Machbarkeitsstudie zur Realisierung eines Betreibermodells für die Szenarien durchgeführt werden. Aufgabe dieser Studie wäre es, die im Forschungsvorhaben technischen Anlagenauslegungen sowie die in der ökonomischen Betrachtung angenommenen Zahlen zu verifizieren und die relevanten Akteure für eine Umsetzung zu sensibilisieren und zu vernetzen. Ziel der Studie wäre es, einschlägige Erkenntnisse (rechtlich, ökonomisch, ökologisch, sozialverträglich etc.) über eine sinnvolle Realisierung der entwickelten Inwertsetzungsstrategien zu gewinnen und bei positiver Tendenz bereits Grundsteine, in Form von vorläufigen Partizipationsverträgen, Finanzierungsmodellen, Ausschreibungen usw., für eine folgende Realisierung zu legen. Die größten Einflussfaktoren und wie sie das Ergebnis beeinflussen werden im Abschnitt 4.2.4.2 mit den Sensitivitätsanalysen dargestellt.

#### 4.2.4.2 Sensitivität Gärrestaufbereitungsverfahren

##### **Sensitivitätsfaktoren**

Im Folgenden werden die verschiedenen Sensitivitätsfaktoren dargestellt und erläutert, in welchen Grenzen diese variiert werden.

**Strompreis:** Der Standardwert von 150 Euro/MWh (15 ct/kWh) stammt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aus dem Basisjahr 2016. Die 150 Euro/MWh werden um jeweils 30 Euro/MWh nach oben, beziehungsweise nach unten korrigiert. Über die letzten Jahre gab es eine Preissteigerung der Strompreise für die Industrie (nach BMWi<sup>5</sup>). Eine Senkung der Kosten wäre beispielsweise durch Nutzung einer Photovoltaikanlage erzielbar.

**Wärmepreis:** Bisher fallen für die Aufbereitungsanlage keine Wärmekosten an, da sie die Energie von der Biogasanlage beziehen kann, die zuvor keine Abnahme ihrer Wärme besaß. Die Biogasanlage hat davon den Vorteil im Rahmen des EEG einen Kraft-Wärme-Kopplungs-Bonus zu erhalten. Hier gibt es kein positives Szenario, da die Anlage keine Kosten verursacht und auch keine Erlöse für die Wärmeabnahme bekommen wird. Als Negativ-Szenario wird ein Wärmepreis von 10 Euro/MWh (1 ct/kWh) angenommen.

**Kosten REA-Gips:** Hier wird für das positive und das negative Szenario je mit einer Abweichung von 2 Euro/t gerechnet, was einer Variation von 20 Prozent vom Ausgangswert entspricht.

**Kosten Kalkdünger:** Beim Kalkdünger wird ebenfalls mit einer Abweichung von 2 Euro/t gerechnet.

<sup>5</sup> <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/Energiedaten/Energiepreise-und-Energiekosten/energiedaten-energiepreise-39.html>

**Erlöse ASL:** Bei der Spannweite der ASL-Erlöse ergeben sich für die Szenarien als Abweichung vom Standardwert unterschiedliche Positionen. Das Positiv-Szenario stellt nur einen geringen Mehrerlös dar, während das Negativ-Szenario einen deutlichen Preisabfall zeigt. Das Negativ-Szenario stellt dar, dass der Anlagenbetreiber die ASL außerhalb des Betriebes verkaufen muss und mit konventionellen Düngern konkurriert. Im Positiv-Szenario wird der Wert, der durch Einsparung anderer Düngemittel entsteht, verwendet.

**Erlöse Gärrestfasern:** Die verwendeten Preise sind Werte, die von dem Entwickler der Anlagentechnologie genannt wurden und die angestrebte Preisspanne zeigen.

**Investitionskosten:** Im Positiv Szenario wird eine Kostenverringerung von 10 Prozent gegenüber den aktuellen Kosten gerechnet. Diese potenzielle Verringerung kommt dadurch zustande, dass die betrachtete Anlage ein Prototyp ist und dementsprechende Mehrkosten verursacht hat. Im Ausbeute+-Szenario wurden gegenüber dem Base Case höhere Investitionskosten als Standardwert verwendet. In den Positiv- und Negativ-Szenarien wurde eine Abweichung um 10 Prozent von diesem Standardwert gerechnet.

**Förderung:** Hier wurde die für die aktuelle Anlage erhaltene Förderung eingerechnet sowie für das Negativ-Szenario die Variante ohne Förderung.

**Steuern:** Da der Steuersatz vom Standort abhängig ist, wurde mit einem Mittelwert von 30 Prozent mit jeweils 5 Prozent Abweichung nach oben und unten gerechnet.

**Eigenkapitalanteil:** Der Eigenkapitalanteil hängt stark von der möglichen Finanzierung ab, weshalb von der Möglichkeit, kein Eigenkapitalanteil einbringen zu müssen, bis zum Fall, dass ein hoher Eigenanteil eingebracht werden muss, unterschiedliche Möglichkeiten gerechnet wurden.

### **Ergebnis Gärrestauffbereitung im Base Case**

Es wurde sichtbar, dass im Positiv-Szenario die Grenze zur Wirtschaftlichkeit durch Variation eines einzelnen Faktors nicht erreicht wird. Bei den Kostenfaktoren besitzen der Strompreis, die Investitionskosten und der Eigenkapitalanteil großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit, sowohl auf positiver als auch negativer Seite. Im Negativ-Szenario ist deutlich der große Einfluss des Wärmepreises zu sehen. Wärme darf für die Aufbereitungsanlage dementsprechend eigentlich keine Kosten verursachen.

Auf Erlös-Seite besitzen die Fasererlöse den größten positiven Einfluss und auch einen vergleichsweise großen Einfluss im negativen Szenario. Hier ist es wichtig einen möglichst konstanten Preis auf dem Markt zu erzielen. Ein höherer Preis kann dabei etwa durch ein verändertes Anwendungsfeld entstehen, das heißt Fasern könnten statt in der Holzwerkstoffindustrie beispielsweise als Grundlage von Pflanztopfen oder Ähnliches genutzt werden.

Ähnlich ist die Abhängigkeit von den ASL-Erlösen zu sehen. Der Minimalpreis der ASL wirkt sich stark aus und auch die Investitionskosten haben einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

Alle Variablen und ihr Einfluss sind grafisch in Abb. 9.2 im Anhang dargestellt.

### Ergebnis Gärrestaufbereitung im Ausbeute+-Szenario

Auf der Seite der Kostenfaktoren fällt auf, dass Betriebs- und Verbrauchskosten einen geringeren Einfluss besitzen verglichen mit dem Base Case. Das ist dem gesteigerten Produktstrom und damit den stabileren Einnahmen geschuldet. Dennoch ist die enorme Wärmemenge, die benötigt wird, noch immer ein großer Einflussfaktor und sollte auch hier möglichst wenig bis gar keine Kosten verursachen.

Auf der Erlösseite wird deutlich, dass sich die angenommene Förderung der Investitionskosten im größer ausgelegten Szenario nur noch in geringem Umfang auf die Gesamtwirtschaftlichkeit auswirkt. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Weiterentwicklung der Technologie ohne Fördermittel auskommt. Auch der Einfluss der ASL-Vermarktung sinkt ab, was daran liegt, dass die ASL-Ausbeute mit verbesserter Technik voraussichtlich nicht in gleichem Maße steigen wird wie die Faser- ausbeute. Diese hat in der Sensitivitätsanalyse des Szenarios den gleichen Stellenwert wie im Base-Case.

Alle Variablen und ihr Einfluss sind grafisch in Abb. 9.3 im Anhang dargestellt.

## 4.2.5 Analyse (regional-)ökonomischer Effekte

Wie in Abschnitt 4.1.5 dargestellt, konzentriert sich die Analyse auf die Teil-Wertschöpfungsketten, die eindeutig dem ländlichen Raum zugeordnet beziehungsweise dort angesiedelt werden können. Für das hier im Fokus stehende Gärrestaufbereitungsverfahren bedeutet dies, dass zwei Teil-Wertschöpfungsketten betrachtet werden. Zum einen die Teil-Wertschöpfungskette Biogasanlage und zum anderen die Teil-Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung. Bei der Wertschöpfungskette Biogasanlage wurden die Effekte nur für den Betrieb der Anlagen, nicht jedoch für die Planung und Installation sowie Herstellung von Anlagenkomponenten berechnet. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass Verfahren zur Gärrestaufbereitung an Biogasanlagen im Bestand angegliedert werden. Bei der Gärrestaufbereitung wurde die gesamte Wertschöpfungskette von der Herstellung über die Installation bis zum Betrieb abgebildet. Die weitere Verarbeitung der Gärrestfasern liegt außerhalb der für die ökonomische Analyse gesteckten Systemgrenzen und wurde hier nicht bewertet.

### 4.2.5.1 Teil-Wertschöpfungskette Biogasanlage

Aufgrund von Skaleneffekten ist eine zusätzliche Gärrestaufbereitung mit dem hier betrachteten Verfahren grundsätzlich bei Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 1 MW und mehr sinnvoll. Für die Berechnung der (regional-)ökonomischen Effekte durch den Betrieb der Biogasanlage konnte auf eine bereits im WeBEE-Modell des IÖW abgebildete Wertschöpfungskette zurückgegriffen werden. Es handelt sich dabei um eine Referenzanlage mit einer elektrischen Leistung von 1.000 kW<sub>el</sub>. Die nachfolgende Tabelle zeigt die jährlichen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch den Betrieb der Biogasanlage.

**Tab. 4.4: Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte einer Biogasanlage mit 1 MW installierter elektrischer Leistung – jährliche Effekte**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW; Erläuterung: angegeben sind spezifische Ergebnisse in Euro pro kW installierter elektrischer Leistung

Wertschöpfungsschritt	Nach-Steuer-Gewinne	Netto-Einkommen	Steuern an die Kommunen	WS Kommunale Ebene	WS Länder-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäftigungseffekte
	[Euro/ $t_{atro}$ *Jahr]						[VZÄ/ $t_{atro}$ *Jahr]
<b>Wertschöpfungsstufe Anlagenbetrieb und -wartung</b>							
Betriebsstoffe (Strom, Zünd-/Schmieröl)	2,06	1,82	0,47	4,36	4,93	6,60	0,000047
Wartung und Instandhaltung	7,16	16,18	2,03	25,37	28,28	41,17	0,000484
Produktion Ersatzmaterial	3,38	8,73	1,02	13,13	14,66	21,57	0,000262
Personal (Bedienung und Verwaltung)	0,00	2,77	0,06	2,83	2,99	4,69	0,000160
Versicherung	0,35	0,44	0,11	0,89	1,08	1,53	0,000011
Fremdkapitalfinanzierung	2,53	0,53	0,51	3,57	4,11	4,95	0,000013
Laboranalysen	0,03	0,04	0,01	0,08	0,09	0,13	0,000001
<b>Wertschöpfungsstufe Betreibergewinne</b>							
Betreiber-gewinne	54,32	0,00	8,84	63,16	68,80	74,01	-

#### 4.2.5.2 Teil-Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung

Mit der Analyse (regional-)ökonomischer Effekte durch die Gärrestverwertung zur Gewinnung von Düngemitteln und Fasern wurde das **Ziel** verfolgt, die Größenordnung (regional-)ökonomischen Potenziale dieses Verfahrens im ländlichen Raum sowohl auf regionaler als auch auf nationaler Ebene abzuschätzen und für den ländlichen Raum relevante Wertschöpfungsstufen und -schritte zu identifizieren. Dafür erfolgten zunächst eine Neu-Modellierung der Teil-Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung und die Integration in das WeBEE-Modell. Ergebnis waren je Wertschöpfungskette die spezifischen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch die Herstellung, die Installation und den Betrieb der Anlage zur Gärrestaufbereitung pro  $t_{atro}$  produzierter Gärrestfasern. Auf dieser Basis kann eine Hochrechnung für fiktive Beispielprojekte beziehungsweise fiktiven Beispielregionen und Deutschland erfolgen (siehe Kapitel 5).

**Datenbasis** für die Analyse der regionalökonomischen Effekte ist eine Erhebung von Investitions- und Betriebskosten sowie Angaben zum Anlagenbetrieb und Erlösen bei dem Anlagenbetreiber der Pilotanlage. Teilweise wurden Literaturwerte herangezogen, um Datenlücken zu schließen.

Die Neu-Modellierung und Integration der Teil-Wertschöpfungskette Gärrestauffbereitung in das WeBEE-Modell wurde für zwei **Szenarien** durchgeführt. Das „Base-Case“-Szenario bildet die Auslegung und die gemessenen Input- und Output-Flüsse der Pilotanlage mit Stand 2016 ab. Ergänzend wurde ein Szenario im Modell abgebildet, bei dem eine höhere Ausbeute bei der Faserproduktion erreicht wird („Ausbeute+“). Konkret handelt es sich um die Hochskalierung auf eine Produktionsmenge von rund 1.000 t<sub>atro</sub> im „Base Case“ auf 6.000 t<sub>atro</sub> Gärrestfasern. Den Angaben des Betreibers der Pilotanlage zufolge, ist bei den Betriebsmitteln und Eingangsstoffen sowie den Produktionsmengen von einem nicht-linearen Verlauf auszugehen. Die technischen Parameter der Anlage zur Gärrestauffbereitung sind in Tab. 9.1 im Anhang für beide Szenarien aufgeführt.

Für das hier betrachtete Gärrestauffbereitungsverfahren sind Investitionen in folgende Komponenten erforderlich: Wärmetauscher, Strippanlage, Umsetzungsreaktor, Kammerfilterpresse und Drehtrommeltrockner (siehe Abschnitt 4.2.1). Für die Lagerung des im Prozess benötigten REA-Gips und der Produkte ASL, Gärrestfasern und Kalk sind ein Flüssigdüngerlager (Tank) und Feststofflager für Gips, Fasern und Kalkdünger erforderlich. Mit den oben aufgeführten Komponenten und baulichen Anlagen ergeben im sich „Base Case“ **Investitionskosten** (inkl. Investitionsnebenkosten) von insgesamt 2,5 Mio. Euro. Um eine höhere Ausbeute bei der Faserproduktion zu erzielen, bedarf es im Szenario „Ausbeute+“ zusätzlicher Investitionen in die Anlagentechnik, beispielsweise sind zusätzliche Separatoren notwendig. Damit ergeben sich Investitionskosten in Höhe von 2,8 Mio. Euro (siehe Tab. 9.2 im Anhang).

Für den Betrieb der Gärrestauffbereitungsanlage sind Energie (Elektrizität und Wärme), REA-Gips, Personal für die Bedienung und Verwaltung der Anlage sowie Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten erforderlich. Zudem entstehen Kosten für die Versicherung und die Finanzierung mit Fremdkapital. Für das „Base-Case“-Szenario summieren sich die **Betriebskosten in einem durchschnittlichen Betriebsjahr** auf rund 240.000 Euro. Bei dem Szenario „Ausbeute+“ ergeben sich für ein durchschnittliches Betriebsjahr Betriebskosten in Höhe von 400.000 Euro. Die Erhöhung der Kosten ist auf gestiegene Bedarfe für Strom, Wärme und Gips, einen erhöhten Aufwand für Wartung und Instandhaltung, Versicherung und die Finanzierung zurückzuführen. Die Annahmen für die Berechnung der Betriebskosten sind in Abschnitt 9.2.1 im Anhang dargestellt. Die Betriebskosten für die 2016 bestehende Betriebsweise der Gärrestauffbereitungsanlage („Base Case“) und das Szenario „Ausbeute+“ sind in Tab. 9.3 im Anhang zusammengefasst dargestellt.

Die Produkte der Gärrestverwertung sind Gärrestfasern, Düngekalk und Ammoniumsulfatlösung. Gerade in Regionen mit Nährstoffüberschuss bieten die Aufbereitung von Gärresten und die Aufkonzentration der Nährstoffe in Form von ASL Vorteile. Gründe sind unter anderem die höhere Transportwürdigkeit und der niedrigere Aufwand für die Ausbringung und die benötigte Lagerkapazität (Wilken et al. 2018). ASL ist ein zugelassenes Düngemittel gemäß DüMV und kann neben dem Einsatz im eigenen Betrieb (als mineralischer Dünger oder als Beimischung zum flüssigen Gärprodukt) extern vermarktet werden (vgl. Wilken et al. 2018). Auch der erzeugte karbonatische Kalk ist ein zugelassenes Düngemittel. Den Betreiberinnen und Betreibern einer Anlage zur Gärrestverwertung stehen somit gegenüber den unbehandelten Gärresten grundsätzlich mehr Vermarktungswege offen.

Bei der Analyse der regionalökonomischen Effekte wurde ein Verkauf der erzeugten Düngemittel angenommen und Erlöse in Höhe des durchschnittlichen Marktpreises im Jahr 2016 angesetzt. Die

**Preise für die Produkte** ASL und Düngekalk wurden anhand der durchschnittlichen Düngemittelpreise für Stickstoff und Kalk im Jahr 2016 ermittelt. Diese betragen 842 Euro/t für Stickstoff und 101 Euro/t für CaO (BMEL 2017). Mit einem CaO-Gehalt von 32 Prozent im produzierten Kalkdünger und einem  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt von 5,3 Prozent in der ASL lassen sich daraus Preise von 32,3 Euro/t Kalkdünger und 44,2 Euro/t ASL ableiten. Durchschnittliche Preise für feste und gestrippte Gärreste (Gärrestfasern) lagen zum Zeitpunkt der Durchführung des Vorhabens noch nicht vor, da sich der Einsatz von Gärrestfasern in der Herstellung von Holzersatzwerkstoffen noch im Pilotstadium befindet. Für die Herstellung von Holzwerkstoffen in Deutschland werden überwiegend Industrieholz (47 Prozent) und Sägenebenprodukte (39 Prozent) eingesetzt. Gebraucht- und Altholz macht einen Anteil von 12 Prozent an den eingesetzten Rohstoffen aus (Döring et al. 2017). Sollen die Gärrestfasern in der Holzwerkstoffindustrie eingesetzt werden, muss das Preisniveau somit im Bereich der zu substituierenden Rohstoffe liegen. Den Angaben des Betreibers der Pilotanlage zufolge, liegt die Preisspanne für den Verkauf der Gärrestfasern zwischen 50 bis 100 Euro/ $t_{\text{atro}}$ . Eine Auswertung des EUWID-Preisspiegel für Sägereestholz in Deutschland bestätigt diese Preisspanne für das Jahr 2016 (EUWID 2017a; EUWID 2017b).<sup>6</sup> Der erzielbare Erlös für die Gärrestfasern ist damit in hohem Maße abhängig von den Preisentwicklungen auf dem Markt für Recyclingholz. Um diese Preisspanne bei der Analyse regionalökonomischer Effekte berücksichtigen zu können, wurden bei der Betreiber-gesellschaft der Gärrestaufbereitungsanlage drei Varianten im Modell abgebildet:

- Variante 1 (V1): Erlös von 50 Euro/ $t_{\text{atro}}$  Gärrestfasern
- Variante 2 (V2): Erlös von 75 Euro/ $t_{\text{atro}}$  Gärrestfasern
- Variante 3 (V3): Erlös von 100 Euro/ $t_{\text{atro}}$  Gärrestfasern.

Die **Ermittlung der Unternehmensgewinne, der Einkommen und Beschäftigung, als auch der gezahlten Steuern** entlang der Wertschöpfungskette erfolgt nach der in Abschnitt 4.1.50 und 9.1 beschriebenen Methodik. Die Berechnung der nachfolgend dargestellten spezifischen Effekte wurde mit einer für Deutschland und das Basisjahr 2016 angepassten Version des WeBEE-Modells durchgeführt.

### **Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte**

Die nachfolgende Tabelle zeigt die einmaligen Effekte durch die Herstellung von Anlagenkomponenten, die Errichtung baulicher Anlagen sowie die Planung und Installation bei der derzeitigen Auslegung der Anlage zur Gärrestverwertung („Base Case“).

Bei der Herstellung von Anlagenkomponenten, der Errichtung von baulichen Anlagen und der Planung und Installation der Anlage handelt es sich um einmalige Effekte, die zu Beginn der Anlagenlebensdauer anfallen. Das bedeutet, dass sowohl die Wertschöpfungs- als auch die Beschäftigungseffekte nur im Jahr der Installation generiert werden. Die Stufen des Anlagenbetriebs und der Betreibergewinne umfassen dagegen Effekte, die jährlich über die gesamte Anlagenlaufzeit entste-

<sup>6</sup> Bezogen auf Hackschnitzel ohne Rinde mit Annahme eines Wassergehalts der Hackschnitzel von 15 Prozent.

hen. Diese können grundsätzlich über die Laufzeit der Anlage aufsummiert werden; die kumulierten Ergebnisse ergeben zusammen mit den einmaligen Effekten zu Beginn der Lebensdauer dann die vollständigen Effekte der Anlage über die gesamte Laufzeit.<sup>7</sup>

**Tab. 4.5: Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Anlage zur Gärrestaufbereitung nach Wertschöpfungsbestandteilen – einmalige Effekte „Base Case“**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW; Erläuterung: Jahresproduktionsmenge „Base Case“: 1.080  $t_{atro}$  Gärrestfasern; angegeben sind spezifische Ergebnisse in Euro pro  $t_{atro}$  Gärrestfasern

Wertschöpfungsschritt	Nach-Steuer-Gewinne	Netto-Einkommen	Steuern an die Kommunen	WS Kommunale Ebene	WS Länder-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäftigungseffekte
	[Euro/ $t_{atro}$ ]						[VZÄ/ $t_{atro}$ ]
<b>Wertschöpfungsstufe Anlagenherstellung</b>							
technische Anlagen	76,7	267,7	27,3	371,7	418,7	629,6	0,007646
bauliche Anlagen	5,7	24,7	2,0	32,5	35,7	54,4	0,000896
<b>Wertschöpfungsstufe Planung und Installation</b>							
Planung	6,4	23,8	2,2	32,5	36,3	54,9	0,000715
Installation	6,4	14,6	1,8	22,8	25,4	37,0	0,000436

Wie die spezifischen Ergebnisse in Tab. 4.5 zeigen, fallen die höchsten Wertschöpfungseffekte in der Wertschöpfungsstufe der Anlagenherstellung an. Dies ist durch die hohe Anfangsinvestition, insbesondere in die Anlagentechnik, begründet. Denn mit der Wertschöpfung wird auch der Preis eines Gutes unter Berücksichtigung sämtlicher Kosten ausgedrückt, so dass grob gesagt mit hohen Kosten auch hohe Wertschöpfungseffekte verbunden sind. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Beschäftigungseffekten: die Herstellung von Anlagenkomponenten ist vergleichsweise beschäftigungsintensiv, so dass auch hier die höchsten Werte bei der Stufe der Anlagenherstellung zu verzeichnen sind. Wie oben beschrieben, treten die Effekte durch die Anlagenherstellung jedoch nur einmalig vor der Inbetriebnahme der Anlage auf und sind zudem oftmals regional nicht relevant, da die Hersteller der Anlagentechnik auf wenige Standorte begrenzt und in den meisten Fällen nicht in der Region ansässig sind, in der die Anlage errichtet wird.

<sup>7</sup> Zu beachten ist dabei, dass eine Diskontierung der jährlichen Effekte über die Anlagenlaufzeit zur Inflationsbereinigung vorgenommen werden muss.

**Tab. 4.6: Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Anlage zur Gärrestauffbereitung nach Wertschöpfungsbestandteilen – jährliche Effekte „Base Case“**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW; Erläuterung: Jahresproduktionsmenge „Base Case“: 1.080 t<sub>atro</sub> Gärrestfasern; angegeben sind spezifische Ergebnisse in Euro pro t<sub>atro</sub> Gärrestfasern

Wertschöpfungs-schritt	Nach-Steuer-Ge-winne	Netto-Ein-kom-men	Steuern an die Kommu-nen	WS Kom-munale Ebene	WS Länder-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäfti-gungs-effekte
	[Euro/t <sub>atro</sub> *Jahr]						[VZÄ/ t <sub>atro</sub> *Jahr)
<b>Wertschöpfungsstufe Anlagenbetrieb und -wartung</b>							
Strombedarf	1,9	1,6	0,4	3,9	4,4	5,8	0,000040
REA-Gips	0,5	2,0	0,2	2,6	2,9	4,4	0,000069
Wartung und Instandhaltung	2,3	5,3	0,7	8,3	9,3	13,5	0,000158
Produktion Ersatzmaterial	0,6	1,9	0,2	2,7	3,0	4,5	0,000056
Personal (Be-dienung und Verwaltung)	0,0	8,8	0,3	9,1	10,0	16,2	0,000343
Versicherung	0,4	0,5	0,1	1,1	1,3	1,9	0,000014
Fremdkapital-finanzierung	1,6	0,1	0,3	1,9	2,0	2,2	0,000002
<b>Wertschöpfungsstufe Betreiber-gewinne</b>							
Betreiber-ge-winne	-	-	-	-	-	-	-

Mit Blick auf die Wertschöpfungsstufe Anlagenbetrieb und Wartung haben die Positionen Personal für den Anlagenbetrieb und die Verwaltung sowie der Personalanteil der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten die größten Anteile an der Wertschöpfung und auch der Beschäftigung. Während das Betriebspersonal aller Vorransicht nach vor Ort ansässig ist und die Effekte demnach am Anlagenstandort zu verorten sind, ist dies bei den anderen Positionen nicht so eindeutig regional zuzuordnen. Fallen die Umsätze bei Unternehmen mit Sitz außerhalb der Region des Anlagenstandortes an, so sind diese regional nicht relevant, da die Wertschöpfung aus der Region abfließt und die Beschäftigten nicht dem Anlagenstandort zuzurechnen sind. Bei der Beschäftigung fallen die spezifischen Effekte auf der Stufe Anlagenbetrieb und Wartung zwar deutlich geringer aus als bei der Anlagenproduktion. Wie oben erwähnt, gilt es hier jedoch zu beachten, dass es sich um jährliche Effekte handelt, die eine Beschäftigung über die Anlagenlaufzeit hinweg sicherstellen.

Voraussetzung für die Generierung von Wertschöpfung ist allerdings ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage. Dieser ist bei der derzeitigen Auslegung der Anlage zur Gärrestverwertung und ausschließlicher Betrachtung der Faserproduktion noch nicht gegeben (siehe Abschnitt 4.2.4). Dies schließt nicht aus, dass für das Gesamtsystem (Biogasanlage und Gärrestaufbereitung) ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Denn zwischen der Biogasanlage und der Gärrestaufbereitung gibt es positive Wechselwirkungen. So kann beispielsweise durch die Strippung ein höherer Anteil stickstoffreicher Substrate eingesetzt werden, die – wie im Beispiel von Hühnermist – mit geringeren Substratkosten verbunden sind. Auch hat die Strippung eine Aufwertung des Fermenterinhalt und damit eine leicht höhere Methanausbeute zur Folge. Zudem sinkt durch die Abtrennung der Gärrestfasern der Faseranteil im Fermenter, was mit einer Reduktion des Strombedarfs und folglich auch der Stromkosten für die Rührwerke einhergeht. Aus Sicht des Systems der Aufbereitung und der derzeitigen Auslegung der Anlage ist noch keine Wirtschaftlichkeit der Faserproduktion gegeben. Aus diesem Grund sind in Tab. 4.6 keine Effekte auf der Wertschöpfungsstufe Betreibergewinne ausgewiesen. Für die Effekte im Anlagenbetrieb gilt einschränkend, dass ein Betrieb der Anlage zur Gärrestaufbereitung zwar mit Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten verbunden sein kann, beispielsweise durch das erforderliche Personal für den Betrieb und die Verwaltung der Anlage. Ist jedoch keine Wirtschaftlichkeit gegeben und der Anlagebetrieb mit Verlusten für die Betreibergesellschaft verbunden, sind die regionalökonomischen Effekte durch den Anlagenbetrieb lediglich über einen kurzen Zeitraum vorstellbar, da mittel- bis langfristig mit der derzeitigen Auslastung noch keine wirtschaftliche Tragfähigkeit der Faserproduktion gegeben ist.

Zentral für die Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs ist die Faserproduktionsmenge. Mit „Ausbeute+“ wurde ein Szenario betrachtet, bei der eine höhere Ausbeute bei der Faserproduktion auf 6.000  $t_{atro}$  Gärrestfasern erreicht wird. Die spezifischen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte pro  $t_{atro}$  produzierter Gärrestfasern sind in Tab. 4.7 und Tab. 4.8 dargestellt.

**Tab. 4.7: Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Anlage zur Gärrestaufbereitung nach Wertschöpfungsbestandteilen – einmalige Effekte „Ausbeute+“**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW; Erläuterung: Jahresproduktionsmenge „Ausbeute+“: 6.00  $t_{atro}$  Gärrestfasern; angegeben sind spezifische Ergebnisse in Euro pro  $t_{atro}$  Gärrestfasern

Wertschöpfungs-schritt	Nach-Steuer-Ge-winne	Netto-Ein-kom-men	Steuern an die Kommu-nen	WS Kom-munale Ebene	WS Länd-er-e-bene	WS Bundes-e-bene	Beschäfti-gungs-effekte
	[Euro/ $t_{atro}$ ]						[VZÄ/ $t_{atro}$ ]
<b>Wertschöpfungsstufe Anlagenherstellung</b>							
technische Anlagen	15,43	53,88	5,49	74,79	84,26	126,69	0,001538
bauliche Anlagen	1,03	4,45	0,36	5,84	6,43	9,79	0,000161
<b>Wertschöpfungsstufe Planung und Installation</b>							
Planung	1,16	4,29	0,40	5,85	6,54	9,88	0,000129
Installation	1,16	2,62	0,33	4,11	4,58	6,67	0,000078

**Tab. 4.8: Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Anlage zur Gärrestaufbereitung nach Wertschöpfungsbestandteilen – jährliche Effekte „Ausbeute+“**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW; Erläuterung: Jahresproduktionsmenge „Ausbeute+“: 6.000 t<sub>atro</sub> Gärrestfasern; angegeben sind spezifische Ergebnisse in Euro pro t<sub>atro</sub> Gärrestfasern

Wertschöpfungs-schritt	Nach-Steuer-Ge-winne	Netto-Ein-kom-men	Steuern an die Kommu-nen	WS Kom-munale Ebene	WS Län-der-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäfti-gungs-effekte
	[Euro/t <sub>atro</sub> *Jahr]						[VZÄ/ t <sub>atro</sub> *Jahr)
<b>Wertschöpfungsstufe Anlagenbetrieb und -wartung</b>							
Strombedarf	0,53	0,44	0,12	1,09	1,23	1,64	0,0000112
REA-Gips	0,15	0,61	0,05	0,82	0,91	1,38	0,0000215
Wartung und Instandhaltung	0,47	1,06	0,13	1,67	1,86	2,70	0,0000318
Produktion Ersatzmaterial	0,11	0,39	0,04	0,54	0,61	0,91	0,0000112
Personal (Be-dienung und Verwaltung)	0,00	13,57	0,46	14,04	15,35	24,97	0,0005279
Versicherung	0,08	0,11	0,03	0,22	0,26	0,38	0,0000027
Fremdkapital-finanzierung	0,31	0,02	0,05	0,38	0,41	0,44	0,0000005
<b>Wertschöpfungsstufe Betreibergewinne</b>							
Betreiberge-winne – V1	1,59	0,00	0,01	1,60	1,74	1,89	-
Betreiberge-winne – V2	19,47	0,00	2,97	22,44	24,70	26,85	-
Betreiberge-winne – V3	37,25	0,00	6,01	43,26	47,66	51,81	-

Bei der Betrachtung der spezifischen Ergebnisse in Tab. 4.7 und Tab. 4.8 ergibt sich bzgl. der Wertschöpfungsstufen Anlagenherstellung, Planung und Installation sowie Anlagenbetrieb und -wartung ein ähnliches Bild wie im „Base Case“. Mit den Annahmen im Szenario „Ausbeute+“ ist ein wirtschaftlicher Anlagenbetrieb der Faserproduktion gegeben. Tab. 4.8 zeigt die spezifischen Wertschöpfungseffekte auf der Stufe Betreibergewinne für die drei verschiedenen Erlösvarianten bei den Gärrestfasern (V1: Erlös von 50 Euro/t<sub>atro</sub> Gärrestfasern; V2: Erlös von 75 Euro/t<sub>atro</sub> Gärrestfasern; V3: Erlös von 100 Euro/t<sub>atro</sub> Gärrestfasern). Beschäftigungseffekte fallen in dieser Stufe per Definition nicht an, so dass hier keine Nettoeinkommen sowie damit verbunden auch keine VZÄ und ausgewiesen werden.

## 4.3 Wertschöpfungskette Herstellung von Papier und Kartonagen aus Gras

Die Idee, höherwertige Stoffe aus Gras zu extrahieren und hieraus neue Produkte zu entwickeln, wird bereits seit vielen Jahren von zahlreichen Akteuren, vor allem aus der öffentlichen Forschung, zunehmend aber auch von Wirtschaftsunternehmen verfolgt. Die Erfolge einer Markteinführung hingegen sind aus verschiedenen Gründen bislang überschaubar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass frühe Ansätze in Forschung und Entwicklung stark in Richtung einer ganzheitlichen Nutzung möglichst aller wertgebenden Inhaltsstoffe aus dem Gras gingen, was eine große Fülle an Fragen und Herausforderungen auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der entwickelten Konzepte mit sich brachte. Aktuelle Arbeiten, gerade von Unternehmen stellen sehr stark die Entwicklung einzelner Teilverfahren für die rasche Gewinnung marktreifer Produkte in den Vordergrund.

Im Zuge der Technologie- und Infrastrukturanalysen wurden zahlreiche Forscher, Entwickler und Unternehmer befragt sowie drei Praxisstandorte in den Niederlanden, in Tschechien und Deutschland sowie zwei Technikumsanlagen besichtigt. Angesichts der sehr unterschiedlichen technischen Reife und Datenverfügbarkeit wurde letztlich eine Technologie zur Herstellung von Papier aus Gras für die vertiefende Betrachtung ausgewählt.

Die Wertschöpfungskette umfasst insgesamt:

- die landwirtschaftliche Erzeugung und Bereitstellung von Heu aus Dauergrünland oder Ackergrasanbau,
- die Verarbeitung von Heu zu Grasfaserpellets,
- die Weiterverarbeitung zu verschiedenen Papierprodukten,
- eventuelle Weiterverarbeiter der erzeugten Papierprodukte sowie
- Handel, Endkunden und Entsorgungs- beziehungsweise Recyclingwirtschaft.

Wie auch bei der Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung zu höherwertigen Düngemitteln und Fasern für Holzersatzwerkstoffe, unterscheiden sich die die Systemgrenzen der ökologischen und ökonomischen Analyse und sind für die hier betrachtete Wertschöpfungskette wie folgt:

- ökologische Bewertung: Cradle-to-Gate-Ansatz, d. h. von der Bereitstellung des Grasses bis zur Graspelletierung inkl. aller Transporte bis zur Papierfabrik (siehe Abschnitt 4.3.2)
- betriebswirtschaftliche Analyse: Graspelletierung (siehe Abschnitt 4.3.3)
- (regional-)ökonomische Analyse: Grasbereitstellung und Verarbeitung von Heu zu Grasfaserpellets (siehe Abschnitt 4.3.4).

Im Jahr 2016 wurde eine Fläche von rund 4,7 Mio. Hektar in Deutschland als **Dauergrünland** bewirtschaftet. Bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche insgesamt entspricht das einem Anteil von 28,2 Prozent (Statistisches Bundesamt 2018, 490). Bayern ist mit rund 1 Mio. Hektar Dauergrünland das Bundesland mit den meisten Grünlandflächen. Auch Niedersachsen und Baden-Württemberg haben mit 691 Tsd. Hektar beziehungsweise 545 Tsd. Hektar vergleichsweise viele Grünlandflächen (Statistisches Bundesamt 2019a). Die Fläche ökologisch bewirtschafteten Dauergrünlandes lag im Jahr 2016 bei 639 Tsd. Hektar beziehungsweise knapp 14 Prozent der Grünlandfläche in Deutschland. Der höchste Anteil an ökologisch bewirtschaftetem Grünland ist in Mecklenburg-Vorpommern zu finden (ibid.).

### 4.3.1 Technologie-, Infrastruktur- und Stoffstromanalyse

Der Technologieentwickler verfolgt den Ansatz aus trockenem Heu einen Rohstoff für die Papierindustrie herzustellen und damit Zellstoff aus Holz, aber auch Altpapier, zu ersetzen. In einer rein mechanischen Aufbereitung wird das Heu zu Faserpellets verarbeitet, die als Grundstoff für die Papierherstellung dienen. Eine erste eigene Pilotanlage des Herstellers befand sich während der Projektlaufzeit in Planung, so dass nicht auf Daten aus dem laufenden Anlagenbetrieb zurückgegriffen werden konnte.

Eine nähere Beschreibung des Aufbereitungsprozesses für Heu zu Grasfaserpellets in Ermangelung anderer Datenquellen wird nachfolgend analog zu Cruse et al. (2015) wiedergegeben.

Der Bezug von Heu aus der Landwirtschaft erfolgt sinnvollerweise in Ballenform, wobei eine Vorlagerung dezentral beim Landwirt oder auch zentral an der Anlage erfolgen kann. Dabei ist sicherzustellen, dass der Feuchtigkeitsgehalt im Heu nicht zu hoch ist, um akzeptable Lagerungs- und Verarbeitungsbedingungen zu gewährleisten. Im ersten Schritt ist ein Auflösen des Ballens notwendig, was über gängige Ballenauflöser, die auch in der Tierhaltung eingesetzt werden, erfolgen kann. Über einen Störstoffabscheider werden unerwünschte Fremdstoffe wie Metall- und Kunststoffteile sowie Steine und Erde entfernt. Die Behandlung in einem Zyklon stellt darüber hinaus die Abscheidung weiterer, feiner Verunreinigungen sicher. Über mehrere, unterschiedliche Mahl- und Siebverfahren wird das gereinigte Material zerkleinert und konfektioniert. Dabei kann die Qualität der gewonnenen Fasern in Abhängigkeit von der angestrebten Verwendung beeinflusst werden. Durch eine mehrfache Siebung oder Windsichtung werden überdies störende Wachstumsknoten aus dem Gras entfernt und eine Fraktionierung in unterschiedliche Korngrößenzusammensetzungen ermöglicht. Um die gewonnenen Fasern lager- und transportfähig zu machen erfolgt anschließend eine Pelletierung unter Zusatz von Wasser. Ziel hierbei ist die Herstellung von Pellets, die über günstige Transport- und Lagereigenschaften verfügen, sich aber auch beim Einsatz in der Papierindustrie leicht wieder auflösen. Die fertigen Pellets können abschließend abhängig von der Logistik und Zuführung zur weiteren Verwertung in der Papierindustrie abgefüllt, gelagert und ausgeliefert werden.

### 4.3.2 Ökobilanzielle Betrachtungen

Das Vorgehen zur Erstellung der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung und die Ergebnisse der LCA zu den Grasfaserpellets werden an dieser Stelle zusammenfassend dargestellt, eine ausführliche Beschreibung findet sich in Dunkelberg und Bluhm (2019).

Ziel der Ökobilanzierung ist es, die Umweltwirkungen von Grasfaserpellets zu ermitteln und denen von marktüblichen Sulfatfasern gegenüberzustellen. Der Fokus lag auf der Untersuchung verschiedener Grasanbausysteme. Die funktionelle Einheit ist 1 t Faserrohstoff (Frischmasse) zur Verwendung in der Papier- und Kartonagenherstellung. Die Sachbilanz erstreckt sich von der Bereitstellung des Grasses bis zur Graspelletierung (inkl. aller Transporte bis zur Papierfabrik). Die biogene CO<sub>2</sub>-Bilanz über den gesamten Lebenszyklus wird als neutral angenommen (Aufnahme während des Anbaus entspricht Abgabe am Lebenszyklusende).

Gras kann über unterschiedliche Anbausysteme mit variierender Bewirtschaftungsintensität produziert werden. Um den Einfluss des Anbausystems zu untersuchen, wurden drei Szenarien für den Grasanbau unterschieden. Das Szenario „**Base Case / kbA gedüngt**“ nimmt einen kontrolliert biologischen Grasanbau mit organischer Düngung an. Das Szenario „**konventionell**“ untersucht die Auswirkungen eines konventionellen Grasanbaus mit mineralischer und organischer Düngung. Das

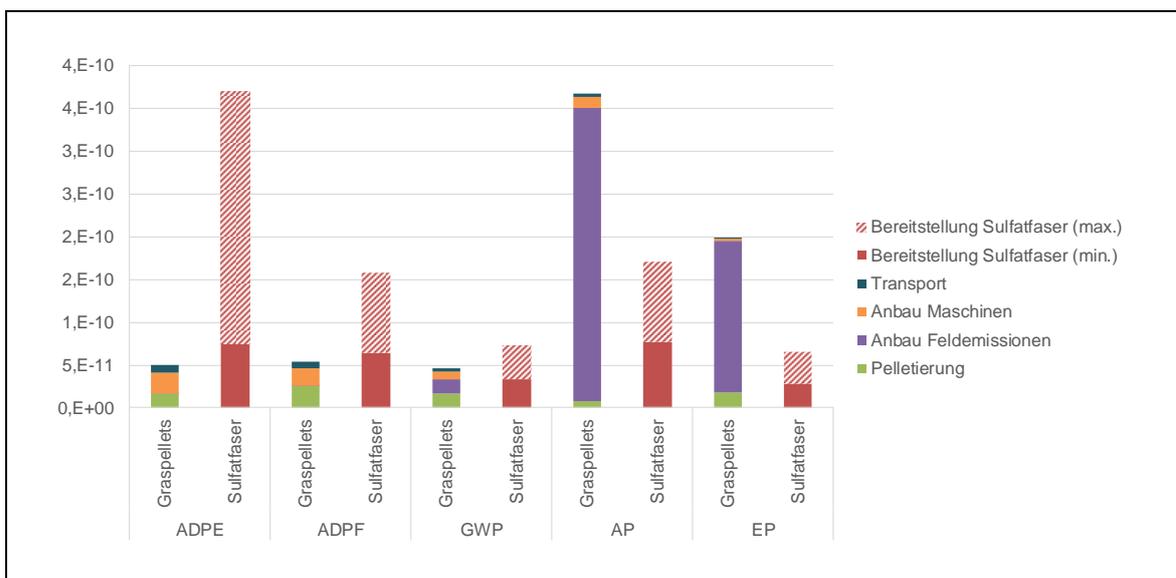
Szenario „**kbA ungedüngt**“ geht von einem biologischen Grasanbau ohne Düngung aus. Für die Prozessabschnitte Pelletierung und Transport wurden in allen Szenarien die gleichen Daten und Annahmen verwendet.

Die verwendeten Sachbilanzdaten stammen aus mehreren Quellen. Die Inputdaten zur Grasbereitstellung basieren auf Planungsdaten der „Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau“ der KTBL (2018) und einem Ecoinvent 3.4 Datensatz zum kontrolliert ökologischen Grasanbau ohne Düngereinsatz. Informationen zur Graspelletierung und zu Transportentfernungen basieren auf einer bestehenden Studie (siehe Terlau et al. 2017) und öffentlich verfügbaren Angaben eines Herstellers. Weitere Daten wurden auf Basis einer Literaturlauswertung ergänzt. Bei der Auswahl der Sekundärquellen wurde auf eine möglichst hohe Aktualität der Daten geachtet. Der deutsche Strommix wurde für das Jahr 2016 abgebildet und in SimaPro auf Grundlage der vorhandenen Datensätze aus Ecoinvent zu den einzelnen Technologien modelliert. Bei der Berechnung der Feldemissionen gemäß den Methoden und Formeln nach Nemecek und Schnetzer (2012) kommen Standardemissionsfaktoren zum Einsatz, die zwar die Genauigkeit der Ergebnisse einschränken, aber dem Stand der Wissenschaft entsprechen und zur Vergleichbarkeit mit anderen Studien beitragen.

Grasfasern können aufgrund von Verknappungen der herkömmlichen Papierrohstoffe (Cruse et al. 2015, 90) und technischer Grenzen des Altpapierensatzes (Friedrich und Kappen 2012) eine interessante Alternative zu herkömmlichen Papierrohstoffen sein. Die grundsätzliche Einsatzfähigkeit von Grasfasern als Ersatz von Papierrohstoffen sowie die Recyclingfähigkeit wurde bereits technisch nachgewiesen (Cruse et al. 2015; Seidemann und Dietz 2014). Ebenfalls wurde gezeigt, dass die Festigkeitswerte von Papieren mit Grasanteilen „mit klassischen Zellstoffen konkurrieren können“ (Dietz et al. 2014). Grasfasern können prinzipiell Altpapier, Zellstoff und Holzschliff anteilig ersetzen (Cruse et al. 2015, 93). Die Produktion von Papieren und Kartonagen mit einem Grasanteil von 10 bis 50 Prozent wurde bereits realisiert (Praxisakteur 2018). Unterschiede in der Verarbeitung ergeben sich vor allem durch eine erhöhte Belastung mit organischen Stoffen der Abwässer (CSB-Belastung) in der Papierproduktion (Cruse et al. 2015, S. 36 f.). Der Belastung kann durch eine angeschlossene Biogasanlage und Fermentation der wasserlöslichen Bestandteile begegnet werden (Dietz et al. 2015).

Der wichtigste eingesetzte Primärzellstoff zur Herstellung von Papier, Karton- und Pappenproduktion war im Jahr 2017 Sulfatzellstoff mit einer Menge von 3,9 Mio. t und einem Anteil von 85 Prozent am eingesetzten Primärzellstoff. Darüber hinaus wurden vor allem Altpapier (17,1 Mio. t) und Holzstoff (1,0 Mio. t) in Deutschland eingesetzt (VDP 2018). Analog zu Terlau et al. (2017) wird für den ökologischen Vergleich von Grasfaserpellets Sulfatzellstoff ausgewählt, der sowohl in gebleichter als auch ungebleichter (bräunlicher) Form zum Einsatz kommen kann. Somit sind Papierrohstoffe wie andere Zellstoffe (z. B. Sulfitfasern), Holzschliff, Halbzellstoff und Altpapier nicht Teil des Produktvergleiches. Bis auf Altpapier haben diese Rohstoffe eine geringere Marktrelevanz als Sulfatfasern und sind nach einer Abschätzung auf Basis der Ecoinvent 3.5 Datenbank mit höheren Umweltbelastungen in allen hier untersuchten Wirkungskategorien verbunden. Bei Altpapier ist ebenfalls von höheren Wirkungen gegenüber der ungebleichten Sulfatfaser auszugehen. Daher bietet die Sulfatfaser einen geeigneten Benchmark für die Frage, ob der Einsatz von Grasfaserpellets als Drop-in-Lösung für Rohstoffe in der Papier- und Pappenindustrie ökologisch vorteilhaft sein kann.

Die **Ergebnisse nach Normierung** zeigen, dass die Wirkungskategorien ADPE, ADPF, GWP sowie AP und EP bei Grasfaserpellets vergleichsweise hohe Werte aufweisen (siehe Abb. 4.3) und demnach einer besonderen Beachtung bedürfen. Welche Prozesse jeweils zu hohen Werten beitragen, unterscheidet sich zwischen den Wirkungskategorien. Die Feldemissionen aus dem Anbau verursachen vergleichsweise hohe Wirkungen beim GWP (37 Prozent), AP (93 Prozent) und EP (89 Prozent). Die Maschinennutzung im Anbau ist durch hohe Anteile beim ADPE (49 Prozent) und ADPF (37 Prozent) gekennzeichnet. Die Pelletierung fällt durch relativ hohe Anteile beim ADPE (33 Prozent), ADPF (48 Prozent) und GWP (35 Prozent) auf. Die Transporte verursachen in allen Kategorien Wirkungen von 17 Prozent (ADPE) oder weniger. Die Diskussion zu ökologischen Verbesserungspotenzialen des Produktes Grasfaserpellets konzentriert sich daher vor allem auf den Anbau (Feldemissionen und Maschinennutzung) und die Pelletierung.



**Abb. 4.3: Normierte Emissionen und Aufwendungen von Grasfaserpellets (1 t FM Base Case Szenario) im Vergleich zu Sulfatfasern**

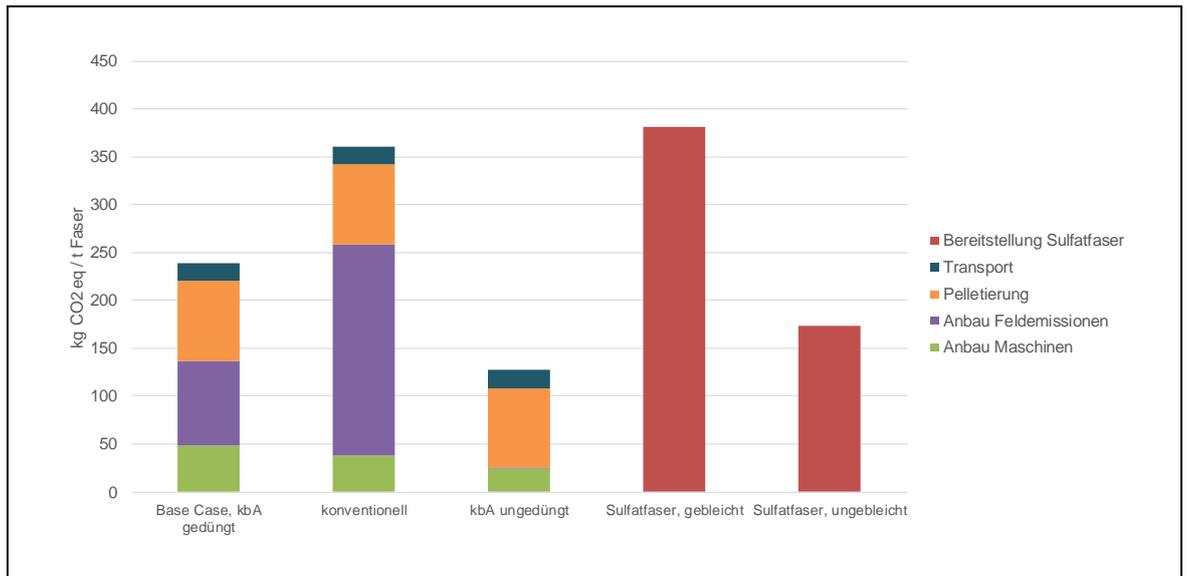
Quelle: Normierung bezogen auf Emissionen im Bezugsraum EU 25+3 für das Jahr 2000; Eigene Berechnung und Darstellung IÖW; Inputdaten s. Dunkelberg und Bluhm (2019)

Erläuterung: Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe, ADPF), Verknappung von abiotischen Ressourcen (nicht-fossile Stoffe, ADPE), Versauerung von Boden und Wasser (AP), globale Erwärmung (GWP), Eutrophierung (EP)

Das **Treibhauspotenzial** von Grasfaserpellets beträgt im Base Case 240 kg CO<sub>2eq</sub>/t Faser (siehe Abb. 4.4). Die Szenarien „konventionell“ und „kbA ungedüngt“ führen zu Emissionen in Höhe von 361 und 127 kg CO<sub>2eq</sub>. Der Großteil der Treibhausgasemissionen geht beim Base Case auf die Feldemissionen während des Anbaus (89 kg CO<sub>2eq</sub>) und die Pelletierung (84 kg CO<sub>2eq</sub>) zurück. Die Emissionen aus Maschinennutzung und Transporte betragen 48 und 19 kg CO<sub>2eq</sub>. Die Emissionen teilen sich im Base Case vor allem auf Kohlenstoffdioxid (144 kg CO<sub>2eq</sub>) und Lachgas (89 kg CO<sub>2eq</sub>) auf.

Das Treibhauspotenzial der drei Szenarien für die Grasfaserpellets verbleibt unter den Werten der gebleichten Sulfatfaser (381 kg CO<sub>2eq</sub>). Gegenüber der ungebleichten Sulfatfaser (173 kg CO<sub>2eq</sub>) führen der Base Case und das Szenario „konventionell“ zu höheren Werten. Nur das Szenario „kbA ungedüngt“ erzielt geringere Emissionen gegenüber der ungebleichten Referenzfaser. Somit

bestehen bei den beiden Szenarien mit kontrolliert biologischem Anbau ökologische Vorteile gegenüber der gebleichten Sulfatfaser. Unter Berücksichtigung der Datenunsicherheiten lässt das tendenziell niedrigere Treibhauspotenzial jedoch keine robuste Aussage zur Vorteilhaftigkeit zu. Gegenüber der ungebleichten Sulfatfaser liegen die Werte der Grasfaserpellets abhängig vom Anbausystem niedriger oder höher. Der Wert des Base Case liegt über dem Treibhauspotenzial des Referenzproduktes, der Wert des Szenarios „kbA ungedüngt“ leicht darunter. Demnach wäre aus ökologischer Sicht vor allem die Substitution von gebleichten Sulfatfasern durch Grasfaserpellets von (insbesondere ungedüngten) Flächen mit kontrolliert biologischem Anbau zu präferieren.



**Abb. 4.4: Treibhauspotenzial von Grasfaserpellets und Sulfatfasern**

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung IÖW; Inputdaten s. Dunkelberg und Bluhm (2019)

Das **Versauerungspotenzial** von Grasfaserpellets beträgt im Base Case 6,2 kg SO<sub>2eq</sub>/t Faser. Die Werte der Szenarien „konventionell“ und „kbA ungedüngt“ belaufen sich auf 5,1 kg SO<sub>2eq</sub> und 0,3 kg SO<sub>2eq</sub>. Ammoniakemissionen (5,7 kg SO<sub>2eq</sub>) dominieren dabei das Gesamtergebnis des Base Cases. Grund für das insgesamt geringere Versauerungspotenzial beim konventionellen Grassanbau im Vergleich zum Base Case ist, dass mineralische Dünger und dafür geringere Mengen an organischen Düngern eingesetzt werden. Für die mineralischen Dünger gelten niedrigere Standardemissionsfaktoren, die bei gleicher N-Menge zu geringeren Ammoniakemissionen führen. Im Verhältnis zum Base Case fallen die Werte der gebleichten Sulfatfaser (2,9 kg SO<sub>2eq</sub>) und der ungebleichten Sulfatfaser (1,3 kg SO<sub>2eq</sub>) deutlich geringer aus. Lediglich im Szenario „kbA ungedüngt“ ist gegenüber den Referenzprodukten von geringeren Umweltbelastungen auszugehen.

Das Versauerungspotenzial ist wesentlich von der Düngerart und im Fall der organischen Düngung von der Ausbringtechnik abhängig. Die Ergebnisse zum Versauerungspotenzial verdeutlichen den strukturellen Unterschied von Anbaubiomasse von landwirtschaftlichen gedüngten Flächen im Vergleich zu forstwirtschaftlichen Flächen. Durch einen Verzicht auf Düngung können für das Versauerungspotenzial relevante Emissionen in größeren Mengen vermieden und ein eindeutiger ökologischer Vorteil von Grasfasern gegenüber beiden Sulfatfasertypen erzielt werden.

Das **Eutrophierungspotenzial** von Graspellets beläuft sich im Base Case auf 3,7 kg  $\text{PO}_4^{3-\text{eq}}$  pro t Faser. In den Szenarien „konventionell“ und „kbA gedüngt“ liegt es mit 3,2 und 0,4 kg  $\text{PO}_4^{3-\text{eq}}$  darunter. Der überwiegende Anteil des Eutrophierungspotenzials stammt im Base Case und im Szenario „konventionell“ aus den Feldemissionen des Anbaus. Die wesentlichen Stoffe, die zur Eutrophierung beitragen, sind Nitratemissionen ins Wasser und Ammoniakemissionen in die Luft. Die Referenzprodukte weisen mit 1,2 kg  $\text{PO}_4^{3-\text{eq}}$  (gebleicht) und 0,5 kg  $\text{PO}_4^{3-\text{eq}}$  (ungebleicht) geringere Werte beim Eutrophierungspotenzial auf als der Base Case und das Szenario „konventionell“ und deutlich höhere Werte als das Szenario „kbA ungedüngt“. Um für das Eutrophierungspotenzial relevante Emissionen zu vermeiden und eine ökologische Vorteilhaftigkeit von Graspellets zu erzielen, ist auf Düngung beim Grasanbau möglichst zu verzichten.

Unter Berücksichtigung der Masseverluste während der Pelletierung ergibt sich ein **Flächenbedarf** von 0,13 ha/t Faser im Base Case. Entsprechend der Hektarerträge liegt der Flächenbedarf des Szenarios „konventionell“ (0,11 ha/t Faser) unter dem Base Case und der des Szenarios „kbA ungedüngt“ (0,27 ha/t Faser) darüber. Wellenreuther (2013) gibt für einen undefinierten Primärzellsstoff eine Naturraumbeanspruchung zwischen 0,6 und 0,7 ha/t Faser an. Diesen Werten nach gehen die Graspellets mit einem geringeren Flächenbedarf einher. Nach Planung eines Herstellers soll zudem der Rohstoff Gras von Ausgleichsflächen oder von aus der Nutzung fallenden Flächen der Milchviehhaltung bereitgestellt werden (CREAPAPER GmbH 2018; GLS Crowdfunding GmbH 2018), sodass keine zusätzlichen landwirtschaftlichen Flächen erforderlich werden.

