



Handbuch Regionale und lokale Bioökonomien



www.be-rural.eu

ÜBER BE-RURAL

BE-Rural (www.be-rural.eu) untersucht das Potenzial regionaler und lokaler Bioökonomien und unterstützt die Entwicklung von Bioökonomiestrategien, -roadmaps und -geschäftsmodele. Hierfür liegt der Fokus des Projekts auf der Schaffung sogenannter Open Innovation Plattformen (OIPs) in ausgewählten Regionen in fünf Ländern: Bulgarien, Lettland, Nordmazedonien, Polen und Rumänien.

Dabei kollaboriert BE-Rural mit dem Horizon 2020 Project Power4Bio (<https://power4bio.eu/>), das, genauso wie das BE-Rural Projekt, Technologieoptionen und Geschäftsmodelle für regionale und lokale Bioökonomien untersucht und bewertet. Ein gemeinsames Policy Paper wird die relevanten Ergebnisse der beiden Projekte zusammenfassen. Darüber hinaus gibt das Dokument politischen Entscheidungsträgern konkrete Empfehlungen zur Anwendung biobasierter Technologieoptionen und Geschäftsmodelle in bestimmten regionalen Kontexten. Das vorliegende Handbuch wird zu diesem gemeinsamen Output beitragen. Für weitere Informationen aus dem Power4Bio-Projekt empfehlen wir dem Leser den Besuch der Projekt-Website: <https://power4bio.eu/project-material>.

ÜBER DIESES DOKUMENT

- Autoren: Felix Colmorgen, Cosette Khawaja & Dominik Rutz
- Reviewer: Gerardo Anzaldúa, Holger Gerdes, John Tarpey, Zoritza Kiresiewa, Carmen Păuna, Raluca Iorgulescu, Elsa João, Stefan Kah, Dagnija Lazdiņa, Kristaps Makovskis, Nicholas LaPointe
- ISBN: 978-3-936338-67-6
- Übersetzer: Felix Colmorgen
- Übersetzungen: Die Originalsprache des Handbuchs ist Englisch.
Dieses Handbuch ist außerdem in folgenden Sprachen verfügbar: Bulgarisch, Lettisch, Mazedonisch, Polnisch, Rumänisch
- Herausgeber: © 2020 by WIP Renewable Energies, München, Deutschland
- Edition: 1. Auflage
- Contact: WIP Renewable Energies, Sylvensteinstr. 2, 81369 München, Deutschland
felix.colmorgen@wip-munich.de, Tel.: +49 89 720 12 732
www.wip-munich.de
- Website: be-rural.eu
- Copyright: Alle Rechte vorbehalten. Kein Inhalt dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form oder auf irgendeine Weise reproduziert werden, um für kommerzielle Zwecke verwendet zu werden. Die Autoren übernehmen keine Garantie für die Richtigkeit und/oder Vollständigkeit der in diesem Handbuch enthaltenen oder beschriebenen Informationen und Daten.
- Cover page: Illustration von stock.adobe.com/Freesurf

ANERKENNUNG & HAFTUNGSAUSSCHLUSS



Dieses Projekt wurde durch Mittel des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon 2020“ der Europäischen Union im Rahmen der Finanzhilfevereinbarung Nr. 818478 finanziert. Weder die Europäische Kommission noch in ihrem Namen handelnde Personen können für hier veröffentlichte Inhalte oder Informationen verantwortlich gemacht werden. Die in diesem Handbuch geäußerten Ansichten liegen in der alleinigen Verantwortung der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Kommission wider.

Vervielfältigung und Übersetzung für nichtkommerzielle Zwecke sind gestattet, sofern die Quelle angegeben, der Verlag vorher benachrichtigt und eine Kopie gesendet wird.

PROJEKTKONSORTIUM UND NATIONALE KONTAKSTELLEN:



Ecologic Institut, Deutschland
Holger Gerdes [holger.gerdes@ecologic.eu]
www.ecologic.eu



University of Strathclyde, Schottland, Großbritannien
Elsa João [elsa.joao@strath.ac.uk] - Department of Civil and Environmental Engineering
Sara Davies [sara.davies@strath.ac.uk] & Stefan Kah [stefan.kah@strath.ac.uk] - European Policies Research Centre
www.strath.ac.uk



WIP Renewable Energies, Deutschland
Felix Colmorgen [felix.colmorgen@wip-munich.de]
www.wip-munich.de



BIOCUM AG, Deutschland
Boris Mannhardt [b.mannhardt@biocom.de]
www.biocom.de



Bulgarian Industrial Association, Bulgarien
Martin Stoyanov [martin@bia-bg.com]
www.bia-bg.com



International Centre for Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems - Macedonian Sector, Nordmazedonien
Emilija Mihajloska [emilija.mihajloska@sdewes.org]
www.sdewes.org/macedonian_section.php



Institute for Economic Forecasting - Romanian Academy, Rumänien
Raluca-Ioana Iorgulescu [raluca.iorgulescu@ipe.ro]
www.ipe.ro



Latvian State Forest Research Institute, Lettland
Dagnija Lazdiņa [dagnija.lazdina@silava.lv]
www.silava.lv



National Marine Fisheries Research Institute (MIR-PIB), Polen
Marcin Rakowski [mrakowski@mir.gdynia.pl]
www.mir.gdynia.pl

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungen.....	8
1 Einleitung	12
2 Grundlagen regionaler Bioökonomien.....	14
2.1 Die Bioökonomie	14
2.2 Biomasse – das Herzstück der Bioökonomie	17
2.3 Biomassekonversion.....	20
3 Optionen für die Biomassenutzung in einer regionalen Bioökonomie.....	23
3.1 Energetische Nutzung von Biomasse.....	23
3.1.1 Biogene Festbrennstoffe zum Heizen und Kühlen	23
3.1.2 Biomasse für die Biogaserzeugung.....	27
3.1.3 Biodieselproduktion aus Ölpflanzen und gebrauchtem Speiseöl	30
3.1.4 Biomasse für die Produktion von Bioethanol.....	33
3.2 Materielle Nutzung von Biomasse	34
3.2.1 Biokunststoffe	35
3.2.2 Bioverbundwerkstoffe.....	40
3.3 Kompostierung von Bioabfällen	42
3.4 Biobasierte Verpackungslösungen	44
3.5 Biobasierte Dämmstoffe.....	46
3.6 Biobasierte Textilien.....	49
3.7 Lebensmittel- und Getränkeindustrie.....	51
3.8 Valorisierung aquatischer Biomasse.....	54
4 Geschäftsmodelle für eine regionale Bioökonomie	57
4.1 Verfügbarkeit und Identifizierung lokaler Biomasse und technischer und infrastruktureller Ressourcen	58
4.2 Integration von Stakeholdern	60
4.3 Kundensegmente	61
4.4 Planung, Implementierung und Betrieb von Technologieoptionen	63
4.5 Eigentumsmodelle und Vertragsangelegenheiten	65
4.5.1 Eigentumsmodelle.....	65
4.5.2 Verträge mit Biomasselieferanten	68
4.6 Finanzierungsmöglichkeiten	69
5 Nachhaltigkeitswirkung der Bioökonomie	73

5.1	Umweltauswirkungen	73
5.2	Soziale Auswirkungen	77
5.3	Ökonomische Auswirkungen.....	79
	Quellenverzeichnis.....	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ziele der Bioökonomiestrategie (Europäische Kommission 2018).....	12
Abbildung 2: Der Quintuple Helix-Ansatz (Abhold et al. 2019).....	17
Abbildung 3: Quellen und Verwendungen von Biomasse in der EU (EU Science Hub 2019).....	18
Abbildung 4: Entwicklung der Biomassenutzung in der EU (EU Science Hub 2019)	19
Abbildung 5: Verwendbarkeit von Hanf und Miscanthus für verschiedene Produkte und Anwendungen (Bioökonomie BW 2019).....	20
Abbildung 6: Elemente der Klassifizierung von Bioraffinerien (BMELV 2012).....	21
Abbildung 7: Verschiedene Arten von festen Biomassebrennstoffen	23
Abbildung 8: Verschiedene Arten von Holzhackern	24
Abbildung 9: Der Pelletierungsprozess (Coford 2007)	26
Abbildung 10: Prominente Ölpflanzen.....	31
Abbildung 11: Ölpflanzen, die auf marginalen Flächen angebaut werden könnten	32
Abbildung 12: Wesentliche Schritte der Bioethanolproduktion (Kobak und Balcersek 2018).....	34
Abbildung 13: Konventionelle Kunststoffe vs. biobasierte Kunststoffe (European Bioplastics n.d.)	35
Abbildung 14: Klassifizierung von Biokunststoffen (European Bioplastics n.d.).....	36
Abbildung 15: Beispiele für Biokunststoffprodukte auf Polysaccharidbasis	37
Abbildung 16: Beispiele für Produkte aus zuckerbasierten Biokunststoffen	39
Abbildung 17: Treibhauspotential verschiedener Dämmstoffe (Daemwool n.d.)	48
Abbildung 18: Umsatz der Bioökonomie in der EU-28, 2008-2016 (nova-Institut 2019).....	51
Abbildung 19: Umsatz der Bioökonomie in der EU-28, 2016 (nova-Institut 2019).....	52
Abbildung 20: Übersicht der Nutzen und Produkte durch eine nachhaltige Nutzung der lebenden aquatischen Ressourcen (Beyer et al. 2017)	55
Abbildung 21: Der Flourishing Business Canvas (FBC) (Karlsson et al. 2018)	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auszug kompostierungsrelevanter Abfälle aus dem EAK	43
Tabelle 2: Überblick über Dämmstoffe, ihre Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität.	47
Tabelle 3: Technische, wirtschaftliche und andere Kriterien für die Auswahl des technischen Equipments (adaptiert von Stein et al. 2017).	59
Tabelle 4: Biobasierte Produkte und ihre potenziellen Kundensegmente.....	62
Tabelle 5: PPP-Modelle (Sunko et al. 2017, Practical Law n.d.).....	66
Tabelle 6: Das Mehrparteien-Eigentumsmodell für ein Energieprojekt: Schlüsselaspekte (Asian Development Bank 2015)	67
Tabelle 7: Quellen des Eigenkapitals (angepasst nach Sunko et al. 2017)	70

Tabelle 8: Überblick über die Umweltauswirkungen der Bioökonomie (Hasenheit et al. 2016)	73
Tabelle 9: Liste verschiedener Labels, Zertifizierungssysteme und Standards, die beim Kauf von biobasierten Produkten oder Dienstleistungen berücksichtigt werden können (angepasst nach InnProBio n.d.)	76
Tabelle 10: Überblick über die sozialen Auswirkungen der Bioökonomie (Hasenheit et al. 2016).....	78
Tabelle 11: Überblick über die wirtschaftlichen Auswirkungen der Bioökonomie (Hasenheit et al. 2016)	79

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
€	Euro
°C	Grad Celsius
AD	Gärung
BM	Geschäftsmodell
Mrd.	Milliarde
c	Wärmekapazität
C/N	Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis
Ca	Calcium
CH₄	Methan
CHP	Kraft-Wärme-Kopplung
CO	Kohlenmonoxid
CO₂	Kohlendioxid
LZ	Leistungszahl
CS₂	Schwefelkohlenstoff
DIN	Deutsches Institut für Normung
z.B.	Zum Beispiel
EN	Europanorm
etc.	Et cetera – und so weiter
EU	Europäische Union
EC	Europäische Kommission
EAK	Europäischer Abfallkatalog
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen unterliegen
FBC	Flourishing business canvas
Fe	Eisen

FFA	Freie Fettsäuren
FSC	Forest Stewardship Council
FT	Fischer-Tropsch
BIP	Bruttoinlandsprodukt
THG	Treibhausgas
GMO	Gentechnisch veränderter Organismus
BNE	Bruttonationaleinkommen
GO	Regierungsorganisation
GWP	Treibhauspotenzial
H₂	Wasserstoff
H₂S	Schwefelwasserstoff
PS	Pferdestärke
bzw.	Beziehungsweise
IEA	Internationale Energieagentur
ILUC	Indirekte Landnutzungsänderung
IRR	Interne Rentabilitätsziffer
ISCC	International system for carbon certification
ISO	Internationalen Normenorganisation
J/kg × K	Joule pro Kilogramm und Kelvin
JRC	Gemeinsame Forschungsstelle
kg	Kilogramm
kg/h	Kilogramme pro Stunde
kW	Kilowatt
kWel	Kilowatt elektrisch
kWh/t	Kilowattstunde pro Tonne
LCA	Lebenszyklus-Analyse/Ökobilanz
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft
m	Meter
m³	Kubikmeter
MBT	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung
Mg	Magnesium
mm	Millimeter
MPa	Megapascal
Mt	Millionen Tonnen
MW	Megawatt

MWeI	Megawatt elektrisch
n.d.	Ohne Datum
NGO	Nichtregierungsorganisation
OIP	Open innovation platform
PA	Polyamid
PBAT	Polybutylenadipat-terephthalat
PBS	Polybutylensuccinat
PBT	Polybutylenterephthalat
PE	Polyethylen
PEFC	Programme for the endorsement of forest certification
PET	Polyethylenterephthalat
pH	Ein Maß für den sauren oder basischen Charakter einer wässrigen Lösung
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PHB	Polyhydroxybuttersäure
PLA	Polymilchsäure
PP	Polypropylen
PPP	Öffentlich-private Partnerschaft
PS	Polystyrol
PTT	Polytrimethylenterephthalat
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
FuE	Forschung & Entwicklung
R&I	Forschung & Innovation
RED II	New renewable energy directive
RSB	Roundtable on sustainable Biomaterials
RSPO	Roundtable on sustainable palm oil
RTRS	Roundtable responsible soy
SAM	Sozialrechnungsmatrix
SDGs	Ziele für nachhaltige Entwicklung
S-LCA	Social life cycle assessment
SME	Kleine und mittlere Unternehmen
TPC-ET	Thermoplastische Copolyester-Elastomere
TPS	Thermoplastische Stärke
TRL	Technology Readiness Level
Vs.	Versus

W/(m × K)	Watt pro Meter-Kelvin
WWF	Worldwide Fund
λ	Wärmeleitfähigkeit

1 Einleitung

Die Bioökonomie hat das Potential einigen der aktuell größten Herausforderungen, wie der Verknappung natürlicher Ressourcen, dem Klimawandel, dem Bevölkerungswachstum sowie einer schwindenden Biodiversität, zu begegnen. Ihre ganzheitliche Sichtweise könnte dazu beitragen, sozialverträgliche Lösungen zu finden, die Wirtschaftswachstum und Wettbewerbsfähigkeit mit der globalen Verantwortung für die Sicherung der Welternährung sowie den Schutz unserer Umwelt, der Tierwelt und des Klimas verbinden. Dies geht einher mit einem nachhaltigen Ressourcenmanagement und einer Verringerung der Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen (Abbildung 1). Dabei reicht es nicht aus, lediglich die Rohstoffbasis in industriellen Anwendungen von fossilen auf erneuerbare Ressourcen zu verlagern. Was benötigt wird ist ein makrosozialer Strukturwandel, der Wirtschaftswachstum mit ökologischer und sozialer Verträglichkeit verbindet (Bourguignon 2017, Hoff et al. 2018, Jalasjoki 2019, MECE 2019).

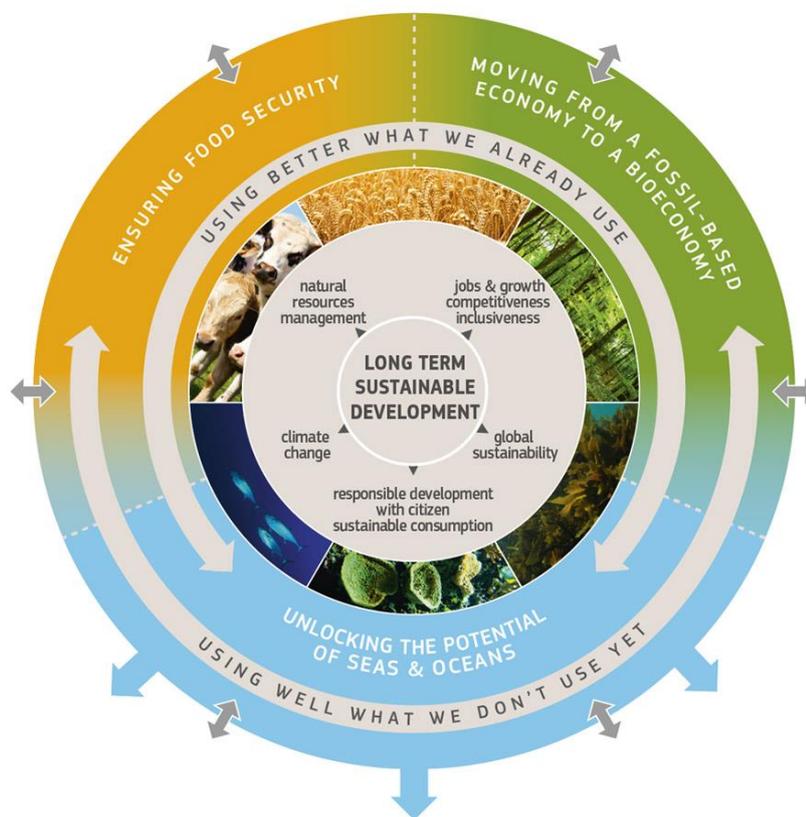


Abbildung 1: Ziele der Bioökonomiestrategie (Europäische Kommission 2018)

Die Bioökonomie ist ein Konzept, das die Sektoren Forschung und Entwicklung, Industrie und Energie, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei, ebenso wie die Klima-, Umwelt und Entwicklungspolitik mit einbezieht (BMBF 2017). Aufgrund der weltweiten Verfügbarkeit biologischer Ressourcen ist die Umsetzung einer modernen Bioökonomie nicht nur auf Industrienationen beschränkt. Grundsätzlich ist sie eine Chance für alle Länder, unabhängig von heutigen Wohlstands- und Systemgrenzen. Insbesondere ländliche Regionen sowie Küstengebiete könnten vom Potenzial der Bioökonomie, in Form von Wirtschaftswachstum und neu geschaffenen Arbeitsplätzen, profitieren. Neue Geschäfts- und Innovationsmöglichkeiten können sich in den Bereichen Landwirtschaft (Ausweitung des Sektors über die Lebensmittelproduktion hinaus auf die Produktion und Verarbeitung von Biomasse), Fischerei (Verwertung von Beifängen und Fischverarbeitungsrückständen in einer blauen Bioökonomie) und Forstwirtschaft (z.B. durch integrierte Bioraffineriekonzepte) entwickeln. Derartige sektorspezifische multifunktionale Konzepte könnten in neue Geschäftsmodelle sowie Entwicklungsstrategien für

ländliche Räume und Küstengebiete eingebettet werden. Dies wiederum führte zu einer höheren Lebensqualität und ermöglichte es Landwirten, Fischern und Förstern, einen gerechten Anteil an der Wertschöpfung zu erhalten. Darüber hinaus würden regionale Volkswirtschaften zunehmend diversifiziert, was in einer erhöhten wirtschaftlichen Stabilität zum Ausdruck käme. Demnach ist die Bioökonomie in der Lage, die Einführung nachhaltiger und klimafreundlicher Praktiken in ländlichen Räumen zu beschleunigen (Bourguignon 2017, Hoff et al. 2018, Jalasjoki 2019, MECE 2019).

Obwohl Biomasse als erneuerbar angesehen wird (über einen Zeitraum von Jahren und Jahrzehnten), bleibt sie, mit Hinblick auf verschiedene Einflussfaktoren, wie der Wasser- oder Flächenverfügbarkeit, eine limitierte Ressource. Darüber hinaus müssen bei der Entwicklung und Umsetzung von Bioökonomiestrategien die zusätzliche Nachfrage nach sowie der Wettbewerb um Bioressourcen und damit einhergehende Preisänderungen für Lebensmittel und Biomasserohstoffe berücksichtigt werden. Das Bioökonomiekonzept zielt darauf ab, diesen Herausforderungen durch geeignete Maßnahmen auf der Angebots- und Nachfrageseite entgegenzuwirken. Ansätze, wie die Kaskadennutzung, bei der Biomasse mehrmals für unterschiedliche Zwecke verwendet wird (z.B. erst materielle, dann energetische Nutzung), sind, wenn sie technisch umsetzbar und wirtschaftlich rentabel sind, große Chancen für eine ressourceneffiziente Bioökonomie.

Die Bioökonomie fördert dabei ein Umdenken in Gesellschaften, von linearen hin zu nachhaltigen und zirkulären Strukturen und Prozessen. Zudem soll Profit gleichmäßig entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entstehen. Darüber hinaus gilt es, die natürlichen Grenzen der Ökosysteme einzuhalten und Konsummuster zu ändern. Dafür werden solide Maßnahmen benötigt, die eine gerechte Verteilung von Kosten und Nutzen garantieren. Eine verbesserte internationale Zusammenarbeit spielt in dieser Phase der Entwicklung der Bioökonomien eine wichtige Rolle (Bourguignon 2017, Hoff et al. 2018, Jalasjoki 2019, MECE 2019).

2 Grundlagen regionaler Bioökonomien

2.1 Die Bioökonomie

Gemäß der Europäischen Kommission ist die Bioökonomie definiert als die Produktion erneuerbarer biologischer Ressourcen sowie die Umwandlung dieser Ressourcen und Abfallströme in Lebensmittel, Futtermittel, biobasierte Produkte und Bioenergie. Bioökonomie-sektoren haben großes Innovationspotential, da sie auf ein breites Spektrum an Wissenschaften, Grundlagentechnologien, industriellen Technologielösungen sowie auf lokales und implizites Wissen bauen können (Europäische Kommission 2012). Diese Definition wurde in der Europäischen Bioökonomiestrategie festgelegt.

Die Bioökonomie erzielte 2019 einen Umsatz von 2,3 Billionen Euro. Sie kann daher bereits als wichtige Säule der EU-Wirtschaft angesehen werden (Biobased Industries Consortium 2019). Da biobasierte Produkte und Verfahren erhebliche Mengen an Biomasse als Ausgangsmaterial erfordern, wird in der aktualisierten Bioökonomiestrategie der EU die Berücksichtigung sicherer ökologischer Grenzen bei der Entwicklung der Bioökonomien der Mitgliedstaaten gefordert (Europäische Kommission 2018). Im Einzelnen heißt es in der aktualisierten europäischen Bioökonomiestrategie: „Es ist wichtig sicherzustellen, dass biologische Ressourcen innerhalb ihrer Nachhaltigkeitsschwellen verwendet werden, damit sie sich regenerieren können, und dass Ökosysteme nicht über ihre sicheren ökologischen Grenzen hinweg verschoben werden, z.B. durch Überschreitung bzw. Übernutzung der Kapazität spezifischer Ökosystemleistungen (Europäische Kommission 2018). Aktion 3 der EU-Bioökonomiestrategie beinhaltet ebenjene Berücksichtigung sicherer ökologischer Grenzen und fordert dazu auf die ökologischen Grenzen der Bioökonomie zu verstehen und anzuerkennen. Dabei werden Mitgliedstaaten dazu ermutigt (1) ihr Wissen über die Bioökonomie zu erweitern, um sie innerhalb sicherer ökologischer Grenzen zu platzieren; (2) ihre Beobachtungs-, Mess-, Überwachungs- und Berichtsfähigkeiten zu optimieren; und (3) die Vorteile artenreicher Ökosysteme besser in ihre Primärproduktion zu integrieren (Europäische Kommission 2018).

Eine wesentliche Stärke des Bioökonomiekonzepts ist die Entwicklung und Unterstützung der ländlichen Räume und Küstenregionen durch die Wertsteigerung von Rohstoffen aus der Land- und Forstwirtschaft, der Fischerei sowie der Abfallwirtschaft. Die Bioökonomie könnte die Landflucht aus vermeintlich strukturschwachen Regionen verringern und den territorialen Zusammenhalt durch soziale Innovation steigern. Im Rahmen einer Bioökonomie könnten so ineffizient bzw. gar nicht genutzte Potenziale und Ressourcen identifiziert, analysiert und nutzbar gemacht bzw. aufwertet werden. Das übergeordnete Ziel ist eine verhältnismäßige und gerechte Verteilung der Vorteile einer wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Bioökonomie in (ländlichen) Regionen, Ländern und ganz Europa.

Eine der 14 Aktionen, die in der Bioökonomiestrategie Europas definiert wurde, ist die Schaffung lokaler Bioökonomien in ganz Europa mithilfe folgender Unteraktionen:

- Entwicklung einer „strategischen Agenda für eine nachhaltige Lebensmittel- und Landwirtschaftssysteme, Forstwirtschaft und biobasierte Produktion in einer zirkulären Bioökonomie“. Diese ist definiert als ein systemischer und übergreifender Ansatz, der Akteure, Gebiete und Wertschöpfungsketten mit einer langfristigen Vision und einem Fokus auf eine nachhaltige inländische Produktion (auf EU-Ebene) verbindet. Diese Maßnahme befasst sich unter anderem mit Lebensmittelabfällen und Nebenprodukten, der nachhaltigen Nutzung von Meeren und Ozeanen, biobasierten Innovationen in der Landwirtschaft und der Aquakultur.
- Implementierung von „fünf Pilotmaßnahmen zur Unterstützung der Entwicklung lokaler (ländlicher, küstennaher oder städtischer) Bioökonomien mit Instrumenten und Programmen

der Kommission“. Ziel ist es, Synergien zwischen bestehenden EU-Instrumenten zur Unterstützung lokaler Aktivitäten zu verbessern und gleichzeitig einen expliziten Schwerpunkt auf die Bioökonomie zu legen. Einige dieser Pilotprojekte betreffen die sogenannte blaue Bioökonomie oder auch die inklusive Bioökonomien in ländlichen Räumen.

- Schaffung einer „Unterstützungseinrichtung für europäische Bioökonomie-Politik sowie eines Bioökonomieforums für Mitgliedstaaten“ innerhalb des Horizon 2020 Rahmenprogramms für Forschung und Innovation. Ziel ist es, damit die Entwicklung nationaler und regionaler Bioökonomiestrategien in entlegenen Gebieten sowie Kandidaten- und Beitrittsländern zu unterstützen.
- Förderung von „Bildung, Ausbildungen und Kompetenzen, die für die Bioökonomie von Relevanz sind“. Dies wird als wichtige Voraussetzung für die Entwicklung neuer umfassender Bioökonomieansätze und -wertschöpfungsketten verstanden. Darüber hinaus wird ein gewisses Maß an Flexibilität und Anpassungsvermögen von Bioökonomiesektoren verlangt (Europäische Kommission 2018).

Das Leitprinzip der Bioökonomie ist die Schaffung einer Kreislaufwirtschaft, die eine optimale Verwertung und Mehrfachnutzung von Rohstoffen und Stoffströmen im Sinne der Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit ermöglicht – auch sektorübergreifend. Bei der Entwicklung solch einer Bioökonomie bzw. Bioökonomiestrategie, sollten nach Mathijs et al. (2015) folgende Prinzipien befolgt werden:

- **Ernährung an erster Stelle** - Wie kann die Verfügbarkeit, der Zugang und die Verwendung nahrhafter und gesunder Nahrungsmittel weltweit für alle verbessert werden? Maßnahmen, die die Bereiche Landwirtschaft, Ernährung, Umwelt, Gesundheit, Energie, Handel und Auslandsinvestitionen betreffen sollten durch einen Ernährungssicherheitstest überprüft werden. Dabei gilt es direkte und indirekte Folgen der Maßnahmen abzuschätzen und zu bewerten.
- **Nachhaltige Erträge** – Nutzer sollten die Erneuerbarkeit der Biomasse berücksichtigen und wirtschaftliche Normen befolgen, die die Biomassenutzung- und -produktion regulieren. Biomasseertrag ist dann nachhaltig, wenn nur so viel Biomasse geerntet wird, wie nachwachsen kann. Dabei muss die gesamte Biomasse berücksichtigt werden. Ein wichtiger Indikator ist hier beispielsweise die Menge an organischer Substanz im Boden.
- **Kaskadennutzung** – Das Konzept der Kaskadennutzung sieht es vor, Biomasse so oft wie möglich in Form von biobasierten Produkten und Materialien zu verwenden, bevor sie schließlich zur Energiegewinnung genutzt wird. Als Teil der Kreislaufwirtschaft steigert die kaskadische Nutzung von Biomasse die Ressourceneffizienz und die damit einhergehende nachhaltige Nutzung sowie Wertschöpfung. Die Steigerung der Ressourceneffizienz erhöht zudem die allgemeine Rohstoffverfügbarkeit, da Biomasse mehrfach genutzt werden kann. Bei der praktischen Anwendung der Regeln der Kaskadennutzung ergeben sich jedoch zwei Herausforderungen: (1) Wie kann eine sequenzielle Nutzung von Biomasse umgesetzt werden? und (2) Wie können diese Regeln umgesetzt werden, wenn sie dem heutigen Marktverständnis widersprechen?
- **Zirkularität** - Der Kaskadenansatz befasst sich nicht mit dem Problem der Abfallreduzierung an sich. Abfall entsteht, wenn die Kosten für Wiederverwendung und Recycling höher sind als der Wert, der geschaffen wird. Das Konzept einer Kreislaufwirtschaft basiert auf drei Prinzipien: (1) Abfall existiert nicht, da die Produkte für einen Zyklus aus Demontage und Wiederverwendung ausgelegt sind; (2) Konsumgüter sollten nach ihrer kaskadischen Nutzung ohne Schaden in die Biosphäre zurückgeführt werden können und zu ihrer Restaurierung beitragen. Langlebige Güter sind darauf ausgelegt, ihre Wiederverwendung zu maximieren; und (3) Regenerative Energien sollen als Antrieb zirkulärer Prozesse verwendet werden.

- **Diversität** - Produktionssysteme sollten vielfältig sein, d.h. kontextspezifisch unterschiedliche Verfahren auf unterschiedlichen Skalen beinhalten und eine Vielzahl an Outputs erzeugen. Da Vielfalt der Schlüssel zur Resilienz ist, sollten in einer Bioökonomie Innovationen entwickelt werden, um Diversität zu fördern.

Die Umsetzung dieser Prinzipien ist in der Tat eine große Herausforderung. Die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen wird unsere Gesellschaften in den kommenden Jahren maßgeblich beeinflussen. Insbesondere die Gewährleistung einer ausreichenden Nahrungsmittelversorgung für die wachsende Bevölkerung verlangt von bestehenden Systemen sich zu erneuern, um nachhaltiger zu produzieren. Ein sensibler Umgang mit natürlichen Ressourcen und verstärkte globale Zusammenarbeit bieten die Möglichkeit, nachhaltige Lösungen zu identifizieren. Gleichwohl gilt es zu erkennen, dass unvollständige Optimierungsversuche nicht zwingend zu nachhaltigen Lösungen führen, insbesondere nicht auf lange Sicht (Europäische Kommission n.d.). Darüber hinaus könnte die Bioökonomie zu einem verstärkten Wettbewerb um landwirtschaftliche Flächen und Wasserressourcen führen, sofern die Biomasseressourcen nicht aus Abfall- oder Rückstandspools stammen. Dieser Wettbewerbszustand wird oft als „food vs. fuel“ bezeichnet. Negative Auswirkungen auf die Lebensmittelproduktion und -sicherheit sowie deren Preisstruktur könnten folgen (siehe Kapitel 5). Zudem könnte es zu einem verstärkten Wettbewerb zwischen biobasierten Produkten, wie beispielsweise zwischen biobasierten Materialien und Bioenergie kommen. Sowohl die Begrenztheit natürlicher Ressourcen als auch die ungleiche Verteilung von Förderprogrammen könnten die Ursache dafür sein. Somit kann der Übergang hin zu einer Bioökonomie die Nachfrage nach Land, Wasser und natürlichen Ressourcen, aber auch nach politischen, wirtschaftlichen und sozialen Veränderungen verstärken (z.B. Inklusivität) (Bourguignon 2017, Hoff et al. 2018). Die Bioökonomie kann auch negative Umweltauswirkungen mit sich bringen. So können natürliche Ressourcen zerstört sowie Ökosysteme, ihre Funktionen (z.B. Kohlenstoffspeicherung) und Vielfältigkeit beschädigt bzw. reduziert werden (z.B. durch direkte und indirekte Landnutzungsänderungen) (Bourguignon 2017, Hoff et al. 2018, MECE 2019) (siehe Kapitel 5).

Um diesen diversen Herausforderungen zu entgegnen, sind unterschiedliche Ansätze und Maßnahmen erforderlich. Dazu gehören unter anderem technische sowie soziale Innovationen. Für letztere sind informative Dialoge erforderlich, um eine Wissensbasis aufzubauen, die eine notwendige Grundlage für die Bewältigung der aufkommenden Herausforderungen darstellt. Die Europäische Kommission unterstützt die Entwicklung innovativer Technologien und Strategien sowie den Wissensaustausch zur Schaffung von Bioökonomiekonzepten in Europa.

Auf regionaler Ebene wird die Umsetzung von Bioökonomieprojekten und -initiativen durch verschiedene Interessengruppen, wie regionalen und lokalen Behörden, privaten Unternehmen, Universitäten, Forschungszentren und/oder Technologie- und Innovationsdienstleistern gefördert. Dabei sind die verschiedenen Interessengruppen häufig auf europäische und/oder nationale Kofinanzierung der Projekte angewiesen. Seltener kann auf lokale und regionale Ressourcen zurückgegriffen werden. Die wichtigste Finanzierungsquelle für FuE im Rahmen der Bioökonomie auf EU-Ebene sind die Europäischen Rahmenprogramme für Forschung und technologische Entwicklung.

Das im Rahmen des EU-Programms „Horizon 2020“ finanzierte Projekt „BE-Rural“ zielt darauf ab, die Entwicklung regionaler Bioökonomiestrategien und -roadmaps zu unterstützen, die eine nachhaltige Nutzung land- und forstwirtschaftlicher sowie mariner Ökosysteme fördern. Die konzeptionelle Grundlage von BE-Rural basiert auf einem fünffachen Helix-Ansatz, der Wissen mit Innovation kombiniert. Sowohl das Wissen als auch die Innovationen werden dabei von wichtigen Stakeholdern aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft im umweltspezifischen Kontext generiert (Abbildung 2) (Abhold et al. 2019).