In der Summe zeigt die Wirkungsabschätzung, dass mit der Verwendung von Graspellets szenarien- und referenzproduktabhängig Umweltvor- oder -nachteile verbunden sein können. Beim Szenario „kbA ungedüngt“ konnten gegenüber beiden Referenzprodukten in allen betrachteten Wirkungskategorien leichte bis sehr deutliche Umweltvorteile festgestellt werden. Für die beiden Szenarien „kbA gedüngt“ und „konventionell“ sind die Ergebnisse nicht eindeutig. Insbesondere in den stark von Düngemengen beeinflussten Wirkungskategorien Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial sind bei den modellierten Ausbringzeiten und -methoden höhere Umweltbelastungen im Vergleich zu den Referenzprodukten zu erwarten. Daher ist anbauseitig eine Flächenbewirtschaftung ohne Düngung aus ökologischer Perspektive vorzuziehen und ansonsten eine Reduzierung der Düngermengen sowie Optimierung der Ausbringung zu empfehlen. Verwendungsseitig führt die Substitution von gebleichten Sulfatfasern eher zu ökologischen Vorteilen als eine Substitution von ungebleichten Sulfatfasern.

Tab. 4.9 führt über die Ergebnisdarstellung hinaus einige Ansatzpunkte zur Reduktion der Umweltwirkungen, die in Verbindung mit der Graspelletsproduktion stehen, auf.

Graspellets können zu den Zielen des Klimaschutzes und der Substitution fossiler Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe in der Papierindustrie beitragen, vor allem, wenn auf den Einsatz von mineralischen Düngemitteln verzichtet wird. Der Einsatz von Papier- und Pappenprodukten auf Graspelletbasis erscheint in solchen Bereichen vergleichsweise einfach umsetzbar, in denen die optischen Eigenschaften der Produkte keine oder eine geringe Relevanz haben (z. B. Verpackungsmaterialien, Kartonagen) oder die Verwendung von nachhaltigen Produkten auch optisch erkennbar sein soll (z. B. „grüne“ grafische Papiere).

**Tab. 4.9: Mögliche Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen von Grasfaserpellets**

Quelle: Eigene Zusammenstellung und Darstellung IÖW

Prozessabschnitt	Kritische Wirkungskategorien (Anteil >25 % an Gesamtemissionen)	Mögliche Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen
Anbau Feldemissionen	GWP, AP, EP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verzicht auf Düngung</li> <li>– Wenn organische Düngung, dann Optimierung der Gülleausbringung</li> <li>– Kalkung der Anbauflächen</li> <li>– Verzicht auf synthetische Dünger</li> </ul>
Anbau Maschinen	ADPE, ADPF	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spezifische Maschinenauswahl für den Zweck des Grasanbaus</li> <li>– Nutzung von Biokraftstoffen</li> </ul>
Pelletierung	ADPE, ADPF, GWP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Effiziente Stromnutzung</li> <li>– Nutzung von Strom aus Biogasanlage mit unmittelbarem räumlichem Bezug (z. B. von Papierfabrik)</li> <li>– Stoffliche und/oder thermische Nutzung der Reststoffe</li> </ul>
Transporte	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pelletierung in der Nähe zu den Anbauflächen und wenn möglich auf dem Gelände der weiterverarbeitenden Papierfabrik</li> <li>– Vermeidung von Leerfahrten</li> </ul>

### 4.3.3 Betriebswirtschaftliche Analyse und Identifizierung von ökonomischen Schlüsselfaktoren

Während für die zwei Wertschöpfungsketten Pflanzenfasern (Hanf) und Gärrestaufbereitung zu Düngemitteln und Fasern zentrale Kennzahlen und Kostendaten für die ökonomische Bewertung über eine Befragung von Anlagenbetreiberinnen und -betreibern gewonnen werden konnten, war dies bei der Wertschöpfungskette Herstellung von Papier und Kartonagen aus Gras nicht der Fall. Da die Herstellung von Grasfaserpellets für den Einsatz in Papierfabriken ein vergleichsweise neues Verfahren mit einem geringen Verbreitungsgrad darstellt, konnten die Daten nicht in der Detailtiefe recherchiert werden, wie sie für die ökonomische Bewertung benötigt werden.

### 4.3.4 Analyse (regional-)ökonomischer Effekte

Wie bereits in Abschnitt 4.1.5 erläutert, konzentriert sich die Analyse (regional-)ökonomischer Effekte auf die Teil-Wertschöpfungsketten, die eindeutig dem ländlichen Raum zugeordnet beziehungsweise dort angesiedelt werden können. Bei der Herstellung von Papier und Kartonagen aus Gras sind dies die zwei Teil-Wertschöpfungsketten Grasbereitstellung und die Graspelletierung.

Der Einsatz von Grasfaserpellets in der Papierfabrik liegt außerhalb der für die ökonomische Analyse definierten Systemgrenzen und wurde hier nicht bewertet.

Aus den bereits in Abschnitt 4.3.3 erläuterten Gründen erfolgte keine (regional-)ökonomische Analyse für die Graspelletierung sondern ausschließlich für die Teil-Wertschöpfungskette Grasbereitstellung. Für die Herstellung von Grasfaserpellets sind auf Basis der Erfahrung aus früheren Vorhaben und der Arbeiten in diesem Projekt dennoch qualitative Aussagen zu zentralen Wertschöpfungsschritten und zentralen Zusammenhängen möglich.

#### 4.3.4.1 Teil-Wertschöpfungskette Grasbereitstellung

Für die Teil-Wertschöpfungskette der Bereitstellung von Gras wurden **zwei Produktionsverfahren** im WeBEE-Modell abgebildet: ein Verfahren der konventionellen Grünlandbewirtschaftung und ein Verfahren mit kontrolliert biologischem Anbau (kbA). Zudem wurde mit Blick auf den Heupreis und damit die Erlöse des landwirtschaftlichen Betriebs ein Base Case („Heuerlös 132 Euro/t“) und ein **Szenario** mit einem geringeren Preis („Heuerlös 110 Euro/t“) im Modell abgebildet.

**Datenquelle** waren in beiden Fällen die Planungsdaten der „Leistungs-Kostenrechnung“ Pflanzenbau des KTBL (KTBL 2018; KTBL 2019). Die Annahmen zu durchschnittlichen Heuerträgen für die Modellierung sowie allgemeine Kosten, die für den landwirtschaftlichen Betrieb für die bewirtschaftete Fläche anfallen, sind in Tab. 9.4 im Anhang dargestellt.

Relevante **Schritte** bei der Bereitstellung von Gras sind die Anlage und Pflege der Grünlandflächen, die Ernte und der Transport. Die Anlage und Pflege der Grünlandflächen umfasst die Düngung, das Striegeln und die Übersaat beziehungsweise Nachsaat. Die Ernte umfasst das Mähen, das Wenden und das Schwaden des Ernteguts sowie das Pressen der Heuballen. Als letzter Schritt ist der Transport der Ballen zu nennen.

Mit Berücksichtigung der möglichen Prämien und Beihilfen betragen die **Kosten der Produktionsverfahren** insgesamt rund 950 Euro/ha (konventionell) beziehungsweise rund 630 Euro/ha (kbA). Den höheren Kosten beim konventionellen Verfahren steht ein deutlich höherer Ertrag pro Hektar entgegen. Wie Tab. 9.5 im Anhang zeigt, entfallen rund 43 Prozent (konventionell) beziehungsweise 35 Prozent (kbA) der Bereitstellungskosten ohne Grundkosten auf die Anlage und Pflege. Die Düngung ist dabei der größte Posten. Die Ernte hat einen Anteil 46 Prozent beim konventionellen und 55 Prozent beim kbA-Verfahren. Auf den Transport entfallen bei beiden Produktionsverfahren 11 Prozent der Bereitstellungskosten.

**Erlöse** erzielt der landwirtschaftliche Betrieb bei diesem Produktionsverfahren durch den Heuverkauf. Grundsätzlich kann Heu aus kontrolliert biologischem Anbau zu einem höheren Preis abgesetzt werden. Im Fall der Weiterverarbeitung zu Grasfaserpellets wird jedoch angenommen, dass die erzielbaren Preise nicht über dem Preisniveau für konventionell produziertes Heu liegen werden, da Heu aus biologischen Anbau mit Blick auf die Papierherstellung keine Vorzüge gegenüber konventionell bereitgestellten Heu aufweist. Für beide Produktionsverfahren wurde somit ein Preis von 132 Euro/t für den ersten Schnitt und 131 Euro/t für den zweiten Schnitt angenommen (KTBL 2018).

Die Preise für Heu unterliegen sowohl in Abhängigkeit von der Witterung als auch in Abhängigkeit von der Tierbestandsichte und damit regional Schwankungen. Eine Auswertung der Heupreise nach Bundesländern für das Jahr 2018 zeigt Werte von 100 Euro/t bis 170 Euro/t, ohne Mehrwertsteuer (vgl. Zinke 2018a; Zinke 2018b; Zinke 2018c; Fritz 2018a). Cruse et al. (2015) haben für

den Zeitraum 2009 bis 2015 einen durchschnittlichen Heupreis von 80 bis 120 Euro/t, ohne Mehrwertsteuer ermittelt. Um auch den Fall eines niedrigeren Preisniveaus für Heu im Modell abzubilden, wurde zusätzlich ein Szenario mit einem Heupreis von 110 Euro/t betrachtet („Heuerlös 110 Euro/t“). Mit den in Tab. 9.4 im Anhang dargestellten Ertragsniveaus ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Erlöse pro Hektar für die beiden Szenarien.

**Tab. 4.10: Erlöse des Produktionsverfahrens Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“ und die Szenarien „Heuerlös 132 Euro/t“ und „Heuerlös 110 Euro/t“**

Quelle: KTBL (2016; 2018; 2019) und eigene Annahmen IÖW.

	<b>Heuerlös 132 Euro/t</b>	<b>Heuerlös 110 Euro/t</b>
	[Euro/ha]	[Euro/ha]
Bodenheu, grasbetont, 1. Schnitt, konventionell	615,1	512,6
Bodenheu, grasbetont, 2. Schnitt, konventionell	370,6	311,2
Bodenheu, grasbetont, 1. Schnitt, kbA	495,0	412,5
Bodenheu, grasbetont, 2. Schnitt, kbA	294,5	247,3

### Gewinne, Einkommen und Beschäftigung, Steuern

Die Ermittlung der Unternehmensgewinne, der Einkommen und Beschäftigung, als auch der gezahlten Steuern entlang der Wertschöpfungskette erfolgt nach der in Abschnitt 4.1.5 beschriebenen Methodik. Die Berechnung der nachfolgend dargestellten flächenspezifischen Effekte wurde mit einer für Deutschland und das Basisjahr 2016 angepassten Version des WeBEE-Modells durchgeführt.

### Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte

Die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte von landwirtschaftlichen Anbaukulturen werden im WeBEE-Modell flächenspezifisch ermittelt. Dies bedeutet, dass die spezifischen Effekte in Form von Euro/ha beziehungsweise Vollzeitäquivalente/ha vorliegen.

Die flächenspezifischen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“ sind in Tab. 4.11 und Tab. 4.12 dargestellt. Die Effekte fallen in jedem Jahr der Flächenbewirtschaftung an. Die Tabelle zeigt, dass die Wertschöpfungseffekte im biologischen Anbau deutlich höher sind als im konventionellen Anbau. Dies kann im Wesentlichen auf die Zahlung einer Beihilfe für die Beibehaltung von Grünland im Ökolandbau zurückgeführt werden, da das Verfahren mit den angesetzten Heupreisen ansonsten nicht kostendeckend wäre. Im Szenario „Heuerlös 110 Euro/t“ übersteigen die Bereitstellungskosten im konventionellen Produktionsverfahren die erzielbaren Erlöse, so dass hier kein positives Ergebnis erzielt werden kann.

**Tab. 4.11: Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“ (konventionell / kbA) nach Wertschöpfungsbestandteilen - „Heuerlös 132 Euro/t“**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW

Wertschöpfungsschritt	Nach-Steuer-Gewinne	Netto-Einkommen	Steuern an die Kommunen	WS Kommunale Ebene	WS Länder-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäftigungseffekte
	[Euro/ha]						
Produktionsverfahren Bodenheu konv.	27,24	138,54	5,38	171,16	185,84	285,47	0,0054
Produktionsverfahren Bodenheu kbA	125,61	132,21	7,46	265,28	283,86	383,93	0,0051

**Tab. 4.12: Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“ (konventionell / kbA) nach Wertschöpfungsbestandteilen - „Heuerlös 110 Euro/t“**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW

Wertschöpfungsschritt	Nach-Steuer-Gewinne	Netto-Einkommen	Steuern an die Kommunen	WS Kommunale Ebene	WS Länder-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäftigungseffekte
	[Euro/ha]						
Produktionsverfahren Bodenheu konv.	0,00	138,54	4,74	143,28	156,71	254,98	0,0054
Produktionsverfahren Bodenheu kbA	21,61	132,21	5,03	158,85	172,66	267,52	0,0051

#### 4.3.4.2 Teil-Wertschöpfungskette Graspelletierung

Wie oben erläutert, konnte die Herstellung von Grasfaserpellets aufgrund mangelnder Datenbasis nicht im WeBEE-Modell abgebildet werden. Qualitative Einschätzungen zu relevanten Wertschöpfungsschritten für den ländlichen Raum werden in Kapitel 5 vorgenommen.

## 4.4 Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Hanf) für Dämmstoffe und naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK)

Die Verarbeitung von Hanf zu unterschiedlichen Produkten blickt auf eine lange Tradition zurück. Bei der vorhandenen Aufbereitungstechnik zur Gewinnung von Fasern und Schäben handelt es sich um etablierte Verfahren. Im Kontrast zum erheblichen Potenzial von Hanf nach Einschätzung der Praxisakteure, werden die bestehenden Märkte als noch unterentwickelt angesehen. Für eine stärkere Entwicklung in der Fläche fehlt es an Nachfrage durch die weiterverarbeitende Industrie, zugleich wird auch ein begrenztes Angebot an Hanffasern als Einschränkung für eine raschere Marktentwicklung gesehen.

Im Rahmen des Vorhabens wurden zahlreiche Expertengespräche geführt und zwei Praxisanlagen, die bereits beide langjährig in Betrieb sind, besichtigt. Aufgrund der Datenverfügbarkeit wurde eine der beiden Anlagen für die vertiefende Betrachtung ausgewählt.

Die Wertschöpfungskette Hanf umfasst:

- den landwirtschaftlichen Anbau von Hanf zur Gewinnung von Hanfrüssen und -stroh,
- die Aufbereitung von Hanfstroh zu Fasern und Schäben,
- die Weiterverarbeitung der Fasern zu Halbzeugen (Vliese),
- die industrielle Weiterverarbeitung zu Dämmstoffen und naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK, Rohmaterial) sowie gegebenenfalls. Produkten aus NFK,
- Handel, Handwerk, Endkunden und Entsorgungs- beziehungsweise Recyclingwirtschaft.

Auch bei dieser Wertschöpfungskette erfolgte aufgrund der jeweiligen Zielstellung der ökologischen und ökonomischen Bewertung die Festlegung unterschiedlicher Systemgrenzen für die Analysen:

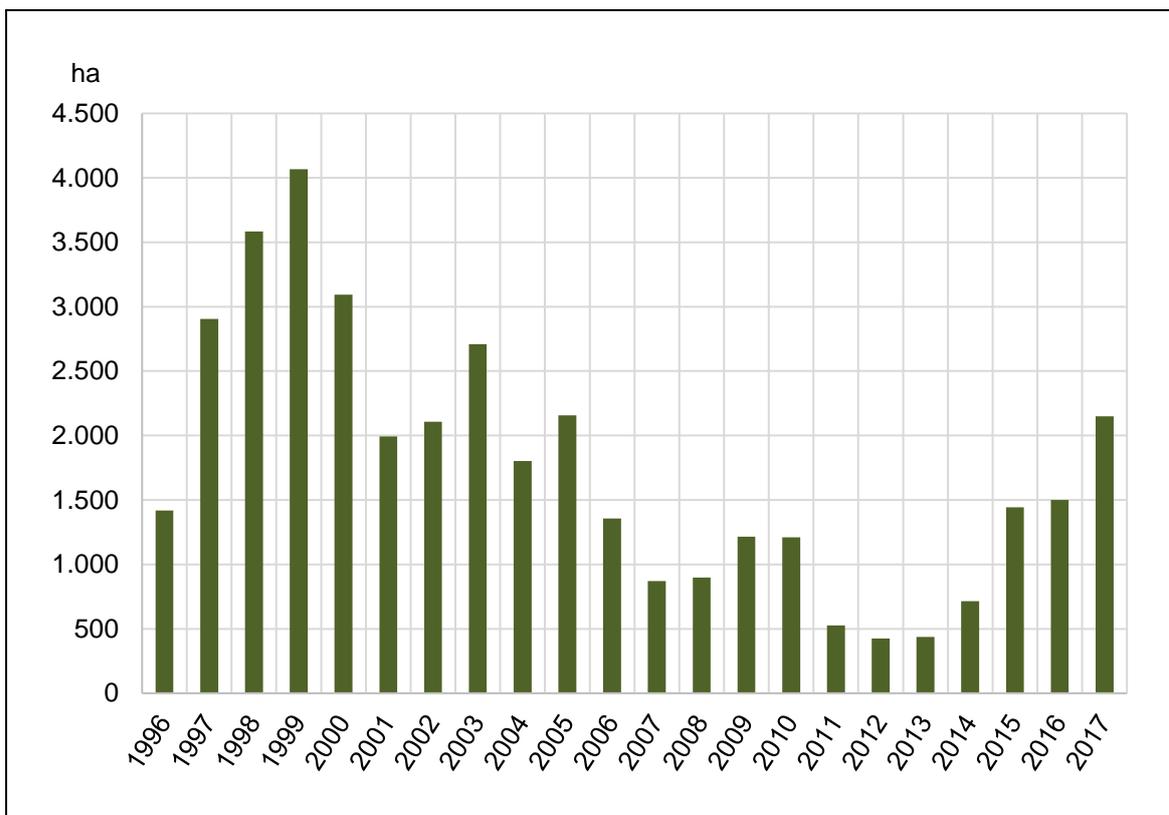
- ökologische Bewertung: von der Bereitstellung des Hanfs über den Faseraufschluss und die Verarbeitung der Fasern zu Hanffaservliesmatten bis zur Entsorgung in Form einer Verbrennung (siehe Abschnitt 4.4.3)
- betriebswirtschaftliche Analyse: Hanffaseraufschluss (siehe Abschnitt 4.4.4)
- (regional-)ökonomische Analyse: Wertschöpfungskette Hanfbereitstellung sowie die Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss Grasbereitstellung und Verarbeitung von Heu zu Grasfaserpellets (siehe Abschnitt 4.4.5).

Der **Anbau von Hanf** findet weltweit vor allem in den Regionen China, Europa, Kanada und den USA statt. Während die Einsatzgebiete in China, Kanada und USA vorrangig der Ernährungssektor und der pharmazeutische Bereich, in China auch der Textilsektor sind, so wird Hanf in Europa neben dem Ernährungsbereich für die Papierherstellung sowie im Bau- und Automobilsektor eingesetzt (Steger 2018). In Europa ist Frankreich das Land mit der größten Hanfanbaufläche (17.360 ha). Auch in Estland haben die Flächen für den Anbau von Hanf einen erheblichen Umfang (9.850 ha). Dahinter folgen Deutschland (1.600 ha), Österreich (1.500 ha) und die Niederlande (1.270 ha) (Statista 2018). Laut Statistik des BMEL war die Anbaufläche für Nutzhanf in 2017 in Deutschland mit 2.148 ha sogar noch höher. Wie Abb. 4.5 zeigt, erreichte die Anbaufläche in 1999

mit rund 4.000 ha ihren Höhepunkt und ging bis 2012 auf 424 ha zurück. In den Jahren 2015 bis 2017 hat die Fläche für Nutzhanf in Deutschland wieder deutlich zugenommen, was unter anderem mit der guten Erlös- und Vermarktungssituation für die Hanfnüsse zu begründen ist. Anbaubereiche finden sich beispielsweise in Brandenburg und Baden-Württemberg sowie in Thüringen (Regionen Greiz, Saale-Orla und Altenburg) und der Werraregion (Thüringen, Hessen und Niedersachsen).

Bei dem Prozess des **Hanffaseraufschlusses** wird das Hanfstroh in einer Faseraufschlussanlage in Fasern und Schäben getrennt. Hauptprodukt sind die Hanffasern; als Koppelprodukt entstehen Hanfschäben (Carus et al. 2008). Die produzierten Fasern können zu Spezialpapieren weiterverarbeitet oder bei der Herstellung von Dämmstoffen oder Verbundwerkstoffen zum Einsatz kommen (Steger 2018; Carus et al. 2008). Die Schäben können als Tiereinstreu, Baustoffe („Hanfbeton“) und im Gartenbaubereich verwendet werden (Steger 2018).

Europaweit gibt es mit Stand 2016 insgesamt 21 Erstverarbeitungsbetriebe beziehungsweise Faseraufschlussanlagen. In Frankreich sind mit Abstand die meisten Akteure zu finden, hier gibt es neun in Betrieb befindliche Unternehmen. Früher war die Zahl der Betriebe noch größer, jedoch mussten in den letzten Jahren drei Aufschlussanlagen geschlossen werden. In Deutschland gibt es vier Erstverarbeiter von Hanfstroh, wovon ein Unternehmen Winterhanf verarbeitet. In den Niederlanden gibt es zwei Hanffaseraufschlussanlagen. In Belgien, Österreich, Rumänien, Ungarn, Polen und Tschechien gibt es jeweils ein Unternehmen (Steger 2018).



**Abb. 4.5: Entwicklung der Anbaufläche (ha) für Nutzhanf in Deutschland 1996 bis 2017**

Quelle: eigene Darstellung nach BMEL (2018a)

In der untersuchten Verarbeitungsanlage wird der Aufschluss von Hanfstroh zu Hanffasern und Hanfschäben betrieben. Sie zählt zu einer der wenigen Anlagen die zurzeit in Deutschland existieren. Die Ziele liegen dabei insbesondere in der wirtschaftlichen Nutzung der Hanfschäben-Fraktion sowie in der Minimierung der bisherigen Reststoffe (sehr kurze Fasern und Hanfstaub).

#### 4.4.1 Technologie- und Infrastrukturanalyse

Bei der Gewinnung von Hanffasern werden die Strohballen zunächst geöffnet und über einen Abscheider (Metalldetektor beziehungsweise Magnetabscheider) von Störstoffen befreit. Die maximale Restfeuchte des Ausgangsmaterials darf dabei einen Wassergehalt von 14 Prozent nicht überschreiten, damit der Prozess störungsfrei ablaufen kann. Anschließend wird das Material in Fasern und Schäben aufgetrennt. Der rein mechanische Aufschluss erfolgt durch zwei wesentliche Prozessschritte: Mühle und Faserselektor. In einer Hammermühle wird der verholzte Innenteil des Strohs gebrochen, wobei die sogenannten Schäben entstehen. Diese werden im folgenden Schritt im Faserselektor von den Fasern abgeschieden. Anschließend werden die Fasern in Feinöffnern und Stufenreinigern von weiteren holzigen Stängelbestandteilen getrennt. Die Fasern liegen nun als Faserbündel vor, die zum Schluss gepresst werden.

Die Schäben werden nach der Selektion zusammen mit entstandenem Staub aus der Mahlung und Aufreinigung der Fasern im sogenannten Duvex weiter gereinigt und fraktioniert, sodass Staub und zwei Fraktionen Schäben getrennt vorliegen. Hierbei werden auch noch vorhandene Fasern wieder zurück zum Faserselektor transportiert. Größere Schäben werden nochmals gesiebt und zerkleinert, während Feinschäben als Schäbenmehl mit einem gewissen Staubanteil übrigbleiben.

Die dargestellten Prozessdaten ergeben sich aus Erfahrungswerten, die sich während der Anlagenlaufzeit im Durchschnitt ergeben haben. Die Beschaffenheit des Ausgangsmaterials hat wesentlichen Einfluss auf die Stoffströme innerhalb des Prozesses. Dabei spielen die Erntebedingungen und Witterungseinflüsse während des Anbaus eine wichtige Rolle. Beispielsweise ergibt sich aus zu dünnen Stängeldurchmessern ein größerer Anteil an Hanfstrohmehl. Eine hohe mechanische Belastung des Hanfstrohs durch zu häufige Überfahrten wirkt sich nachteilig auf die Qualität der Fertigerzeugnisse aus. Eine zu hohe Restfeuchte des Hanfstrohs führt zum Verstopfen und damit zum Stillstand der Anlage.

#### 4.4.2 Analyse der Stoffströme

Die Anlage wird aktuell im Einschichtbetrieb gefahren, die Jahreslaufzeit liegt damit bei rund 1.440 Stunden. Unter Berücksichtigung notwendiger Wartungsarbeiten kann davon ausgegangen werden, dass die Anlage an 200 Arbeitstagen pro Jahr produktiv arbeitet. Für das Betrachtungsjahr 2017 ergibt sich ein aktueller Jahresdurchsatz von 500 t Hanfstroh, wobei circa. 700 bis 800 t/a ausgehend von der vorhandenen Maschinenteknik möglich sind. Es ist angedacht, die Anlage auf einen Zweischichtbetrieb umzustellen – damit ließe sich der Anlagendurchsatz erhöhen, was wiederum eine Vergrößerung der Anbaufläche notwendig machen würde. In diesem Sinne werden bereits jetzt bedarfsweise verlängerte Schichten gefahren. Ein zentraler Faktor für eine nachhaltige Erhöhung der Produktion liegt nach Einschätzung des Betreibers in der Entwicklung der Absatzmärkte.

In der Hanfaufschlussanlage werden Kurzfasern mit einer durchschnittlichen Länge von 40-60 mm gewonnen. Die Schnittlänge des zu Hanfstrohballen gepressten Ausgangsmaterials liegt bei 60 cm. Die Hanfstrohballen weisen ein mittleres Gewicht von 400 kg auf. In der Anlage werden täglich rund 3,5 t Hanfstroh zu Hanffasern und Hanfschäben umgesetzt. Die Nebenprodukte des Prozesses

(Hanfstrohmehl und Feinfasern-Schäben-Gemisch) werden aufgefangen, das Hanfstrohmehl wird als Einstreu in der kooperations-eigenen Milchviehanlage verwendet und anschließend in der Biogasanlage verstromt. Für die Fraktion der Feinschäben bestehen derzeit keine Lagermöglichkeiten, so dass hier aus Sicht der Betreiber Optimierungsbedarf besteht. Der Anteil der Kurzfasern am Hanfstroh beträgt circa 22 bis 28 Prozent, die Schäben stellen 50 bis 55 Prozent und restliche 18 bis 20 Prozent entfallen auf weitere Nebenprodukte (z. B. Schäbenmehl). Die mittlere Feuchte des Fertigerzeugnisses (Hanffaserballen) liegt bei 14 Prozent, während die Nebenprodukte eine Restfeuchte von rund 10 Prozent aufweisen.

Die größten Energieverbraucher sind eine Hammermühle mit 110-130 kW Nennleistung sowie die Lüftungsgebläse mit rund 215 kW Nennleistung. Im Vergleich zu den Vorjahren wurde der Energiebedarf des Gesamtprozesses um etwa 40 kW reduziert. Aufgrund des durchgängigen Anlagenbetriebs ist eine Prozessbeobachtung jeweils nur für relativ kurze Zeiträume beziehungsweise für geringe Chargen möglich.

### 4.4.3 Ökobilanzielle Betrachtungen

Das Vorgehen zur Erstellung der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung sowie die Ergebnisse der LCA zum Dämmmaterial Hanffaservlies werden an dieser Stelle zusammenfassend dargestellt, eine ausführliche Beschreibung findet sich in Dunkelberg und Bluhm (2019).

Ziel der Ökobilanzierung ist es, die potenziellen Umweltwirkungen des Dämmmaterials Hanffaservlies zu ermitteln und den Umweltwirkungen anderer marktüblicher Dämmmaterialien in einem Benchmarking gegenüberzustellen. Darüber hinaus soll die LCA dazu dienen aus Umweltschutzsicht kritische Prozessabschnitte im Lebenszyklus des Hanfvlieses sowie Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen zu identifizieren.

Zentraler Nutzen von Dämmmaterialien ist die Reduzierung von Kälte- und Wärmeverlusten. Im Fall eines konkreten Bauteils, das sich, wie etwa eine Außenwand, aus mehreren Schichten zusammensetzt, ist der Wärmedurchgangskoeffizient oder U-Wert das wesentliche Maß zur Beschreibung der Dämmeigenschaften. Als funktionelle Einheit wurde daher ein Quadratmeter gedämmte Außenwandfläche mit einem U-Wert von  $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  gewählt. Der U-Wert entspricht dem geltenden gesetzlichen Höchstwert für Außenwände von Gebäuden mit einer Innentemperatur von über 19 °C (EnEV 2007, Anlage 3, Tabelle 1). Diese Einheit erlaubt einen Vergleich zu anderen Produktsystemen mit gleichem Nutzen. Ausgeblendet werden dabei weitere, für die Wahl des Dämmmaterials durchaus wichtige Eigenschaften wie Schallschutz, Wasseraufnahmefähigkeit und die jeweilige Brandschutzklasse des Stoffes. Nach Rücksprache mit einem Industrieexperten ist vor allem auf eine Vergleichbarkeit bei der Installation der Dämmstoffe zu achten. Somit sind Hanffaservliese als Mattendämmstoffe in der Fassadendämmung am ehesten mit Glas- und Steinwolle vergleichbar, die als Referenzprodukte herangezogen werden. Zusätzlich werden Holzfasermatten beziehungsweise Holzdämmstoffe als Produkte auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen als Referenz herangezogen. Gebäudetypen, für die Hanffaservliese aufgrund von brand-schutztechnischer Eigenschaften geeignet sind, sind vor allem Ein- und Zweifamilienhäuser. Gebäude der öffentlichen Hand sind aufgrund bestimmter Brandschutzanforderungen nur bedingt geeignet.

Zur Berechnung des Dämmstoffbedarfes wird von einer einschaligen Außenwand ausgegangen. Die Dämmstoffmengen für Hanf und die Referenzprodukte ergeben sich aus den Dämmstoffeigen-

schaften (Dichte und Wärmeleitfähigkeit): Hanffaserdämmvlies: 3,82 kg/m<sup>2</sup>; Steinwolle: 3,73 beziehungsweise 5,86 kg/m<sup>2</sup>; Glaswolle: 1,46 beziehungsweise 1,63 kg/m<sup>2</sup>; Holzdämmstoff: 14,31 kg/m<sup>2</sup>. Die Sachbilanz der Ökobilanzierung erstreckt sich von der Bereitstellung des Hanfs über den Faseraufschluss und die Verarbeitung der Fasern zu Hanffaservliesmatten bis zur Entsorgung in Form einer Verbrennung. Die Bilanzierung schließt die Transporte zwischen den Prozessschritten ein. Die Nutzungsphase des Dämmmaterials ist nicht Bestandteil der Bilanzierung. Es wird von einer geschlossenen biogenen CO<sub>2</sub>-Bilanz ausgegangen.

Die verwendeten Sachbilanzdaten stammen aus unterschiedlichen Quellen. Die Daten zur Hanfbereitstellung wurden zwei ausgefüllten Fragebögen von Landwirten entnommen. Hierbei handelt es sich einmal um einen konventionellen und einmal um einen ökologischen Hanfanbau. Die Daten zum Faseraufschluss stammen aus einer Befragung eines Anlagenbetreibers, der einen relativ alten und kleinen Maschinenpark betreibt, sodass von einer konservativen Abschätzung der Umweltwirkungen auszugehen ist. Zur Modellierung des Prozessschrittes der Hanffaservlieslegung wurden Daten aus einer Studie nach Zampori et al. (2013) verwendet, die sich auf Primärdaten eines italienischen Anlagenbetreibers stützt, der ähnliche Vliese auf Basis von Kenaf-Fasern herstellt. Insgesamt werden Daten mit sehr unterschiedlicher Qualität und Repräsentativität in Beziehung gesetzt. Insbesondere bei den wesentlichen Prozessabschnitten (Anbau, Faseraufschluss, Vlieslegung) handelt es sich um spezifische Daten von einzelnen Landwirten/innen oder Anlagenbetreibern/innen, was die Ableitung allgemeingültiger Aussagen einschränkt.

Um sowohl mögliche Bandbreiten in den Input- und Output-Werten als auch unterschiedliche Anbausysteme abzudecken, wurden in der Ökobilanzierung fünf Szenarien erstellt: der Base Case mit aktuellen Aufwendungen und Emissionen, Min- und Max-Szenario, ein Szenario, in dem die Methode der ökonomischen Allokation zum Einsatz kommt („Ökon. Allokation“) und ein Szenario, in dem ein ökologischer Hanfanbau zugrunde gelegt wird („Ökol. Anbau“) (siehe Tab. 4.13). Der „Base Case“ erfasst die Input- und Outputdaten aus den ausgefüllten Fragebögen zum konventionellen Anbau und dem Faseraufschluss sowie aus den identifizierten Daten zur Vlieslegung und der Abfallbehandlung. Die Angaben zu den Transporten stützen sich sowohl auf die Fragebögen als auch auf eigene Annahmen zu den Entfernungen und verwendeten Transportmitteln.

Die Aufwendungen für den Hanfanbau resultieren aus der Befragung der Landwirte. Die Angaben bilden die Grundlage zur Bestimmung der Feldemissionen durch die Düngung und den Emissionen aus der Landmaschinennutzung gemäß den Methoden und Formeln nach Nemecek und Schnetzer (2012). Wesentliche Inputmengen zur Bestimmung der Feldemissionen sind die Düngermengen, die für den konventionellen Hanfanbau 120 kg N/ha in Form von mineralischem Dünger betragen und für den kontrolliert biologischen Anbau 30 m<sup>3</sup> Gärgülle pro Hektar (85,2 kg N/ha). Aus dem Hanffaseraufschluss ergeben sich mehrere Fraktionen. Die vermarktbareren Fraktionen sind Fasern (26,0 Prozent) und Schäben (52,5 Prozent). Der befragte Anlagenbetreiber gab für das Jahr 2016 einen spezifischen Stromverbrauch von 480 kWh/t FM Stroh an. Die Fasern werden zu Vliesmatten weiterverarbeitet und die Schäben als Tiereinstreu vermarktet. Aufgrund von fehlenden Primärdaten zur Hanfvlieslegung wurde auf Prozessdaten nach Zampori et al. (2013) zurückgegriffen. Demnach besteht das fertige Rohvlies zu 85 Prozent aus Hanffasern und zu 15 Prozent aus Polyesterfasern (massebezogen). Letztere werden als Stützfasern beigemischt (BMI 2018). Das Rohvlies wird mit dem Flammschutzmittel Soda überzogen. Nach Zampori et al. (2013) entstehen relevante Energieströme während der Vlieslegung aus der Nutzung von Strom und Erdgas. Zusätzlich wird Wasser benötigt. Für die Abfallbehandlung wurde eine energetische Verwertung des Vlieses in einer Müllverbrennungsanlage angenommen, wobei Gutschriften für die Bereitstellung von Strom und Wärme aus dem Verbrennungsprozess berücksichtigt werden.

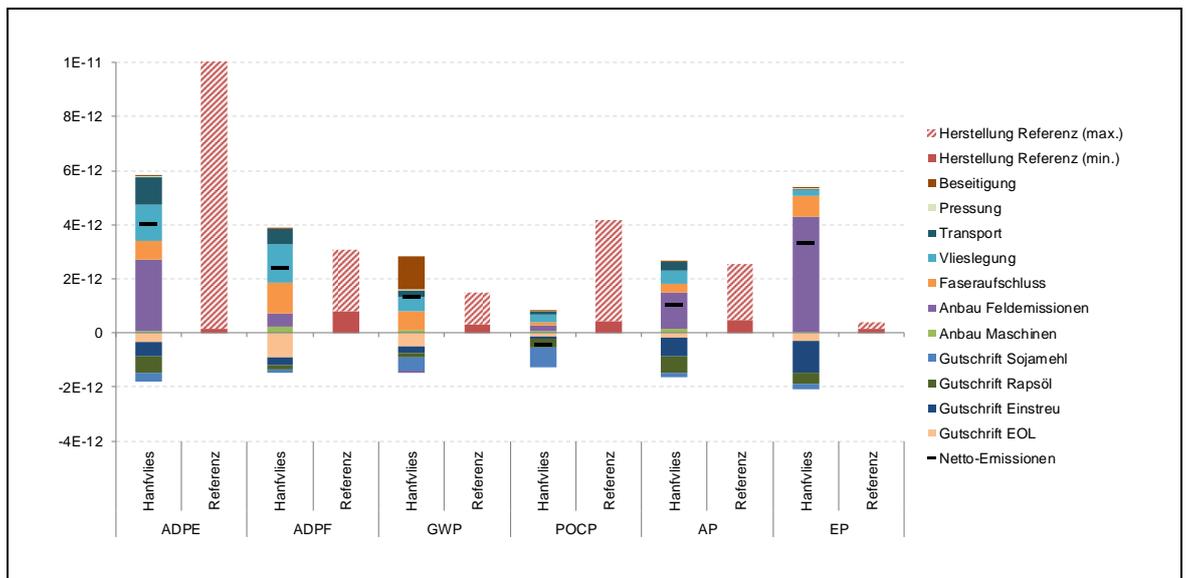
**Tab. 4.13: Untersuchte Szenarien und enthaltene Parametervariationen für Hanffaservlies**  
Quelle: Eigene Zusammenstellung und Darstellung IÖW

Prozessabschnitt	Base Case	Min	Max	Ökon. Allokation	Ökol. Anbau
Hanfbereitstellung	Gemäß Befragung zum konventionellen Anbau	Base Case +20 % Ertrag	Base Case -20 % Ertrag	Gemäß Befragung; Allokation nach Umsätzen der Haupt- und Nebenprodukte	Gemäß Befragung zum ökologischen Anbau
Hanffaser-aufschluss	Gemäß Befragung zum Aufschluss	Base Case -20 % Strombedarf	Base Case +20 % Strombedarf	Gemäß Befragung; Allokation nach Umsätzen der Haupt- und Nebenprodukte	Base Case
Hanf-vlieslegung	Gemäß Zam-pori et al. (2013)	Base Case	Base Case	Base Case	Base Case
Abfallbe-handlung	Stoffzusammensetzung gemäß BMI (2018)	Base Case	Base Case	Base Case	Base Case
Transporte	Entfernungen gemäß Befragungen zum Anbau und Aufschluss und eigenen Annahmen	Base Case -50 % Transportentfernung	Base Case +50 % Transportentfernung	Base Case	Base Case

Da verschiedene Nebenprodukte anfallen, erfolgte im Base Case eine Vergabe von Gutschriften für jeweils durch die Nebenprodukte substituierte Produkte. Die Ernte beim Hanfanbau setzt sich aus den Produkten Hanfstroh und Hanfsamen zusammen. Die Samen zur Weiterverarbeitung werden zu 23,1 Prozent zu Hanföl und zu 76,9 Prozent zu Presskuchen weiterverarbeitet. Als substituiertes Produkt für das Hanföl wird Rapsöl gewählt. Für den Presskuchen wurde eine Substitution von Sojaschrot gewählt, das als eiweißreiches Tierfutter Verwendung findet. Ein weiteres Nebenprodukt sind Hanfschäben, die beim Faseraufschluss anfallen und als saugfähiges Tiereinstreu verwendet werden und Stroh substituieren (Carus 2017).

Für die Referenzprodukte Steinwolle und Glaswolle wurden jeweils zwei European Product Declarations (EPD) identifiziert (Steinwolle: Deutsche ROCKWOOL GmbH & Co. OHG (2018), Knauf Insulation (2018); Glaswolle: SaintGobain ISOVER G+H (2016), Knauf Insulation (2014)). Zur Abschätzung der Umweltwirkungen der Holzfaserplatten werden die Angaben eines Herstellers herangezogen (STEICO SE 2016).

Abb. 4.6 zeigt die Ergebnisse nach Normierung der Wirkungen für das Hanffaservlies im Base Case. Die höchsten Umweltwirkungen werden demnach in den Kategorien ADPE, ADPF, GWP sowie beim AP und EP verursacht. Das ODP verursacht im Verhältnis hierzu nur sehr geringe Wirkungen und wird daher in der Ergebnisdiskussion nicht weiter betrachtet. Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass die Feldemissionen, der Faseraufschluss und die Vlieslegung sowie die Transporte in fast allen Wirkungskategorien wesentliche Anteile an den Gesamtwerten haben. Somit tragen mit Ausnahme des Maschineneinsatzes zum Anbau des Hanfes und der Pressung alle Teilprozesse nennenswert zum ökologischen Impact des Produktes bei. Die Identifizierung von Ansatzpunkten zur Verbesserung der Wirkungen betrifft daher den gesamten Lebensweg vom Anbau über die Weiterverarbeitungsstufen bis zur Beseitigung. Außerdem haben die Negativwerte durch die Gutschriften der Koppel- und Nebenprodukte einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtergebnisse. Die betrachtete, regionalorientierte Wertschöpfungskette stellt Koppelprodukte bereit, die andere, umweltrelevante Produkte substituieren können, die zum Teil zu importieren sind. Die Wirkungsabschätzung für das Szenario „Ökon. Allokation“ zeigt, dass kein Produkt weniger als 12 Prozent oder mehr als 65 Prozent an den Umweltwirkungen ausmacht. Das Vlies verursacht in allen Kategorien mit Ausnahme des EP die höchste Umweltlast.



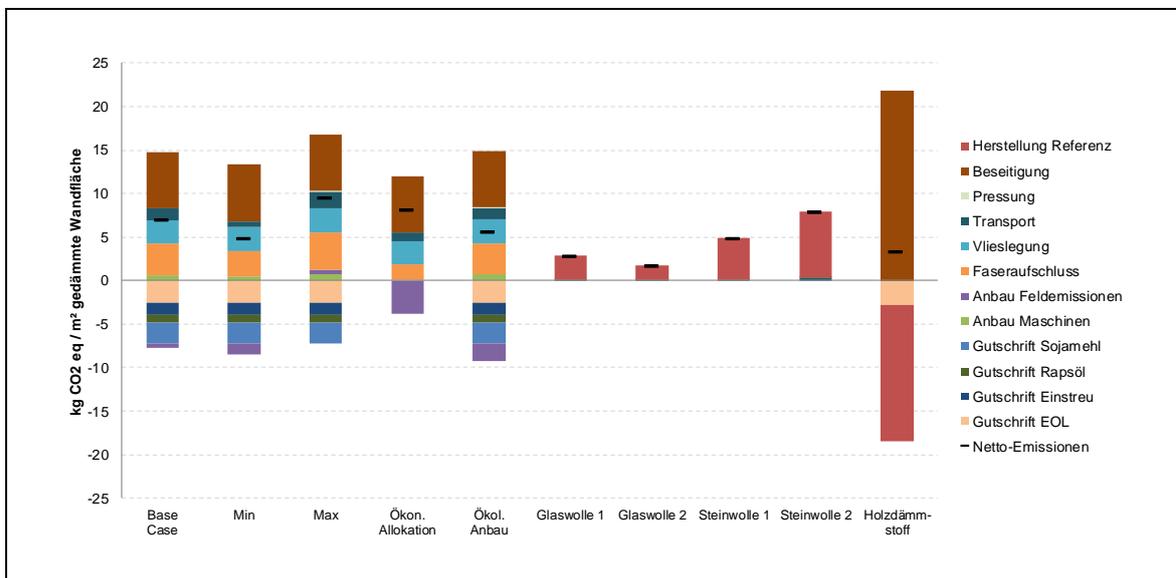
**Abb. 4.6: Normierte Emissionen und Aufwendungen des Hanffaservlieses (1 kg, Base Case)**

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung IÖW; Inputdaten s. Dunkelberg und Bluhm (2019)  
Y-Achse bei  $1,0 \cdot 10^{-11}$  abgeschnitten

Erläuterung: Normierung bezogen auf Emissionen im Bezugsraum EU 25+3 für das Jahr 2000; Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe, ADPF), Verknappung von abiotischen Ressourcen (nicht-fossile Stoffe, ADPE), Versauerung von Boden und Wasser (AP), globale Erwärmung (GWP), Eutrophierung (EP), photochemische Ozonbildung (POCP)

Die Netto-Treibhausemissionen des Hanffaservlieses übersteigen im Base Case die Netto-Emissionen der Glaswolle (1,7 bis 2,9 kg CO<sub>2eq</sub>) und der Holzfasermatte (-3,3 kg CO<sub>2eq</sub>). Gegenüber der Steinwolle (max. 4,9 bis 7,9 kg CO<sub>2eq</sub>) können sich Vorteile bei den Szenarien „Ökol. Anbau“ und

„Min“ ergeben. Der Vergleich zu den Referenzprodukten verdeutlicht, dass bezüglich des Treibhauspotenzials bei dem modellierten Prozessdesign zur Vliesherstellung und -beseitigung überwiegend höhere ökologische Lasten feststellbar sind. Gemessen an den Emissionen, ist für eine Verringerung der Umweltwirkung vor allem bei der Vliesbeseitigung anzusetzen. Maßnahmen könnten die Verwendung von biogenen statt fossilen Stützfasern sein, sodass eine Verbrennung zu geringeren Netto-Emissionen führt oder auch die verstärkte stoffliche Nutzung am Ende des Lebenszyklus ermöglicht wird, sodass der gespeicherte biogene Kohlenstoff nicht durch die Verbrennung freigesetzt wird. Darüber hinaus gibt das Min-Szenario Hinweise darauf, dass eine effizientere Prozessgestaltung des Faseraufschlusses sowie eine Verkürzung der Transportdistanzen und verbesserte Ertragsbedingungen um 31,4 Prozent geringere Treibhausgasemissionen mit sich bringen. Der Einsatz von Gärgülle (ökologischer Anbau) kann in Verbindung mit der verwendeten Ausbringungstechnik zu höheren Treibhausgasemissionen als bei der Nutzung mineralischer Dünger (Base Case) führen.



**Abb. 4.7: Treibhauspotenzial des Hanffaservlieses und der Referenzprodukte**

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung IÖW; Inputdaten s. Dunkelberg und Bluhm (2019); EPDs der Hersteller

Das Netto-**Versauerungspotenzial** von Hanffaservlies liegt in den Min- und Max-Szenarien in einer Bandbreite von  $0,9 \cdot 10^{-2}$  bis  $2,7 \cdot 10^{-2}$  kg SO<sub>2eq</sub> pro Quadratmeter gedämmte Wandfläche. Ein deutlich höheres Versauerungspotenzial weist das Szenario „Ökol. Anbau“ auf ( $17,6 \cdot 10^{-2}$  kg SO<sub>2eq</sub>). Ausgehend vom Base Case zeigt sich vor allem eine Relevanz bei den Feldemissionen aus dem Hanfanbau, der Vlieslegung sowie den Transporten und dem Faseraufschluss. Auch die Gutschriften beeinflussen wesentlich das Gesamtergebnis des AP. Hier sind vor allem die Gutschrift Einstreu und die Gutschrift Rapsöl zu nennen. Die Umweltwirkungen des Hanfvlieses bewegen sich in den Szenarien mit konventionellem Biomasseanbau in etwa in der Bandbreite der Referenzprodukte. Das Versauerungspotenzial im Szenario „Ökol. Anbau“ übersteigt die Werte der Referenzprodukte deutlich. Grund hierfür sind die erhöhten Emissionen durch den vermehrten Gülleinsatz und die Rahmenbedingungen der Ausbringung (Technik, Zeitpunkt etc.).

Das **Eutrophierungspotenzial** von Hanffaservlies liegt in den Min- und Max-Szenarien in einer Bandbreite von  $4,3 \cdot 10^{-2}$  und  $8,6 \cdot 10^{-2}$  kg  $\text{PO}_4^{3-\text{eq}}$  pro Quadratmeter gedämmter Wandfläche. Die höchsten Werte sind in dem Szenario „Ökol. Anbau“ festzustellen ( $10,7 \cdot 10^{-2}$  kg  $\text{PO}_4^{3-\text{eq}}$ ). Beim Hanffaservlies entsteht der Großteil der Emissionen im Base Case während des Anbaus durch die Feldemissionen und den Faseraufschluss. Dem wirken vor allem die Gutschriften für Einstreu, Rapsöl und die Verbrennung am Lebenswegende entgegen. Die relevantesten Emissionen, die im Zusammenhang mit dem EP stehen, beruhen auf dem Eintrag von Nitraten (76 Prozent) und Phosphaten (18 Prozent). Insbesondere der Anbau ist durch Nitratemissionen ins Wasser und Ammoniakemissionen in die Luft gekennzeichnet. Das Eutrophierungspotenzial bei den Referenzprodukten ist im Vergleich zu dem des Hanffaservlieses deutlich geringer ( $0,3$  bis  $0,7 \cdot 10^{-2}$  kg  $\text{PO}_4^{3-\text{eq}}$ ).

Eine nennenswerte **Flächenbelegung** ist vor allem beim Anbau des Hanfs zu erwarten. Aufgrund der Unterschiede im Gesamtertrag (Samen + Stroh) gegenüber dem Base Case ( $0,16$  ha/t) fällt der Flächenbedarf durch den Anbau im Min-Szenario geringer ( $-16,7$  Prozent) und im Max-Szenario höher ( $+25,0$  Prozent) aus. Ein höherer Flächenbedarf von  $+12,9$  Prozent ist auch im Szenario „Ökol. Anbau“ aufgrund von geringeren Flächenerträgen erkennbar.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung zeigen in der Summe, dass der Lebenszyklus von Hanffaservlies innerhalb der fünf Szenarien in einigen Wirkungskategorien mit ähnlichen Umweltwirkungen verbunden ist und in anderen Kategorien mit unterschiedlichen Wirkungen einhergeht. Eine richtungssichere Empfehlung für oder wider den Einsatz von Hanffaservlies ist aus ökologischer Sicht somit ohne Priorisierung der Wirkungen nicht eindeutig möglich. Die tiefere Befassung mit den einzelnen Prozessabschnitten des Hanfvlieses und den Szenarien lässt es zu, gemäß des formulierten Ziels der Ökobilanz auf mögliche Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen des Produktes hinzuweisen, wie sie in Tab. 4.14 aufgelistet sind.

Neben den aufgeführten punktuellen Ansätzen können integrierte Konzepte die Umweltwirkungen des Lebenszyklus verringern, welche die vor- und nachgelagerten Prozessabschnitte sowie parallele Produktionssysteme miteinander verknüpfen. Ein Beispiel hierfür wäre die Nutzung von Strom und Wärme aus Biogasanlagen, die in einem räumlichen Zusammenhang mit dem Faseraufschluss oder der Vlieslegung stehen und somit den Einsatz erneuerbarer Energien erhöhen und Transporte vermeiden. Solche integrierten Lösungen würden zudem die regionale Wertschöpfung im Sinne einer ländlichen Bioökonomie unterstützen.

**Tab. 4.14: Mögliche Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen von Hanffaservlies**

Quelle: Eigene Zusammenstellung und Darstellung IÖW

Prozessabschnitt	Kritische Wirkungskategorien (Anteil >15 % an positiven Gesamtemissionen)	Mögliche Ansatzpunkte zur Verringerung der Umweltwirkungen
Anbau Feldemissionen	ADPE, AP, EP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nutzung von flachen Injektionsverfahren bei Gülleausbringung</li> <li>– Gülleausbringung vor allem von September bis Mai und möglichst nicht an warmen Tagen (&gt;16 °C)</li> <li>– Gülleausbringung in den Abendstunden</li> <li>– Umweltschonendes Düngermanagement</li> <li>– Kalkung der Anbauflächen</li> </ul>
Faseraufschluss	ADPF, GWP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stärkere Verwertung der Reststofffraktion und damit Verringerung der Abfallmenge</li> <li>– Nutzung stromeffizienterer Maschinen</li> <li>– wenn möglich Nutzung von Fasern in Form von Stopfwole ohne Weiterverarbeitung</li> </ul>
Vlieslegung	ADPE, ADPF, GWP, POCP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verringerung des Anteils fossiler Stützfasern</li> <li>– Nutzung biogener statt fossiler Stützfasern</li> <li>– Verringerung des (fossilen) Energiebedarfs</li> <li>– Nutzung von lokal verfügbaren Wärmequellen</li> </ul>
Beseitigung	GWP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erhöhung der stofflichen statt thermischen Nutzung, zum Beispiel durch Kompostierung oder Karbonisierung unter der Voraussetzung, dass biogene Stützfasern in der Vlieslegung verwendet werden</li> </ul>
Transporte	ADPE	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verringerung der Distanzen zwischen Verarbeitungsstufen durch Weiterverarbeitungsprozesse in der Nähe zu den Vorstufen</li> <li>– Vermeidung von Leerfahrten</li> <li>– Transport durch LKW mit höherer Gewichtsklasse</li> </ul>

## 4.4.4 Betriebswirtschaftliche Analyse und Identifizierung von ökonomischen Schlüsselfaktoren

### 4.4.4.1 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Die Methodik der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Hanffaser-Wertschöpfungskette analog zu der Wirtschaftlichkeit der Gärrestanalyse. Die angenommenen Faktoren der Finanzstruktur entsprechen denen der Gärrestkette (siehe Tab. 4.2).

Gleich dem Gärrestaufbereitungsverfahren wurden hier ein Base-Case, welches annähernd den aktuellen Stand darstellt, und ein Verfahren mit gesteigerter Ausbeute, hier nur Szenario genannt, gerechnet. Daraus wiederum ergeben sich die in Tab. 4.15 dargestellten Kennzahlen für die beiden Fälle.

**Tab. 4.15: Leistungstafel Hanffaseraufschluss**

Quelle: eigene Berechnungen IfaS

	Base Case	Szanriobetrachtung
WACC	4%	4%
Kapitalwert	- 620.000 Euro	- 8.000 Euro
Payback period	-	6,8 a
Interner Zinsfuß	4%	4%

Es wird deutlich, dass unabhängig vom Szenario die Bereitung von Hanffasern in den Berechnungen nicht wirtschaftlich dargestellt werden kann. Grund hierfür liegt hauptsächlich in den, im Vergleich zu den Erlösen, höheren Betriebskosten. Die größten Einflussfaktoren und wie sie das Ergebnis beeinflussen werden im folgenden Abschnitt mit den Sensitivitätsanalysen dargestellt.

### 4.4.4.2 Sensitivität Hanffaser-Aufschluss

#### Sensitivitätsfaktoren

Im Folgenden werden die verschiedenen Faktoren, inklusive einer jeweiligen Erläuterung, die erklärt, in welchen Grenzen die Faktoren variiert wurden, aufgezeigt.

**Kosten Hanfstroh:** Der Einkaufspreis für das Hanfstroh liegt zwischen 100 und 130 Euro/t. Ein Trend zur Erhöhung ist nicht absehbar, da einerseits die Prozesskosten (insbesondere Energiekosten in Deutschland) steigende Tendenzen aufweisen und da ein hoher Preisdruck auf die Fertigprodukte durch billige Faserimporte besteht.

**Gewerbesteuern:** Da der Steuersatz vom Unternehmenssitz abhängig ist, wurde mit einem Mittelwert von 30 Prozent und jeweils 5 Prozent Abweichung nach oben und unten gerechnet.

**Eigenkapitalanteil:** Der Eigenkapitalanteil hängt stark von der möglichen Finanzierung ab, weshalb höhere und gar keine Eigenanteile gerechnet wurden.

**Investitionskosten:** Die Verarbeitungsanlage stammt aus zweiter Hand, weshalb diese bei Neuanlagen teurer sein wird. Hierfür wird kein Positiv-Szenario ausgezeichnet.

**Erlöse Hanfschäben:** Die Preise, die für Hanfschäben aufgerufen werden, weichen teilweise sehr stark vom Standardwert von 350 Euro/t ab, den der Betreiber erhält. Der hohe Preis im Positiv-Szenario deckt eher die Kleinteilige Vermarktung ab, bei der direkt der Endkunde beliefert werden würde.

**Erlöse Hanffasern:** Auch die Preisgestaltung bei Hanffasern kann sehr stark schwanken. Der Standardpreis von 630 Euro/t befindet sich hierbei schon nah an der unteren Grenze und je nachdem welche Qualität die Fasern aufweisen und in welchen Industriezweig sie gehen, kann noch weitaus mehr Gewinn erzielt werden.

### Ergebnis Hanffaser Base Case

Im Base Case zeigt das Ergebnis, dass auf Grund von Unterschieden bei den Kostenfaktoren das negative Ergebnis der betriebswirtschaftlichen Analyse kaum verändert werden kann. Das Gegenteil ist allerdings bei den Erlösfaktoren der Fall. Hier sind zwar zum einen große Preisschwankungen zwischen dem Negativ- und Positiv-Szenario zu beobachten, zum anderen steigt der Kapitalwert im Positiv-Szenario prozentual gesehen jedoch weitaus stärker. Hier zeigt sich, dass der Einfluss der Hanfschäben durch den hohen Massenanteil an den Produkten einen größeren Einfluss hat. Insgesamt hängt die Wirtschaftlichkeit sehr stark vom erzielbaren Preis der Produkte ab. Die Ergebnisse sind in grafischer Form in Abb. 9.4 im Anhang enthalten.

### Ergebnis Hanffaser Szenario

Im Szenario werden die Effekte, die im Base Case schon sichtbar waren, noch weiter verstärkt. Auf der Kostenseite haben die Rohstoffkosten für das Hanfstroh jetzt den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit im Positiv- wie auch im Negativ-Szenario. Auf der negativen Seite folgt darauf der Posten der Investitionen. Stromkosten und der Eigenkapitalanteil haben annähernd denselben Einfluss, während die Steuern auch hier keinen Einfluss haben, da diese nur auf den Gewinn anfallen würden, der allerdings nicht vorhanden ist. Auf der Erlösseite, ist das Ergebnis das gleiche geblieben, wobei es ebenfalls enorm verstärkt wurde. Schäben haben potenziell den größeren Einfluss als die Fasern und bereits kleine Abweichungen vom Standard beeinflussen die Wirtschaftlichkeit stark. Genau wie im Base Case hängt die Wirtschaftlichkeit vom erzielbaren Preis der Produkte ab.

Die Ergebnisse sind in grafischer Form in Abb. 9.5 enthalten.

## 4.4.5 Analyse (regional-)ökonomischer Effekte

Auch hier liegt der Fokus bei der Analyse (regional-)ökonomischer Effekte auf den Teil-Wertschöpfungsketten, die eindeutig dem ländlichen Raum zugeordnet beziehungsweise dort angesiedelt werden können (siehe Abschnitt 4.1.5). Mit Blick auf Hanffasern bedeutet dies, dass zwei Teil-Wertschöpfungsketten betrachtet wurden. Es handelt sich dabei um die Teil-Wertschöpfungskette Hanfanbau beziehungsweise -bereitstellung sowie die Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss. Die weitere Verarbeitung der Hanffasern zu Hanfvlies liegt außerhalb der für die ökonomische Analyse gesteckten Systemgrenzen und wurde hier nicht bewertet.

#### 4.4.5.1 Teil-Wertschöpfungskette Hanfbereitstellung

In Deutschland werden überwiegend französische oder polnische Hanf-Sorten angebaut, explizite Züchtungen für die Bedingungen in Deutschland gibt es nicht (Nowotny 2018). Bei der Wahl der Sorte ist entscheidend, was der Hauptfokus ist, der Lebensmittelbereich d. h. die Hanfsamen oder die stoffliche Nutzung d. h. das Hanfstroh. Denn ein hoher Samenertrag geht mit einem geringeren Faserertrag einher und umgekehrt. Eine gängige Sorte für den Schwerpunkt Fasernutzung ist USO 31. Eine Koppelnutzung der Samen und des Strohs erscheint jedoch in jedem Fall sinnvoll, da entsprechende Deckungsbeiträge im Faserhanfanbau erst erreicht werden, wenn sowohl die Samen als auch das Stroh abgesetzt werden können. Die Hanfnüsse vermarkten die Landwirte in der Regel selbst, beispielsweise an Ölmühlen, den stationären Handel oder Onlinevermarkter. Das Stroh wird in der Regel an Erstverarbeiter verkauft, welche die Vermarktung der Fasern und der Hanfschäben übernehmen. Der Anbau von Hanf ist nur bestimmten Unternehmen der Landwirtschaft<sup>8</sup> erlaubt. Für die Aussaat muss ausschließlich zertifiziertes Saatgut aus der im Anbaujahr gültigen Sortenliste der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) angebaut werden. Zudem müssen der Anbau und der Blühbeginn bei der BLE angezeigt werden (Cromm 2018).

Bei der Hanfbereitstellung sind der Anbau, die Ernte sowie der Transport relevante **Schritte**. Bei den Hanfsamen ist es zudem wichtig für die Vermarktung, diese nach der Ernte zu reinigen und zu trocknen.

Um die Daten für die Abbildung des Produktionsverfahrens Faserhanf im Modell zu gewinnen, wurde eine Befragung von Hanfanbauern durchgeführt. Zudem wurden weitere **Datenquellen** wie beispielsweise Hanffaser Uckermark (2018) und Vorträge im Rahmen der Witzenhäuser Hanftagung (Raasch 2018; Steger 2018) ausgewertet. Die für die Modellierung der Teil-Wertschöpfungskette getroffenen Annahmen zu den durchschnittlichen jährlichen Erträgen bei Hanfstroh und Hanfsamen sowie zu allgemeinen Kosten, die für den landwirtschaftlichen Betrieb für die bewirtschaftete Fläche anfallen sind in Tab. 9.6 im Anhang dargestellt. Sowohl bei den Annahmen zu den Erträgen als auch den nachfolgend aufgeführten Angaben zu Kosten und Erlösen, ist zu beachten, dass es sich um durchschnittliche Werte handelt, die teilweise auch aus unterschiedlichen Quellen stammen. Je nach Region, Betrieb aber auch bisherigen Erfahrungen mit dem Anbau von Hanf ist hier in der Praxis eine große Spannweite der Werte zu erwarten.

Die **Kosten des Produktionsverfahrens Faserhanf** summieren sich auf 1.327 Euro/ha. Wie Tab. 9.7 im Anhang zeigt, entfallen jeweils rund 34 Prozent der Kosten auf den Anbau und die Ernte. Der Transport hat einen Anteil von 12 Prozent und die Trocknung und Reinigung einen Anteil von 5 Prozent den Gesamtkosten. Die allgemeinen Kosten (Pacht und Gemeinkosten) abzüglich der Betriebsprämie summieren sich auf 15 Prozent der Kosten.

Der landwirtschaftliche Betrieb erzielt **Erlöse** zum einen durch die Vermarktung der Hanfsamen und zum anderen durch den Verkauf des Hanfstrohs. Entsprechend der in Tab. 9.6 dargestellten Annahmen zum Ertragsniveau und einem Verkaufserlös für die Samen von 110 Euro/dt im konventionellen beziehungsweise 200 Euro/dt im kontrolliert biologisch Anbau (kbA) sowie Verkaufserlösen für das Hanfstroh von 100 Euro/t ergeben sich die in Tab. 4.16 aufgeführten Erlöse pro Hektar.

<sup>8</sup> landwirtschaftliche Unternehmen i. S. des § 1 Abs. 4 des Gesetzes über die Alterssicherung der Landwirte (ALG), deren Betriebsflächen die in § 1 Abs. 2 ALG genannte (Cromm 2018).

Es wird deutlich, dass die Hanfsamen bei konventionellem Anbau rund die Hälfte der Erlöse ausmachen, beim ökologischen Hanfanbau sind es rund zwei Drittel. Aufgrund der unterschiedlichen Erlössituation und Unterschieden bei der Düngung beim konventionellen und beim biologischen Anbau werden im Modell **zwei Varianten des Faserhanfanbaus** unterschieden (konventionell / kbA).

**Tab. 4.16: Erlöse des Produktionsverfahrens Faserhanf**

Quelle: Befragung von Hanfanbauern, Hanffaser Uckermark (2018), Vorträge im Rahmen der Witzenhäuser Hanftagung (Raasch 2018; Steger 2018)

	<b>Erlöse</b> [Euro/ha]
Verkaufserlös Hanfstroh konventionell	700,00
Verkaufserlös Hanfsamen konventionell	660,00
Verkaufserlös Hanfstroh kbA	510,00
Verkaufserlös Hanfsamen kbA	1.200,00

**Gewinne, Einkommen und Beschäftigung, Steuern**

Die Ermittlung der Unternehmensgewinne, der Einkommen und Beschäftigung, als auch der gezahlten Steuern entlang der Wertschöpfungskette erfolgte nach der in Abschnitt 4.1.5 und 9.1 beschriebenen Methodik. Die Berechnung der nachfolgend dargestellten flächenspezifischen Effekte wurde mit einer für Deutschland und das Basisjahr 2016 angepassten Version des WeBEE-Modells durchgeführt.

**Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte**

Die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte von landwirtschaftlichen Anbaukulturen werden im WeBEE-Modell flächenspezifisch ermittelt. Das bedeutet, die spezifischen Effekte liegen in Form von Euro/ha beziehungsweise Vollzeitäquivalente/ha vor.

Die flächenspezifischen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Faserhanf mit konventioneller Anbauweise sind in Tab. 4.17 dargestellt. Die Ergebnisse für Faserhanf im kontrolliert biologischen Anbau in Tab. 4.18. Es wird deutlich, dass die Wertschöpfungseffekte im biologischen Anbau deutlich höher sind als im konventionellen Anbau. Dies liegt darin begründet, dass die Hanfsamen einen hohen Anteil an den Gesamterlösen haben und sich hier die Absatzpreise im ökologischen Landbau deutlich besser darstellen als bei konventioneller Anbauweise (siehe Tab. 4.16). Bei beiden Varianten erzielt der hanfanbauende landwirtschaftliche Betrieb die höchsten flächenspezifischen Wertschöpfungseffekte. Auch fallen hier die höchsten Beschäftigungseffekte in Form von Vollzeitäquivalenten an. Da es sich bei Hanf um eine annuelle Feldkultur handelt, fallen die Effekte in jedem Jahr der Flächenbewirtschaftung an.

**Tab. 4.17: Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Faserhanf (konventionell) nach Wertschöpfungsbestandteilen**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW

Wertschöpfungsschritt	Nach-Steuer-Gewinne	Netto-Einkommen	Steuern an die Kommunen	WS Kommunale Ebene	WS Länder-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäftigungseffekte
	[Euro/ha]						
Produktionsverfahren Faserhanf	26,4	78,2	4,4	109,0	120,8	182,7	0,00252
Schneiden und Mähdrusch (Dienstleistung)	4,9	12,4	0,8	18,1	20,2	30,3	0,00037
Pressen (Dienstleistung)	5,2	12,4	0,8	18,4	20,5	30,6	0,00037

**Tab. 4.18: Flächenspezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte des Produktionsverfahrens Faserhanf (kbA) nach Wertschöpfungsbestandteilen**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW.

Wertschöpfungsschritt	Nach-Steuer-Gewinne	Netto-Einkommen	Steuern an die Kommunen	WS Kommunale Ebene	WS Länder-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäftigungseffekte
	[Euro/ha]						
Produktionsverfahren Faserhanf	379,2	78,2	12,6	470,0	498,0	553,3	0,00252
Schneiden und Mähdrusch (Dienstleistung)	4,9	12,4	0,8	18,1	20,2	30,3	0,00037
Pressen (Dienstleistung)	5,2	12,4	0,8	18,4	20,5	30,6	0,00037

#### 4.4.5.2 Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss

Der Prozess des Hanffaseraufschlusses ist mit Blick auf eine ländliche Bioökonomie und die damit verbundenen regionalökonomischen Potenziale für den ländlichen Raum interessant, da die Nutzung des Hanfstrohs aufgrund des hohen Transportwiderstands des Strohs eine regionale Aufbereitung, d. h. eine Verarbeitung des Hanfstrohs in der gleichen Region, in welcher der Hanfanbau erfolgt, notwendig macht (vgl. Steger 2018; Nowotny 2018).

**Datengrundlage** für die Modellierung der Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss und deren Abbildung im WeBEE-Modell ist die Befragung eines Betreibers einer Hanffaseraufschlussanlage. Dafür wurden Daten zu technischen Parametern, zu Investitions- und Betriebskosten sowie Angaben zum Anlagenbetrieb und Erlösen bei dem Anlagenbetreiber erhoben. Teilweise wurden Literaturwerte herangezogen, um Datenlücken zu schließen. Ergebnis der Berechnungen sind je Wertschöpfungskette die spezifischen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Hanffaseraufschlussanlage pro Tonne produzierter Hanffasern. Auf dieser Basis kann eine Hochrechnung für fiktive Beispielprojekte beziehungsweise fiktiven Beispielregionen und Deutschland erfolgen (siehe Kapitel 5). Die technischen Parameter der Hanffaseraufschlussanlage für die derzeitige Auslegung der Hanffaseraufschlussanlage zeigt Tab. 9.8 im Anhang.

Die Neu-Modellierung und Integration der Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss in das WeBEE-Modell erfolgte für zwei **Szenarien**. Das „Base-Case“-Szenario bildet die Auslegung und die gemessenen Input- und Output-Flüsse der Anlage mit Stand 2016 ab. Zusätzlich dazu wird ein Szenario im Modell abgebildet, bei dem zum einen eine Steigerung des Jahresdurchsatzes erreicht wird und zum anderen niedrigere Rohstoffkosten sowie eine verbesserte Erlössituation gegeben ist („Szenariobetrachtung“).

Zentrale Komponenten einer Hanffaseraufschlussanlage sind Ballenwaage und -öffner, Magnetabscheider, Hammermühle, Faserselektor, Feinöffner, Stufenreiniger, Faserpresse, Duvex und Trommelsieb werden gröbere Schäben nochmals gesiebt (siehe Abschnitt 4.4.1). Lagerkapazitäten sind sowohl für den Rohstoff, d. h. das Hanfstroh als auch die Produkte (Hanffaserballen, Hanfschäben) erforderlich. Die Betreibergesellschaft der Aufschlussanlage hat damals nicht in neue Anlagentechnik investiert, sondern Anlagenteile einer insolventen Hanfaufbereitungsanlage übernommen und weiterentwickelt. Aus diesem Grund sind die hier angesetzten **Investitionskosten** voraussichtlich nicht repräsentativ für die Neuinvestition in eine Aufschlussanlage und die heutige Preissituation. Angaben zu aktuellen Investitionskosten einer Faseraufschlussanlage konnten über eine Auswertung der Fachliteratur nicht ermittelt werden. Es liegen lediglich Daten mit Veröffentlichungsdatum 2003 und 2008 vor. Carus et al. (2008) führen für eine Hanf-Wirrfaserlinie mit einer Verarbeitungskapazität von rund 6.600 t/a Hanfstroh Investitionskosten von insgesamt 4,4 Mio. Euro an, was einer spezifischen Investition von rund 665 Euro/t Hanfstroh entspricht. Ähnlich sind die Angaben von Graf und Reinhold (2003), die bei einer Verarbeitungskapazität von 6.400 t/a Hanfstroh und einer Gesamtinvestition von 4,5 Mio. Euro eine spezifische Investition von rund 700 Euro/t verarbeitetes Hanfstroh ergeben. Aus den Angaben des Anlagenbetreibers ergeben sich spezifische Investitionskosten von rund 815 Euro/t Hanfstroh. Dieser Wert liegt deutlich über den Literaturwerten, jedoch ist aufgrund der unterschiedlichen Verarbeitungskapazitäten der Anlagen keine Vergleichbarkeit gegeben. Gegenüber der hier betrachteten Anlage mit einem Jahresdurchsatz von 500 t/a Hanfstroh, sind bei den in der Literatur aufgeführten Beispielen Skaleneffekte aufgrund der deutlich höheren Verarbeitungskapazität zu erwarten. Bezüglich der baulichen Anlagen wurde angenommen, dass bestehende Gebäude auf dem Betriebsgelände für die Lagerung der Rohstoffe (Hanfstroh) und der Produkte (Schäben und Hanffaserballen) benutzt werden können. Aufwendungen für die Planung und Installation der Aufschlussanlage konnten über die Befragung nicht ermittelt werden.

Für den Betrieb der Faseraufschlussanlage fallen Aufwendungen für den Rohstoff Hanfstroh, elektrische Energie, Personal für den Anlagenbetrieb und die Verwaltung sowie Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an. Zudem entstehen Kosten für die Versicherung und die Finanzierung mit Fremdkapital. Bei einem Jahresdurchsatz von 500 t/a Hanfstroh im Jahr 2016 summieren sich die **Betriebskosten in einem durchschnittlichen Betriebsjahr** auf knapp 195.000 Euro, was knapp 1.500 Euro/t und Jahr entspricht (siehe Tab. 9.9 im Anhang).

Hauptprodukt des Faseraufschlussverfahrens sind Hanffasern; Koppelprodukt des Verfahrens sind Hanfschäben. Die produzierten Fasern werden vorrangig zu NFK für die Automobilzuliefererindustrie verarbeitet. Die Hanfschäben werden als Tiereinstreu und als Baustoffe vermarktet. Auch wenn der **Erlös** pro Tonne Produkt bei den Hanffasern mit 630 Euro/t deutlich höher liegt als der erzielbare Erlös für Hanfschäben (je nach Abpackung und Vermarktungsweg zwischen 250 und 450 Euro/t), ist die Vermarktung der Schäben zentral für die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Denn die Schäben fallen gegenüber den Hanffasern in einem Verhältnis von 2:1 an und die Absatzmärkte sind nur teilweise vorhanden. Für die Berechnungen wurde bei den Hanfschäben ein durchschnittlicher Erlös von 350 Euro/t für Schäben angenommen.

Die **Ermittlung der Unternehmensgewinne, der Einkommen und Beschäftigung, als auch der gezahlten Steuern entlang der Wertschöpfungskette** erfolgte nach der in Abschnitt 4.1.5 und 9.1 beschriebenen Methodik. Die Berechnung der nachfolgend dargestellten spezifischen Effekte wurde mit einer für Deutschland und das Basisjahr 2016 angepassten Version des WeBEE-Modells durchgeführt.

Für die Ermittlung der einmaligen Effekte durch die Herstellung von Anlagenkomponenten, die Errichtung baulicher Anlagen und die Planung und Installation der Aufschlussanlage fehlte es an einer vollständigen und konsistenten Datengrundlage. Die Befragung des Anlagenbetreibers lieferte hierzu aufgrund der speziellen Situation durch die Übernahme einer bestehenden Anlage beziehungsweise Teilen davon keine belastbaren Ergebnisse. Auch konnte diese Datenlücke nicht mittels Literaturangaben zu Kosten und Kostenstrukturen geschlossen werden, da kaum Literaturwerte dazu vorliegen und die wenigen Analysen dazu schon viele Jahre zurückliegen. Aufgrund der schlechten Datengrundlage erfolgte keine Abbildung der einmaligen Effekte durch den Hanffaseraufschluss im WeBEE-Modell. Wie in Abschnitt 4.1.4 beschrieben, handelt es sich bei der Herstellung von Anlagenkomponenten, der Errichtung von baulichen Anlagen und der Planung und Installation um einmalige Effekte, die zu Beginn der Anlagenlebensdauer anfallen. Auch sind zumindest die Effekte der Herstellung von Komponenten oftmals regional nicht relevant, da die Produzenten der Anlagentechnik auf wenige Standorte begrenzt und in den meisten Fällen nicht in der Region ansässig sind, in der die Anlage errichtet wird.

Die Stufen des Anlagenbetriebs und der Betreibergewinne umfassen dagegen Effekte, die jährlich über die gesamte Anlagenlaufzeit entstehen. Tab. 4.19 zeigt die **spezifischen Ergebnisse pro Tonne erzeugter Hanffasern** in den Wertschöpfungsstufen Anlagenbetrieb und Wartung und Betreibergewinne. Der Wertschöpfungsschritt für den Bezug des Rohstoffs Hanfstroh wurde hier nicht mit abgebildet, da die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte im Zusammenhang mit der Bereitstellung des Hanfstrohs über die Teil-Wertschöpfungskette Hanfanbau ermittelt werden (siehe Abschnitt 4.4.5.1). Es zeigt sich, dass auf die Position Personal (Bedienung der Anlage und Verwaltung) die mit Abstand höchsten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in der Stufe Anlagenbetrieb und -wartung entfallen (knapp 65 Prozent der Wertschöpfung und zwei Drittel der Vollzeitäquivalente). 16 Prozent der Effekte werden durch die Wartung und Instandsetzung generiert, wovon ein Großteil auf den personellen Aufwand für die Wartung und Reinigung der Aufschlussanlage entfällt (14 Prozent). Während das Betriebspersonal, welches auch die Wartungs- und Reinigungsarbeiten durchführt, in der Regel vor Ort ansässig ist und die Effekte demnach am Anlagenstandort zu verorten sind, ist dies bei den Effekten durch die Ersatzinvestitionen aller Voraussicht nach nicht der Fall, da – wie oben erläutert – die Hersteller von Komponenten auf wenige Produktionsstandort begrenzt sind. Mit der derzeitigen Produktionsmenge und den erzielbaren Erlösen ist aktuell kein wirtschaftlicher Betrieb der Faseraufschlussanlage möglich. Aus diesem Grund sind in Tab. 4.19 keine Betreibergewinne ausgewiesen. Die Wirtschaftlichkeit des Hanffaseraufschlusses ist Voraussetzung für die Generierung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten. Zwar ist

auch ein verlustreicher Anlagenbetrieb grundsätzlich mit Wertschöpfung und Beschäftigung verbunden (bspw. durch die Beschäftigten für den Anlagenbetrieb und deren Einkommen und darauf gezahlten Steuern). Mittel- bis langfristig ist der Beitrag zur regionalen Wirtschaftsleistung jedoch als gering einzuschätzen.

**Tab. 4.19: Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte Hanffaseraufschlussanlage nach Wertschöpfungsbestandteilen – jährliche Effekte „Base Case“**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW; Erläuterung: Jahresproduktionsmenge 130 t Hanffasern; angegeben sind spezifische Ergebnisse in Euro pro t Hanffasern

Wertschöpfungsschritt	Nach-Steuer-Gewinne	Netto-Einkommen	Steuern an die Kommunen	WS Kommunale Ebene	WS Länder-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäftigungseffekte
	[Euro/t <sub>atro</sub> *Jahr]						[VZÄ/t <sub>atro</sub> *Jahr]
<b>Wertschöpfungsstufe Anlagenbetrieb und -wartung</b>							
Strombedarf	7,6	6,3	1,7	15,6	17,7	23,6	0,000161
Wartung und Instandhaltung	3,7	92,0	4,0	99,7	109,6	175,7	0,003444
davon Personal	0,0	79,1	2,7	81,8	89,5	145,5	0,003077
davon Produktion Ersatzmaterial	3,7	12,9	1,3	17,8	20,1	30,2	0,000367
Personal (Bedienung und Verwaltung)	0,0	372,4	12,9	385,3	422,0	687,0	0,014300
Versicherung	0,4	0,5	0,1	1,0	1,2	1,7	0,000012
Fremdkapitalfinanzierung	2,1	0,1	0,3	2,6	2,8	3,0	0,000003
<b>Wertschöpfungsstufe Betreibergewinne</b>							
Betreiber-gewinne	-	-	-	-	-	-	-

Eine Möglichkeit, die wirtschaftliche Situation der Hanffaseraufschlussanlage zu verbessern, wäre eine Steigerung der Produktionsmenge. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Analysen. So weisen beispielsweise Carus et al. (2008) darauf hin, dass die Wirtschaftlichkeit bei Faseraufschlussanlagen wesentlich vom realisierten Jahresdurchsatz abhängt, da bei den kleineren Anlagen hohe Investitions- und Personalkosten einem vergleichsweise geringen Durchsatz gegenüberstehen. Eine zentrale Voraussetzung für eine Erhöhung der Produktionsmenge ist jedoch, dass sowohl für die Hanffasern als auch für das Koppelprodukt Schäben entsprechende Absatzpotenziale vorhanden sind. Denn insbesondere bei den Schäben sind die Absatzmöglichkeiten geringer,

aufgrund der gegenüber den Fasern hohen Produktionsmenge aber eine ähnlich wichtige Erlösquelle (vgl. Graf und Reinhold 2003).

Weitere Einflussgrößen für die Wirtschaftlichkeit der Anlage sind die Rohstoffkosten für das Hanfstroh und die Erlöse für die produzierten Hanffasern und das Koppelprodukt Schäben (siehe Abschnitt 4.4.4). Jedoch sind sowohl Kostensenkungen beim Hanfstroh als auch einem höheren Preisniveau bei den Produkten Grenzen gesetzt. Der Anbau von Hanf wird nur dann stattfinden, wenn die hanfanbauenden Betriebe mit den Erlösen für das Stroh in Kombination mit den Erlösen für die Samen einen ausreichend hohen Deckungsbeitrag erzielen. Ein gewisser Spielraum ergibt sich hier gegebenenfalls durch die derzeit gute Preissituation bei den Hanfsamen, insbesondere aus biologischen Anbau. Die Hanffasern stehen zum einen im Wettbewerb mit anderen Naturfasern beziehungsweise importierten Hanffasern aus anderen Erzeugerländern wie beispielsweise Frankreich und den Niederlanden, in denen der Hanfanbau und die -verarbeitung bereits deutlich breiter etabliert sind. Auch stehen die Produkte wie beispielsweise Dämmstoffe in Konkurrenz zu anderen biobasierten Dämmstoffen beziehungsweise konventionellen Varianten.

Vor diesem Hintergrund wurde im Modell eine Hanffaseraufschlussanlage abgebildet, bei der zum einen eine Steigerung des Jahresdurchsatzes erreicht wird und zum anderen niedrigere Rohstoffkosten sowie eine verbesserte Erlössituation gegeben ist, so dass ein wirtschaftlicher Betrieb der Faseraufschlussanlage möglich ist. In dieser **Szenariobetrachtung** wurde angenommen, dass der jährliche Durchsatz auf 800 t Hanfstroh gesteigert werden kann. Damit ergibt sich eine Produktionsmenge von knapp 210 t Hanffasern und 420 t Schäben pro Jahr. Für eine Steigerung des Jahresdurchsatzes und damit der Jahresproduktionsmenge an Hanffasern und dem Koppelprodukt Hanfschäben sind zusätzliche Investitionen notwendig, um die Anlagen technisch aufzurüsten und zusätzliche Lagerkapazitäten zu schaffen. Bezüglich der Rohstoffkosten wurde angenommen, dass das Hanfstroh für 90 Euro/t bezogen werden kann. Bei den Erlösen wurde insbesondere bei den Schäben eine deutliche Preissteigerung unterstellt (420 Euro/t), die Hanffasern können in diesem Szenario für 640 Euro/t abgesetzt werden. Mit den geschilderten Annahmen ergeben sich die Tab. 4.20 dargestellten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte pro Tonne produzierter Hanffasern.

**Tab. 4.20: Spezifische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte Hanffaseraufschlussanlage nach Wertschöpfungsbestandteilen – jährliche Effekte Szenariobetrachtung**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW; Erläuterung: Jahresproduktionsmenge 208 t Hanffasern; angegeben sind spezifische Ergebnisse in Euro pro t Hanffasern

Wertschöpfungs-schritt	Nach-Steuer-Ge-winne	Netto-Ein-kom-men	Steuern an die Kommu-nen	WS Kom-munale Ebene	WS Länder-ebene	WS Bundes-ebene	Beschäfti-gungs-effekte
	[Euro/ $t_{atro}$ *Jahr]						[VZÄ/ $t_{atro}$ *Jahr)
<b>Wertschöpfungsstufe Anlagenbetrieb und -wartung</b>							
Strombedarf	6,16	5,14	1,40	12,70	14,39	19,16	0,000131
Wartung und Instandhaltung	3,22	62,75	2,91	68,88	75,85	121,18	0,002324
davon Personal	0,00	51,50	1,76	53,27	58,26	94,73	0,002003
davon Produktion Ersatzmaterial	3,22	11,25	1,15	15,62	17,60	26,46	0,000321
Personal (Bedienung und Verwaltung)	0,00	292,50	10,13	302,63	331,32	539,29	0,011261
Versicherung	0,25	0,31	0,08	0,64	0,77	1,09	0,000008
Fremdkapital-finanzierung	2,13	0,12	0,35	2,61	2,76	2,96	0,000003
<b>Wertschöpfungsstufe Betreibergewinne</b>							
Betreiberge-winne	3,06	0,00	0,04	3,09	3,40	3,70	-

## 5 Szenarienbasierte Hochrechnung der ökonomischen Effekte für fiktive Beispielprojekte/-regionen und Deutschland

Mit dem WeBEE-Modell des IÖW werden für jede der betrachteten Wertschöpfungsketten die spezifischen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte bezogen auf eine Einheit (z. B. bezogen auf eine Gewichtseinheit bereitgestellte Biomasse oder produziertes Produkt für die stoffliche Nutzung beziehungsweise die installierte Leistung bei der energetischen Nutzung etc.) berechnet. Diese spezifischen Effekte, wie in Kapitel 4 für die betrachteten Wertschöpfungsketten dargestellt, haben wenig Aussagekraft bezüglich der ökonomischen Potenziale für eine Region. Auf Grundlage der spezifischen Ergebnisse ist grundsätzlich eine Hochrechnung der Effekte mit Hilfe der Angaben zu den Stoffströmen und – bei Betrachtung der regionalen Ebene – Annahmen zur regionalen Verortung von Unternehmen und Investoren entlang der Wertschöpfungsketten möglich. Nachfolgend werden die Vorgehensweise sowie die Ergebnisse der szenarienbasierten Hochrechnung der ökonomischen Effekte die regionale und nationale Ebene beschrieben.

### 5.1 Berechnungen für fiktive Projekte / Beispielregionen

#### 5.1.1 Vorgehensweise

Um die möglichen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in einer Region im ländlichen Raum zu veranschaulichen, wurde eine Hochrechnung für **fiktive Beispielprojekte beziehungsweise fiktive Beispielregionen** durchgeführt.

Von einer Untersuchung konkreter Regionen wurde im Rahmen des Vorhabens „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ abgesehen, da die Untersuchung konkreter Regionen mit einem vergleichsweise hohen Aufwand für die Ermittlung von Eingangsdaten für die Modellierung verbunden ist und mit Hilfe von fiktiven Beispielregionen unterschiedliche Regionstypen mit charakteristischen Merkmalen beziehungsweise Kennwerten adressiert werden können.

Wie oben beschrieben, sind zentrale **Eingangsdaten für die Berechnung** der regionalökonomischen Effekte zum einen die Stoffströme und zum anderen Annahmen zur regionalen Verortung von Unternehmen und Investoren entlang der Wertschöpfungskette. Für die Wertschöpfungsketten Herstellung von Papier und Kartonagen aus Gras und Pflanzenfasern (Hanf) für Dämmstoffe und naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) wurde eine Hochrechnung für ein Anlagenkonzept vorgenommen. Die **Stoffströme** leiten sich hier von der möglichen Produktionskapazität der Verarbeitungsanlagen und der damit einhergehenden Bereitstellung von Biomasse ab. Im Fall der Gärrestaufbereitung zu Düngemitteln und Fasern erfolgte eine Hochrechnung für eine fiktive Beispielregion. Dazu wurden Annahmen zur Zahl beziehungsweise installierten Leistung der Biogasanlagen und dem damit verbundenen Anfall an Gärresten getroffen.

Allein die Kenntnis der zukünftigen Verarbeitungskapazitäten und der Biomassebereitstellung in einer Region reicht jedoch nicht aus, um die Wertschöpfung und Beschäftigung in einer Region zu ermitteln. Denn die regionalökonomischen Effekte durch eine Koppel- und Kaskadennutzung von Biomasse werden zu einem überwiegenden Anteil durch die in der Region ansässigen Unternehmen, ihre Beschäftigten und die Investorinnen und Investoren der Verarbeitungsanlagen generiert.

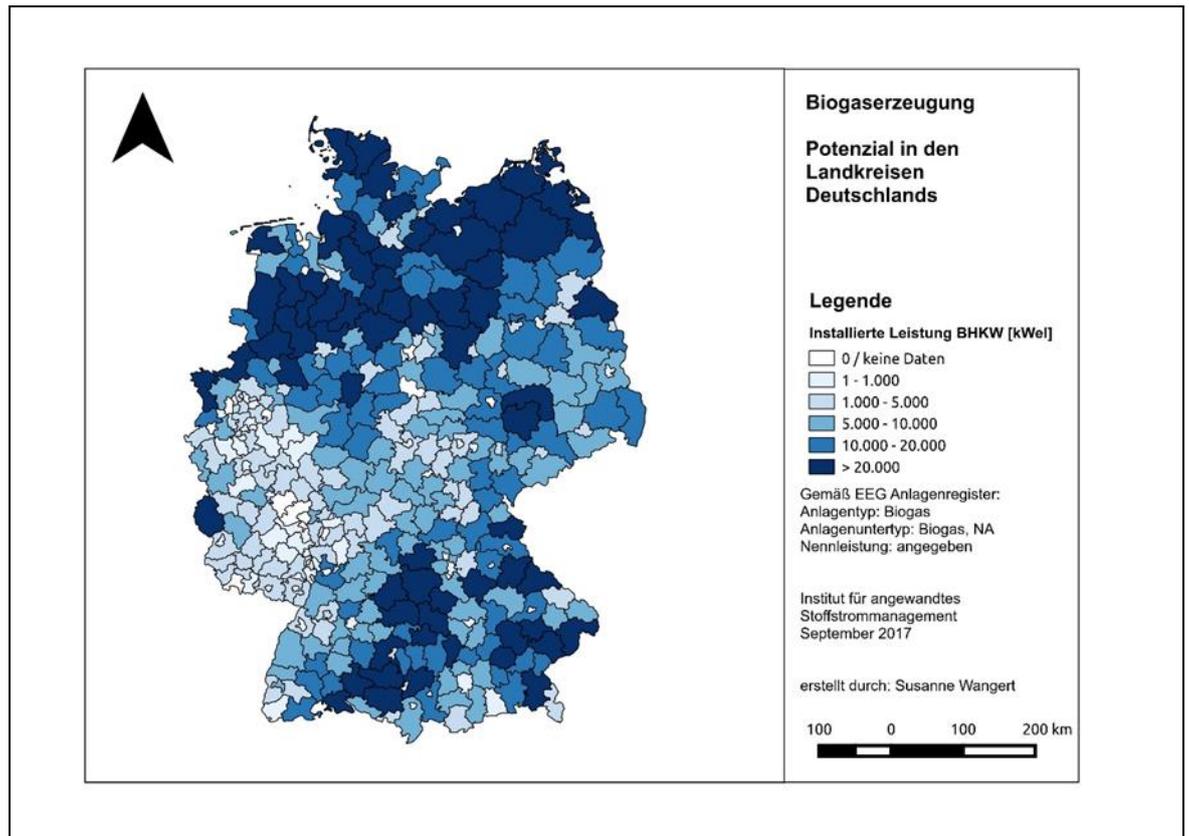
Die **regionale Ansässigkeit von Akteuren entlang der Wertschöpfungskette** von der Biomassebereitstellung über die Erst- und Weiterverarbeitung der biobasierten Rohstoffe spielt somit eine zentrale Rolle bei der Bestimmung des Wertschöpfungsanteils, der in der Region verbleibt. Dies gilt insbesondere für die Hersteller von Anlagen und Komponenten, so dass für die Beispielrechnungen auf regionaler Ebene nur die Effekte in den Stufen Planung und Installation, Anlagenbetrieb und Wartung ausgewiesen werden. Für diese Stufen wurden für die betrachteten Beispielfälle Annahmen zur regionalen Ansässigkeit der Akteure entlang der Wertschöpfungskette getroffen. Diese basieren auf der Erfahrung aus früheren Regionalstudien, dem Austausch mit den Praxispartnern sowie Erkenntnissen aus den Praxis-Workshops.

## 5.1.2 Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung

Das Verfahren zur Aufbereitung von Gärresten kann grundsätzlich an bestehende Biogasanlagen angedockt werden. Nach Angabe des Anlagenbetreibers der Pilotanlage kann das Verfahren aufgrund von Skaleneffekten aktuell an Biogasanlagen mit einer Leistung von 1 MW<sub>el</sub> und mehr angekoppelt werden. Biogasanlagen mit einer installierten Leistung von 1 MW und darüber hinaus machen jedoch nur einen kleinen Teil der in Deutschland insgesamt installierten Leistung aus. Die Mehrzahl der Biogasanlagen liegt im Leistungsbereich 150 bis 1.000 kW<sub>el</sub> (Daniel-Gromke et al. 2017; Hoffstede et al. 2018). Zukünftig ist es auch denkbar, eine zentrale Aufbereitungsanlage für einen Zusammenschluss mehrerer kleinerer Anlagen in einer Region zu betreiben, wengleich hohe Logistikkosten hierbei noch eine Herausforderung darstellen.

Die regionalen Potenziale für eine Gärrestaufbereitung und die Faserproduktion können auf Basis der installierten elektrischen Leistung der Blockheizkraftwerke der Biogasanlagen und der sich daraus ergebenden Menge an anfallenden Gärresten abgeleitet werden. Wie Abb. 5.1 und Abb. 5.2 zeigen, ist hier insbesondere in Nord- und Süddeutschland ein großes Potenzial vorhanden. Für die Abschätzung der Gärrestpotenziale anhand der installierten Leistung wurden Daten der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e. V. (DGS) aus dem Bezugsjahr 2016 verarbeitet (DGS 2015). Die Abbildungen liefern einen ersten Anhaltspunkt für Regionen mit hohem Gärrestpotenzial. Um noch genauere Aussagen zu den regional vorhandenen Potenzialen treffen zu können, müssen Akteure im jeweiligen Gebiet befragt und konkrete Daten zu den vor Ort vorhandenen Biogasanlagen und dem Gärrestaufkommen erhoben werden. Dies ist im Rahmen des Vorhabens aufgrund des erheblichen Aufwands jedoch nicht erfolgt.

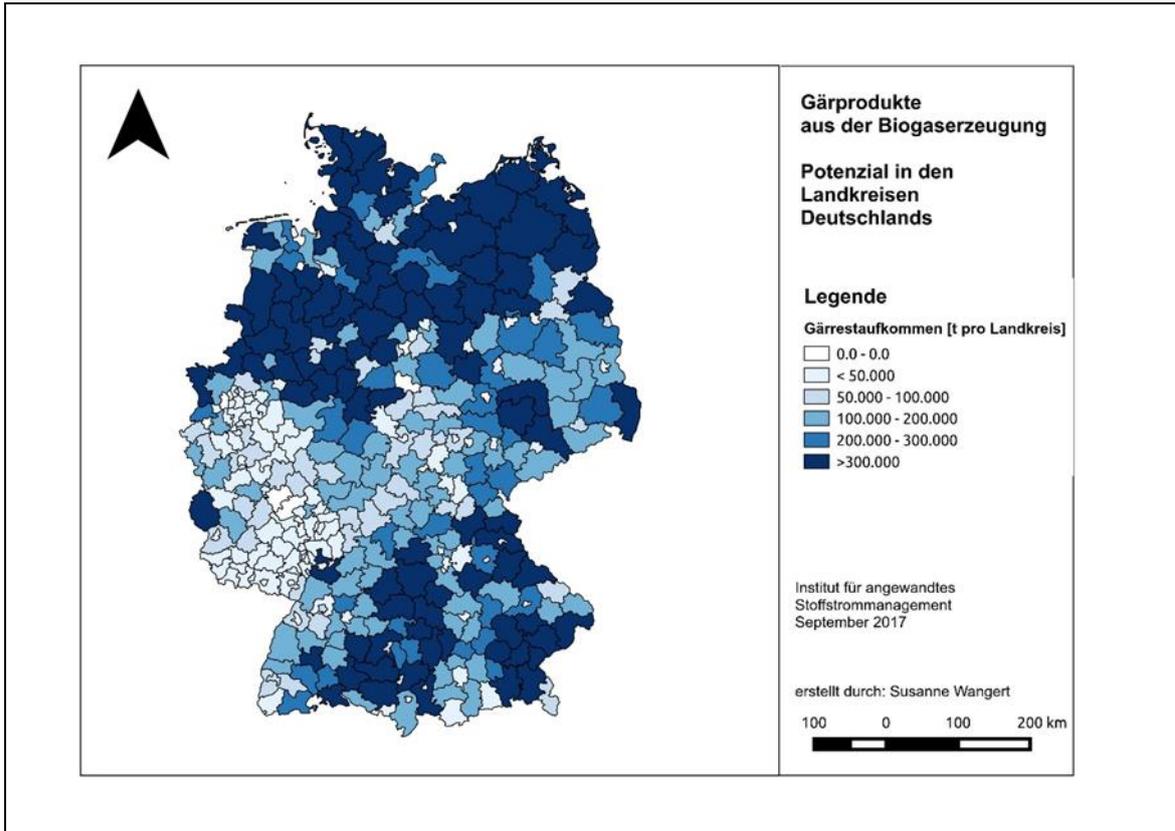
Neben dem Bestand an Biogasanlagen ist auch die Frage der Nährstoffsituation in dem betrachteten Gebiet ein relevanter Faktor für die Eignung einer Region für das Gärrestaufbereitungsverfahren. Denn gerade in Regionen mit Nährstoffüberschüssen ist eine Aufkonzentration der Nährstoffe durch die Erzeugung höherwertiger Düngemittel und in der Folge eine Erhöhung der Transportwürdigkeit eine interessante Option. Hohe Nährstoffüberschüsse sind in der Regel in landwirtschaftlichen Veredelungsregionen mit hoher Viehbesatzdichte vorhanden. Beispielhaft für Veredelungsregionen, die zugleich auch eine hohe Biogasanlagendichte ausweisen, können hier die Kreise Emsland / Vechta-Cloppenburg, Donau-Ries oder Bitburg-Prüm genannt werden. Auch Regionen mit großen Landwirtschaftsbetrieben, in denen größere Biogasanlagen und Tierbestände an einem Standort vereint sind, sind für einen Einsatz der Technologie potenziell geeignet. Stellvertretend für viele Regionen vor allem im Osten Deutschlands sind hier etwa die Kreise Uckermark und Barnim (entsprechend dem UNESCO-Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin) zu nennen.



**Abb. 5.1: Potenzialkarte Gärrestfasern anhand der installierten Leistung**

Quelle: eigene Darstellung IfaS (Datenquelle DGS (2015))

Für die Hochrechnung der regionalen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte wird von einer Veredelungsregion ausgegangen und folgende weitere Annahmen für die fiktive Beispielregion getroffen: das Verfahren zur Gärrestaufbereitung wird an fünf Biogas-Bestandsanlagen mit einer installierten Leistung größer 1 MW<sub>el</sub> pro Anlage angekoppelt. In Summe beträgt die installierte elektrische Leistung 7,4 MW<sub>el</sub>. Es wird weiterhin angenommen, dass die Biogasanlagen bisher lediglich einen geringen externen Wärmenutzungsgrad aufweisen und die Entfernung zu potenziellen Abnehmern der produzierten Gärrestfasern nicht mehr als 200 km beträgt. Bei der Hochrechnung wurde entsprechend dem Szenario „Ausbeute+“ eine Gärrestaufbereitungsanlage mit einer höheren Ausbeute gegenüber der derzeitigen Betriebsweise der Pilotanlage unterstellt (siehe Abschnitt 4.2.5.2). Damit ergibt sich für die fiktive Beispielregion eine produzierte Menge an Gärrestfasern von knapp 6.400 t<sub>atro</sub>.



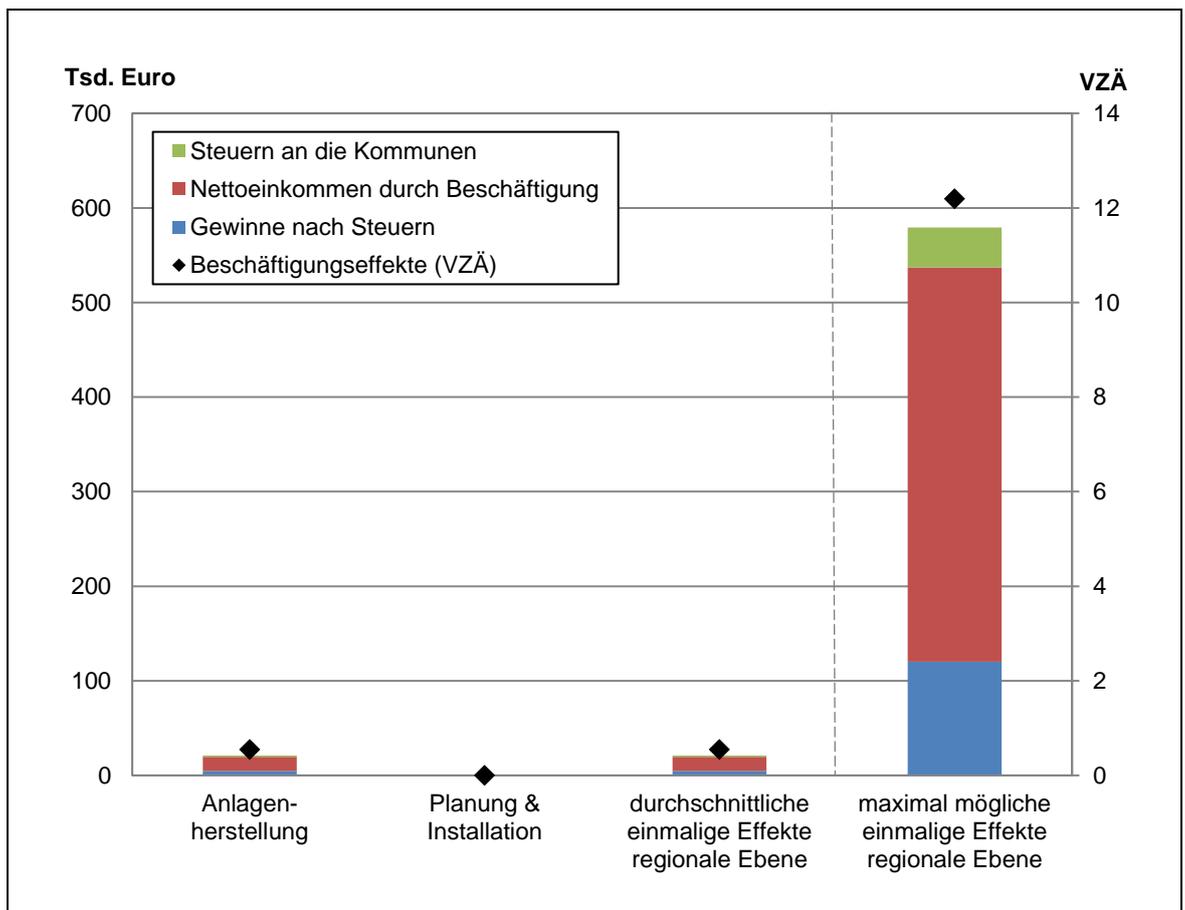
**Abb. 5.2: Potenzialkarte Gärrestfasern anhand des Gärrestaufkommens**

Quelle: eigene Darstellung IfaS (Datenquelle DGS (2015))

Die beispielhafte **Ermittlung der regionalen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte** für Verfahren zur Aufbereitung von Gärresten aus der Biogaserzeugung basiert auf den oben dargestellten Annahmen zur installierten Leistung der Biogasanlagen sowie der Produktionsmenge an Gärrestfasern. Weiterhin fließen Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen / Gesellschafterinnen und Gesellschaftern entlang der Wertschöpfungskette in die Berechnungen mit ein, diese sind im Anhang in Tab. 9.10 und Tab. 9.11 dargestellt. Die Berechnung erfolgte mit einer für Deutschland und das Basisjahr 2016 angepassten Version des WeBEE-Modells.

Mit den oben dargestellten Annahmen ergeben sich für die beispielhafte Betrachtung der Biogaserzeugung mit angekoppeltem Gärrestaufbereitungsverfahren in einer Region **einmalige Wertschöpfungseffekte von 21.000 Euro** und **jährliche regionale Effekte in Höhe von knapp 1,2 Mio. Euro**. Mit der generierten Wertschöpfung ist ein **Beschäftigungseffekt von 5,9 VZÄ** verbunden, wovon 0,5 VZÄ einmalige Effekte in Verbindung mit der Planung und Installation der Aufbereitungsanlage sind und 5,4 VZÄ jährliche Effekte durch den Betrieb der Biogas- und Gärrestaufbereitungsanlage. Die **maximal mögliche Wertschöpfung** zeigt im Vergleich, welche Effekte zu erwarten wären, wenn alle Wertschöpfungsschritte inkl. der Herstellung von Komponenten für die Gärrestaufbereitungsanlage in der Region angesiedelt wären. In Summe ergibt sich hier ein Betrag von rund 0,6 Mio. Euro bei den einmaligen und rund 1,9 Euro bei den jährlichen Effekten sowie eine Zahl von 23,3 Vollzeitäquivalenten (12,2 Vollzeitäquivalente durch Herstellung, Planung und Installation der Gärrestaufbereitungsanlage sowie 11,1 Vollzeitäquivalente durch den Betrieb der Anlagen).

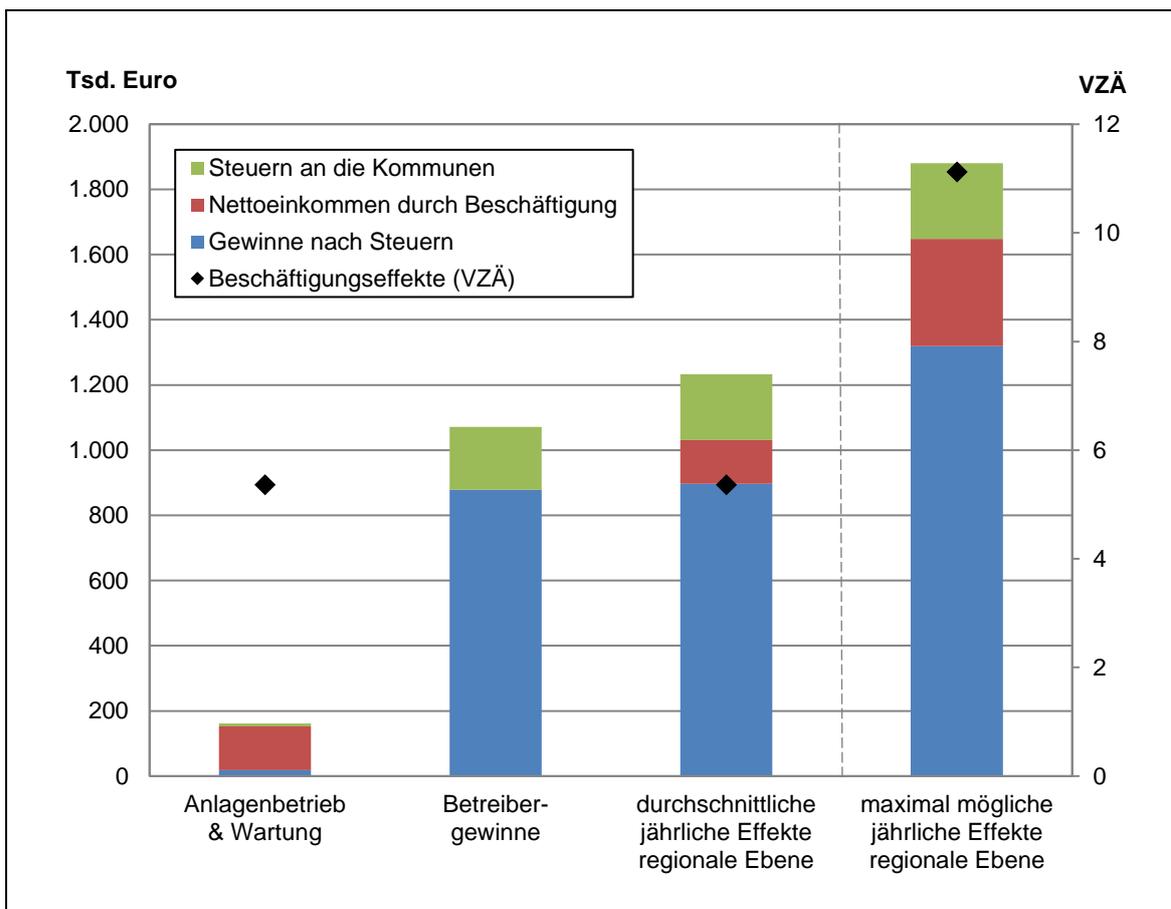
Abb. 5.3 zeigt die **einmaligen Effekte** durch die Anlagenherstellung sowie die Planung und Installation differenziert nach Wertschöpfungsbestandteilen. Es werden die regionale Wertschöpfung mit den oben genannten Annahmen zur regionalen Ansässigkeit entlang der Wertschöpfungskette und die theoretisch maximal mögliche Wertschöpfung auf regionaler Ebene vergleichend gegenübergestellt. Die Abbildung zeigt eine erhebliche Differenz zwischen der durchschnittlich zu erwartenden Wertschöpfung in der fiktiven Beispielregion und der maximal möglichen regionalen Wertschöpfung. Bei der maximal möglichen Wertschöpfung und Beschäftigung ist ein Großteil der Effekte (rund 80 Prozent) auf die Herstellung von Anlagenkomponenten und rund 10 Prozent auf die Planung und Installation der Anlage zur Gärrestaufbereitung zurückzuführen. Für diese Schritte wurde bei der Berechnung der durchschnittlichen regionalen Wertschöpfung und Beschäftigung angenommen, dass die Komponenten von Unternehmen außerhalb der betrachteten Region bezogen werden, da Standorte von Herstellungsunternehmen nur in wenigen Regionen vorhanden sind. Da es sich bei der Technologie um ein vergleichsweise neues Verfahren handelt, ist auch bei der Planung und Installation von spezialisierten Unternehmen auszugehen, so dass die regionalökonomischen Effekte dieser Schritte ebenfalls nicht der Region zuzuordnen sind, in der die Anlage steht. Die Wertschöpfung und Beschäftigung auf regionaler Ebene ist somit im Wesentlichen auf die Errichtung baulicher Anlagen zurückzuführen.



**Abb. 5.3: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung der Biogaserzeugung mit Gärrestaufbereitung in einer fiktiven Beispielregion, einmalige Effekte (Basisjahr 2016)**

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IÖW

Nachfolgende Abbildung zeigt **die jährlichen Effekte** für die Biogaserzeugung mit angekoppelter Gärrestaubbereitung für ein durchschnittliches Betriebsjahr. Der Unterschied zwischen den Effekten in einer durchschnittlichen Region und der maximal möglichen Wertschöpfung und Beschäftigung auf regionaler Ebene ist hier deutlich geringer. Auf der Stufe Anlagenbetrieb und Wartung trägt vor allem das Personal für die Bedienung und die Verwaltung der Anlagen sowie in geringerem Maße auch die Beteiligung lokaler Unternehmen und Banken an der Wartung und Instandsetzung zur Generierung von Effekten auf regionaler Ebene bei. Von der regionalen Wertschöpfung in Höhe von 1,2 Mio. Euro entfallen rund 85 Prozent auf den Betrieb der Biogasanlage, bei der Beschäftigung sind es rund 60 Prozent der insgesamt 5,4 Vollzeitäquivalente.



**Abb. 5.4: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung der Biogaserzeugung mit Gärrestaubbereitung in einer fiktiven Beispielregion, jährliche Effekte (Basisjahr 2016)**

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IÖW

Welche Bedeutung der regionalen Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Biogaserzeugung mit Gärrestaubbereitung mit Blick auf die **Wirtschaftsleistung ländlicher Regionen** zukommt, kann ein Vergleich der ermittelten Effekte mit der gesamten Wertschöpfung beziehungsweise Beschäftigung in ländlichen Regionen sowie ausgewählten Wirtschaftszweigen zeigen. Da hier keine konkrete Region betrachtet wird, müssen für diesen Vergleich stellvertretend ausgewählte ländliche Regionen herangezogen werden um die Größenordnungen zu veranschaulichen. Die Einordnung erfolgt für die oben genannten Landkreise Cloppenburg, Emsland, Vechta, Eifelkreis Bitburg-

Prüm und Donau-Ries. Diese können aufgrund einer hohen Dichte an Biogasanlagen und hohen Tierzahlen als mögliche Zielregionen für die Gärrestauffbereitung gelten. Ebenfalls in die Betrachtung einbezogen werden die Landkreise Barnim und Uckermark, die aufgrund der Größe der ansässigen Betriebe stellvertretend für andere ostdeutsche Regionen als Suchräume in Frage kommen.

Die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (am Arbeitsort) schwankt 2016 zwischen rund 28.000 im Eifelkreis Bitburg-Prüm und knapp 137.000 im Landkreis Emsland (IT.NRW 2019a). Für die Biogaserzeugung mit angekoppelter Gärrestauffbereitung wurde eine Zahl von 5,9 VZÄ berechnet. Damit ergibt sich ein Anteil an der Gesamtzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten von 0,004 bis 0,02 Prozent. Dabei muss beachtet werden, dass es sich bei den berechneten Effekten um Vollzeitäquivalente handelt, in der Statistik zu den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der Bundesagentur für Arbeit jedoch die tatsächliche Anzahl der Beschäftigten (Köpfe) ausgewiesen werden. Der Anteil der Beschäftigten wird somit vermutlich etwas unterschätzt. Ein Blick auf die Beschäftigtenzahlen im Wirtschaftsbereich Land- und Forstwirtschaft, Fischerei in den Landkreisen zeigt Anteile von 0,2 bis 2,1 Prozent.