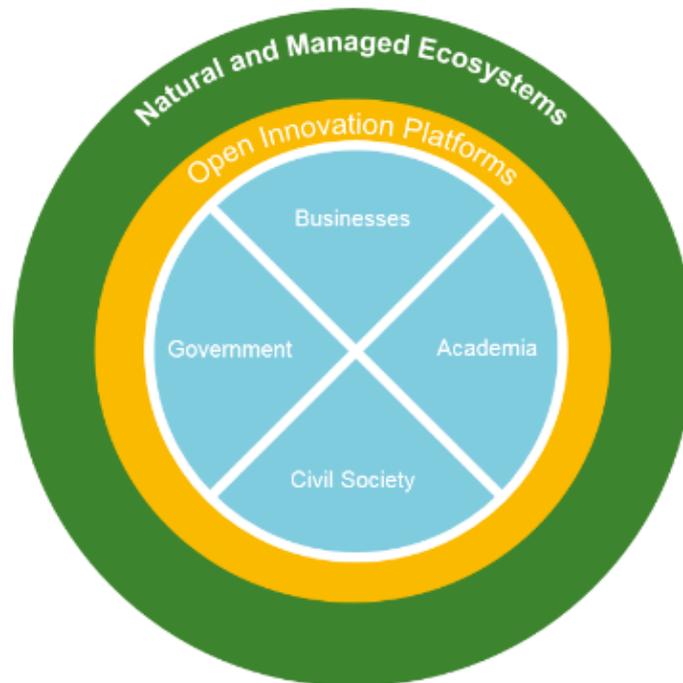


Abbildung 2: Der Quintuple Helix-Ansatz (Abhold et al. 2019)

Dieser Ansatz bettet frühere Ansätze der Triple Helix und Quadruple Helix ein. Der erstgenannte legt den Schwerpunkt auf die Schaffung, Anwendung, Verbreitung und Nutzung von Wissen - generiert durch die Interaktion von Wissenschaft, Industrie und Regierung. Die Quadruple Helix geht einen Schritt weiter und rahmt die Triple Helix im Kontext der Öffentlichkeit ein (z.B. medienbasierte und kulturbasierte Öffentlichkeit), sodass bei der Wissensproduktion, -anwendung, -verbreitung und -nutzung die gesellschaftliche Akzeptanz und Annahme eine Rolle spielt. Der Quintuple Helix-Ansatz berücksichtigt zusätzlich die natürliche Umwelt in den Wissensgenerierungs- und Innovationsprozessen. In anderen Worten fungiert die Umwelt als Treiber für die Schaffung neuen Wissens sowie neuer Innovationen als Reaktion auf Umweltherausforderungen (Abhold et al. 2019).

2.2 Biomasse – das Herzstück der Bioökonomie

Biomasse ist definiert als "der biologisch abbaubare Anteil von Produkten, Abfällen und Rückständen biologischen Ursprungs aus der Landwirtschaft (einschließlich pflanzlicher und tierischer Substanzen), der Forstwirtschaft und nachgelagerten Industrien, der Fischerei und Aquakultur sowie der biologisch abbaubare Anteil von Industrie- und Siedlungsabfällen" (Europäische Kommission 2009).

Die Entwicklung einer Bioökonomie hängt in erster Linie von der Verfügbarkeit von Biomasse als einzigem Ausgangsmaterial ab. Zwei Prämissen sind zu nennen, wenn es um die Verfügbarkeit von Biomasse aus Sicht der Bioökonomie geht: (1) Große Mengen Biomasse werden derzeit nicht ausreichend erschlossen und viele Abfallströme ineffizient oder gar nicht genutzt; (2) Das Biomassepotenzial kann durch die Schließen von Ertragslücken, die Steigerung der Produktivität und die Nutzung von marginalem, weniger fruchtbarem Land gesteigert werden. Neue und verbesserte Extraktions- und Verarbeitungstechnologien würden zudem zur Potenzialerweiterung beitragen. Die Entwicklung neuer innovativer Technologien zur Nutzung und Umwandlung von Biomasse betrifft schon jetzt eine Vielzahl von Anwendungsbereichen (Mathijs et al. 2015).

Insbesondere in der Land- und Forstwirtschaft werden nachwachsende Rohstoffe gesammelt, die zur Produktion von Materialien oder zur Erzeugung von Energie in Form von Wärme, Strom oder Kraftstoff

genutzt werden. Nachwachsende Rohstoffe haben gegenüber fossilen Ressourcen mehrere Vorteile. So setzen sie beispielsweise bei der Energieerzeugung weniger Treibhausgase frei als fossile Brennstoffe. Bei der Herstellung biobasierter Materialien wird Kohlenstoff effektiv im Produkt gespeichert. Das kann nachwachsende Rohstoffe zu Klimaschutzern machen. Ihre Verwendung ist häufig mit Vorteilen für die Umwelt verbunden. So sind Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen oft weniger (öko-) toxisch und ihre Produktion ist oftmals weniger energieintensiv (FNR n.d.). Entgegen der weit verbreiteten öffentlichen Wahrnehmung birgt der Anbau nachwachsender Rohstoffe nicht nur Risiken für die Biodiversität, sondern auch Chancen, das Artenspektrum in der Landwirtschaft zu erweitern. Das Angebot an Energie- und Rohstoffpflanzen ist breit und viel größer als das Spektrum der heute hauptsächlich angebauten Lebensmittel- und Futterpflanzen. Sobald nachwachsende Rohstoffe in der heimischen Land- und Forstwirtschaft hergestellt, weiterverarbeitet und verbraucht werden, bleibt die damit verbundene Wertschöpfung in der Region und schafft neue Arbeitsplätze. Dies bietet der lokalen Bevölkerung große Chancen und neue Perspektiven, insbesondere in strukturschwachen ländlichen Räumen, die von der Landflucht betroffen sind (FNR n.d.).

Nachwachsende Rohstoffe werden in einer Vielzahl von Industriezweigen sowie im privaten Sektor eingesetzt. Neben der speicherbaren Bioenergie, die mithilfe verschiedener Technologien und Verfahren in Strom, Wärme und Kraftstoffe umgewandelt werden kann, kann eine Vielzahl an Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Die Produktpalette reicht von Baustoffen über Papier und Pappe, Schmiermittel, Zwischen- und Endprodukte für die chemische Industrie bis hin zu Pharmazeutika, Kosmetika, Farbstoffen, Textilien und vielen mehr (FNR n.d.).

Nach Schätzungen des JRC (2019) wurden 2015 in der EU 1,2 Mrd. t Biomasse verbraucht. Ungefähr 1 Mrd. t der verbrauchten Biomasse stammte dabei aus Primärquellen der Landwirtschaft (74%), der Forstwirtschaft (26,6%) sowie der Fischerei und Aquakultur (0,3%) (Abbildung 3).

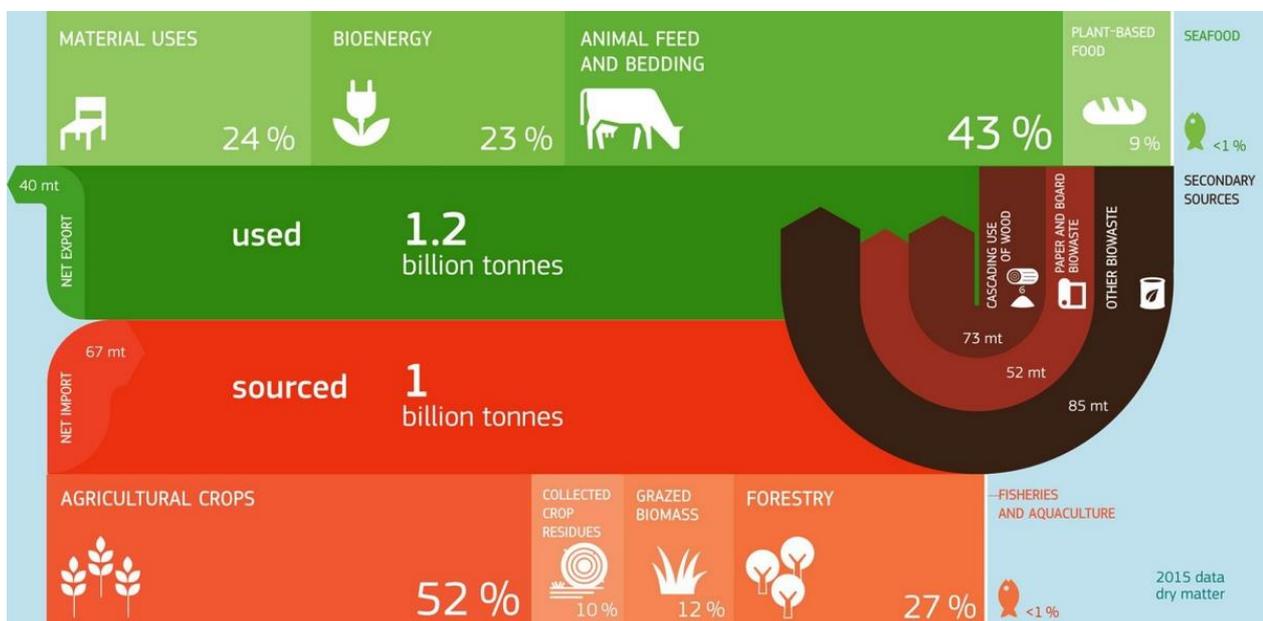


Abbildung 3: Quellen und Nutzungsformen von Biomasse in der EU (EU Science Hub 2019)

Die restlichen 0,2 Mrd. t stammen aus Sekundärquellen. Dazu zählen beispielsweise Abfälle aus der Papierindustrie, Nebenprodukte aus der Holzverarbeitung sowie weitere Abfälle aus dem Primär- und Sekundärsektor sowie aus Kommunen (EU Science Hub 2019). Es fällt auf, dass immer mehr Biomasse aus Abfällen gewonnen wird. Die Menge an biologischem Abfall, der nicht zurückgewonnen wurde (durch Recycling oder Energierückgewinnung), wurde zwischen 2010 und 2015 um 45% reduziert. Biomasse wird heute in unterschiedlichen Bereichen verwendet, so z.B. als Tierfutter und Streu (43,3%), Lebensmittel (9,6%), Energiequelle (23,3%, einschließlich Wärme, Strom und

Biokraftstoffen). Darüber hinaus wird Biomasse für verschiedene Materialanwendungen (23,8%), wie Holzprodukte und Möbel, Textilien und verschiedene Arten innovativer biobasierter Chemikalien, genutzt. Im Zeitraum 2010-2015 ist der Gesamtverbrauch an Biomasse in der EU um rund 8,5% gestiegen (Abbildung 4). Dieser Anstieg ist auf die steigende Nachfrage nach Bioenergie (+67 Mio. t), nach biobasierten Materialien (+15 Mio. t) sowie nach Tierfutter und Einstreu (+10 Mio. t) zurückzuführen. Relativ gesprochen stieg die Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung zwischen 2010-2015 um etwa 32%. Im gleichen Zeitraum hat die Verwendung von Biomasse zur Herstellung von Materialien um 5,6% zugenommen. Hier weist der biobasierte Chemiesektor den höchsten relativen Anstieg auf (+ 48,4%) (EU Science Hub 2019).

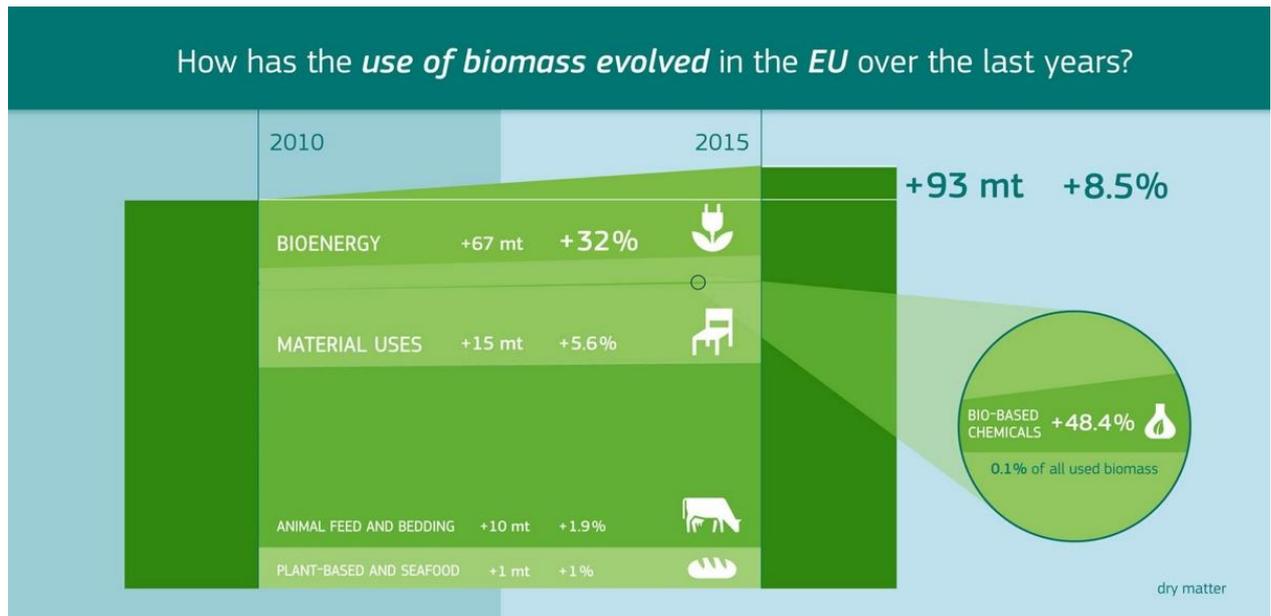


Abbildung 4: Entwicklung der Biomassenutzung in der EU (EU Science Hub 2019)

Biomasse kann auf verschiedene Arten mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad kategorisiert werden. Aus Sicht der Bioenergie können die wichtigsten Biomasserohstoffe in Energiepflanzen, wie Zucker- und Stärkepflanzen, Öl- und Lignocellulose-Pflanzen sowie Algen auf der einen Seite, und ölbasierte, lignocellulosehaltige und organische Rückstände sowie Abgase auf der anderen Seite unterteilt werden (ETIP n.d.). Biobasierte Produkte werden häufig aus zucker-, stärke- und proteinhaltigen Biomasserohstoffen sowie aus natürlichen Ölen, Holz und Naturfasern hergestellt. Darüber hinaus können biobasierte Materialien aus bestimmten Nischenrohstoffen hergestellt werden, die sich lediglich für die Herstellung kleiner Mengen bei niedrigem TRL eignen (InnProBio 2020). Ein Biomasserohstoff kann genügen, um mehrere biobasierte (Zwischen-) Produkte herzustellen (siehe Abbildung 5).

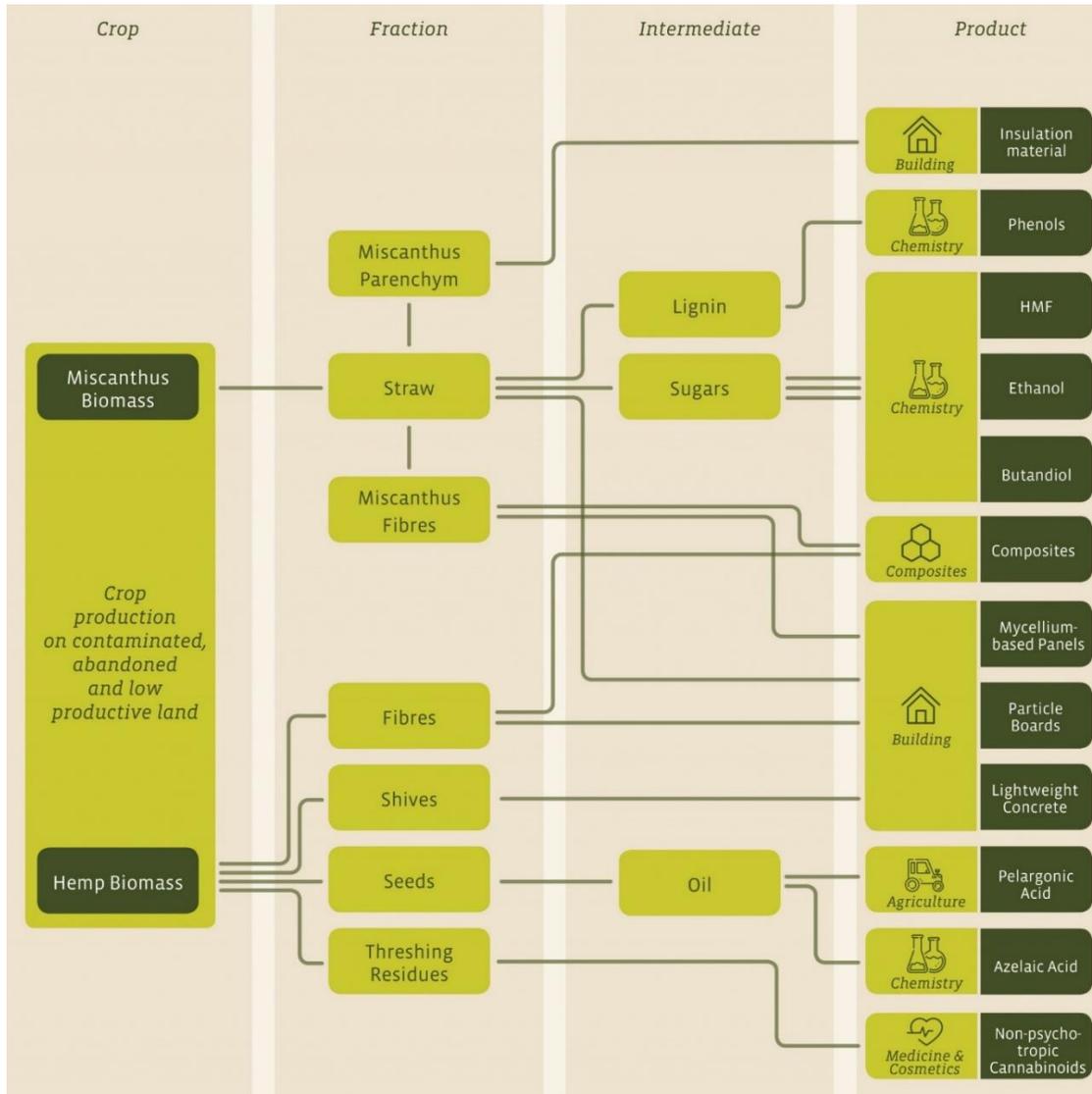


Abbildung 5: Verwendbarkeit von Hanf und Miscanthus für verschiedene Produkte und Anwendungen (Bioökonomie BW 2019)

2.3 Biomassekonversion

In einer Bioraffinerie können verschiedene Konversionskonzepte angewendet werden. Dabei gibt es verschiedene Ansätze zur Systematisierung von Bioraffineriekonzepten. Im IEA Task 42¹ wurden erstmals die Grundlagen für ein Klassifizierungssystem für Bioraffinerien entwickelt. Dieses Klassifizierungssystem stellt die Intermediate als Plattform der Bioraffinerie in den Mittelpunkt und orientiert sich damit an der Wertschöpfungskette der chemischen Industrie (Abbildung 6). Die Systematisierung erfolgt nach vier Strukturelementen: Rohstoffe, Plattform, Produkte und Prozesse. Das Kernelement des Systems sind Zwischenprodukte, die bei der Primärraffination entstehen und als Plattform für die Bioraffinerie zur Sekundärraffination dienen. Rohstoffe und Produkte werden einer Plattform zugeordnet, während die Prozesse das verbindende Element darstellen. Die Umwandlungsprozesse werden später im Text erläutert und näher beschrieben. Die Beschreibungen

¹ IEA Task 42 bietet eine internationale Plattform für die Zusammenarbeit und den Informationsaustausch zwischen Industrie, KMU, GOs, NGOs und Universitäten in Bezug auf FuE, Demonstration und Politikanalyse für und von Bioraffinerien.

für die Strukturelemente Rohstoffe, Produkte und Prozesse sind keine Besonderheiten der Bioraffinerie, sondern gelten auch für andere Konversionspfade der Biomasse (BMELV 2012).

Rohstoffe	Anbaubiomasse → Ölpflanzen → Stärkepflanzen → Zuckerpflanzen → Gräser → Holz → Holzartige Biomasse	Aquatische Biomasse → Algen	Biogene Rest- & Abfallstoffe → Land- und forstwirtschaftliche Reststoffe (bspw. Stroh, Gülle, Waldrestholz, Fruchtschalen) → Biogene Reststoffe aus der Verarbeitung (bspw. Molke, Schlempe, Trester, Treber) → Biogene Abfallstoffe (bspw. Altspeisefett, Altholz)
Plattform	→ Niedermolekulare Kohlenhydrate (bspw. Lactose, Saccharose) → Polymere Kohlenhydrate (bspw. Stärke, Inulin, Pektin) → Lignocellulose-Komponenten (Lignin, Cellulose, Hemicellulose) → Proteine → Pflanzenfasern → Pflanzenöle, Lipide → Pyrolyseöl → Presssaft → Biogas → Syngas		
Produkte	Materialien → Chemikalien → Werkstoffe → Futtermittel* → Nahrungsmittel*	Bioenergie → Feste, flüssige, gasförmige Bioenergieträger → Elektrizität → Wärme	
Prozesse	→ Physikalische einschl. mechanische Verfahren → Thermochemische Verfahren → Chemische Verfahren → Biotechnologische Verfahren		

* als Koppelprodukt

Abbildung 6: Elemente der Klassifizierung von Bioraffinerien (BMELV 2012)

Für die Bioraffination ist ein breites Spektrum an Technologien und Verfahren erforderlich. Es gibt grundsätzlich keine spezifischen Entwicklungen, die ausschließlich für Bioraffinerien außergewöhnlich sind. Der Schwerpunkt liegt in der innovativen Anpassung der bekannten Produktionstechniken an die spezifischen Eigenschaften der Biomasse. Dies erfordert die Entwicklung neuer und spezifischer Verfahren und Methoden sowie intelligente technische Lösungen für die Bereitstellung, Konditionierung und Umwandlung von Biomasse. Es können vier Hauptgruppen unterschieden werden, die - ohne Anspruch auf Vollständigkeit - den folgenden Prozessen zugeordnet werden können:

- **Physikalische, einschließlich mechanischer Prozesse**

- Standartverfahren zur Änderung von Materialeigenschaften (z.B. Mahlen, Trocknen, Heizen, Kühlen, Verdichten)
- Reinigungs- und Trennverfahren (z.B. Filtration, Destillation, Extraktion, Kristallisation, Adsorption, Siebung)

- Extraktionsverfahren
- Lösungs- und Formungsprozesse
- **Thermochemische Prozesse**
 - Verbrennung (Verbrennung von Biomasse in Gegenwart von Sauerstoff)
 - Vergasung (ein thermochemischer Prozess, bei dem Biomasse in ein brennbares Gas, das als Syngas oder Synthesegas bekannt ist, umgewandelt wird)
 - Pyrolyse (thermische Zersetzung einer Substanz in Abwesenheit von Sauerstoff)
 - Thermolyse (chemische Zersetzung durch Wärme)
 - Hydrothermische Prozesse
- **Chemische Prozesse**
 - Standardverfahren zur Materialumwandlung (z.B. Oxidation, Hydrierung, Veresterung, Veretherung, Isomerisierung, Hydrolyse, Polymerisierung)
 - Chemisch katalysierte Umwandlungen
- **Biotechnologische Prozesse**
 - Enzymatisch katalysierte Umwandlungen
 - Gärungs- und Zersetzungsprozesse (z.B. anaerobe Vergärung) (Agrela et al. 2019, BBJ Group 2018, BMEVL 2012).

Diese Prozesse können auch als integrierte Prozesse betrieben werden, z.B. durch die Kombination von Trenn- und Reaktionstechniken oder von chemischen und biotechnologischen Prozessen. Ein Prozess hat nicht nur Produkte und Edukte. Alle Prozesse benötigen zusätzliche Additive/Medien und Energie, die bei der Prozessentwicklung und der Kostenberechnung von Bioraffinerien berücksichtigt werden müssen. Bei der Verwendung von Biomasse müssen auch andere Faktoren (wie Nährstoffkreisläufe, die konkurrierende Verwendungen von Biomasse: Nahrungsmittel vs. Nichtnahrungsmittel sowie energetische Nutzung vs. materielle Nutzung von Biomasse) berücksichtigt werden. Um einen Umwandlungsprozess, eine technologische Entwicklung und einen Nutzungspfad bewerten zu können, muss eine Stoff- und Energiebilanz der Bioraffinerie erstellt und analysiert werden (BMEVL 2012, Gerssen-Gondelach et al. 2014).

3 Optionen für die Biomassenutzung in einer regionalen Bioökonomie

Die Entwicklung einer Bioökonomie erfordert Prozessinnovationen, die eine effiziente Nutzung und Aufwertung von Roh- und Reststoffen ermöglichen. Prozessinnovationen in der Bioökonomie umfassen sowohl Verfahren und Technologien, die biogene Roh- und Reststoffe als Ausgangssubstrat verwenden, als auch biobasierte Prozesse, die die Stoffwechselaktivitäten lebender Organismen wie Mikroorganismen, Bakterien oder Algen nutzen. In beiden Fällen muss es das Ziel sein, umweltfreundliche, flexible und wirtschaftlich tragfähige Verfahren zu entwickeln, die schnell skalierbar sind (Bioeconomy BW n.d.).

3.1 Energetische Nutzung von Biomasse

3.1.1 Biogene Festbrennstoffe zum Heizen und Kühlen

Biogene Festbrennstoffe sind alle festen organischen Komponenten, die als Brennstoff verwendet werden können. Im Kontext von BE-RURAL sind besonders Festbrennstoffe, wie Rundholz (Brennholz), Hackschnitzel, Pellets und Briketts aus der Forst- und Landwirtschaft von Relevanz.



Rundholz © VTT



Hackschnitzel © HFA



Pellets © GEMCO ENERGY



Brikettes © HFA

Abbildung 7: Verschiedene Arten von festen Biomassebrennstoffen

Als **Rundholz** bezeichnet man im Allgemeinen Holzstämme von land- oder forstwirtschaftlichen Betrieben, das gespalten und in Längen geschnitten wird und für die direkte Verwendung in Holzöfen oder -kesseln gedacht ist. In Europa hat Hartholz eine höhere Relevanz für die Verbrennung als Weichholz. Die häufigsten Holzarten für Rundholz in Europa sind Buche, Ahorn, Eiche, Esche und Birke. Es gibt aber auch einige Weichholzarten, die für die Verbrennung verwendet werden, wie Fichte,

Tanne und Lärche. Die üblichen Längen für Rundholz sind 0,25 m, 0,33 m und 0,50 m. Es ist üblich, Rundholz in Kubikmetern gestapeltem Holz zu kaufen, das normalerweise zu 70% aus Holz und 30% aus Luft besteht. Für eine hohe Verbrennungsleistung sollte der Feuchtigkeitsgehalt weniger als 15-20% betragen. Normalerweise hat frisch geerntetes Holz einen Feuchtigkeitsgehalt von etwa 50%. Um den geeigneten Feuchtigkeitsgehalt zu erreichen, ist eine angemessene Lagerung erforderlich. Die Zeit für die Trocknung variiert zwischen sechs Monaten und zwei Jahren, je nach Holzart und Lagerort. Ein guter Lagerort ist im Freien, an einem windigen und sonnigen Ort, der vor Regen geschützt ist (ETIP n.d. a).

Hackschnitzel bestehen aus holziger Biomasse, die für die Verbrennung zerkleinert wurde. Die Qualität der Hackschnitzel hängt von dem verwendeten Rohstoff und dem Holzhäcksler ab. Je nach Ausgangsrohstoff können Hackschnitzel in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Waldhackschnitzel (hergestellt aus Stämmen, kompletten Bäumen, Holzresten oder Stümpfen)
- Hackschnitzel aus Holzresten (hergestellt aus unbehandelten Holzresten, Recyclingholz, Verschnitt)
- Hackschnitzel aus Sägespänen (hergestellt aus Sägewerksrückständen)
- Waldhackschnitzel aus dem Kurzumtrieb

Das Ergebnis der Hackschnitzelproduktion ist ein relativ homogener Biomassebrennstoff, der Heizöfen und -kesseln automatisch zugeführt werden kann. Die durchschnittliche Größe eines Hackschnitzels liegt zwischen 16 und 45 mm. Holzhackmaschinen gibt es sowohl als kleine, elektrisch betriebene Gartengeräte als auch als Zusatzgeräte für Traktoren und andere Nutzfahrzeuge aus der Land- oder Forstwirtschaft. In Europa stehen drei Bauarten von Holzhackern zur Verfügung: der Scheibenhacker, der Trommelhacker und der Schraubenhacker.

Ein **Scheibenhacker** verfügt über ein Schwungrad aus Stahl und Hackmesser mit Schlitzscheiben (Abbildung 8). Die Messer schneiden durch das Holz, während das Material durch die Rutsche geführt wird. Die Messer, die sich im Inneren des Hackers befinden, schneiden das Holz in entgegengesetzter Richtung. Die Konstruktion ist nicht so energieeffizient wie andere Modelle, erzeugt aber gleichmäßige Formen und Größen der Holz hackschnitzel.



Schwungrad mit Hackmesser
eines Scheibenhackers
©greengain



Trommelhacker mit
hydraulischer Zuführung
©greengain



Blick in die
Zerkleinerungsvorrichtung
eines Schraubenhackers
©greengain

Abbildung 8: Verschiedene Arten von Holzhackern

Ein **Trommelhacker** verfügt über eine rotierende, parallel angebrachte Trommel mit verstärkten Stahlblättern (Abbildung 8). Das Holz wird durch die Schwerkraft und die Rotation der Trommel in den Schacht gezogen und dort von den Stahlblättern zerkleinert. Der Trommelhacker ist laut und erzeugt große ungleichmäßige Hackschnitzel. Zudem ist er energieeffizienter als der Scheibenhacker.

Ein **Schraubenhacker** verfügt über eine konische, schraubenförmige Klinge (Abbildung 8). Die Klinge rotiert parallel zur Öffnung, so dass das Holz durch die spiralförmige Bewegung in den Hacker gezogen wird. Schraubenhacker sind besonders im Privatbereich beliebt, da sie leise, einfach zu bedienen und sicherer als Scheiben- und Trommelhacker sind (Greengain 2015).

Um die Qualität von Hackschnitzeln zu kontrollieren und zu verifizieren, wurde die Europäische Norm DIN EN ISO 17225-4:2014-09 "Biogene Festbrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen - Teil 4: Klassifizierung von Holzhackschnitzeln" eingeführt. Dort sind vier verschiedene Qualitätsklassen (A1, A2, B1, B2) und drei verschiedene Korngrößenfraktionen (P16S, P31S, P45S) für Holzhackschnitzel definiert. Die Qualitätsklassen A1 und A2 werden beim Einsatz von Hackschnitzeln in privaten Haushalten (kleinskalig) verwendet, während die Klassen B1 und B2 in der Regel bei industriellem Hackschnitzeleinsatz (großskalig) eine Rolle spielen. Für Anlagen mit einer Mindestleistung von 1 MW sind spezifische Qualitätsvereinbarungen definiert. Die Korngrößenfraktionen geben den maximalen Feinanteil, den zulässigen Grobanteil, die maximale Partikellänge und die maximale Querschnittsfläche der Partikel an. Die Anwendung dieser Norm ist freiwillig (ETIP n.d. b).

Die mobile Holzhackschnitzelanlage von Erpék Ind²

Erpék Ind bietet eine mobile Holzhackschnitzelanlage an, die mit verschiedenen Holzrohstoffen betrieben werden kann. Der Holzhäcksler ist auf einem Anhängerstell montiert, weshalb er sehr flexibel und für verschiedene Untergründe geeignet ist. Da die Einheit von einem integrierten 60-PS-Dieselmotor angetrieben wird, kann sie autonom betrieben werden. Die Zuführung der Holzrohstoffe zum Häcksler erfolgt manuell. Das Gerät ist im Wesentlichen für Äste aus Obstgärten, Waldrestholz, Weihnachtsbäume aus städtischen Gebieten oder Äste aus städtischen Parks ausgelegt. Pro Stunde können bis zu 15 m³ Hackschnitzel produziert werden. Das Volumen der Rohstoffe kann somit auf 25% reduziert werden, wodurch Transport- und Logistikprozesse einfacher und billiger werden. Die Leistung der Maschine hängt stark von der Qualität, der Größe und der Art des Eingangsmaterials sowie von der Bedienung ab (Colmorgen and Khawaja 2019).



Mobile Holzhackschnitzelanlage © IPE

² Einigen der im Handbuch beschriebenen Biomassekonversionsoptionen sind ergänzende Infoboxen beigelegt. Diese enthalten relevante Best-Practice-Technologien für regionale Bioökonomien des Deliverables "D2.1 Small-scale technology options for regional bioeconomies" des BE-Rural-Projekts.

Pellets sind, mit oder ohne Zusatzstoffe, komprimiertes Ausgangsmaterial (normalerweise zylindrisch mit gebrochenen Enden) mit einer Länge von typischerweise 5 - 40 mm und einem Durchmesser von maximal 25 mm. Der Feuchtigkeitsgehalt von Holzpellets liegt normalerweise unter 10% und ihr Aschegehalt bei maximal 3%. Üblicherweise werden Pellets mit einer Pelletpresse hergestellt.

Die üblichen Pellets werden aus holzartiger Biomasse wie Sägemehl, Hackschnitzeln oder Forstabfällen hergestellt. Allerdings gibt es eine Vielzahl von Rohstoffen, die pelletiert werden können. Einige Beispiele sind Papierprodukte, Abfallbiomasse, Mais, Baumwollsaat, Hanf, Miscanthus, Schilfgras, Stroh, oder minderwertiges Heu. Die Brennstoffeigenschaften von Pellets aus alternativen Rohstoffen unterscheiden sich von Pellets aus holziger Biomasse. So enthalten Holzpellets maximal 15% Wasser, da sie sonst zerfallen. Im Gegensatz dazu variiert der Wassergehalt von alternativen Pellets zwischen 7% (Mais) und 56% (Hanf). Bestimmte Brennstoffeigenschaften lassen sich durch das Mischen verschiedener Rohstoffe in geeigneten Mengen einstellen.