Um die Vergleichbarkeit zu den in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) ermittelten Wertschöpfungsdaten zu gewährleisten, muss diesen die Wertschöpfung durch die Biogaserzeugung mit Gärrestauffbereitung inklusive der Steuern und sonstigen Abgaben an den Bund und das jeweilige Bundesland gegenübergestellt werden. Der im WeBEE-Modell gewählte Ansatz zur Berechnung der Wertschöpfungseffekte entspricht der Nettowertschöpfung zu Herstellungspreisen nach VGR, das heißt ohne Berücksichtigung von Abschreibungen. Für einen Vergleich der in dieser Studie ermittelten Wertschöpfungseffekte durch bioökonomische Wertschöpfungsketten mit den Wertschöpfungsdaten der VGR muss demnach eine Anpassung erfolgen. Da statistische Daten zur Höhe der Nettowertschöpfung auf Ebene der Landkreise nicht vorhanden sind, wird hier ein Abschlag für die Abschreibungen gemäß den VGR-Daten für Deutschland vorgenommen. Demnach liegen die Werte für die Nettowertschöpfung in den Betrachtungsjahren auf einem Niveau von rund 80 Prozent der Bruttowertschöpfung (Statistisches Bundesamt 2019b). Mit dieser leichten Anpassung lassen sich die Bruttowertschöpfungswerte durch die Biogaserzeugung mit angekoppelter Aufbereitung der Gärreste vereinfacht ermitteln. Die gesamte regionale Wertschöpfung im Jahr in den für den Vergleich herangezogenen Landkreisen reicht von 2,3 Mio. Euro im Eifelkreis Bitburg-Prüm bis hin zu 11,5 Mio. Euro im Landkreis Emsland. Die berechnete Wertschöpfung durch die Biogaserzeugung und Gärrestauffbereitung macht daran einen Anteil von 0,08 bis 0,02 Prozent aus. Bezogen auf die Wertschöpfung im Bereich Land- und Forstwirtschaft, Fischerei sind es 0,6 bis hin zu 4,5 Prozent.

Da es sich bei den mit dem WeBEE-Modell ermittelten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten um Brutto-Effekte handelt (siehe Abschnitt 4.1.5), muss an dieser Stelle auch die Frage gestellt werden, ob es sich um **zusätzliche Effekte** handelt und welche Wertschöpfungsketten gegebenenfalls verdrängt werden. Ziel ist es, das Gärrestauffbereitungsverfahren an Biogasanlagen im Bestand anzukoppeln. Die Effekte durch die Biogaserzeugung sind in den ländlichen Regionen somit bereits vorhanden, so dass der Netto-Effekte aktuell als gering einzuschätzen ist. Angesichts dessen, dass bei vielen Biogasanlagen in naher Zukunft die EEG-Förderung ausläuft, können die Erlöse aus der Vermarktung der Gärrestfasern und der produzierten Düngemittel jedoch unter bestimmten Bedingungen auch über die EEG-Förderung hinaus einen Beitrag zum wirtschaftlichen Betrieb der Anlage leisten und somit zum Erhalt der Biogaserzeugung beitragen. Mit der Gärrestauffbereitung zu höherwertigen Düngemitteln und Fasern findet zugleich eine Verlängerung der Wertschöpfungskette Biogas im ländlichen Raum statt. Die ökonomischen Effekte der Aufbereitung sind folglich für die Region als zusätzlich einzustufen.

### 5.1.3 Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Hanf)

Wie oben beschrieben, erfolgte die szenarienbasierte Hochrechnung der regionalökonomischen Effekte bei der Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Hanf) für eine fiktive Erstverarbeitungsanlage inklusive der damit einhergehenden Biomassebereitstellung. Die Hanffaseraufbereitungsanlage entspricht dabei der in Abschnitt 4.4 dargestellten Auslegung der Anlage in der „Szenariobetrachtung“ inklusive den getroffenen Annahmen zu niedrigeren Rohstoffkosten sowie einer verbesserten Erlössituation, mit denen ein wirtschaftlicher Betrieb der Faseraufschlussanlage möglich ist. Der jährliche Durchsatz an Hanfstroh beträgt demnach 800 t; damit ergibt sich eine Produktionsmenge von knapp 210 t Hanffasern und 420 t Schäben pro Jahr. Für den Bedarf der Aufschlussanlage an Hanfstroh sind rund 130 ha Hanfanbaufläche erforderlich. Da bei Hanfnüssen aus kontrolliert biologischem Anbau deutlich bessere Absatz- und Erlösmöglichkeiten vorhanden sind, wird zudem unterstellt, dass bei rund 70 Prozent der Anbaufläche ein kontrolliert biologischer Anbau von Hanf stattfindet.

Der Hanfanbau ist grundsätzlich in allen Ackerbauregionen Deutschlands denkbar. So stellt Hanf wenig Ansprüche bis auf einen durchlockerten Boden und eine gute Wasserversorgung (Graf et al. 2005). „Zufriedenstellende Erträge bringt er jedoch nur auf tiefgründigen, humosen, kalkhaltigen und nährstoffreichen Böden mit geregelter Wasserversorgung“ (Ökolandbau.de 2019). Eine nähere Eingrenzung des Hanfanbaus im Hinblick auf besonders geeignete Agrarräume ist durch die insgesamt weite Anbautoleranz von Hanf nicht möglich.

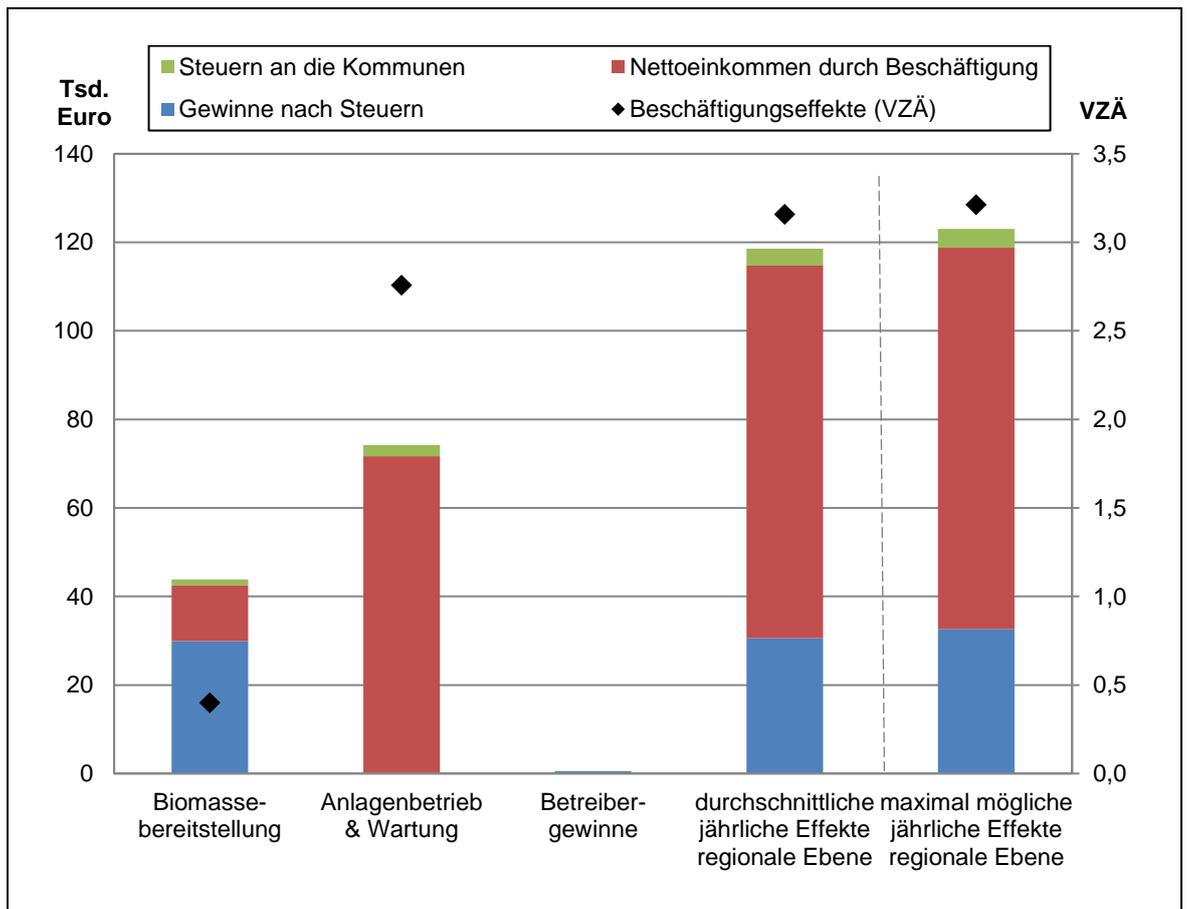
Für die Ermittlung der einmaligen Effekte durch die Herstellung von Anlagenkomponenten, die Errichtung baulicher Anlagen und die Planung und Installation der Aufschlussanlage fehlte es an einer vollständigen und konsistenten Datengrundlage (siehe Abschnitt 4.4.5.2), so dass keine Berechnung der einmaligen Effekte durch den Hanffaseraufschluss mit dem WeBEE-Modell möglich war. Ähnlich wie bei der Gärrestaufbereitungsanlage ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Wertschöpfungsschritte im Zusammenhang mit der Anlagenherstellung sowie der Planung in einer durchschnittlichen ländlichen Region nicht durch ortsansässige Unternehmen abgedeckt werden kann. Auf regionaler Ebene kommt mit Blick auf Wertschöpfung und Beschäftigung somit dem Betrieb der Anlage und der Biomassebereitstellung die größte Bedeutung zu.

Für die Hanfbereitstellung und die Hanfaufbereitung ergeben die Berechnungen **jährliche Wertschöpfungseffekte in Höhe von knapp 119.000 Euro** und einen **Beschäftigungseffekt von 3,2 VZÄ** für ein durchschnittliches Betriebsjahr und das Basisjahr 2016. Die theoretisch maximal mögliche Wertschöpfung auf regionaler Ebene beträgt 123.000 Euro. Mit Blick auf die Beschäftigten zeigt sich nur ein geringer Unterschied zwischen der durchschnittlichen und der maximal möglichen Zahl an Vollzeitäquivalenten.

Abb. 5.5 zeigt die jährlichen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte differenziert nach Wertschöpfungsstufen und Wertschöpfungsbestandteilen. Mit Blick auf die Stufe Betreibergewinne zeigt sich die wirtschaftlich schwierige Situation kleiner Aufschlussanlagen (siehe dazu auch Abschnitt 4.4.5). Auch wenn bei dem angenommenen Anlagenkonzept ein wirtschaftlicher Betrieb gegeben ist, so können trotzdem nur geringe Gewinne erwirtschaftet werden. Beschäftigungseffekte fallen in dieser Stufe per Definition nicht an, so dass hier keine Nettoeinkommen sowie damit verbunden auch keine VZÄ ausgewiesen werden. Der Aufschluss von Hanf und auch die Wartung der Anlagen ist beschäftigungsintensiv, so dass ein Großteil der regionalen Wertschöpfung auf das Personal für den Anlagenbetrieb und die Wartung zurückzuführen ist. Dies erklärt auch den hohen Anteil

der Nettoeinkommen an der Wertschöpfung in der Stufe Anlagenbetrieb und Wartung. Bei der Biomassebereitstellung ist zu beachten, dass der ausgewiesene Nach-Steuer-Gewinn bei den Modellrechnungen das Entgelt für die nicht entlohnte Eigenarbeit des landwirtschaftlichen Unternehmers sowie die mitarbeitenden, nicht entlohnten Familienangehörigen beinhaltet.

Auf die Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss entfallen rund 70 Prozent der durchschnittlichen regionalen Wertschöpfung. Mit Blick auf die Beschäftigten ergibt sich ein Anteil von nahezu 90 Prozent. Dies macht deutlich, dass die weitere Verarbeitung des Rohstoffs Hanf maßgeblich zur Wertschöpfung im ländlichen Raum beitragen kann.



**Abb. 5.5: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch Hanfbereitstellung und Hanffaseraufschluss für ein fiktives Beispielprojekt, jährliche Effekte (Basisjahr 2016)**  
 Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IÖW

Mit dem WeBEE-Modell werden Brutto-Effekte berechnet und somit keine Netto-Effekte unter Berücksichtigung verdrängter Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte beispielsweise in Wertschöpfungsketten einer alternativen Flächenbewirtschaftung ermittelt (siehe Abschnitt 4.1.5). Mit Blick auf die Ergebnisse für die Hanfbereitstellung und den Hanfaufschluss muss deswegen die Frage gestellt werden, ob es regional zu einer **Verdrängung** bestehender Flächennutzungen oder einer Substitution fossil basierter Wertschöpfungsketten kommen kann und in der Folge zu einer Minderung der durch die hier betrachteten Wertschöpfungsketten erzielten regionalökonomischen

Effekte. Bei dem Anbau von Hanf ist davon auszugehen, dass die Ackerfläche in dem Fall, dass kein Hanfanbau stattfindet, für den Anbau anderer landwirtschaftlicher Kulturen genutzt werden würde, so dass die Netto-Effekte der Biomassebereitstellung voraussichtlich eher gering sind beziehungsweise eine vollständige Substitution stattfindet. Auch Isermeyer und Zimmer (2006) weisen darauf hin, dass die Arbeitsplatzeffekte im Bereich der landwirtschaftlichen Produktion bei einer Netto-Betrachtung als eher gering einzuschätzen sind. Untersuchungen zu Verdrängungseffekten des Energiemais-Anbaus zeigen regional eine Verdrängungsquote von 100 Prozent (Salecki 2017). Werden mit dem Anbau von Hanf nicht nur bisherige Bodenbewirtschaftungsformen verdrängt, sondern auch in der Region ansässige Verarbeitungsstrukturen, gilt diese Aussage auch für die ermittelten Ergebnisse durch den Hanffaseraufschluss. Ist dies jedoch nicht der Fall, sondern entstehen regional zusätzliche Verarbeitungskapazitäten für den Aufschluss von Hanf, so können zusätzliche Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in der Region erzielt werden.

Um die Ergebnisse mit Blick auf die ökonomische Bedeutung für ländliche Regionen einordnen zu können, bietet sich auch hier ein Vergleich der ermittelten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte mit der gesamten Wertschöpfung beziehungsweise Beschäftigung in ländlichen Regionen sowie ausgewählten Wirtschaftszweigen an. Da im Fall der Hanffaseraufbereitung beispielhaft eine Hochrechnung für ein fiktives Projekt erfolgt, werden für die Einordnung der Effekte drei Landkreise im ländlichen Raum ausgewählt, in denen bereits ein Anbau und teilweise auch ein Hanffaseraufschluss stattfindet (Landkreis Uckermark, Landkreis Greiz und Werra-Meißner-Kreis).

Die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (am Arbeitsort) in den drei Landkreisen lag 2016 in einer Größenordnung von 28.000 bis 39.000 Beschäftigten (IT.NRW 2019a). Stellt man diesen die ermittelten Vollzeitäquivalente durch den Hanfanbau und den Hanffaseraufschluss gegenüber, so ergibt sich ein Anteil von rund 0,01 Prozent. Auch hier muss berücksichtigt werden, dass die Zahl der Beschäftigten aufgrund des Vergleichs von Vollzeitäquivalenten mit Kopffzahlen vermutlich etwas unterschätzt wird. Interessant ist auch eine Gegenüberstellung mit der Zahl der Beschäftigten im Wirtschaftsbereich Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Hier ergibt sich je nach Landkreis ein Anteil von 0,2 bis 0,6 Prozent der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten. Im Abgleich mit dem Wirtschaftsbereich Verarbeitendes Gewerbe liegt der Anteil bei 0,04 bis 0,1 Prozent.

Für den Vergleich mit den Wertschöpfungsdaten der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung müssen die Bruttowertschöpfungswerte durch Hanfanbau und -verarbeitung vereinfacht ermittelt werden (siehe Abschnitt 5.1.2) und zudem die regionale Wertschöpfung zuzüglich der Steuern und sonstigen Abgaben an den Bund und die Länder zu Grunde gelegt werden. Der Anteil an der ermittelten Effekte durch Hanfanbau und -verarbeitung an der Wertschöpfung insgesamt beträgt bei allen drei Landkreisen rund 0,01 Prozent (IT.NRW 2019b). Bei den Wirtschaftsbereichen zeigt sich wie auch bei den Beschäftigten ein etwas differenzierteres Bild. Je nach Landkreis liegt der Anteil an den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Wirtschaftsbereich Land- und Forstwirtschaft, Fischerei zwischen 0,3 und 0,8 Prozent. Bei dem Verarbeitenden Gewerbe schwankt der Anteil zwischen 0,3 und 0,6 Prozent.

### 5.1.4 Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Gras)

Der Einsatz von Gras zur Herstellung von Papier und Kartonagen stellt eine höherwertige Verwertung von Gras dar, mit der gleichzeitig Frischzellstofffasern als Rohstoff für die Papierproduktion substituiert werden können. Gleichzeitig eröffnet die Graspelletierung für den Einsatz in der Papierindustrie Nutzungsoptionen für Grünlandflächen, die aus der Nutzung fallen beziehungsweise zu ihrer Erhaltung der Pflege bedürfen.

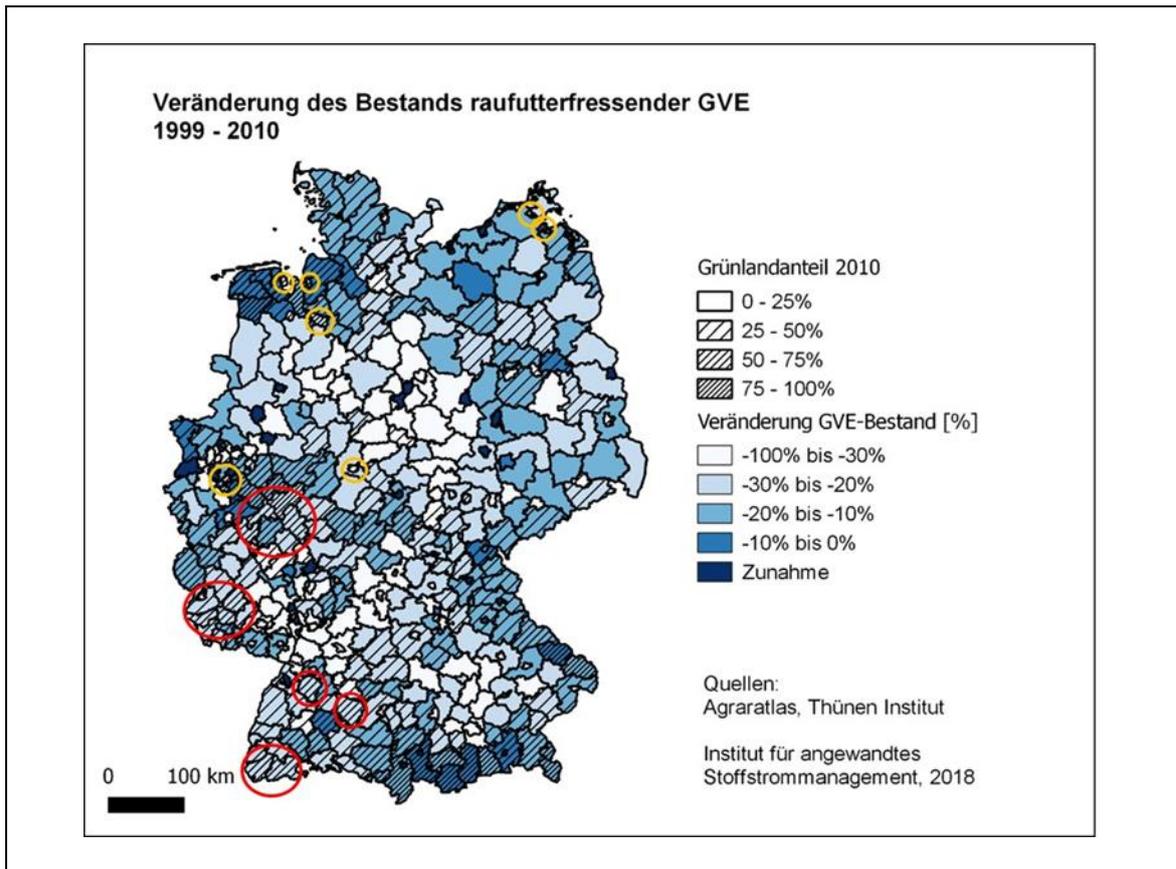
Zur Abgrenzung von Agrarräumen mit Grünlandpotenzialen in relevanten Größenordnungen für die Etablierung neuer Wertschöpfungsketten auf Basis von Gras wurden zwei Kriterien herangezogen. Dies ist zum einen der Grünlandanteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Stand 2010) und zum anderen die prozentuale Veränderung der raufutterfressenden Großvieheinheiten (GVE) von 1999 bis 2010. Beide Größen wurden anhand statistischer Daten aus dem Thünen Agraratlas (Thünen-Institut 2018) verschnitten und in einem gemeinsamen Rechenmodell sowie einer Abbildung zusammengefasst (Abb. 5.6). Ziel der Untersuchung war eine Eingrenzung auf Regionen mit einem oder mehreren flächenmäßig relevanten Landkreisen und kreisfreien Städten, die einen Grünlandanteil von 50 Prozent oder mehr und über einen Rückgang der raufutterfressenden GVE von 20 Prozent oder mehr verzeichnen. Diese Methodik beruht auf langjährigen Erfahrungen des IfaS und wurde im Zuge des Projekts mit einem Experten des Bundesverbandes deutscher Milchviehalter reflektiert (Fritz 2018b).

Anhand dieses Vorgehens zeichnen sich folgende Agglomerationen beziehungsweise Landkreise in Deutschland als potenzielle Suchräume für die Etablierung neuer Wertschöpfungsketten mit Gras ab (in Abb. 5.6 rot hervorgehoben):

- Siegen-Wittgenstein im Süd-Osten von Nordrhein-Westfalen, Lahn-Dill-Kreis im Westen von Hessen & Neuwied im Nordosten von Rheinland-Pfalz
- Merzig-Wadern & St. Wendel im Nord-Saarland sowie & Birkenfeld angrenzend im Westen von Rheinland-Pfalz
- Calw & Reutlingen, zentral in Baden-Württemberg
- Lörrach & Waldshut im Süden von Baden-Württemberg

Die aufgeführten Suchräume müssen für eine belastbare Verifizierung der Potenziale stets einer näheren Untersuchung, die über die Analyse statistischer Daten hinausgeht, unterzogen werden. Diese ist im Rahmen des Vorhabens aufgrund des erheblichen Aufwands nicht erfolgt. Die dargestellten Informationen können jedoch als guter Überblick dienen, wo Schwerpunkträume für Grünlandpotenziale in Deutschland liegen.

Weiterhin wurden anhand der Methode mehrere kleinere Landkreise und kreisfreie Städte in Nordrhein-Westfalen, Hessen, Niedersachsen/Bremen und Mecklenburg-Vorpommern identifiziert, die ebenfalls die genannten Kriterien erfüllen, jedoch aufgrund ihrer Größe nicht als Suchräume klassifiziert werden (in Abb. 5.6 gelb hervorgehoben).



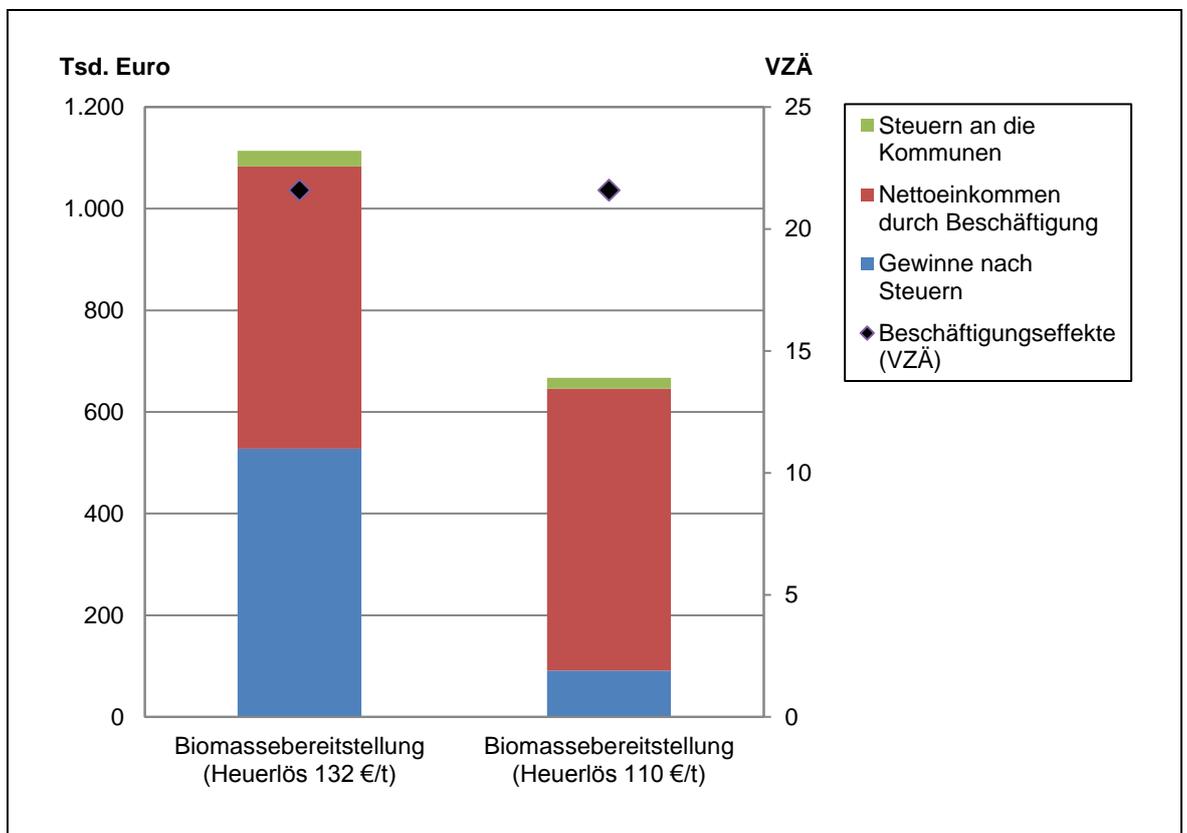
**Abb. 5.6: Landkreise und Agglomerationen mit Grünlandpotenzialen anhand von Grünlandanteil und Veränderung im GVE-Bestand (Raufutterfresser) auf Landkreisebene**  
Quellen: eigene Darstellung IfaS (Datenquelle Thünen-Institut (2018))

Die Hochrechnung der regionalökonomischen Effekte der Wertschöpfungskette Herstellung von Papier und Kartonagen aus Gras kann nur für die Teil-Wertschöpfungskette Grasbereitstellung erfolgen, da für die ökonomische Bewertung der Erstverarbeitung (Graspelletierung) keine belastbaren Kostendaten recherchiert beziehungsweise über eine Befragung gewonnen werden konnten (siehe Abschnitt 4.3.4). Für die Herstellung von Grasfaserpellets sind auf Basis der Erfahrung aus früheren Vorhaben und der Arbeiten im Projekt „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ dennoch qualitative Aussagen zu zentralen Wertschöpfungsschritten und grundsätzlichen Zusammenhängen möglich. Für die Hochrechnung der regionalen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte wird der Frage nachgegangen, welche Nachfrage eine Verarbeitungsanlage für Heu in einer fiktiven Beispielregion nach sich zieht und welche regionalökonomischen Effekte mit der Heubereitstellung verbunden sein können. Es wird angenommen, dass in der fiktiven Beispielregion eine Anlage zur Pelletierung von Gras betrieben wird, welche einen Jahresbedarf von 25.000 t FM Heu aufweist. Das Heu wird im Umkreis der Anlage von extensiv genutztem Grünland mit einer Fläche von insgesamt 4.200 ha bezogen. Dies entspricht in etwa drei bis vier Landkreisen mit einem hohen Grünlandanteil.

Für die Grasbereitstellung ergeben die Berechnungen mit den oben genannten Annahmen **jährliche Wertschöpfungseffekte in Höhe von knapp 1,5 Mio. Euro** mit einem Heupreis von 132 Euro/t für den ersten Schnitt und 131 Euro/t für den zweiten Schnitt im Basisjahr 2016. Mit der regionalen Wertschöpfung ist zudem ein Beschäftigungseffekt von 21,6 VZÄ verbunden. Da für die

landwirtschaftlichen Betriebe, welche das Heu bereitstellen eine 100-prozentige Ansässigkeit vor Ort angenommen wird, entspricht die durchschnittliche regionale Wertschöpfung den maximal möglichen Effekten. Im Szenario mit einem niedrigeren Preisniveau für Heu („Heuerlös 110 Euro/t“) liegen die jährlichen Wertschöpfungseffekte in der Region bei knapp 0,7 Mio. Euro.

Abb. 5.7 zeigt die jährlichen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte differenziert nach Wertschöpfungsstufen und Wertschöpfungsbestandteilen für die beiden Szenarien „Heuerlös 132 Euro/t“ und „Heuerlös 110 Euro/t“. Auch hier ist zu beachten, dass der ausgewiesene Nach-Steuer-Gewinn das Entgelt für die nicht entlohnte Eigenarbeit des landwirtschaftlichen Unternehmers sowie die mitarbeitenden, nicht entlohnten Familienangehörigen beinhaltet. Die Abbildung macht auch deutlich, dass die Höhe der Gewinne maßgeblich von den erzielbaren Erlösen für das Heu abhängt.



**Abb. 5.7: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch Grasbereitstellung für eine fiktive Beispielregion, jährliche Effekte (Basisjahr 2016)**

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IÖW

Die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch die Graspelleiterung konnten aus den oben genannten Gründen nicht quantifiziert werden. Bei der Herstellung von Komponenten für die Verarbeitungsanlage kann davon ausgegangen werden, dass diese grundsätzlich beschäftigungsintensiv ist. Die Anlagenherstellung konzentriert sich jedoch auf wenige Standorte. Auch das Know-how für die Planung solcher Anlagen ist voraussichtlich auf wenige Unternehmen beschränkt. Die ein-

maligen Effekte durch die Anlagenherstellung und die Planung sind somit in einer durchschnittlichen ländlichen Region nicht relevant. Bei der Installation der Erstverarbeitungsanlage ist es dahingegen denkbar, dass ortsansässige Unternehmen eingebunden sind und damit verbunden Wertschöpfung und Beschäftigung in der Region generiert werden. Mit Blick auf den Betrieb der Pelletierungsanlage sind die höchsten Effekte mit Relevanz für die Region durch das Personal für den Betrieb der Anlage sowie zu einem geringeren Anteil durch Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten zu erwarten, sofern diese durch regionale Unternehmen ausgeführt werden können. Die Betreibergewinne (ein wirtschaftlicher Betrieb der Verarbeitungsanlage vorausgesetzt) verbleiben dann zu einem maßgeblichen Anteil in der Region, wenn der steuerrechtliche Unternehmenssitz genauso wie die Hauptwohnsitze der Gesellschafterinnen und Gesellschafter in der Region liegen, in der die Pelletierungsanlage steht.

Ähnlich wie bei der Hanfbereitstellung (siehe Abschnitt 5.1.3) muss auch bei der Bereitstellung von Gras beziehungsweise Heu für die stoffliche Nutzung die Frage gestellt werden, ob es sich um zusätzliche Effekte handelt oder ob es in Folge zu einer Verdrängung bestehender Flächennutzungen in der Region kommt. Für die Biomassebereitstellung von bereits in der Nutzung befindlichem Grünland gilt auch hier, dass die Netto-Effekte als gering einzustufen sind. Allerdings liegt der Fokus in diesem Fall nicht auf der Generierung zusätzlicher Effekte, sondern auf dem Erhalt der Grünlandbewirtschaftung und den damit verbundenen regionalökonomischen Effekten. Das bedeutet, die Graspelletierung für den Einsatz in der Papierindustrie kann eine Nutzungsoption für Flächen darstellen, die beispielsweise durch die Veränderungen in der Milchviehwirtschaft aus der Nutzung fallen. Bei Flächen, die einer naturschutzfachlichen Pflege bedürfen und für die es bisher keine Verwertungsoptionen gab, besteht auch Potenzial für zusätzliche Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte im ländlichen Raum. Gleiches gilt für den Fall, dass durch die Graspelletierung regional zusätzliche Verarbeitungskapazitäten geschaffen werden.

## 5.2 Szenarienbasierte Hochrechnung für Deutschland

### 5.2.1 Vorgehensweise

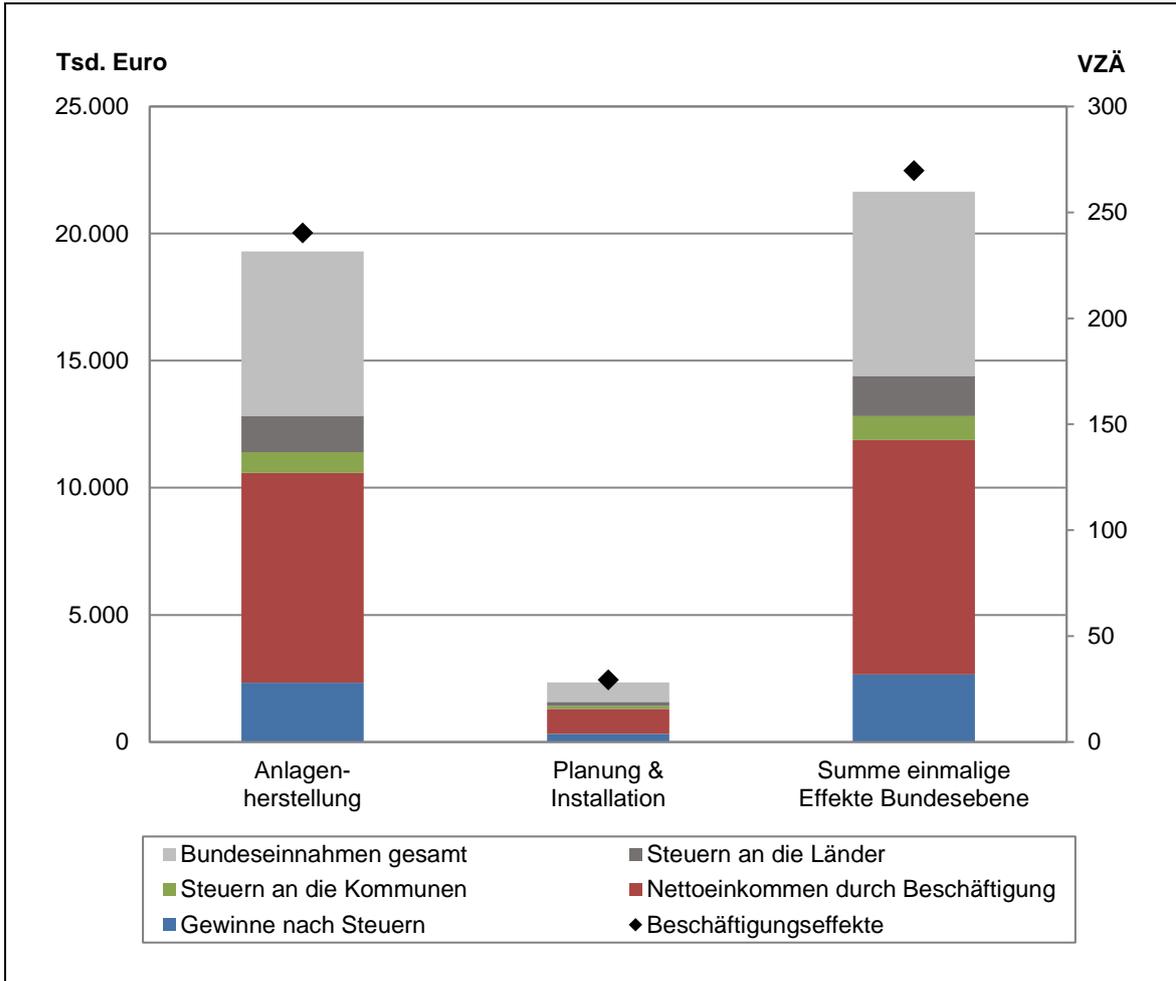
Mit der szenarienbasierten Hochrechnung der ökonomischen Effekte für Deutschland wurde das Ziel verfolgt, die Potenziale für Wertschöpfung und Beschäftigung der betrachteten Bioökonomie-Wertschöpfungsketten in Deutschland insgesamt zu veranschaulichen. Die Vorgehensweise ist ähnlich wie in Abschnitt 5.1.1 beschrieben. Grundlage für die Hochrechnung sind auch hier die mit dem WeBEE-Modell ermittelten spezifischen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte. Weiterhin mussten die zur Verfügung stehenden Rohstoffmengen und die damit verbundenen Verarbeitungskapazitäten abgeschätzt werden. Dafür werden vor dem Hintergrund der Biomassepotenziale (siehe Abschnitt 3.3) Szenarien für die ausgewählten Wertschöpfungsketten definiert. Nachfolgend werden die Annahmen bezüglich der zur Verfügung stehenden Biomassepotenziale und die damit verbundenen Verarbeitungskapazitäten für die einzelnen Wertschöpfungsketten erläutert sowie die Ergebnisse der szenarienbasierten Hochrechnung für Deutschland dargestellt. Bezüglich der Ansässigkeit von Akteuren entlang der Wertschöpfungskette wurde übergreifend eine Quote von 100 Prozent angenommen.

## 5.2.2 Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung

Wie bereits in Abschnitt 5.1.2 beschrieben, kann das Verfahren zur Aufbereitung von Gärresten zu höherwertigen Düngemitteln (ASL und Kalkdünger) sowie Gärrestfasern grundsätzlich an bestehende Biogasanlagen angedockt werden. Aktuell ist dies aufgrund von Skaleneffekten für Biogasanlagen mit einer Leistung von 1 MW<sub>el</sub> und mehr realistisch. Zukünftig ist es auch denkbar, eine zentrale Aufbereitungsanlage für einen Zusammenschluss mehrerer kleinerer Anlagen in einer Region zu betreiben.

Für die Berechnung der Gärrestpotenziale auf Deutschlandebene wurden alle in Betrieb befindlichen Biogasanlagen-BHKW (exkl. Satelliten-BHKW) mit installierter Leistung größer 1 MW<sub>el</sub> (Daniel-Gromke et al. 2017) und ohne Abfallvergärung (Flamme et al. 2018) herangezogen. Diese besitzen zusammen eine Gesamtleistung von 591 MW<sub>el</sub>. Auf dieser Datengrundlage wurde anhand von Berechnungsmodellen des IfaS der Substratbedarf errechnet, aus dem wiederum über Fugatfaktoren die entstehenden Gärrestmengen abgeleitet werden. Mit Hilfe von Kennwerten werden der enthaltene Trockenmassegehalt und der insgesamt gewinnbare Faseranteil berechnet. Für ganz Deutschland beträgt das abgeschätzte technische Potenzial somit rund 700.000 t atro pro Jahr bei der Betriebsweise der Anlage im Szenario „Ausbeute+“. Ob es sinnvoll ist, das Verfahren zur Aufbereitung von Gärresten an eine Biogasanlage anzukoppeln, ist abhängig vom konkreten Standort der Biogasanlage, dem externen Wärmenutzungsgrad und der Entfernung zu potenziellen Abnehmern der Gärrestfasern. Optimale Standorte befinden sich in Regionen mit Nährstoffüberschuss, haben einen geringen externen Wärmenutzungsgrad und befinden sich in räumlicher Nähe zu Unternehmen, die eine Weiterverarbeitung der Gärreste vornehmen. Deswegen wird für die Berechnungen angenommen, dass bei 20 Prozent des Biogas-BHKW-Bestands mit einer Leistung größer 1 MW<sub>el</sub> eine Gärrestaufbereitung aus ökologischer und ökonomischer Sicht sinnvoll betrieben werden kann. Damit ergibt sich eine insgesamt produzierbare Fasermenge von etwa 140.000 t atro/a.

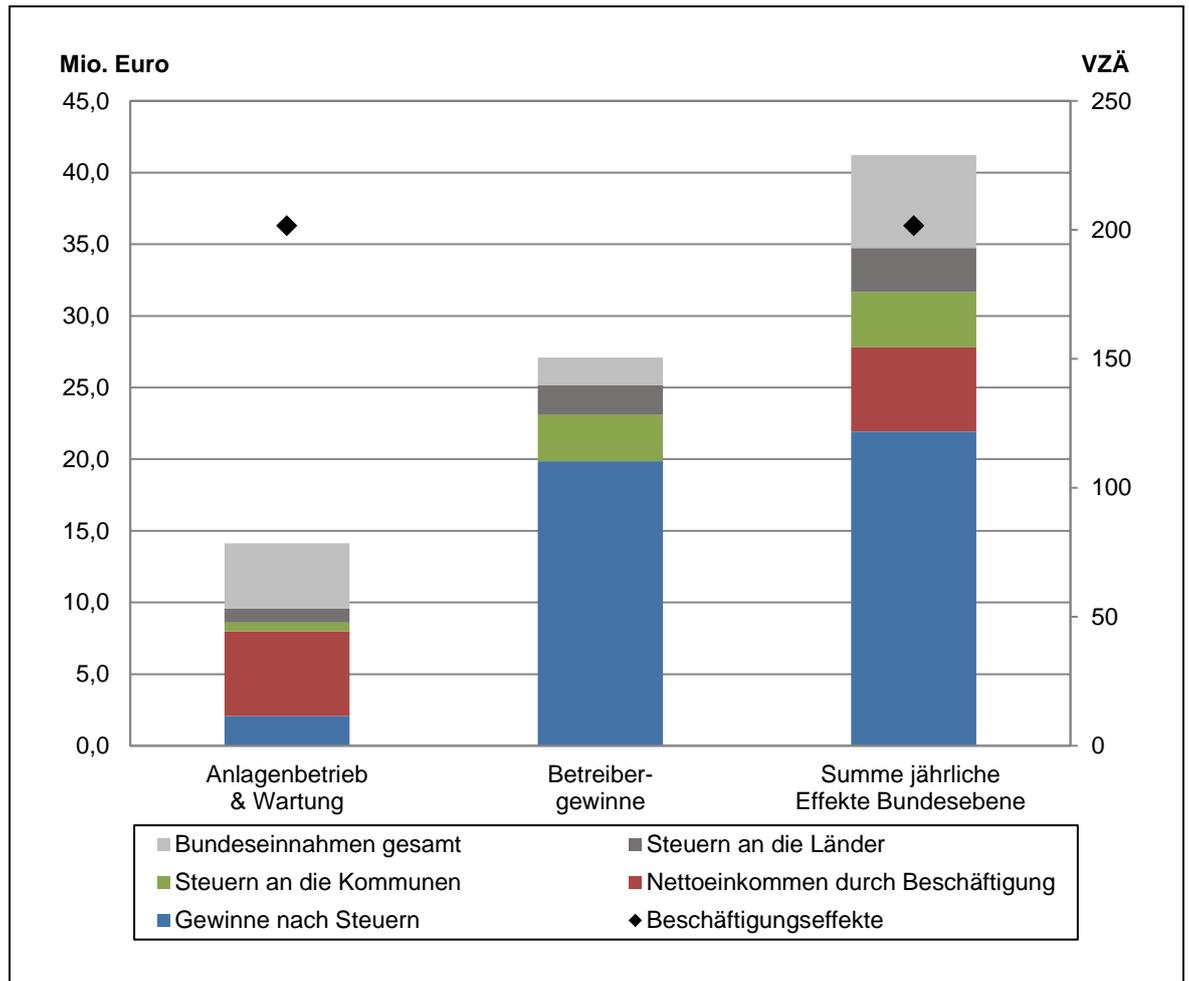
Zentrale Eingangsdaten für die szenarienbasierte Hochrechnung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale durch die Biogaserzeugung mit angekoppeltem Gärrestaufbereitungsverfahren in Deutschland sind somit die installierte Leistung der Biogas-BHKW (knapp 120 MW<sub>el</sub>) und die Jahresproduktionsmenge von 140.000 t<sub>atro</sub> Gärrestfasern. Damit ergeben sich **einmalige Wertschöpfungseffekte auf Bundesebene von insgesamt 21,6 Mio. Euro** und ein **Beschäftigungseffekt von 270 VZÄ**. Die Ergebnisse differenziert nach Bestandteilen der Wertschöpfung und Wertschöpfungsstufen werden in Abb. 5.8 dargestellt. Neben der Wertschöpfung auf regionaler Ebene, das heißt den Gewinnen nach Steuern, den Netto-Einkommen der Beschäftigten und den Steuern an Kommunen, sind auf Bundesebene zusätzlich Steuern an die Länder sowie den Bund zu berücksichtigen. Der größte Anteil der einmaligen Effekte entfällt auf die Herstellung von Komponenten für die Gärrestaufbereitungsanlage (knapp 90 Prozent). Rund 10 Prozent sind Effekte durch Planung und Installation der Aufbereitungsanlagen. Beide Wertschöpfungsstufen sind vergleichsweise beschäftigungsintensiv, so dass ein hoher Anteil der Wertschöpfung auf Bundesebene auf Nettoeinkommen sowie die darauf gezahlten Steuern und Abgaben (insbesondere Sozialversicherungsbeiträge) entfällt.



**Abb. 5.8: Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Biogaserzeugung mit Gärrestaufbereitung in Deutschland, einmalige Effekte (Basisjahr 2016)**

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IÖW

Die jährlichen Effekte durch die Biogaserzeugung mit Gärrestaufbereitung in Deutschland sind in Abb. 5.9 dargestellt. **Die jährliche Wertschöpfung auf Bundesebene beträgt 41,2 Mio. Euro** für ein durchschnittliches Betriebsjahr und das Basisjahr 2016. Mit dem Betrieb der Biogas- und Gärrestaufbereitungsanlage sind rund **200 VZÄ** verbunden. Die Wertschöpfungseffekte sind zu rund einem Drittel dem Betrieb und der Wartung der Anlagen zuzurechnen, rund zwei Drittel entfallen auf die Betreibergewinne zuzüglich Steuern. Da bei der Stufe der Betreibergewinne per Definition keine Beschäftigungseffekte anfallen, werden die ermittelten Vollzeitäquivalente in Summe durch den Anlagenbetrieb und die Wartung generiert. Bezüglich der Teil-Wertschöpfungsketten Biogasanlagen und Gärrestaufbereitung sind die Ergebnisse wie folgt: 32,8 Mio. Euro Wertschöpfung und rund 115 VZÄ sind Effekte durch den Betrieb der Biogasanlagen, 8,2 Mio. Euro und rund 85 VZÄ entfallen auf die Aufbereitung der Gärreste. Im Vergleich zu den einmaligen Effekten sind die Bundeseinnahmen hier deutlich geringer. Dies liegt vor allem daran, dass der Anteil der Netto-Einkommen an der gesamten Wertschöpfung niedriger ausfällt und damit auch die Sozialversicherungsbeiträge, welche der Bundesebene zugerechnet werden.



**Abb. 5.9: Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Biogaserzeugung mit Gärrestaufbereitung in Deutschland, jährliche Effekte (Basisjahr 2016)**

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IÖW

Die Frage, ob es sich bei den ermittelten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten um **zusätzliche Effekte** handelt, wurde bereits in Abschnitt 5.1.2 mit Fokus auf die regionale Ebene thematisiert. Durch die Verlängerung der Teil-Wertschöpfungskette Biogas um die Aufbereitung der Gärreste können zusätzliche Effekte im ländlichen Raum generiert werden. Auch kann dies den Biogasanlagenbetreiberinnen und -betreibern möglicherweise auch über den Zeitraum der EEG-Förderung hinaus eine Perspektive bieten und so zum Erhalt der Biogaserzeugung im ländlichen Raum beitragen. Werden die Gärrestfasern für die Produktion von Holzersatzwerkstoffen wie Faserplatten und Laminat eingesetzt, könnte dies grundsätzlich zu einer Substitution von Holzfasern (Industrieholz) führen. Der Faserholzverbrauch der Holzwerkstoffindustrie lag im Jahr 2015 bei rund 15,8 Mio. Fm (Döring et al. 2017). Das Holz kommt dabei zu 84 Prozent aus dem Inland, 16 Prozent werden importiert. Daran gemessen macht das ermittelte Potenzial für Gärrestfasern von 140.000  $t_{atro}$  nur einen geringen Anteil (rund 1 bis 2 Prozent) aus. Auch ist das Holzaufkommen, wie alle nachwachsenden Rohstoffe, begrenzt und es gibt eine hohe Nachfrage nach Holz. So hat sich das Holzaufkommen und die Holzverwendung in Deutschland insgesamt im Zeitraum 1990 bis 2016 nahezu verdoppelt (Mantau 2018). Mit der Bereitstellung von Gärrestfasern findet somit nicht notwendigerweise eine Substitution von Holzfasern statt; vielmehr kann das in Deutschland insgesamt verfügbare Potenzial an stofflich nutzbarer Biomasse erhöht werden.

### 5.2.3 Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Hanf)

Für die szenarienbasierte Abschätzung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale durch die Hanfbereitstellung und den Hanffaseraufschluss in Deutschland wurde folgendes Szenario aufgestellt: Um die Klimaschutzziele Deutschlands zu erreichen, ist eine Vielzahl an Maßnahmen erforderlich. Ein wichtiger Baustein für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen ist die deutliche Steigerung der energetischen Sanierung und damit auch der Dämmung von Gebäuden. Auch wenn der Gesamtmarkt von Dämmstoffen auf mineralischer und fossiler Rohstoffbasis dominiert wird, werden in geringem Umfang biobasierte Dämmstoffe eingesetzt. Ein möglicher Rohstoff für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind Hanffasern. Bisher wird ein Großteil der in Deutschland verarbeiteten Hanffasern importiert. Die Importquote bei Hanf (roh und bearbeitet) lag 2016 bei rund 60 Prozent (Destatis 2018). Vor dem Hintergrund, dass eine Minimierung von Biomasseimporten angestrebt werden sollte wird für die Hochrechnung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale deswegen von dem Szenario ausgegangen, dass die Nachfrage nach Hanffasern für die Dämmstoffindustrie über den Anbau von Hanf in Deutschland gedeckt wird.

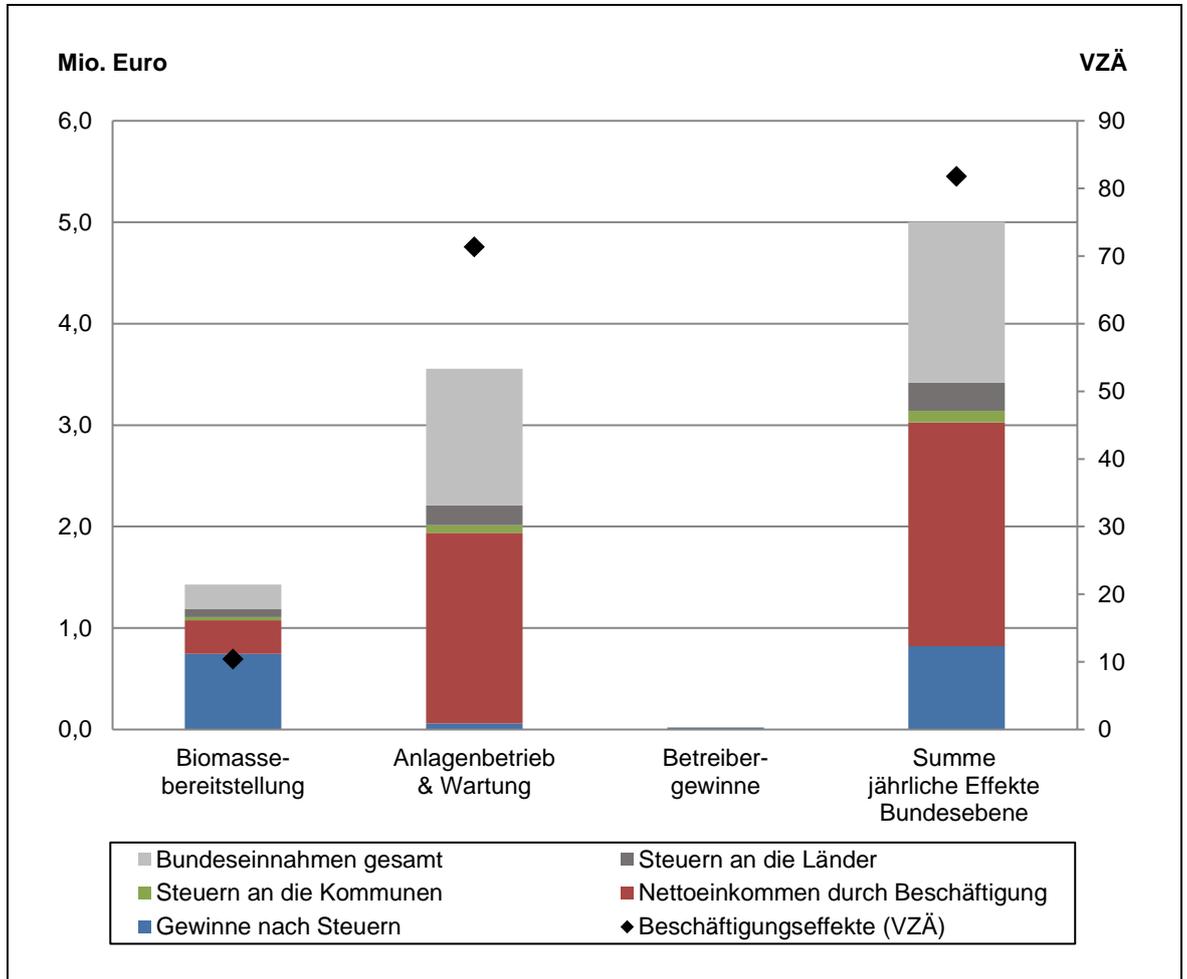
Der Rohstoffeinsatz für Hanf-Dämmstoffe in Deutschland wird für 2016 mit rund 4.000 t Hanffasern abgeschätzt (FNR 2016; Landeshauptstadt München 2017), der Rohstoffeinsatz für die Produktion von NFK mit rund 3.500 t Fasern (FNR 2014a). Der Gesamtbedarf an Hanffasern beträgt damit 7.500 t. Wird die Nachfrage aus dem Dämmstoffbereich durch einen Anbau in Deutschland gedeckt und bei Hanffasern für NFK ein Importanteil von 60 Prozent beibehalten, ergibt sich in Summe ein Bedarf von rund 5.400 t Hanffasern. Mit der Annahme, dass 70 Prozent der Anbaufläche mit kontrolliert biologischem Anbau und 30 Prozent konventionell bewirtschaftet werden, ergibt sich ein Flächenbedarf von rund 3.200 ha für den Anbau von Faserhanf und ein Röststrohertrag von rund 20.000 t.<sup>9</sup> Bei einem Jahresdurchsatz von 800 t Hanfstroh pro Anlage („Szenariobetrachtung“, siehe Abschnitt 4.4.5.2) entspricht dies der Verarbeitungskapazität von rund 25 Aufschlussanlagen.

Auf Basis der oben abgeleiteten Eingangsdaten konnte die Hochrechnung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale für die Bereitstellung und die Erstverarbeitung von Hanf erfolgen. Aufgrund der fehlenden Datengrundlage für die Herstellung von Anlagenkomponenten, die Errichtung baulicher Anlagen und die Planung und Installation der Aufschlussanlage konnten die einmaligen Effekte durch den Hanffaseraufschluss mit dem WeBEE-Modell nicht ermittelt werden. Ähnlich wie bei der Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung sind hier insbesondere durch die Herstellung der Komponenten hohe Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte zu erwarten. Die **jährlichen Effekte durch die Hanfbereitstellung und die Hanfaufbereitung** summieren sich **auf 5,0 Mio. Euro und 82 VZÄ** in einem durchschnittlichen Betriebsjahr und das Basisjahr 2016.

Abb. 5.10 zeigt die Ergebnisse differenziert nach Wertschöpfungsstufen und -bestandteilen. Auf die Teil-Wertschöpfungskette Hanfbereitstellung entfallen rund 30 Prozent der gesamten Wertschöpfung auf Bundesebene. Bei den Vollzeitbeschäftigten sind es knapp 13 Prozent. Der größere Anteil der Effekte wird somit durch den Aufschluss der Hanffasern und die Vermarktung der Produkte Hanffasern und Schäben generiert. Die hohe Beschäftigungsintensität des Anlagenbetriebs und der Wartung und Reinigung der Verarbeitungsanlage hat zur Folge, dass die Nettoeinkommen einen sehr hohen Prozentsatz an der Wertschöpfung in der Wertschöpfungsstufe Anlagenbetrieb

<sup>9</sup> mit Ertragsniveau Hanfstroh konventionell 7 t/ha und Ertragsniveau Hanfstroh kbA 6 t/ha.

und Wartung ausmachen. Damit verbunden sind Sozialversicherungsbeiträge, die maßgeblich sind für die hohen Einnahmen auf Bundesebene. Die niedrigen Betreibergewinne sind der wirtschaftlich schwierigen Situation kleiner Aufschlussanlagen geschuldet (siehe dazu auch Abschnitt 4.4.5).



**Abb. 5.10: Wertschöpfung und Beschäftigung durch Hanfbereitstellung und Hanffaser-aufschluss in Deutschland, jährliche Effekte (Basisjahr 2016)**

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IÖW

Ähnlich wie bei der regionalen Betrachtung stellt sich auch auf nationaler Ebene die Frage nach den Nettoeffekten, das heißt inwieweit die ermittelte Wertschöpfung und Beschäftigung als zusätzlich einzustufen ist oder ob es in hohem Umfang zu einer **Verdrängung** bestehender Flächennutzungen, darauf aufbauender Verarbeitungsschritte oder einer Substitution fossil basierter Wertschöpfungsketten kommen kann. Beim Hanfanbau sind auch auf Bundesebene die Nettoeffekte bei den Arbeitsläten als gering bis nicht vorhanden einzuschätzen (vgl. Isermeyer und Zimmer 2006; Salecki 2017), da die Ackerfläche ansonsten für die Produktion anderer Feldfrüchte genutzt werden würde. Mit Blick auf die weitere Verarbeitung von Hanf ist die Frage deutlich schwieriger zu beantworten. Werden bisher importierte Hanffasern in Deutschland hergestellt und dafür Verarbeitungskapazitäten aufgebaut, kann dies mit zusätzlicher Wertschöpfung und Beschäftigung verbunden sein. Inwieweit dies der Fall ist, hängt aber unter anderem davon ab, ob mit der Verdrängung

anderer landwirtschaftlicher Kulturen auch nachfolgende Verarbeitungsschritte substituiert werden. Ob und in welchem Umfang hier ein positiver oder negativer Saldo zu erwarten ist, kann angesichts der komplexen Zusammenhänge ohne weitere wissenschaftliche Untersuchungen nicht beantwortet werden.

## 5.2.4 Ergebnisse für die Wertschöpfungskette Pflanzenfasern (Gras)

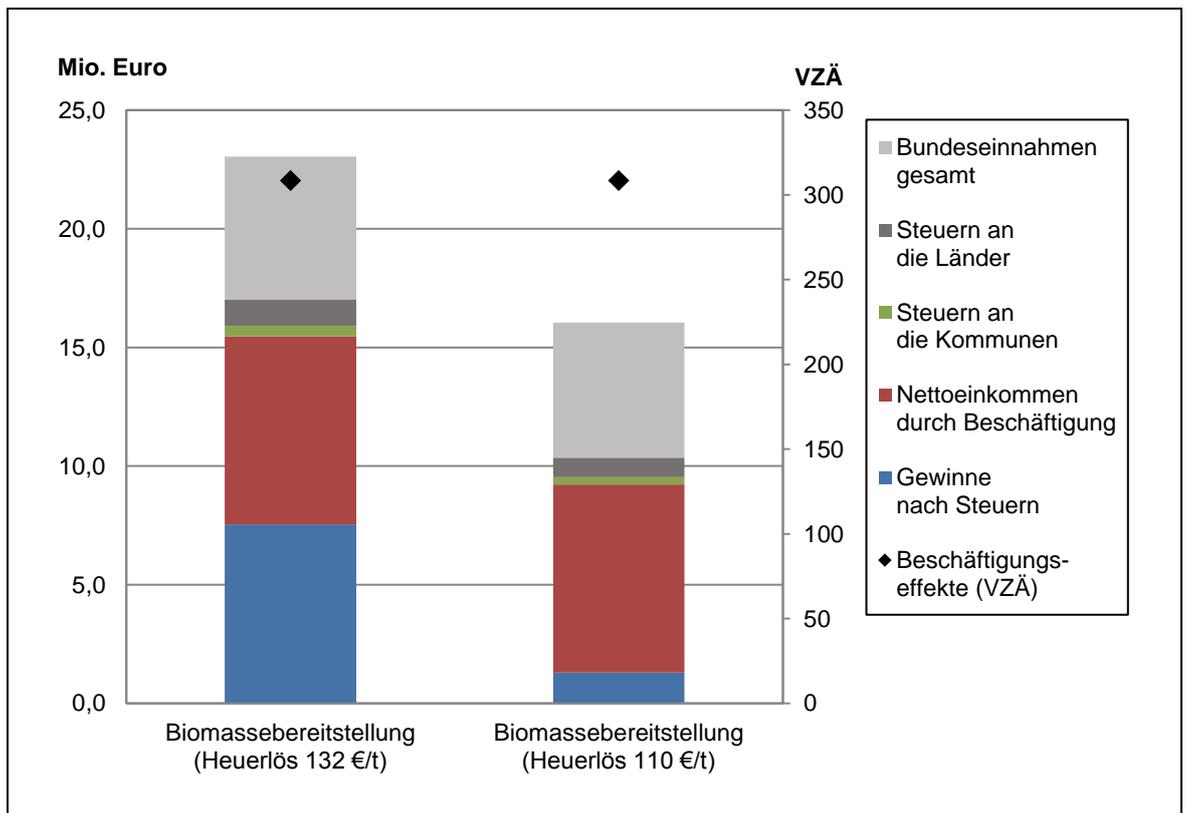
Der anhaltende Strukturwandel in der Landwirtschaft geht mit einer rückläufigen Zahl landwirtschaftlicher Betriebe und – vor allem bezogen auf Veränderungen in der (Milch-)Viehwirtschaft – mit einem Rückgang der Grünlandnutzung einher. Gleichzeitig gibt es rechtliche Vorschriften zum Erhalt der Grünlandflächen. So gilt gemäß den Greening-Auflagen der GAP das Umbruchverbot für besonders schützenswertes Grünland sowie einer Genehmigungspflicht für den Umbruch von Dauergrünland (BMEL 2015b). Zukünftig werden in Regionen mit rückläufigen Tierzahlen somit Potenziale frei, die einer anderen Nutzung, wie beispielsweise der Herstellung von Papier und Kartonagen, zugeführt werden können. Zudem bestehen Potenziale bei Grünlandflächen mit hohem ökologischem Wert, die keiner anderen Nutzung unterliegen, zu ihrer Erhaltung jedoch der Pflege bedürfen. Mit der Verarbeitung von Gras zu Vorprodukten für die Herstellung von Papier und Kartonagen können diese Flächen extensiv genutzt und hohe Pflegekosten der öffentlichen Hand vermieden werden. Die aus dem Heu produzierten Graspellets können Frischzellstofffasern als Rohstoff für die Papierproduktion substituieren.

Wie in Abschnitt 5.1.4 beschrieben, erfolgte die Ableitung von Potenzialflächen für die Etablierung neuer Wertschöpfungsketten auf Basis von Gras mit Hilfe von zwei Kriterien: zum einen der Grünlandanteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Stand 2010) und zum anderen die prozentuale Veränderung der raufutterfressenden Großvieheinheiten (GVE) von 1999 bis 2010. Abb. 5.6 zeigt den Verschnitt der beiden Größen. Diese wurden auch für eine Hochrechnung auf nationaler Ebene herangezogen. Hier sind insbesondere die rot eingekreisten Regionen interessant, da dort sowohl ein Rückgang der Raufutterfresser, sowie ein großer Grünlandanteil verortet werden kann. Für das Grünlandpotenzial in Deutschland ergibt sich analog zu Abschnitt 3.3.2.1 ein gesamtes technisches Potenzial von 270.000 ha. Hiervon muss jedoch die Fläche, die bereits für eine energetische Verwertung genutzt wird, abgezogen werden, wodurch sich ein Ausbaupotenzial von 60.000 ha ergibt. Im Szenario für das Jahr 2050 würde dieses Potenzial auf bis zu 410.000 ha ansteigen, wobei bereits der Tierfutterbedarf einkalkuliert ist. Das nationale Grünlandpotenzial gibt an dieser Stelle jedoch nur den aktuellen Stand wider.

Für die Hochrechnung der Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Grasbereitstellung für die stoffliche Nutzung (Herstellung von Papier und Kartonagen) in Deutschland wurde extensiv bewirtschaftetes Grünland angenommen, da sich Gras aus einer Grünlandbewirtschaftung im Rahmen von Maßnahmen im Rahmen von „Agrarumwelt- und Klimaschutz“ (AUK) hierfür gut eignet. Die Berechnungen werden folglich mit Produktionsverfahren mit kontrolliert biologischem Anbau durchgeführt. Eine zentrale Voraussetzung für den Betrieb einer Ausbereitungsanlage ist, dass im Umkreis der Pelletierungsanlage ausreichend Grünlandpotenziale zur Verfügung stehen. Auch ist insbesondere aus ökologischer Sicht eine Nähe zur Papierindustrie vorteilhaft, um lange Transportwege zu vermeiden. Damit reduziert sich die Potenzialfläche und für die Berechnungen wird unterstellt, dass rund die Hälfte der kurzfristig zur Verfügung stehenden Potenzialfläche, das heißt 30.000 ha, für die Verarbeitung zu Graspellets und einem Einsatz in der Papierindustrie genutzt wird. Dies entspricht der Verarbeitungskapazität von insgesamt sieben Anlagen zur Pelletierung von Gras mit einem Jahresbedarf von rund 25.000 t Heu (siehe Abschnitt 5.1.4).

Auch bei der **szenarienbasierten Hochrechnung für Deutschland** konnte eine Quantifizierung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte nur für die Teil-Wertschöpfungskette Grasbereitstellung vorgenommen werden, da für die ökonomische Bewertung der Erstverarbeitung (Graspelletierung) keine belastbaren Kostendaten recherchiert beziehungsweise über eine Befragung gewonnen werden konnten (siehe Abschnitt 4.3.4).

Mit den oben aufgeführten Annahmen zur Grünland-Potenzialfläche ergibt die Hochrechnung für Deutschland **jährliche Wertschöpfungseffekte in Höhe von knapp 11,5 Mio. Euro** mit einem Heupreis von 132 Euro/t für den ersten Schnitt und 131 Euro/t für den zweiten Schnitt im Basisjahr 2016. Das Szenario mit einem niedrigeren Preisniveau für Heu („Heuerlös 110 Euro/t“) zeigt jährliche Wertschöpfungseffekte von rund 8 Mio. Euro. Im Zusammenhang mit der Biomassebereitstellung sind zudem 154 VZÄ beschäftigt. Abb. 5.11 zeigt die jährlichen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte differenziert nach Wertschöpfungsstufen und Wertschöpfungsbestandteilen für die beiden Szenarien „Heuerlös 132 Euro/t“ und „Heuerlös 110 Euro/t. Wie bereits die regionale Betrachtung gezeigt hat, ist der Heupreis ein zentraler Einflussfaktor für die Höhe der Gewinne und damit auch der Wertschöpfung insgesamt.



**Abb. 5.11: Wertschöpfung und Beschäftigung durch Grasbereitstellung für den Einsatz in der Papierindustrie in Deutschland, jährliche Effekte (Basisjahr 2016)**

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung IÖW

Kann mit der Bereitstellung von Vorprodukten für die Produktion von Papier und Kartonagen Gras von Flächen, die aus der Nutzung gefallen sind oder für die es bisher keine Nutzungsoptionen gab, in die Verwertung gebracht werden, findet keine Verdrängung bisheriger Flächenbewirtschaftungen

statt. Vielmehr können mit der Grünlandbewirtschaftung verbundene Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte im ländlichen Raum erhalten beziehungsweise zusätzlich geschaffen werden.

## 6 Empfehlungen für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie für die Praxis und Politik

Die Idee, biobasiertes Wirtschaften mit dem Thema der Entwicklung von ländlichen Räumen zu verknüpfen, bedarf sowohl bei Vertreterinnen und Vertretern aus Politik und Verwaltung sowie Forschung und Entwicklung als auch bei Akteuren aus der Praxis, wie der Landwirtschaft und der Industrie einer weiteren Erläuterung und Bewusstseinsbildung. Momentan ist die ländliche Bioökonomie, entsprechend in dem dieser Schriftenreihe zugrundeliegenden Projekt eingeführten Begriffsverständnis, in Fachkreisen kein feststehender Begriff. Die Weiterentwicklung der Bioökonomie, bei welcher der ländliche Raum nicht nur als Rohstofflieferant für industrielle Bioökonomiekonzepte betrachtet wird, sondern verstärkt selbst die Umsetzung von dezentralen Bioökonomieansätzen vorantreibt, sollte daher zukünftig einerseits über eine zielgerichtete politische Steuerung auf EU-, Bundes- und Länderebene sowie andererseits über eine Vielfalt an privatwirtschaftlichen Aktivitäten erfolgen. Durch eine verbesserte politische Rahmensetzung und das Handeln von Wirtschaftsakteuren ist es vorstellbar, dass für einzelne, für den ländlichen Raum interessante Wertschöpfungsketten, ein Großteil der Wertschöpfungsstufen und -schritte innerhalb einer Region angesiedelt werden und somit der ländliche Raum von den möglichen positiven Effekten einer wachsenden Bioökonomie mit Blick auf Wertschöpfung und Beschäftigung profitiert.

Soll die Bioökonomie zukünftig im ländlichen Raum eine zunehmende Bedeutung erlangen, so bedarf es eines Mehrwerts für die lokal und regional ansässigen Akteure. Diesbezüglich gefordert sind sowohl Akteure aus der Politik und Verwaltung (auf den verschiedenen politischen Ebenen) als auch Akteure aus der Praxis (Unternehmen sowie Interessensvertretungen) sowie aus der Wissenschaft. Darüber hinaus ist für die Akzeptanz und Nachhaltigkeit auch die Einbeziehung der Zivilgesellschaft und der gesellschaftliche Dialog von Bedeutung.

Über die Entwicklung von einzelnen, für den ländlichen Raum relevanten technisch und wirtschaftlich tragfähigen Wertschöpfungsketten und damit verbundenen regionalen und dezentralen Bioökonomiekonzepten ist es aus ökonomischer Sicht möglich, die wirtschaftliche Entwicklung einer Region, die Wettbewerbsfähigkeit einzelner Unternehmen sowie Arbeitsplätze für die Bevölkerung zu erhalten und zu verbessern. Aus gesamtgesellschaftlicher Sicht zudem bedeutsam ist die verstärkte Berücksichtigung von Umweltschutz- und Klimaaspekten sowie die Stärkung von Akzeptanz und Teilhabe der verschiedenen Akteursgruppen.

Diese Aspekte sollten in der Fortschreibung der verschiedenen strategischen Politikpapiere und politischen Prozessen auf EU-, Bundes- und Bundeslandebene sowie in einzelnen Politikfeldern bei der Entwicklung von Anreizen und der Regulierung berücksichtigt werden. Zentral ist hier vor allem die Fortschreibung der Politik- und Forschungsstrategie auf Bundesebene sowie die Weiterentwicklung spezifischer Aktivitäten auf Landesebene. Gleiches gilt für die Aktivitäten weiterer Akteure und Initiativen aus dem politiknahen Umfeld, wie zum Beispiel der Beratungsgremien zur

Bioökonomie auf Bundes- und Landesebene (z. B. Bioökonomierat beziehungsweise Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern) sowie aus der Wirtschaft (z. B. nicht staatliche Clusterinitiativen, Unternehmen) und der Zivilgesellschaft (v. a. Akteure der Umwelt- und Verbraucherschutzverbände).

Dafür sollte die ländliche Bioökonomie in politischen und gesellschaftlichen Kreisen explizit und nicht wie bisher eher implizit adressiert werden. Dafür gilt es Anknüpfungspunkte zu definieren und ein entsprechendes Instrumentarium zur Förderung von positiven beziehungsweise zur Vermeidung von negativen ökonomischen, ökologischen und sozialen Effekten zu entwickeln. In die Betrachtung einfließen sollten einzelne Wertschöpfungsstufen, wie der Anbau und die Bereitstellung von biogenen Roh- und Reststoffen, die Erst- und Weiterverarbeitung sowie die Herstellung und Vermarktung von Halb- und Fertigwaren, ebenso wie sonstige Dienstleistungen. Stellvertretend dafür stehen neben Vertreterinnen und Vertretern aus Politik und Verwaltung verschiedene Akteure wie Rohstofflieferanten aus der Land-/ Forstwirtschaft und der Rest-/ Abfallstoffverwertung, Unternehmen der Erst-/ Weiterverarbeitung, der Handel sowie Endverbraucherinnen und -verbraucher. Bedeutsam sind an dieser Stelle auch entsprechende Formen der Kommunikation und Information sowie der Kooperation, über die Entwicklung von Betreiber- und Beteiligungsmodellen.

In den folgenden beiden Unterkapiteln wird zum einen auf Handlungsempfehlungen für die Praxis sowie zum anderen auf Empfehlungen zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens eingegangen.

Die Handlungsempfehlungen für die Praxis dienen dazu, bereits vorhandene Spielräume für den Auf- und Ausbau einer ländlichen Bioökonomie in der Praxis aufzuzeigen. Mit den Empfehlungen zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens werden Möglichkeiten der politischen Steuerung formuliert. Die Ausführungen basieren auf der im Projekt durchgeführten Analyse von Literatur, den gewonnenen Erkenntnissen aus geführten Interviews und Bereisungen, ebenso wie auf Diskussionsbeiträgen und Ergebnissen der im Projektverlauf und zum Ende des Vorhabens durchgeführten Workshops und Zukunftswerkstätten.

## 6.1 Handlungsempfehlungen für die Praxis

In der Praxis gibt es bereits unter den gegebenen Rahmenbedingungen erhebliche Handlungsspielräume für den Auf- und Ausbau einer ländlichen Bioökonomie. Dabei sind sowohl Akteure aus Land-, Forst- und Abfallwirtschaft, als auch aus Forschung und Entwicklung, (Kommunal-)Politik und Verwaltung, KMU und Industrie sowie aus dem Bereich Finanzierung und Förderung gefragt. Vor allem durch kooperatives Handeln dieser Akteure können Lösungen entwickelt und implementiert werden, welche die stofflich-energetische Nutzung von Biomasse mit einem Beitrag zur ländlichen Entwicklung verknüpfen.

Um diese Entwicklung in der Fläche zu ermöglichen, bedarf es vieler kleiner Schritte. Von den im Projekt befragten Praxisakteuren und Expertinnen und Experten wurden zahlreiche Handlungsfelder genannt, die hier im Überblick dargestellt werden:

- Analyse und Erschließung neuer Märkte und Erbringen gesellschaftlicher Leistungen
- Technische Weiterentwicklungen und Neuerungen
- Sensibilisierung und Förderung der gesellschaftlichen Akzeptanz
- Intensivierung des Wissenstransfers, Vernetzung und Clusterbildung
- Entwicklung regionaler Strategien und Konzepte

- Wahl geeigneter Geschäfts- und Finanzierungsmodelle sowie Förderinstrumente
- Stärkere Berücksichtigung regionaler biobasierter Produkte in der öffentlichen Beschaffung
- Aufbau von Leuchtturmprojekten und Vorreiter-Regionen

Innerhalb dieser übergreifenden Handlungsfelder gibt es eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen, mit denen die Akteure vor Ort die ländliche Bioökonomie voranbringen können und die nachfolgend näher erläutert werden.

### **Analyse und Erschließung neuer Märkte und Erbringen gesellschaftlicher Leistungen**

Auf dem Feld der stofflichen Biomassenutzung gibt es eine Fülle an Produkten und Märkten (siehe Abschnitt 3.4). Auch wenn diese nicht alle gleichermaßen für dezentrale Anwendungen geeignet sind, gibt es einzelne Bereiche, die in diesem Zusammenhang besonders vielversprechend erscheinen. Dabei sehen Expertinnen und Experten sowohl in Nischenmärkten wie beispielsweise dem für pharmakologische Wirkstoffe als auch in Absatzmärkten mit großem Volumen wie etwa der Herstellung von Dämmstoffen Potenzial für den ländlichen Raum. Vor dem Hintergrund dieser sehr unterschiedlichen Marktsituationen sollten Wirtschaftsakteure für die Realisierung dezentraler Wertschöpfungsketten die Märkte und Preisgefüge für biobasierte Produkte und vorhandene Referenzprodukte sehr genau analysieren.

Industrielle Abnehmer stehen neuen biobasierten Vorprodukten oftmals skeptisch gegenüber. In diesem Zusammenhang hat es sich bei der Einführung neuer Rohstoffe für eine industrielle Weiterverarbeitung bei mehreren Praxisakteuren, die im Projekt „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ befragt wurden, bewährt, die Absatzmärkte gleich mit zu entwickeln. So können neue Produkte, die im Industrieprozess einen Mehraufwand gegenüber eingeführten Produkten mit sich bringen, einfacher eingeführt werden, ohne dass eine Lücke zwischen Angebot und Nachfrage entsteht.

Über die Erschließung von Produktmärkten hinaus wurde auf den Projektworkshops auch diskutiert, wie gesellschaftliche Leistungen einer verstärkten biobasierten Produktion in Wert gesetzt werden können. Dies können etwa Produktionsprozesse mit einer verbesserten Klimabilanz sein oder Wertschöpfungsketten, die zu einer Erhöhung der nutzungsbedingten Biodiversität beitragen. Vor dem Hintergrund eines zunehmenden Bewusstseins für Nachhaltigkeitsthemen bei Verbraucherinnen und Verbrauchern können sich Unternehmen mehr als je zuvor mit der nachhaltigen Gestaltung von Wertschöpfungsketten und einer gezielten Kommunikation Marktanteile erschließen. Gelingt es, diese Leistungen beispielsweise durch ein Nachhaltigkeitslabel nachvollziehbar zu machen, können sie womöglich als zusätzliches Kaufkriterium in Wert gesetzt werden. Unabhängig von einer Honorierung über den Produktpreis können Akteure entlang der Wertschöpfungskette zudem den Aufbau von Märkten für regionale Ökosystemleistungen, zum Beispiel einer Honorierung für Biodiversitäts- und Klimaschutzleistungen, vorantreiben. Einen möglichen Weg hierfür sahen die Teilnehmenden der Projektworkshops auch in der Etablierung strategischer Stadt-Land-Partnerschaften – etwa durch eine Kompensation von CO<sub>2</sub>-Emissionen städtischer Räume durch ländliche Gebiete.

### **Technische Weiterentwicklungen und Neuerungen**

Technische Weiterentwicklungen und Neuerungen stehen zwar nach Expertenmeinung nicht an erster Stelle beim Aufbau einer ländlichen Bioökonomie, sind aber dennoch ein wichtiger Schritt für die potenzielle Verlängerung von Wertschöpfungsketten im ländlichen Raum. Teilweise müssen

bekannte technische Ansätze für die Biomassenutzung angepasst oder weiterentwickelt werden. Dabei bieten nach Einschätzung mehrerer Interviewpartnerinnen und -partner insbesondere spezialisierte Produkte und die Verwertung von Reststoffen ein Potenzial für regionale Einkommens- und Beschäftigungseffekte. Insofern kommt diesen Bereichen auch bei der Entwicklung technischer Neuerungen eine besondere Bedeutung zu. Als Beispiel wurde die kaskadische Nutzung von Lebensmittelabfällen genannt, bei der zunächst Wertstoffe extrahiert werden und erst danach eine energetische Verwertung angeschlossen wird.

Bei der Kombination dezentraler Prozessschritte mit einer zentralen Weiterverarbeitung kommt Verfahren zur Qualitätssicherung und Voraufbereitung von Rohstoffen direkt in der Landwirtschaft eine große Bedeutung zu. So können flexible Bioraffineriekonzepte mit einer Mischung aus der dezentralen Erzeugung von Grundstoffen und zentralen Prozessschritten, etwa ab der Aufreinigung einzelner Inhaltsstoffe, entstehen. Unabhängig davon, ob es um die Erzeugung und Erstaufbereitung von Chemiegrundstoffen oder Fasern als Vorprodukte für eine industrielle Anwendung handelt, sind Akteure aus Forschung und Entwicklung gefragt, dezentral anwendbare Lösungen (weiter) zu entwickeln.

Wichtig bei der Entwicklung bestehender und neuer Technologien ist, dass diese stets praxisnah erfolgt. Hier sind Entwicklerinnen und Entwickler gefragt, ihre Arbeiten stärker als bislang an aktuellen und kommenden Praxisfragen auszurichten. Weiterhin sollten technische Neu- oder Weiterentwicklungen stets im Kontext vorhandener Technologien und Wertschöpfungsketten erfolgen, um eine Praxisintegration zu erleichtern. So bieten etwa bestehende Strukturen wie Biomassehöfe oder Biogasanlagen eine hervorragende Grundlage dafür im Sinne einer Kaskadennutzung.

### **Sensibilisierung und Förderung der gesellschaftlichen Akzeptanz**

Analog zur Energiewende und beispielsweise dem damit verbundenen Zubau an Windenergieanlagen weckt auch die Rohstoffwende hin zu einem Mehr an biogenen Roh- und Reststoffen, unter Einsatz neuer Technologien, mitunter Skepsis in der Bevölkerung. Im Hinblick auf Sicherheit, Bezahlbarkeit, Sozial- und Umweltverträglichkeit einer stärker biobasierten Wirtschaft gibt es zweifelsohne viele ungeklärte Fragen.

Auch die Idee, ländliche Entwicklung durch eine intelligente Nutzung biobasierter Ressourcen zu fördern, ist erklärungsbedürftig. Es bedarf daher einer Sensibilisierung sowohl der Fachwelt als auch der breiten Öffentlichkeit, um diese für den Ansatz der ländlichen Bioökonomie und entsprechende Aktivitäten (im Sinne der Akzeptanz) zu gewinnen. Hierfür ist nach Ansicht der Workshop-Teilnehmenden im Projekt die Vermittlung ganz grundlegender Aspekte der Landnutzung, Ökologie und natürlichen Kreisläufe unter anderem im schulischen und außerschulischen Bereich vonnöten. In der weiterführenden Ausbildung an Hochschulen sollte die Bioökonomie als eigener interdisziplinärer Studiengang, mit Lehrinhalten aus den Ingenieur- und Agrarwissenschaften, sowie als Bestandteil vorhandener Studiengänge Einzug erhalten. Darüber hinaus halten die Workshop-Teilnehmenden eine Förderung politischer Bildung und von Beteiligungsprozessen der Bevölkerung für sinnvoll. Außerdem ist auch die sozialwissenschaftliche Forschung gefragt, um Vorurteile und Missverständnisse bezüglich der (ländlichen) Bioökonomie zu überwinden.

Ist die Herstellung biobasierter Produkte gegenüber Referenzprodukten mit zusätzlichen positiven gesellschaftlichen Leistungen verbunden, kann dies durch eine entsprechende Kommunikation für die Vermarktung genutzt werden. Diesbezüglich müssen vorhandene Leistungen der Produkte etwa für mehr Umwelt- und Klimaschutz ebenso transparent kommuniziert werden, wie mögliche

negative Effekte, die sich aus ihrer Nutzung ergeben, zum Beispiel ein höheres Verkehrsaufkommen durch den Bau einer Verwertungsanlage. Die Notwendigkeit einer Rohstoffwende und der effizienten Nutzung von Biomasse muss vor dem Hintergrund bestehender Umweltprobleme wie Klimawandel, Kunststoffeintrag in die Ökosysteme und Ressourcenverknappung nachvollziehbar erklärt werden. Eine gute Möglichkeit hierfür bieten die „Sustainable Development Goals“ (SDGs). Dahingehend sollte ein besonderes Augenmerk auf der Analyse und Kommunikation bestehender Zielkonflikte zwischen Ökologie und Wirtschaftlichkeit liegen.

In der praktischen Entwicklung von Bioökonomieprojekten mit regional sichtbaren Auswirkungen auf die Landnutzung ist es von entscheidender Bedeutung, diese Einflüsse und Hintergründe frühzeitig transparent und nachvollziehbar zu kommunizieren. Werden Produkte für den regionalen Absatz hergestellt, kann eine hohe Transparenz bezüglich Regionalität und Aufbau der Wertschöpfungskette hilfreich sowohl für die Akzeptanz als auch für die Vermarktung sein. Außerdem sollten Beteiligungsangebote für Bürgerinnen und Bürger oder weitere Akteure, sofern vorhanden, möglichst an die jeweiligen Lebenswelten anknüpfen.

Darüber hinaus wichtig für die Akzeptanz ist eine geeignete Dimensionierung und Einpassung in den jeweiligen regionalen Landschaftskontext. Pauschal betrachtet ist nach Erfahrung einzelner Akteure die gegebene steuerrechtliche Abgrenzung zwischen Landwirtschaft und Gewerbe ein gutes Maß für die regionale Tragfähigkeit neuer Wertschöpfungsketten. Ähnlich wie bei Biogas oder in der Tiermast, wird eine flächenunabhängige Produktion als kritisch für eine nachhaltige Rohstoffversorgung von Verwertungsanlagen beurteilt. Anlagen im Bereich bis 5.000 bis 6.000 t Biomasse werden als sinnvolle Größe empfunden, während wesentlich größer dimensionierte Projekte nach Einschätzung von vielen Akteuren größeren Risiken im Hinblick auf Akzeptanz und eine ökonomisch tragfähige, regionale Rohstoffversorgung ausgesetzt sind.

#### **Image-Broschüre ländliche Bioökonomie**

Im Zuge der Projektarbeiten wurde eine Broschüre entwickelt, die das Thema ländliche Bioökonomie für ein breites Publikum zugänglich machen soll. Die Publikation wurde in kleiner Printauflage verlegt und ist digital unter [www.laendliche-biooekonomie.de](http://www.laendliche-biooekonomie.de) verfügbar. Neben einem Überblick über Chancen und Herausforderungen bei der Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie werden unterschiedliche Praxisbeispiele vorgestellt. Die Broschüre enthält auch erste grobe Handlungsempfehlungen für die Praxis.

#### **Intensivierung des Wissenstransfers, Vernetzung und Clusterbildung**

Von zentraler Bedeutung für den Aufbau einer ländlichen Bioökonomie war für viele Expertinnen und Experten aus den Interviews und den Workshops des dieser Schriftenreihe zugrundeliegenden Projekts das Thema Intensivierung des Wissenstransfers, sowohl von der Forschung in die Praxis, als auch zwischen Praxisakteuren. Als konkrete Ideen der Wissensvermittlung wurden etwa neutrale Informationsmakler, Bioökonomie-Inkubatoren oder ein „Katalog der guten Ideen“ genannt.

Im landwirtschaftlichen Sektor wurde hierfür vor allem der Austausch zwischen landwirtschaftlichen Betrieben und wissenschaftlichen Einrichtungen für wichtig erachtet. Dieser sollte über Bauernverbände und die Hochschulen verstärkt organisiert werden. Als vorstellbare Formate wurden allgemeine Seminare und Tagungen zum Thema ländliche Bioökonomie als auch fachspezifische Exkursionen und Feldtage genannt.

Um allgemeine Kenntnisse rund um die stoffliche Biomassenutzung – verbunden mit dem Gedanken der Regionalentwicklung – zu verbreiten, wurde eine (Online-)Plattform mit aktuellen Berichten zu Neuerungen, Forschungsprojekten und Praxisbeispielen für sinnvoll erachtet. Diese sollte sich abheben von bestehenden Angeboten, die überwiegend technologiebezogene Inhalte mit starkem Fokus auf industrielle Anwendungen umfassen. Angesichts bestehender und teilweise wenig hilfreicher Portale sollte eine genaue Analyse von Zielgruppen und deren Informationsbedarfen erfolgen, um einen anhaltenden Nutzen sicherzustellen. Dabei ist es wichtig, dass die Plattform Vorteile sowohl für Erfahrene als auch für Neueinsteigende bietet. Sinnvolle Themenbereiche, die eine Informationsplattform für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie abdecken sollte, sind daher:

- Aktuelles aus Forschung und Praxis
- Rohstoffe und Verwertungsmöglichkeiten
- Technische Weiterentwicklungen und Neuerungen
- Geschäfts- und Finanzierungsmodelle
- „Projekt-Atlas Ländliche Bioökonomie“ (mit Länderbeispielen)
- „Kontaktbörse“ (um Akteure zusammenzubringen).

Ungeachtet zahlreicher Innovationen gibt es auch Wertschöpfungsketten, die bereits erprobt und gut auf andere Regionen übertragbar sind. Diese können in einem „Katalog der guten Ideen“ gesammelt und ebenfalls über eine Online-Plattform zugänglich gemacht werden. Ein solcher Katalog kann Informationen zu dezentralen Bioökonomieansätzen zusammenfassen, die eine hohe Reproduzierbarkeit aufweisen und dementsprechend an vielen Standorten umgesetzt werden können.

Zentral für die überregionale Übertragung erfolgreicher Ansätze sind vor allem auch die Vernetzung und der Erfahrungsaustausch zwischen Pionieren und Nachahmern. Es gibt zahlreiche funktionierende Geschäftsmodelle einer stofflich-energetischen Biomasseverwertung, die kopierbar sind, ohne dass die jeweiligen Akteure in Konkurrenz zueinander treten. Eine Peer-to-Peer-Beratung, also der direkte Austausch zwischen Praxisakteuren bietet hervorragende Möglichkeiten für eine kosteneffiziente und beschleunigte Verbreitung erfolgreicher Projektansätze. Ein vergleichbarer Ansatz hat sich auch schon bei der Entwicklung von Bioenergiedörfern in Deutschland bewährt (vgl. Heck et al. 2014) – auch hier führte ein intensiver Erfahrungsaustausch zwischen vielen Dorfgemeinschaften zur erfolgreichen Entwicklung zahlreicher Praxisprojekte für eine klimafreundliche und wertschöpfende Energieversorgung. Wird ein solcher Austausch auch für neue beziehungsweise erweiterte Wertschöpfungsketten mit Biomasse über eine zentrale Informationsplattform organisiert, kann dieser Wissenstransfer für erfolgreiche Pioniere durch eine Vergütung oder Förderung der Beratungsleistung zum Geschäftsmodell werden. Damit kann im Ergebnis ein Handelsplatz für funktionierende technische Konzepte und Geschäftsmodelle entstehen, der letztlich allen Beteiligten zu Gute kommt.

Viele Akteure halten den Aufbau von Strukturen für den Wissensaustausch über die Bildung von Clustern auch direkt auf der regionalen Ebene für zielführend. Ergänzend zu den bestehenden, oft als stark von Industrieinteressen geprägt empfundenen Bioökonomieclustern, vertraten einige Workshop-Teilnehmende die Auffassung, dass sich die ländliche Bioökonomie eigene Cluster-Strukturen geben muss. Der Aufbau neuer Bioökonomiecluster ist insbesondere in Transformationsregionen, geprägt durch einen Strukturwandel und einer hohen Nachfrage nach Arbeitsplätzen sinnvoll. Mögliche Beispiele sind perspektivisch die Braunkohle-Revier im Rheinland und in der Lausitz.

Öffentliche Stabsstellen, können an zentraler Stelle (z. B. in der Wirtschaftsförderung) auf Landkreisebene ähnlich dem kommunalen Klimaschutzmanagement helfen, Verwaltungsprozesse wie die Genehmigung neuer Anlagen zu vereinfachen, um so gleichzeitig mehr Wertschöpfung für die Region zu erzielen. Regionen, die langfristig an der Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie arbeiten wollen, können auch über Medienkampagnen zu dem Thema informieren, indem gezielt über regionale Projekte und Firmen berichtet wird.

Als geeignete Modelle zur Förderung einer sektorübergreifenden Vernetzung, etwa zwischen Landnutzerinnen und Landnutzern sowie dem verarbeitenden Gewerbe, werden zudem Kompetenzzentren unter Beteiligung der öffentlichen Hand und von Akteuren aus Landwirtschaft und Industrie angesehen, wie es sie beispielsweise in Niedersachsen und Bayern bereits gibt. Diese Einrichtungen können auch als Beratungsstellen beziehungsweise Bioökonomie-Inkubatoren fungieren, wenn es etwa um die Schaffung von Gründungsanreizen, Projektentwicklung und Fördermittelakquise geht. Auch die Integration technischer Forschungsanlagen in diese Kompetenzzentren als Schnittstelle für technische Weiterentwicklungen ist aus Sicht einiger Akteure aus Forschung und Entwicklung wünschenswert.

### **Entwicklung regionaler Strategien und Konzepte**

Ausgangspunkt einer stärker ländlichen Ausrichtung der Bioökonomie kann die Entwicklung von überregionalen Strategien sein. Hier sind Akteure der zuständigen Landesministerien und der Forschungseinrichtungen gefragt. Mithilfe einer solchen übergeordneten Strategie, wie zum Beispiel in Baden-Württemberg zuletzt erarbeitet, können regionale Ansätze heruntergebrochen und mit Fördermitteln unteretzt werden.

Für eine Entwicklung der Bioökonomie, die stärker in die Fläche geht, bedarf es angepasster Strategien und Konzepte auf regionaler Ebene. Diese sollten als integrierte Regionalstrategien und -konzepte zunächst einen umfassenden Überblick über Rohstoffpotenziale, Märkte sowie vorhandene Aktivitäten und Akteure bieten und im Ergebnis spezifische Handlungsspielräume für die Region und ihre Akteure aufzeigen. Um dies zu erreichen, sollten Detailanalysen durchgeführt werden, die regionale Besonderheiten herausarbeiten. Über Werkstattgespräche mit Praktiker/innen und Entscheidungsträger/innen können erlangte Erkenntnisse ausgetauscht und konsolidiert werden, ebenso kann zugleich die Partizipation der regionalen Akteure gestärkt und konkrete Maßnahmen für eine Umsetzung erarbeitet werden.

Initiatoren für die Entwicklung von regionalen Strategien und Konzepten können landwirtschaftliche Verbände, Kommunen und Landkreise über ihre Wirtschaftsförderung oder regionale Hochschulen sein. Einen Teil dieser Arbeiten können die regionalen Akteure auf Basis bestehender Förderprogramme (z. B. der Klimaschutzinitiative der Bundesregierung) bereits heute anstoßen, während eine gezielte Förderung ganzheitlicher, regionaler Bioökonomiekonzepte noch nicht existiert. Diese sollte so entwickelt werden, dass alle Regionen unabhängig von ihrer Wirtschaftskraft einbezogen werden. Besondere Förderung sollte gerade finanziell schwache Regionen zukommen, zum Beispiel um Pilotvorhaben umsetzen zu können. Einzelne Dörfer und ganze Regionen können somit, im Sinne von „Landunternehmen“, wertschöpfend mit ihren jeweiligen Ressourcen entwickelt werden.

## Wahl geeigneter Geschäfts- und Finanzierungsmodelle sowie Förderinstrumente

Ein wichtiges Ergebnis der Workshops im Forschungsvorhaben war, dass Handlungsbedarf für eine positive Gestaltung der Bioökonomie aus Sicht des ländlichen Raums vor allem bei der Finanzierung von Neuentwicklungen und der Umsetzung konkreter Projekte besteht. Von entscheidender Bedeutung für den ländlichen Raum ist hierbei eine größere Dezentralisierung, unter anderem durch eine stärkere Einbeziehung von Land- und Forstwirtschaft in die erste Verarbeitungsstufe. Über Zusammenschlüsse von landwirtschaftlichen Betrieben sowie Kooperationen mit und Beteiligungen an verarbeitenden Unternehmen können Rohstoffströme gebündelt und Qualitäten optimiert werden.

Für Projekte mit starkem regionalem Bezug wurden drei zentrale Schnittstellen diskutiert, an denen über Beteiligungsmöglichkeiten wirtschaftliche Vorteile erschlossen werden können:

- Über die Verknüpfung der Rohstoffbereitstellung mit einer finanziellen Beteiligung können Rohstoffqualitäten und Versorgungssicherheit gewährleistet werden.
- Die Einbindung von Kunden in das eigene Geschäftsmodell als Anteilhaber sichert den Absatz und gibt dem abnehmenden Unternehmen Gewissheit über die Produktherkunft.
- Über Mitbestimmungsmöglichkeiten, zum Beispiel durch genossenschaftliche Modelle, können Kompetenzen unterschiedlicher Akteure gebündelt werden.

Normen oder spezielle rechtliche Anforderungen stellen oftmals hohe Hürden für die Markteinführung neuer, biobasierter Produkte dar. Dezentral arbeitende Betriebe mit ähnlichen oder identischen Produkten können diesem Umstand durch eine gemeinsame Vermarktung im Rahmen einer Kooperation begegnen.

Neue Geschäfts- und Finanzierungsmodelle sollten eine Koppel-, Kaskaden- oder Mehrfachnutzung von Biomasse fördern, etwa indem Unternehmen mit unterschiedlichen Kompetenzen ein „Joint-Venture“ bei der Entwicklung von Bioraffineriekonzepten bilden. Ein Beispiel hierfür sind die vorhandenen technologischen Ansätze für Grasraffinerien. Hieran arbeiten zahlreiche Unternehmen, mit teilweise sehr unterschiedlichen Ansätzen und Entwicklungsständen, die sich aber durchaus ergänzen können. So äußerten mehrere Teilnehmende des Workshops zum Thema Grasraffinerien Interesse an solchen Kooperationen. Darüber lassen sich die verschiedenen Kompetenzen, Verfahren und Produkte bündeln. Als Beispiel zu einer verbesserten Grasraffinerie wurde die Kombination der Extraktionsprozesse für Grassaft von einem Unternehmen mit dem Aufbereitungsverfahren für Fasern eines anderen Unternehmens genannt.

Relevant für die Weiterentwicklung dezentral einsetzbarer Verfahren und deren Finanzierung ist nach Dafürhalten vieler Expertinnen und Experten eine frühzeitige Beteiligung der Industrie. Auch kommunale Unternehmen sollten bei der Entwicklung von regionalen Bioökonomieprojekten eine wichtige Rolle einnehmen, beispielsweise über die Schaffung von finanziellen Beteiligungsmodellen. Dadurch können die Kommunen stärker von solchen Ansätzen profitieren. Gleiches gilt für Genossenschaften und das Einbringen von lokalem Kapital. Referenz hierfür ist die Vielzahl der Bürgerenergiegenossenschaften. Ausgehend von bestehenden Aktivitäten im Bereich von Gemeinschaftsbiogasanlagen können so vorhandene Erfahrungen und Strukturen für die Rohstoffversorgung von stofflichen Wertungsketten genutzt werden. Durch eine Beteiligung vieler Akteure mit kleinen Summen können bestehende Risiken von neuen Technologien gestreut werden. Diese Möglichkeit wird etwa im Rahmen von „Crowdinvesting“-Projekten von vielen Start-Ups bereits genutzt. Eine weitere Option für gemeinschaftliche Finanzierungen sind Nachrangdarlehen. Diese

werden von Banken wie Eigenkapital bewertet und können damit einen wichtigen Baustein für die Finanzierung darstellen.

Bei der Vergabe von Beteiligungsmöglichkeiten sollten Betroffene sowie Anwohnerinnen und Anwohner prioritär berücksichtigt werden. Darüber kann Akzeptanzproblemen vorgebeugt werden, etwa aufgrund von erhöhtem Verkehrsaufkommen bei größeren Vorhaben der Verwertung von Biomasse. Dies zeigen Erfahrungswerte aus dem Bioenergiebereich. Zugleich ist es über finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten möglich, erhebliche Mittel für die Entwicklung wertschöpfender, regional verankerter Projekte zu mobilisieren. Vor dem Hintergrund anhaltend niedriger Zinsen bietet sich so in den meisten Regionen die Möglichkeit zur Mobilisierung erheblicher Finanzmittel für Investitionen bei gleichzeitiger Steigerung der Akzeptanz.

Nach Erfahrung mehrerer Expertinnen und Experten, die im Zuge des Projekts „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ befragt wurden, fehlt es bei Banken und anderen Finanzdienstleistern allerdings häufig an Expertise für Biomasse- und Bioökonomieprojekte. Hier besteht Nachholbedarf, wobei es für die Vielzahl der ländlichen Banken ratsam ist, gezielte Kompetenzen innerhalb ihrer jeweiligen Dachorganisationen auf- und auszubauen.

Insgesamt sollten die Akteure einer ländlichen Bioökonomie Strukturfördermittel für die regionale Entwicklung gezielt auch zum Umbau der regionalen Wirtschaft auf eine biobasierte Wirtschaftsweise nutzen (siehe Abschnitt 6.2).

### **Stärkere Berücksichtigung biobasierter Produkte in der öffentlichen Beschaffung**

Akteure der öffentlichen Hand können beim Ausbau einer ländlichen Bioökonomie vorgehen, indem sie Spielräume im Vergaberecht zugunsten regionaler und biobasierter Produkte ausschöpfen. Eine nachhaltige Beschaffungspolitik kann nicht nur die Nachfrage nach biobasierten, regionalen Produkten stärken, sondern zugleich als beispielgebendes Verwaltungshandeln andere Akteure zur Nachahmung anregen.

### **Aufbau von Leuchtturmprojekten und Vorreiter-Regionen**

Die verstärkte Entwicklung von Leuchtturmprojekten und Vorreiter-Regionen, die zur Nachahmung anregen, wurde von zahlreichen Interviewpartner/innen und Workshopteilnehmer/innen im Projekt als zentral für eine stärker flächenhafte Umsetzung einer ländlichen Bioökonomie genannt. Voraussetzungen für eine solche Entwicklung auf regionaler Ebene sind eine kooperative Grundstimmung sowie das Vorhandensein geeigneter „Kümmerer“, also von Akteuren, die das Thema vor Ort vorantreiben und etwa eine Vernetzung organisieren. Ein Sichtbarmachen von Pionier-Aktivitäten, wie auch die Suche nach neuen Ideen und Projekten sind geeignet, um diese bekannter zu machen und darüber eine gewisse Nachahmung zu fördern. Ein geeignetes Format, um solche Vorreiter-Regionen zu fördern kann ein Wettbewerb sein, bei dem Landkreise und Regionen sich um Fördermittel bewerben können. So können Leuchtturmprojekte unterstützt und ländliche Räume zu Vorreiter-Regionen entwickelt werden.

## 6.2 Empfehlungen zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens

Ziel der Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens und damit der politischen Steuerung sollte es sein, günstige Bedingungen für eine nachhaltige, sprich ökologisch, ökonomisch und gesellschaftlich tragfähige Entwicklung der ländlichen Bioökonomie zu schaffen. Relevant ist dafür nicht nur die übergreifende Betrachtung von einzelnen übergeordneten Zielen (wie z. B. der Erhalt und der Steigerung der Wertschöpfung und Beschäftigung, das Befördern von Umweltschutz- und Klimaaspekten, sowie das Schaffen von Akzeptanz), sondern auch die vertiefte Betrachtung der einzelnen Wertschöpfungsstufen der für eine ländliche Bioökonomie relevanten Wertschöpfungsketten, wie im der Schriftenreihe zugrundeliegenden Vorhaben erfolgt. Die regionale Bereitstellung von Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen, die Erst- und Weiterverarbeitung sowie im Idealfall auch die Herstellung und Vermarktung von Halb- und Fertigwaren vor Ort sollte einen möglichst positiven Beitrag zur Entwicklung der ländlichen Räume sowie darüber hinaus für Mensch und Umwelt leisten. Relevant dafür ist auch die Berücksichtigung von neuen oder innovativen Technologien und Verfahren. Zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens bedarf es sowohl der Betrachtung der einzelnen politischen Ebenen (EU, Bund, Länder) als auch von verschiedenen relevanten Politikfeldern und entsprechender Instrumente (in den Bereichen Agrar, Umwelt, Energie und Klima, Wirtschaft, Verbraucherschutz). Die einzelnen politischen Ebenen, Politikfelder und -instrumente bieten teilweise gute Anknüpfungspunkte, stellen teilweise aber auch Hürden für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie dar (siehe Abschnitt 3.2). In diesem Sinne sollten sowohl Synergien als auch Konflikte zwischen den politischen Ebenen, Politikfeldern und -instrumenten identifiziert und für eine ländliche Bioökonomie förderliche Handlungsansätze entwickelt werden. Relevant sind in diesem Kontext zudem die Förderung von Forschung und Entwicklung, des Transfers von der Forschung in die Praxis sowie der gesellschaftliche Dialog.

Die in Tab. 6.1 dargestellte Auswahl an wünschenswerten Wirkungen und Aktivitäten steht stellvertretend für eine Vielzahl an möglichen Ansatzpunkten der politischen Steuerung zur Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie. Diese sind übergreifend relevant für die Entwicklung von einzelnen, für den ländlichen Raum relevanten Wertschöpfungsketten beziehungsweise beziehen sich auf einzelne Wertschöpfungsstufen. Entsprechend dem Projektverständnis sind diese (übergreifenden Aspekte sowie die Bereitstellung und möglichst auch die Erst- und Weiterarbeitung von Biomasse und von biogene Rest-/ Abfallstoffe) im ländlichen Raum anzusiedeln oder eher überregional (wie zum Beispiel die Herstellung und Vermarktung von Halb- und Fertigwaren) zu verorten. Ebenso dargestellt in Tab. 6.1 sind identifizierte Bedarfe für die weitere Forschung und Entwicklung (siehe auch zum Abschluss Abschnitt 7).

**Tab. 6.1: Auswahl an wünschenswerten Wirkungen und Aktivitäten durch die Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens einer ländlichen Bioökonomie**

Quelle: Eigene Zusammenstellung und Darstellung IÖW

< < <      Im ländlichen Raum anzusiedeln / Eher überregional verortete Wertschöpfungsstufen      > > >			
<p><b>Übergreifend relevant für einzelne Wertschöpfungsketten – Förderung von ...</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>regionalen Bioökonomiekonzepten</b> (mit regionaler Abstufung, z. B. Strukturwandel-Regionen)</li> <li>– <b>Logistikkonzepten</b></li> <li>– <b>Cluster/ Netzwerken</b></li> <li>– <b>Info-/ Dialogformaten</b></li> <li>– <b>Qualifizierungs-/ Beratungsangeboten</b></li> <li>– <b>besonderen Bedingungen für Betreiber-/ Beteiligungsmodelle</b> (z. B. für Kleinanleger)</li> </ul>	<p><b>Bereitstellung von Biomasse/ biogenen Rest-/ Abfallstoffen – Förderung von ...</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>nachhaltigen Bewirtschaftungsweisen</b> (über Düngemittel-/ Pflanzenschutz-Recht)</li> <li>– <b>positiven Umweltschutz-/ Klimaleistungen</b> (über Boden-/ Wasser-/ Natur/ Klimaschutz-Recht)</li> <li>– <b>Erhalt/ Pflege &amp; Weiterentwicklung Kulturlandschaft</b> (z. B. über GAP)</li> </ul>	<p><b>Erst- und Weiterverarbeitung – Förderung von ...</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Erstverarbeitung/ Herstellung von Vorprodukten vor Ort</b> (über Steuerrecht)</li> <li>– <b>Innovationen</b> (im Bereich Veredelung/ Spezialisierung); u.a. auch kleinere Betriebe</li> <li>– <b>Aufbau wirtschaftlicher Verarbeitungs-/ Produktionskapazitäten</b></li> <li>– <b>Einsatz von Schlüsseltechnologien</b></li> </ul>	<p><b>Herstellung/ Vermarktung von Halb-/ Fertigwaren – Förderung von ...</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>positiven Umwelt-/ CO<sub>2</sub>-Bilanzen</b> (über Ge-/ Verbote/ Steuerrecht)</li> <li>– <b>Kennzeichnung Biomasseanteil und Herkunft</b> (über Zertifikate/ Labels)</li> <li>– <b>erweiterten Einsatzfeldern</b> (z. B. öffentliche/ gewerbliche Beschaffung)</li> <li>– <b>Standards/ Normen</b> (z. B. im Baubereich)</li> </ul>
<p><b>F+E Bedarfe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Förderung regionaler Modell-/ Pilot-/ Demo-Vorhaben</li> <li>– Bewertung einzelner Wertschöpfungsketten</li> <li>– Überprüfung und Bewertung Instrumenten-Set</li> </ul>	<p><b>F+E Bedarfe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Know-how Rohstoffbasis (Einsatz/Qualität)</li> <li>– Know-how Pflanzenbau</li> <li>– Know-how Erstverarbeitung</li> </ul>	<p><b>F+E Bedarfe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erweiterung Produktpalette (Kaskaden-/ Koppel-/ Mehrfachnutzung)</li> <li>– Untersuchung zum „Downscaling“ von industriellen Prozessen</li> </ul>	<p><b>F+E Bedarfe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Akzeptanz-/ Verbraucherverhalten</li> </ul>

Im Folgenden werden einzelne Ansatzpunkte näher ausgeführt, die bei der zukünftigen Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens einer ländlichen Bioökonomie berücksichtigt werden sollten. Davor wird nochmals kurz auf den politischen Handlungsbedarf eingegangen. Dieser wird deutlich, betrachtet man die eher langsame grundsätzliche Entwicklung der Bioökonomie und die nach wie vor gegebene Wettbewerbsverzerrung zugunsten fossiler Rohstoffe, verbunden mit negativen Umwelteffekten, welche nur unvollständig in den Marktpreisen berücksichtigt werden. Mögliche Gründe für das zögerliche Handeln sind laut Pannicke et al. (2015) Informationsasymmetrien und Pfadabhängigkeiten. Diesbezüglich sollten die Bereitstellung und die Nutzung von Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen sowie die Herstellung und Vermarktung von Halb- und Fertigwaren zukünftig verbessert werden und ein klares Bekenntnis zu einem Pfadübergang in Richtung einer nachhaltigen und auch ländlichen Bioökonomie bestehen. Gemäß Gawel et al. (2017, S. 8) erfordert dies die schrittweise Implementation von Transformationspolitiken um Raum für Lernprozesse und Korrekturen – beispielsweise bei möglichen Problemen mit der Nachhaltigkeitssicherung – zu gewährleisten. Ein vielfach angeführtes Beispiel ist hier die teilweise bevorzugte energetische gegenüber der stofflichen Nutzung von Biomasse.

Ausgehend von den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen lassen sich folgende zentrale Ansatzpunkte der politischen Steuerung festhalten:

- Verzahnung und Abstimmung der einzelnen politischen Ebenen und Politikfelder zur Förderung einer ländlichen Bioökonomiepolitik
- Fokussierung der Förderlandschaft im Bereich der Agrar- und Strukturförderung
- Förderung von Marktzugängen einer effizienten, umwelt- und klimaschonenden Nutzung von Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen
- Förderung von Modell-, Pilot-, Demonstrationsvorhaben & Transfer in die Praxis
- Überprüfung und Bewertung des aktuellen Instrumenten-Sets für einzelne, für eine ländliche Bioökonomie relevante Wertschöpfungsketten
- Intensivierung der Förderung von Formen der Information, Kommunikation und Kooperation

Diese Ansatzpunkte sollten maßgeblich zur Entwicklung eines gemeinsamen Grundverständnisses von politischen Handlungsmöglichkeiten der politischen Steuerung sowie zur Entwicklung von Wertschöpfungsketten einer ländlichen Bioökonomie beitragen.

### **Verzahnung und Abstimmung der einzelnen politischen Ebenen und Politikfelder zur Förderung einer ländlichen Bioökonomiepolitik**

Für die Entwicklung einer kohärenten ländlichen Bioökonomiepolitik und zum Anstoßen von wirtschaftlichen Aktivitäten in der Praxis bedarf es der verstärkten Verzahnung und Abstimmung der einzelnen politischen Ebenen und zwischen den relevanten Ressorts. Dies bedeutet die Verständigung auf gemeinsam getragene Ziele und Kriterien für die Ausrichtung der ländlichen Bioökonomie sowie die Verständigung auf Zuständigkeiten. Aktuell ist das Thema geprägt durch eine hohe Komplexität. Gemeinsam definierte Schnittmengen und klare Zuständigkeiten, vor allem zwischen den politischen Akteuren aus den verschiedenen Bereichen, sind nicht oder nur in Ansätzen erkennbar. Ein konkretes Beispiel ist die Genehmigung von neuen Anlagen, bei welcher die Zuständigkeiten unübersichtlich und über verschiedene Behörden verteilt sind. In der Praxis fehlt es hier oftmals an Zugängen zu konkreten Ansprechpartnerinnen und -partnern sowie unterstützenden Netzwerken.

Ein Vorschlag aus dem Workshop zum Abschluss des Vorhabens war, den Bioökonomierat diesbezüglich neu auszurichten und im Sinne einer beratenden Funktion mit zusätzlichen Kompetenzen auszustatten. Auch könnte die interministerielle Arbeitsgruppe Bioökonomie unter Federführung des BMEL bezogen auf die übergeordnete Verzahnung und Abstimmung der Ebenen und Ressorts zur Entwicklung der ländlichen Bioökonomie eine hervorgehobene Rolle einnehmen.