Der Pelletierungsprozess umfasst die folgenden Schritte (Abbildung 9):

- Zerkleinerung der Biomasse, sofern sie nicht bereits zerkleinert vorliegt, wie z.B. Sägemehl
- Trocknung der Biomasse bis zu einem Feuchtigkeitsgehalt von 8-12%
- Feinmahlung der Biomasse mit einer Hammermühle, die das Rohmaterial in kleinere Partikel mit einem Durchmesser von maximal 5 mm zerkleinert
- Pelletieren: hier werden Pellets mit Hilfe spezieller Düsen extrudiert. Bei diesem Verfahren werden hoher Druck und hohe Temperaturen benötigt, die das Lignin im Holz aufweichen und das Material im Pellet binden.
- Abkühlung der Pellets
- Abfüllung und Verladung der Pellets

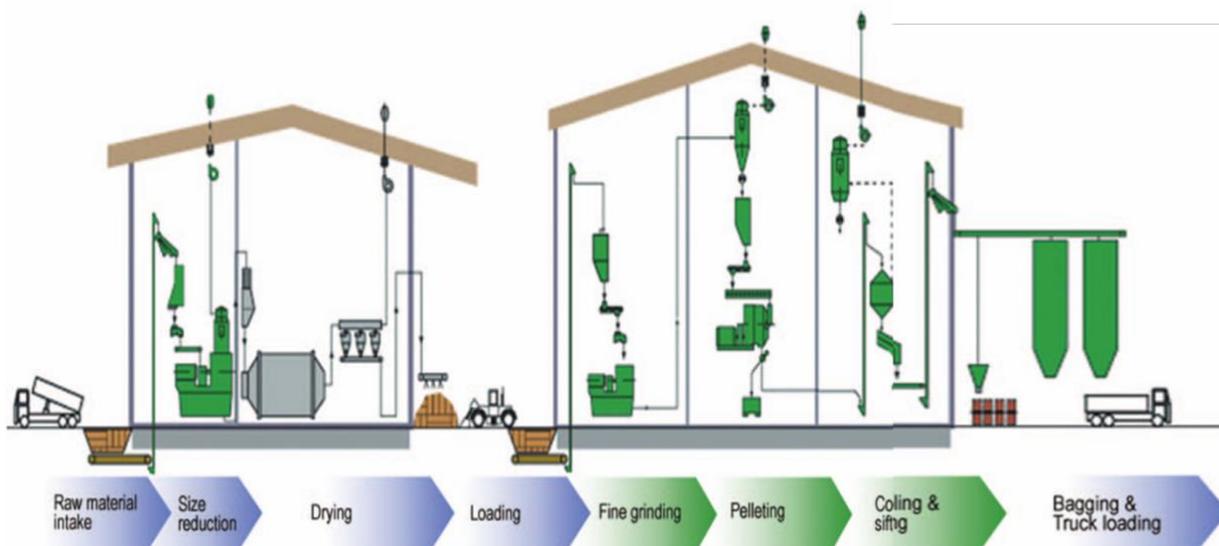


Abbildung 9: Der Pelletierungsprozess (Coford 2007)

Die Vorteile von Pellets gegenüber Rundholz oder Holz hackschnitzeln sind unter anderem die Möglichkeit, die Verbrennung aufgrund des gleichmäßigen Brennstoffs zu optimieren, die reduzierten Transportkosten aufgrund der erhöhten Rohdichte und die Verbesserung der Wärme- und Verbrennungseigenschaften.

Die Qualität von Holzpellets wird durch die europäische Norm (ISO 17225-2:2014 "Feste Biobrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen - Teil 2: Sortierte Holzpellets") definiert. Sie

unterteilt Pellets in drei verschiedene Klassen: A1, A2 und B. Die Unterschiede sind das Ergebnis der verschiedenen verwendeten Rohstoffe sowie deren Qualität. A1, A2 sind wichtige Holzpelletklassen für private Endverbraucher, während B für industrielle Anwendungen (z.B. Kraftwerke) von Bedeutung ist.

Briketts sind verdichtete feste Biobrennstoffe, die, mit oder ohne Zusatzstoffen, in kubischen, polyedrischen oder zylindrischen Einheiten mit einem Durchmesser von mehr als 25 mm hergestellt werden (ISO 2014). Es gibt eine breite Palette von Materialien, die zur Herstellung von Briketts verwendet werden können, wie z.B. Altpapier, Kartonage, landwirtschaftliche Reststoffe, Kohlenstaub oder Holzabfälle (z.B. Sägemehl). Der Brikettierungsprozess beginnt mit der mechanischen Zerkleinerung der Rohstoffe durch eine Zerkleinerungsanlage. Anschließend wird das zerkleinerte Material getrocknet bevor es in Brikettierungsmaschinen, wie Schneckenpressen, Stanzpressen und hydraulische Brikettierungsmaschinen, verdichtet bzw. verpresst wird. Die Briketts werden durch Druckagglomeration hergestellt, wobei das lose Material durch den Verdichtungsdruck und die intermolekularen Kräfte in eine dauerhafte, geometrische und definierte Form gebracht wird (Renewable Energy World 2014).

Auf **Haushaltsebene** wird Biomasse für Heizzwecke traditionell in Öfen verwendet, in denen Rundholz oder Briketts zur dezentralen Wärmeerzeugung verwendet werden. Der Wirkungsgrad liegt dabei häufig nur zwischen 10 und 30%. Neben Öfen können auch kleinere Heizkessel mit Briketts befeuert und zu Heizzwecken betrieben werden. Dafür können in der Regel auch kleinere biogene Brennstoffe, wie Pellets oder Holz hackschnitzel verwendet werden. In den letzten Jahren ist der Wirkungsgrad dieser Systeme mit der Entwicklung moderner Pelletkessel auf fast 90% gestiegen. **Mittlere zentralisierte Wärmeerzeugungsanlagen** verwenden vorrangig biogene Festbrennstoffe, die automatisch zugeführt werden können, wie Pellets oder Holz hackschnitzel. Die Befeuerung von Warmwasserkesseln zur Wärmeerzeugung hat dabei einen Wirkungsgrad von bis zu 90%. **Größere Fernwärmesysteme** und Industrieanlagen, die mit biogenen Festbrennstoffen betrieben werden, nutzen in der Regel Technologien der Kraft-Wärme-Kopplung für Heizzwecke. Für Kühlzwecke können Absorptions- (LZ zwischen 0,5 und 2,2) oder Adsorptionssysteme (LZ 0,5-1,5) verwendet werden, um die verfügbare Wärme nutzen zu können. Kälte wird dabei durch traditionelle mechanische Kompressionssysteme erzeugt, die oft elektrisch betrieben werden. Wenn erneuerbare Wärme oder Abwärme zur Verfügung steht, ist die thermische Kühlung durch Absorption oder Adsorption eine Option, diese zu nutzen (SETIS 2016). Auch Kraftwerke können mit biogenen Festbrennstoffen betrieben werden. Die meisten von ihnen verwenden direkt befeuerte Verbrennungssysteme. Bei Direktverbrennungssystemen werden biogene Festbrennstoffe in eine Brennkammer geleitet, wo sie mit Sauerstoff verbrannt werden, um Wasser in einem Kessel zu erhitzen und so Wasserdampf zu erzeugen. Eine Dampfturbine treibt schlussendlich einen Generator an, der Strom produziert (WBDG 2016). Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) erzeugen thermische und elektrische bzw. mechanische Energie in einem Prozess. Da die normalerweise abgeleitete Wärme auch an die Verbraucher abgegeben werden kann, liegt der Wirkungsgrad des gesamten Prozesses bei 80-90% (ETIP n.d. c).

3.1.2 Biomasse für die Biogaserzeugung

Biomasse kann durch einen Prozess, der anaerobe Vergärung (engl. Anaerobic digestion AD) genannt wird, in Biogas umgewandelt werden. Es handelt sich um einen mehrstufigen biologischen Prozess, bei dem eine Vielzahl von Mikroorganismen, in Abwesenheit von Sauerstoff, verdauliche Biomasse zersetzen. So wird Biomasse in Biogas umgewandelt, das hauptsächlich aus Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) und zu deutlich geringeren Anteilen aus Wasserstoff (H_2) und Schwefelwasserstoff (H_2S) besteht. Am Ende des Prozesses ist der verbleibende Gärrest oft reich an Nährstoffen, wie Ammonium und Phosphat. Daher kann er als Dünger in der Landwirtschaft oder im Landschaftsbau

verwendet werden. Die methanproduzierenden Mikroorganismen sind auch in der Natur zu finden, z.B. in Mägen von Wiederkäuern. Um den anaeroben Vergärungsprozess in einer Biogasanlage einzuleiten, muss dem Ausgangsmaterial ein Inokulum (Kuhdung) zugegeben werden.

Eine Vielzahl von Biomasseressourcen kann als Ausgangsmaterial für die anaerobe Vergärung verwendet werden. Darunter fallen agroindustrielle Abfälle, organische Lebensmittelabfälle, Schlamm aus Kläranlagen, Tierdung, landwirtschaftliche Rückstände und Energiepflanzen (z.B. Mais, Miscanthus, Sorghum). Der landwirtschaftliche Sektor produziert erhebliche Mengen an Abfall, die für die anaerobe Vergärung verwendet werden könnten. Damit können Biomasseabfälle den Landwirten helfen:

- Eigenen Strom und Wärme zu produzieren, und dadurch Geld zu sparen;
- THG-Emissionen im Zusammenhang mit Tierdung und Energieverbrauch zu reduzieren;
- Die starken Gerüche zu reduzieren, die mit der Verwendung von unbehandeltem Dung als Dünger verbunden sind;
- Organische Substrate vor Ort zu behandeln und verwerten, wodurch der Transport zu umliegenden Biogasanlagen wegfällt;
- Von den Vorteilen der Gärreste zu profitieren: flüssigeres organisches Substrat, das leichter auszubringen ist, verringertes Unkrautwachstum, pflanzenverfügbarer mineralisierter Stickstoff, etc.

Die Ausgangsstoffe oder Substrate für die anaerobe Vergärung können nach verschiedenen Kriterien klassifiziert werden: Herkunft, Trockensubstanzgehalt, Methanertrag usw. Substrate mit einem Trockensubstanzgehalt von weniger als 20% werden für den sogenannten Nassaufschluss (Nassfermentation) verwendet. Zu dieser Kategorie gehören Tierdung sowie verschiedene nasse organische Abfälle aus der Lebensmittelindustrie. Bei einem Trockensubstanzgehalt von bis zu 35% spricht man von einem Trockenaufschluss (Trockenvergärung), welcher typisch für Energiepflanzen und Silagen ist. Die Wahl der Art und Menge der Ausgangsstoffe für die Substratmischung hängt von deren Trockensubstanzgehalt sowie vom Gehalt an Zuckern, Lipiden und Proteinen ab. Substrate mit hohem Lignin-, Cellulose- und Hemicellulose-Gehalten können ebenfalls mitverdaut werden, jedoch wird in diesem Fall in der Regel eine Vorbehandlung durchgeführt, um ihre Verdaulichkeit zu verbessern (Al Seadi et al. 2008).

Die Zusammensetzung der im Biogas enthaltenen Gase ist je nach verwendetem Ausgangsmaterial unterschiedlich. Nach der Sammlung des Biogases wird dieses von Wasser und H₂S befreit. Letzteres ist ein giftiges Gas mit einem unangenehmen Geruch, der an faule Eier erinnert. In Verbindung mit den Wasserdämpfen im Biogas bildet H₂S Schwefelsäure. Die Schwefelsäure ist korrosiv und kann Schäden an Motoren, Rohren usw. verursachen. Um das im Biogas enthaltene Wasser zu entfernen, wird oft ein Kondensationsverfahren eingesetzt. Dabei wird das Gas in Leitungen abgekühlt, um das Wasser in einem Kondensationsabscheider am tiefsten Punkt der Leitung zu sammeln. Um Biogas von H₂S zu reinigen, können biologische, physikalische oder chemische Verfahren eingesetzt werden. Awe et al. (2018) geben einen detaillierten Überblick über die Reinigungs- und Veredelungstechnologien.

Biogas ist ein sehr wertvoller erneuerbarer Energieträger und ein wichtiger Bestandteil zukunftsfähiger Energiekonzepte. Es ist ein umweltfreundlicher Brennstoff, der zu 100% aus lokalen Rohstoffen hergestellt werden kann und sich für eine Vielzahl von Anwendungen eignet. Die kreislaufwirtschaftliche Wirkung der Biogasproduktion wird durch die im Produktionsprozess gewonnenen organischen Nährstoffe noch verstärkt. Biogas wird heute hauptsächlich direkt in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) zur Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie oder in traditionell gasbetriebenen Haushaltsgeräten, wie Gasöfen oder Gastrocknern, verwendet.

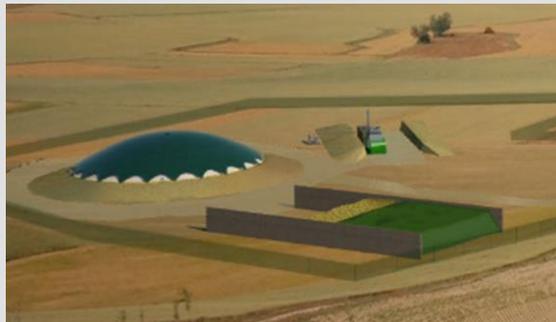
Zusätzliche Wertschöpfung kann durch die Aufbereitung des Biogases zu Biomethan erzielt werden. Bei der Biogasaufbereitung wird das Gas von CO₂ befreit, um den Heizwert und die relative Dichte des Biogases zu erhöhen. Die gängigsten Aufbereitungsmethoden sind die Druckwechseladsorption, die Druckwasserwäsche, die physikalische Absorption mit organischen Lösungsmitteln, die chemische Absorption mit organischen Lösungsmitteln, das Membranverfahren sowie die kryogene Trennung. Einzelheiten zu diesen Technologien finden sich in FNR (2013) und Awe et al. (2018). Nach der Aufbereitung liegt der Methananteil im Biogas bei mindestens 95%, und in der Regel bei etwa 98%.

Nach der Aufbereitung hat Biomethan die gleichen Eigenschaften wie Erdgas. Damit kann es in das Erdgasnetz eingespeist und für verschiedene Anwendungen verwendet werden (FNR 2013):

- Als Kraftstoff für Erdgasfahrzeuge. Eine Möglichkeit besteht darin, das Biomethan in das Erdgasnetz einzuspeisen und es anschließend an den Erdgastankstellen zur Verfügung zu stellen. Dies geschieht bereits an vielen Tankstellen in Deutschland, an denen meist Erdgas/Biomethan-Gemische angeboten werden.
- Als Ersatz für Erdgas in konventionellen Erdgasbrennern – und Kesseln von Privathaushalten und Industrien. Hauseigentümer müssen für die Nutzung von Biogas ihre bestehende Heizungsanlage nicht ersetzen.
- Als Ersatz für Erdgas in der Chemieindustrie. Dort wird Erdgas/Biomethan in synthetisches Gas (eine Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff) umgewandelt. Synthetisches Gas ist eine wichtige Quelle für Grundchemikalien und damit eine der wichtigsten Komponenten für viele chemische Produkte.

Der ADBag von Demetra

Im Demetra ADBag werden verschiedene Rohstoffe durch anaerobe Gärung in Biogas und Naturdünger umgewandelt. Der Demetra ADBag besteht aus einem plastifizierten Gewebesack, der als Reaktionsbehälter fungiert, und einem Technikcontainer, der die Zirkulation, die Beschickung und die Beheizung des Fermenters regelt. Je nachdem, in welcher Form der Kunde beabsichtigt, die Energie zurückzugewinnen, kann der ADBag mit oder ohne BHKW geliefert werden. Das Substrat im Inneren des Reaktionsbehälters wird durch das Zirkulationssystem ständig in Bewegung gehalten, um eine perfekte Durchmischung des Ausgangsmaterials zu gewährleisten und somit die Produktion von Biogas zu maximieren. Der gesamte Prozess wird überwacht, wobei das automatisierte System sowohl vor Ort als auch ferngesteuert (via Internet) bedient werden kann. Der Reaktionsbehälter ist teilweise in den Boden eingelassen, wobei das Aushubmaterial zur Bildung der Schultern rund um den Reaktionsbehälter verwendet wird. Elemente wie die Lagergruben für den Gärrest oder der Estrich für den Container können vor Ort aus vorgefertigten Betonelementen zusammengesetzt werden. Der ADBag ist mit einem Durchmesser von 12 m (ADbag12), 15 m (ADbag15) oder 18 m (ADbag18) erhältlich (Colmorgen und Khawaja 2019).



© Demetra

Biogasanlagen können je nach Bedarf in verschiedenen Größen gebaut werden. Große Biogasanlagen haben eine Leistung von mindestens 1.000 MWel, während mittelgroße Anlagen eine Leistung zwischen 500 und 1.000 MWel haben. Biogasanlagen mit einer Leistung kleiner 500 MWel werden als kleinskalige Anlagen deklariert (Collata and Tomasoni 2017). Obwohl die anaerobe Vergärung kleiner Mengen organischer Abfälle vor einigen Jahren noch als unrentabel galt, steigt die Zahl von kleinskaligen Biogasanlagen (Biogas World 2019). Das Interesse an sowie die Unterstützung von großskaligen Biogasprojekten ist in den meisten europäischen Ländern in den letzten Jahren angestiegen. Nach einer Periode der Stagnation, verursacht durch technische und wirtschaftliche Herausforderungen, haben die Umweltvorteile sowie die steigenden Preise für fossile Brennstoffe die Wettbewerbsfähigkeit von Biogas als Energieträger wieder verbessert (build a biogas plant n.d.).

3.1.3 Biodieselproduktion aus Ölpflanzen und gebrauchtem Speiseöl

Ölpflanzen sind Pflanzen, deren Samen, Nüsse, Bohnen oder Früchte eine bedeutende Menge an Öl enthalten. Darüber hinaus haben derartige Pflanzen häufig einen hohen Proteingehalt. Nach der Extraktion kann das Öl dieser Pflanzen zur Herstellung von Biodiesel und/oder biobasierten Materialien verwendet werden. Der zurückbleibende Eiweißkuchen kann für Futter- oder Lebensmittel verwendet werden. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Produktion von Biodiesel, während die Produktion von biobasiertem Material aus Ölpflanzen in Kapitel 3.2 detailliert beschrieben wird.

Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Ölpflanzen. Die bekanntesten sind Palmen, Soja, Raps und Sonnenblumen (Abbildung 10). Senf, Flachs, Jatropha, Kokosnuss, Hanf und Brunnenkresse zählen ebenfalls zu den ölhaltigen Pflanzen (ETIP n.d.). In der EU haben Bedenken über ILUC (indirekte Landnutzungsänderung) und die Debatte über „food vs. fuel“ zu Überlegungen geführt, die Produktion von Biokraftstoffen aus Lebensmittelpflanzen auf 7% zu begrenzen. Dies hat das Interesse an Ölpflanzen vergrößert, die auf marginalen Flächen angebaut werden können und nicht mit Nahrungsmittelpflanzen konkurrieren (ETIP n.d. d) (Abbildung 11 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Biodiesel wird durch einen chemischen Prozess (Umesterung) aus Pflanzenölen oder tierischen Fetten und Alkohol (üblicherweise Ethanol oder Methanol) in Gegenwart eines Katalysators (z.B. Natriumhydroxid) hergestellt.

Katalysator



Öl + Alkohol → Biodiesel + Glycerin



© Pixabay



© Pixabay

Ölpalme: *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera*



© Pixabay



© Pixabay

Soja: *Glycine max*



© Pixabay



© Wikipedia

Raps: *Brassica napus* subsp. *napus*



© Pixabay



© Pixabay

Sonnenblume: *Helianthus annuus*

Abbildung 10: Prominente Ölpflanzen



© Pixabay



© shawislandgatehouse

Kardone: *Cynara cardunculus*



© Pixabay



© Caluna agrotrade

Safflor: *Carthamus tinctorius*

© ETIP



© Feepedia

Leindotter: *Camelina Sativa*

Abbildung 11: Ölpflanzen, die auf marginalen Flächen angebaut werden könnten

Da Biodiesel aus einer Vielzahl von Ölpflanzen hergestellt werden kann, haben die gewonnenen Kraftstoffe eine große Vielfalt an physikalischen Eigenschaften (Viskosität und Brennbarkeit). Biodiesel kann mit konventionellem Diesel gemischt und als Kraftstoff genutzt oder ungemischt in Kompressionszündungsmotoren verwendet werden. Der Energiegehalt von Biodiesel entspricht 88-95% des Energiegehalts von konventionellem Diesel. Durch die verbesserte Schmierfähigkeit und die erhöhte Cetanzahl von Biodiesel sind sich die beiden Dieselkraftstoffe sehr ähnlich (FAO n.d.). Der höhere Sauerstoffgehalt von Biodiesel fördert eine vollständigere Verbrennung des Kraftstoffs, wodurch die Emissionen von Schadstoffpartikeln, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen reduziert werden. Wie Ethanol trägt Biodiesel zur Verringerung der Schwefeloxidemissionen von Fahrzeugen bei.

Neben Ölpflanzen kann auch gebrauchtes Speiseöl für die Biodieselproduktion genutzt werden. Altspesefette sind oftmals kostengünstig zu beschaffen. Hier liegt die besondere Herausforderung für die Produktion von Biodiesel in der Reinigung der Altspesefette. Diese sind oftmals mit Wasser, Fleischresten oder Paniermehl belastet, welche(s) es vor dem Raffinationsprozess herauszufiltern gilt. Eine weitere Herausforderung für die Biodieselproduktion aus Altölen ist der hohe Anteil an freien Fettsäuren (engl. free fatty acids, FFAs). Fette und Öle bestehen aus Triglyceriden - drei Fettsäuremoleküle, die an ein Glycerinmolekül gebunden sind. In Altölen sind einige der Triglyceride abgebaut, so dass die Fettsäuren vom Glycerinmolekül getrennt werden (FFA). Diese freien Fettsäuren neigen bei der Biodieselproduktion dazu, mit dem Alkalikatalysator zu reagieren und Seife, statt Biodiesel zu bilden. Die reduzierte Verfügbarkeit von freien Katalysatoren führt zu einer Verringerung der Geschwindigkeit bei der Umesterungsreaktion. Demnach verlangsamt die Seifenbildung die Reaktion. Intensive Seifenbildung hat eine reduzierte Biodieselproduktion zur Folge (Farm Energy 2019). Wenn FFA 4% des Ausgangsmaterials ausmachen, wird in der Regel ein zusätzlicher Katalysator hinzugefügt, wodurch die FFAs in Seife umgewandelt werden, die schlussendlich entfernt wird. Bei FFA-Anteilen von 3-15% werden die freien Fettsäuren durch

Vakuumdestillation aus dem Öl entfernt. Anschließend kann das Öl weiter zu Biodiesel verarbeitet werden, während die FFAs als Tierfutter verkauft oder separat verestert werden können (Farm Energy 2019). Sobald sich in den Ausgangsölen mehr als 15% FFA befinden, sind zusätzliche Prozessschritte erforderlich (z.B. Säurevorbehandlung oder Glycerolyse), bevor die Umesterung stattfinden kann.

3.1.4 Biomasse für die Produktion von Bioethanol

Bioethanol wird durch die Gärung von Zuckern unter anaeroben Bedingungen in Gegenwart von Wasser und Hefen hergestellt. Bioethanol ist eine klare, farblose Flüssigkeit, die biologisch abbaubar ist. Theoretisch verbrennt Ethanol sauber zu Kohlendioxid und Wasser. Bioethanol ist ein hochoktaniger Kraftstoff und hat Blei als Oktanzahlverbesserer im Benzin ersetzt. Durch die Mischung mit Benzin kann das Kraftstoffgemisch auch mit Sauerstoff angereichert werden, sodass es vollständig verbrennt und die Schadstoffemissionen reduziert werden. Die gebräuchlichste Mischung besteht aus 10% Ethanol und 90% Benzin (E10). Fahrzeugmotoren müssen nicht modifiziert werden, um mit E10 betrieben werden zu können. Zudem wird die Fahrzeuggarantie nicht beeinträchtigt. Flexible Fuel Vehicles (FFV) können mit E85 (85 % Ethanol und 15 % Benzin) betrieben werden.

Bioethanol kann je nach Ausgangsrohstoff in Bioethanol der ersten, zweiten und dritten Generation klassifiziert werden:

Bioethanol-Kraftstoffe der ersten Generation werden aus zuckerhaltigen Pflanzen (z.B. Zuckerrohr und Zuckerrüben) sowie stärkehaltigen Pflanzen (z.B. Mais und Weizen) hergestellt. Für Zuckerkulturen besteht der Prozess aus der Saftgewinnung; der Fermentierung des Saftes mit Hilfe von Hefen, wobei der Zucker in Bioethanol und CO₂ umgewandelt wird; der Destillation und Rektifikation, d.h. der Aufkonzentrierung und Reinigung des durch die Destillation und Trocknung des Bioethanols erzeugten Ethanols. Bei Getreide umfasst die Bioethanolproduktion das Mahlen bzw. die mechanische Zerkleinerung der Getreidekörner, um die Stärkekomponenten freizusetzen; das Erhitzen und die Zugabe von Wasser und Enzymen zur Umwandlung der Stärkekomponenten in fermentierbare Zucker; die folgenden Prozessschritte gleichen denen der Bioethanolproduktion aus Zuckerkulturen (pflanzliche Energien n.d.). Wie bei Biodiesel gibt es auch bei Bioethanol-Kraftstoffen der ersten Generation einige Bedenken hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit, da sie mit der Lebensmittelproduktion konkurrieren und weitere sozioökonomischen und ökologischen Fragen aufwerfen (Kobak und Balcerek 2018).

Bioethanol-Kraftstoffe der zweiten Generation, auch bekannt als hochmoderne Biokraftstoffe, konkurrieren nicht mit Lebensmitteln, da sie aus Non-Food-Biomasse hergestellt werden. Bioethanol der zweiten Generation wird typischerweise aus lignocellulosehaltiger Biomasse (z.B. mehrjährige Gräser, landwirtschaftliche Ernterückstände, Waldrestholz) hergestellt. Zudem ist es möglich, industrielle Nebenprodukte wie Molke oder Rohglycerin als Rohstoff zu verwenden. Lignocellulose gilt als eine erneuerbare und nachhaltige Kohlenstoffquelle, aber ihre Umwandlung in reduzierende Zucker ist schwieriger als die von Stärke. Der Grund dafür ist, dass lignocellulosehaltige Ressourcen eine komplexe Mischung aus Kohlenhydratpolymeren (Cellulose, Hemicellulose und Lignin) enthalten. Es gibt zwei Pfade, über die lignocellulosehaltige Biomasse in Ethanol der zweiten Generation umgewandelt werden kann: thermochemisch und biochemisch. Die biochemische Umwandlung ist eine sehr effiziente Form der Biomassekonversion. Sie umfasst die Vorbehandlung des lignocellulosehaltigen Materials, die enzymatische Hydrolyse, die Fermentation von Zuckern durch Mikroorganismen sowie die Destillation (Abbildung 12). Entlang des biochemischen Pfads wird die Biomasse während der Vorbehandlung biologischen, physikalischen (Wärme) oder chemischen Katalysatoren ausgesetzt, um die Cellulose sowie die Hemicellulose in Zucker aufzuspalten. Zusätzlich werden Biokatalysatoren, wie z.B. Enzyme zur Hydrolyse von Polysacchariden und fermentative Mikroorganismen (Hefe oder Bakterien) zur Fermentation von gemischten Zuckerströmen eingesetzt (Kobak und Balcerek 2018).

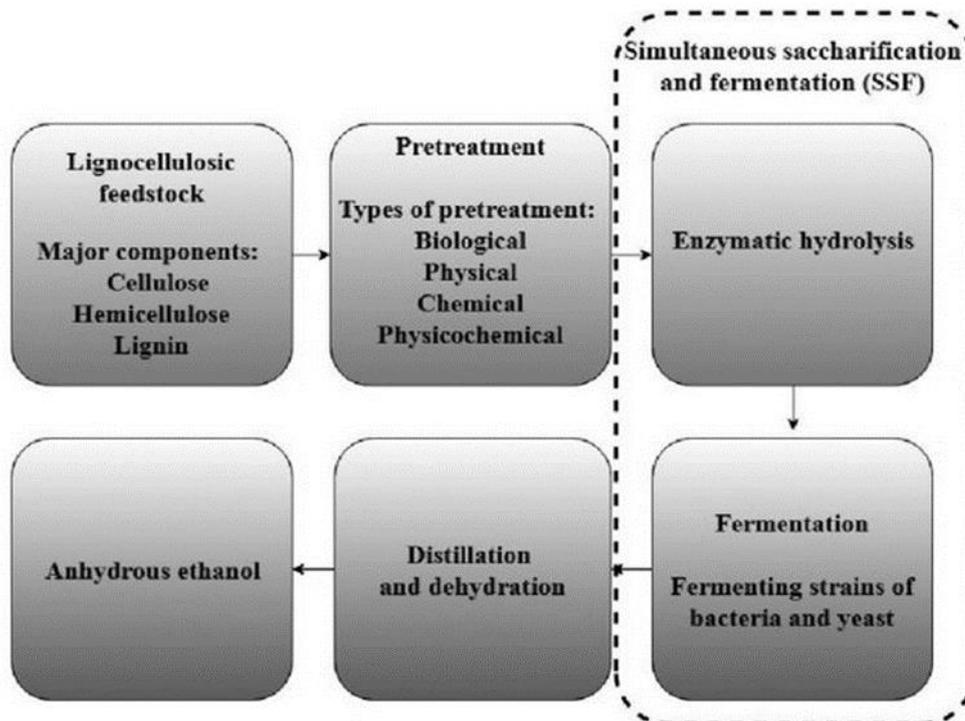


Abbildung 12: Wesentliche Schritte der Bioethanolproduktion (Kobak und Balcerek 2018)

Die Herstellung von **Bioethanol-Kraftstoffen der dritten Generation** basiert auf der Kultivierung von Mikroalgen oder einzelligen Mikroorganismen, die aus Eukaryonten und Prokaryonten gewonnen werden. Lebende Biokatalysatoren, in Form aktiver Mikroalgen, nutzen Nährstoffe (Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphat oder Schwefel) aus industriellen Abfallströmen als Basis, um Biomasse zu produzieren. Zu diesen Abfallströmen gehören Abgase aus Industriekraftwerken, Abwässer, Produkte der Hydrolyse organischer Abfälle sowie Gärrückstände aus der Biogasproduktion. Die Herstellung von Biokraftstoffen der dritten Generation trägt daher zur Reduzierung der Abfallströme aus vielen Industriezweigen bei. Die Sequestrierung von Kohlenstoff in Mikroalgen sowie die Umwandlung von Kohlenstoff in Biokraftstoffe durch Mikroalgen können zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen führen und damit das Klima schützen (Robak und Balcerek 2018).

3.2 Materielle Nutzung von Biomasse

Nach Angaben der EU werden biobasierte Produkte ganz oder teilweise aus Materialien biologischen Ursprungs hergestellt (Europäische Kommission n.d.). So können viele gebräuchliche Materialien wie Papier, Holz und Leder als biobasierte Materialien bezeichnet werden. Heute bezieht sich der Begriff oftmals auf moderne Materialien, die das Produkt innovativer und teils komplexer Produktionsverfahren sind. Zu den Materialien, die aus Biomasse gewonnen werden können, zählen u.a. Chemikalien, Lösungsmittel, Polymere (d.h. Kunststoffe) und Biokomposite/Bioverbundwerkstoffe (einige Materialien können in mehr als eine Kategorie fallen) (Curran 2010).

Zellulose, Lignin, Pflanzenöle und Zucker stellen die wichtigsten Rohstoffe für die Entwicklung einer neuen biobasierten (Chemie-) Industrie dar. In den letzten 20 Jahren wurde die zunehmende Bedeutung von biobasierten Produkten durch drei Faktoren stimuliert:

- Die Ersetzung von identischen petrochemischen Molekülen durch biobasierte Moleküle mit gleicher Struktur. Historisch hat sich die Pflanzenchemie in bestimmten Segmenten der chemischen Industrie (Klebstoffe, Tenside, Kosmetika usw.) oder im Papiersektor schon früh entwickelt. Der größte Teil dieser Entwicklung wurde durch die konsequente Substitution von

petrochemischen Molekülen durch Moleküle pflanzlichen Ursprungs (z.B. Polyethylen aus Petrochemikalien gegenüber Polyethylen aus Zuckerrohr) erreicht. Durch gezielte Nachahmung wurde der Zugang zu bereits bestehenden Märkten ermöglicht und gleichzeitig wurden die technischen und regulatorischen Risiken minimiert.

- Die Ersetzung eines petrochemischen oder mineralischen Moleküls/Produkts durch neue biobasierte Moleküle/Produkte ist ein Prozess, der seit Mitte der 2000er Jahre andauert. So kann ein Molekül/Produkt petrochemischen Ursprungs durch ein neues pflanzliches Molekül/Produkt mit einer anderen Molekularstruktur ersetzt werden (z.B. Polymilchsäure für einige Flaschen oder Glaswolle, die durch Hanfwolle ersetzt wird).
- Die Entwicklung neuer Anwendungen basierend auf den spezifischen Eigenschaften von Pflanzenmolekülen (ABGi n.d.).

3.2.1 Biokunststoffe

Laut European Bioplastics wird ein Kunststoff als Biokunststoff definiert, wenn er entweder biobasiert, biologisch abbaubar oder beides ist. Der Begriff "biobasiert" bedeutet, dass das Material oder Produkt (teilweise) aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen wird (Abbildung 13). Der biologische Abbau ist ein chemischer Prozess, bei dem in der Umwelt vorhandene Mikroorganismen Materialien in natürliche Stoffe wie Wasser, Kohlendioxid und Kompost umwandeln (künstliche Zusätze sind nicht erforderlich). Dieser Prozess hängt entscheidend von den umgebenden Umweltbedingungen (z.B. Standort oder Temperatur), vom Material und von der Anwendung ab. „Biobasiert“ ist nicht gleich „biologisch abbaubar“. Bedingt wird der biologische Abbau eines Materials/Produkts nicht von der Ressourcenbasis, sondern von seiner chemischen Struktur. Mit anderen Worten: 100% biobasierte Kunststoffe könnten nicht biologisch abbaubar sein, während 100% fossile Kunststoffe biologisch abgebaut werden könnten (European Bioplastics n.d.).