Grundsätzlich dient das Konzept der – ländlichen – Bioökonomie als Mittel zur Erreichung diverser Ziele wie zum Beispiel der Nahrungsmittelsicherheit, Energiewende oder Entwicklung der ländlichen Räume (vgl. Pannicke et al. 2015a, S. 33). Eine transparent geführte Diskussion und Prioritätensetzung kann dazu beitragen Zielkonflikte und mögliche Synergien, zum Beispiel zwischen regionaler Wertschöpfung sowie Umweltschutz- und Klimabelangen, zu identifizieren (Gawel et al. 2016, S. 11). Laut einzelnen Aussagen aus den Interviews ist der politische Wille in Deutschland momentan jedoch nicht ausreichend ausgeprägt beziehungsweise gibt es unterschiedliche Interessen was die allgemeine Entwicklung der Bioökonomie betrifft. Dies hat auch Auswirkungen auf den ländlichen Raum. Ein Auszug aus einer Diskussion des Workshops zum Abschluss des Vorhabens „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie“ veranschaulicht dies:

*In der aktuellen Bioökonomiedebatte gibt es unterschiedliche Vorstellungen zur Bioökonomie und somit auch zur Rolle der ländlichen Räume. Ein großer Teil der Fachöffentlichkeit neigt eher zu einer zentralen Betrachtungsweise, verbunden mit einer Hochskalierung („Upscaling“) von bestehenden Bioökonomieaktivitäten. Diese wird von einem anderen Teil kritisch gesehen, die eher eine dezentrale Betrachtungsweise favorisieren. Diese setzt auf eine Übertragung und Multiplizierung von guten Ansätzen („Broadscaling“), die eine vermehrte Einbindung von regionalen Rohstofflieferanten und Erzeugungsunternehmen in der Entwicklung von Wertschöpfungsketten vorsieht. Entsprechend sollte der Diskurs zu einzelnen Wertschöpfungsketten weniger auf der übergeordneten Ebene erfolgen, sondern konkret anhand der vorhandenen Potenziale in einzelnen Regionen geführt werden. Dabei sollte von den Akteuren vor Ort, wie zum Beispiel landwirtschaftlichen Betrieben oder Energieerzeugungsunternehmen beispielsweise, nicht nur sehr viel Wissen und das Tragen von Risiken erwartet werden, sondern diesen auch Sicherheiten zugesprochen werden.*

Eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomiepolitik ist somit auch die Verständigung auf ein gemeinsam getragenes Begriffsverständnis und die Verständigung auf eine gemeinsam getragene Systembetrachtung durch die relevanten Ressorts auf Bundes- und Landesebene. Laut den Erkenntnissen aus dem Projekt sollte dafür der Fokus, unter anderem der Politik, vermehrt auf der regionalen Bereitstellung von Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen und der Senkung der Produktionskosten für einzelne relevante Wertschöpfungsketten (inkl. der dafür nötigen Technologien und Verfahren) liegen. Auch sollte die Nachfrage für diese Wertschöpfungsketten entsprechend gesteigert werden. So wird beispielsweise eine Kombination der bestehenden Forschungsförderung und der gezielten Unterstützung von Nischen, wie zum Beispiel einer verbesserten „grünen“ öffentlichen Beschaffung oder Kampagnen zur Verbesserung der Akzeptanz biobasierter Produkte, gefordert (vgl. Gawel et al. 2017, S. 8). Bestehen erst einmal ein gemeinsames Verständnis und klare Vorstellung der Systemgrenzen, dann lassen sich auch einfacher Anknüpfungspunkte erkennen.

### **Fokussierung der Förderlandschaft im Bereich der Agrar- und Strukturförderung**

Ein relevanter Beitrag zur Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie kann mit der Fokussierung der Förderlandschaft im Bereich der Agrar- und Strukturförderung geleistet werden, betrachtet man den Bereich der Förderung explizit als anreizbasiertes Mittel der politischen Steuerung. Ein Beispiel ist, auch im Sinne der Existenzsicherung und der Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit gegen-

über etablierten Strukturen, die Förderung nach Förderung von in der Nische agierenden und kleinstrukturiert wirtschaftenden Betrieben. Dienlich dafür ist die Nutzung von Regionalentwicklungsinstrumenten (siehe Box) mit einem expliziten Bioökonomiefokus zu versehen oder sonstige Strukturmittel, wie zum Beispiel in der Kohlekommission vereinbart, die für die Konversion von Flächen verwendet werden, zu nutzen.

Grundsätzlich sollte bei der Strukturförderung zukünftig verstärkt der Aufbau von regionalen Strukturen und Kompetenzen verbunden mit einzelnen für den ländlichen Raum relevanten Wertschöpfungsketten vorangetrieben werden. Dienlich dafür sind Markteinführungs- und/oder Investitionsförderprogramme, inklusive der Bereitstellung von Zugängen zu langfristig ausgerichteten zinsverbilligten Krediten (Carus et al. 2008; Carus et al. 2010; Wydra et al. 2010). Interessant sind derlei Möglichkeiten vor allem für Wertschöpfungsketten, die über hohe Anfangsinvestitionen und/oder schwierige Anlaufzeiten verfügen, zum Beispiel als Transferförderung von der Forschung und Entwicklung in die Praxis. Als Beispiele sind kostenintensive Anfangsinvestitionen bei der Gärrestaufbereitung sowie der Verwertung von Hanf und Grünland zu nennen, wie sie im Projekt betrachtet wurden. Ein besonderer Fokus sollte dabei auch auf der Förderung von Investitionen bei der Umrüstung und Substitution von herkömmlichen auf fossilen Rohstoffen basierenden Materialien durch nachwachsende Rohstoffe liegen, vor allem, wenn die Erstverarbeitung nah an den Rohstofflieferanten zu verorten ist.

#### **Ausschöpfen von Strukturfördermöglichkeiten auf EU-, Bundes- und Länderebene**

Für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie lohnt sich die bestehenden und zukünftigen Möglichkeiten der Förderung von ländlichen Räumen zu prüfen. Zu nennen sind insbesondere die Fördermöglichkeiten im Rahmen der 2. Säule der GAP. Dies umfasst Mittel aus der „Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz“ (GAK) sowie aus dem „Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums“ (ELER). Die GAK und ELER regeln die Förderung von nationalen und regionalen Programmen für die ländliche Entwicklung. Insgesamt stehen für den Zeitraum 2014 bis 2020 den ländlichen Regionen in Deutschland pro Jahr 2,4 Mrd. Euro zur Verfügung. Die Mittel der GAK werden dabei zur Kofinanzierung der ELER-Förderung eingesetzt (Untiedt et al. 2016, S. 164). Im Fokus der Förderung stehen vorwiegend landwirtschaftliche und auf die lokale Produktion ausgerichtete Vorhaben, wie zum Beispiel die Entwicklung von landwirtschaftlichen Betrieben und sonstigen Unternehmen, ebenso wie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (z. B. die Förderung von umweltschonenden Bewirtschaftungsweisen oder der Erhalt von Dauergrünland) (Untiedt et al. 2016, S. 160-166). Im Rahmen der ELER-Förderung sind auch die LEADER<sup>10</sup>-Förderung und darüber die Förderung von Zusammenschlüssen von verschiedenen lokalen Akteure als Lokale Aktionsgruppen (LAG) zu nennen. Über diese können regionale Entwicklungskonzepte erarbeitet und darüber wiederum einzelne Projekte aus verschiedensten Bereichen gefördert werden (BMEL 2018b; DVS - Netzwerk Ländliche Räume 2018). Ebenfalls interessant im Kontext der Strukturförderung ist das Bundesratsvotum zur Erweiterung der GAK um eine 3. Säule „Ländliche Räume“, unterstützt durch Bundeslandwirtschaftsministerin Julia Klöckner

<sup>10</sup> LEADER steht für "Liaison Entre Actions de Développement de l'Économie Rurale" und ist ein Förderansatz im Rahmen der Förderung nach der ELER-Verordnung.

(BMEL 2019). Vergleichbar der Förderung des Spitzencluster Bioökonomie als Maßnahme im Fortschrittsbericht der Politstrategie ließe sich hierüber gegebenenfalls die Förderung von regionalen Bioökonomiekonzepten realisieren.

Darüber hinaus interessant sind die Strukturwandelbeihilfen der „Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur (GRW) (Untiedt et al. 2016, S. 109-110). Als Investitionsförderung adressieren sie kleine und mittlere Unternehmen. Konkret damit verbunden sind gewerbliche Investitionen, inklusive Investitionen zur Gründung von Unternehmen, Investitionen in die kommunale wirtschaftsnahe Infrastruktur, sowie Maßnahmen zur Vernetzung und Kooperation lokaler Akteure und Maßnahmen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit in strukturschwachen Regionen – allerdings ausschließlich im Bereich der Verarbeitung und Vermarktung (BMW 2019). Interessant ist hier beispielsweise Veredelung und Diversifizierung von landwirtschaftlichen Produkten zu Nahrungsmitteln und stofflichen Produkten. Ebenso zu nennen sind Mittel aus dem „Europäischen Fonds für regionale Entwicklung“. Diese dienen teilweise der Kofinanzierung von GRW-Maßnahmen, worüber statt Einzelprojekten einzelstaatliche oder regionale Mehrjahresprogramme gefördert werden (Untiedt et al. 2016, S. 114-115). Über diese beiden Programme stehen strukturschwachen Regionen für die Periode 2014 bis 2020 rund 2,5 Mrd. Euro zur Verfügung (Untiedt et al. 2016, S. 164).

### **Förderung von Marktzugängen einer effizienten, umwelt- und klimaschonenden Nutzung von Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen**

Um zukünftig bestehende Nutzungskonkurrenzen und Marktverzerrungen zu entspannen sind – wo sinnvoll – Anreize für eine verbesserte stoffliche oder stofflich-energetische Nutzung von Biomasse und der anfallenden Rest- und Abfallstoffen im Sinne der Kaskaden-, Koppel- und/oder Mehrfachnutzung essentiell (vgl. Pannicke et al. 2015a, S. 29). Wesentliche Kriterien zum Schutz von Umwelt und Klima (vor allem bezogen auf den Boden-, Wasser-, Nährstoffhaushalt, die Emission von Treibhausgasen, die Biodiversität) sind dabei zu berücksichtigen. Dies zeigen die im Projekt betrachteten Wertschöpfungsketten. Im Biogasbereich bietet die Verwertung von Gärresten zu Düngemitteln sowie zur Herstellung von Holzersatzwerkstoffen entsprechende Möglichkeiten. Gleiches gilt für die Verwertung von Hanffasern zu Hanfvliesen, neben der Verwertung von Hanfsamen für den Lebensmittelbereich oder die höherwertige Verwertung des Grünlandaufwuchses zu Papier und Kartonage in extensiv bewirtschafteten Grünlandregionen. Letzteres gilt insbesondere als Alternativverwertung von Gras in Regionen mit einem Strukturwandel in der Milchviehwirtschaft.

In der Diskussion um die Verwertung von Biomasse wird vielfach die Gleichstellung der stofflichen und energetischen Nutzung gefordert beziehungsweise eine verbesserte Förderung im stofflichen Bereich. Gemäß (2010, S. 323) sollten die Fördermaßnahmen für die stoffliche Nutzung so verschieden und spezifisch sein wie die Anwendungen. Diese wird jedoch aufgrund der Volumina von über 800 Produktgruppen mit bis zu 10.000 Produkten im EU-Markt in der Umsetzung auch als schwierig empfunden. Untermauert wird die grundsätzliche Förderung im stofflichen Bereich durch deren Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele, auch im Sinne einer stofflichen Klimapolitik (vgl. auch Gawel et al. 2016, S. 19-21). Diese könnte bei der aktuellen Debatte um die Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer Berücksichtigung finden.

In vielen Fällen wird auch der formal hohe Aufwand zum Erreichen des Marktzugangs als ein wesentliches Hemmnis bei der Entwicklung von für eine ländliche Bioökonomie relevanten Wertschöpfungsketten gesehen. Damit verbunden ist die Herausforderung der Fokussierung auf entweder Rohstoff oder Produkt. So können keine Verfahren entwickelt werden, wo keine Rohstoffe

vorhanden sind beziehungsweise keine Rohstoffe angebaut werden, wo es für deren Verwertung keine Verfahren gibt. Dafür benötigtes Anbau-, Technologie- und Prozesswissen ist in Teilen zwar vorhanden, in vielen Fällen aber auch in Vergessenheit geraten. Als Beispiel wurden der Anbau und die Verwertung von Hanf genannt. Laut einzelnen Rückmeldungen aus den Workshops und Interviews im Vorhaben ist hier politisches Handeln notwendig, was die Bereitstellung und die Verwertung von einzelnen Biomassen betrifft.

Auch ist festzuhalten, dass regionale Produkte in vielen Fällen im Vergleich zu herkömmlichen Produkten und internationalen Märkten eher über eine nachteilige Wirtschaftlichkeit verfügen. Zur Verbesserung des Marktzugangs ist hier ein Mix an verschiedenen Instrumenten denkbar. So sollten einerseits bestehende und nachteilige Regulierungen für ländliche Bioökonomieansätze aufgeweicht, auf der anderen Seite herkömmliche, nicht nachhaltige Produkte reguliert werden. Dies gilt vor allem dort, wo das biobasierte Produkt nah an der Marktreife ist. Als Beispiel wurden – unabhängig von der ländlichen Bioökonomie – Verbote von herkömmlichen Plastiktüten und Plastikbechern/-geschirr in Italien und Frankreich, sowie eine mögliche Besteuerung von konventionellen Verpackungsmaterialien genannt. Alternativ denkbar, obwohl komplexer, wären auch gestaffelte Mehrwertsteuersätze, je nach Höhe der CO<sub>2</sub>-Einsparung (vgl. u. a. Carus et al. 2010; Thöne 2010).

Als weiteres Instrument zur Förderung von biobasierten Produkten könnten verpflichtende Zertifikate und Labels eingeführt werden (vgl. u. a. Carus et al. 2010; Ludwig et al. 2014; Pannicke et al. 2015a; Gawel et al. 2016). Beispiele sind die verpflichtende Kennzeichnung des biogenen Anteils in den USA (siehe „Certified Biobased Product Label“ in den USA) beziehungsweise der (selbst-) verpflichtende Einsatz in der öffentlichen und gewerblichen Beschaffung (z. B. Chemie). Interessant wäre dies für die vermehrte Nutzung von Graspapier oder den Einsatz von Dämmstoffen auf Basis von Hanf. In diesem Zusammenhang sind auch Quoten und Vorgaben beziehungsweise ein Mindestanteil an nachwachsenden Rohstoffen im Produktionsprozess zu erwähnen (siehe US-Bio-Preferred Program“ mit Mindestanteil von biogenen Rohstoffen von 25 Prozent). Gleiches gilt für verpflichtende Verordnungen. Im Baubereich beispielsweise gibt es bisher keinen verpflichtenden Anteil von nachwachsenden Rohstoffen, vergleichbar dem Einsatz von erneuerbarer Wärme im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG). Darüber könnte in Teilen der Anteil an biobasierten Dämmstoffen erhöht werden.

Im Gegensatz zur Verpflichtung wäre es auch denkbar vermehrt Boni, Gutschriften, Nachlässe oder Steuererleichterungen zur finanziellen Unterstützung von Produkten mit vorteilhafter Klima- und Umweltbilanzen einzuführen (vgl. Carus et al. 2008; Carus et al. 2010). Gleiches gilt für freiwillige Normen und Standards beziehungsweise freiwillige Labels und Zertifikate, wie zum Beispiel im Fall von Green Building Standards oder dem Blauen Engel. Hier gibt es aktuell eine unzureichende Berücksichtigung des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen. Gleichzeitig gibt es was die weitere Entwicklung von Zertifikaten und Labels betrifft eine geteilte Meinung. Hier wäre deren Durchschlagskraft zu prüfen. Dies gilt auch für die anderen Instrumente.

### **Förderung von Modell-, Pilot-, Demonstrationsvorhaben & Transfer in die Praxis**

Ein möglicher Ansatz zur schnelleren Entwicklung von bestehenden und neuen Wertschöpfungsketten ist die (Investitions-)Förderung von (regionalen) Modell-, Pilot- oder Demonstrationsprojekten, beispielsweise zur Erprobung von Test- und Versuchsanlagen oder zur Prototypenerstellung, verbunden mit einem Transfer der gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis. Diesbezüglich bedarf es der Überprüfung der bestehenden Förderung über die Bundesministerien (BMEL, BMWi, BMBF) und deren nachgeordneten Behörden/ Projektträger (u. a. FNR). In der Planung und Umsetzung

dieser Vorhaben sollten gewisse Freiheitsgrade eingeräumt und im Idealfall die Projektaktivitäten mit weniger starken Regularien versehen werden. Darüber können wertvolle Daten und Informationen (z. B. zu Investitionskosten, Amortisierungszeit, Arbeitsaufwand, Kosten für die Instandhaltung und Bereitstellung von Infrastruktur sowie Skalierungsmöglichkeiten etc.) erhoben werden. Außerdem sollte in diesen Vorhaben die Forschung und Entwicklung eng mit der Praxis kooperieren beziehungsweise die gewonnenen Erkenntnisse über einen gut organisierten Wissenstransfer an die Praxis weitergegeben werden, beispielsweise über regionale Cluster/ Netzwerke. Zudem sollten aus erfolgreichen Modell-, Pilot-, Demonstrationsvorhaben allgemeingültige Herangehensweisen und Verfahren abgeleitet und kommuniziert werden. Damit würde der teilweise bestehenden Diskrepanz zwischen der Förderung von Forschung und Entwicklung einerseits und der Produktion in der Praxis andererseits entgegengewirkt. Bedeutend ist bei solchen Aktivitäten zudem, zukünftig vermehrt diejenigen Unternehmen zu unterstützen, die über die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und die Anwendung von neuen Technologien und Verfahren nachhaltig produzieren wollen. Diesbezüglich besteht vereinzelt auch die Forderung nach Schließung der Finanzierungslücke in der Wachstumsphase von KMUs durch eine verstärkte Transferförderung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen. Konkret bedeutet dies die Deckung von Kosten für marktnahe Weiterentwicklungen von gewonnenen Erkenntnissen und von Investitionskosten für Test- und Versuchsanlagen. Die damit verbundene Finanzierung könnte durch eine Mischung aus öffentlichen Mitteln und Mitteln privater Investoren erreicht werden. Wydra et al. (Wydra et al. 2010, S. 121-122) schlagen diesbezüglich einen technologieübergreifenden „Kommerzialisierungsfonds“ vor.

Eine weitere Forderung ist, die Forschung und Entwicklung inhaltlich und zeitlich flexibler zu gestalten. So sollte es möglich sein, im Rahmen von sogenannten „Living Labs“, die auch über einen Zeitraum von drei Jahren hinausgehen, gewisse Aktivitäten (wie z. B. einzelne Politikinstrumente) zu erproben und zu bewerten. Darüber können Erfahrungswissen sowie Daten und Informationen gesammelt werden, die relevant für die Entwicklung von regionalen Wertschöpfungsketten sind.

### **Überprüfung und Bewertung des aktuellen Instrumenten-Sets für einzelne, für eine ländliche Bioökonomie relevante Wertschöpfungsketten**

Sowohl in der Literatur (Carus et al. 2008; Carus et al. 2010; Thöne 2010; Ludwig et al. 2014; Pannicke et al. 2015a) als auch wiederkehrend in den Interviews und Workshops wurde darauf hingewiesen, dass einzelne für eine ländliche Bioökonomie relevante Bereiche nicht, andere Bereiche dafür – auch durch die Historie bedingt – überreguliert sind. Im Workshop zum Abschluss dieser Schriftenreihe zugrunde liegenden Projekts wurde diesbezüglich – auch im Sinne des Bürokratieabbaus und eines gewünschten „zeitgemäßen“ Reduzierens statt Erweiterns von Regularien – eine Lockerung oder Anpassung der geltenden Verordnungen, Verwaltungsvorschriften, Förderrichtlinien angemerkt, vor allem in Bereichen, wo für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie diese Regelwerke, unnötig restriktiv sind. Diesbezüglich gilt es bestehende Ge- und Verbote sowie Anreizstrukturen zu überprüfen. Erwähnte Beispiele sind die Andienungspflicht für biogene Abfälle gegenüber den Entsorgern sowie das Verbot der außerbetrieblichen Veräußerung von Aufwuchs auf für den Naturschutz relevanten Flächen. Im Sinne der höherwertigen Verwertung der Roh- und Reststoffe sollte diese Verpflichtung und das Verbot gelockert werden. Gleiches gilt für regulatorische Einschränkungen im Baugewerbe, zum Beispiel beim Einsatz von Holz und Holzwerkstoffen. Diese sollten überprüft werden. Auch sollte im Fall der anzunehmenden wachsenden Nachfrage von Biomasse die Landnutzung reguliert werden, beziehungsweise bedarf es der Verständigung auf Nachhaltigkeitsauflagen (vgl. Gawel et al. 2016, S. 10). Durch die energetische Nutzung von Biomasse oder die intensive Landbewirtschaftung und Nutztierhaltung kam es in der Vergangenheit und kommt es zu einem einseitigen Anbau von Energie- und Kulturpflanzen (z. B. Mais und

Weizen), dem verstärkten Einsatz von Pestiziden und mineralischen Düngern sowie teilweise hohen Güllekonzentrationen. Hierzu bedarf es der Verständigung auf umwelt- und klimaschonende Bewirtschaftungsweisen und Technologien, unter Berücksichtigung der Koppel-, Kaskaden- und/oder Mehrfachnutzung der genutzten Roh- und Reststoffe. Als Beispiele bezogen auf die drei im Projekt betrachteten Wertschöpfungsketten sind die extensive Grünlandbewirtschaftung, der Hanfanbau ohne Pflanzenschutz und bei der Gärrestaufbereitung die Verwertung biogener Rest- und Abfallstoffe zu nennen. Diese Praktiken können bei der weiteren Ausgestaltung von Greening-Maßnahmen (1. Säule der GAP) und von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (2. Säule der GAP) einfließen. Gleiches gilt für die Novelle des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrWG) und des Düngemittelgesetzes (DüngMG). Auch zu nennen ist das Gebot zur Öffnung kommunaler Verwertungssysteme für zertifiziert kompostierbare Produkte (Novellierung BioAbfV).

Bei der Überprüfung und Bewertung des aktuellen Instrumenten-Sets sollte der Forderung nach mehr Planungssicherheit entsprochen werden, gleichzusetzen mit dem Abbau unsicherer politischer Rahmenbedingungen für die Akteure in der Praxis. Diesbezüglich wurde auf das Beispiel Biogas und den Wunsch der Absicherung der Förderung verwiesen (z. B. über die Stärkung von regionalen Entwicklungsinstrumenten wie LEADER oder Ausschreibungsverfahren, bei denen das Fehlen eines Nachweises für eine nachhaltige Praxis ein Ausschlusskriterium ist). Über diese Einschätzung hinaus besteht für eine systematische Überprüfung und Bewertung des aktuellen Instrumenten-Sets weiterer Forschungsbedarf (siehe Kapitel 7)

### **Intensivierung der Förderung von Formen der Information, Kommunikation und Kooperation**

Um die ländliche Bioökonomie weiterzuentwickeln ist als Mittel der politischen Steuerung zukünftig verstärkt auch die Förderung von Formen der Information, Kommunikation und Kooperation gefragt (vgl. Carus et al. 2008; Carus et al. 2010; Pannicke et al. 2015b; Gawel et al. 2016). Darin liegt ein in den Interviews und Workshops im Projekt mehrfach geäußerter Bedarf. So fehlt es einzelnen Akteuren an Know-how beziehungsweise kennen sich die Akteure entlang der Wertschöpfungskette nicht, teilweise ist auch unklar, wie und ob der Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die Praxis erfolgt. Auch wird übergreifend über sämtliche Wertschöpfungsketten hinweg ein verstärkter Bewusstseinswandel sowie Kommunikation und Kooperation zwischen den Akteuren, sowohl auf politischer Ebene als auch darüber hinaus gefordert.

Insofern bedarf es über die Förderung von Informations- und Dialogformaten vermehrt der Beratung, Qualifizierung und Netzwerkbildung der Akteure. Diese sollten einerseits ein Bewusstsein für das Konzept der ländlichen Bioökonomie fördern, andererseits zu konkreten Inhalten von einzelnen Wertschöpfungsketten, wie zum Beispiel zur Rohstoffbasis, zu potenziellen Märkten und Marktdaten sowie zu Produkten und Produkthanforderungen informieren. Über diese Kanäle sollte die erhöhte Komplexität des Themas der ländlichen Bioökonomie und die Möglichkeiten der Verarbeitung und Vermarktung von Biomasse und biogenen Reststoffen transportiert und zeitgleich bestehende Informations- und Wissensdefizite, beispielsweise relevant für die Gründung oder Umstellung eines Unternehmens adressiert werden (siehe dazu auch einzelne Aspekte der Handlungsempfehlungen in Abschnitt 6.1).

## 7 Fazit und Ausblick zu weiterem Handlungs- und Forschungsbedarf

Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben „Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie – Analyse und Bewertung von Wertschöpfungsketten einer nachhaltigen Koppel- und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen“ zeigen, dass die **Bioökonomie durch die Entwicklung von einzelnen Wertschöpfungsketten eine Vielzahl von Anknüpfungspunkten und Handlungsmöglichkeiten für wirtschaftliche Aktivitäten im ländlichen Raum bietet**; trotz momentan bestehender Herausforderungen in punkto Wirtschaftlichkeit, Technologiereife sowie negativen Ausprägungen bei einzelnen ökologischen Wirkkategorien. Dementsprechend sollte der ländliche Raum stärker in die Entwicklung einer Bioökonomie einbezogen werden, die über die reine Bereitstellung von Rohstoffen für zentral angelegte Verarbeitungsprozesse von Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen hinausgeht.

**Ein Treiber für die ländliche Bioökonomie könnte ein gesellschaftlicher Wandel sein**, der mit den Konzepten und Aktivitäten rund um eine Agrar-, Ernährungs-, Energie- und Rohstoffwende verbunden ist. Diese Aktivitäten und die damit verbundenen Diskurse haben Implikationen auf den ländlichen Raum. So wird vielfach von verschiedenen Akteuren aus der Politik, Wissenschaft und Zivilgesellschaft ein umwelt- und klimaschonender Umbau des Agrarsystems gefordert, auch nimmt die fleischlose und vegane Ernährung zu und befindet sich nicht mehr in der Nische. Mit dem weiteren Umbau des Energiesystems wird die Bioenergie verstärkt als flexibler Energieträger interessant, und biobasierte Produkte treten mehr ins Blickfeld einer grünen (öffentlichen) Beschaffung. Die damit verbundenen Nutzungen sind geknüpft an Bedarfe für die Bereitstellung von Flächen und Rohstoffen, die zukünftig mit der bisherigen schwerpunktmäßigen Inanspruchnahme von Flächen und Rohstoffen durch die Nahrungs- und Futtermittelwirtschaft konkurrieren können. So wie die genannten Themen sich in einem gesellschaftlichen Diskurs befinden, so bedarf es auch für die zukünftige Ausrichtung der Bioökonomie einer gesellschaftlichen Debatte – insbesondere wenn es darum geht zu entscheiden wie Flächen und Rohstoffe zukünftig genutzt werden. Bei einer weiteren, aus Umwelt- und Gesundheitssicht zu befürwortenden Reduktion der heimischen konventionellen Fleischproduktion können durch eine parallele Transformation zu einer weitgehend biobasierten Wirtschaft stofflich-energetische Nutzungen von Biomasse eine Vielzahl an Alternativen für die Landwirtschaft und den ländlichen Raum bieten.

Mit der **Umsetzung von dezentral verorteten Wertschöpfungsketten ist ein volkswirtschaftlicher Nutzen verbunden**. Grundlage dafür ist, dass über eine Koppel- und Kaskadennutzung der eingesetzten Roh- und Reststoffe, eine verstärkte Erst- und im Idealfall auch eine Weiterverarbeitung in einer Region erfolgt. Diese kann sich positiv auf die Gesellschaft und die Umwelt auswirken und gleichzeitig zur Stärkung und Aufwertung von einzelnen ländlichen Räumen beitragen. Die Entwicklung von neuen oder die Verlängerung von bestehenden Wertschöpfungsketten, gleichzusetzen mit einer Diversifizierung des Produktportfolios der Akteure aus Land- und Forstwirtschaft sowie dem verarbeitenden Gewerbe im ländlichen Raum, kann zum Erhalt oder der Schaffung von neuen Arbeitsplätzen und von Wertschöpfung beitragen. Entscheidend dafür ist das Erzielen von Einkommen, Steuern und Gewinnen. Dies gilt insbesondere bei vor Ort ansässigen Betriebsunternehmen sowie Planungsbüros und Herstellern der den Wertschöpfungsketten zugrundeliegenden Verfahren und Technologien. Zudem kann bei entsprechender Ausrichtung der Wertschöpfungsketten über umwelt- und klimaschonende Bewirtschaftungspraktiken und Produktionsabläufe ein positiver Beitrag zum Schutz der Böden, des Wasser- und Nährstoffkreislaufs sowie des Klimas

geleistet werden. Gleiches gilt für den Erhalt und die Verbesserung der Biodiversität sowie eng daran geknüpft für den Erhalt und die Pflege von Kulturlandschaften, die wiederum zur Strukturvielfalt und Aufenthaltsqualität im ländlichen Raum beitragen. Mit diesen Wirkungen kann die ländliche Bioökonomie einen wesentlichen Beitrag zu gesellschaftlich relevanten Zielen leisten.

Hervorzuheben ist an dieser Stelle der mögliche Beitrag, der mit der Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie zu den kürzlich veröffentlichten Schlussfolgerungen und Maßnahmen der Kommission „Gleichwertige Lebensverhältnisse“ der Bundesregierung geleistet werden kann (Bundesregierung 2019). Die formulierten Maßnahmen sehen unter anderem vor „mit einem neuen gesamtdeutschen Fördersystem strukturschwache Regionen gezielt zu fördern“, „Arbeitsplätze in strukturschwache Regionen zu bringen“, sowie „Dörfer und ländliche Räume zu stärken“ (BMI 2019). Laut Bundeslandwirtschaftsministerin Klöckner sind gleichwertige Lebensverhältnisse „eine Daueraufgabe, die vor allem die Demokratie und den Zusammenhalt“ stärke. Ihrer Meinung nach dürften die ländlichen Regionen nicht den Anschluss verlieren, sondern vielmehr bedürfe es eines flächendeckenden Ausbaus von Infrastrukturen (Bundesregierung 2019). Hier kann die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie anknüpfen.

Momentan bestehen bei einzelnen biobasierten Wertschöpfungsketten **Herausforderungen sowohl bei der technologischen Reife als auch bei der Wirtschaftlichkeit**. Um die Wirtschaftlichkeit gegenüber fossilen Referenzprodukten zu verbessern hilft eine wirksame CO<sub>2</sub>-Bepreisung, die aktuell wieder lebhaft diskutiert wird. Auch könnten weitere Instrumente die sogenannten „Co-Benefits“ von ländlichen Bioökonomiekonzepten fördern. So könnten beispielsweise regionale Ökosystemdienstleistungen (stärker) vergütet werden oder regionalwirtschaftliche Produktionen beziehungsweise der Erhalt und die Schaffung von Arbeitsplätzen und Wertschöpfung durch Label gefördert werden.<sup>11</sup> Auch sollte zur Überwindung von nachteiligen ökologischen Effekten vermehrt über die Honorierung einer extensiven Flächennutzung, von ökologischen Anbauverfahren, eines natürlichen Düngemanagements sowie der Substitution von fossilen Produktkomponenten bei biobasierten Produkten nachgedacht werden.

### **Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie - Grundlagen und Eingrenzung**

Zu Beginn des Vorhabens wurden ausgewählte Märkte von biobasierten Produkten und Produktgruppen, die Flächen- und Rohstoffverfügbarkeit einzelner Anbaubiomassen und Reststoffe sowie der politisch-rechtliche Rahmen eingehend analysiert. Die Analyse wurde ergänzt durch Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern aus Unternehmen, der Wissenschaft sowie der Politik und relevanten Interessensvertretungen, um somit aktuelle Entwicklungen aus Forschung und Praxis zu erfassen.

Die Marktanalyse hat gezeigt, dass für eine dezentrale und regionale Verarbeitung von Biomasse nicht alle Bereiche gleichermaßen in Frage kommen. So sind beispielsweise für die Herstellung von Plattformchemikalien oder biobasierten Kunststoffen technisch anspruchsvolle Verfahren und entsprechende Investitionsvolumina erforderlich. Auch sind die Märkte aktuell von der petrochemischen Industrie dominiert. Ähnlich stellt sich die Situation bei Bioschmierstoffen dar. All dies sind

<sup>11</sup> Als Beispiel hierfür kann das Label „faire Windenergie“ aus Thüringen dienen, das explizit einen solchen regionalökonomischen Ansatz verfolgt.

Beispiele für aktuelle Hürden in Bezug auf den Markteintritt dezentraler Verfahren und neuer Wirtschaftsakteure. Marktchancen für dezentrale Verarbeitungsstrukturen werden dagegen in den Bereichen biobasierte Verbundwerkstoffe, Dämmstoffe, Baustoffe und Holzersatzwerkstoffe gesehen. Aber auch bei Marktsegmenten mit hohen Hürden für den Markteintritt können Nischenmärkte interessant sein und Anknüpfungspunkte für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie bieten. Beispiele hierfür sind die Aufbereitung von Gärresten zu höherwertigen Düngemitteln und Verwertung von Grasfasern für die Papierherstellung.

Die Analyse der Flächen- und Rohstoffverfügbarkeit kam zu dem Ergebnis, dass die Bereitstellung von einzelnen Biomassen und Reststoffen neben den erzielbaren Erlösen von politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen abhängig ist (bedingt bspw. durch die energetische Förderung von Biomasse). Von Bedeutung ist zudem der Bedarf nach bestimmten Mengen und hinreichenden Qualitäten. Diese wirken sich auf die Verwertung und somit auf die Entwicklung einzelner Bereiche aus. Außerdem bleibt festzuhalten, dass für bestimmte Verwertungen aufgrund der potenziell nutzbaren Flächen und Rohstoffe bestimmte Agrarräume (wie z. B. Grünland-, Ackerbau-, Wald- oder Biogasregionen, bezogen auf die Verfügbarkeit von Gärresten) bevorzugt interessant sind. Gleiches gilt auch für bestehende Wirtschaftsstrukturen und hier das Vorhandensein von verarbeitenden Unternehmen in einzelnen Regionen. Dies ist auch ein Beleg dafür, dass es für jede Region sinnvoll ist, ihr spezifisches Bioökonomieprofil beziehungsweise Cluster aus der Schnittmenge der gegebenen landwirtschaftlichen und der wirtschaftlichen Strukturen herauszuarbeiten.

Nach der Analyse des politisch-rechtlichen Rahmens lässt sich festhalten, dass die ländliche Bioökonomie in der Politik bislang eher implizit adressiert wird. Beleg hierfür ist eine umfassende Analyse verschiedener politischer Strategien und Papiere auf Ebene des Bundes, der Länder sowie auf EU-Ebene. In den meisten Fällen liegt der Fokus der Politik gegenwärtig primär in der Förderung von Forschung und Entwicklung zu bioökonomischen Anwendungen und weniger in der Förderung von Umsetzung von konkreten wirtschaftlichen Aktivitäten. Auch ist die ländliche Bioökonomie in der aktuellen politischen Debatte und darüber hinaus weder ein feststehender Begriff noch gibt es momentan eine Diskussion zum räumlichen Zuschnitt von regionalen Bioökonomieaktivitäten. Dies zeigen auch die geführten Interviews. So waren sich einzelne, vor allem technisch ausgerichtete Gesprächspartnerinnen und -partner des Bezugs der Bioökonomie zur Entwicklung des ländlichen Raums nicht bewusst. Gleichzeitig wurde mit Blick auf verschiedene sich aktuell in Entwicklung befindliche technologische Ansätze ein Potenzial zur Steigerung der Wertschöpfung und Beschäftigung im ländlichen Raum gesehen. Dabei wurde auch auf mögliche Synergien durch die gekoppelte Verwertung von Biomasse eingegangen, wie dies beispielsweise bei Bioraffineriekonzepten der Fall ist. Konkret wurden das Thema Grasraffinerien genannt und die parallele Fasernutzung einerseits sowie die Verwertung der flüssigen Bestandteile andererseits. Über diesen integrierten Ansatz kann sowohl Know-how zusammengeführt als auch die Wirtschaftlichkeit und die Erzielung von Wertschöpfung gesteigert werden.

Die hier dargestellten Grundlagen zum Aufzeigen von einzelnen Potenzialfeldern mündeten zusammen mit den Erkenntnissen aus der vertiefenden Betrachtung von einzelnen Wertschöpfungsketten in die Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Praxis und von Empfehlungen zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens zum Ende des Vorhabens. Gleiches gilt für die am Ende dieses Kapitels zusammengetragenen Themen für den weiteren Handlungs- und Forschungsbedarf.

## Vertiefende Analyse ausgewählter Wertschöpfungsketten

Für die genauere Untersuchung konkreter prozeduraler und struktureller Bedingungen sowie ökonomischer und ökologischer Wirkungen wurden drei Wertschöpfungsketten als Fallbeispiele ausgewählt. Dies geschah vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus den Analysen zu Märkten, Flächen- und Rohstoffpotenzialen und dem politisch-rechtlichen Rahmen sowie der Bestandsaufnahme bestehender bioökonomischer Ansätze in Praxis und Forschung. Bei der Auswahl der detailliert untersuchten Wertschöpfungsketten waren neben der Dezentralität und der Relevanz für den ländlichen Raum die Berücksichtigung einer weitestgehend vorhandenen Technologiereife, ein signifikantes Rohstoff- und Flächenpotenzial, der Zugang zu (signifikant großen) Märkten sowie ein möglicher Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele in Deutschland maßgeblich. Ebenfalls wurde auf die Unterschiedlichkeit der Verfahren, Technologien und Ausgangssubstrate geachtet.

Mit der Betrachtung der Verwertung von Gärresten zu höherwertigen Düngemitteln und Gärrestfasern, der Verwertung von Grasfasern zur Herstellung von Grasfaserpellets als Grundstoff für den Einsatz in der Papierindustrie sowie der Aufbereitung von Hanffasern für die Dämmstoffindustrie wurden Wertschöpfungsketten ausgewählt, die bereits marktreif sind (Hanffaseraufschluss) oder kurz vor der Marktreife stehen (Gärrestaufbereitung und Graspelletierung). Aktuell werden diese teilweise losgelöst von der vor Ort gegebenen Agrarstruktur entwickelt. Darüber hinaus adressieren die ausgewählten Wertschöpfungsketten verschiedene gesellschaftliche Herausforderungen: die Verwertung von Grasfasern liefert einen Beitrag zur Bewirtschaftung von Grünlandflächen und zur Nutzung von überständigem Grünland, vor allem relevant in Regionen mit einem Strukturwandel in der Milchviehwirtschaft; die Verwertung von Gärresten bietet potenziell eine Option zum Weiterbetrieb von Biogasanlagen, auch nach Auslaufen der EEG-Förderung; und der Einsatz von Hanffasern als Grundstoff für Dämmstoffe bietet eine Alternative zu konventionellen Materialien im Bereich des Neubaus und der energetischen Sanierung von Gebäuden.

Im Folgenden wird auf die zentralen, übergreifenden Erkenntnisse **aus der ökonomischen und ökologischen Bewertung der vertieft betrachteten Wertschöpfungsketten** eingegangen.

### Ergebnisse der ökonomischen Bewertung

Bei der Transformation von einer fossil zu einer weitestgehend biobasierten Wirtschaft stellt sich die Frage, inwieweit der ländliche Raum von dieser Entwicklung ökonomisch profitieren kann, wobei hier die unterschiedlichen ökonomischen Ebenen zu unterscheiden sind.

Für die **betriebswirtschaftliche Bewertung** lässt sich Folgendes festhalten. Eine wirtschaftliche Herstellung biobasierter Produkte stellt sich unter den gegebenen Rahmenbedingungen gegenwärtig sehr schwierig dar. Ein wirksamer CO<sub>2</sub>-Preis wäre eine wichtige externe Maßnahme. Eine Hochskalierung, also die Steigerung der Verarbeitungsmengen, bietet in vielen Fällen ebenfalls eine Möglichkeit für die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Diese bringt jedoch neue Herausforderungen mit sich, beispielsweise bei der Rohstoffversorgung.

Die größten Einflussfaktoren für die Wirtschaftlichkeit sind oftmals Rohstoffpreise, Energiekosten und Erlöse sowie teilweise auch die Investitionskosten. Einen wichtigen Beitrag zur Sicherung fairer, langfristig stabiler Rohstoffpreise – wie auch für die Sicherung der Rohstoffqualität – können Kooperationen und Beteiligungsmöglichkeiten zwischen landwirtschaftlichen Betrieben und den verarbeitenden Unternehmen bieten. Im Hinblick auf Energiekosten lohnt sich die Eigenerzeugung von Strom und Wärme, um Kosten zu sparen, insbesondere je energieintensiver die Prozesse im Unternehmen sind. Auf der Erlösseite sollten zunächst vor allem die Hauptprodukte gute Preise

erzielen und Nebenprodukte sollten gut vermarktet werden, um besonders bei kleineren Anlagen weitere Einnahmen zu generieren. Auch auf der Abnehmerseite können zudem langfristige Kooperationen mit einer fairen Preisgestaltung – etwa über den Abschluss von Lieferverträgen – das Bestehen der Anlagen sichern. Die Schaffung der oben genannten Kooperationsbeziehungen, aber auch einer regionalen „Marke“ (ggf. auch im Sinne von Regionalvermarktung) kann die betriebswirtschaftliche Situation verbessern oder längerfristig stabilisieren helfen.

Die **(regional-)ökonomische Bewertung** nimmt zwei weitere Betrachtungsebenen in den Blick – die regionale und die nationale Ebene. Der Fokus liegt dabei auf den Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenzialen der stofflich-energetischen Biomassenutzung im ländlichen Raum. Aufgrund dessen konzentrieren sich die Analysen auf die Teil-Wertschöpfungsketten, die eindeutig dem ländlichen Raum zugeordnet beziehungsweise dort angesiedelt werden können. Für die stoffliche Biomassenutzung bedeutet dies, dass die Rohstoffbereitstellung sowie die Erstverarbeitung von Biomasse bewertet werden. Die weitere Verarbeitung liegt außerhalb der im Vorhaben gesteckten **Systemgrenzen** für die ökonomische Bewertung.

Mit der Gärrestaufbereitung zu höherwertigen Düngemitteln und Gärrestfasern wird die **Wertschöpfungskette Biogas im ländlichen Raum verlängert**, was mit zusätzlichen regionalen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten verbunden sein kann. Die Berechnung für eine beispielhafte Region im ländlichen Raum zeigt, dass die regionale Wertschöpfung zu einem Großteil auf die Einkommen der Beschäftigten im Anlagenbetrieb und die Gewinne aus der Biogaserzeugung und der Aufbereitung der Gärreste sowie auf die Einkommen und Gewinne gezahlten Steuern entfällt. Beschäftigungsmöglichkeiten entstehen überwiegend durch das erforderliche Personal für den Betrieb der Anlagen. Ein ähnliches Bild zeigt die szenarienbasierte Hochrechnung für Deutschland. Aufgrund der hohen Nachfrage nach Holz für die stoffliche und energetische Verwendung ist davon auszugehen, dass die Bereitstellung von Gärrestfasern nicht zu einer Substitution von Holzfasern führt, sondern vielmehr zu einer Erhöhung des insgesamt verfügbaren Potenzials an stofflich nutzbarer Biomasse beiträgt. In diesem Fall findet keine Verdrängung holzbasierter Wertschöpfungsketten statt, so dass bei einer Nettobetrachtung ein positiver Saldo zu erwarten ist.

Mit der positiven Entwicklung der Absatzmöglichkeiten von Hanfnüssen im Lebensmittelbereich in den letzten Jahren rückt auch die stoffliche Verwertung des Koppelproduktes Hanfstroh wieder stärker in den Fokus. Der **Anbau von Hanf und der anschließende Prozess des Hanffaseraufschlusses** sind mit Blick auf eine ländliche Bioökonomie und die damit verbundenen regionalökonomischen Potenziale für den ländlichen Raum interessant. Dies liegt auch daran, dass die Nutzung des Hanfstrohs aufgrund des hohen Transportwiderstands des Strohs eine **räumliche Koppelung von Anbau und Verarbeitung** erforderlich macht. Der Hanfanbau ist mit Einkommens- und Beschäftigungsmöglichkeiten für hanfanbauende Betriebe verbunden. Gleichzeitig ist zu bedenken, dass bestehende Nutzungen der Ackerfläche verdrängt werden. Bei einer Nettobetrachtung mindert dies die Effekte deutlich. Hervorzuheben ist, dass aufgrund der personalintensiven Betriebs- und Wartungsarbeiten die Realisierung einer Faseraufbereitungsanlage im ländlichen Raum mit entsprechenden Beschäftigungs- und Einkommenseffekten verbunden ist. Dabei tragen maßgeblich die Nettoeinkommen der Beschäftigten und in geringem Umfang auch die Gewinne der Faseraufbereitungsanlage und die darauf gezahlten Steuern zur regionalen Wertschöpfung bei. Dies setzt jedoch voraus, dass eine Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs gegeben ist und Anlagenbetreiber/innen und Investor/innen regional ansässig sind. Werden bisher importierte Hanffasern in Deutschland hergestellt und dafür Verarbeitungskapazitäten aufgebaut, kann dies mit zusätzlicher Wertschöpfung und Beschäftigung im ländlichen Raum verbunden sein. Ob und in welchem Umfang hier bei einer Nettobetrachtung ein positiver oder negativer Saldo zu erwarten ist, hängt maß-

geblich davon ab, ob mit der Verdrängung anderer landwirtschaftlicher Kulturen durch den Hanfanbau auch nachfolgende Verarbeitungsschritte substituiert werden. Eine Quantifizierung war im vorliegenden Vorhaben angesichts der komplexen Zusammenhänge nicht möglich. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Auch für die stoffliche Nutzung von Gras gilt, dass die geringe Transportwürdigkeit von Gras und Heu möglichst eine **Erstverarbeitung in der Region** erfordert. Werden die Strukturen für die Verarbeitung von Gras unter Einbeziehung von regionalen Akteuren (beispielsweise der Grünlandbetriebe) aufgebaut, kann diese Verlängerung der Wertschöpfungskette Beschäftigung und Wertschöpfung im ländlichen Raum schaffen.

Die Ergebnisse der drei Wertschöpfungsketten zeigen, dass insbesondere der **Auf- und Ausbau von Wirtschaftsstrukturen über die Rohstoffbereitstellung hinaus** Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale im ländlichen Raum mit sich bringen. Wie die analysierten Wertschöpfungsketten zeigen, kann ein solcher Auf- und Ausbau von Wertschöpfungsketten beziehungsweise Wertschöpfungsnetzen beispielsweise über die höherwertige Verarbeitung von biogenen Reststoffen oder Koppelprodukten geschehen. Gleiches gilt für den Anbau und die Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen und von biobasierten Vorprodukten, die bisher überwiegend aus dem Ausland importiert werden. Darüber hinaus können Biomassen von Flächen, die aus der Nutzung fallen, wie zum Beispiel im Fall von Grünland im Zusammenhang mit dem Strukturwandel in der Milchviehwirtschaft, oder zu ihrer Erhaltung der Pflege bedürfen, anders genutzt werden. So ergeben sich Entwicklungsmöglichkeiten für den ländlichen Raum.

Ländliche Regionen können von den möglichen positiven Effekten einer wachsenden Bioökonomie dann profitieren, wenn ein **Großteil der Wertschöpfungsschritte** – von der Biomassebereitstellung über die Erst- und Weiterverarbeitung – **im entsprechenden Bezugsraum angesiedelt** ist. Dies setzt voraus, dass die beteiligten Unternehmen und ihre Beschäftigten in den betrachteten ländlichen Regionen ansässig beziehungsweise wohnhaft sind und dass das Investitionskapital von regionalen Akteuren eingebracht wird. Ist dies der Fall, verbleibt auch ein Großteil der generierten Wertschöpfung in der Region. Idealtypisch bedeutet dies für das Beispiel einer konkreten Verarbeitungsanlage, dass die Biomasse aus der Region bezogen wird und zudem nach Möglichkeit regionale Unternehmen mit der Planung, Errichtung und Wartung der Anlage beauftragt sind. Für die Höhe der Steuerzahlungen am Standort ist der steuerrechtliche Unternehmenssitz des Verarbeitungsunternehmens entscheidend. Auch tragen an die Gesellschafterinnen und Gesellschafter ausgeschüttete Gewinne der beteiligten Unternehmen nur dann zur regionalen Wertschöpfung bei, wenn diese ihren Hauptwohnsitz in der Region haben.

Die Höhe der für Deutschland abgeschätzten Wertschöpfung und Beschäftigung für die drei ausgewählten Wertschöpfungsketten erscheint angesichts einer Bruttowertschöpfung von insgesamt 2.848 Mrd. Euro (Statistisches Bundesamt 2019b) und einer Gesamtzahl von rund 31,4 Mio. sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (Statistisches Bundesamt 2019c) in Deutschland im Jahr 2016 gering. Für eine Region im ländlichen Raum können jedoch durchaus signifikante regionalökonomische Effekte mit den betrachteten Wertschöpfungsketten verbunden sein, betrachtet man die große Vielzahl an möglichen Verwertungspfaden im Kontext der Bioökonomie, die über die Bewertung der ausgewählten Verfahren hinausreichen.

Das für die Bioökonomie stehende biobasierte Wirtschaften kann jedoch auch zur **Verdrängung bestehender Flächennutzungen oder einer Substitution von Wertschöpfungsketten** führen. In der Folge kann dies zu einer Minderung der durch die Bioökonomie erzielten positiven Effekte oder aber zu einer Stabilisierung des Status Quo führen. Relevant in den ländlichen Regionen ist

hier insbesondere die Überführung von Flächen oder Rohstoffen aus einer vorhandenen in eine neue Nutzungsform; ein Beispiel könnten hier (erwünschte) Substitutionseffekte im Falle einer Reduktion der Fleischproduktion in Deutschland sein. Demgegenüber ist es möglich, zusätzliche Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte zu erzielen, wenn bisher ungenutzte Biomasse (wie beispielsweise Reststoffe) einer Nutzung zugeführt werden oder in der Region zusätzliche Verarbeitungskapazitäten unter Einbindung lokaler Akteure entstehen, ohne vorhandene Wirtschaftsstrukturen zu verdrängen.

### Ergebnisse der ökologischen Bewertung

Die **Ergebnisse der ökologischen Bilanzierung** zeigen mit Blick auf die Bewertung des heutigen Status Quo ein heterogenes Bild: die Produkte und Prozesse einer ländlichen Bioökonomie haben gegenüber den konventionellen Referenzprodukten und -prozessen in manchen Umweltwirkungskategorien Vorteile, gleichzeitig aber auch in anderen Kategorien Nachteile. Bei einer ländlichen Bioökonomie, die auf landwirtschaftlich erzeugten Ressourcen basiert, steht bei der Bewertung der ökologischen Performance die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen beziehungsweise der **Biomasseanbau** im Mittelpunkt. Die Ergebnisse sind dabei auch davon abhängig, welche Szenarien, das heißt zum Beispiel welche Art von Anbau – ökologischer oder konventioneller Anbau – angenommen wird. Darüber hinaus existieren verschiedene Daten- und Modellunsicherheiten, innerhalb derer die Ergebnisse interpretiert werden müssen.

Mit der **Bewirtschaftung** landwirtschaftlicher Flächen sind immer auch Stoffströme und Emissionen in Luft, Wasser und Boden verbunden. Dadurch ergeben sich für bestimmte Umweltwirkungskategorien wie Versauerung und Eutrophierung durch eine ländliche Bioökonomie, die auf landwirtschaftlich erzeugten Ressourcen basieren, besondere Herausforderungen aber auch Chancen zur Verbesserung im Vergleich zum Status Quo. Für die Umweltwirkung des Anbaus relevante Stoffströme resultieren vor allem aus der Düngung und dem Pestizideinsatz. Das **Düngemanagement**, das sich vor allem aus der Wahl eines Düngemitteltyps und der Art der Ausbringung ergibt, hat einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Umweltbewertung, insbesondere mit Blick auf Eutrophierungs- und Versauerungswirkungen. Dies belegen die verschiedenen Anbauszenarien der drei untersuchten Wertschöpfungsketten. Dass durch zusätzliche, neue Wertschöpfungsketten der Bioökonomie auch Verbesserungen im Vergleich zum Status Quo auftreten können, zeigt das Beispiel der Gärrestverwertung, die das Potenzial hat, Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft zu reduzieren. In den folgenden **Verarbeitungsstufen** ist die Nutzung und Aufbereitung von Reststoffen und Nebenprodukten zu marktfähigen **Koppelprodukten** von zentraler Bedeutung, um die Ressourceneffizienz zu erhöhen und so die Umweltlasten der Hauptprodukte zu senken. Die vielseitigen Nebenprodukte der Hanfwertschöpfungskette, wie Hanfnüsse, die als Nahrungsmittel oder Hanfschäben, die als Tiereinstreu nutzbar sind, stellen gute Beispiele hierfür dar. Am **Lebenswegende** der Produkte ist die stoffliche Verwertung Voraussetzung, um gebundenes biogenes CO<sub>2</sub> längerfristig zu binden und über einen Betrachtungszeitraum von zum Beispiel 100 Jahren Netto-Negativemissionen zu erzielen. Bislang ist bei keiner der drei Wertschöpfungsketten aufgrund kürzerer Nutzungsdauer davon auszugehen, dass Negativemissionen erreicht werden. Eine Hemmnis hierfür kann auch die Mischung von biobasierten und fossilen Produktkomponenten wie beim Hanfvlies sein. Produktinnovationen, wie die konsequente Nutzung biobasierter Produktteile bei neueren Hanfdämmstoffen, zeigen aber, dass Potenziale für geringere Umweltlasten über die Produktweiterentwicklung aktiv gestaltet werden können. Durch die Höhe der Transportdistanzen und die Anzahl räumlich verteilter Verarbeitungsstufen kann der **Transportaufwand** ebenfalls zu vergleichsweise hohen Umweltwirkungen führen. Zur Verringerung der ökologischen Lasten der Transporte bietet sich die Verknüpfung von Wertschöpfungsstufen und -ketten an, um Synergieeff-

fekte zu generieren. In der untersuchten Hanfkette sind beispielsweise Faseraufschluss und Vlieslegung ungünstiger Weise räumlich getrennt. Bei der Weiterverarbeitung von Grasfaserpellets bietet sich die Anlagennähe zur Papierfabrik an. Beim Verfahren zur Gärrestverwertung ist das Aufsetzen auf die bestehende Struktur der vorgelagerten Biogasanlage Voraussetzung zur Umsetzung des Prozesses. Allerdings ist bei diesem Verfahren mit nennenswertem Wärmebedarf darauf zu achten, dass keine Konkurrenz um die Wärmenutzung besteht, die einen Umweltnutzen zunichtemachen kann.

Die rohstoffliche Basis der ländlichen Bioökonomie geht auch mit der **Inanspruchnahme von Flächen** einher, die nur begrenzt verfügbar sind und in Konkurrenz zur Nahrungsmittelbereitstellung stehen können. Für die drei betrachteten Wertschöpfungsketten trifft das in unterschiedlicher Weise zu. Das Gärrestaufbereitungsverfahren kann den Flächendruck verringern, da als Substrat für die Biogaserzeugung weniger Anbaubiomasse und stattdessen vermehrt Hühnertrockenkot genutzt werden kann. Der Rohstoff Gras für die Grasfaserpellets soll vorrangig aus der Grünlandnutzung und von Flächen, die aus der Nutzung (z. B. durch Veränderungen in der Milchviehhaltung) fallen, kommen und auf diese Weise Konkurrenzen vermeiden. Lediglich bei der Hanf-Wertschöpfungskette handelt es sich um eine klassische Anbaubiomasse, durch die Konkurrenzen entstehen können. Allerdings werden auf Basis von Hanfnüssen ebenfalls hochwertige Lebens- und Futtermittel bereitgestellt. Bestenfalls können so durch eine veränderte Nutzung weitere nutzungsbedingte Ökosystemleistungen stärker in der Fläche verankert werden. Beispiele hierfür sind die Erweiterung von Fruchtfolgen durch den betriebsmittelextensiven Anbau von Hanf, verbunden mit einem Beitrag zur Steigerung der Agrobiodiversität, oder eine extensive Grünlandbewirtschaftung zur Gewinnung von Heu als Grundstoff für Papier und Kartonage, durch die ein Erhalt artenreicher Flächen sichergestellt wird. Eine (politische) Substitutionsstrategie einer Reduktion von Flächen für Fleischproduktion gegen den Aufwuchs von Flächen für stoffliche und/oder energetische Nutzung kann zudem die Flächenproblematik abfedern oder gar auflösen.

Der Vergleich der ausgewählten, biobasierten Produkte zu den Referenzprodukten hat gezeigt, dass ein **Drop-In** häufig nur in begrenztem Maße umsetzbar ist, was durch unterschiedliche technische Charakteristika (z. B. Faserstabilität bei den Grasfasern) und regulatorische Maßgaben (z. B. durch die Brandschutzklasse des Hanffaserdämmvlieses) begründet ist. Insofern sind den Anwendungsfeldern der betrachteten Wertschöpfungsketten teilweise Grenzen gesetzt. Mit der bestehenden Vielfalt an Ausgangsstoffen, Prozessrouten, Produktdesigns und denkbaren Anwendungsfeldern spannt sich aber ein breites Feld an Möglichkeiten für die Bioökonomie im Allgemeinen und auch die ländliche Bioökonomie im Speziellen auf. Zugleich bedeutet dies, dass es einer großen Bandbreite an Wertschöpfungsketten anstelle einer Konzentrierung auf einige wenige bedarf, damit fossilbasierte Produkte auf eine biobasierte Basis umgestellt werden können.

Die Schlussfolgerungen aus der ökologischen Betrachtung gelten unter den Vorbehalten, dass die Modelle nur vereinzelt auf empirischen Primärdaten beruhen, Unsicherheiten bei den Daten bestehen und die gewählten Systemgrenzen für jeden Betrachtungsfall sehr spezifisch sind und nicht bei allen Ketten den gesamten Lebensweg betrachten. Die Analysen konzentrieren sich zudem auf eine Auswahl von Wirkungsindikatoren, vor allem diejenigen, die bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen eine große Bedeutung haben. Weitere, bei landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten und Erzeugnissen relevante Faktoren wie Bodenfruchtbarkeit oder der Einfluss auf Biodiversität stellen über das gewählte Vorgehen hinaus sinnvolle Ergänzungen und Vertiefungen bei der ökologischen Bewertung der ländlichen Bioökonomie dar.