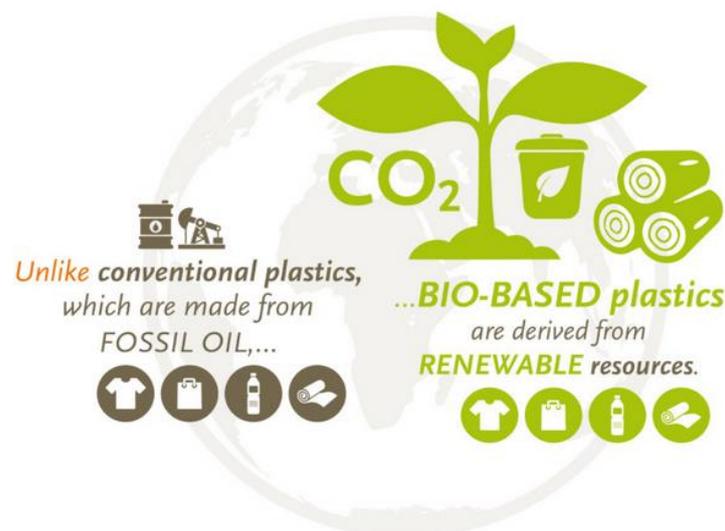


Abbildung 13: Konventionelle Kunststoffe vs. biobasierte Kunststoffe (European Bioplastics n.d.)

Biokunststoffe lassen sich in drei Hauptgruppen einteilen:

1. Biobasierte oder teilweise biobasierte, nicht biologisch abbaubare Kunststoffe wie biobasiertes Polyethylen PE, PP oder Polyethylenterephthalat PET (sogenannte Drop-in-Lösungen) und biobasierte technische Leistungspolymere, wie zahlreiche Polyamide (PA), Polyurethane

(PUR), Polyester (z.B. PTT, PBT) oder TPC-ET. In der Regel beträgt ihre Lebensdauer mehrere Jahre. Die Langlebigkeit der Materialien steht im Vordergrund, während die biologische Abbaubarkeit hier keine gefragte Eigenschaft ist.

2. Kunststoffe, die sowohl biobasiert als auch biologisch abbaubar sind, wie z.B. Polymilchsäure (PLA), Polyhydroxyalkanoate (PHA) oder Polybutylensuccinat (PBS). Sie werden erst seit wenigen Jahren im industriellen Maßstab produziert. Bislang wurden sie vor allem für kurzlebige Produkte, wie Verpackungen verwendet. Dieser innovative Bereich der Kunststoffindustrie wächst aktuell durch die Einführung neuer biobasierter Monomere, wie Bernsteinsäure, Butandiol, Propandiol oder Fettsäurederivate.
3. Kunststoffe, die aus fossilen Ressourcen gewonnen werden und biologisch abbaubar sind, wie PBAT. Sie stellen eine vergleichsweise kleine Gruppe dar und werden hauptsächlich in Kombination mit Stärke oder anderen Biokunststoffen verwendet, da sie deren Eigenschaften (z.B. biologische Abbaubarkeit, mechanische Charakteristika) verbessern. Bislang werden diese biologisch abbaubaren Kunststoffe noch in petrochemischen Produktionsprozessen hergestellt. In naher Zukunft werden derartige biobasierte Materialien vermehrt zur Verfügung stehen. (European Bioplastics n.d.)

Abbildung 14 zeigt gängige Arten von Biokunststoffen und wie sie nach ihrer biologischen Abbaubarkeit und ihrem biobasierten Anteil/Gehalt klassifiziert werden können.

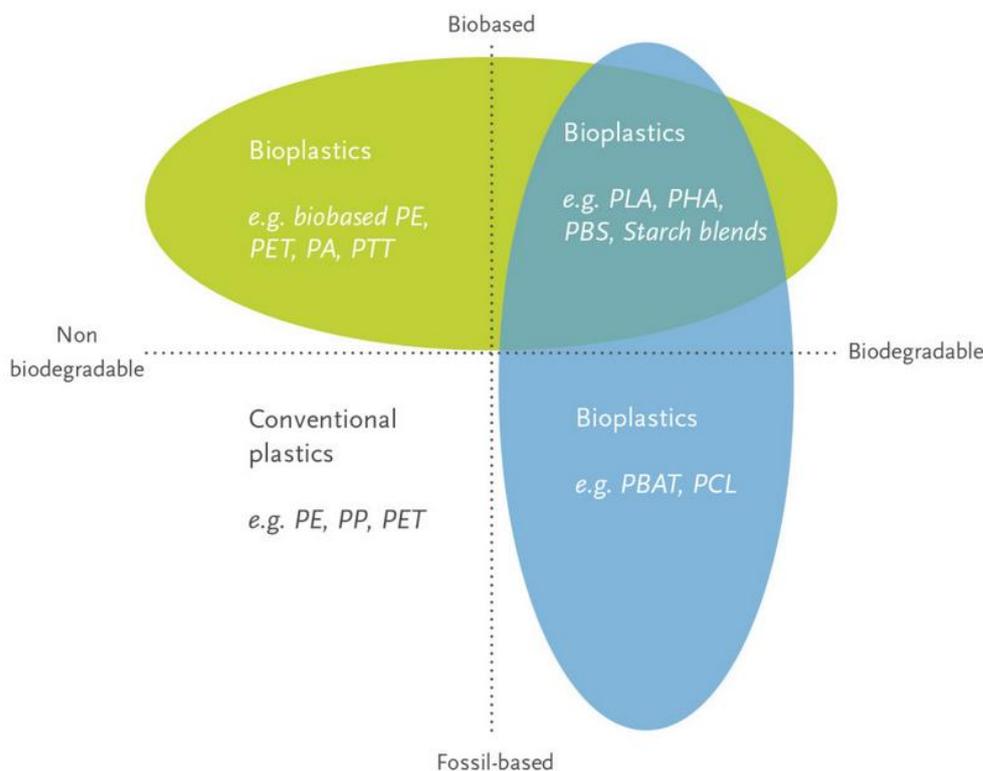


Abbildung 14: Klassifizierung von Biokunststoffen (European Bioplastics n.d.)

Je nach Beständigkeit oder Unbeständigkeit ihrer Form können Biokunststoffe in zwei Kategorien eingeteilt werden: Thermoplaste oder wärmehärtende Polymere (Duroplaste). **Thermoplaste** sind Kunststoffe, die sich bei Erwärmung in ihrer chemischen Zusammensetzung nicht verändern und daher immer wieder neu geformt werden können. Beispiele sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polyvinylchlorid (PVC). **Duroplastische Polymere** bleiben im Gegensatz zu Thermoplasten nach einmaliger Aushärtung in einem festen Zustand. Die Polymere innerhalb des

Materials stellen während des Aushärtungsprozesses eine unzerbrechliche, irreversible Verbindung zueinander her. Dies hat zur Folge, dass Duroplaste auch bei extrem hohen Temperaturen nicht schmelzen. Duroplaste haben eine niedrige Viskosität und sind leicht zu verarbeiten, da sie bei Raumtemperatur in flüssiger Form vorliegen. Somit ist keine zusätzliche Wärmezufuhr erforderlich. Ein Beispiel hierfür ist Polyurethan (PUR) (Romeorim n.d.).

Arten von Biokunststoffen

Biokunststoffe können außerdem nach ihrer Rohstoffquelle klassifiziert werden. Diese Klassifizierung ist insbesondere im Rahmen des BE-Rural-Projekts von Bedeutung, da hier gewisse Biomasseressourcen gegeben sind, die nutzbar gemacht werden könnten. Biobasierte Kunststoffe können aus einer breiten Palette von pflanzlichen Rohstoffen hergestellt werden. Natürliche Polymere (Makromoleküle) wie Polysaccharide (z.B. Stärke, Zellulose), Proteine, Lignin, Naturkautschuk, Monomere (Glukose, Fruktose), Dimere (Saccharose) und Fettsäuren (Pflanzenöle), werden als Basisrohstoffe bei der Herstellung von biobasierten Kunststoffen verwendet. Je nach Art der verwendeten Rohstoffe lassen sich dabei verschiedene Arten von Biokunststoffen unterscheiden:

1. Biokunststoffe auf Polysaccharid- (Mehrfachzucker-) Basis (Abbildung 15)

Polysaccharide gehören zu den wichtigsten natürlich vorkommenden Polymeren. Sie werden von lebenden Organismen synthetisiert und dienen als Energiereserven oder haben eine strukturelle Funktion für die Zellen bzw. den gesamten Organismus. Häufig vorkommende natürliche Polymere, die in Biokunststoffen eingesetzt werden können, werden im Folgenden vorgestellt:

Thermoplastische Stärke (TPS): Sie wird durch die Zerstörung (Extrusion) von Stärke durch ausreichend mechanische Energie und Wärme in Gegenwart von so genannten Weichmachern wie Glycerin hergestellt. TPS kann für die Herstellung aller Arten von Verpackungen, wie Folien oder Beutel (für Einkäufe oder Abfälle) und Einzelprodukte (z.B. Teile von Großküchengeräten) verwendet werden und ist damit ein gleichwertiger Ersatz für herkömmliche Materialien wie Polyolefine oder PVC sein (ŁUKASIEWICZ n.d.). Zudem ist TPS eine Alternative zu Gelatine und kann in der Pillen- und Kapselproduktion verwendet werden.

Celluloseregenerat: Cellulose ist der Hauptbestandteil der Zellwände (dieser kann variieren) in allen höheren Formen des pflanzlichen Lebens. Sie ist daher die häufigste organische Verbindung und das häufigste Polysaccharid. Sobald Cellulose chemisch gelöst und in Form von Fasern oder Filmen neu strukturiert wird, spricht man von einem Celluloseregenerat. Die bekanntesten Vertreter der Celluloseregenerate sind Viskose, Viskoseseide, Zellwolle oder Kunstseide (FNR 2019).



TPS-Lebensmittelverpackung
© John R. Dorgan



Viskoseseiden-Gewebe
© Rudolf group



Transparente Würfel aus
Celluloseacetat
© Michael Thielen

Abbildung 15: Beispiele für Biokunststoffprodukte auf Polysaccharidbasis

Celluloseester: Sie werden aus natürlicher Cellulose abgeleitet und durch Veresterung von Cellulose mit organischen Säuren, Anhydriden oder Säurechloriden hergestellt. Aufgrund seiner

Anwendungsvielfalt in Fasern und Kunststoffen, ist Celluloseacetat der wichtigste organische Ester. Nachteile des Materials sind seine Feuchtigkeitsempfindlichkeit, die begrenzte Kompatibilität mit anderen synthetischen Harzen sowie die hohen Verarbeitungstemperaturen (Edgar 2004).

Celluloseether: Sie sind wasserlösliche Polymere, die durch chemische Behandlung von Cellulose und einer Reaktion mit Veretherungsmitteln wie chloriertem Ethylen, chloriertem Propylen und oxidiertem Ethylen hergestellt werden. Celluloseether werden als funktionelle und rheologische Additive verwendet und fungieren als Verdickungsmittel, Emulgatoren, Schutzkolloide, Stabilisatoren und zur Wasserrückhaltung (Vink Chemicals n.d.).

2. Biokunststoffe auf Zuckerbasis (Abbildung 16)

Zucker (z.B. Glukose, Saccharose) ist in Pflanzen und Feldfrüchten enthalten. Nach seiner Extraktion kann er zu Biokunststoffen weiterverarbeitet werden. Die in den stärkehaltigen Pflanzen (z.B. Mais, Mais) enthaltene Stärke kann ebenfalls extrahiert, mit Enzymen zu Glukose hydrolysiert und dann wie Zucker zu Biokunststoffen weiterverarbeitet werden. Darüber hinaus existieren Mikroorganismen, die durch Verstoffwechslung von Zucker, Biokunststoffe herstellen können. Die gebräuchlichsten Biokunststoffe auf Zuckerbasis sind im Folgenden aufgeführt:

Polymilchsäure (PLA): Ein biobasierter Polyester, der als der wichtigste Biokunststoff auf dem heutigen Markt gilt. Der Produktionsprozess umfasst die Fermentation von Zucker zu Milchsäure durch Mikroorganismen (bei Verwendung von Stärke erfolgt zunächst eine Hydrolyse mit Enzymen) als ersten Schritt. Anschließend folgt die Dehydratisierung, die die Milchsäure in Lactid umwandelt. Abgeschlossen wird der Produktionsprozess mit der Polymerisation von Lactid (Monomer), die zur Herstellung von PLA führt. Durch Variation der Zusammensetzung und Qualität des vielseitigen Kunststoffs kann dieser so hergestellt werden, dass er schnell biodegradierbar ist oder jahrelang hält. Große Stabilität sowie Transparenz sind weitere Vorteile von PLA. Ein Nachteil des Materials ist die niedrige Erweichungstemperatur (ca. 60 °C). Demnach ist PLA beispielsweise nur bedingt für die Herstellung von Bechern für Heißgetränke geeignet. PLA-Mischungen haben ein breites Anwendungsspektrum. Sie eignen sich für Computer- und Handygehäuse, biologisch abbaubare medizinische Implantate, Folien, Dosen, Becher, Flaschen und Verpackungsvorrichtungen. Medizinische Schrauben, Nägel, Platten aus PLA und PLA-Copolymer-Kunststoffen können vom Körper resorbiert werden (Innovative Industry 2010).

Polyhydroxybutyrat (PHB): PHB ist eines der Mitglieder der Polyhydroxyalkanoat-Familie (PHA). Es handelt sich um einen biobasierten Polyester, der von Mikroorganismen synthetisiert wird. Diese ernähren sich unter limitierten Stickstoffbedingungen von kohlenstoffreichen Quellen wie Zucker oder Stärke und akkumulieren damit PHB in ihren Zellen als Reserven (bis zu 80% ihres eigenen Körpergewichts). Danach kann das Biopolymer isoliert, compoundiert und granuliert werden. Es wird hauptsächlich in der Lebensmittelverpackungsindustrie und in der biomedizinischen und pharmazeutischen Industrie verwendet. Bislang ist die Verwendung von PHB aufgrund der hohen Produktionskosten begrenzt (Tripathi 2015).

Polybutylensuccinat (PBS): PBS ist ein thermoplastischer Polyester, der durch Polykondensation von Bernsteinsäure und 1,4-Butandiol (BDO) hergestellt wird. Bernsteinsäure entsteht bei der Fermentation von Zucker durch Mikroorganismen und ist eine der wichtigsten neuen Chemikalien der Bioökonomie. Sie ist ein sehr vielseitiger Baustein, von dem erwartet wird, dass er sich zu einer Plattformchemikalie mit einem breiten Anwendungsspektrum entwickelt. Dieses reicht von hochwertigen Nischenanwendungen (z.B. Körperpflegeprodukte, Lebensmittelzusatzstoffe) bis hin zum großvolumigen Einsatz in Biopolymeren, Polyurethanen, Harzen und Beschichtungen (Nova Institut 2018). PBS ist ein kristalliner Polyester mit einem hohen Dauergebrauchstemperaturbereich von -40 bis ca. 115 °C.

Polyethylenterephthalat (PET): PET ist ein thermoplastischer Polyester, der durch Polykondensation von Monoethylenglykol (oder Ethylenglykol) und Terephthalsäure oder Dimethylterephthalat hergestellt wird. Als Rohstoff für die Herstellung beider Komponenten, die mit unterschiedlichen Verfahren realisiert werden kann, wird Zucker verwendet. Sobald die Terephthalsäure aus fossilen Ressourcen stammt, handelt es sich nur noch teilweise biobasiertes PET. Unabhängig davon, ob PET teilweise oder vollständig aus erneuerbaren Ressourcen hergestellt wird, ist das Material chemisch gesehen identisch mit herkömmlichem PET - und auch die Anwendungen sind die gleichen. Da das Material ausgezeichnete Wasser- und Feuchtigkeitsrückhalteeigenschaften besitzt, wird es häufig zur Herstellung von Kunststoffflaschen für Mineralwasser und Erfrischungsgetränke verwendet (FNR 2019).

Polytrimethylenterephthalat (PTT): PTT ist ein Polyester, der, ähnlich wie PET, durch Polykondensation von Terephthalsäure oder Dimethylterephthalat und einem Diol hergestellt wird. PTT wurde zunächst hauptsächlich in Form von gesponnenen Fasern und Textilien auf den Markt gebracht. Da die Fasern und Textilien besonders weich sind und dennoch stark beansprucht werden können, wurden sie besonders für die Herstellung von Teppichen für den Haushalt und für die Automobilindustrie verwendet. Mit einer hochwertigen Oberflächenbeschaffenheit und einem geringen Schrumpf- und Verformungsverhalten eignet sich das Material zudem u.a. für elektrische und elektronische Bauteile wie Stecker, Gehäuse oder für Entlüftungsöffnungen an Autoarmaturen (FNR 2019).

Polyethylen (PE): PE ist ein Polyolefin, das durch die Dehydrierung von Bioethanol hergestellt wird. Er ist der gängigste Kunststoff der Welt. Biobasiertes PE hat die gleichen Eigenschaften wie fossiles PE und kann daher in den gleichen Anwendungsfeldern genutzt werden. Produkte aus PE sind beispielsweise Folien (Lagerbeutel, Beutel, Verpackungsfolien), blasgeformte Hohlkörper wie Getränkebehälter, Automobilkraftstofftanks, Spritzgussteile oder Schläuche.



Kaffee kapseln aus
biobasiertem PLA
© COEXPAN

Flasche aus 30% biobasiertem
PET
© Coca cola

Verpackungen aus PBS
© Mitsubishi chemical

Abbildung 16: Beispiele für Produkte aus zuckerbasierten Biokunststoffen

3. Kunststoffe auf Ölbasis

Die Verwendung von Pflanzenölen steht derzeit im Fokus der chemischen Industrie, da sie aufgrund ihrer Ubiquität, ihrer inhärenten biologischen Abbaubarkeit, ihres niedrigen Preises und der hervorragenden Umweltverträglichkeit (d.h. geringe Ökotoxizität und geringe Toxizität für den Menschen) eine der wichtigsten erneuerbaren Plattformchemikalien sind (Lligadas et al. 2013). Diese natürlichen Eigenschaften sind auch für die Forschung und Entwicklung verschiedener Disziplinen von großem Interesse. Schon heute werden Polymere und Verbundwerkstoffe auf Pflanzenölbasis in zahlreichen Anwendungen wie Farben und Beschichtungen, Klebstoffen und in der Biomedizin (chirurgische Dicht- und Klebstoffe, pharmakologische Pflaster, Wundheilungsvorrichtungen und

Arzneimittelträger, als Gerüst für das Tissue Engineering) eingesetzt. Die am häufigsten verwendeten Kunststoffe auf Ölbasis sind Polyurethan und bestimmte Polyamide.

Polyurethane (PUR): PUR werden durch eine Reaktion zwischen Isocyanaten und Polyolen hergestellt. Sie können hart und spröde, elastisch, geschäumt oder kompakt sein. Biobasierte PUR sind nicht biologisch abbaubar und haben die gleichen Eigenschaften wie fossile PUR. Demnach werden sie für die gleichen Anwendungen, z.B. zur Herstellung von hochelastischen Schaumstoffsitzen, Hartschaum-Isolierplatten, mikrozellularen Schaumstoffdichtungen, langlebigen Elastomerrädern und -reifen, Kfz-Aufhängungsbuchsen, elektrischen Vergussmassen, Hochleistungsklebstoffen, Oberflächenbeschichtungen und -dichtungen, synthetischen Fasern (z.B. Spandex), Teppichunterlagen, Hartkunststoffteilen (z.B. für elektronische Instrumente) oder Kondomen verwendet. (Howe 2018).

4. Kunststoffe auf Proteinbasis

Proteine sind natürliche Polymere, die aus Aminosäuren aufgebaut sind. Casein ist ein Protein, das häufig in tierischer Milch vorkommt. Es spielt schon jetzt eine bedeutende Rolle in der Bioökonomie und wurde bzw. wird als Nahrungsergänzungsmittel und auch als Bindemittel oder Kapsel für pharmazeutische Tabletten verwendet. Ein Beispiel für einen Biokunststoff auf Proteinbasis ist Gelatine. Gelatine wird durch die unvollständige Hydrolyse von Kollagen, einem natürlichen Polymer, das in tierischem Protein vorkommt, hergestellt (IfBB 2017).

5. Kunststoffe auf Ligninbasis

Lignin ist ein natürliches Matrixmaterial, das die starken und steifen Zelluloseeinheiten, beispielsweise in Holz, bindet. Nach der Trennung kann es chemisch modifiziert oder gemischt werden, um ein thermoplastisches Polymer herzustellen, das sich wie synthetische Thermoplaste erhitzen und verarbeiten lässt. Typischerweise liegt Lignin in Form eines braunen Pulvers oder häufiger noch als gummiartige Mischung mit einem breiten Molekulargewichtsbereich vor. Es ist ein Nebenprodukt der Zellstoffindustrie. Die weltweit erzeugte Menge beträgt etwa 50 Millionen Tonnen pro Jahr (Quarshie und Carruthers 2014).

3.2.2 Bioverbundwerkstoffe

Verbundwerkstoffe werden durch die Kombination von Materialien zu einer Gesamtstruktur mit spezifischen Eigenschaften gebildet, die sich von denen der einzelnen Komponenten unterscheiden. Das gängige Beispiel für Verbundwerkstoffe sind die synthetischen Polymere, die mit synthetischen Fasern wie Glas- oder Kohlefasern verstärkt sind. Wenn die Polymere und/oder die zur Bildung des Verbundwerkstoffs verwendeten Fasern organischen Ursprungs sind, kann man von einem Bioverbundwerkstoff oder Biokompositen sprechen.

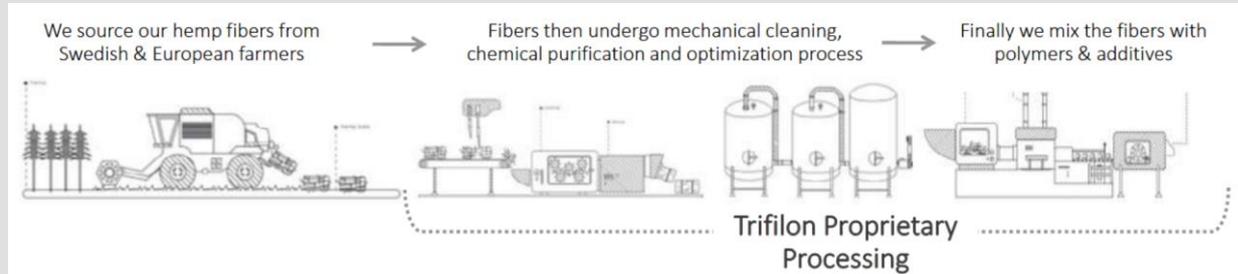
Kompositmaterialien aus natürlichen, erneuerbaren Ressourcen haben in den letzten Jahren ein großes Interesse erhalten, insbesondere aufgrund des gestiegenen Umweltbewusstseins sowie der Bemühungen um umweltverträglichere Technologien. Gewichtsreduzierungen, zusätzliche Funktionalität (z.B. (Stoß-) Dämpfung) und arbeitsmedizinische Vorteile sind nur einige positive Eigenschaften von Bioverbundwerkstoffen.

Naturfasern wie Hanf-, Jute- und Bambusfasern haben gute Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften, sind wesentlich leichter als herkömmliche Verstärkungen wie Glasfasern, relativ kostengünstig und biologisch abbaubar. Zusätzlich zu den vorteilhaften mechanischen Eigenschaften reizen Naturfasern nicht, was sie sicherer und einfacher in der Handhabung macht. Zudem schonen sie Werkzeuge und Fertigungsanlagen durch reduzierte Abnutzung und Verschleiß. Naturfasern sind biologisch abbaubar und/oder recycelbar, je nach dem gewünschten und definiertem Lebenszyklus des Produkts. Nachteile von Naturfasern als Verbundverstärkungen sind die relativ hohe Feuchtigkeitsaufnahme, die zu

Quellung, Verrottung und reduzierten mechanischen Eigenschaften führen kann, die geringe Schlagfestigkeit sowie die relativ niedrige Temperaturtoleranz (die Zersetzung erfolgt normalerweise bei etwa 200 °C). Naturfasern sind von Natur aus hydrophil ("wasserliebend"), was bei der Kombination mit hydrophoben ("wasserhassenden") Polymermatrixmaterialien zu Kompatibilitätsproblemen führen kann (Quarshie und Carruthers 2014).

Das Biokomposit BioLite™

Die Firma Trifilon entwickelte ein Verfahren zur Herstellung eines Biokomposits, das ähnliche Eigenschaften wie konventionelle erdölbasierte Verbundwerkstoffe aufweist. Für die Herstellung werden zwei Rohstoffe benötigt: zum einen Naturfasern wie Hanf- oder Flachsfasern, die von lokalen oder europäischen Landwirten geliefert werden können und zum anderen thermoplastische Polymere wie Polypropylen. Das Ergebnis des Produktionsprozesses ist ein Mischprodukt das nicht frei von fossilen Inhaltsstoffen ist. Damit handelt es sich eher um einen umweltfreundlicheren Kunststoff als um einen Biokunststoff, wenngleich recycelte fossile Kunststoffe verwendet werden. Die Naturfasern werden einer mechanischen und einer chemischen Reinigung sowie einem Optimierungsprozess unterzogen, bevor sie mit den Polypropylenen und bestimmten Additiven vermischt werden. Das Ergebnis ist das Biokomposit BioLite™ in Granulatform mit unterschiedlichen Verhältnissen von Polypropylenen und Naturfasern. BioLite™ AP21 besteht aus 10% Naturfasern und 90% Polypropylen und BioLite™ AP23 besteht aus 30% Naturfasern und 70% Polypropylen. Die unterschiedlichen Verhältnisse führen zu unterschiedlichen Produkteigenschaften, wie Biogehalt, Steifigkeit und Gewicht. Die Gewichtseinsparung kann ein entscheidender Vorteil gegenüber konkurrierenden erdölbasierten Verbundwerkstoffen sein (30% steifer und 10-25% leichter). Beide Granulattypen können in konventionelle Spritzgießmaschinen eingespeist werden (Colmorgen und Khawaja 2019, Ecologic Institut 2018).



Vereinfachte Darstellung der Produktionsschritte von BioLite™ (Ecologic Institute 2018)



Hanffasern und BioLite™-Muster in verschiedenen Farben © Trifilon

Um einige der Nachteile von Naturfasern zu überwinden, insbesondere die schlechte Bindung an Polymere, die hohe Feuchtigkeitsaufnahme und die begrenzte thermische Stabilität, kann eine breite

Palette von physikalischen, chemischen und additiven Behandlungen durchgeführt werden, die die Fasereigenschaften modifizieren. Eine dieser Behandlungen ist die Acetylierung. Dadurch wird die Feuchtigkeitsbeständigkeit deutlich verbessert, eine kontinuierliche Verarbeitung ermöglicht und gleichzeitig wird die Faserfestigkeit und -steifigkeit nicht verringert (Quarshie und Carruthers 2014).

Eine Reihe von biobasierten Polymeren und Harzen ist bereits heute im Markt integriert, wobei Polymilchsäure (PLA) aus Maisstärke und Polyfurfurylalkoholharze aus Zuckerrohrabfallbiomasse die bedeutendsten sind. Viele weitere Typen von Biokompositen befinden sich jedoch derzeit in der Entwicklung (z.B. aus Stärke und Pflanzenölen) (siehe Abschnitt 3.2.1). In jüngerer Vergangenheit hat sich gezeigt, dass Kombinationen aus Naturfasern und biobasierten Polymeren attraktive Eigenschaften haben, sodass Bioverbundwerkstoffe in Zukunft zunehmend an Bedeutung gewinnen und neue bzw. existierende Märkte erschließen können. Weizenkleber und Sojaprotein sind gängige Beispiele für Biopolymere, die mit Naturfasern verstärkt wurden, um einen Biokompositen mit verbesserten mechanischen Eigenschaften herzustellen (Muneer 2015). Naturfasern, die mit synthetischen Polymeren wie Polypropylen (PP) verstärkt sind, werden derzeit in beträchtlichen Mengen verwendet, insbesondere für Komponenten in Automobilinnenräumen. Man schätzt, dass die Substitution von Glasfasern durch Naturfasern das Gewicht eines Verbundwerkstoffs um bis zu 40% reduzieren kann, was im Automobilsektor zu erheblichen Vorteilen bei der Kraftstoffeffizienz führen kann (Quarshie und Carruthers 2014). Darüber hinaus können auch zwei natürliche Polymere miteinander kombiniert werden, um einen Biokompositen mit verbesserten mechanischen und Gasbarriere-Eigenschaften herzustellen. Weizenkleber, Reisproteine und Eialbumin wurden so bereits mit Stärke kombiniert, um die funktionellen Eigenschaften von Verbundkunststoffen zu optimieren (Muneer 2015).

3.3 Kompostierung von Bioabfällen

In einer Bioökonomie sollten Bioabfälle, wenn möglich, nicht auf Deponien entsorgt werden. Biologischer Abfall wird nicht als Abfall, sondern vielmehr als wertvolle Ressource für organische Dünger, Kultursubstrate und biobasierte Produkte verstanden. Eine wichtige Voraussetzung für die Herstellung von qualitativ hochwertigem Kompost ist eine flächendeckende **getrennte Abfallsammlung**, um die Anzahl unerwünschter Störstoffe so gering wie möglich zu halten. Im Vergleich zu neuen aufkommenden und innovativen bioökonomischen Technologien und Verfahren wird die Kompostierung häufig als eine eher einfache und bewährte Möglichkeit zur Nutzung von Bioabfällen betrachtet. Doch auch die Kompostierung kann hoch technisiert umgesetzt werden. So existieren neben der einfachen Form der Kompostierung, bei der Laubhaufen periodisch mit Frontladern gewendet werden, Hochtechnologiebetriebe, bei denen Zerkleinerungsanlagen, spezielle Schwadwender und Siebanlagen eingesetzt werden. Einer der Hauptvorteile der Kompostierung von organischen Abfällen ist ihre Skalierbarkeit. Das bedeutet, dass der Prozess unabhängig von der Menge der organischen Materialien, die kompostiert werden, derselbe ist. Daher kann Kompostierung sowohl im häuslichen als auch im kommunalen und noch größeren Maßstab stattfinden. Zwar ist der biologische Prozess derselbe, jedoch variieren seine Kinetik, seine periodische Entwicklung sowie die Relevanz verschiedener Parameter (z.B. physikalische Struktur, Partikelgröße, Feuchtigkeit, Oberflächen/Volumen-Verhältnis, C/N-Verhältnis, Porosität, Temperatur) je nach angewandtem Maßstab erheblich (ACR+ 2014, ECN n.d., González-Sierra et al. 2019).

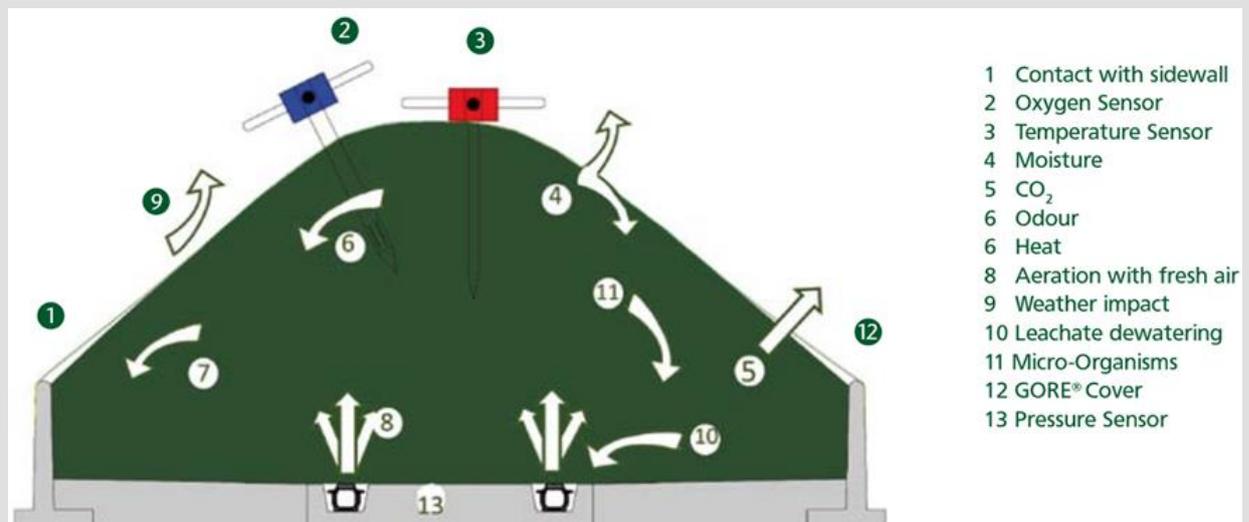
Kleine und mittelgroße Kompostierungsanlagen konzentrieren sich meist auf die Behandlung von Abfällen organischen Ursprungs (oft grob unterteilt in Lebensmittelabfälle und Grünabfälle), die in begrenzten Einzugsgebieten anfallen. Dennoch ist die Vielfalt der verwendeten Rohstoffe groß und damit auch deren Herkunft und Eigenschaften, die für die Gestaltung des gesamten Kompostierungsprozesses von großer Bedeutung sind (siehe beispielhafte EAK-Codes in Tabelle 1). Die Variation der Eigenschaften und der Herkunft des Rohmaterials sind das Ergebnis verschiedener

Einflussfaktoren wie der Saisonalität, der lokalen Konzentration von Gastronomiebetrieben oder den Witterungsbedingungen. Darüber hinaus spielen der Zustand der organischen Abfälle (z.B. Feuchtigkeit, Konsistenz, Granulometrie und Oxidierbarkeit C/N-Verhältnis) eine wichtige Rolle (ACR+ 2014, González-Sierra et al. 2019).

Die Kompostierungslösung von UTV AG

Kompostierung ist ein Prozess, bei dem Mikroorganismen, die von Natur aus in organischer Substanz und im Boden vorhanden sind, organische Substanz zersetzen. Um die organische Substanz in kleinere Partikel zu zerlegen, benötigen die Mikroorganismen Nährstoffe, Sauerstoff und Wasser. Organisches Material wird damit auf natürliche Weise zersetzt. Da dieser Prozess unter menschlicher Kontrolle steht, wird das Endprodukt Kompost genannt. Darüber hinaus haben die Regulierung und Optimierung des Kompostierungsprozesses einen entscheidenden Einfluss auf die Zeit, in der die Kompostierung stattfindet, sowie auf die Qualität des Komposts selbst (Chen et al. 2011).

Mit GORE® Cover bietet die UTV AG eine nachrüstbare, kosteneffiziente und flexible Technologie an, die sich für verschiedene Arten von Abfall eignet. Innerhalb der membranbedeckten Halde wird die organische Substanz in einer druckbelüfteten und sauerstoffkontrollierten Umgebung, die computerüberwacht ist, zersetzt. Die durch Ventilatoren und Lüftungsrohre optimierte Belüftung und Sauerstoffzufuhr führt zu einer intensiven Zersetzung der Biomasse in acht Wochen. Das Endprodukt ist ein hochwertiger Kompost. Vorteile dieser Technologie sind die kurzfristige Planung und Installation (maximal drei Monate), die Flexibilität, die niedrigen Bau- und Betriebskosten (im Vergleich zu Betonanlagen) und die einfache Handhabung (geschultes Personal erforderlich) (Colmorgen und Khawaja 2019).



Das Kompostierungssystem von UTV mit einem membranbedeckten Komposthaufen © UTV AG

Tabelle 1: Auszug kompostierungsrelevanter Abfälle aus dem EAK

EAK code	Description
20	Kommunale Abfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche, industrielle und institutionelle Abfälle).
2001	Separat gesammelte Fraktionen.
200108	Biologisch abbaubare Küchen- und Großküchenabfälle.

EAK code	Description
200138	Holz, das nicht unter dem Code 200137 (Holz, das gefährliche Stoffe enthält) aufgeführt ist.
2002	Garten- und Parkabfälle (einschließlich Friedhofsmüll).
200201	Biologisch abbaubarer Abfall.
2003	Andere kommunale Abfälle.
200302	Abfälle von Märkten.

Bei der Anpassung des Kompostierungsprozesses an ein bestimmtes Niveau hängen die Phasen des Kompostierungsprozesses vom Design der Kompostierungsanlage (hauptsächlich von der Anzahl der Module) ab. Das Design wiederum definiert die Arbeits- oder Betriebsfunktion. Dabei gibt es mehrere Designregeln, die im Bericht von González-Sierra et al. (2019) beschrieben werden.

3.4 Biobasierte Verpackungslösungen

Für den Übergang zu einer Bioökonomie ist es von großer Bedeutung, dass Rohstoffe möglichst nachhaltig, effizient und lange genutzt werden. Das gilt auch für Biomasse. In vielen Fällen haben Verpackungsmaterialien eine relativ kurze Lebensdauer, während der sie den Produkten einen Mehrwert verleihen. Um eine möglichst lange Nutzung der Rohstoffe zu gewährleisten, müssen Verpackungsmaterialien sachgerecht eingesetzt und für Wiederverwendungs- oder Recyclingprozesse geeignet sein, sodass so wenig Neumaterialien wie möglich entwickelt und produziert werden müssen (KIDV 2018).

Papier- und Kartonverpackungen sind bereits etablierte Verpackungsmaterialien auf der Basis nachwachsender Rohstoffe. Schon jetzt haben sie einen sehr großen Anteil am Verpackungsmarkt. Die wichtigsten Rohstoffe für die industrielle Papierproduktion sind Holz und Altpapier. Darüber hinaus werden bestimmte einjährige Pflanzen als Rohstoffquelle genutzt. Grundsätzlich sind alle zellulosehaltigen Stoffe für die Papierproduktion geeignet. Folienmaterialien, auf Basis von Cellulose oder Stärke, sind hingegen bislang nur in sehr kleinen Nischenmärkten zu finden. Eine neuere Entwicklung ist die Herstellung von sogenannten Drop-in-Materialien. Hier werden aus nachwachsenden Rohstoffen konventionelle Polymere wie Polyethylen hergestellt, die in bereits bestehende Wertschöpfungsketten für Kunststoffverpackungen eingespeist werden können (Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern 2017). Es gibt verschiedene Verfahren, mit denen konventionelle Verpackungspolymere wie PE, PP, PET (ca. 80% Marktanteil) aus nachwachsenden statt aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden können. Mehr als 80% des biobasierten PE aus Bioethanol und 30% des biobasierten PET sind bereits in der Industrie etabliert. Darüber hinaus können chemische Rohstoffe, wie Bio-Naphtha oder Bio-Methan in bereits bestehende chemische Wertschöpfungsketten integriert werden. Als biobasierte Rohstoffe kommen kohlenhydrat- und ölhaltige Pflanzen sowie Rest- und Abfallstoffe (holzartige Bestandteile, Altfette etc.) in Frage (Käb 2018). Prognosen geben diesem Ansatz die größten Marktchancen, da bestehende Strukturen und Verarbeitungsprozesse von etablierten, erdölbasierten Kunststoffen genutzt werden können und keine neuen Technologien benötigt werden. So können auch biogene Rohstoffe zu konventionellen Polymeren mit guten Materialeigenschaften verarbeitet werden. Diese sind bei biogenen Materialien jedoch noch nicht immer mit denen ihrer fossilen Pendanten zu vergleichen, beispielsweise im Bereich der Barriereigenschaften gegen Wasserdampf. Dies ist ein grundsätzliches Manko rein biologischer Polymere wie Cellulose oder Stärke. Dies gilt auch für Polymere, die durch fermentative Verfahren aus

natürlichen Rohstoffen gewonnen werden können, wie z.B. Polymilchsäure oder Polyhydroxyalkanoate (Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern 2017).

Heute können die meisten biologisch abbaubaren Verpackungsmaterialien nur in industriellen Kompostierungsanlagen abgebaut werden, da der natürliche Zersetzungsprozess von biobasierten Materialien sehr lange dauern kann. Daher ist die Verwendung von biologisch abbaubaren Verpackungen nicht unbedingt eine Lösung für das Abfall- und Plastikproblem. Dies wird sich erst ändern, sobald Innovationen zur Einführung und Produktion von biologisch abbaubaren Materialien führen, die in der natürlichen Umwelt abgebaut werden können. Biobasierte Kunststoffe sind nicht zwingend kompostierbar, können aber im Rahmen eines bestehenden Kunststoffabfallsammelsystems wiederverwertet werden. Daraus ergibt sich derzeit der größte Mehrwert für die Bioökonomie, da biobasierte Kunststoffe zu einer reduzierten Nachfrage nach fossilen Ressourcen führen und sich somit positiv auf die Emissionen von Treibhausgasen auswirken, sofern sie möglichst lange in Wiederverwendungs- und Recyclingkreisläufen gehalten werden (KIDV 2018).

Neben der konventionellen Verpackungsproduktion aus Papier und Karton und einigen biologisch abbaubaren und biobasierten Materialien gibt es innovative Unternehmen, die versuchen, die fortwährenden Kompostierungs- und Entsorgungsdefizite mit neuen innovativen Technologien zu überwinden. Das Start-up-Unternehmen BIO-LUTIONS stellt sich der Herausforderung, aus einer Ernte zwei Produkte herzustellen. Gemeinsam mit dem brandenburgischen Unternehmen Zelfo entwickelte BIO-LUTIONS ein **mechanisches Verfahren** zur Herstellung einer nachhaltigen Verpackungsalternative aus landwirtschaftlichen Abfällen. Die Idee von BIO-LUTIONS war es, eine innovative und ressourceneffiziente Technologie zu entwickeln, mit der selbst kürzeste Fasern aus zahlreichen landwirtschaftlichen Reststoffen weltweit zu wertvollen Produkten verarbeitet werden können. Durch die Verlängerung des Lebenszyklus dieser ungenutzten Ernterückstände soll zudem ein dezentralisiertes Produktionsnetzwerk mit lokalen Produktionseinheiten geschaffen werden. Neben der Wertschöpfung in den Regionen und der Stärkung der Kreislaufwirtschaft wollen sie das Bewusstsein für das Thema Kunststoffabfälle schärfen, nachhaltige und bezahlbare Lösungen anbieten und nicht nachhaltige Einwegartikel nach und nach verdrängen (Colmorgen und Khawaja 2019).

Verpackungsmaterialien aus Ernterückständen

BIO-LUTIONS stellen eine Technologie zur Verfügung, die es ihnen ermöglicht, Einweggeschirr und -verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen wie Pflanzen- und Ernteresten herzustellen. Das Verfahren verwandelt bisher ungenutzte Ernterückstände in innovative und wertvolle Produkte. Die von BIO-LUTIONS und Zelfo entwickelte und patentierte Technologie kann als ein weltweit einsetzbares Up-Cycle-Verfahren bezeichnet werden. Die Pflanzenfasern werden zerkleinert und zu einem kohäsiven Brei vermischt, der in einen Wassertank geleitet wird. Ein mechanischer Rechen hält das nasse Gemisch in Bewegung, das dem in der Papierindustrie sehr ähnlich ist. Anschließend wird die Masse der Presse zugeführt, wo die Produkte unter hohen Temperaturen geformt und gepresst werden. Während des gesamten Prozesses kommen keine Chemikalien zum Einsatz. Das Prozesswasser wird mehrmals gereinigt und wiederverwendet, bis es als Bewässerungswasser „entsorgt“ wird (BIO-LUTIONS 2019, Bioökonomie.de n.d.).



Bananenstämme als Rohstoffquelle in Indien und die aktuelle Produktpalette von BIO-LUTIONS Einwegartikeln © BIO-LUTIONS

3.5 Biobasierte Dämmstoffe

In einer Zeit des energieeffizienten Bauens und Sanierens sowie steigender Energiepreise gewinnen natürliche Dämmstoffe immer mehr an Bedeutung. Ihre Herstellung erfordert weniger Energie und sie haben einen positiven Einfluss auf das Wohnklima und damit auf die menschliche Gesundheit. Im Sommer isolieren die natürlichen Materialien gut gegen Hitze. Außerdem können sie große Mengen an Feuchtigkeit aufnehmen und sind oft allergiefreundlich. Biobasierte Dämmstoffe werden aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, d.h. sie basieren auf pflanzlichen oder tierischen Rohstoffen. Die Palette der biobasierten und nachhaltigen Materialien, die sich als Dämmstoff eignen, ist groß. Dämmstoffe aus Stroh, Wiesengras, Hanf oder Zelluloseflocken können bereits heute hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften mit herkömmlichen Dämmstoffen wie Mineralwolle konkurrieren (Bioökonomie.de 2017, BMBF 2014). Weitere Beispiele für Rohstoffe, aus denen sich biobasierte Dämmstoffe herstellen lassen, sind Jute, Kork, Schilf, Seegras, Wiesenrispengras, Zellulose, Kenaf und Baumwolle.

Biobasierte Dämmstoffe verfügen über Wärme- und Schalldämmeigenschaften, die ebenso gut sind wie die von fossilen Materialien, wie Steinwolle, Glaswolle und Polystyrol. So können die technischen Eigenschaften von erneuerbaren Dämmstoffen mit den Eigenschaften der mineralischen Benchmarks verglichen werden. Das gilt u.a. für die gute Schalldämmung oder die schalldämmenden Eigenschaften. Oftmals haben sie sogar zusätzliche positive Eigenschaften. So haben biobasierte Dämmstoffe bessere feuchtigkeitsregulierende Eigenschaften und bieten einen ausgezeichneten sommerlichen Wärmeschutz. Die Fähigkeit eines Dämmstoffs, die Temperatur zu regulieren, indem er

Wärme speichert und an eine kühlere Umgebung abgibt, ist sehr wichtig. Dieser Indikator wird als spezifische Wärmekapazität bezeichnet. Wenn es um die Regulierung der Temperatur geht, können natürliche Dämmstoffe herkömmlichen Materialien auf fossiler oder mineralischer Basis überlegen sein, da ihre spezifische Wärmekapazität höher ist. Dies wird dann wichtig, wenn es darum geht, ein angenehmeres Raumklima zu schaffen und eine Überhitzung von Räumen (z.B. unter dem Dach) zu verhindern (BioCannDo n.d.).

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Dämmstoffe, ihre Wärmeleitfähigkeit und ihre spezifische Wärmekapazität. Die wärmedämmende Wirkung wird durch die Wärmeleitfähigkeit beschrieben (λ). Eine geringe Wärmeleitfähigkeit korreliert mit einer besseren Dämmwirkung und einem besseren Wärmeschutz. Werte für die Wärmeleitfähigkeit von unter 0,5 W/(m × K) sind Indikatoren für gute Wärmedämmeigenschaften. Die spezifische Wärmekapazität (c) gibt die Wärmemenge an, die ein Material akkumulieren kann. Hohe Werte für c weisen auf eine höhere Wärmespeicherkapazität und eine entsprechende Fähigkeit zur Wärmeabgabe an eine kühlere Umgebung hin (BioCannDo n.d.).

Tabelle 2: Überblick über Dämmstoffe, ihre Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität.

Dämmstoff	λ (W/(m × K))	c (J/kg × K)
Biobasierte Dämmstoffe		
Flachmatten	0.036-0.040	1,600
Hanfmatte	0.040-0.050	1,600-1,700
Hanf (lose)	0.048	1,600-2,200
Holzspäne	0.045	2,100
Holzfaser-Dämmplatte	0.040-0.052	2,100
Korkplatte	0.040	1,800
Schafwolle	0.0326-0.040	1,720
Stroh	0.052-0.080	2,000
Zelluloseflocken	0.040	2,200
Seegrass	0.037-0.0428	2,000
Fossile Dämmstoffe		
Polystyrol (PS) (Styropor)	0.035-0.040	1,400
Steinwolle	0.033-0.040	840-1,000

Darüber hinaus tragen biobasierte Dämmstoffe zu einem gesunden Lebensumfeld bei. Bereits bei der Installation sind sie wesentlich benutzerfreundlicher (nicht hautreizend) als herkömmliche Dämmstoffe. Zudem können natürliche Dämmstoffe Feuchtigkeit speichern und leiten, was zu einer feuchtigkeitsregulierenden Wirkung führt und so zu einem ausgeglichenen Raumklima über das ganze Jahr hinweg. Besonders positiv wirkt sich Schafwolle auf das Raumklima aus, da sie eine Vielzahl von flüchtigen organischen Verbindungen absorbieren und neutralisieren kann und somit eine starke luftreinigende Wirkung hat. Schließlich enthalten biobasierte Dämmstoffe viel weniger (meist

flammhemmende) Chemikalien oder gar keine chemischen Zusätze, was sowohl für Bewohner als auch für die Umwelt von Vorteil ist. Im Vergleich zu Materialien auf fossiler Basis stellen biobasierte Dämmstoffe kein erhöhtes Brandrisiko dar, sind aber ebenso langlebig. (BioCannDo n.d.)

Zudem muss das Umweltschutzpotenzial nachhaltiger Dämmstoffe berücksichtigt werden. Erstens wird im Vergleich zu fossilen Dämmstoffen weniger Energie während des Produktionsprozesses benötigt. Im Vergleich zum Primärenergiebedarf von Mineralwolle sparen Schafwollämmstoffe 130 kg CO₂/m³ ein. Bei Schafwolle ist das Treibhauspotential (engl. Global Warming Potential GWP) sogar negativ (Abbildung 17). Zweitens binden natürliche Dämmstoffe während der Wachstumsphase CO₂ und speichern dieses. Da viele Naturdämmstoffe ihren Ursprung in der Land- oder Forstwirtschaft haben, sind die Transportwege oftmals kurz und die Importabhängigkeiten eher gering. Dies kann positive Entwicklungen im ländlichen Raum fördern (BioCannDo n.d., Daemwool n.d.).

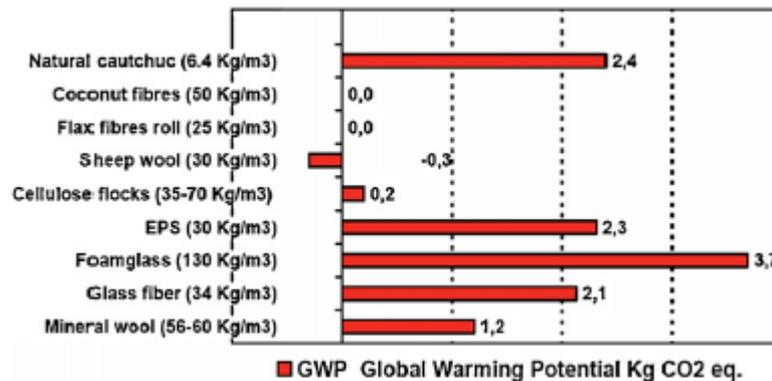


Abbildung 17: Treibhauspotential verschiedener Dämmstoffe (Daemwool n.d.)

Ein Unternehmen, das nachhaltige Dämmstoffe produziert ist Daemwool aus Österreich. Es produziert umweltfreundliche Schafwoll-Dämmstoffe aus lokalen, lange ungenutzten, Schafwollressourcen.

Daemwool's Dämmmaterial aus Schafwolle

Das Ausgangsmaterial ist Rohwolle mit einem hohen Unreinheitsgrad von bis zu 50% (Schweiß, Hautschuppen, Boden- und Pflanzenreste und Wollfett). Deshalb wird die Wolle mit Wasser und Seife bei 60 °C schonend gewaschen und entfettet. Zusätzlich wird der pH-Wert eingestellt und die Wolle mit Mottenschutzmitteln behandelt. Anschließend besteht die Wolle zu ca. 97% aus Eiweiß (Keratinfasern). Für den Transport wird die behandelte Wolle in Ballen gepresst, die in der Produktionsstätte wieder geöffnet werden, um die Wolle der Karde zuzuführen. Die Karde erzeugt nun einen Primärvlies. Um die gewünschte Rohdichte zu erzeugen, wird das Vlies entweder mechanisch durch Vernadelung oder thermisch mit synthetischen Fasern in einem Ofen verdichtet. Abschließend wird das Dämmmaterial mit einer Schneidemaschine auf die gewünschte Größe zugeschnitten. Das überschüssige Material wird recycelt. Solange die Wollfasern keiner intensiven UV-Strahlung und keiner konstanten Feuchtigkeit ausgesetzt sind, findet keine chemische Zersetzung statt. Weitere Merkmale der flammhemmenden und selbstreinigenden Dämmwolle sind die natürliche Fähigkeit zur Klimatisierung und Schadstoffabsorption, die einfache Handhabung sowie das Energiesparpotenzial und die Umweltfreundlichkeit (Colmorgen und Khawaja 2019).

Es gibt bereits heute eine große Auswahl an biobasierten Dämmstoffen. Diese Materialien haben je nach Anwendung unterschiedliche Vor- und Nachteile. Mehrere nachhaltige Dämmstoffe finden Sie in Online-Datenbanken, wie z.B. bei natureplus® oder der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR).

3.6 Biobasierte Textilien

Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen ist für die Textilindustrie alltäglich. Pflanzliche Fasern wie Leinen und Baumwolle, aber auch tierische Produkte wie Wolle, Seide und Leder werden in vielen Textildbereichen eingesetzt. Um die Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz zu erhöhen, werden nun auch neue Ansätze und Ideen in der Textilbranche umgesetzt. So werden beispielsweise aus Rückständen der Lebensmittelindustrie neue High-Tech-Fasern mit bisher unbekanntem Eigenschaften hergestellt (BMBF 2017). Derzeit machen Polyester und andere aus Erdöl gewonnene Fasern mehr als 60 % der Textilien aus. Daher fordern sowohl die Verbraucher als auch die Umwelt eine nachhaltigere Textilproduktion ebenso wie einen nachhaltigeren Umgang mit Textilien (biobridges n.d.). Innovationen im Bereich biobasierter Textilien sind daher von großer Bedeutung (Bioökonomie BW 2019).

Naturprodukte werden seit Tausenden von Jahren zur Herstellung von Kleidung verwendet. Schon die alten Ägypter und Römer verwendeten Flachs, um aus seinen Fasern Leinwand herzustellen. Leder war schon in der Steinzeit ein beliebtes Material zur Herstellung von Schuhen oder Gürteln. In den letzten Jahrzehnten haben jedoch preiswerte, erdölbasierte Kunstfasern immer größere Marktanteile gewonnen. In der jüngsten Vergangenheit ist jedoch eine Rückkehr zu traditionellen Naturfasern zu beobachten. Neben Baumwolle werden heute auch Stämme anderer Textilpflanzen weiterverarbeitet: zum Beispiel Flachs, Hanf und Jute. Die weltweite Produktion dieser Bastfasern ist jedoch mit rund zwei Millionen Tonnen pro Jahr wesentlich geringer als die der Baumwolle. Nach der Abtrennung der Bastfasern, erfolgt ihre Verarbeitung ähnlich wie bei der Baumwolle: Aus den einzelnen Fasern wird Garn gesponnen, das wiederum zu Stoffen weiterverarbeitet werden kann. Allerdings unterscheiden sich ihre Einsatzgebiete: Bastfasern werden hauptsächlich als sogenannte technische Textilien in der Industrie eingesetzt, weniger für die Herstellung von Bekleidung. Derzeit hat Baumwolle einen Marktanteil von 31% (BMBF 2014).

Die meisten Textilien, die in der Industrie verwendet werden, sind synthetische und chemische Fasern aus synthetischen Polymeren wie Polyester, Teflon, Lycra, Trevira oder Nylon. Inzwischen gibt es auch Beispiele für natürliche Polymere, die jedoch ebenso in chemischen Prozessen hergestellt werden. Dazu gehört auch Viskose, deren Rohstoff Cellulose ist. Im Gegensatz zu Baumwollfasern zeichnen sich Viskosefasern durch eine größere Variation der Fasergeometrie (Länge, Kräuselung, Feinheit, Querschnittsform) aus und können daher vielfältiger eingesetzt werden. Der Energie- und Wasserverbrauch der Viskoseherstellung und -verarbeitung ist zwar geringer als bei Baumwolle, doch während des Produktionsprozesses entstehen ungesunde und umweltschädliche Gifte, wie Schwefelwasserstoff (H_2S) und Schwefelkohlenstoff (CS_2). Andere Chemiefasern aus Zellulose haben dieses Problem nicht. Zur Herstellung von Tencel- und Lyocellfasern wurde so beispielsweise ein Direktlöseverfahren mit einem ungiftigen Lösungsmittel entwickelt. Die Cellulose für die Lyocellfaser wird aus Eukalyptus- oder Buchenholz gewonnen. Da diese Pflanzen schneller wachsen und einen hohen Flächenertrag haben, ist ihre Umweltbilanz besser als die der Baumwolle. Neuere Forschungen zeigen auch, dass Flachs, Hanf und Bambus sowie Bananenpflanzen und Soja ebenfalls geeignete Rohstoffe für den Zellstoff sind (Bioökonomie.de 2016, BMBF 2014).

Gegenwärtig werden Pflanzen, die bislang kaum oder gar nicht beachtet wurden hinsichtlich ihres Textilpotentials untersucht - zum Beispiel die Fasernessel. Neben Hanf und Faserflachs war die Brennessel bis zum Zweiten Weltkrieg eine der wichtigsten einheimischen Faserpflanzen. Dank neuer Verarbeitungsmethoden können aus ihren Fasern nun Stoffe mit der Feinheit von Baumwolle und weiteren positiven Textileigenschaften gewebt werden. Zudem können sie als Vliesstoffe für technische Zwecke verwendet werden. Die übliche Vermehrung über Stecklinge ist jedoch für den großflächigen Anbau wenig geeignet. Eine Erhöhung des Fasergehaltes der bestehenden Sorten ist jedoch weiterhin möglich (BMBF 2014).

Neben potenziellen Rohstoffen für die Textilproduktion, wie z.B. der Brennnessel, machen weitere neue und innovative Unternehmen durch den Einsatz neuer Rohstoffe und Technologien auf sich aufmerksam. So stellt beispielsweise Swicofil eine Faser aus Kasein, einem Milcheiweiß, her. Dieses war lange Zeit ein ungenutztes Abfallprodukt aus der Milchindustrie. Die Milchfaser hat einen der menschlichen Haut ähnlichen pH-Wert und ist antibakteriell und antimykotisch. Als ein sehr glattes und weiches Produkt ist Milchfaser sehr gut geeignet, um Textilien herzustellen, die nahe an der Haut getragen werden, wie Socken und Unterwäsche (AllThings.Bio 2017). Andere Unternehmen verwenden beispielsweise Holz als Rohstoff für die Garn- und Textilproduktion.

Textilien aus Zellstoff

Spinnova hat ein Verfahren entwickelt, das es ihnen ermöglicht, Garn aus Holzfasern herzustellen, ohne dabei schädliche Chemikalien zu verwenden. Der gesamte Prozess basiert auf der mechanischen Behandlung des Zellstoffs, Fasersuspensionsströmen und der Rheologie. Spinnova produziert Fasern aus mikrofibrillierter Zellulose (aus FSC-zertifizierten Holz- oder Abfallströmen), die als eine zähflüssige Masse, bestehend aus winzigen Holzfasern, beschrieben werden kann. Diese Zellstoffmasse strömt durch eine Düse, in der die Fasern rotieren und sich mit der Strömung ausrichten, wodurch ein starkes, elastisches Fasernetzwerk entsteht. Mit Hilfe der patentierten Spinn-technologie wird die Faser anschließend gesponnen und getrocknet. Das Ergebnis dieses Prozesses ist ein flauschiges, aber festes, wollähnliches Material, das sich zu Garn verspinnen und für die Textilherstellung verwenden lässt. Das einzige Nebenprodukt des Prozesses ist Wasserdampf, welcher in den Prozess zurückgeführt wird. Die hergestellten Garne sind feuerhemmend, antimikrobiell und biologisch abbaubar. Damit ist das Produkt nicht nur für Textilien, sondern auch für andere Anwendung interessant (Colmorgen, Khawaja 2019).



Mikrofibrillierte Zellulose, gemischt mit Wasser (links) und Filamentfasern von Spinnova (rechts) © Spinnova

Die Anstrengungen der Forschung und Entwicklung und die Marktaufnahme neuer und innovativer Textillösungen ist nur die eine Seite. Gerade im Bereich der Bekleidung und Heimtextilien können die Endverbraucher einen entscheidenden Beitrag zur weiteren Verbreitung biobasierter Textilien leisten. Da nicht jeder Kunde die tatsächliche Echtheit der von ihm gekauften Produkte überprüfen kann, sollten Marken und Labels transparent und in leicht verständlicher Sprache über die Wertschöpfungsketten ihrer Produkte berichten. Dasselbe gilt für Branchen, die entlang ihrer Wertschöpfungsketten Industrietextilien einsetzen (biobridges n.d.).

3.7 Lebensmittel- und Getränkeindustrie

In einer Bioökonomie hat die Ernährungssicherheit immer Vorrang vor anderen Nutzungen von Biomasse. Dies gilt sowohl für die Nutzung von Biomasse an sich als auch für den Flächenbedarf für die Biomasseproduktion. Deshalb spielt die Lebensmittel- und Getränkeindustrie aus sozialer und wirtschaftlicher Sicht eine besondere Rolle in der Bioökonomie. Die Aufrechterhaltung von Lebensmittelwertschöpfungsketten hat oberste Priorität. Dafür müssen verschiedene Herausforderungen, wie beispielsweise die wachsende Konkurrenz um Biomasse durch energetische oder materielle Nutzungsformen angegangen und bewältigt werden. Daher besteht verstärkter Forschungs- und Entwicklungsbedarf entlang relevanter Wertschöpfungsketten, von der Produktion über die Verarbeitung bis hin zu den Konsumgewohnheiten (Bioeconomy Council 2012).

Abbildung 18 zeigt die Entwicklung des Umsatzes der gesamten Bioökonomie in Europa zwischen 2008 und 2016. Abgesehen von der Rezession im Jahr 2009 ist ein kontinuierlicher Anstieg von weniger als 2 Billionen Euro (2008) auf etwa 2,3 Billionen Euro (2016) erkennbar. Der Lebensmittelsektor trug wesentlich zur Umsatzsteigerung bei.

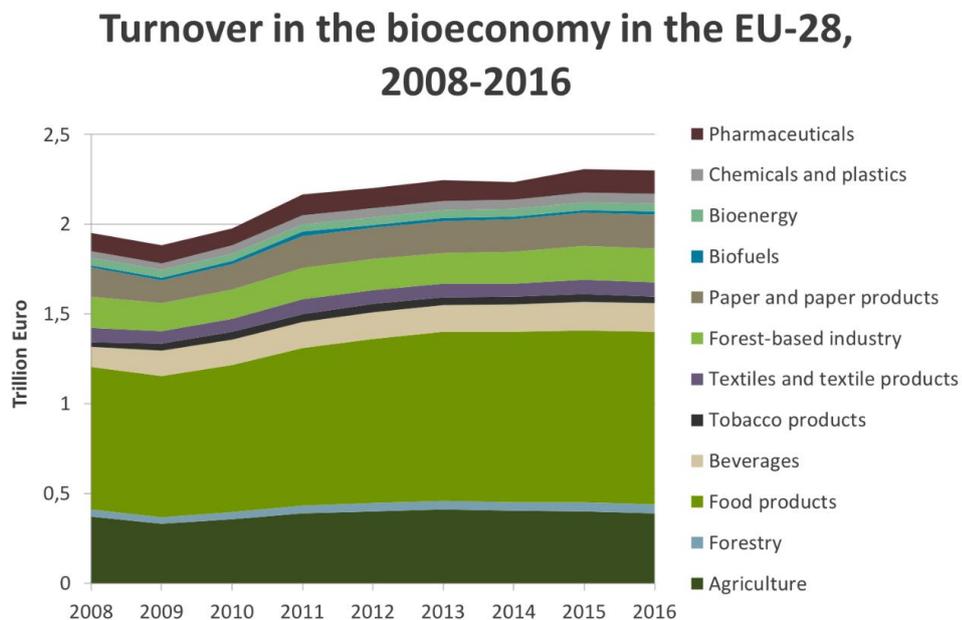


Abbildung 18: Umsatz der Bioökonomie in der EU-28, 2008-2016 (nova-Institut 2019)

Wie aus Abbildung 19 hervorgeht, stammt etwa die Hälfte der 2,3 Billionen Euro im Jahr 2016 aus dem Lebensmittel- und Getränkesektor.

Turnover in the bioeconomy in the EU-28, 2016, total: 2.3 trillion Euro

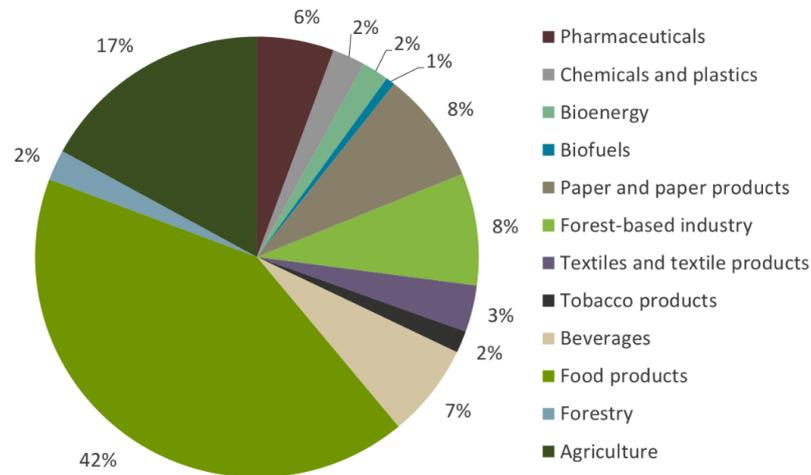


Abbildung 19: Umsatz der Bioökonomie in der EU-28, 2016 (nova-Institut 2019)

Die Lebensmittel- und Getränkeindustrie ist für die Verarbeitung von landwirtschaftlichen Materialien zu Lebensmitteln, Getränken und Tierfutter verantwortlich. Schon heute ermöglichen ressourceneffiziente Technologien die Herstellung gesunder, hochwertiger und sicherer Produkte. Ansätze und Strategien, die darauf abzielen, Abfallprodukte aus der Nahrungs- und Futtermittelindustrie wiederzuverwerten, gewinnen zunehmend an Bedeutung. Somit ist die Lebensmittel- und Getränkeindustrie nicht nur Verbraucher von agrarischen Rohstoffen. Vielmehr hat diese Branche das Potenzial, auch ein wichtiger Rohstofflieferant zu sein (BMBF 2017).

Schon heute bietet die Biotechnologie eine Fülle von verschiedenen Enzymen und Mikroben, die in verschiedenen Produktionsprozessen eingesetzt werden, um einem Produkt bestimmte Eigenschaften zu verleihen. So bilden sie beispielsweise die Grundlage für die Herstellung von natürlichen Aromastoffen, Aminosäuren und enzymatisch hergestellten Kohlenhydraten wie Glukose und Fruktose, die als Zuckeraustauschstoffe verwendet werden. Glucose kann durch enzymatische Spaltung aus pflanzlicher Stärke gewonnen werden. Weiter ist ein Trend hin zu Süßstoffen erkennbar. Diese sind weniger kalorienreich, wodurch sie helfen können die Verbreitung von Zivilisationskrankheiten, wie z.B. Übergewicht zu reduzieren. Substanzen, die süß schmecken, aber keinen Zucker enthalten, werden derzeit stark nachgefragt. Eine solche Alternative ist ein Extrakt aus der tropischen Pflanze *Stevia rebaudia*, das bereits heute für das kalorienfreie Süßen von Lebensmittel und Getränke eingesetzt wird (Bioökonomie.de 2016).

Neue Innovationen und biobasierte Verfahren im Lebensmittel- und Getränkesektor sind auch für die funktionellen Lebensmittel und Getränke eine große Chance. Diese Produkte haben aufgrund ihrer speziellen bioaktiven Inhaltsstoffe eine positive und präventive Wirkung auf die Gesundheit. Zu den funktionellen Inhaltsstoffen gehören beispielsweise probiotische Substanzen, die spezielle Ballaststoffe enthalten und die sich positiv auf die Darmflora auswirken (BMBF 2017). Solche Verfahren werden bereits heute eingesetzt, wie der folgende Infokasten zeigt.