## Empfehlungen für die Praxis und zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens

Um die Potenzialfelder und das Themenfeld einer ländlichen Bioökonomie zukünftig zu entwickeln bedarf es verschiedener Aktivitäten der Akteure aus der Praxis sowie aus Politik und Verwaltung auf den unterschiedlichen Ebenen. Auf Basis der oben dargestellten grundlegenden und vertiefenden Analysen sowie aus einer Vielzahl von Interviews und Veranstaltungen des Vorhabens wurden Handlungsempfehlungen für die Praxis und Empfehlungen zur Gestaltung des politisch-rechtlichen Rahmens erarbeitet.

Die zentralen **Ansatzpunkte für die Praxis** für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie reichen von Aktivitäten der Sensibilisierung und Information der Akteure bis zur konkreten Umsetzung von mehr regionalen Leuchtturmprojekten. Dabei besteht Handlungsbedarf sowohl von Seiten der landwirtschaftlichen Akteure als auch bei Unternehmen und der öffentlichen Hand. Forschungsnetzwerke, aber auch die Bundesländer sind gefragt, wenn es um die Planung und Umsetzung von Informationskampagnen, Veranstaltungen und Plattformen mit dem Ziel der Information und Vernetzung der Akteure geht. Auf kommunaler und Landkreisebene kann vor allem die Wirtschaftsförderung den ersten Schritt unternehmen, um die Erstellung regionaler (Cluster-)Strategien und Konzepte zur Bioökonomie als Bestandteil ländlicher Strukturentwicklung zu befördern. Münden diese in konkrete Projektaktivitäten, sollten Projektentwicklerinnen und -entwickler und sonstige Beteiligte insbesondere im Fall innovativer, größerer Vorhaben mit Einfluss auf Landnutzung und Verkehrsaufkommen frühzeitig und transparent mit Betroffenen kommunizieren und diese einbeziehen.

Bei der Gestaltung von Geschäftsmodellen können kooperative Ansätze helfen, neue Wertschöpfungsketten im Hinblick auf Rohstoffbasis und Absatz von Anfang an langfristig stabil zu gestalten. Anbieterinnen und Anbieter neuer biobasierter Produkte können davon profitieren, ökologische Auswirkungen belastbar zu untersuchen und ökologische Vorteile zum Beispiel über Zertifizierungen oder regionale Label für die Vermarktung zu nutzen. Den Aufbau solcher neuen Ketten als Leuchtturmprojekte zu unterstützen ist eine Gemeinschaftsaufgabe, an der neben den beteiligten Praxisakteuren auch Politik und Verwaltung sowie Fördermittelgeber und Finanzierungsinstitutionen mitwirken und gestalten sollten. Die öffentliche Beschaffung sowie größere regionale Nachfrager können in vielen Teilmärkten eine wichtige Anschubfunktion für regionale Bioökonomie-Produkte erfüllen.

Auf Seiten der **Politik** sollte zur Förderung einer ländlichen Bioökonomie zunächst ein besonderer Fokus auf die **Verzahnung und Abstimmung** der verschiedenen betroffenen politischen Ebenen und Politikfelder erfolgen. Erfahrungsgemäß gibt es hier nur in seltenen Ausnahmefällen auf Bundes- und Länderebene bereits hinreichend etablierte Vernetzungs- und Abstimmungsstrukturen. Damit verbunden ist auch die Entwicklung eines gemeinsamen Begriffsverständnisses der ländlichen Bioökonomie sowie die Verständigung auf eine gemeinsam getragene Systembetrachtung, wenn es darum geht dezentrale Bioökonomieansätze zu entwickeln, die eine Erst- und im Idealfall eine Weiterverarbeitung von verschiedenen Biomassen im ländlichen Raum vorsieht. Auch sollte eine **Fokussierung der Förderlandschaft** im Bereich der Agrar- und Strukturförderung erfolgen. So könnten beispielsweise Wertschöpfungsketten mit hohen Anfangsinvestitionen unterstützt werden, wenn diese einen ökologischen Vorteil gegenüber fossilen Referenzprodukten sowie einen regionalökonomischen Beitrag leisten. Gleiches gilt für nachhaltige Anbauverfahren und Verarbeitungsprozesse. Im Sinne der Aufwertung der ländlichen Räume und der Schaffung von gleichwertigen Lebensverhältnissen zwischen Stadt und Land sollte hier die öffentliche Aufmerksamkeit laufender politischer Prozesse (z. B. rund um die Debatte zu einer dritten Säule der Agrarförderung zu ländlichen Räumen oder zu Aktivitäten der Kommission „Gleichwertige Lebensverhältnisse“) genutzt werden. Ein weiteres Augenmerk der Politik sollte auf der **Förderung von Marktzugängen**

von Wertschöpfungsketten liegen, die einer effizienten und gleichzeitig umwelt- und klimaschonenden Nutzung von Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen entsprechen. Hierzu bietet sich ein breites Set sowohl anreizbasierter als auch regulierender Instrumenten an. Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit gegenüber fossilen Konkurrenzprodukten ist hier vor allem eine wirksame **CO<sub>2</sub>-Bepreisung** zu nennen. Die öffentliche **Beschaffung** aber auch Beschaffungsrichtlinien großer Nachfrager sind weitere Ansatzhebel. Um weiteres Wissen und Erfahrungswerte zur Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie zu erlangen, sollten zukünftig verstärkt **Modell-, Pilot-, Demonstrationsvorhaben** sowie der Transfer von erlangten Erkenntnissen aus Forschung und Entwicklung in die Praxis gefördert werden. Dies gilt beispielsweise für die Identifizierung von konkreten Potenzialfeldern in vorab ausgewählten ländlichen Regionen, bezogen auf unterschiedliche Agrarraumtypen (z. B. Grünland-, Ackerbau-, Biogasregionen oder Regionen mit Verarbeitungskapazitäten). Mit Blick auf bestehende **Hemmnisse** für die Entwicklung von einzelnen Wertschöpfungsketten sollte auch das aktuelle Set an Instrumenten der relevanten Politikbereiche überprüft und wo nötig angepasst werden. Dies gilt beispielsweise für den Bereich der Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen, die teilweise keiner höherwertigen Verwertung zugeführt werden können. An dieser Stelle sollte auch ein Abgleich mit den Leitgedanken der Politikstrategie Bioökonomie erfolgen, sodass wo möglich und sinnvoll die Kaskaden- und Koppelnutzung von Biomasse realisiert werden kann. Ebenso von Bedeutung ist die Intensivierung der Förderung von Formen der Information, Kommunikation und Kooperation, wie sie bereits im Rahmen der Förderung des gesellschaftlichen Dialogs zur Bioökonomie erfolgt. Derartige Formate bieten den Vorteil unterschiedliche Sichtweisen der verschiedenen Akteure kennen zu lernen, Know-how aufzubauen und für eine ländliche Bioökonomie optimale Wirtschaftsstrukturen zu entwickeln.

### **Weiterer Forschungs- und Handlungsbedarf zur Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie**

Über die mit diesem Vorhaben geleistete Erweiterung der Wissensbasis zu technischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten der Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie hinaus besteht weiterer Forschungs- und Handlungsbedarf. Dieser lässt sich wie folgt darstellen:

- Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen der drei untersuchten Wertschöpfungsketten bieten sich konkrete Untersuchungen von technischen und infrastrukturellen Anforderungen sowie ökonomischen und ökologischen Effekten in typischen ländlichen Räumen (z. B. Biogas-, Grünland-, Ackerbauregionen beziehungsweise Regionen mit einem Anteil an entsprechenden Verarbeitungskapazitäten) an. Dies kann unter anderem über die Förderung von regionalen Modell-, Pilot- oder Demonstrationsvorhaben erfolgen.
- Auch bieten sich zur Erweiterung der Wissensbasis die ökonomische und ökologische Bewertung sowie die Untersuchung von technischen und infrastrukturellen Anforderungen von weiteren für den ländlichen Raum vielversprechenden Wertschöpfungsketten an. Ein besonderes Augenmerk sollte hier auf der Prüfung der Möglichkeiten der Kaskaden-, Koppel-, Mehrfachnutzung von einzelnen Biomassen und biogenen Rest- und Abfallstoffen zur Erweiterung der Produktpalette liegen.
- Für die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie bedeutsam ist zudem die Erweiterung der Wissensbasis zu passgenauen Betreiber- und Geschäftsmodellen für einzelne Wertschöpfungsketten, inklusive dem Ausloten von finanziellen Beteiligungsmöglichkeiten der Rohstofflieferanten an der Erst- und Weiterverarbeitung.
- Mit Bezug auf die ökonomische Bewertung, insbesondere bzgl. regionalökonomischer Effekte, sind zudem Nettobetrachtungen (wie zum Beispiel im Fall des Anbaus von Hanf) relevant, um entsprechende Substitutions- und gegebenenfalls Verdrängungseffekte abbilden zu können.

Hier könnten auch ausgewählte Substitutionsfragestellungen wie zum Beispiel „Fleischproduktion vs. Stofflich-energetische Nutzungen“ in konkreten Produktionsregionen untersucht werden.

- Im Rahmen der Förderung von regionalen Modell-, Pilot- oder Demonstrationsvorhaben sollte auch eine Begleitung der Umsetzung von einzelnen Vorhaben sowie des Transfers in die Praxis stattfinden. Denkbar wären hierbei zum Beispiel Coaching-Aktivitäten von regionalen Akteuren zur (Weiter-)Entwicklung einer biobasierten Wirtschaft im ländlichen Raum, mit einem besonderen Fokus auf der Netzwerkbildung und einer breiten Akteursbeteiligung. Dies könnte auch die Entwicklung von Biomasse- beziehungsweise Bioökonomieknoten („Hubs“) beinhalten, als Orte der Vernetzung und Kooperation.
- Grundsätzlich sollte auch der gezielte Austausch und Dialog zum Begriffsverständnis und der räumlichen Verortung der ländlichen Bioökonomie gefördert werden. Dies könnte beispielsweise auf Ebene der Bundesländer über eine beteiligungsorientierte Regionalforschung zur Ermittlung von Potenzialen für passgenaue Bioökonomiecluster in ländlichen Regionen erfolgen. Diese Aktivitäten könnten durch den Bund begleitet werden, zum Beispiel über die Analyse und den Transfer von „Good-Practice“-Beispielen in die Praxis. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse können einen wertvollen Beitrag für das weitere politische Handeln sowie von Aktivitäten in der Praxis, auch mit Blick auf die Schaffung von Akzeptanz und Teilhabe, leisten.
- Auch sollte es zur Förderung einer ländlichen Bioökonomie im Sinne der Stärkung der Entwicklung von ländlichen Räumen eine Analyse und Bewertung von Politikinstrumenten für einzelne Bereiche beziehungsweise Wertschöpfungsketten geben und geklärt werden, ob es bezogen auf eine Über- oder Unterregulierung gewisser Anpassungen bedarf.
- Mit den jüngsten Erkenntnissen des 1,5°-Berichts des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) rückt die Thematik negativer Emissionen und entsprechender Strategien zunehmend in den Vordergrund der Debatte um Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen. Auch hier spielt die Biomasse und die Bioökonomie eine wichtige Rolle, wiederum mit möglicherweise massiven Auswirkungen auf die Frage der De/Zentralität der gewählten Maßnahmen und Technologien (von Aufforstungen bis BECCS). Aus diesem Zusammenhang ergeben sich vielfältige neue Fragestellungen mit Blick auf die Entwicklung einer ländlichen Bioökonomie.

## 8 Literaturverzeichnis

- Aeschelmann, Florence und Michael Carus (2015): *Bio-based Building Blocks and Polymers in the World - Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends toward 2020*. Hürth.
- Aretz, Astrid, Katharina Heinbach, Bernd Hirschl und André Schröder [Institut für ökologische Wirtschaftsforschung] (2013): *Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch den Ausbau Erneuerbarer Energien*. Hamburg. [https://www.ioew.de/fileadmin/\\_migrated/tx\\_ukioewdb/Greenpeace-Studie-Wertschoepfung.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/_migrated/tx_ukioewdb/Greenpeace-Studie-Wertschoepfung.pdf).
- Arnold, Karin, Justus von Geibler, Katrin Bienge, Caroline Stachura, Sylvia Borbonus und Kora Kristof (2009): *Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen: Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung*. Wuppertal Papers Nr. 180. Wuppertal.
- Becker, Nico, Marina Mudersbach, Sebastian Spierling, Hannes Krieg, Stefan Albrecht und Hans-Josef Endres (2018): *Handlungsempfehlungen für die Ökobilanzierung von biobasierten Kunststoffen*. BiNa, Förderkennzeichen FKZ 01UT1430A.
- BioProBW (2017): *Historie und Erfolge - BIOPRO BW. BIOPRO Baden-Württemberg GmbH*. Website: <https://www.bio-pro.de/de/biopro/historie/> (Zugriff: 23. Mai 2017).
- BioProBW (2018): *Bericht zum Dialogprozess. Bioökonomie – Wertschöpfung mit Zukunft. Nachhaltige Bioökonomie für den ländlichen Raum*. Stuttgart.
- BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] (2010): *Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 - Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft*. [https://www.bmbf.de/pub/Nationale\\_Forschungsstrategie\\_Biooekonomie\\_2030.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Nationale_Forschungsstrategie_Biooekonomie_2030.pdf).
- BMBF und BMEL [Bundesministerium für Bildung und Forschung und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2014): *Bioökonomie in Deutschland - Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft*. Berlin. [https://www.bmbf.de/upload\\_filestore/pub/Biooekonomie\\_in\\_Deutschland.pdf](https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Biooekonomie_in_Deutschland.pdf).
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2014): *Nationale Politikstrategie Bioökonomie - Wachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie*. Berlin. [http://www.bmbf.de/pubRD/Politikstrategie\\_Biooekonomie\\_barrierefrei.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/Politikstrategie_Biooekonomie_barrierefrei.pdf).
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2015a): *Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten 2015*. [https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/user\\_upload/010\\_Jahrbuch/Stat\\_Jahrbuch\\_2015.pdf](https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/user_upload/010_Jahrbuch/Stat_Jahrbuch_2015.pdf).
- BMEL (2015b): *Umsetzung der EU-Agrarreform in Deutschland*. [http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Umsetzung-GAPinD.pdf?\\_\\_blob=publicationFile#page=42](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Umsetzung-GAPinD.pdf?__blob=publicationFile#page=42).
- BMEL (2016a): *Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre. Ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052*. BMEL. [http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Wald-Rohholzpotential-40Jahre.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Wald-Rohholzpotential-40Jahre.pdf?__blob=publicationFile).
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2016b): *Bioökonomie - Positive Gesamtbewertung: „Fortschrittsbericht Nationale Politikstrategie Bioökonomie“*. 31. August. Website: [https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Biooekonomie/\\_texte/Fortschrittsbericht\\_BioOekonomiestrategie.html](https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Biooekonomie/_texte/Fortschrittsbericht_BioOekonomiestrategie.html) (Zugriff: 19. Juni 2017).
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2016c): *Fortschrittsbericht zur nationalen Politikstrategie Bioökonomie*. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- BMEL (2017): *Durchschnittliche Einkaufspreise der Landwirtschaft für Futtermittel, Düngemittel und Energie*.
- BMEL (2018a): *Statistik und Berichte des BMEL. Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung - Betriebe mit Anbauflächen für Nutzhänfl und Flachs 2017*. <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/ernte-und-qualitaet/bodennutzung/>.
- BMEL (2018b): *Förderung des ländlichen Raumes - Leader*. Website: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Laendliche-Raeume/Leader.html> (Zugriff: 21. August 2018).
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2018c): *Betriebe und Fläche des Ökologischen Landbaus in Deutschland*. [http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Oekolandbau/\\_Texte/OekologischerLandbau-Deutschland.html](http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Oekolandbau/_Texte/OekologischerLandbau-Deutschland.html).
- BMEL (2019): *Fortentwicklung der Gemeinschaftsaufgabe bietet Möglichkeit zur gezielten Strukturpolitik für die ländlichen Räume*. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/2019/031-SRLE.html>.

- BMI [Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat] (2018): ÖKOBAUDAT – Prozess-Datensatz: Hanfvlies (de). Website: [https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=5ef0c519-f5b2-4d45-809d-5f417f90e90b&stock=OBD\\_2017\\_I&lang=de](https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=5ef0c519-f5b2-4d45-809d-5f417f90e90b&stock=OBD_2017_I&lang=de) (Zugriff: 2. Mai 2018).
- BMI (2019): Maßnahmen der Bundesregierung zur Umsetzung der Ergebnisse der Kommission „Gleichwertige Lebensverhältnisse“. [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/themen/heimat-integration/gleichwertige-lebensverhaeltnisse/kom-gl-massnahmen.pdf;jsessionid=8227D09CA8D01FFA8C95F0E654468283.1\\_cid295?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/themen/heimat-integration/gleichwertige-lebensverhaeltnisse/kom-gl-massnahmen.pdf;jsessionid=8227D09CA8D01FFA8C95F0E654468283.1_cid295?__blob=publicationFile&v=4).
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2018): Zahlen und Fakten. Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung.
- BMWi (2019): Regionale Wirtschaftsstruktur entwickeln. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/regionalpolitik.html>.
- Brosowski, André, Philipp Adler, Georgia Erdmann, Walter Stinner, Daniela Thrän, Christian Blanke, Bernd Mahro, Thomas Hering und Gerd Reinholdt (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen. Status quo in Deutschland. Schlussbericht. Schriftenreihe Wachsende Rohstoffe. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH. [https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/s/c/schriftenreihe\\_band\\_36\\_web\\_01\\_09\\_15.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/s/c/schriftenreihe_band_36_web_01_09_15.pdf).
- Bugge, Markus, Teis Hansen und Antje Klitkou (2016): What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. *Sustainability* 8, Nr. 7: 691.
- Bundesagentur für Arbeit (2017): Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008) (Quartalszahlen). Deutschland, Stichtag: 30. Juni 2016.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2015): Wichtige steuerliche Regelungen für die Land- und Forstwirtschaft. [http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/SteuerlicheRegelungen2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/SteuerlicheRegelungen2015.pdf?__blob=publicationFile).
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Hrsg. (2017): Buchführungsergebnisse der Testbetriebe Landwirtschaft 2015/16. <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/testbetriebsnetz/testbetriebsnetz-landwirtschaft-buchfuehrungsergebnisse/archiv-buchfuehrungsergebnisse-landwirtschaft/buchfuehrungsergebnisse-landwirtschaft-201516/>.
- Bundesregierung (2019): Ein Plan für Deutschland (10. Juli). <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/ein-plan-fuer-deutschland-1646864>.
- C.A.R.M.E.N. e.V. (2016): Zuschüsse für ökologische Baustoffe: Städte wie München und Münster zeigen wie es geht. Website: <https://www.carmen-ev.de/stoffliche-nutzung/1937-die-stadt-muenster-geht-mit-gutem-beispiel-voran-zuschuesse-fuer-oe-kologische-daemmstoffe> (Zugriff: 10. August 2018).
- Carus, Michael, Hrsg. (2017): The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers. 26. März. [http://eiha.org/media/2017/12/17-03\\_European\\_Hemp\\_Industry.pdf](http://eiha.org/media/2017/12/17-03_European_Hemp_Industry.pdf).
- Carus, Michael, Asta Eder und Lena Scholz (2015): Bioverbundwerkstoffe - Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) und Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC). Hg. v. Fachagentur Wachsende Rohstoffe. [http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere\\_Bioverbundwerkstoffe-web-V01.pdf](http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Bioverbundwerkstoffe-web-V01.pdf).
- Carus, Michael, Christian Gahle, Cezar Pendarovski, Dominik Vogt, Sven Ortmann, Franjo Grotenhermen, Thomas Breuer und Christin Schmidt [Fachagentur Wachsende Rohstoffe] (2008): Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU). Gülzower Fachgespräche Band 26. Gülzow. [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_315gf\\_band\\_26\\_komplet\\_100.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_315gf_band_26_komplet_100.pdf).
- Carus, Michael, Achim Raschka und Stephan Piotrowski (2010): *Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung): Volumen, Struktur, Substitutionspotenziale, Konkurrenzsituation und Besonderheiten der stofflichen Nutzung sowie Entwicklung von Förderinstrumenten, Mai 2010 = The development of instruments to support the material use of renewable raw materials in Germany (Summary)*. 2., geringfügig überarb. Aufl., Juli 2010. Hürth: nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH.
- CREAPAPER GmbH (2018): GRASPAP® – das Pellet für die Papierindustrie. Website: <http://www.graspapier.de/graspap-news-das-pellet-fuer-die-papierindustrie/> (Zugriff: 20. November 2018).
- Cromm, Andreas (2018): Rechtliche Rahmenbedingungen des Hanfanbaus. Witzhausen: Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- Cruse, F., W. Dietz, M. Höller und S. Szefera (2015): Entwicklung eines Verfahrens zur Gewinnung von Gras als Rohstoff und Verarbeitung für die Herstellung von Papierprodukten unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette. Hg. v. Projektgesellschaft C+G Papier GmbH und Deutsche Bundessiftung Umwelt. Mai.

- Daniel-Gromke, Jaqueline, Nadja Rensberg, Velina Denysenko, Marcus Trommler, Toni Reinholz, Klaus Völler, Michael Beil und Wiebke Beyrich (2017): Anlagenbestand Biogas und Biomethan – Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. DBFZ Report. Leipzig: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum.
- DBV [Deutscher Bauernverband] (2016): Agrarpolitik und Agrarförderung. In: *Situationsbericht 2016/17 - Trends und Fakten zur Landwirtschaft*. Berlin.
- Destatis (2018): Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warensystematik - Hanf.
- Deutsche Bundesbank (2016): Hochgerechnete Angaben aus Jahresabschlüssen deutscher Unternehmen von 1997 bis 2015.
- Deutsche ROCKWOOL GmbH & Co. OHG (2018): Umwelt-Produktdeklaration nach /ISO 14025/ und /EN 15804/ – ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoffe im niedrigen Rohdichtebereich. <https://cdn01.rockwool.de/siteassets/rw-d/nachhaltigkeit-und-gebäude-zertifizierungen/umwelt-produktdeklarationen-epd/wu-umwelt-produktdeklaration-epd-niedrige-rd-rockwool.pdf?f=20180906093117>.
- DGS [Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.] (2015): EnergyMap. August. Website: <http://www.energymap.info/download.html> (Zugriff: 9. Januar 2019).
- Dietz, Wolfram, René Peche und Thorsten Pitschke (2015): Prozessmodellierung und vergleichende Ökobilanz für grashaltigen Karton. [http://www.graspapier.de/files/uploads/2015/09/Zertifikat\\_Oekobilanz\\_Karton\\_PTS-bifa\\_2015.pdf](http://www.graspapier.de/files/uploads/2015/09/Zertifikat_Oekobilanz_Karton_PTS-bifa_2015.pdf).
- Dietz, Wolfram, Laura Steger, Fokko Schütt und Steffen Schramm (2014): Ersatz klassischer Faserstoffe durch biogene Reststoffe – Teil 2. *Wochenblatt für Papierfabrikation* 2014, Nr. 5: 267–273.
- Döring, Przemko, Sebastian Glasenapp und Udo Mantau (2017): Holzwerkstoffindustrie 2015. Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. März.
- DStGB, DUH und IfaS [Deutscher Städte- und Gemeindebund, Deutsche Umwelthilfe, Institut für angewandtes Stoffstrommanagement] (2013): Strategie: Erneuerbar! Handlungsempfehlungen für Kommunen zur Optimierung der Wertschöpfung aus Erneuerbaren Energien. Berlin, Radolfzell, Birkenfeld.
- Dunkelberg, Elisa und Hannes Bluhm (2019): Umweltauswirkungen einer ländlichen Bioökonomie – Lebenszyklusanalyse von drei Wertschöpfungsketten einer Koppel- und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen. IÖW-Schriftenreihe 216/19. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gemeinnützig.
- Dunkelberg, Elisa, Steven Salecki, Julika Weiß, Stefan Rothe und Georg Böning (2015): Biomethan im Energiesystem. Ökologische und ökonomische Bewertung von Aufbereitungsverfahren und Nutzungsoptionen. IÖW-Schriftenreihe 207/15. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gemeinnützig.
- DVS - Netzwerk Ländliche Räume (2018): Projekte in LEADER. Website: <https://www.netzwerk-laendlicher-raum.de/leader/projekte-in-leader/> (Zugriff: 21. August 2018).
- Efken, Josef, Martin Banse, Andrea Rothe, Matthias Dieter, Walter Dirksmeyer, Michael Ebeling, Katrin Fluck, Heiko Hansen, Peter Kreins, Björn Seintsch, et al. (2012): Volkswirtschaftliche Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 07/2012. Braunschweig.
- EnEV (2007): *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV)*.
- Engelhardt, Heiko (2004): Auswirkungen von Flächengröße und Flächenform auf Wendezeiten, Arbeitserledigung und verfahrenstechnische Maßnahmen im Ackerbau. Inauguraldissertation zur Erlangung des Doktorgrades. Gießen. Inauguraldissertation zur Erlangung des Doktorgrades.
- Europäische Kommission, Hrsg. (2012): *Innovating for sustainable growth: a bioeconomy for Europe*. Luxembourg: Publ. Off. of the Europ. Union.
- Europäische Kommission (2018): Eine nachhaltige Bioökonomie für Europa. Stärkung der Verbindungen zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Luxembourg. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/DE/COM-2018-673-F1-DE-MAIN-PART-1.PDF>.
- EUWID [Europäischer Wirtschaftsdienst] (2017a): Situation auf den Sägereiholzmärkten normalisiert sich in den vergangenen Wochen. *EUWID Neue Energie*, Nr. 12.2017.
- EUWID [Europäischer Wirtschaftsdienst] (2017b): Preise für Sägespäne und Hackschnitzel entwickeln sich wieder gegenläufig. *EUWID Neue Energie*, Nr. 19.2017.

- Fechter, Maximilian und Matthias Kraume (2017): GÄRWERT- GÄRprodukte ökologisch optimiert und WERTorientiert aufbereiten und vermarkten; Teilvorhaben 2: Großtechnische Messdatenerfassung und -evaluation.
- Flamme, Sabine, Jörg Hanewinkel, Peter Quicker und Kathrin Weber (2018): Energieerzeugung aus Abfällen - Stand und Potenziale in Deutschland bis 2030. 51/2018.
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe] (2012): Anbau nachwachsender Rohstoffe 2012 auf 2,5 Millionen Hektar (Pressemitteilung vom 23.08.2012). [http://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/archiv/archiv-nachricht/?tx\\_ttnews%5Byear%5D=2012&tx\\_ttnews%5Bmonth%5D=08&tx\\_ttnews%5Bday%5D=23&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=5618&cHash=e92793bbaa07bbe9f60e182db5ad151a](http://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/archiv/archiv-nachricht/?tx_ttnews%5Byear%5D=2012&tx_ttnews%5Bmonth%5D=08&tx_ttnews%5Bday%5D=23&tx_ttnews%5Btt_news%5D=5618&cHash=e92793bbaa07bbe9f60e182db5ad151a).
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe] (2014a): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe Band 34. <http://fnr.de/marktanalyse/marktanalyse.pdf>.
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe] (2014b): *Leitfaden feste Biobrennstoffe: Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen im mittleren und großen Leistungsbereich*. 4. Aufl. Gülzow-Prüzen.
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe] (2016): Basisdaten Biobasierte Produkte - Anbau, Rohstoffe, Produkte. [http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Basisdaten\\_biobasierte\\_Produnkte-2016\\_web.pdf](http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Basisdaten_biobasierte_Produnkte-2016_web.pdf).
- FNR (2018): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2018. [http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Basisdaten\\_Bioenergie\\_2018.pdf](http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Basisdaten_Bioenergie_2018.pdf).
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe] (2019): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Gülzow-Prüzen: FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe]. <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf>.
- Friedrich, Stefan und Johannes Kappen (2012): „Aus alt mach neu“ – Wissenswertes rund um das Altpapier. *LWF aktuell* 2012, Nr. 89: 4–6.
- Fritz, Anke (2018a): Heupreise: Soviel kostet die Tonne Heu. *agrarheute*. Website: <https://www.agrarheute.com/pflanze/gruenland/heupreise-soviel-kostet-tonne-heu-444943> (Zugriff: 13. November 2018).
- Fritz, Johannes (2018b): BDM e.V. - Mailverkehr Grünlandpotentiale. 25. Juni.
- Gärtner, Sven, Gunnar Hienz, Heiko Keller und Maria Müller-Lindenlauf (2013): Gesamtökologische Bewertung der Kaskadennutzung von Holz - Umweltauswirkungen stofflicher und energetischer Holznutzungssysteme im Vergleich. Heidelberg: IFEU- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.
- Gawel, Erik, Alexandra Purkus, Nadine Pannicke und Nina Hagemann (2016): Die Governance der Bioökonomie – Herausforderungen einer Nachhaltigkeitstransformation am Beispiel der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland. UFZ-Diskussionspapiere. Leipzig. [https://www.ufz.de/export/data/global/116772\\_DP\\_02\\_2016\\_Gaweletal.pdf](https://www.ufz.de/export/data/global/116772_DP_02_2016_Gaweletal.pdf).
- Gawel, Erik, Alexandra Purkus, Nadine Pannicke, Nina Hagemann, Anne Walde und Grit Ludwig (2017): Governance einer nachhaltigen Bioökonomie - am Beispiel des Holzsektors in Deutschland. Factsheet der UFZ-Arbeitsgruppe „Governance der Bioökonomie“. Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ.
- GLS Crowdfunding GmbH (2018): GLS Crowdfunding GmbH. Website: <https://www.gls-crowd.de/creapaper> (Zugriff: 29. Oktober 2018).
- Gottwald, Franz-Theo (2015): Irrweg Bioökonomie: Über die zunehmende Kommerzialisierung des Lebens, hg. v. AgrarBündnis e.V.
- Graf, Torsten und Gerd Reinhold (2003): Bald wieder mehr Faserpflanzen? Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL).
- Hänel, Hans-Dieter, Claus Rösemann, Ulrich Dämmgen, Ulrike Döring, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Annette Freibauer, Helmut Döhler, Carsten Schreiner und Bernhard Osterburg (2018): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2016. Thünen-Report 57. Braunschweig.
- Hanffaser Uckermark (2018): Hanfanbau. Website: <https://www.hanffaser.de/uckermark/index.php/hanfanbau>.
- Hauk, Peter (2016): Bioökonomie ist Wachstumsmarkt. Pressemitteilung des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Website: <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/biooekonomie-ist-wachstumsmarkt/> (Zugriff: 30. September 2016).
- Heck, Peter, Hochschule Trier und Akademie für Nachhaltige Entwicklung Mecklenburg-Vorpommern, Hrsg. (2014): *Bioenergiedörfer - Leitfaden für eine praxisnahe Umsetzung: [Schlussbericht zum Vorhaben: Erstellung eines Leitfadens Bioenergiedörfer - Chancen für die nachhaltige Regionalentwicklung für die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) ; Laufzeit. 01.09.2012 bis 31.12.2013*. 1. überarb. Aufl. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).
- Herbes, Carsten und Verena Halbherr (2017): Stärkere Wärmenutzung in Biogasanlagen kann sich lohnen. *Biogas Journal*, Nr. 1.

- Herbes, Carsten, Carola Pekrun und Johannes Dahlin (2017): GÄRWERT- GÄRprodukte ökologisch optimiert und WERTorientiert aufbereiten und vermarkten; Teilvorhaben 1: Angebots- und Nachfrageforschung, Kostenkalkulationen. Nürtingen: Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen.
- Hirschl, Bernd, Astrid Aretz, Andreas Prah, Timo Böther, Katharina Heinbach, Daniel Pick und Simon Funcke (2010): Kommunale Wertschöpfung durch erneuerbare Energien. Schriftenreihe des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (Hrsg.). Nr. 196/10. Berlin. [http://www.ioew.de/uploads/tx\\_ukioewdb/IOEW\\_SR\\_196\\_Kommunale\\_Wertsch%C3%B6pfung\\_durch\\_Erneuerbare\\_Energien.pdf](http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW_SR_196_Kommunale_Wertsch%C3%B6pfung_durch_Erneuerbare_Energien.pdf).
- Hirschl, Bernd, Katharina Heinbach, Andreas Prah, Steven Salecki, André Schröder, Astrid Aretz und Julika Weiß (2015): Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien - Ermittlung der Effekte auf Länder- und Bundesebene. Schriftenreihe des IÖW 210/15. Berlin. [http://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/BILDER\\_und\\_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/IOEW\\_SR\\_210\\_Wertsch%C3%B6pfung\\_durch\\_erneuerbare\\_Energien\\_auf\\_Landes-\\_und\\_Bundesebene.pdf](http://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/IOEW_SR_210_Wertsch%C3%B6pfung_durch_erneuerbare_Energien_auf_Landes-_und_Bundesebene.pdf).
- Hoffstede, Uwe, Manuel Stelzer, Henning Hahn, Michael Beil, Bernd Krautkremer, Julia Kasten, Wiebke Beyrich und Uwe Holzhammer (2018): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz Teilvorhaben II a: Biomasse. Zwischenbericht. Kassel: Fraunhofer IEE.
- Hüsing, Bärbel, Marianne Kulicke, Sven Wydra, Thomas Stahlecker, Heike Aichinger und Niclas Meyer (2017): Evaluation der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“. Abschlussbericht. Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).
- IALB [Internationale Akademie land- und hauswirtschaftlicher Beraterinnen und Berater] (2013): Landwirtschaft in Baden-Württemberg. 52. IALB-Tagung 2013.
- Isermeyer, Folkhard und Yelto Zimmer (2006): Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie. Braunschweig.
- IT.NRW [Information und Technik Nordrhein-Westfalen im Auftrag der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder] (2019a): Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort nach Geschlecht, Nationalität und Wirtschaftszweigen - Stichtag 30.06. - Kreise u. krfr. Städte. [www.regionalstatistik.de/genesis/online/](http://www.regionalstatistik.de/genesis/online/).
- IT.NRW [Information und Technik Nordrhein-Westfalen im Auftrag der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder] (2019b): Bruttoinlandsprodukt/Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen - Jahressumme - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte. [www.regionalstatistik.de/genesis/online/](http://www.regionalstatistik.de/genesis/online/).
- Jering, Almut, Anne Klatt, Jan Seven, Knut Ehlers, Jens Günther, Andreas Ostermeier und Lars Mönch [Umweltbundesamt] (2013): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Dessau-Roßlau.
- Kaltschmitt, M. und L. Schebek (2015): *Umweltbewertung für Ingenieure. Methoden und Verfahren*.
- Kaltschmitt, Martin, Hans Hartmann und Herman Hofbauer (2009): *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken, Verfahren*. 2. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Klöpffer, Walter und Birgit Grahl (2009): *Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Knauf Insulation (2014): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804 – Glasmineralwolle 035 unbeschichtete Rollen TI 135U, KI Multifit 035, Naturoll 035, KI Fit 035, Classic 035, EXPERT LBR 035, EXPERT LRR 035, Easy LRR 035 U mit ECOSE®-Technologie. <https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download/9883>.
- Knauf Insulation (2018): Environmental Product Declaration as per /ISO 14025/ and /EN 15804/ – DP7 - DP8 Multipurpose Rock mineral Wool insulation. <https://epd-online.com/Epd/PdfDownload/10316?stat=true>.
- KTBL [Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft] (2016): *Betriebsplanung Landwirtschaft 2016/17*. 25. Aufl. Darmstadt.
- KTBL [Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft] (2018): Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. *Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau*. Website: <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html#Auswahl> (Zugriff: 6. August 2018).
- KTBL [Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft] (2019): Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. *Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau*. Website: <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html#Auswahl> (Zugriff: 6. Februar 2019).
- Küpper, Patrick (2016): Abgrenzung und Typisierung ländlicher Räume. Germany: Johann Heinrich von Thünen-Institut. <http://d-nb.info/112182014X/>.
- Landeshauptstadt München [Landeshauptstadt München] (2017): Leitfaden Dämmstoffe 3.0. Mit Schwerpunkt Naturdämmstoffe. München.

- LfL [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft] (2015): Agrarstrukturentwicklung in Bayern - IBA-Agrarstrukturbericht 2014. Freising-Weihenstephan. [https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/agrarstrukturentwicklung-bayern\\_lfl-information.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/agrarstrukturentwicklung-bayern_lfl-information.pdf).
- Ludwig, Grit, Cornelius Tronicke, Wolfgang Köck und Erik Gawel (2014): Rechtsrahmen der Bioökonomie in Mitteldeutschland - Bestandsaufnahme und Bewertung. UFZ Discussion Papers. Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ. [https://www.ufz.de/export/data/global/63262\\_DP\\_22\\_2014\\_Bioeconomy1.pdf](https://www.ufz.de/export/data/global/63262_DP_22_2014_Bioeconomy1.pdf).
- Lundie, Sven (2013): *Ökobilanzierung und Entscheidungstheorie: Praxisorientierte Produktbewertung auf der Basis gesellschaftlicher Werthaltungen*. Springer Verlag.
- Majer, Stefan, Kitty Stecher, Philipp Adler, Daniela Thrän und Franziska Müller-Langer (2013): Biomassepotenziale und Nutzungskonkurrenzen. Leipzig: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu), Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (DBFZ). [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/UI-MKS/mks-kurzstudie-nutzungskonkurrenzen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/UI-MKS/mks-kurzstudie-nutzungskonkurrenzen.pdf?__blob=publicationFile).
- Mantau, Udo (2012a): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Hamburg: Universität Hamburg Zentrum Holzwirtschaft. [http://literatur.vti.bund.de/digbib\\_extern/dn051281.pdf](http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn051281.pdf).
- Mantau, Udo (2012b): Holzrohstoffbilanz Deutschland - Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Hamburg.
- Mantau, Udo (2018): Bilanzierung, Nutzungsreserven, Ausblick. Veranstaltung: Tagung „Rohstoffmonitoring Holz“, 28. Juni, Berlin. <https://veranstaltungen.fnr.de/rohstoffmonitoring-holz/tagungsbeitraege/>.
- Nemecek, Thomas und Julian Schnetzer (2012): Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station (ART).
- nova-Institut (2015): Stoffliche Nutzung lignocellulosehaltiger Gärprodukte für Holzwerkstoffe aus Biogasanlagen. Projektbericht. Hürth.
- Nowotny, Rainer (2018): Ernte, Aufbereitung und Verarbeitung. Veranstaltung: Witzenhäuser Hanftagung, Witzenhausen.
- O A (2016): Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. [http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Bundeswaldinventur3.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Bundeswaldinventur3.pdf?__blob=publicationFile).
- Ökolandbau.de (2019): Ökologischer Hanfanbau. *Ökolandbau.de*. 10. Juli. Website: <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/spezieller-pflanzenbau/oelfruechte/oekologischer-hanfanbau/>.
- Pannicke, Nadine, Erik Gawel, Nina Hagemann, Alexandra Purkus und Sebastian Strunz (2015a): The Political Economy of Fostering a Wood-based Bioeconomy in Germany. *German Journal of Agricultural Economics* 64, Nr. 4: 224–243.
- Pannicke, Nadine, Nina Hagemann, Alexandra Purkus und Erik Gawel (2015b): Gesellschaftliche Grundfragen der Bioökonomie: Volkswirtschaftliche Mehrwerte und Nachhaltigkeits Herausforderungen einer biobasierten Wirtschaft. Diskussionspapier. Leipzig: UFZ Helmholtzzentrum für Umweltforschung.
- Piotrowski, Stephan, Michael Carus und Dirk Carrez (2016): European Bioeconomy in Figures. Hürth: nova-Institut GmbH.
- Pollert, Achim, Bernd Kirchner und Javier Morato Polzin (2009): *Das Lexikon der Wirtschaft*. Bundeszentrale für Politische Bildung.
- Praxisakteur (2018): 4 eindrucksvolle Projekte mit Partnern aus der Praxis. Website: <http://www.graspapier.de/anwendungen/> (Zugriff: 29. Oktober 2018).
- Raasch, Tom (2018): Pflanzenbauliche Aspekte des Anbaus von Sommerhanf (Sorten, Kosten). Veranstaltung: Witzenhäuser Hanftagung, Witzenhausen.
- Roth, Ursula und Sebastian Wulf (2017): GÄRWERT- GÄRprodukte ökologisch optimiert und WERTorientiert aufbereiten und vermarkten; Teilvorhaben 4: Energie- und Treibhausgasbilanzen. Darmstadt: KTBL.
- Rupp, Johannes, Katharina Heinbach, Astrid Aretz und André Schröder (2017): Ermittlung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in drei ausgewählten Bioenergie-Regionen. IÖW-Schriftenreihe 214/17. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gemeinnützig.
- Rupp, Johannes, Katharina Heinbach, Jörg Böhmer und Frank Wagener (2020): Ländliche Bioökonomie - Diskussionspapier zu einer Begriffsbestimmung. Diskussionspapier des IÖW 70/20. Berlin und Birkenfeld.

- Sächsischer Landtag (2018): Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Jana Pinka, Fraktion DIE LINKE - Thema: Landwirtschaft in Sachsen – Statistik, Schlaggrößen, Betriebsgrößen, landwirtschaftlich genutzte Fläche. [https://www.jana-pinka.de/images/6\\_Drs\\_13998\\_0\\_1\\_1\\_.pdf](https://www.jana-pinka.de/images/6_Drs_13998_0_1_1_.pdf).
- SaintGobain ISOVER G+H AG (2016): Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804 – Mineralische Dämmstoffe aus Glaswolle. [http://www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2014/10/EPD-AT\\_ISOVER\\_Ecoinvent\\_20140508-Deutsch.pdf](http://www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2014/10/EPD-AT_ISOVER_Ecoinvent_20140508-Deutsch.pdf).
- Salecki, Steven (2017): *Wertschöpfung vor Ort - Quantifizierung ökonomischer Faktoren der regionalen Nutzung erneuerbarer Energien*. 1. Aufl. Berlin (zugleich Dissertation Universität Kassel): Mensch und Buch Verlag.
- Scheftelowitz, Mattes, Nadja Rensberg, Velina Denysenko, Jaqueline Daniel-Gromke, Walter Stinner, Konrad Hillebrand, Karin Naumann, David Peetz, Christiane Hennig, Daniela Thrän, et al. (2015): Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben Ila Biomasse) - Zwischenbericht Mai 2015. Leipzig und Kassel. [https://www.dbfz.de/fileadmin/eeg\\_monitoring/berichte/01\\_Monitoring\\_ZB\\_Mai\\_2015.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/eeg_monitoring/berichte/01_Monitoring_ZB_Mai_2015.pdf).
- Seidemann, Constanze und Wolfram Dietz (2014): PTS-Bericht Nr. AB020202 – Auswirkungen von Graspappe auf das Papierrecycling. [http://www.graspapier.de/files/uploads/2015/09/Zertifikat\\_Recycling\\_Graspappe\\_Bericht\\_PTS\\_2014.pdf](http://www.graspapier.de/files/uploads/2015/09/Zertifikat_Recycling_Graspappe_Bericht_PTS_2014.pdf).
- Statista (2018): Europäische Länder mit der größten Anbaufläche von Hanf im Jahr 2017 (in 1.000 Hektar). Website: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/688360/umfrage/anbau-von-hanf-in-europa/>.
- Statistisches Bundesamt (2017a): Statistisches Jahrbuch 2017. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2017b): Finanzen und Steuern - Umsatzsteuerstatistik (Voranmeldungen) 2015.
- Statistisches Bundesamt (2018): Statistisches Jahrbuch - Deutschland und Internationales. [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch2018.pdf?__blob=publicationFile).
- Statistisches Bundesamt (2019a): Landwirtschaftliche Betriebe, Fläche: Bundesländer, Jahre, Bodennutzungsarten. [www-genesis.destatis.de/genesis/online](http://www-genesis.destatis.de/genesis/online).
- Statistisches Bundesamt (2019b): VGR des Bundes - Bruttowertschöpfung (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre, Wirtschaftsbereiche. [www-genesis.destatis.de/genesis/online/](http://www-genesis.destatis.de/genesis/online/).
- Statistisches Bundesamt (2019c): Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort: Deutschland, Stichtag, Geschlecht, Altersgruppen. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>.
- Steger, Jürgen (2018): Neue Aspekte des Anbaus und innovative Verwertungsmöglichkeiten von Nutzhanf - Nutzung von Fasern und Schäben. Veranstaltung: Witzenhäuser Hanftagung, Witzenhausen.
- STEICO SE (2016): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804. [https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Certificates\\_-\\_Documents/German/EPD\\_IBU/STEICO\\_EPD\\_STE\\_IBD1\\_DE.pdf](https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Certificates_-_Documents/German/EPD_IBU/STEICO_EPD_STE_IBD1_DE.pdf).
- Terlau, Wiltrud, Nicolas Fuchshofen und Johannes Klement (2017): Ökologischer Vergleich des Einsatzes von Sulfat-Zellstoff Altpapierstoff grasbasiertem Zellstoff in der deutschen Papierproduktion. [http://graspapier.de/files/uploads/2018/09/%C3%96kobilanz\\_Creapaper-vers.-12.12.2017.pdf](http://graspapier.de/files/uploads/2018/09/%C3%96kobilanz_Creapaper-vers.-12.12.2017.pdf).
- Thöne, Michael (2010): Ausbau von Lenkungssteuern. In: *Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung): Volumen, Struktur, Substitutionspotenziale, Konkurrenzsituation und Besonderheiten der stofflichen Nutzung sowie Entwicklung von Förderinstrumenten, Mai 2010 = The development of instruments to support the material use of renewable raw materials in Germany (Summary)*, hg. v. Michael Carus, Achim Raschka, und Stephan Piotrowski, S. 34–40. 2., geringfügig überarb. Aufl., Juli 2010. Hürth: nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH.
- Thrän, Daniela, Marcel Buchhorn, Katja Bunzel, Ulrike Seyfert, Vanessa Zeller, Klaus Müller, Bettina Matzdorf, Nadin Gaasch und Kristian Klöckner (2010): Globale und regionale Verteilung von Biomassepotenzialen- Status-quo und Möglichkeiten der Präzisierung. Endbericht. BMVBS-Online-Publikation. Deutsches BiomasseForschungszentrum gGmbH (DBFZ), Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre (ILB), Johann Heinrich von Thünen Institut (vTI), Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2010/DL\\_ON272010.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2010/DL_ON272010.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- Thünen-Institut (2018): Thünen Agraratlas. Website: <https://www.thuenen.de/de/infrastruktur/thuenen-atlas-und-geoinformation/thuenen-atlas/konsistent-kreisdaten-zur-landwirtschaft/> (Zugriff: 30. Juli 2018).
- Trend Research (2011): Marktakteure Erneuerbare-Energien-Anlagen in der Stromerzeugung. [http://www.kni.de/media/pdf/Marktakteure\\_Erneuerbare\\_Energie\\_Anlagen\\_in\\_der\\_Stromerzeugung\\_2011.pdf.pdf](http://www.kni.de/media/pdf/Marktakteure_Erneuerbare_Energie_Anlagen_in_der_Stromerzeugung_2011.pdf.pdf).

- trend:research und Leuphana Universität Lüneburg (2013): Definition und Marktanalyse von Bürgerenergie in Deutschland. [http://www.die-buergerenergiewende.de/wp-content/uploads/2013/10/definition-und-marktanalyse-von-buergerenergie-in-deutschland\\_akt\\_2.pdf](http://www.die-buergerenergiewende.de/wp-content/uploads/2013/10/definition-und-marktanalyse-von-buergerenergie-in-deutschland_akt_2.pdf).
- Untiedt, Gerhard, Helmut Karl, Johannes Rosche, Michael Kersting und Björn Alecke (2016): Aufgaben, Struktur und mögliche Ausgestaltung eines gesamtdeutschen Systems zur Förderung von strukturschwachen Regionen ab 2020. Endbericht zum Dienstleistungsprojekt Nr. 13/14 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zum 31. März 2016. Münster, Bochum: Gesellschaft für Finanz- und Regionalanalysen GbR (GEFRA), Ruhrforschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik e.V. (RUFIS).
- VDP [Verband Deutscher Papierfabriken] (2018): Papier 2018 Ein Leistungsbericht. <https://www.vdp-online.de>.
- Wagener, Frank, Jörg Böhmer und Peter Heck (2017): MUNTER - „Entwicklung eines Managementsystems für Landwirte und Kommunen für mehr Umwelt- und Naturschutz durch einen optimierten Energiepflanzenanbau“. In: *Bäume in der Land(wirt)schaft - von der Theorie in die Praxis: Tagungsband: mit Beiträgen des 5. Forums Agroforstsysteme 30.11. bis 01.12.2016 in Senftenberg (OT Brieske)*, hg. v. Christian Böhm, Tagungsband: S. 175–184. Cottbus-Senftenberg.
- Wagner, Peter, Jörg Schweinle, Frank Setzer, Mathias Kröber und Martin Dawid (2012): DLG-Merkblatt 372: DLG-Standard zur Kalkulation einer Kurzumtriebsplantage. [http://www.lignovis.com/fileadmin/user\\_upload/PDF/Ext/2012\\_DLG-Standard\\_zur\\_Kalkulation\\_einer\\_Kurzumtriebsplantage\\_-\\_dlg-merkblatt\\_372.pdf](http://www.lignovis.com/fileadmin/user_upload/PDF/Ext/2012_DLG-Standard_zur_Kalkulation_einer_Kurzumtriebsplantage_-_dlg-merkblatt_372.pdf).
- Wellenreuther, Frank (2013): Vergleichende „Screening-Ökobilanz“ Primärzellstoff, Recyclingfasern und Graspellets zur Papierherstellung - Endbericht. [http://www.graspapier.de/files/uploads/2015/09/Zertifikat-Oekobilanz\\_Rohstoffe\\_IFEU\\_2013.pdf](http://www.graspapier.de/files/uploads/2015/09/Zertifikat-Oekobilanz_Rohstoffe_IFEU_2013.pdf).
- Wilken, David, Stefan Rauh, Ramona Weiß, Florian Strippel, Marion Wiesheu, Karin Luyten-Naujoks, Andreas Kirsch, Carsten Herbes, Peter Kurz, Verena Halbherr, et al. (2018): Düngen mit Gärprodukten - Anwendung, Aufbereitung und Vermarktung. Freising: Fachverband Biogas e.V.
- Wydra, Sven, Bärbel Hüsing und Piret Kukk (2010): Analyse des Handlungsbedarfs für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aus der Leitmarktinitiative (LMI) der EU-Kommission für biobasierte Produkte außerhalb des Energiesektors. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Zampori, Luca, Giovanni Dotelli und Valeria Vernelli (2013): Life cycle assessment of hemp cultivation and use of hemp-based thermal insulator materials in buildings. *Environmental Science & Technology* 47, Nr. 13 (2. Juli): 7413–7420.
- Zinke, Olaf (2018a): Strohpreise auf 5-Jahreshoch. *agrarheute*. Website: <https://www.agrarheute.com/markt/analysen/strohpreise-5-jahreshoch-543893> (Zugriff: 23. November 2018).
- Zinke, Olaf (2018b): Heu- und Strohpreise im Höhenflug. *agrarheute*. Website: <https://www.agrarheute.com/markt/futtermittel/heu-strohpreise-hoehenflug-548844> (Zugriff: 23. November 2018).
- Zinke, Olaf (2018c): Heu und Stroh extrem teuer. *agrarheute*. Website: <https://www.agrarheute.com/markt/futtermittel/heu-stroh-extrem-teuer-547353> (Zugriff: 23. November 2018).

## 9 Anhang

### 9.1 Kurzdarstellung des WeBEE-Modells des IÖW

Im Rahmen der Studie „Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien“ hat das IÖW im Jahr 2010 und im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) ein Modell zur Ermittlung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten auf kommunaler Ebene entwickelt (im Folgenden auch als WeBEE-Modell bezeichnet) (siehe Hirschl et al. 2010).

Das Modell, welches seitdem kontinuierlich weiterentwickelt wurde, umfasst mittlerweile eine Vielzahl an 50 EE-Wertschöpfungsketten und repräsentiert damit ein breites Portfolio strom- und wärmeerzeugender EE-Anlagen sowie die Bereitstellung von biogenen Brenn- und Kraftstoffen und die Distribution von EE-Wärme beziehungsweise Biogas über Nahwärmenetze beziehungsweise Biogasleitungen sowie ausgewählte PtX-Technologien. Weiterhin sind Wertschöpfungsketten agroforstlicher Systeme und annueller Feldfrüchte sowie ausgewählter Verarbeitungsanlagen für die Herstellung biobasierter Produkte abgebildet. Für diese Ketten können mit dem Modell nach einem bottom-up-Ansatz die einzelnen Bestandteile der regionalen Wertschöpfung berechnet und damit die direkte Brutto-Wertschöpfung ausgewiesen werden. Darüber hinaus ermöglicht das Modell die Ermittlung von Brutto-Beschäftigungseffekten in Form von Vollzeitarbeitsplätzen.

Zentrale Grundlage für die Ermittlung der Wertschöpfung mit dem WeBEE-Modell bildet die Analyse der Investitions- und Betriebskosten der einzelnen EE-Technologien und Verarbeitungsanlagen. Diese entsprechen den spezifischen Umsätzen entlang der Wertschöpfungskette einer EE-Technologie und werden auf die installierte Anlagenleistung<sup>12</sup> (bei Energieerzeugungsanlagen) die Produktionsmenge (bei Verarbeitungsanlagen).

Die Wertschöpfungsketten werden in vier aggregierte Wertschöpfungsstufen und die darin enthaltenen Kostenpositionen unterteilt:

- **Anlagenherstellung**  
(Investitionskosten für die Anlagen und einzelne Anlagenkomponenten)
- **Planung und Installation**  
(Investitionsnebenkosten für Planungsbüros, Montage, teilweise Grundstückskauf etc.)
- **Anlagenbetrieb und -wartung**  
(Betriebskosten für Wartungsarbeiten, Rohstoff-, Brennstoff- und Energiekosten, Versicherung, Fremdkapitalzinsen, teilweise Betriebspersonal oder Pachtzahlungen etc.)
- **Betreibergewinne**  
(Gewinne der Anlagenbetreiber/innen und darauf gezahlte Gewinnsteuern).

In der beschriebenen Methodik ist der Handel von Anlagenkomponenten oder Installations- und Wartungsmaterial in den oben genannten vier Wertschöpfungsstufen subsumiert. Jede der oben

---

<sup>12</sup> Bei der Solarthermie ist die Bezugsgröße die installierte Kollektorfläche, bei den Kraftstoffen, beim Energieholz und der Biogasaufbereitung das produzierte Volumen. Nahwärmenetze lassen sich mit der Länge in Trassenmetern kombinieren mit der durchschnittlich transportierten Wärmemenge in Kilowattstunden beschreiben.

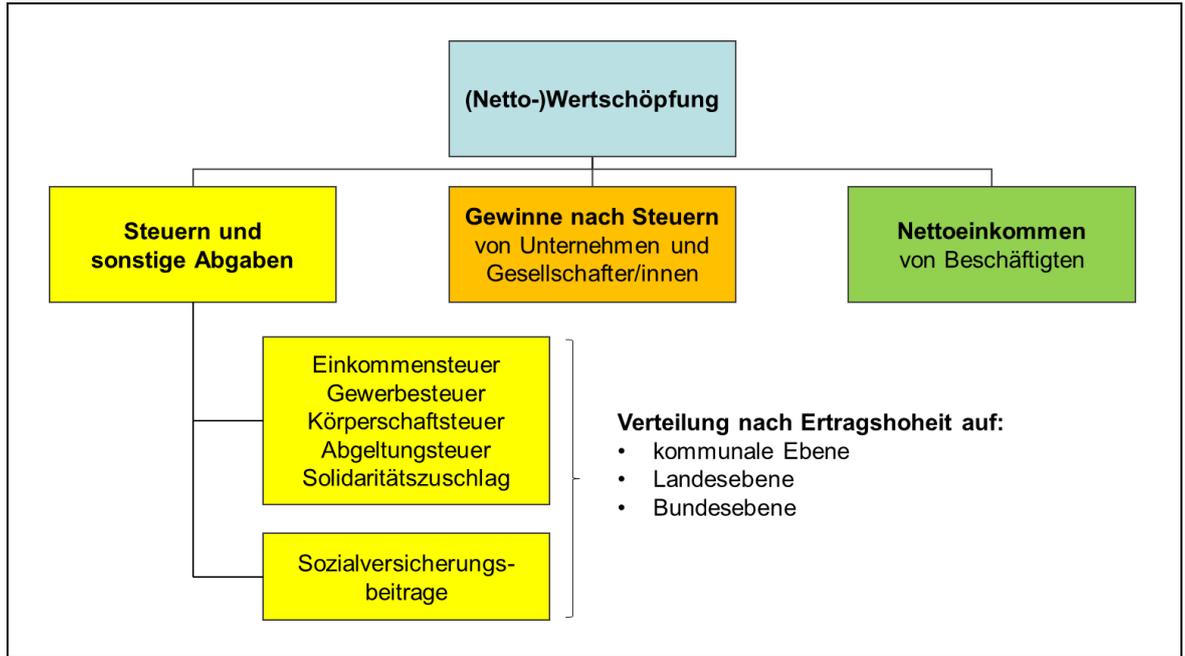
genannten Wertschöpfungsstufen lässt sich wiederum je nach Wertschöpfungskette in verschiedene Wertschöpfungsstufen untergliedern, die sich zwischen den EE-Technologien unterscheiden können. In der Wertschöpfungsstufe der Anlagenherstellung bilden beispielsweise die Wertschöpfungsstufen die einzelnen Anlagenkomponenten ab. In der Stufe des Anlagenbetriebs finden sich Wertschöpfungsstufen, wie zum Beispiel die Anlagenwartung, Versicherungsbeiträge oder gegebenenfalls Personalkosten. Den einzelnen Wertschöpfungsstufen werden einzelne oder mehrere typische Wirtschaftszweige zugeordnet, für die statistische Datenquellen für ökonomische Kennzahlen verfügbar sind. Die Umsätze in den einzelnen Stufen werden durch eine Zuordnung der einzelnen Kostenpositionen der Investitions- und Betriebskosten zu den entsprechenden Wertschöpfungsstufen ermittelt. In der Literatur sind Kostenstrukturen vorwiegend relativ bezogen auf die Investitionskosten, beziehungsweise teilweise bezogen auf die Investitionsnebenkosten angegeben. Dieser prozentuale Aufbau ermöglicht die Anwendung der Kostenstrukturen auf die spezifischen Investitionskosten. Die Kosten beziehungsweise Umsätze in den Wertschöpfungsstufen „Anlagenproduktion“ und „Planung & Installation“ fallen einmalig durch die Investitionen in eine EE-Anlage an. Die Kosten beziehungsweise Umsätze für den Betrieb werden dagegen jährlich über die gesamte Betriebsdauer der EE-Anlagen generiert.