Ein glutenfreier Functional Drink

Im Rahmen von Interreg Europe wurde die Herstellung eines mit glutenfreien Fasern angereicherten natürlichen, medizinischen Mineralwassers untersucht. Die eher simple Technologie wurde von einer Kooperation von Mitgliedern des Agrofood Regional Cluster in Rumänien entwickelt. Das Produkt besteht aus dem medizinischen Mineralwasser Valcele, das reich an Fe, Ca, Mg ist, und verschiedenen natürlichen Inhaltsstoffen, wie Aromastoffen, Fruktose, natürlichen Farbstoffen und löslichen, glutenfreien und präbiotischen Nahrungsfasern (Inulin). Alle diese Inhaltsstoffe werden bei kontrollierten Temperaturbedingungen gemischt. Zur Konservierung und Verpackung folgt auf den Mischvorgang eine Pasteurisierung bei 70 °C für 10 Minuten. Um das Produkt mit den geforderten Eigenschaften herzustellen, waren mehrere Testreihen erforderlich (Colmorgen und Khawaja 2019).



© FIBRO

Andere Technologien helfen alternative Proteinquellen zu erschließen, um zum einen den Anteil tierischer Proteine zu reduzieren und zum anderen ungenutzte Lebensmittelreste aus der Lebensmittelverarbeitung zu verwerten. Beide Ansätze zielen darauf ab, die Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie nachhaltiger zu gestalten.

Insgesamt birgt die Lebensmittel- und Getränkeindustrie ein enormes ungenutztes Potenzial für die Bioökonomie. In der Forschung und Entwicklung werden große Anstrengungen unternommen, um die nicht ausreichend genutzten Rohstoffe und Rückstände zu valorisieren. Auch hier können sektorübergreifende Ansätze neue Innovationen fördern. Die Nutzung von Reststoffen der Lebensmittel- und Getränkeindustrie ist für die Bioökonomie ein Beispiel dafür, wie verschiedene Sektoren ineinandergreifen, die Ressourceneffizienz erhöhen und durch die Verlängerung von Wertschöpfungsketten Mehrwert schaffen können (BMBF 2017).

Ein Proteindrink aus Beiprodukten der Milchproduktion

SC Meotis SRL und das Nationale Institut für Forschung und Entwicklung für Lebensmittel-Bioressourcen (IBA) (beides Mitglieder des regionalen Agrofood-Clusters in Rumänien), entwickelten ein Verfahren zur Herstellung eines Proteindrinks aus Beiprodukten der Milchproduktion (Interreg Europe n.d.). Das Produkt besteht aus Molke, Aromastoffen, Aminosäuren, Fruchtsaft, Fruktose und natürlichen Farbstoffen, die alle mechanisch verrührt werden. Bevor die optimale Zusammensetzung der Inhaltsstoffe gefunden wurde, wurden 35 Rezepturen getestet. Dazu wurde eine sensorische Analyse durchgeführt, die Farbe, Textur, Geschmack und Aroma umfasste. Um ein optimales Produkt mit guten Lager- und Konservierungseigenschaften zu garantieren, wird die Mischung pasteurisiert und homogenisiert (Colmorgen und Khawaja 2019).



© Revolve

3.8 Valorisierung aquatischer Biomasse

Die Ozeane bieten ein enormes Potenzial, wenn es darum geht, nachhaltiges Wachstum zu ermöglichen. Durch effiziente Nutzung dieses Potenzials können die Ozeane zur Erreichung der globalen Ziele einer nachhaltigen Entwicklung beitragen (Moilanen et al. 2019). Diesen Ansatz verfolgt die blaue Bioökonomie, die auf Innovationen der blauen Biotechnologie für marine und aquatische Anwendungen fußt. Die blaue Bioökonomie umfasst die nachhaltige Nutzung lebender aquatischer Biomasseressourcen und deren Umwandlung in eine Vielzahl von Produkten, wie Lebensmitteln, Futtermitteln, biobasierte Materialien und Bioenergie (Beyer et al. 2017). Nutzen und Produkte aus lebenden aquatischen Biomasseressourcen sind in Abbildung 20 beispielhaft dargestellt.

Eine der gängigsten Arten der Verwendung von Rückständen und Beifängen des Fischereisektors ist die Verarbeitung zu Fischmehl und Fischöl. Doch es gibt noch einige weitere Technologien, die die Möglichkeiten der Aufwertung wertvoller aquatischer Biomasse erweitern. Die Nutzung von Fischabfällen und Beifängen zur Energieerzeugung ist eine Option, die in letzter Zeit immer mehr öffentliches Interesse weckt. Das zunehmende Interesse wird durch die Simplizität und Reproduzierbarkeit der dafür nötigen Technologie verstärkt. So können lokale Fischfarmen mit überschaubaren Investitionen und zu sehr geringen Kosten Energie produzieren. Dies führt zu einer Verringerung von Treibhausgasemissionen, zu zusätzlichem Einkommen für die Fischer und Fischzüchtergemeinschaften und damit zu einer positiven Auswirkung auf die Energiesicherheit (FAO n.d. a).

Unternehmen wie Järki Särki aus Finnland verfolgen einen anderen Ansatz zur Aufwertung aquatischer Biomasse, der aber ebenso in den Rahmen der blauen Bioökonomie passt. Das Unternehmen wertet Cypriniden auf, indem sie sie (wieder) in den Lebensmittelmarkt integrieren und so das Angebot an Speisefischen erweitern. Da Fische eine einzigartige Quelle für Proteine, Omega-3-Öle und Vitamin D sind, tragen sie so zu einer gesunden Ernährung bei, die, wie bereits beschrieben, eine große bioökonomische Bedeutung hat (Järki Särki n.d.).

Unabhängig von der Art der Aufwertung der aquatischen Biomasse (z.B. Fischverarbeitungsrückstände oder Beifänge) können Umweltvorteile erzielt werden. Dazu zählen die Reduzierung des Einsatzes fossiler Ressourcen für die Herstellung von Produkten und die Energiegewinnung, die Reduzierung von negativen Umweltauswirkungen der Entsorgung und Deponierung von aquatischer Biomasse sowie deren Kosten, die Diversifizierung der Ernährung sowie der Schutz gefährdeter Arten (z.B. Thunfisch).

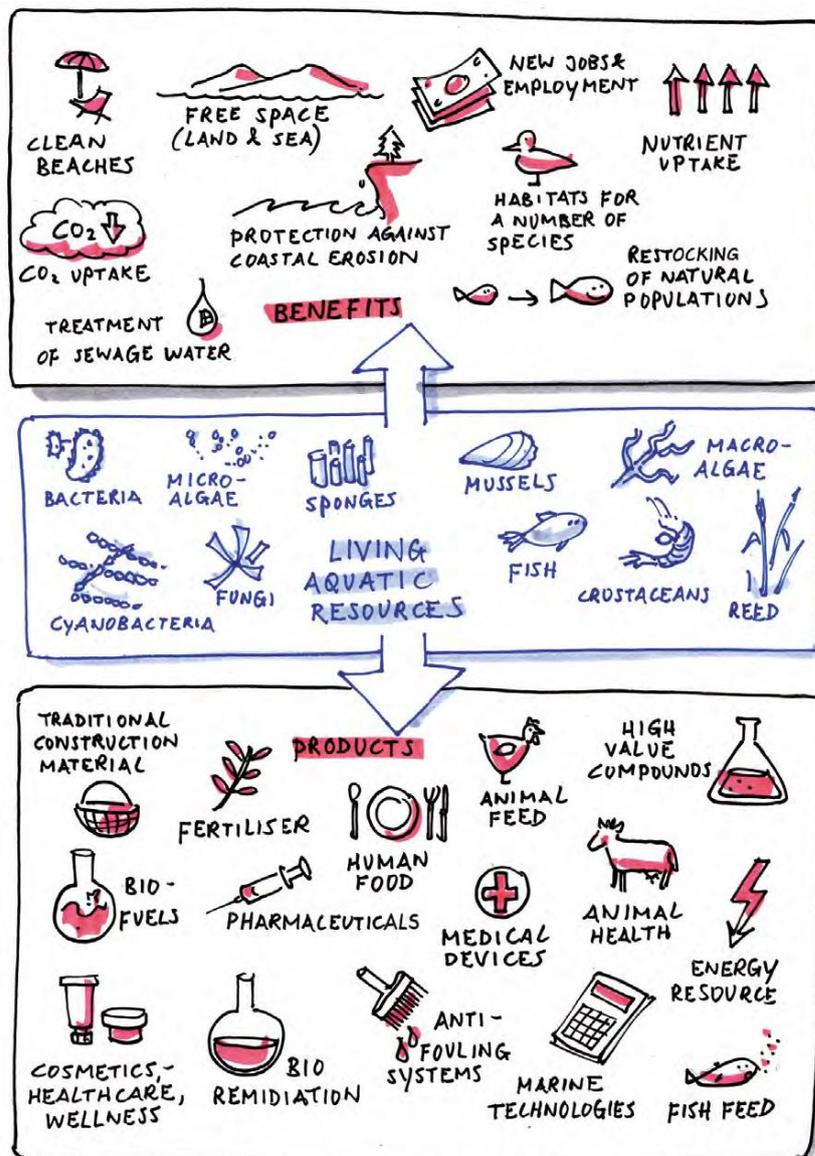


Abbildung 20: Übersicht von Vorteilen, die sich aus der Nutzung lebender aquatische Biomasse ergeben sowie von Produkten, die aus lebender aquatische Biomasse hergestellt werden können (Beyer et al. 2017)

Ein mobiles Labor für die Entwicklung zukünftiger Anwendungen auf Basis von Fischabfällen

SINTEFF hat eine mobile, individuell anpassbare Verarbeitungseinheit mit Laborequipment entwickelt, mit der sich potenzielle Anwendungen zahlreicher Rohstoffe und Prozessdesigns im kleinen Maßstab untersuchen lassen. So kann die Verarbeitungseinheit auf das Ausgangsmaterial und die kundenspezifischen Wünsche angepasst werden. Auf diese Weise kann der Kunde Potenziale identifizieren, in die sich eine Investition lohnen könnte oder auch nicht.

Das Mobile Sealab enthält eine kleine, aber vollständige Verarbeitungseinheit zur Gewinnung von Öl, proteinreichen Fraktionen und anderen Nährstoffen aus Abfallrohstoffen, die in der Fischereiindustrie anfallen. Die mobile Anlage von SINTEF ermöglicht es den Kunden, in Zusammenarbeit mit SINTEF neue Produkte zu entwickeln sowie bestehende Prozesse und Verfahren für eine Vielzahl von Rohstoffen zu optimieren. Auf diese Weise füllt SINTEF die Lücke zwischen Produkttest- und entwicklungsphasen im Labormaßstab und der Herstellung von marktreifen Produkten in Produktions- und Vollindustrieanlagen. Es können auch Screen-Tests von Enzymen und Antioxidantien durchgeführt werden. Gegenwärtig werden Rückstände der Filetproduktion (beispielsweise Köpfe von Lachs, Kabeljau und Hering) zu minderwertigem Tierfutter verarbeitet, obwohl es möglich ist, Omega-3-Fischöl und Proteinhydrolysate in Lebensmittelqualität aus denselben Rohstoffen herzustellen. Um das Potenzial und die Qualität des verwendeten Rohmaterials zu erhalten, ist es wichtig, das Rohmaterial in völlig frischem Zustand zu verarbeiten. Die mobile Verarbeitungseinheit von SINTEF kann diese Anforderungen erfüllen, da sie aufgrund ihrer hohen Mobilität direkt vor Ort an den Produktionsstandorten betrieben werden kann (SINTEF 2016, 2018).



Rückstände der Fischerverarbeitung, Fischöl und pulveriges Fischproteinhydrolysat © SINTEF

Variation in der Verarbeitungskapazität:

Die Kapazität hängt vom gewünschten Produkt und dem verwendeten Verfahren ab. Bei einfacher Wärmebehandlung beträgt die Kapazität 500-1,000 kg/h und bei der Hydrolyse einer Charge 400 kg/4-6 h (SINTEF 2016).

4 Geschäftsmodelle für regionale Bioökonomien

Die Bewältigung aktueller Herausforderungen und die Erfüllung der SDGs erfordert umfassende Veränderungen in verschiedenen Bereichen. Diese Veränderungen wirken sich auch auf Unternehmen in der Bioökonomie aus. Ressourceneffizienz und Zirkularität, nachhaltiges Wirtschaftswachstum, Umweltfreundlichkeit und soziale Gerechtigkeit und Inklusion sind integraler Bestandteil der Entwicklung und Gründung von Unternehmen in einer Bioökonomie (Karlsson et al. 2018).

Geschäftsmodelle umfassen bestimmte Elemente, die bei der Planung und Gründung eines Unternehmens berücksichtigt werden müssen. Ein Geschäftsmodell ist "ein abstraktes konzeptionelles Modell, das die Geschäfts- und Gewinnlogik eines Unternehmens darstellt" und "die Geschäftsstrategie mit den -prozessen verbindet" (Osterwalder 2004). Neben internen Kräften, die das Geschäftsmodell definieren und gestalten, müssen bei der kontinuierlichen Anpassung von Geschäftsmodellen auch externe Kräfte berücksichtigt werden. So ist jedes Unternehmen dafür verantwortlich, sein Geschäftsmodell einem sich wandelnden Umfeld anzupassen (Geschäftsmodell-Innovation). Es ist wichtig zu betonen, dass Unternehmen im 21. Jahrhundert nicht nur Produkte und Dienstleistungen anbieten, sondern auch soziale und ökologische Werte (z.B. Inklusivität oder Reduktion von THG-Emissionen) liefern und vermitteln, die für Unternehmen in einer Bioökonomie von Relevanz sind (Fogarassy et al. 2017). Folglich korreliert die Art des Geschäftsmodells mit dem Wert, den die Organisation oder das Unternehmen für ihre Kunden oder Nutzer ihrer Produkte schaffen will (Stratan 2017). Ein Geschäftsmodell kann also als ein Pool von verschiedenen sich gegenseitig beeinflussenden Elementen verstanden werden. Dies bedeutet auch, dass Geschäftsmodelle eine netzwerkzentrierte und nicht eine einzelbetriebliche Perspektive einnehmen sollten. Geschäftsmodelle auf Netzwerkebene können neue Kompetenzen schaffen, neue Märkte erschließen und neue innovative Leistungsversprechen entwickeln. Die Innovation eines Geschäftsmodells kann entscheidend sein, um radikale Verbesserungen zu ermöglichen, die beispielsweise die verstärkte Schaffung von ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Werten umfassen (Karlsson et al. 2018).

Eine Vorlage (siehe Abbildung 21) kann dabei helfen, Primärdaten (z.B. durch Beobachtung, Brainstorming, etc.), die für die Entwicklung eines Geschäftsmodell von Relevanz sind zu produzieren und übersichtlich darzustellen. Der Flourishing Business Canvas (FBC) ist eine Erweiterung des weit verbreiteten Business Model Canvas und identifiziert und beschreibt die grundlegenden Charakteristika von Geschäftsmodellen. Der FBC besteht aus drei kontextuellen Systemen (Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft), vier Perspektiven (Prozess, Menschen, Wert und Ergebnisse) und sechzehn Bausteinen. Insgesamt ist der FBC ein nützliches Instrument, das Unternehmen und Interessengruppen eine konsistente Möglichkeit bietet, ihre Bemühungen zur Geschäftsmodellierung aufzuzeichnen und zu analysieren (Karlsson et al. 2018).



Abbildung 21: Der Flourishing Business Canvas (FBC) (Karlsson et al. 2018)

4.1 Verfügbarkeit und Identifizierung lokaler Biomasse sowie technischer und infrastruktureller Ressourcen

Das Besondere an der Bioökonomie ist ihre nachwachsende Rohstoffbasis. Biologische Ressourcen - lebende Organismen wie Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen - wachsen, gedeihen und produzieren durch ihren Stoffwechsel eine große Vielfalt organischer Substanzen. Der Oberbegriff, unter dem sich solche nachwachsenden Rohstoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs zusammenfassen lassen, ist Biomasse. In einer regionalen Bioökonomie gilt es, diese Ressourcen zu identifizieren, um neue biobasierte Geschäftsmodelle zu entwickeln, aber auch um eine mögliche Neuausrichtung bestehender Unternehmen, die bereit sind, ihre Rohstoffbasis zu verändern, zu erleichtern. Beide Ansätze können helfen, Unternehmen, die nach wie vor mit fossilen Ressourcen arbeiten, zunehmend unter Druck zu setzen und kurz-, mittel- oder langfristig zu verdrängen.

Aus Sicht der Unternehmen ist es wichtig, die Verfügbarkeit von Rohstoffen sowie die Rahmenbedingungen für die Bereitstellung ebenjener sorgfältig zu prüfen. Daher müssen unterschiedliche potenzielle Wertschöpfungsketten und Stoffströme aus verschiedenen Branchen analysiert und hinsichtlich ihres Biomassepotenzials bewertet werden (EMEL 2014, Fehrenbach 2017). Weit verbreitete Biomassequellen und -märkte sind:

- Landwirtschaft und nachgelagerte Verarbeitungsindustrie
- Forstwirtschaft und nachgelagerte Verarbeitungsindustrie
- Fischerei und nachgelagerte Verarbeitungsindustrie
- Lebensmittel- (-verarbeitende) Industrie
- Zellstoff- und Papierindustrie
- Kommunen

Eine große Herausforderung für eine sorgfältige Bewertung des Biomassepotenzials ist die Identifizierung zuverlässiger Datenquellen. Diese können zwischen verschiedenen Sektoren erheblich variieren. Das Ziel muss sein, möglichst zuverlässigen Daten zu sammeln, die wichtige Informationen zur Qualität und Quantität der Biomasseressourcen liefern (Griestop und Graf 2019). Dafür sollten verschiedene Erhebungsmethoden, wie Interviews oder Literaturrecherchen, in Betracht gezogen werden. Ein exemplarischer und einfach gehaltener Ansatz zur Abschätzung des technisch-nachhaltigen Biomassepotenzials wird im Folgenden vorgestellt:

Verfügbarkeit = Vorhandensein - A – B

Verfügbarkeit = Verfügbarkeit von Biomasse, wenn man bedenkt, was mit den gegenwärtigen oder zukünftigen Praktiken und Verfahren produziert, geerntet und gesammelt werden kann. Der Stand der Technik sowie die grundlegenden Anforderungen an die ökologische Nachhaltigkeit in Bezug auf die Erhaltung des Bodens und der biologischen Vielfalt werden hier zusätzlich berücksichtigt.

Vorhandensein = Vorhandensein von Biomasse heute (und in Zukunft angesichts der Erwartungen hinsichtlich der Landnutzungsänderung)

A = Biomasse, die für Bodenschutz/Biodiversität/Erosionsschutz und andere Nutzen, die sich nicht aus der konkurrierenden Nutzung ergeben, zurückgelassen werden muss

B = konventionelle bekannte konkurrierende Nutzungen (Futter-, Lebensmittel-, Material- und Energienutzung) (Dees et al. 2017).

Es ist wichtig zu betonen, dass die Gewichtung der verschiedenen Parameter von Sektor zu Sektor unterschiedlich sein kann. Dies kann so weit gehen, dass Parameter vernachlässigt werden können oder hinzugefügt werden müssen.

Je nach Biomassetyp und gewünschtem Endprodukt können Unternehmen aus unterschiedlichen Technologien wählen. Dabei sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen, die sowohl im initialen Entscheidungsprozess als auch in den folgenden Betriebsjahren eine entscheidende Rolle spielen. Tabelle 3 zeigt eine grobe Checkliste für die Entwicklung von Technologie- und Infrastrukturkonzepten für Unternehmen in regionalen Bioökonomien (ohne Gewähr für Richtigkeit und Vollständigkeit):

Tabelle 3: Technische, wirtschaftliche und andere Kriterien für die Auswahl des technischen Equipments (angepasst nach Stein et al. 2017).

Technische Kriterien	Ökonomische Kriterien	Andere Kriterien
<p>Lokale Bedingungen</p> <p>Standort (mit Auswirkungen auf Konstruktion und Dimensionierung), Verkehrsanbindung, Lastbedarf und Kapazität (möglicher zeitliche Schwankungen: Winter vs. Sommer), Elektro- und Netzanschlüsse</p>	<p>Kapitalbedarf</p> <p>Investitionen, Maschinen und Anlagen, Gebäude, Planung, Finanzierung (Eigenkapital, Kredit, Leasing, etc.)</p>	<p>Organisation und Struktur</p> <p>Projektpartner (für die Errichtungs- und Betriebsphase), Eigentumsstrukturen, Verträge und Verantwortlichkeiten, rechtliche Aspekte usw.</p>

Technische Kriterien	Ökonomische Kriterien	Andere Kriterien
Biomasse und Biomasseangebot Art der Biomasse, erforderliche/verfügbare Menge, Eigenschaften und Qualität, Angebotsart und -intervalle, Aufbereitung und Lagerung der Biomasse, Lieferung und Transport, Entfernung von der Biomassequelle	Operative Kosten Wartung und Reparatur, Versicherung, Gehälter, Energiekosten, Prozess- und Steuerungstechnik und Überwachung, Produktentwicklungskosten, Prozessoptimierungskosten, Entsorgungs- und Handhabungskosten von Abfällen und Nebenprodukten	Behörden Überprüfung von Genehmigungsanforderungen, Emissionen, Gesundheit und Sicherheit, etc.
Technologiekonzept & Konstruktionsfaktoren Kapazität, vorhandene Ausrüstung, elektrische Installationen, Kontrollausrüstung, Gebäude, Außenanlagen	Wirtschaftlichkeit Output (z.B. Preis/Einheit oder Produkt), Amortisation, Erweiterung, Schulungen	Akzeptanz Intern und extern

Risikoeinschätzung, zukünftige Entwicklungen, Investitionsentscheidung

Die Biomasselogistik ist von großer Bedeutung, da die relativen Kosten des Biomassetransports beträchtlich sind (BioEnergy Consult 2020). Die Logistik von Biomasse umfasst die Ernte, den Transport, die (Zwischen-)Lagerung und die Verarbeitung der produzierten pflanzlichen Biomasse sowie der organischen Abfälle und Rückstände (Biomasse-Logistik n.d.). Die Rohdichte beeinflusst beispielsweise die Entfernung, über die die Biomasse noch wirtschaftlich transportiert werden kann. Dabei muss sowohl die Chargen- als auch die Verarbeitungskapazität der Aufbereitungsanlage berücksichtigt werden, da sie für verschiedene Arten von Biomasse erheblich variieren können (Scholwin und Fritsche 2007). Für den Transport von Biomasse ist es ratsam, bestehende Transportstrukturen zu identifizieren, die sowohl Transportunternehmen als auch potentielle Vorverarbeitungsbetriebe einschließen. Gerade letztere sind von großer Bedeutung, wenn es darum geht, die Rohdichte der benötigten Biomasse zu erhöhen.

4.2 Integration von Stakeholdern

Die Nachhaltigkeit einer Organisation oder eines Unternehmens und ihrer Geschäftstätigkeit wird auch daran gemessen, inwieweit Interessen der Stakeholder berücksichtigt werden. Freeman definiert einen Stakeholder als "jede Gruppe oder Einzelperson, die das Erreichen der Ziele eines Unternehmens beeinflussen kann oder davon betroffen ist" (Freeman 1984). Nachhaltig agierende Unternehmen berücksichtigen neben einem hohen Maß an Ressourceneffizienz und -sicherheit auch die interne und externe soziale Interaktion. Auf diese Weise übernehmen die Stakeholder entscheidende Rollen bei dem Zugang zu und dem Erwerb von Ressourcen und Kapazitäten, die für die Entwicklung neuer oder die Anpassung bestehender Unternehmen notwendig sind (Tiemann et al. 2018). Die Wertschöpfung sollte für alle beteiligten Interessengruppen von Vorteil sein (auch wenn die Beiträge zur Wertschöpfung der einzelnen Interessengruppen unterschiedlich sein können). Andernfalls könnte ein Unternehmen seine Geschäftspartner, Stakeholder, Ressourcen sowie seine Legitimität verlieren (Freudenreich et al. 2019).

Es gibt diverse Stakeholder auf verschiedenen Ebenen, die einbezogen werden müssen, wenn es um die Entwicklung neuer Unternehmen in einer Bioökonomie geht. Dabei variiert der Beitrag bzw. Einfluss dieser Stakeholder, wodurch jeder dieser Akteure während den verschiedenen Phasen eines Projekts, wie z.B. in der Entwicklungs-, Umsetzungs- und Betriebsphase, eine unterschiedliche Rolle einnimmt. Bei einem Bioenergie-Projekt könnten die Ebenen der Interessenvertreter wie folgt aussehen (ohne Garantie auf Richtigkeit oder Vollständigkeit):

Lokale Ebene

- Lieferanten von Biomasse
- Anlagenbetreiber
- Energieversorger
- Städtische Verwaltung

Regionale Ebene

- Finanzierungspartner
- Ingenieure und Planungsbüros
- Bürger, Öffentlichkeit, regionale Gruppierungen
- Lokale und regionale KMUs (z.B. Installateure, Elektriker, Designer)

Nationale Ebene / Bundesebene

- Hersteller von technischem Equipment
- Gesetzgeber
- Regional- und Landesregierung (Stein et al. 2017).

Eine Stakeholderanalyse hilft, die lokalen Kapazitäten, die genutzt werden können, sowie fehlende Elemente zu identifizieren. Die Analyse zeigt, welche Experten vor Ort einbezogen werden können, welche Ressourcen sie bereitstellen können und welche Ressourcen durch und von externen Stakeholdern bereitgestellt werden sollten bzw. müssen. Wichtige Schritte einer Stakeholder-Analyse sind folgend aufgeführt:

- Bestimmen Sie, wer Ihre Stakeholder sind (Führungskräfte, Marketing, Vertrieb, Finanzen, Entwicklung/Konstruktion/Herstellung, Beschaffung, Betrieb/IT, Berater)
- Gruppieren und priorisieren Sie diese Interessenvertreter (kategorisieren Sie sie nach ihrem Einfluss, Interesse und dem Grad ihrer Beteiligung an Ihrem Projekt)
- Finden Sie heraus, wie Sie mit jeder Art von Stakeholdern kommunizieren und deren Zustimmung gewinnen können.

Einige der Stakeholder sind nur in wenigen Phasen des Projekts involviert, während andere während der gesamten Planungs-, Umsetzungs- und Betriebsphase beteiligt sind (z.B. Rohstofflieferanten). Darüber hinaus können Akteure durch verschiedene Beziehungen, formell und informell, miteinander verbunden sein. Formale Beziehungen werden durch Verträge definiert (siehe Kapitel 4.5).

4.3 Kundensegmente

Die Kundensegmente für biobasierte Produkte sind sehr unterschiedlich. Sie reichen von Einzelpersonen und Interessengruppen bis hin zu ganzen Industriezweigen. In einigen Fällen können Verbraucher und Produzenten eines Bioprodukts sogar dieselbe Partei sein, wie es zum Beispiel in manchen Bioenergieunternehmen der Fall ist. Die Wahl eines Bioprodukts oder die Gründung

nachhaltiger Unternehmen sind meistens das Ergebnis finanzieller Anreize oder Vorteile im Vergleich zu Produkten, die beispielsweise auf fossilen Ressourcen basieren. Darüber hinaus steigt das Bewusstsein der Verbraucher, da Umweltbedrohungen heutzutage immer mehr Beachtung finden. Dies gilt sowohl für direkte Konsumenten von biobasierten Produkten als auch für Industrien und Unternehmen, die vermehrt versuchen, erneuerbare Materialien und Produkte in ihre Wertschöpfungsketten und Prozesse zu integrieren.

Tabelle 4 zeigt einige biobasierte Produkte und ihre potenziellen Kunden. Diese Übersicht basiert auf den in Kapitel 3 vorgestellten Biomassekonversionstechnologien und biobasierten Produkten.

Tabelle 4: Biobasierte Produkte und ihre potenziellen Kundensegmente

Biobasiertes Produkt	Potenzielle Kundensegmente
Feste Biomasse (zum Heizen und Kühlen)	Privathaushalte, Industrie, Gemeinden (z.B. Fernwärmeanlagen)
Biogas	Gas- und Energieversorger, Industrie (z.B. chemische Industrie)
Biodiesel	Nutzfahrzeugbetreiber, Transport- und Frachtindustrie, Kraftstoffindustrie
Bioethanol	Kraftstoffindustrie (hauptsächlich für Nutzfahrzeuge und die Luftfahrt)
Bioplastik	Elektroindustrie, Bauindustrie, Automobil- und Transportindustrie, Landwirtschaft, Konsumgüterindustrie, Textilindustrie, Verpackungsindustrie
Biocomposite	Bauindustrie, Automobilindustrie, Konsumgüterindustrie (z.B. Gehäuse und Verpackungen, Musikinstrumente, Medizin und Hygieneprodukte)
Kompost	Landwirte, Privathaushalte, Gärtnereien
Biobasierte Verpackungen	Lebensmittelindustrie, Verpackungsindustrie
Biobasierte Dämmmaterialien	Bauindustrie, Musikindustrie
Biobasierte Textilien	Textilindustrie, (Bio-) Einzelhändler, Bauindustrie
Lebensmittel	Lebensmittelindustrie, (Bio-) Einzelhändler, Fitnessbranche
Omega-3 Fischöl	Kosmetikindustrie, Lebensmittelindustrie, Futtermittelindustrie, Gesundheits- und Medizinindustrie

Wie aus Tabelle 4 hervorgeht, gibt es bestimmte biobasierte Produkte für bestimmte Kundensegmente. Um die Kunden zu erreichen sowie neue Kundensegmente zu erschließen werden verschiedene

Kanäle³ genutzt. Es handelt sich um ein kontinuierliches Screening sowohl der Angebots- als auch der Nachfrageseite, um neue Geschäftsmöglichkeiten zu identifizieren und zu entwickeln. Auf der Angebotsseite wird einerseits versucht, mit biobasierten Produkten in Märkte einzutreten und eine wettbewerbsfähige Alternative für erdölbasierte Produkte anzubieten. Auf der anderen Seite versucht die Nachfrageseite, fossile Produkte durch biobasierte Produkte zu ersetzen, sei es in Form von Zwischenprodukten oder als fertiges Endprodukt.

4.4 Planung, Implementierung und Betrieb bioökonomischer Unternehmen

Es gibt keine allgemein gültigen Richtlinien für die Planungs-, Umsetzungs- und Betriebsphase eines bioökonomischen Unternehmens, aber es gibt einige Stellschrauben und Schritte, die in den meisten Fällen eine Rolle spielen, auch wenn ihre Gewichtung unterschiedlich sein mag.

In der **anfänglichen Planungsphase** müssen die wichtigsten Triebkräfte und entscheidenden Akteure identifiziert werden. Sie sind elementar, wenn es um die weiteren Schritte der Gründung eines Unternehmens geht. Initiatoren für Geschäftsideen können folgende sein:

- Bürgerinitiativen
- Verbände
- Unternehmen und Unternehmer
- Externe Berater
- Politiker und Schlüsselpersonen (hauptsächlich auf lokaler und regionaler Ebene)

Darüber hinaus werden in der Anfangsphase des Projekts die Ziele des Unternehmens definiert. Solche Ziele können sein:

- Valorisierung ungenutzter Biomasseressourcen
- Schließen von Kreisläufen
- Generation von Wertschöpfung in der Region und Stärkung der regionalen Wirtschaft
- Förderung der regionalen Entwicklung
- Neuausrichtung der sozioökonomischen und ökologischen Schwerpunkte
- Reduzierung der THG-Emissionen
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Produkte, wie biobasierte Energie und Materialien und Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Ressourcen

Diese eher allgemeinen Ziele können durch die Zuhilfenahme quantitativer Indikatoren verfeinert werden, die möglichst aus bestehenden Plänen auf kommunaler oder regionaler Ebene abgeleitet werden sollten, z.B. Aktionspläne für nachhaltige Energie, Klimaschutzkonzepte oder Strategien, die mit dem European Energy Award verbunden sind. Darüber hinaus müssen verschiedene Voraussetzungen auf der Grundlage der bestehenden Rahmenbedingungen sowie quantitativer und qualitativer Kriterien für die Entwicklung eines neuen Unternehmens bewertet werden, wie z.B. rechtliche Rahmenbedingungen oder Förder- und Preisstrukturen.

³ Verschieden Kanäle für Geschäftsmodelle werden in dem Deliverable " D2.4 Business models for regional bioeconomies" des BE-Rural-Projekts dargestellt.

Diese erste Phase ist elementar, um die Umsetzbarkeit der Geschäftsidee einschätzen zu können und mögliche folgende Schritte vorzubereiten. So werden in dieser frühen Phase des Projekts sozioökonomische, technische und ökologische Fragen angesprochen.

Einige Schlüsselfragen könnten die folgenden sein:

- Was ist der Ausgangspunkt, die Kernidee des Projekts?
- Wer sind die Hauptakteure und wer sind potenzielle unterstützende Akteure? Was sind potenzielle Absichten, dem Projekt beizutreten?
- Wie sind die Beziehungen zwischen den relevanten Akteuren?
- Was sind die geeigneten Kommunikationskanäle innerhalb der ersten Phase des Projekts?
- Wer sind die potenziellen Kunden und welcher Mehrwert wird für den Kunden generiert?
- Was sind die Vor- und Nachteile für das Projekt, die in der Kommunikationsstrategie berücksichtigt werden müssen?
- Wer sind die potenziellen lokalen Projektpartner (Landwirte, Installateure usw.)?
- Welche Ressourcen stehen ihnen zur Verfügung?
- Welche Möglichkeiten gibt es, um potenzielle Rohstofflieferanten einzubeziehen?
- Welche Biomasseressourcen stehen in der Region zur Verfügung? Sind sie ausreichend für das neue Geschäft? Gibt es einen Wettbewerb um Biomasseressourcen?
- Welche Technologien eignen sich für das Unternehmen am besten?

Die Initiatoren sollten eine umfassende Übersicht der gesammelten Informationen zusammenstellen, da sie die Grundlage für das weitere Vorgehen und zukünftige Entscheidungen ist. Web-basierte Clouds und andere Werkzeuge sind sehr nützliche Instrumente, um alle verschiedenen Informationen zu bündeln und die Daten zu strukturieren (Stein et al. 2017).

Diese gesammelten Informationen haben Einfluss auf die **weitere Planung**, da hier detailliertere Daten und Informationen zur Verfügbarkeit und Eignung von Biomasse (z.B. Ackerland, Logistik etc.), zur technologischen Ausstattung des Betriebes sowie zur weiteren Umsetzung der Geschäftsidee erhoben werden. Auch die potentielle Nachfrage nach dem biobasierten Produkt gilt es in dieser Phase zu untersuchen, um die Wirtschaftlichkeit der Geschäftsidee abschätzen zu können (z.B. ausreichender Kundenkreis). Dies ist entscheidend für die Berechnung des Business Case. Die Daten können durch Fragebögen, persönliche Treffen und Arbeitsgruppen erhoben werden. Die weitere Planung sollte zudem eine **Machbarkeitsstudie** beinhalten, die eine Entscheidungsgrundlage für die tatsächliche Umsetzung der Geschäftsidee liefert. Datenbanken, Berechnungen und Informationen aus der vorherigen Planung fließen in derartige Studien mit ein. Eine Lebenszyklusanalyse ist ein zuverlässiges Instrument zur Berechnung der wirtschaftlichen Ergebnisse und berücksichtigt zusätzlich die dynamische Entwicklung der verschiedenen Kosten, die anfallen. All diese Daten können schlussendlich in einer Matrix von Entscheidungskriterien gesammelt werden. Eine solche Entscheidungsmatrix hat einen starken Einfluss auf die Auswahl der Technologie sowie auf die Investitionskosten und das Geschäftsmodell. Diese Entscheidungsmatrix kann zur Vorbereitung der Entscheidungsfindung für ein technisches Konzept und während der weiteren Schritte (weitere Planung, Design und Implementierung der Geschäftsidee) verwendet werden. Technische, ökologische und wirtschaftliche Kennzahlen und Kriterien sind für die weitere Entscheidungsfindung von Bedeutung.

Nach der Planungsphase und der Planungsgenehmigung kann mit der **Umsetzung** begonnen werden. Die Umsetzung kann von Betreibergesellschaften oder von beauftragten Akteuren und Planern durchgeführt werden. Anschließend beginnt die **operative Phase** des Projekts. Dabei müssen

während des Betriebs verschiedene Aufgaben erfüllt werden. Diese hängen von den eingesetzten Ressourcen, der technischen Ausstattung und dem Geschäftsmodell ab. Einige Aufgaben können wie folgt aussehen:

Verwendung von Biomasse

- Beschaffung und Logistik der Biomasse
- Vorbehandlung der Biomasse
- Verladung/Beschickung der Biomasseanlagen
- Entsorgung von Abfallprodukten aus der Biomasseverarbeitung
- Qualitätssicherung der biobasierten Produkte

Technisches Management

- Überwachung des technischen Equipments
- Laufende Optimierung der Produktionsprozesse
- Messung und Verifizierung
- Dokumentation
- Wartung

Buchhaltung und Controlling

- Verhandlungen mit Vertragsparteien
- Versicherungsverträge
- Abrechnung und Bezahlung von Mitarbeitern, Biomasselieferanten und anderen Unternehmen
- Jahresplanung und Jahresverträge
- Lohnbuchhaltung, Steuern, Bankwesen
- Einnahmen aus dem Verkauf
- Mahnwesen
- Dokumentation
- Gewinn- und Verlustberechnung

Kommunikation und Verteilung

- Kommunikation der Erfolge
- Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
- Akquisition von Neukunden (angepasst nach Stein et al. 2017).

4.5 Eigentumsmodelle und Vertragsangelegenheiten

4.5.1 Eigentumsmodelle

Eigentumsmodelle können als öffentlich/kommunal/staatlich, als eine Form der öffentlich-privaten Partnerschaft (PPP) oder als rein privatwirtschaftlich kategorisiert werden. Diese Modelle unterscheiden sich in ihrer Eignung für bioökonomische Unternehmen. Jedes der genannten Eigentumsmodelle könnte zum Beispiel auf eine Biogasanlage angewendet werden. Dies muss jedoch

nicht für ein Start-up-Unternehmen gelten, das neue Hightech-Technologien zur Umwandlung von Biomasse entwickelt.

Beim **öffentlichen Finanzierungsmodell** ohne private Beteiligung übernehmen öffentliche Einrichtungen den größten Teil des mit der Investition verbundenen Risikos für das Projekt. Wenn ein Projekt eine niedrige interne Rendite (IRR) aufweist, die in der Regel im Bereich von 2-6% liegt, kann die lokale Behörde selbst das Projekt intern entwickeln und umsetzen, um Verwaltungskosten zu reduzieren. Finanziell gefestigte Städte entwickeln solche Projekte über die öffentlichen Versorgungsbetriebe, wobei die niedrige Rendite auf andere Projekte mit einer höheren internen Rendite verteilt werden kann. Projekte können auch durch neugegründete Tochtergesellschaften (z.B. ein neuer öffentlicher Versorgungsbetrieb) entwickelt werden, um den administrativen und bürokratischen Aufwand für die Kommunalbehörde zu verringern. Dies kann zusätzliche Vorteile bringen, wie z.B. die Beschränkung der finanziellen Haftung der Stadt im Falle des Scheiterns von Projekten, erhöhte Flexibilität, zügigere Entscheidungsfindung, sowie eine größere Transparenz und einen kommerzielleren Betrieb. Das öffentliche Finanzierungsmodell kann Gemeinden stärken, regionale Kapazitäten nutzen und regionale Arbeitsplätze schaffen (Asian Development Bank 2015, Sunko et al. 2017).

Eine **PPP** ist eine langfristige vertragliche Vereinbarung zwischen einer Behörde des öffentlichen Sektors und einer privaten Partei, bei der die private Partei eine öffentliche Dienstleistung (z.B. Stromversorgung) erbringt und sich einem erheblichen Teil der finanziellen, technischen und betrieblichen Anforderungen annimmt. Die Hauptfunktion einer PPP besteht darin, die Aufgaben und Risiken denjenigen Parteien zuzuweisen, die sie auf die bestmögliche und effizienteste Weise lösen bzw. bewältigen können (das sind oftmals die Partner aus dem Privatsektor). Die Beteiligung des Privatsektors dient dazu, langfristige Investitionsperspektiven zu gewährleisten, den Zugang zu zusätzlichen Investitionsquellen zu ermöglichen und Erfahrungen und Innovationen des Privatsektors einzubringen. Eine der großen Herausforderungen einer PPP ist die Koordination der verschiedenen beteiligten Akteure (und ihrer Bedürfnisse) (Asian Development Bank 2015, Sunko et al. 2017).

PPP umfassen eine Reihe verschiedener Modelle mit Partnerschaften zwischen dem öffentlichen und privaten Sektor. Einige von ihnen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: PPP-Modelle (Sunko et al. 2017, Practical Law n.d.)

PPP-Modell	Akronym	Beschreibung
Build Lease Transfer	BLT	Eine PPP, bei der eine private Organisation eine Anlage entwirft, finanziert und auf gepachtetem öffentlichem Land baut. Die private Organisation betreibt die Anlage für die Dauer des Pachtvertrags und überträgt dann das Eigentum an die öffentliche Organisation.
Build Own Operate	BOO	Ein Regierungsorgan verkauft das Recht, ein Projekt gemäß den vereinbarten Designvorgaben zu bauen und das Projekt für eine bestimmte Zeit zu betreiben. Die Partei des Privatsektors ist Eigentümer des Projekts und nicht dazu verpflichtet, das Projekt am Ende der Laufzeit an die Regierungseinheit zu übertragen.
Build Own Operate Transfer	BOOT	Eine staatliche Stelle gewährt einer Partei aus dem Privatsektor das Recht, ein Projekt zu finanzieren,

PPP-Modell	Akronym	Beschreibung
		zu planen, zu bauen, zu besitzen und für eine bestimmte Anzahl von Jahren zu betreiben. Die Partei aus dem Privatsektor ist während der Laufzeit der Vereinbarung Eigentümer des Vermögensgegenstands.
Build Operate Transfer	BOT	Eine staatliche Stelle gewährt das Recht, ein Projekt gemäß den vereinbarten Designvorgaben zu bauen und das Projekt für eine bestimmte Zeit von einer Partei des privaten Sektors betreiben zu lassen. Die Partei des Privatsektors ist nicht Eigentümer des Projekts. Während dem Betrieb erhält die Partei des Privatsektors eine Zahlung von der staatlichen Stelle oder den Endnutzern.
Design and Build	D&B	Eine Methode zur Durchführung eines Projekts, bei der die Design- und Bauleistungen von einer einzigen Einheit, dem so genannten Design-Builder, in Auftrag gegeben werden.
Design Build Finance Operate	DBFO	Die Partei des privaten Sektors entwirft, baut, finanziert und betreibt ein Investitionsprojekt und kann mittels Gebühren oder von der Regierungsbehörde bezahlt werden, die das Eigentum an dem Projekt behält.
Private Finance Initiative	PFI	Eine Möglichkeit zur Finanzierung von Projekten des öffentlichen Sektors durch den privaten Sektor. PFIs entlasten die Regierung und die Steuerzahler von der unmittelbaren Kapitallast.

Neben den verschiedenen PPPs ist ergänzend das Mehrparteien-Eigentumsmodell zu nennen. Auch diese Projekte liegen zum Teil in öffentlicher und zum Teil in privater Hand. Dieses Eigentumsmodell eignet sich für Regenerative Energien-Projekte, wie z.B. kommunale Biogasanlagenprojekte in eher kleinem Maßstab. Die wichtigsten Aspekte des Mehrparteien-Eigentumsmodells und seine Anwendung auf ein Energieprojekt werden in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Das Mehrparteien-Eigentumsmodell für ein Energieprojekt: Schlüsselaspekte, Umsetzung, Vor- und Nachteile (Asian Development Bank 2015)

	Beschreibung
Schlüsselaspekte	<p>Projekte für erneuerbare Energien oder Energieeffizienz können technisch komplex und mit hohen Kapitalkosten verbunden sein, was spezielle Modelle erfordert.</p> <p>Im Falle von Biogasanlagen wird die Stromerzeugungsanlage vom Versorgungsunternehmen finanziert und installiert, und der Fermenter ist im Besitz einer dritten Partei (Energiedienstleistungsunternehmen, Nutzerkooperative, etc.) und wird von ihr gewartet.</p>

	Beschreibung
	Am Beispiel der Biogasproduktion wird die Finanzierung durch einen Drittinstallateur oder eine externe Quelle bereitgestellt, wodurch der Landwirt von jeder größeren Haftung befreit wird. Die Anlage wird auf dem Gelände des Landwirts installiert.
	Die Einnahmen aus dem Verkauf des Biogases an das Versorgungsunternehmen werden zur Rückzahlung von Schulden und Zinsen verwendet.
Umsetzung	Installation der Biogasanlage
Vorteile	Geringes Risiko für Landwirte; Finanzierungsmöglichkeiten für ländliche Elektrifizierung
Nachteile	Hohes technisches Risiko (vor allem, wenn ein externes Wartungsunternehmen den Landwirt nicht ordnungsgemäß unterstützt)

Schließlich können sich Betriebe/Anlagen/Unternehmen in **Privatbesitz** von Unternehmen, Verbänden, Haushalten, Personen usw. befinden. Hier kommen Modelle wie das Leasing- oder Mietkaufmodell (eine Leasinggesellschaft (Leasinggeber) oder ein Technologielieferant stellt dem Endnutzer die Ausrüstung für einen vertraglich festgelegten Zeitraum gegen regelmäßige Zahlungen zur Verfügung) in Frage. Modelle mit Händlerkrediten (Technologie oder Systemlieferant stellt die technische Ausrüstung und den Anfangskredit für das System zur Verfügung) sind ebenso üblich. Darüber hinaus ist es möglich, durch private Ersparnisse oder Kredite in neue Technologien zu investieren oder diese in bestimmten Kooperationen zu entwickeln. Der Betrieb, die Wartung und das Management sind bei privatwirtschaftlichen Modellen in der Regel effizienter.

4.5.2 Verträge mit Biomasselieferanten

Biomasselieferanten sind von elementarer Bedeutung für Wertschöpfungsketten in regionalen Bioökonomien. Wichtige Biomasselieferanten sind die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft, die Biomasseverarbeitende Industrie sowie Kommunen.

Unternehmen, die Biomasse in verschiedene Produkte umwandeln, sind von einer kontinuierlichen Versorgung mit Biomasse abhängig. Sobald diese Unternehmen lediglich die Biomasse umwandeln, diese jedoch nicht selbst produzieren, binden sie sich an Dritte, respektive Rohstofflieferanten. Diese Beziehung gilt es vertraglich zu verankern. Diese Verträge können aus verschiedenen Elementen bestehen. Einige dieser Elemente werden nachfolgend aufgeführt:

- Art des Ausgangsmaterials
- Qualität des Ausgangsmaterials (Wassergehalt, Trockensubstanzgehalt, Energiegehalt, Aschegehalt, angewandte Normen und Spezifikationen, Herkunftsnachweise)
- Physikalische Eigenschaft des Produkts (Vorverarbeitung)
- Menge des Ausgangsmaterials: in Tonnen, Kubikmeter
- Lieferverfahren: Lieferung an die Biomassekonversionsanlage oder unabhängige Abholung von der/den Ursprungsquelle(n)
- Lieferintervalle: abhängig von der Lagerfähigkeit des Ausgangsmaterials, der Lagerkapazität an den Biomassekonversionsanlagen

- Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen: Intervalle, Art und Verfahren für Biomasseproben
- Vertragsdauer (normalerweise 3-10 Jahre: je länger der Vertrag ist, desto geringer ist das Risiko und desto besser ist die wirtschaftliche Planung)
- Recycling von Rückständen (z.B. Vereinbarungen über die Rückgabe von Gärresten an Landwirte zur Düngung, nationale und lokale Vorschriften müssen bei Vereinbarungen über das Recycling von Rückständen berücksichtigt werden)
- Preis: Festpreis, indexbezogene Preise
- Konfliktlösung: Gerichtsstandsklauseln, Strafen, Gewährleistungen, Haftungen, allgemeine Bestimmungen usw. (angepasst nach Stein et al. 2017).

Die Qualität des Ausgangsmaterials ist besonders wichtig, da die Eigenschaften der Biomasse einen direkten Einfluss auf die Technologie und das hergestellte Produkt haben. Daher gibt es ISO-Normen für Biomassetypen wie Holzhackschnitzel, Pellets, Briketts und Rundholz. Bei Verträgen mit Lieferanten biogener Festbrennstoffe sollte die entsprechende ISO-Norm angewendet und im Vertrag erwähnt werden (Stein et al. 2017).

Darüber hinaus gibt es Märkte und Handelszentren für verschiedene Arten von Biomasse, wobei sich diese Strukturen von Land zu Land stark unterscheiden. So gibt es in Deutschland beispielsweise Biomasse-Handelszentren wie den "Biomasse-Hof Achantal", einen Zusammenschluss verschiedener Mitglieder aus der Forstwirtschaft. Hier können verschiedene Holzbrennstoffe wie Pellets, Briketts und Rundholz in unterschiedlich großen Chargen für die private und gewerbliche Nutzung bestellt und gekauft werden. Die Preise für die Biomasse hängen von der Größe der Chargen ab. Der Biomassehof Achantal kann aufgrund seiner großen Lagerkapazität eine kontinuierliche Biomasseversorgung gewährleisten und hilft so, mögliche Engpässe in der täglichen, aber auch saisonalen Biomasseversorgung zu überwinden (Biomassehof Allgäu n.d.). Derartige Handelszentren gibt es vor allem für hölzerne Biomasse und Biokraftstoffe. Für landwirtschaftliche Biomasse sind derartige Handelszentren weniger üblich. Allerdings gibt es je nach regionalem Kontext unterschiedliche Ansätze für die Biomasseversorgung. Das Start-up-Unternehmen BIO-LUTIONS stellt Einweggeschirr und -verpackungen aus landwirtschaftlichen Abfällen und Rückständen her und bezieht diese direkt von den Vertragslandwirten aus dem Umland (BIO-LUTIONS 2019).

4.6 Finanzierungsmöglichkeiten

Die Entwicklung und Gründung von Unternehmen der Bioökonomie erfordert Investitionen, wie bei jedem anderen Unternehmen auch. Es gibt mehrere Ansätze und Finanzierungsquellen, auf die für den Aufbau einer Bioökonomie bzw. die Entwicklung bioökonomischer Projekte zurückgegriffen werden kann. Häufig genutzte Finanzierungsquellen für bioökonomische Unternehmen sind das Eigenkapital, das Darlehenskapital und das Förderkapital. Jede dieser Quellen wird im Folgenden kurz beschrieben.

Durch **Eigenkapital** eines Eigentümers kann ein Unternehmen bzw. ein Projekt finanziert werden. Es wird auch als Risikokapital bezeichnet, da der Investor das Risiko eingeht, sein Geld zu verlieren, sollte das Unternehmen scheitern. Im Gegensatz zum Fremdkapital muss das Eigenkapital nicht zwingend mit Zinsen zurückgezahlt werden. Vielmehr spiegelt es sich in der Eigentümerstruktur des geplanten Unternehmens wider. Quellen für Beteiligungskapital sind die Eigenmittel des Unternehmers, private Investoren (von den Privatpersonen bis hin zu Gruppierungen lokaler Geschäftsinhaber), Arbeitnehmer, Kunden und Lieferanten, ehemalige Arbeitgeber, Risikokapitalfirmen, Investment-Banking-Firmen, Versicherungsgesellschaften, Großunternehmen und staatlich unterstützte kleine Unternehmen, die Investitionen tätigen. So kann das Eigenkapital sowohl intern von den Entwicklern des Projekts (z.B. Gemeinde, Unternehmen, Genossenschaft, Einzelpersonen) als auch extern

bereitgestellt werden. Die gängigsten Quellen für Beteiligungskapital sind in Tabelle 7 zusammengefasst (Sunko et al. 2017).

Tabelle 7: Quellen des Eigenkapitals (angepasst nach Sunko et al. 2017)

Quelle des Eigenkapitals	Beschreibung
Privates Beteiligungskapital	Bereitstellung von Eigenkapital durch Projektinitiatoren oder Finanzinvestoren auf mittlere oder lange Sicht. Das private Beteiligungskapital kann von externen Investoren in Form von Eigentum oder in Form eines Darlehens bereitgestellt werden. Diese Darlehen können über 10% Zinsen enthalten. Es ist empfehlenswert, spezialisierte private Beteiligungskapitalinvestoren für den Sektor, in dem die Investition durchgeführt wird, einzusetzen, da sie über Wissen und Erfahrung verfügen und in der Lage sind, die Investition während ihrer gesamten Lebensdauer zu unterstützen.
Risikokapital	Bereitstellung von Kapital durch Investoren für Start-ups und kleinere Unternehmen, die ein langfristiges Wachstumspotenzial haben könnten. Das Investorenrisiko ist hoch, aber die Risikokapitalgeber haben in der Regel ein Mitspracherecht bei Unternehmensentscheidungen. Risikokapital kommt im Allgemeinen von wohlhabenden Investoren, Investmentbanken und anderen Finanzinstitutionen, die ähnliche Partnerschaften oder Investitionen in den ihnen vertrauten Branchen pflegen. Diese Form des Kapitals bringt oftmals technische und geschäftliche Erfahrung der Kapitalgeber mit sich.
Genossenschaftskapital	Genossenschaften sind Wirtschaftsunternehmen, die sich in demokratischem Besitz und unter der Kontrolle der Personen befinden, die von ihnen profitieren. Sie werden gemeinsam betrieben, um Dienstleistungen für die Begünstigten oder Mitglieder zu erbringen. Eigenkapital, das in genossenschaftliches Investitionseigentum umgewandelt wird, steht den Genossenschaften als finanzielles Mittel zur Verfügung. Darüber hinaus können Genossenschaftsmittel in Darlehenskapital umgewandelt werden, das dann wie später beschrieben behandelt wird.
Anschlussgebühren	Die Anschlussgebühren sind eine eher kleinere Quelle für Eigenkapital. Hier hängt die Investitionsrendite vollständig vom Kundenstamm eines Unternehmens ab. Daher ist es zwingend erforderlich, dass ein Unternehmen zahlungsfähige Kunden vorweisen kann. Dies macht kommunale Einrichtungen und größere Unternehmen zu idealen Kunden, da sie in der Lage sein sollten, ihre Rechnungen zu bezahlen (im Gegensatz zu einzelnen Haushalten, die ein größeres Risiko darstellen könnten). Die Anschlussgebühren können in der Investitionsphase ausgehandelt, vertraglich festgelegt und eingezogen werden. Sie machen tendenziell einen geringen Teil des Investitionskapitals aus.

Schuld- oder Darlehenskapital ist das Kapital, das ein Unternehmen durch die Aufnahme eines Darlehens aufnimmt. In der Regel wird es zu einem bestimmten Zeitpunkt zurückgezahlt. Geber des Fremdkapitals werden nicht zu Miteigentümern des Unternehmens. Hier unterscheidet sich das Fremdkapital vom Eigenkapital. Geber von Fremdkapital erhalten in der Regel eine vertraglich festgelegte jährliche prozentuale Rendite auf ihr Darlehen. Dieser Anteil der Investition muss innerhalb eines bestimmten Zeitraums mit einem festen Zinssatz zurückgezahlt werden, unabhängig von der finanziellen Lage des Unternehmens. Die Darlehensarten können durch verschiedene Variablen, wie z.B. die Berechnungsart der Zinssätze oder deren Fälligkeiten, variieren. Die Zinskosten machen dabei einen gewissen Prozentsatz des Gesamtdarlehens aus. Der Kreditnehmer muss also den ursprünglich geliehenen Geldbetrag zuzüglich der Kosten für die Geldaufnahme (Zinsen) zurückzahlen. Wie viel Zinsen für ein bestimmtes Darlehen zurückgezahlt werden müssen, hängt von der kreditgebenden Institution und den Darlehensbedingungen ab. **Feste Zinssätze** enthalten einen festen Prozentsatz auf das Darlehen, der während der Laufzeit des Darlehens zurückgezahlt werden muss. Es ist einfach, den Geldbetrag zu berechnen, den der Kreditnehmer zu einem bestimmten Zeitpunkt zurückzahlen muss, da sich der Prozentsatz während der Laufzeit nicht ändert. Darlehen mit **variablen Zinssatz** ermöglichen es der kreditgebenden Institution, den Zinssatz jederzeit während der Laufzeit des Darlehens an die sich ändernden Marktbedingungen anzupassen. So kann der Kreditnehmer von künftigen Senkungen der Marktzinsen profitieren, was zu einer Verringerung der monatlichen Rückzahlungen führt. Es kann jedoch auch das genaue Gegenteil eintreten, was zu ernsthaften finanziellen Schwierigkeiten für das Projekt führen könnte (Sunko et al. 2017).

Eine weitere zu berücksichtigende Variable des Darlehenskapitals ist die Laufzeit des Darlehens. Kurzfristige Darlehen sind in der Regel Darlehen mit einer Gültigkeitsdauer von drei Jahren oder weniger. Kurzfristige Finanzierungen sind in der Regel für die Finanzierung des laufenden Betriebs vorgesehen. Im Gegensatz zu kurzfristigen Darlehen können langfristige Darlehen Rückzahlungsfristen von drei bis 30 Jahren enthalten. Langfristige Darlehen eignen sich zur Finanzierung von (neuen) Projekten und können einen wichtigen Beitrag zur Förderung der regionalen Entwicklung leisten. Staatliche Institutionen können verschiedene Darlehen mit subventionierten Zinssätzen anbieten, um Investitionen in neue Geschäftsprojekte zu erleichtern.

Drittens können Unternehmen der Bioökonomie durch **Fördermittel** finanziert werden. Förderkapital kann von verschiedenen Institutionen auf verschiedenen Ebenen angeboten werden. So können Gemeinden und Städte, Landkreise, Bundesländer, Bundesstaaten sowie Staatenverbände, wie die EU, Kapitalzuschüsse gewähren. Es gibt eine Vielzahl von verfügbaren Fördermitteln für Bioökonomieprojekte. Die folgende Übersicht zeigt Finanzinstrumente und -quellen auf EU-Ebene, da sich regionale und nationale Förderprogramme erheblich unterscheiden können:

- Europäischer Fonds für Strategische Investitionen (EFSI)
https://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/funding/efsi_en
- Europäische Plattform für Investitionsberatung (EIAH)
<https://eiah.eib.org/>
- Europäisches Investitionsvorhabenportal (EIPP)
<https://ec.europa.eu/eipp/desktop/en/index.html?2nd-language=en>
- Europäische Struktur- und Investitionsfonds (ESIF)
https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/funding-opportunities/funding-programmes/overview-funding-programmes/european-structural-and-investment-funds_en
 - Europäischer Fond für regionale Entwicklung (ERDF)
http://ec.europa.eu/regional_policy/en/funding/erdf/

- European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD)
https://ec.europa.eu/regional_policy/en/policy/what/glossary/e/european-agricultural-fund-for-rural-development
- Europäischer Meeres- und Fischereifonds (EMFF)
<https://ec.europa.eu/fisheries/cfp/emff/>
- Horizon 2020 (Horizon Europe)
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/>
- NER 300 Programm
https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund/ner300_en
- The EEA and Norway Grants
<https://eeagrants.org/>
- Europäische Investitionsbank (EIB)
<https://www.eib.org/en/>
- The Just Transition Mechanism
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_39
- Financing Energy Efficiency
<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/financing-energy-efficiency>
- European Energy Programme for Recovery (EEPR)
<http://ec.europa.eu/energy/eepr/projects/>
- Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBRD)
<https://www.ebrd.com/home> (BIC 2017, Sunko et al. 2017).

5 Nachhaltigkeitswirkung der Bioökonomie

Man könnte davon ausgehen, dass biobasierte Produkte, die ganz oder teilweise aus erneuerbaren Ressourcen hergestellt werden, automatisch nachhaltig sind und, verglichen mit Produkten fossilen Ursprungs, keine negativen ökologischen oder sozioökonomischen Auswirkungen haben. Es erscheint sinnvoll, Ressourcen zu nutzen, die unter nachhaltigen und fairen Bedingungen erzeugt und weiterverarbeitet wurden bzw. werden. Sowohl biobasierte als auch fossile Produkte sind Teil natürlicher Kreisläufe, wie z.B. des Kohlenstoffkreislaufs. Je nach Ausgangsrohstoff können die Umsatzzeiten in den Kreisläufen variieren, was zu bekannten Folgen für Ökosysteme oder das Klima führt (Contreras 2015). Vor dem Hintergrund der Ressourcenknappheit und des Klimawandels können biobasierte Produkte eine nützliche Alternative zu Materialien auf fossiler Basis sein. Doch auch biobasierte Produkte sind nicht von Natur aus nachhaltig. Die Quelle und Produktion der Biomasse, die Biomasse an sich, die im Produktionsprozess verwendete Energie, die Interdependenz mit anderen Produktwertschöpfungsketten oder Recycling- und Abfallszenarien spielen eine wichtige Rolle, wenn es um die Nachhaltigkeit biobasierter Produkte geht (Universität Maastricht n.d.).

5.1 Umweltauswirkungen

Für die Bestimmung der Umweltauswirkungen biobasierter Produkte sind zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen (Tabelle 8). THG-Emissionen sind eine der dominanteren Kenngrößen, da sie mit Phänomenen wie dem Klimawandel, dem Biodiversitätsverlust oder Landnutzungsänderungen in direkter Wechselwirkung stehen.

Tabelle 8: Überblick über die Umweltauswirkungen der Bioökonomie (Hasenheit et al. 2016)

Auswirkung	Mögliche Indikatoren
Veränderung der THG-Emissionen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsparung von THG-Emissionen ▪ Kohlenstoffdynamik durch LULUCF
Veränderter Verbrauch von fossilen Ressourcen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsparung oder Ersetzung fossiler Ressourcen
Verlust und Bedrohung der biologischen Vielfalt (einschließlich invasiver Arten)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlustrate der biologischen Vielfalt ▪ Verlust von Lebensraum ▪ Fragmentierung von Ökosystemen
Landnutzungsänderungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veränderung der Ackerbau-/Grasland-/Waldfläche, nicht ackerbauliche Landnutzung ▪ Kurzumtriebsplantagen
Intensität der Landnutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Felderbestellung und -wirtschaft ▪ Kohlenstoffgehalt von Ökosystemen
Erschöpfung der Bodenqualität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bodenversauerung ▪ Bodenversalzung ▪ Bodenverdichtung ▪ Kohlenstoffgehalt des Bodens

Auswirkung	Mögliche Indikatoren
Rückgang der Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veränderung der Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen durch Eingriff in und Änderung von Ökosystemen
Wassermangel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasserknappheit ▪ Wasserverbrauch & Wasserausbeutung ▪ Wassernutzung in der Land- und Forstwirtschaft ▪ Fertigungs- und Recyclingprozesse
Wasserverschmutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eutrophierung ▪ Toxizität
Erhöhter Verbrauch von Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veränderungen des Verbrauchsniveaus der Biomasse durch Veränderung der Rohstoffbasis
Verstärkte Wiederverwendung von Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzung organischer Abfälle von Deponien
Erhöhter Verbrauch aquatischer Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veränderung der Fischbestände
Atmosphärische Verschmutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emissionslevel ▪ Konzentration von Luftschadstoffen und THG
Materielle Kohlenstoffspeicher	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kohlenstoffvorratsänderungen
Produktmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grad der biologischen Abbaubarkeit der Produkte ▪ Grad der Produkttoxizität

Die Nutzung erneuerbarer organischer Ressourcen für die Produktion von Bioenergie und biobasierten Produkten hilft, die Abhängigkeit von erschöpfbaren fossilen Ressourcen zu verringern. Während des Wachstums speichert Biomasse CO₂, das in oder nach der Nutzungsphase bzw. der Abfallphase wieder freigesetzt wird. Die Produktion von Biomasse erfordert den Einsatz von Düngemitteln, die zur Emission von Distickstoffmonoxid führen, einem Treibhausgas, das 298 Mal stärker ist als CO₂. Darüber hinaus werden fossile Brennstoffe für die Herstellung von beispielsweise Dünger oder biobasierten Kraftstoffen für die Landwirtschaft, den Transport und die Weiterverarbeitung von Biomasse benötigt (Contreras 2015). Demnach ist die Frage, inwiefern die Auswirkungen biobasierter Produkte hinsichtlich ihrer THG-Emissionen tatsächlich positiv sind nicht so einfach zu beantworten. Verschiedene Studien untersuchen genau diese Frage. So bewertete eine Studie der Europäischen Kommission die Umweltauswirkungen von biobasierten Produkten im Vergleich zu Produkten auf fossiler Basis und zeigte, dass biobasierte Produkte mehr als 65% der Treibhausgasemissionen einsparen könnten (Europäische Kommission 2019).

Die Auswirkungen auf die Landnutzung und die biologische Vielfalt stellt die Bioökonomie vor ein großes Dilemma. Die Produktion von Biomasse erfordert Fläche (sofern kein Abfall oder keine Rückstände verwendet werden). Entweder muss die Fläche, die für den Anbau von Biomasse benötigt wird, mit der für die Nahrungsmittelproduktion benötigten Fläche konkurrieren, oder es muss neue Fläche für die Landwirtschaft gewonnen werden, was eine Änderung der Landnutzung zur Folge hat. Dies wird als indirekte Landnutzungsänderung (ILUC) bezeichnet (siehe Kapitel 3.1.3). Die

Auswirkungen von ILUC beziehen sich u.a. auf die Freisetzung von THG-Emissionen durch Landnutzungsänderungen (z.B. Ausdehnung von Anbauflächen) auf der ganzen Welt. Ökosysteme, wie Regenwälder oder Graslandschaften, speichern Kohlenstoff im Boden und in der Biomasse. Durch die Zerstörung dieser Ökosysteme infolge von Landnutzungsänderungen verlieren sie ihre Funktion als Kohlenstoffspeicher, was in Regionen oder Ländern zu einem Nettoanstieg der Treibhausgasemissionen führt. Demnach haben die indirekten Landnutzungsänderungen Folgen für die THG-Bilanz biobasierter Produkte (Bathia 2014).