Die Wertschöpfungsketten der Biomassebereitstellung auf landwirtschaftlichen Flächen und der agroforstlichen Systeme können nicht mit dieser Systematik differenziert werden. Vielmehr werden diese nach den einzelnen Arbeitsschritten differenziert. Dazu zählen unter anderem die Anlage und die Pflege, die Ernte der Feldfrüchte und der Holzmengen sowie der Transport des Ernteguts. Die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte von landwirtschaftlichen Anbaukulturen und agroforstlichen Systemen werden im WeBEE-Modell flächenspezifisch ermittelt, das heißt die spezifischen Ergebnisse liegen in Form von Euro/ha beziehungsweise Vollzeitäquivalente/ha vor.

Der methodische Ansatz des WeBEE-Modells basiert auf der Additionsmethode zur Berechnung der Wertschöpfung, die im Rahmen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) auch als Verteilungsrechnung bezeichnet wird. Diese Form der Wertschöpfungsermittlung ist grundsätzlich geeignet, um Ergebnisse vergleichbar mit den für andere Wirtschaftszweige ausgewiesenen amtlichen makroökonomischen Statistiken zu ermitteln (vgl. Salecki 2017, 79ff.). Die ermittelte Wertschöpfung setzt sich grundsätzlich aus den folgenden drei Bestandteilen zusammen:

- die um die Gewinnsteuern bereinigten **Gewinne** der beteiligten Unternehmen,
- die **Nettoeinkommen** der beteiligten Beschäftigten und
- die auf die Unternehmensgewinne und die Bruttoeinkommen gezahlten **Steuern**

Bei den gezahlten Steuern wird in Steuereinnahmen der Kommunen, der Länder und des Bundes differenziert.



**Abb. 9.1: Wertschöpfungsdefinition des WeBEE-Modells**

Quelle: eigene Darstellung IÖW

Nachfolgend wird die grundlegende Vorgehensweise für die Ermittlung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte kurz beschrieben.

Für die Ermittlung der **Vor-Steuer-Gewinne** der Unternehmen in den jeweiligen Wertschöpfungsschritten wird jeder Position eine Umsatzrentabilität zugeordnet, welche den Jahresüberschuss vor Steuern eines Unternehmens ins Verhältnis setzt zu dem in dieser Periode erzielten Umsatz. Die Umsatzrentabilität ist einer Statistik der Deutschen Bundesbank entnommen, in welcher hochgerechnete Angaben aus Jahresabschlüssen deutscher Unternehmen für die Jahre 1997 bis 2015 aufgeführt sind (Deutsche Bundesbank 2016). Die durchschnittlichen Umsatzrenditen der verschiedenen Branchen werden als Mittelwert der Jahre 2010 bis 2014 errechnet. Bei den Wirtschaftszweigen, die der Landwirtschaft zugeordnet sind, wird auf spezifische Literaturquellen für landwirtschaftliche Betriebe zurückgegriffen. So wird beispielsweise die Kennzahl zur Umsatzrentabilität vor Steuern aus den Angaben einer Erhebung bei landwirtschaftlichen Testbetrieben ermittelt (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2017). Eine Abweichung zu dem beschriebenen Vorgehen bildet die Bestimmung der Gewinne der Betreibergesellschaften sowie der Gewinne aus den Erlösen des Holzverkaufs in den agroforstlichen Ketten der Gewinne aus den Erlösen der annualen Feldfrüchte. Bei Energieerzeugungsanlagen erfolgt die Berechnung der Vor-Steuer-Gewinne mithilfe von durchschnittlichen Eigenkapitalrenditen der jeweiligen EE-Technologien. Für die annualen Feldfrüchte werden die unterjährigen Kosten der Flächenbewirtschaftung und die Erlöse gegenübergestellt, um die Gewinne für das Betrachtungsjahr 2016 zu ermitteln. Aufgrund der unterjährigen Flächenbewirtschaftung wird auf eine dynamische Ertragsrechnung verzichtet, so dass tatsächlich nur die wirtschaftliche Situation im aktuellen Betrachtungsjahr abgebildet wird. Auch die Gewinne der Verarbeitungsanlagen werden über eine Gegenüberstellung der Kosten und Erlöse ermittelt. Für die Ermittlung der mit den auf den AFS-Flächen geernteten Holz-mengen anfallenden Erlöse und den daraus resultierenden Gewinnen für das Jahr 2016 wird eine dynamische Annuitätenrechnung vorgenommen. Damit wird den langjährigen Standdauern der

AFS-Flächen und den deutlich auseinanderfallenden Zeitpunkten der Aufwendungen und der Verkaufserlöse Rechnung getragen.

Die **Einkommenseffekte** werden in Abhängigkeit vom Umsatz für die einzelnen Positionen der Wertschöpfungsstufen ermittelt. Neben den Einkommen ist auch die Beschäftigungswirkung Ergebnis dieser Methodik. Zunächst wird die **Beschäftigungswirkung** als Anzahl der beschäftigten Personen ermittelt. Hierzu werden aus Veröffentlichungen der Bundesagentur für Arbeit (2017). Angaben zur Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Wirtschaftszweigen extrahiert. Zusätzlich werden wirtschaftszweigspezifische Umsätze erhoben (Statistisches Bundesamt 2017a). Daraus lässt sich eine Indikation für die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten pro Euro Umsatz ermitteln, die, multipliziert mit dem Umsatz pro kW installierter Leistung, die spezifische Angabe der Beschäftigten (Köpfe) pro kW Leistung ermöglicht. Diese Angabe wird dann mithilfe von Sonderdatenauswertungen des Statistischen Bundesamtes in Vollzeitäquivalente (VZÄ) umgerechnet. Die Sonderauswertungen stammen zum einen aus der vierteljährlichen Verdiensterhebung im produzierenden Gewerbe und im Dienstleistungsbereich und zum anderen aus Daten des Mikrozensus „RS 3.8 Erwerbstätige nach Wirtschaftsunterabschnitten“. Auf Basis der durchschnittlichen Bruttojahreseinkommen in dem Wirtschaftszweig des jeweiligen Wertschöpfungsschrittes können dann die gezahlten Löhne und Gehälter in Euro pro kW ermittelt werden. Die ansonsten über die Kennzahl der Beschäftigten pro Euro Umsatz ermittelten Beschäftigungseffekte und die damit zusammenhängenden Beschäftigteneinkommen werden sowohl bei der Biomassebereitstellung als auch bei den Verarbeitungsanlagen direkt aus den Angaben zu den Personalkosten bestimmt.

**Steuereinnahmen und Einnahmen aus sonstigen Abgaben** entstehen aus der Besteuerung der Unternehmensgewinne und der Einkommen der Beschäftigten. Im Rahmen der Steuern und sonstigen Abgaben auf Unternehmensgewinne wird neben der Besteuerung auf der Unternehmensebene auch die Besteuerung ausgeschütteter Gewinne betrachtet. Das Modell beinhaltet die Gewerbesteuer, die Einkommensteuer, die Körperschaftsteuer und die Abgeltungsteuer, sowie den Solidaritätszuschlag, die Kirchensteuer und gegebenenfalls Krankenkassenbeiträge. Grundsätzlich ist für die Berechnung der Steuerlast eines Unternehmens die Gesellschaftsform maßgeblich. Daher wird für die im Wertschöpfungsprozess beteiligten Unternehmen auf Basis der WZ 2008<sup>13</sup> eine Unterteilung in Kapital- und Personengesellschaften vorgenommen, um Unterschiede in der Unternehmensbesteuerung berücksichtigen zu können (Statistisches Bundesamt 2017b). Um die Nachsteuer-Gewinne modellieren zu können, ist zuerst eine Abschätzung des zu versteuernden Einkommens notwendig, welches die Bemessungsgrundlage für die Steuerfestsetzung bei der Einkommensteuer und der Körperschaftsteuer darstellt. Das zu versteuernde Einkommen wird mithilfe von Angaben zu gezahlten Steuern am Vor-Steuer-Gewinn nach Bundesbank (2016), dem Vor-Steuer-Gewinn und der idealtypischen Unternehmensbesteuerung von Kapital- und Personengesellschaften berechnet. Die Gewerbesteuer wird vereinfachend auf Basis des Vor-Steuer-Gewinns errechnet. Bei den Kapitalgesellschaften (KapG) werden auf der Unternehmensebene Gewerbesteuer, Körperschaftsteuer zzgl. Solidaritätszuschlag auf die Körperschaftsteuer fällig. Im Rahmen der Personenunternehmen (PersU) findet, mit Ausnahme der Gewerbesteuer, eine Besteuerung auf Ebene der Gesellschafter statt.

---

<sup>13</sup> Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008.

Für die ausgeschütteten Gewinne wird bei den KapG die Annahme getroffen, dass 50 Prozent der Teilhaber Privatpersonen und jeweils 25 Prozent KapG und PersU sind. Weiterhin wird eine Ausschüttungsquote von 50 Prozent der Nach-Steuer-Gewinne festgelegt. Privatpersonen als Anleger zahlen Abgeltungsteuer auf die ausgeschütteten Gewinne, KapG zahlen Körperschaftsteuer und Solidaritätszuschlag und PersU zahlen Einkommensteuer, Kirchensteuer und Solidaritätszuschlag. Die Besteuerung der Personenunternehmen erfolgt unter der Aufteilung der Gesellschafter in Privatpersonen, KapG und PersU nach einer Sonderauswertung des Statistischen Bundesamtes aus der Statistik über die Personengesellschaften/Gemeinschaften 2008. Für KapG sind hier Körperschaftsteuer und Solidaritätszuschlag zu entrichten, für PersU und Privatpersonen fallen Einkommensteuer, Kirchensteuer und Solidaritätszuschlag an, für Privatpersonen zusätzlich noch Krankenkassenbeiträge.

Bei landwirtschaftlichen Unternehmen, die nicht gleichzeitig einen bedeutenden gewerblichen Betrieb unterhalten (§3, Absatz 1, Punkt 5. GewStG und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2015)) ist die Befreiung von der Gewerbesteuer zu beachten. Nur für den Anteil der Kapitalgesellschaften, die damit kraft Rechtsform Gewerbebetriebe sind, werden Gewerbesteuerzahlungen ermittelt, welche die Gewinne der landwirtschaftlichen Betriebe schmälern, aber in Form von kommunalen Gewerbesteuereinnahmen als Wertschöpfungsbestandteile berücksichtigt werden.

Für die Steuern und sonstigen Abgaben auf die Einkommen der Beschäftigten sind die vorher berechneten Bruttojahresgehälter maßgeblich. Hier werden entsprechende Zahlungen an Einkommensteuer, Kirchensteuer, Solidaritätszuschlag und Sozialabgaben (Arbeitgeber und Arbeitnehmer) berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung dieser Systematik können dann der Umfang der Steuer- und Abgabenzahlungen ermittelt und der Nach-Steuer-Gewinn beziehungsweise die Nettoeinkommen errechnet werden.

Die Kommunen profitieren im Wertschöpfungsprozess, neben den indirekten Effekten durch Gewinne und Einkommen, direkt auf zwei Wegen. Zum einen erhalten sie die Gewerbesteuer in fast vollem Umfang. Hiervon ist lediglich eine Umlage an den Bund und die Länder zu entrichten. Daneben partizipieren die Kommunen anteilig an der veranlagten Einkommen- (15 Prozent) sowie der Abgeltungsteuer (12 Prozent).

Weiterhin können mit dem WeBEE-Modell neben den kommunal relevanten Wertschöpfungskomponenten auch die Wertschöpfungseffekte auf Länder- und auf Bundesebene berechnet werden. Auf der Landesebene werden hierbei Einnahmen aus der Körperschaft-, Einkommen-, Abgeltung- und Gewerbesteuer berücksichtigt, auf Bundesebene werden die jeweiligen Anteile an der Körperschaft-, Einkommen-, Abgeltung- und Gewerbesteuer, als auch Einnahmen durch den Solidaritätszuschlag und die Sozialabgaben der Arbeitnehmer/innen und Arbeitgeber/innen miteinbezogen. Dies ermöglicht eine deutschlandweite Quantifizierung der Wertschöpfungseffekte für jede dieser drei Ebenen, d. h. eine Bestimmung, welche Wertschöpfung in den deutschen Kommunen, Ländern oder in Deutschland insgesamt durch die im Modell abgebildeten EE-Technologien generiert wird.

## 9.2 Datengrundlage und Annahmen für die Neu-Modellierung von Wertschöpfungsketten

### 9.2.1 Datengrundlage und Annahmen Teil-Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung

Die Neu-Modellierung und Integration der Teil-Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung in das WeBEE-Modell wurde für zwei **Szenarien** durchgeführt. Die technischen Parameter der Anlage zur Gärrestaufbereitung für das „Base-Case“-Szenario sowie das Szenario „Ausbeute+“ sind in Tab. 9.1 aufgeführt.

**Tab. 9.1: Technische Parameter der Anlage zur Gärrestverwertung**

Quelle: Befragung des Anlagenbetreibers der Pilotanlage

	Einheit	Base Case	Ausbeute+
Volllaststunden	[h/a]	8.000	8.000
Durchsatz Gärrest	[m <sup>3</sup> /h]	9,6	15,0
Strombedarf	[MWhel/a]	696,8	1.090,0
Wärmebedarf	[MWhth/a]	9.600	22.400
Bedarf REA-Gips	[t/a]	1.500	2.600
Arbeitsaufwand Bedienung Anlage	[AKh/d]	2,25	3,40
Arbeitsaufwand Verwaltung	[AKh/d]	1,0	1,5
Jahresproduktion Kalkdünger	[t FM/a]	1.100	1.960
Jahresproduktion ASL	[t FM/a]	3.700	6.660
Jahresproduktion Fasern (fester, gestrippter Gärrest)	[t atro/a]	1.080	6.000

Tab. 9.2 zeigt die **Investitionskosten** für die Anlage zur Gärrestverwertung und die beiden Szenarien „Base Case“ und „Ausbeute+“. Die Kosten für die technischen und baulichen Anlagen beinhalten nur Anlagenkomponenten ohne Kosten für Grundstücke und weitere Baunebenkosten. Kosten für einen Grundstückskauf werden nicht angesetzt, da angenommen wurde, dass auf dem Betriebsgelände der Biogasanlage, an die das Verfahren zur Gärrestaufbereitung angedockt wird, ausreichend Platz für die zusätzliche Errichtung der Anlage vorhanden ist.

**Tab. 9.2: Investitions- und Investitionsnebenkosten der Anlage zur Gärrestverwertung**

Quelle: Befragung des Anlagenbetreibers der Pilotanlage; IK: Investitionskosten

Kostenposition	absolute Kosten		Kostenstruktur		spezifische Kosten pro Tonne Gärrestfasern	
	[Euro]		[% IK]		[Euro/t atro]	
	Base Case	Ausbeute+	Base Case	Ausbeute+	Base Case	Ausbeute+
<b>Anlagenherstellung</b>						
technische Anlagen	2.120.000	2.370.000	83,3%	84,8%	1.963	395
bauliche Anlagen	185.000	185.000	7,3%	6,6%	171	31
<b>Planung und Installation</b>						
Planung	120.000	120.000	4,7%	4,3%	111	20
Installation	120.000	120.000	4,7%	4,3%	111	20
<b>Investitionskosten gesamt</b>	<b>2.545.000</b>	<b>2.795.000</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>2.356</b>	<b>466</b>

Die **Betriebskosten** für die 2016 bestehende Auslegung der Gärrestaubbereitungsanlage („Base Case“) und das Szenario „Ausbeute+“ sind in Tab. 9.3 zusammengefasst dargestellt. Es handelt sich um die Betriebskosten eines durchschnittlichen Betriebsjahres.

Bei der Berechnung der Strombezugskosten wurde der Strompreis für Gewerbetreibende in Höhe von 150 Euro/MWh (BMW 2018) unterstellt. Die Wärmeerlöse deutscher Biogasanlagenbetreiberinnen und -betreiber lagen 2016 im Durchschnitt bei 2,6 ct/kWh (Herbes und Halbherr 2017). Wie die Ausführungen in Abschnitt 4.2.3 gezeigt haben, ist die Ankopplung einer Anlage zur Gärrestverwertung an Bestands-Biogasanlagen aus ökologischer Sicht insbesondere dann sinnvoll, wenn noch keine oder nur in geringem Umfang eine externe Nutzung der Wärme vorliegt. Da der Wärmebedarf im Base Case nur knapp 40 Prozent der extern verfügbaren Wärmemenge entspricht, wird in diesem Fall für die Berechnungen angenommen, dass keine Kosten für den Bezug von Abwärme von der Biogasanlage anfallen. Bei den Personalkosten wurde ein Lohnansatz von 17,5 Euro/AKh (KTBL 2016) unterstellt. Die Kosten für Wartung und Instandhaltung ergeben sich als Anteil der Investitionskosten. Hier wurde nach FNR (2014b) folgende prozentuale Anteile an der Investition angesetzt: bauliche Anlagen 1,0 Prozent der Investitionskosten pro Jahr, Maschinenteknik 2,0 Prozent der Investitionskosten pro Jahr und Elektro- und Leittechnik 1,5 Prozent der Investitionskosten pro Jahr. Für die Versicherungskosten wurde nach VDI 6310 und FNR (2014b) ein Wert von 1,0 Prozent, bezogen auf die gesamten Investitionskosten, angenommen. Bei den Finanzierungskosten wurde ein Fremdkapitalanteil von 80 Prozent und ein Zinssatz für die Fremdkapitalfinanzierung von 3 Prozent angenommen (Herbes et al. 2017). Die Kreditlaufzeit wurde mit 10 Jahren angesetzt.

Bei dem Szenario „Ausbeute+“ ergeben sich entsprechend der gestiegenen Bedarfe für Strom und Gips auch höhere Kosten für deren Bezug. Der Wärmebedarf kann weiterhin durch die Abwärme

der Biogasanlage gedeckt werden. Der Nutzungsgrad der extern verfügbaren Wärme steigt jedoch auf rund 90 Prozent an, so dass angenommen wurde, dass bestehende Wärmenutzungen in einem geringen Umfang substituiert werden. Jedoch wurde unterstellt, dass dies nur im Fall von Nutzungsarten wie der Holz- und Getreidetrocknung geschieht, für die vergleichsweise geringe Arbeitspreise erzielt werden (vgl. Herbes und Halbherr 2017). Für ein Drittel der Abwärme wurde deswegen ein Wärmepreis in Höhe von 10 Euro/MWh angesetzt. Durch die zusätzliche Anlagentechnik steigt der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand. Gleiches gilt für die Kostenpositionen Versicherung und Fremdkapitalzinsen. Die Betriebskosten in einem durchschnittlichen Betriebsjahr betragen in diesem Szenario rund 400.000 Euro.

**Tab. 9.3: Betriebskosten der Anlage zur Gärrestverwertung (durchschnittliches Betriebsjahr)**

Quelle: eigene Berechnung IÖW auf Basis der Angaben des Anlagenbetreibers der Pilotanlage und literaturbasierten Annahmen; IK: Investitionskosten.

Kostenposition	absolute Kosten		Kostenstruktur		spezifische Kosten pro Tonne Gärrestfasern	
	[Euro/Jahr]		[% IK]		[Euro/t atro und Jahr]	
	Base Case	Aus-beute+	Base Case	Aus-beute+	Base Case	Aus-beute+
Elektrizität	104.520	163.313	4,1%	5,8%	96,8	27,2
Wärme	0	74.667	0,0%	2,7%	0,0	12,4
REA-Gips	18.000	31.200	0,7%	1,1%	16,7	5,2
Wartung und Instandhaltung	43.650	48.650	1,7%	1,7%	40,4	8,1
Personal (Anlagenbedienung und Verwaltung)	14.788	22.750	0,6%	0,8%	13,7	3,8
Versicherung	25.450	27.950	1,0%	1,0%	23,6	4,7
Fremdkapitalzinsen	29.912	33.358	1,2%	1,2%	27,7	5,6
<b>Betriebskosten gesamt</b>	<b>236.320</b>	<b>401.887</b>	<b>9,3%</b>	<b>14,4%</b>	<b>218,8</b>	<b>67,0</b>

Da Kapitalgesellschaften und Personengesellschaften unterschiedlich besteuert werden, hat die **Rechtsform** Auswirkungen auf die Art der Steuern, welche Unternehmen und ihre Gesellschafter auf die Gewinne entrichten müssen. Für die Berechnung der Steuerlast und der Nach-Steuer-Gewinne der Betreibergesellschaft musste daher eine Annahme bezüglich der Rechtsform getroffen werden. Für die Anlage zur Gärrestaufbereitung wurde vor dem Hintergrund der prozentualen Anteile der Rechtsformen GmbH und GmbH & Co. KG bei Biogasanlagen größer 1 MW (vgl. Hirschl et al. 2015) angenommen, dass es sich bei den Betreibergesellschaften zu 50 Prozent um Kapital- und zu 50 Prozent um Personengesellschaften handelt. Neben der Rechtsform der Betreiber ist weiterhin die Art der Gesellschafterinnen und Gesellschafter maßgeblich für die Besteuerung der

Gewinne aus dem Anlagenbetrieb. In Anlehnung an Anteile unterschiedlicher Eigentümergruppen an der installierten Leistung bei großen Biogasanlagen (siehe Trend Research 2011) wurde angenommen, dass Personenunternehmen und Kapitalgesellschaften jeweils zu einem Anteil von 50 Prozent beteiligt sind. Für Kapitalgesellschaften wurde bei den Betreibergesellschaften eine Ausschüttungsquote von 90 Prozent und bei Personengesellschaften eine Ausschüttung von 100 Prozent festgelegt.

## 9.2.2 Datengrundlage und Annahmen Teil-Wertschöpfungskette Grasbereitstellung

Bei beiden hier betrachteten **Produktionsverfahren** wurde die Produktion von Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“ abgebildet, ein 67-kW-Mechanisierung, eine Hof-Feld-Entfernung von 2 km sowie ein mittleres Ertragsniveau und ein mittlerer Bodenbearbeitungswiderstand angenommen. Zur durchschnittlichen Schlaggröße bei Dauergrünland liegen keine statistischen Informationen vor. Aus Angaben für einzelne Regionen beziehungsweise Bundesländer lässt sich jedoch ableiten, dass insbesondere im Süden und Westen Deutschlands sehr kleine Schlaggrößen vorherrschen und sich im Mittel in etwa ein Wert von einem Hektar ergibt (Engelhardt 2004; IALB 2013; LfL 2015). In den nördlichen und östlichen Bundesländern sind die durchschnittlichen Schlaggrößen bei Dauergrünland deutlich größer (Sächsischer Landtag 2018). Für die Berechnungen wurde eine Schlaggröße von 2 ha gewählt, um alle Regionen Deutschlands möglichst gut zu repräsentieren. Da bei der Verarbeitung von Gras zu Papier bisher nur Erfahrungen mit dem 1. und 2. Schnitt vorliegen (Cruse et al. 2015), wurde für die Berechnungen im Modell jeweils eine zweischnittige Mahd unterstellt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Annahmen zu den durchschnittlichen jährlichen Erträgen bei Bodenheu für die Modellierung sowie allgemeine Kosten, die für den landwirtschaftlichen Betrieb für die bewirtschaftete Fläche anfallen. Die Gemeinkosten setzen sich dabei aus den Kostensätzen für Grünlandbetriebe nach KTBL für die Betriebsführung, allgemeine Versicherungskosten sowie Kosten für die Berufsgenossenschaft zusammen (KTBL 2016). Für das Verfahren im kontrolliert biologischen Anbau wurde zudem eine Beihilfe für die Beibehaltung der Grünlandbewirtschaftung sowie Gebühren für ein jährliches Audit in Höhe von 210 Euro/a berücksichtigt (ibid.). Ein Betrieb mit ökologischem Landbau hat im Durchschnitt 46,1 ha Fläche (BMEL 2018c), so dass sich für das Audit flächenbezogene Kosten von 4,55 Euro/ha ableiten lassen.

**Tab. 9.4: Annahmen Ertragsniveau, allgemeine Kosten und Betriebsprämie für das Produktionsverfahren Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“**

Quelle: eigene Zusammenstellung IÖW nach KTBL (2019; 2016; 2018) und DBV (2016)

	Einheit	Werte
Bodenheu, grasbetont, 1. Schnitt, konventionell	t/ha	4,66
Bodenheu, grasbetont, 2. Schnitt, konventionell	t/ha	2,83
Bodenheu, grasbetont, 1. Schnitt, kbA	t/ha	3,75
Bodenheu, grasbetont, 2. Schnitt, kbA	t/ha	2,25
Pachtkosten	[Euro/ha*a]	200,00

	Einheit	Werte
Gemeinkosten	[Euro/ha*a]	180,00
Erlös Betriebsprämie	[Euro/ha*a]	260,00
Beihilfe Beibehaltung Grünland kbA	[Euro/(ha*a)]	205,45
Kosten für jährliches Audit kbA	[Euro/(ha*a)]	4,55

Tab. 9.5 zeigt die **Kosten des Produktionsverfahrens Bodenheu** mit dem Ernteverfahren „Ballen“ und für das Verfahren der konventionellen Grünlandbewirtschaftung und das Verfahren mit kontrolliert biologischem Anbau. Die Kosten für das Saatgut ergeben sich aus dem Saatgutbedarf von 6 kg/ha und den Preisen für das Saatgut. Der Preis für Saatgut bei der konventionellen Bewirtschaftung beträgt gemäß KTBL (2018; 2019) 4,90 Euro/kg und im kontrolliert biologischen Anbau knapp 6 Euro/kg. Die Kosten für Düngemittel summieren sich bei dem konventionellen Verfahren auf 140 Euro/ha, während im kbA keine Kosten für die Düngung anfallen (ibid.). Für die Berechnung der Personalkosten wurde ein Lohnansatz von 17,5 Euro/Akh unterstellt (KTBL 2016).

**Tab. 9.5: Kosten des Produktionsverfahrens Bodenheu mit dem Ernteverfahren „Ballen“**  
 Quelle: eigene Zusammenstellung IÖW nach KTBL (2016; 2018; 2019)

	Kosten konventionell [Euro/ha]	Kosten kbA [Euro/ha]
<b>Anlage und Pflege</b>	<b>358</b>	<b>231</b>
Düngung	291	157
Striegeln	4	4
Übersaat / Nachsaat	63	33
<b>Ernte</b>	<b>383</b>	<b>364</b>
Mähen	58	56
Wenden	136	136
Schwaden	82	82
Pressen	107	90
<b>Transport Heuballen</b>	<b>91</b>	<b>73</b>
<b>Bereitstellungskosten ohne Grundkosten</b>	<b>832</b>	<b>667</b>
Allgemeine Kosten	380	431
Prämien und Beihilfen	260	465
<b>Gesamt</b>	<b>952</b>	<b>633</b>

### 9.2.3 Datengrundlage und Annahmen Teil-Wertschöpfungskette Hanfanbau beziehungsweise -bereitstellung

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Annahmen zu den durchschnittlichen, jährlichen Erträgen bei Hanfstroh und Hanfsamen für die Modellierung sowie allgemeine Kosten, die für den landwirtschaftlichen Betrieb für die bewirtschaftete Fläche anfallen. Die Gemeinkosten setzen sich dabei aus den Kosten für die Betriebsführung, allgemeinen Versicherungskosten sowie Sachkosten im Betrieb zusammen (Wagner et al. 2012).

**Tab. 9.6: Annahmen Ertragsniveau, allgemeine Kosten und Betriebsprämie für das Produktionsverfahren Faserhanf**

Quelle: eigene Zusammenstellung IÖW auf Basis der Befragung von Hanfanbauern, Wagner et al. (2012) und DBV (2016)

	Einheit	Werte
Ertragsniveau Hanfstroh (Röststroh) konventionell	[t/ha]	7
Ertragsniveau Hanfstroh (Röststroh) kbA	[t/ha]	6
Ertragsniveau Hanfsamen	[dt/ha]	6
Pachtkosten	[Euro/ha*a]	300,00
Gemeinkosten	[Euro/ha*a]	154,00
Erlös Betriebsprämie	[Euro/ha*a]	260,00

Der Anbau von Faserhanf umfasst die Schritte Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Aussaat sowie die Pflege und Düngung. Auf Basis der Befragung und der Beispielrechnung von Hanffaser Uckermark (2018) wurde ein Saatgutbedarf von 50 kg/ha und Saatgutkosten von 4,10 Euro/kg angenommen. Kosten für Düngemittel wurden mit 120,00 Euro/ha angesetzt. Die Ernte umfasst den Mähdrusch, die Feldröste, das Schwaden und Wenden des Strohs und zuletzt das Pressen. Der Mähdrusch und das Pressen des Hanfstrohs erfolgen überwiegend in Lohnarbeit von landwirtschaftlichen Dienstleistern. Entsprechend wurde für die Abbildung der Hanfbereitstellung im Modell angenommen, dass diese Arbeiten nicht vom hanfanbauenden Betrieb, sondern von Lohnunternehmen durchgeführt werden. Der Transport umfasst sowohl den Transport des Hanfstrohs als auch der Hanfnüsse. Für die Berechnung der Personalkosten wurde für die Mehrzahl der Arbeitsschritte ein Lohnansatz von 25 Euro/Akh angenommen. Bei der Düngung und dem Transport wurde ein Lohnansatz von 17,5 Euro/Akh unterstellt. Tab. 9.7 zeigt **die Kosten des Produktionsverfahrens von Faserhanf** aufgeschlüsselt nach den einzelnen Arbeitsschritten.

**Tab. 9.7: Kosten des Produktionsverfahrens Faserhanf**

Quelle: Eigene Zusammenstellung IÖW auf Basis der Befragung von Hanfanbauern, Hanffaser Uckermark (2018), Vorträgen bei der Witzenhäuser Hanftagung (Raasch 2018; Steger 2018)

	<b>Kosten [Euro/ha]</b>
<b>Anbau</b>	<b>449</b>
<b>Ernte</b>	<b>457</b>
davon Schneiden und Mähdrusch	200
davon Pressen	210
<b>Trocknung und Reinigung</b>	<b>66</b>
<b>Transport</b>	<b>161</b>
<b>Bereitstellungskosten ohne Grundkosten</b>	<b>1.133</b>
<b>Bereitstellungskosten inkl. Grundkosten</b>	<b>1.327</b>

## 9.2.4 Datengrundlage und Annahmen Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss

Tab. 9.8 zeigt die technischen Parameter der Hanffaseraufschlussanlage für die derzeitige Auslegung der Hanffaseraufschlussanlage. Der Jahresdurchsatz an Hanfstroh liegt bei der Auslegung der Hanffaseraufschlussanlage im Jahr 2016 bei 500 t/a.

**Tab. 9.8: Technische Parameter Hanffaseraufschluss**

Quelle: Befragung des Anlagenbetreibers

	<b>Einheit</b>	<b>Werte</b>
Tageslaufzeit	[h/d]	6
Jährliche Volllaststunden	[h/a]	1.200
Jahresdurchsatz Hanfstroh (Rohstoff)	[t/FM/a]	500,0
Strombedarf Aufschlussverfahren	[MWhel/a]	200,0
Arbeitsaufwand Bedienung Anlage	[AKh/a]	2.000
Arbeitsaufwand Wartung Anlage	AKh/a]	500
Arbeitsaufwand Verwaltung	[AKh/a]	800
Jahresproduktion Hanffasern	[t FM/a]	130,0
Jahresproduktion Schäben	[t FM/a]	263

Mit einem Preis von 100 Euro/t und einem Jahresdurchsatz von 500 t/a summieren sich die Rohstoffkosten auf 50.000 Euro/a. Die Kosten für den Strombezug belaufen sich auf 50.860 Euro/a. Die Personalkosten für die Anlagenbetreuung und Verwaltung betragen bei einem Arbeitsaufwand von insgesamt 2.800 Arbeitskraftstunden (AKh) pro Jahr in Summe rund 60.510 Euro/a. Investitionen für Instandsetzungen wurden mit 12.250 Euro/a angesetzt; die Personalkosten für Wartungs- und Reinigungsarbeiten liegen bei knapp 12.250 Euro/a. Aufgrund der Robustheit der Faserpflanze gibt es insgesamt einen hohen Verschleiß und es ist ein regelmäßiger Austausch von Anlagenkomponenten, beispielsweise der Hammermühle, notwendig. Dadurch bedingt sind die Kosten für die Instandsetzung vergleichsweise hoch. Auch ist ein hoher personeller Aufwand für die Wartung und Reinigung der Anlage erforderlich: jeweils an einem Tag in der Woche wird die Anlage gereinigt und gewartet. Die Versicherungskosten betragen rund 2.800 Euro/a, was einem Anteil von 0,7 Prozent an den Investitionskosten entspricht. Bei der Bestimmung der durchschnittlichen Zinszahlungen an Fremdkapitalgeberinnen und -geber wurde ein Fremdkapitalanteil von 70 Prozent und ein Zinssatz für die Fremdkapitalfinanzierung von 3 Prozent angenommen (KTBL 2016). Die Kreditlaufzeit wurde mit 10 Jahren angesetzt. Die **Betriebskosten eines durchschnittlichen Betriebsjahres** für die 2016 bestehende Auslegung der Hanffaseraufschlussanlage sind in Tab. 9.9 zusammengefasst dargestellt.

Die **Rechtsform der Betreibergesellschaft** hat Auswirkungen auf die Art der Steuern, welche Unternehmen und ihre Gesellschafterinnen und Gesellschafter auf die Gewinne entrichten müssen. Grund ist die unterschiedliche Besteuerung von Kapitalgesellschaften und Personengesellschaften. Für die Berechnung der Steuerlast und der Nach-Steuer-Gewinne der Betreibergesellschaft muss daher eine Annahme bezüglich der Rechtsform getroffen werden. Für die Faseraufschlussanlage wird vor dem Hintergrund der Rechtsformen bestehender Unternehmen in Deutschland angenommen, dass es sich bei den Betreibergesellschaften zu 50 Prozent um Kapitalgesellschaften (bspw. Genossenschaft) und zu 50 Prozent um Personengesellschaften (bspw. GmbH & Co. KG) handelt. Auch die Art der Gesellschafterinnen und Gesellschafter ist maßgeblich für die Besteuerung der Gewinne aus dem Anlagenbetrieb. Da bezüglich der Art der Gesellschafter keine Erkenntnisse vorliegen und anteilig sowohl Privatpersonen (bspw. Mitarbeiter/innen), als auch Unternehmen (bspw. Hanfanbauer/innen, Unternehmenspartner/innen bei der Vermarktung und/oder Verarbeitung) vorstellbar sind, wurde jeweils ein Drittel angenommen. Für Kapitalgesellschaften wurde bei den Betreibergesellschaften eine Ausschüttungsquote von 90 Prozent und bei Personengesellschaften eine Ausschüttung von 100 Prozent festgelegt.

**Tab. 9.9: Betriebskosten Hanffaseraufschlussanlage (durchschnittliches Jahr)**

Quelle: eigene Berechnungen IÖW auf Basis der Angaben des Anlagenbetreibers und literaturbasierten Annahmen; BK: Betriebskosten

Kostenposition	absolute Kosten	Kostenstruktur	spezifische Kosten pro Tonne Hanffasern
	[Euro/Jahr]	[% BK]	[Euro/t und Jahr]
Rohstoff (Hanfstroh)	50.000	25,8%	384,6
Elektrizität	50.860	26,3%	391,2
Wartung und Instandsetzung (Personal)	12.250	6,3%	94,2
Wartung und Instandsetzung (Ersatzinvestitionen)	12.247	6,3%	94,2
Personal (Anlagenbedienung und Verwaltung)	60.509	31,3%	465,5
Versicherung	2.816	1,5%	21,7
Fremdkapitalzinsen	4.921	2,5%	37,9
<b>Betriebskosten gesamt</b>	<b>193.566</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.489,0</b>

## 9.3 Annahmen zur regionalen Ansässigkeit für die szenarienbasierte Hochrechnung der ökonomischen Effekte

### 9.3.1 Berechnungen für fiktive Projekte / Beispielregionen

#### 9.3.1.1 Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung zu höherwertigen Düngemitteln und Fasern für Holzersatzwerkstoffe

**Tab. 9.10: Annahmen zur regionale Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Biogasanlage**

Quelle: eigene Zusammenstellung IÖW

Wertschöpfungsstufe/-schritt	durchschnittliche Effekte	maximal mögliche Effekte
<b>Herstellung von Anlagenkomponenten</b>	0%	0%
<b>Planung und Installation</b>	0%	0%
<b>Anlagenbetrieb und -wartung</b>		
Betriebsstoffe (Strombezug / Schmier- und Zündöl)	0%	100%
Wartung und Instandhaltung (Dienstleistung)	20%	100%
Laboranalysen	0%	100%
Versicherung	10%	100%
Fremdkapitalfinanzierung (Banken)	33%	100%
Personal Anlagenbetrieb	100%	100%
<b>Betreibergewinne</b>		
Betreibergesellschaft	100%	100%
Eigenkapitalgeberinnen und -geber	75%	100%

**Tab. 9.11: Annahmen zur regionale Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Gärrestaufbereitung**

Quelle: eigene Zusammenstellung IÖW

Wertschöpfungsstufe/-schritt	durchschnittliche Effekte	maximal mögliche Effekte
<b>Herstellung von Anlagenkomponenten und baulichen Anlagen</b>		
Anlagenkomponenten Gärrestaufbereitung	0%	100%
bauliche Anlagen (Feststofflager)	100%	100%
bauliche Anlagen (Flüssigdüngerlager)	0%	100%
<b>Planung und Installation</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>Anlagenbetrieb und -wartung</b>		
Betriebsstoffe (Strombezug)	0%	100%
Einsatzstoffe	0%	100%
Wartung und Instandhaltung (Dienstleistung)	20%	100%
Instandhaltung bauliche Anlagen (Material)	100%	100%
Instandhaltung Anlagenkomponenten (Material)	0%	100%
Versicherung	10%	100%
Fremdkapitalfinanzierung (Banken)	33%	100%
Personal Anlagenbetrieb	100%	100%
<b>Betreibergewinne</b>		
Betreibergesellschaft	100%	100%
Eigenkapitalgeberinnen und -geber	50%	100%

9.3.1.2 Teil-Wertschöpfungskette Grasbereitstellung

**Tab. 9.12: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss**

Quelle: eigene Zusammenstellung IÖW

Wertschöpfungsstufe/-schritt	durchschnittliche Effekte	maximal mögliche Effekte
Produktionsverfahren Bodenheu	100%	100%

9.3.1.3 Teil-Wertschöpfungskette Hanfbereitstellung

**Tab. 9.13: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss**

Quelle: eigene Zusammenstellung IÖW

Wertschöpfungsstufe/-schritt	durchschnittliche Effekte	maximal mögliche Effekte
Produktionsverfahren Faserhanf	100%	100%
Schneiden und Mähdrusch (Dienstleistung)	75%	100%
Pressen (Dienstleistung)	75%	100%

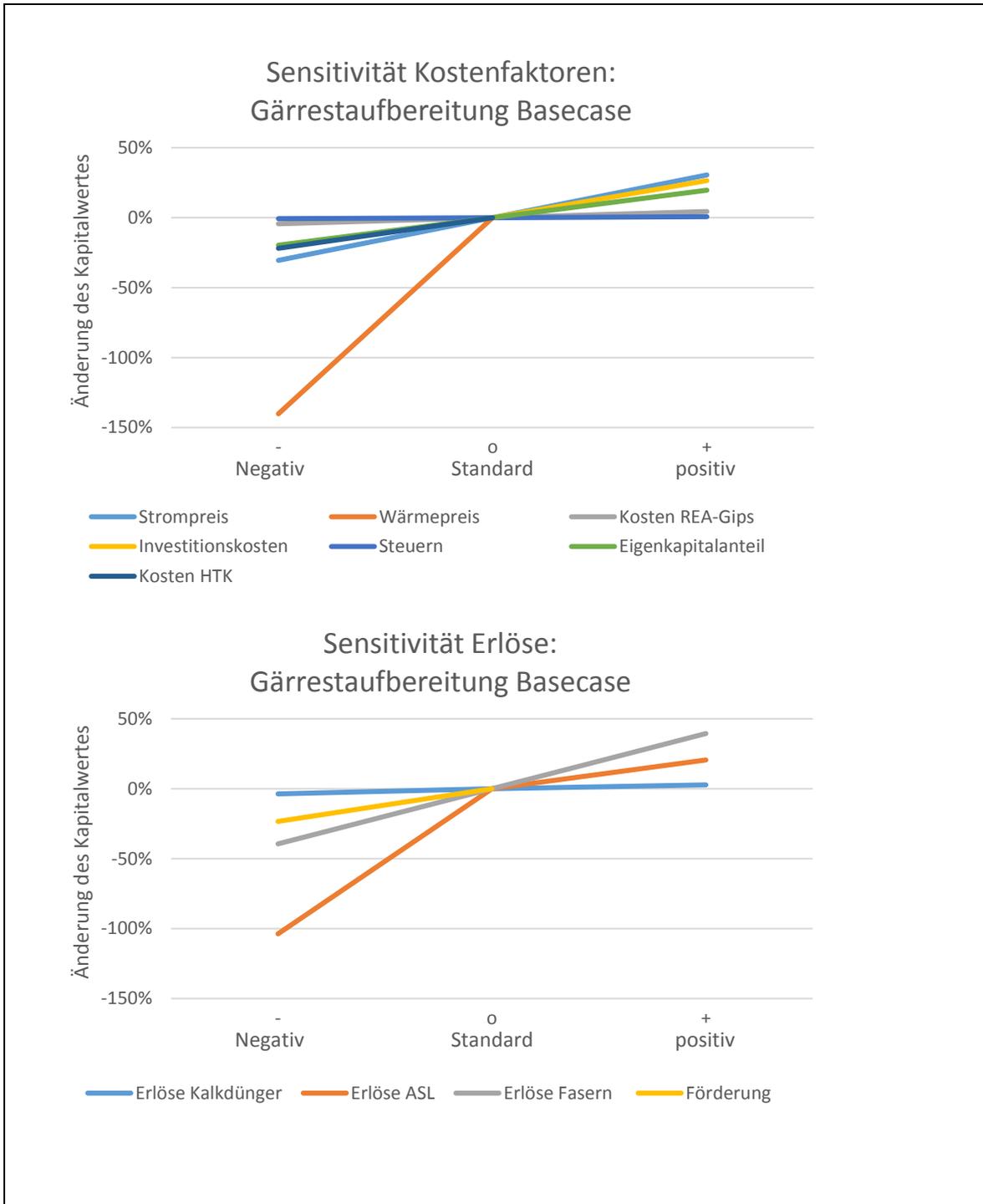
9.3.1.4 Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss

**Tab. 9.14: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -gebern Teil-Wertschöpfungskette Hanffaseraufschluss**

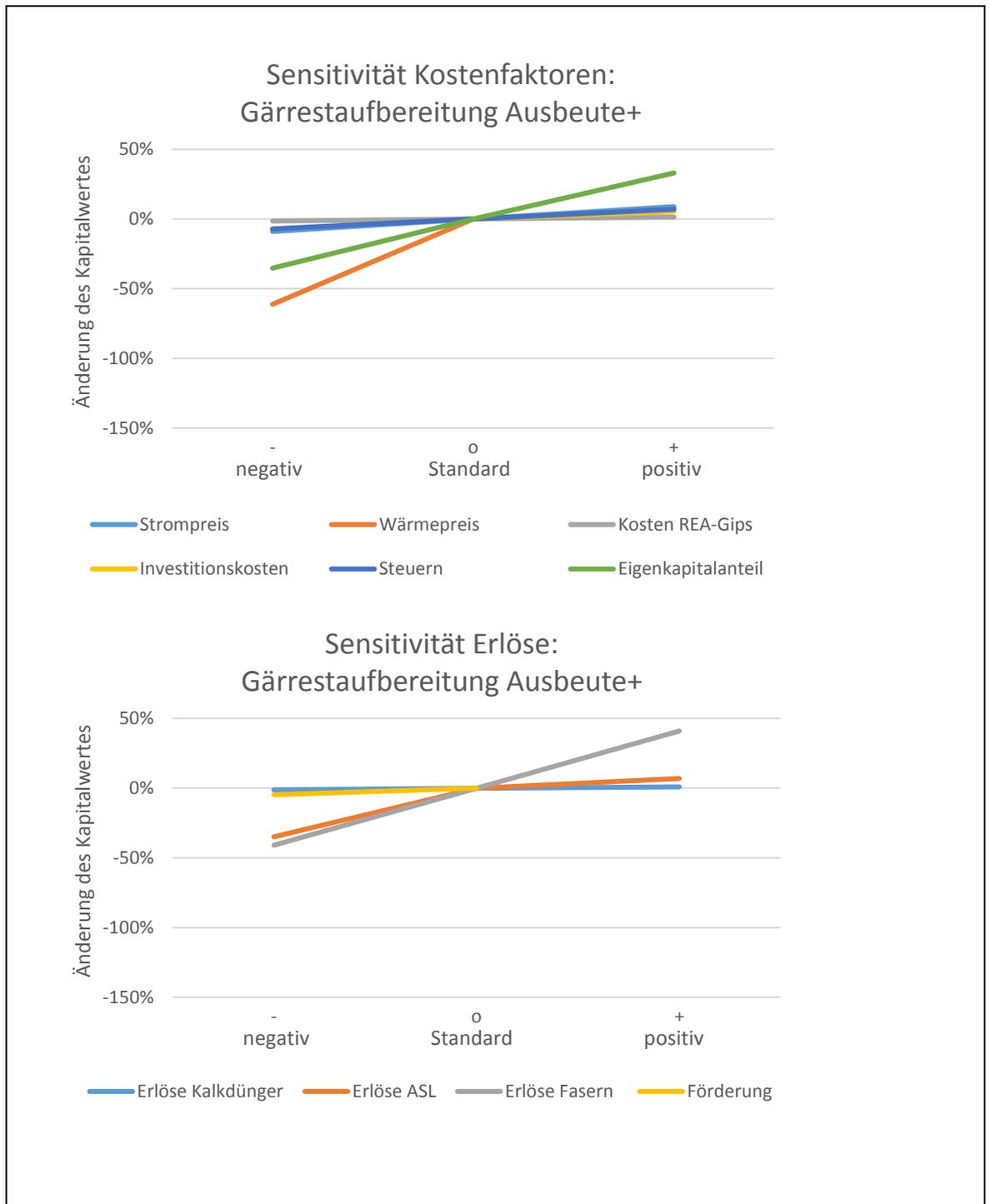
Quelle: eigene Zusammenstellung IÖW

Wertschöpfungsstufe/-schritt	durchschnittliche Effekte	maximal mögliche Effekte
<b>Anlagenbetrieb und -wartung</b>		
Betriebsstoffe (Strombezug)	0%	100%
Wartung und Instandhaltung (Personal)	100%	100%
Instandhaltung Anlagenkomponenten (Material)	0%	0%
Versicherung	10%	100%
Fremdkapitalfinanzierung (Banken)	33%	100%
Personal Anlagenbetrieb / Verwaltung	100%	100%
<b>Betreibergewinne</b>		
Betreibergesellschaft	100%	100%
Eigenkapitalgeberinnen und -geber	75%	100%

## 9.4 Sensitivitätsanalyse

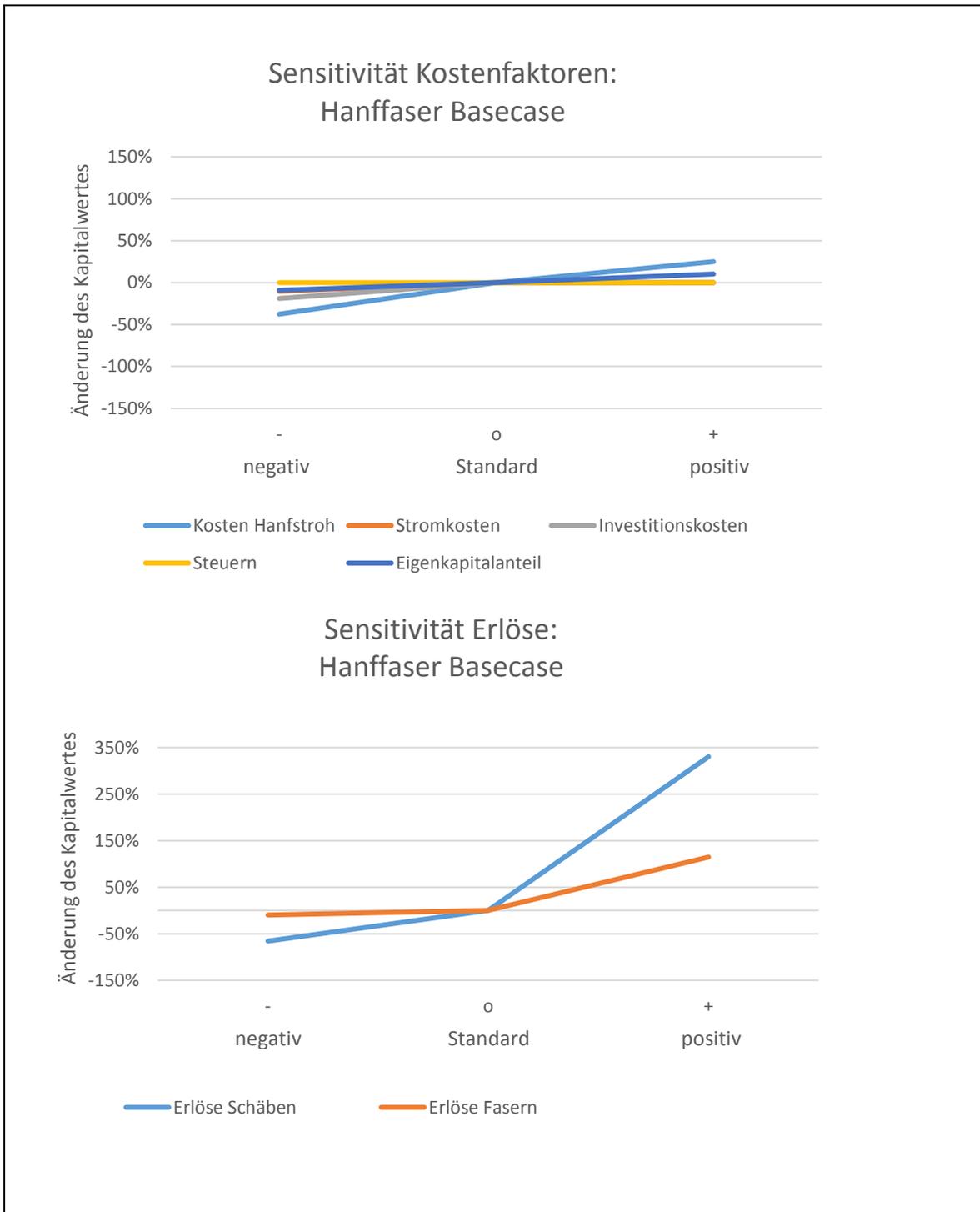


**Abb. 9.2: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen – Gärrestaubbereitung Base Case**  
 Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung IfaS



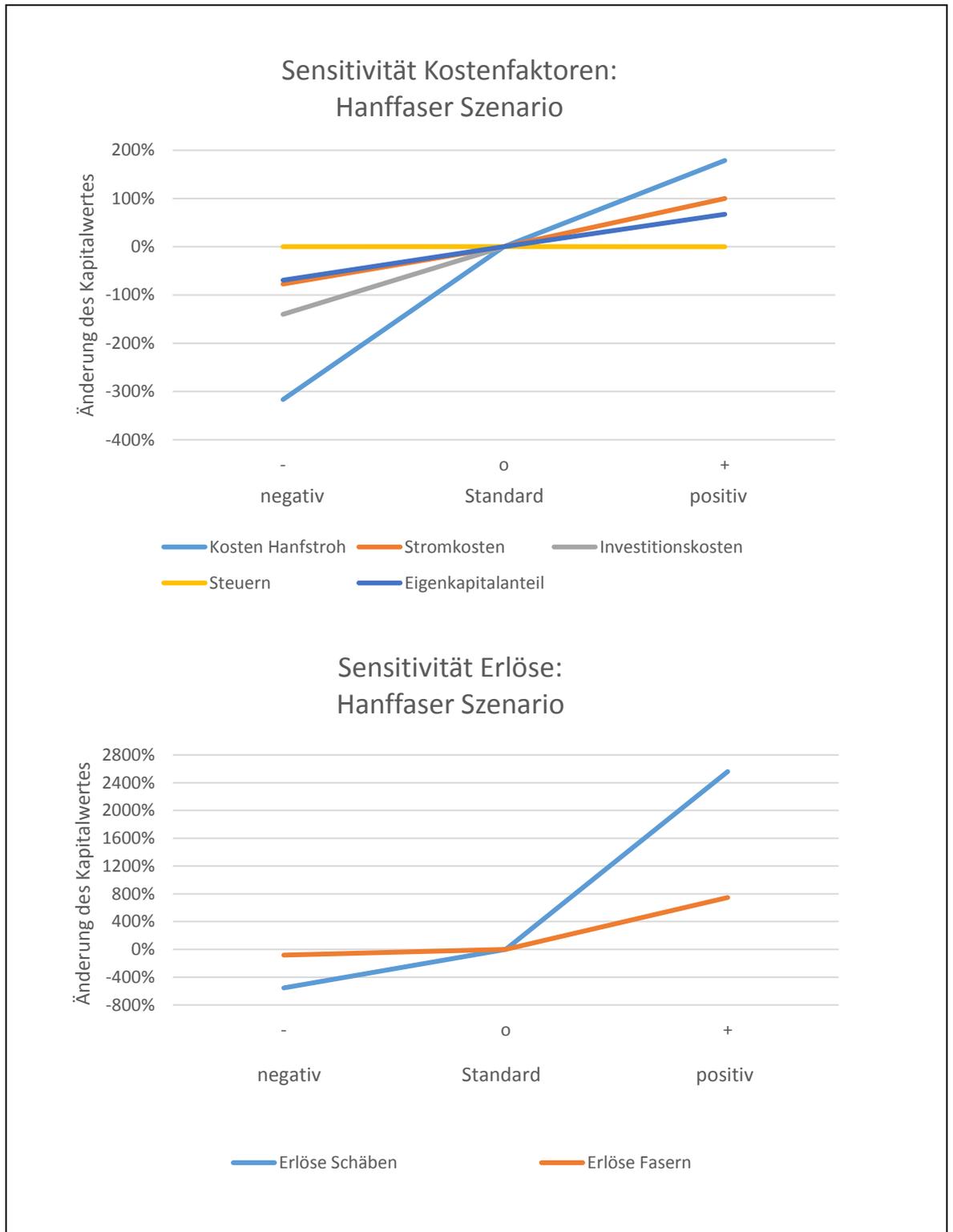
**Abb. 9.3: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen – Gärrestaufbereitung Szenario Ausbeute+**

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung IfaS



**Abb. 9.4: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen – Hanffaseraufschluss Base Case**

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung IfaS



**Abb. 9.5: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen – Hanffaseraufschluss Szenario**  
 Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung IfaS





GESCHÄFTSSTELLE BERLIN  
MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

BÜRO HEIDELBERG  
HEIDELBERG OFFICE

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0

[mailbox@ioew.de](mailto:mailbox@ioew.de)

[www.ioew.de](http://www.ioew.de)