Besonders kritisiert wird der Anbau von Biomasse für Kraftstoffe der ersten Generation, für dessen Gewinnung ölhaltige Pflanzen (z.B. Soja, Palmen, Sonnenblumen, Rizinus, Raps), stärkeproduzierende Pflanzen (z.B. Mais, Weizen, Kartoffeln) und zuckerproduzierende Pflanzen (z.B. Zuckerrohr, Rüben) verwendet werden. Die „Food vs. Fuel“-Debatte spielt hierbei eine große Rolle. Für die Herstellung von Kraftstoffen der zweiten Generation werden lignocellulosehaltige Biomasse und Abfälle verwendet, die für die Lebensmittelproduktion keine Rolle spielen. Bei den Biokraftstoffen unterscheidet die EU in der RED II-Richtlinie zwischen Biokraftstoffen mit hohem und niedrigem ILUC-Risiko. Biokraftstoffe mit hohem ILUC-Risiko sind Kraftstoffe, die aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen (erste Generation) hergestellt werden. Oftmals werden für die Gewinnung der benötigten Flächen Ökosysteme mit hohem Kohlenstoffspeicherpotential (z.B. Wälder, Feuchtgebiete, Moore) zerstört, um sie in Biomasseanbauflächen umzuwandeln. So wird eine beträchtliche Menge an THG freigesetzt, wodurch die Emissionseinsparungen durch die Verwendung von Biokraftstoffen anstelle von fossilen Kraftstoffen zu relativieren sind. Bis 2030 sollen Biokraftstoffe mit hohem ILUC-Risiko ausrangiert werden. Biokraftstoffe mit niedrigem ILUC-Risiko werden als die Kraftstoffe definiert, deren Herstellung mit einer Reduzierung von THG-Emissionen einhergeht, entweder weil sie das Ergebnis von Produktivitätssteigerungen sind oder weil sie von Pflanzen stammen, die nicht für die Lebensmittelproduktion verwendet und auf stillgelegten oder stark degradierten Flächen angebaut werden (Europäische Kommission 2019a). Dazu zählen Flächen, die wenig genutzt, brachliegend oder kontaminiert sind. Laut FAO handelt es sich bei Brachland um landwirtschaftliche Flächen, die in den letzten fünf Jahren nicht bestellt oder für Viehhaltungszwecke genutzt wurden (FAO 2014). Marginale Flächen werden als solche definiert, wenn sie (1) bestimmte bodenphysikalische Eigenschaften (geringe Fruchtbarkeit, schlechte Drainage, hoher Salzgehalt, geringe Mächtigkeit) vorweisen, zu exponiert sind, oder in Regionen mit ungünstigen klimatischen Bedingungen liegen, und (2) sozioökonomisch nur eingeschränkt genutzt werden können (durch fehlende Märkte, schwierige Erreichbarkeit, restriktive Landbesitzverhältnisse, schlechte Infrastruktur, etc.) (FAO 1999). Kontaminiertes Land wird durch die EU-Verordnung als Land definiert, das mit Substanzen belastet ist (in, unter oder auf dem Land), und dessen Nutzung mit vielfältigen Schäden einherginge. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass Gewässer durch kontaminierte Flächen verschmutzt sind oder werden (Europäische Kommission 2003). Flächen, die nicht mehr für landwirtschaftliche Zwecke genutzt werden und daher nicht mit Nahrungs- oder Futtermitteln konkurrieren, können oft noch für den Anbau von Pflanzen für die Produktion von Bioenergie und biobasierten Produkten genutzt werden, sofern sie keine wichtigen Ökosystemleistungen (Erosionsschutz, (Wasser-) Filterfunktion, Sauerstoffproduktion, Humus- und Bodenbildung) erbringen. Die Versorgung des Menschen mit beispielsweise Heilkräutern oder Holz sowie kulturelle und touristische Zwecke (z.B. Naherholung) spielen auch eine Rolle, wenn es um die Biomassepotentialanalyse von Flächen geht (Wells et al. 2018). Das FORBIO-Projekt hat mit einer Nachhaltigkeitsbewertung an konkreten Fallbeispielen gezeigt, dass Wertschöpfungsketten für die Bioenergieproduktion auf diesen Flächen ökologisch und sozial nachhaltig und gleichzeitig wirtschaftlich rentabel sein können (Colangeli et al. 2016).

Es kann nicht generell gesagt werden, dass die Produkte der Bioökonomie umweltverträglich(er) sind oder nicht. Eine detaillierte Ökobilanz (LCA) sollte für jede spezifische Wertschöpfungskette und für jede spezifische Region erstellt werden, um die ökologische Nachhaltigkeit von Bioenergie und biobasierten Produkten zu bestimmen. In einer Ökobilanz werden alle Phasen im Lebenszyklus des

Produkts berücksichtigt, von der Gewinnung seiner Rohstoffe am Anfang bis zur Deponierung bzw. zum Recycling am Ende. Auch Produkte, Materialien, Prozessschritte und Dienstleistungen, die für die Herstellung des Endprodukts nötig sind, werden dabei einbezogen (UNEP SETAC 2009).

Regional sind immer wieder positive Umweltauswirkungen, die auf die Nutzung erneuerbarer Ressourcen zurückzuführen sind, zu erkennen. Beispielsweise kann die vollständige Nutzung der Cypriniden für Lebensmittel oder biobasierte Produkte positive Auswirkungen auf regionale Ökosysteme haben, da ihr Fang und ihre Nutzung dazu beitragen, die Eutrophierung in (Brack-) Gewässern zu mildern (Mäkinen und Halonen 2019). Ein weiteres Beispiel einer positiven Umweltauswirkung ist die Produktion und Verwendung von erneuerbaren Dämmstoffen. Wie in Kapitel 3.5 dargestellt wurde, gibt es ein großes Umweltschutzpotenzial nachhaltiger Dämmstoffe, da der Energiebedarf bei der Produktion gering ist bei gleichzeitig hoher Kohlenstoffspeicherkapazität der Schafwolle. Somit kann die Bioökonomie durch Speicherung von CO₂ in biobasierten Produkten, einen Beitrag zum Schutz des Klimas leisten (EESC 2018). Dies hat zudem eine direkte Auswirkung auf den regionalen CO₂-Fußabdruck.

Es gibt verschiedene Zertifizierungen und Labels, die den Verbrauchern helfen zu erkennen, inwiefern ein biobasiertes Produkt umweltfreundlich ist, oder nicht (einige sind in Tabelle 9 genannt). Laut dem Bericht des WWF zur Bewertung der verschiedenen Zertifizierungen (WWF 2013) wurde das Label RSB als die beste Zertifizierung für alle Arten von Biomasse genannt. Die Zertifizierungen RSPO und RTRS sind besonders für die Zertifizierung bestimmter Biomassearten (Soja und Palmöl) geeignet. Nach einer Analyse der bestehenden Nachhaltigkeitszertifizierungen und Standardisierungen stellen Majer et al. (2018) fest, dass Kriteriensätze oft unvollständig sind und ihre Integration in Zertifizierungsverfahren Lücken aufweist. Darüber hinaus bedarf es weiterer Forschung was die gesetzlichen Rahmen, End-of-Life-Prozesse sowie notwendige Standardisierungsverfahren betrifft. Nur so können transparente und valide Nachhaltigkeitszertifizierungen für eine wachsende Bioökonomie (weiter-) entwickelt und verbessert werden.

Tabelle 9: Liste verschiedener Labels, Zertifizierungssysteme und Standards, die beim Kauf von biobasierten Produkten oder Dienstleistungen berücksichtigt werden können (angepasst nach InnProBio n.d.)

Gegenstand	Name der Zertifizierung	Label
Biobasierte Produkte allgemein	<ul style="list-style-type: none"> The Blue Angel EU Ecolabel Nordic Ecolabel 	
Nachhaltig produziertes Holz	<ul style="list-style-type: none"> Forest Stewardship Council (FSC) Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC) 	
Nachhaltig produzierte Biomasse aus der Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> International System for Carbon Certification (ISCC) Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB) REDCert Better Biomass, 	

Gegenstand	Name der Zertifizierung	Label
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO) ▪ Bonsucro ▪ Roundtable Responsible Soy (RTRS) 	
Biobasierte Inhaltsstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ OK bio-based ▪ DIN-Geprüft Bio-based ▪ Bio-based content 	
End-of-Life-Optionen	Industrial compostability: <ul style="list-style-type: none"> ▪ The Seedling ▪ DIN-Geprüft Industrial Compostable ▪ OK compost 	
	Home compostability: <ul style="list-style-type: none"> ▪ OK compost HOME ▪ DIN-Geprüft Home Compostable 	
	Biodegradability in soil: <ul style="list-style-type: none"> ▪ OK biodegradable SOIL ▪ DIN-Geprüft Biodegradable in soil 	
	Biodegradability in sea water: <ul style="list-style-type: none"> ▪ OK biodegradable MARINE 	

5.2 Soziale Auswirkungen

Um ein biobasiertes Produkt hinsichtlich seiner Nachhaltigkeit bewerten zu können, müssen neben den Umweltauswirkungen auch die sozialen Auswirkungen erfasst, analysiert und bewertet werden (Tabelle 10). Soziale Auswirkungen können, ebenso wie die Umweltauswirkungen, in positive und negative Auswirkungen unterteilt werden, und beeinträchtigen u.a. das Wohlergehen an der Bioökonomie beteiligter Interessengruppen. Insgesamt lassen sich die Umweltauswirkungen aus verschiedenen Gründen leichter standardisieren und quantifizieren als soziale und sozioökonomische Auswirkungen. Beispielsweise können Emissionen gemessen und mit numerischen Daten versehen werden, während die Methoden für eine soziale Bewertung oftmals keine derart eindeutigen Ergebnisse liefern. So unterliegt die Interpretation sozialer Daten und Ergebnisse der subjektiven Wahrnehmung der auswertenden Personen, bestenfalls Experten des spezifischen Fachgebiets (SETAC-UNEP 2009).

Tabelle 10: Überblick über die sozialen Auswirkungen der Bioökonomie (Hasenheit et al. 2016)

Auswirkung	Mögliche Indikatoren
Ernährungssicherheit (einschließlich GVO-Pflanzen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatz von Agrochemikalien ▪ Veränderung der Nahrungsmittelpreise (& ihrer Volatilität) ▪ Unterernährung ▪ Risiko der Hungersnot ▪ Aufnahme/Verfügbarkeit von Makronährstoffen
Zugang zu Land (inkl. Genderfragen & Besitzverhältnisse)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grundstückspreise ▪ Grundbesitz ▪ Eigentumsrechte ▪ Emanzipation
Beschäftigung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veränderungen der Beschäftigungszahlen ▪ Vollzeitarbeitsplätze ▪ Qualität der Arbeitsplätze ▪ Bedarf/Mangel an hochspezialisierten Arbeitskräften
Haushaltseinkommen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einkommen der Beschäftigten in der Bioökonomie (insgesamt) ▪ Einkommensverteilung
Verlorene Arbeitstage aufgrund krankheitsbedingten Ausfalls	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anzahl der verlorenen Arbeitstage pro Arbeitnehmer und Jahr
Lebensqualität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veränderung der Lebensqualität
Gesundheit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exposition gegenüber Agrarchemikalien ▪ Anzahl der multiresistenten Organismen ▪ Toxizität von Industrieprodukten, -verfahren, etc.

Die Ernährungssicherheit ist eine der wichtigsten sozialen Auswirkungen, die es bei der Nachhaltigkeitsbewertung biobasierter Produkte zu berücksichtigen gilt. Dies ist besonders relevant, wenn es sich um Biomasse für Biokraftstoffe der ersten Generation handelt. Sobald der Anbau und die Verwendung der Biomasse die Preise derselben für Lebensmittel beeinflusst, müsste das biobasierte Produkt (Bioenergie und biobasierte Materialien) als sozial nicht nachhaltig bewertet werden. Das gilt auch, wenn der Anbau von Pflanzen für die Bioökonomie die für die Nahrungsmittelproduktion genutzten Flächen beeinflusst oder sogar reduziert. Bei der Verwendung von Biomasse der zweiten Generation oder von Biomasse, die auf marginalen Flächen angebaut wird, spielen diese Probleme eine geringere Rolle. Die Herausforderung hier besteht darin, die teils unwegsamen und zersplitterten Flächen, die sich meist im Besitz verschiedener Parteien befinden, für die Biomassegewinnung nutzbar zu machen.

Eine wachsende Bioökonomie erfordert neue und stark erweiterte Produktionssysteme und Netzwerke, um große Mengen nachhaltiger Biomasse effizient anzubauen, zu ernten, zu sammeln, zu transportieren und zu verwerten. Zeitgleich benötigt die Industrie neue Technologien zur effizienteren und wirtschaftlicheren Biomassekonversion für vielzählige Endanwendungen. Derartige

Anforderungen haben das Potenzial die wirtschaftliche Entwicklung zu fördern. Davon profitieren die Forschung und Entwicklung, die Landwirtschaft, die Industrie sowie Anlagenkonstrukteure und -betreiber, sowie viele mehr. Die Bioökonomie benötigt qualifizierte Arbeitskräfte, um Infrastrukturen aufzubauen und zu verbessern, neue Biomasseressourcen zu erschließen und Produkte zu entwickeln. In einer Studie des JRC und des Nova-Instituts wurden die Anzahl an Arbeitsplätzen in der Bioökonomie der EU-28 sowie die Performance der Bioökonomie untersucht. Ohne dem Baugewerbe, der Abfallwirtschaft und der Bioremediation wurde die Zahl der Beschäftigten in allen anderen Sektoren der Bioökonomie für 2014 und 2015 auf mehr als 218 Millionen bzw. 220 Millionen geschätzt (JRC 2018).

Die Herstellung von Biokraftstoffen und biobasierten Materialien kann, wie auch während konventioneller Herstellungsverfahren auch, die Arbeitnehmer verschiedenen Gesundheits- und Sicherheitsrisiken aussetzen. Jedoch ist erwiesen, dass Biokraftstoffe hier im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen weniger negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben (Prasad und Dhanya 2011). Ebenso scheinen biobasierte Produkte oftmals weniger schädlich zu sein als vergleichbare Produkte auf fossiler Basis. Fabbri et al. (2018) haben an mehreren Beispielen von biobasierten Produkten gezeigt, dass sie eine positive Auswirkung auf die menschliche Gesundheit haben. Die in Kapitel 3.7 dargestellten Getränke zeigen beispielhaft, dass biobasierte Produkte eine positive Auswirkung auf die regionale Gesundheit und Ernährung haben können und zeitgleich zusätzliche Wertschöpfung schaffen. Dies gilt u.a. auch für die Herstellung und Verwendung von Bioprodukten aus aquatischer Biomasse, da sie die Gesundheit des Menschen positiv beeinflussen können. Um ein biobasiertes Produkt hinsichtlich seiner sozialen Nachhaltigkeit zu prüfen, sollte stets eine Sozialbilanz (Social Life Cycle Assessment – SLCA) durchgeführt werden. Ein Beispiel für eine solche Sozialbilanz wird in UNEP-SETAC (2009) gezeigt.

5.3 Ökonomische Auswirkungen

Es ist wichtig, dass biobasierte Produkte wirtschaftlich umsetzbare Alternativen darstellen. Andernfalls werden sie, selbst wenn sie ökologisch und sozial nachhaltig sind, weder hergestellt noch in existierende Märkte integriert werden können. Daher ist es ratsam, eine wirtschaftliche Machbarkeitsstudie durchzuführen, um die Produktivität sowie die wirtschaftliche Nachhaltigkeit ermitteln zu können. Tabelle 11 zeigt eine Auswahl an Auswirkungen, die biobasierte Produkte auf die Wirtschaft im Allgemeinen haben können.

Tabelle 11: Überblick über die wirtschaftlichen Auswirkungen der Bioökonomie (Hasenheit et al. 2016)

Auswirkung	Mögliche Indikatoren
Veränderung des BIP/BNE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entwicklung des Anteils der Bioökonomie-sektoren am BIP/BNE ▪ Perspektiven der ländlichen Entwicklung
Neuer Markt für innovative biobasierte Produkte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veränderung des Umsatzes der biobasierten Sektoren ▪ Neue Geschäftsmöglichkeiten/-herausforderungen
Veränderung der Handelsbilanz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veränderung des Handels (Biomasse (inkl. Holz) & tierische Produkte (inkl. Fisch)) ▪ Energiediversifizierung
Veränderung der Rohstoffpreise	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veränderung der Nahrungsmittelpreise ▪ Preisänderungen für Biomasse

Auswirkung	Mögliche Indikatoren
Veränderung der Nachfrage nach Biomasse (-produkten)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konkurrenz um Biomasse ▪ Veränderung der Nachfrage nach Biomasse für biobasierte Produkte (Materialien, Bioenergie und -kraftstoffe)
Verteilungsanpassung öffentlicher Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abhängigkeit von Subventionen
Veränderung des Einkommens der Landwirte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ertrag/Hektar ▪ Kosten für Agrarchemikalien/Jahr

Der Beitrag der Bioökonomie zur Wirtschaft eines Landes lässt sich mithilfe verschiedener Modelle (z.B. Sozialrechnungsmatrix (SAM), berechenbare allgemeine Gleichgewichtsmodelle (CGE), partielles Gleichgewichtsmodell, etc.) bestimmen. Einige Länder verzichten auf Modellierungen und messen den Beitrag der Bioökonomie mit Hilfe von disaggregierten Indikatoren, wie dem Umsatz der Bioökonomie (Einnahmen aus Verkäufen); den Anteil der Bioökonomie am BIP eines Landes, dem Anteil der Beschäftigung in der Bioökonomie an der Gesamtbeschäftigung, etc. (FAO 2018).

Fuentes-Saguar et al. (2017) stellen, unter Verwendung einer disaggregiertes SAM, eine vollständige multisektorielle Datenbank über die biobasierten Sektoren und ihre wirtschaftlichen Verbindungen mit den übrigen Aktivitäten und institutionellen Sektoren für die EU-28 zur Verfügung. Diese Datenbank ermöglicht es, eine lineare Multiplikatoranalyse durchzuführen, um den Anteil der biobasierten Sektoren an der wirtschaftlichen Entwicklung der EU-28 aufzuzeigen. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Bioökonomie-Sektoren nur zu geringem Maße in die restliche Wirtschaft integriert sind, insbesondere die Sektoren mit größerer Wertschöpfung. Bioökonomie-Sektoren sind daher nur zu geringen Anteilen an der Schaffung von Wohlstand beteiligt. Es wird jedoch geschätzt, dass der Umsatz und die Beschäftigung im europäischen primären sowie in den Bioökonomie-Sektoren um mindestens 10% steigen werden, was zu 3 Mio. zusätzlichen Arbeitsplätzen und einem Umsatzanstieg von 80 Mrd. Euro führen wird. Eine Reihe von unabhängigen Studien bestätigen das wirtschaftliche Potenzial der biobasierten Wirtschaft (Bio-based Industries Consortium 2012):

- Das Weltwirtschaftsforum hat das weltweite Umsatzpotential der gesamten Biomasse-Wertschöpfungskette bis 2020 auf mehr als 200 Mrd. Euro geschätzt (WEF 2010).
- Laut Bloomberg New Energy Finance (BNEF) beläuft sich das Umsatzpotential auf 78 Mrd. Euro und zusätzlich könnten 170.000 Arbeitsplätze geschaffen werden, sofern bis 2030 10% des Cellulose-Ethanol in Europa in Benzinfahrzeugen verwendet würden (BNEF 2012).
- Bis 2030 kann 10% mehr Biomasse aus Wäldern mobilisiert werden. Dies würde zu zusätzlichen Einnahmen in Höhe von 35 Mrd. Euro und 350.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen führen, basierend auf den aktuellen Beschäftigungs- und Umsatzzahlen des Forst- sowie des Zellstoff- und Papiersektors (Bio-based Industries Consortium 2012).
- Die Land- und Forstwirtschaft der EU-27 hat das Potenzial, ihre Einnahmen zu diversifizieren und den ländlichen Raum wieder zu beleben. Laut BNEF kann durch die Verwendung von 17,5% der Ernte- und Produktionsrückständen für die Biokraftstoffherstellung das Einkommen der Landwirte diversifiziert werden, was zu zusätzlichen Margen (bis zu 40%) führen könnte. Aus 17,5% der Ernte- und Produktionsrückstände der EU-27 könnte so viel moderner Biotreibstoff hergestellt werden, dass zwischen 52% und 62% des prognostizierten fossilen

Benzinverbrauchs der EU-27 bis 2020 ersetzt werden könnte. Demnach könnten die EU-Ölimporte um etwa 20 bis 24 Mrd. € reduziert werden (BENF 2011).

Die Auswirkungen neuer innovativer biobasierter Produkte auf die Wirtschaft unterscheiden sich nicht von den Auswirkungen anderer innovative Produkte. Innovation ist ein wesentlicher Motor des wirtschaftlichen Fortschritts, der Verbrauchern, Unternehmen und der Wirtschaft insgesamt zugutekommt (EZB 2017). Im regionalen Kontext kann sie eine große Rolle bei der Biomassenutzung sowie der Abfallentsorgung und -verwertung spielen, (lokale) Märkte und Wertschöpfungsketten für neue Produkte schaffen und das Umweltbewusstsein stärken. So können regionale Wertschöpfung, Arbeitsplätze und zusätzliche Einkommen geschaffen werden. So schafft beispielsweise BIO-LUTIONS zusätzliche Einkommen für Landwirte aus der umliegenden Region.

Quellenverzeichnis

- ABGi (n.d.): Évolution et tendances du marché des produits biosourcés. <https://abgi-france.com/communication/evolution-tendances-marche-produits-biosources/> (accessed 05.02.2020).
- Abhold K., Gerdes H., Kiresiewa Z., Davis S. (2019): Sustainability and Participation in the Bioeconomy: A Conceptual Framework for BE-Rural.
- ACR+ (2014): Bio-waste composting - Management options for 6 composting strategies.
- Agrela F., Cabrera M., Morales M. M., Zamorano M., Alshaaer M. (2019): Biomass fly ash and biomass bottom ash. In *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete* (pp. 23–58).
- Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T, Volk Silke, Janssen R. (2008): *Biogas handbook*. ISBN 978-87-992962-0-0.
- AllThings.Bio (2017): Making clothes from milk. <http://www.allthings.bio/making-clothes-milk/> (accessed 27.01.2020).
- Asian Development Bank (2015): Business models to realize the potential of renewable energy and energy efficiency in the greater Mekong subregion.
- Awe O.W., Zhao Y., Nzihou A., Minh D.P., Lyczko N. (2017): A Review of biogas utilisation, purification and upgrading technologies: Review. *Waste and Biomass Valorization*, Springer, Van Godewijkstraat 30, 3311 GZ Dordrecht, Netherlands, 8(2), 267-283.
- Bajpai P. (2019): *Bio-based Polymers – Properties and Applications in Packaging*, Amsterdam.
- Bathia S.C. (2014): Indirect land-use change impacts of biofuels. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/indirect-land-use-change> (accessed 19.02.2020).
- BBJ Group (2018): Biomass Conversion Technologies. <https://www.bbgroup.com/blog/biomass-conversion-technologies> (accessed 05.02.2020).
- Beyer C., Schultz-Zehden A., Vollmann T., Cahill B., Roß A., Coornaert C. (2017): Towards an implementation strategy for the Sustainable Blue Growth Agenda for the Baltic Sea Region.
- BIC (2017): Access to EU Financial Instruments - suitable for the implementation of large Bio-based Industry investments.
- Bio-based Industries Consortium (2012): Accelerating innovation and market uptake of bio-based products.
- Bio-based Industries Consortium (2019): European bioeconomy worth 2.3 trillion EUR turnover and employs 18.6 million people. <https://biconsortium.eu/turnover-employment> (accessed 10.01.2020)
- Biobridges (n.d.): Are textile industries ready to switch to green? <https://www.biobridges-project.eu/news/are-textile-industries-ready-to-switch-to-green/> (accessed 27.01.2020).
- BioCannDo (n.d.): Bio-based insulation materials.
- Bioeconomy BW (2019): Providing growledge – resources and products for the bioeconomy. <https://www.biooekonomie-bw.de/en/articles/news/providing-growledge-resources-and-products-for-the-bioeconomy> (accessed 10.02.2020).
- Bioeconomy BW (n.d.): Processes and technologies in the bioeconomy. <https://www.biooekonomie-bw.de/en/bw/definition/processes-and-technologies-in-the-bioeconomy> (accessed 22.01.2020).
- Bioeconomy Council (2012): *The Future of the Food, Nutrition, and Health Sector*.

BioEnergy Consult (2020): Overview of Biomass Logistics

<https://www.bioenergyconsult.com/biomass-logistics/> (accessed 13.02.2020).

Biogas World (2019): What is the Future of Small-Scale Anaerobic Digestion?

<https://www.biogasworld.com/news/future-small-scale-anaerobic-digestion/> (accessed 04.02.2020).

BIO-LUTIONS (2019): Das Hamburger Start-up BIO-LUTIONS schließt seine Series-A-Finanzierungsrunde mit €8,3M erfolgreich ab. <https://www.bio-lutions.com/das-hamburger-start-up-bio-lutions-schliest-seine-series-a-finanzierungsrunde-mit-e83m-erfolgreich-ab/> (accessed 17.02.2020).

BIO-LUTIONS (2019): <https://www.BIO-LUTIONS.com/> (accessed 20.01.2020).

Biomass Logistics (n.d.): About Biomass Logistics. <http://www.biomasslogistics.org/about.html> (accessed 13.02.2020).

Biomassehof Allgäu (n.d.): <https://www.biomassehof.de/biomassehof/> (accessed 17.02.2020).

Bioökonomie BW (2019): Sustainable textiles. <https://www.biooekonomie-bw.de/fachbeitrag/dossier/nachhaltige-textilien> (accessed 27.01.2020).

Bioökonomie.de (2016): Food and beverage industry. <https://biooekonomie.de/en/branche/food-and-beverage-industry> (accessed 05.02.2020).

Bioökonomie.de (2017): Bio-Dämmstoffe im Hausbau vorantreiben.

<https://biooekonomie.de/nachrichten/bio-daemmstoffe-im-hausbau-vorantreiben> (accessed 27.01.2020).

Bloomberg New Energy Finance (BNEF) (2011): Moving towards a next-generation ethanol economy report.

Bloomberg New Energy Finance (BNEF) (2012): Bioproducts: Diversifying Farmers' income – How a bioproduct industry will affect EU27 agricultural sector.

Bourguignon D. (2017): Bioeconomy - Challenges and opportunities.

Build a biogas plant (n.d): Large scale biogas manufacturers. <https://www.build-a-biogas-plant.com/large-scale-biogas/> (accessed 26.02.2020).

Chen L., de Haro Marti M., Moore A., Falen C. (2011): The composting process.

<https://www.extension.uidaho.edu/publishing/pdf/CIS/CIS1179.pdf> (accessed 20.09.2019).

Colangeli M., Morese M. M., Traverso L. (2016): Fostering sustainable feedstock production for advanced biofuels on underutilized land in Europe – D3.3 Final report on the sustainability assessment of the selected advanced bioenergy value chains in all of the case study sites.

Collotta M., G. Tomasoni (2017): The economic sustainability of small-scale biogas plants in the Italian context - the case of the cover slab technology. *Agronomy Research* 15(2), 376-387.

Colmorgen F., Khawaja C. (2019): Small-scale technology options for regional bioeconomies.

Contreras S. (2015): Bio-based Products Are Always Better Than Fossil Fuel-based Products: Myth Or Not? <https://www.pre-sustainability.com/news/bio-based-products-are-always-good-myth-or-not> (accessed 17.02.2020).

Crop energies (n.d.): Production processes.

<http://www.cropenergies.com/en/Ethanol/Produktionsverfahren/> (accessed 04.02.2020).

Curran M. A. (2010): Bio-based Materials. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, ISBN: 9780471238966. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, , 1-19, (2010).

- Daemwool (n.d.): Daemwool. <https://www.daemwool.at/de/daemstoff.html> (accessed 08.09.2019).
- Dees M., Datta P., Fitzgerald J., Verkerk H., Lindner M., Elbersen B., Schrijver R., Staritsky I., van Diepen K., Ramirze-Almeyda J., Monti A., Vis M., Glavonjic B. (2017): Roadmap for regional end-users on how to collect, process, store and maintain biomass supply data.
- ECN (n.d.): Treatment of bio-waste in Europe. <https://www.compostnetwork.info/policy/biowaste-in-europe/treatment-bio-waste-europe/> (accessed 20.01.2020).
- Ecologic Institute (2018): Bio-based products - from idea to market.
- Edgar K. J. (2004): Cellulose Esters, Organic. In Encyclopedia of Polymer Science and Technology. John Wiley & Sons, Inc.
- ETIP (n.d.) d: Oil crops for production of advanced biofuels. <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/feedstocks/agriculture/oil-crops> (accessed 04.02.2020).
- ETIP Bioenergy (n.d.) a: Log wood - Definition and Properties. <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/feedstocks/forestry/log-wood> (accessed 03.02.2020).
- ETIP Bioenergy (n.d.) b: Wood chips - Definition and Properties. <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/feedstocks/forestry/wood-chips> (accessed 03.02.2020).
- ETIP Bioenergy (n.d.) c: Biomass CHP facilities.
- ETIP Bioenergy (n.d.): Sustainable Feedstocks for Advanced Biofuels and Intermediate Bioenergy Carriers Production in Europe. <http://www.etipbioenergy.eu/everyone/biofuel-feedstocks> (accessed 10.02.2020).
- EU Science Hub (2019): Food, feed, fibres, fuels. Enough biomass for a sustainable bioeconomy? <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/food-feed-fibres-fuels-enough-biomass-sustainable-bioeconomy> (accessed 10.02.2020).
- European Bioplastics (n.d.): Fact sheet - What are bioplastics?
- Europäische Zentralbank (EZB) (2017): How does innovation lead to growth? <https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me-more/html/growth.en.html> (accessed 21.02.2020).
- Europäische Kommission (EC) (2003): State Aid N 385/2002 – United Kingdom Support for Land Remediation. https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/137376/137376_454889_40_2.pdf.
- Europäische Kommission (EC) (2009): DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.
- Europäische Kommission (EC) (2018). A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment – Updated Bioeconomy Strategy. Directorate-General for Research and Innovation, European Commission. Brussels
- Europäische Kommission (EC) (2019): Environmental impact assessments of innovative bio-based products. https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/environmental-impact-assessments-innovative-bio-based-products_en (accessed 17.02.2020).
- Europäische Kommission (EC) (2019)a: Sustainability criteria for biofuels specified. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_19_1656 (accessed 17.02.2020).
- Europäische Kommission (EC) (n.d.): Bio-based products. https://ec.europa.eu/growth/sectors/biotechnology/bio-based-products_en (accessed 05.02.2020).
- European Economic and Social Committee (EESC) (2018): The bioeconomy – An essential economic factor and a prerequisite to achieve the SDGs. <https://www.eesc.europa.eu/en/news->

[media/news/bioeconomy-essential-economic-factor-and-prerequisite-achieve-sdgs](#) (accessed 25.02.2020).

Fabbi P., Viaggi D., Cavani F., Bertin L., Michetti M., Carnevale E., Ochoa J. V., Martinez G. A., Espoti M. D., Fischer P. K., Wydra S., Schwarz A., Marscheider-Weidemann F. (2018): Top emerging bio-based products, their properties and industrial applications.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2013): Biomethane.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2014): Bioplastics.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2019): Bioplastics.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (n.d.): Nachwachsende Rohstoffe im Überblick. <https://www.fnr.de/nachwachsende-rohstoffe/nachwachsende-rohstoffe-im-ueberblick/> (accessed 10.02.2020).

Farm Energy (2019): Used and Waste Oil and Grease for Biodiesel. <https://farm-energy.extension.org/used-and-waste-oil-and-grease-for-biodiesel/> (accessed 04.02.2020).

Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) (2012): Biorefineries Roadmap.

Fehrenbach H., Köppen S., Kauertz B., Detzel A., Wellenreuther F., Breitmayer E., Essel R., Carus M., Kay S., Wern B., Baur, F., Bienge K., von Geibler J. (2017): Biomassekaskaden: Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis.

Fogarassy C., Horvath B., Magda R. (2017): Business model innovation as a tool to establish corporate sustainability. In: *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development* 2/2017.

Freudenreich B., Lüdeke-Freund F., Schaltegger S. (2019): A Stakeholder Theory Perspective on Business Models: Value Creation for Sustainability. *Journal of Business Ethics*.

Fuentes-Saguar P., Mainar-Causapé A., Ferrari E. (2017): The Role of Bioeconomy Sectors and Natural Resources in EU Economies: A Social Accounting Matrix-Based Analysis Approach. *Sustainability*, 9(12), 2383.

Gerssen-Gondelach S. J., Saygin D., Wicke B., Patel M. K., & Faaij A. P. C. (2014). Competing uses of biomass: Assessment and comparison of the performance of bio-based heat, power, fuels and materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 964-998.

González-Sierra R. P., Arizmendiarieta J. S., Sánchez B. P., Irigoien Iriarte I., Duarte G. N. (2019): Community Composting: A Practical Guide for Local Management of Biowaste.

Greengain (2015): Machines to produce woodchips from biomass of landscape conservation and maintenance work. <https://greengain.eu/2015/09/23/what-is-going-on-in-the-pool-2/> (accessed 03.02.2020).

Griestop L., Graf (2019): Monitoring: Die Vermessung der Bioökonomie. <https://biooekonomie.de/monitoring-die-vermessung-der-biooekonomie> (accessed 13.02.2020).

Hasenheit M., Gerdes H., Kiresiewa Z., Beekman V. (2016): Summary report on the social, economic and environmental impacts of the bioeconomy. Deliverable 2.2 of the BioSTEP project.

Hoff H., Johnson F., Allen B., Biber-Freudenberger L., Förster J.J. (2018): Sustainable bio-resource pathways towards a fossil-free world: the European bioeconomy in a global development context.

Howe M. (2018): management of Sports and Physical Education, Waltham Abbey Essex.

Innovative Industry (2010): Types of Bioplastic. <http://www.innovativeindustry.net/types-of-bioplastic> (accessed 06.02.2020).

InnProBio (2020): About bio-based products. <https://www.bio-basedconsultancy.com/en/about-bio-based> (accessed 10.02.2020).

InnProBio (n.d.): Certification and ecolabels for bio-based products. <https://www.bio-basedconsultancy.com/en/about-bio-based/certification-and-ecolabels> (accessed 19.02.2020).

Institute for Bioplastics and Biocomposites (IfBB) (2017): Biopolymers - facts and statistics.

ISO (2014): Solid biofuels — Terminology, definitions and descriptions. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16559:ed-1:v1:en> (accessed 03.02.2020).

Jäkri Säkri (n.d.): About Särki. <https://www.jarkisarki.fi/about-sarki> (accessed 06.02.2020).

Jalasjoki L. (2019): Bioeconomy promoting rural development in Europe. <https://www.bioeconomy.fi/bioeconomy-promoting-rural-development-in-europe/> (accessed 15.01.2020).

Joint Research Centre (JRC): Food, feed, fibres, fuels. Enough biomass for a sustainable bioeconomy? https://ec.europa.eu/knowledge4policy/sites/know4pol/files/20190925_jrc_biomass_ri_days_final_pubsy_0.pdf

JRC (2018): Getting (some) numbers right –derived economic indicators for the bioeconomy. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC113252/jrc113252_eubce2018_proceedings_final_1.pdf.

Kän H. (2018): Verpackungen aus biobasierten Kunststoffen - Beispiele aus dem Markt und Hintergründe.

Karlsson N.P.E., Hoveskog M., Halila F., Mattsson M. (2018): Business modelling in farm-based biogas production: towards network-level business models and stakeholder business cases for sustainability. *Sustainability Science*, 14(4), 1071–1090.

Kofman P. D. (2007): The production of wood pellets. http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/ccnpellet_production.pdf

ŁUKASIEWICZ Research Network (n.d.): Thermoplastic starch (TPS). <http://en.www.ichp.pl/offers-thermoplastic-starch> (accessed 06.02.2020).

Maastricht University (n.d.): Sustainability of Bio-based Materials. <https://www.maastrichtuniversity.nl/meta/371190/sustainability-bio-based-materials> (accessed 17.02.2020).

Majer S., Wurster S., Moosmann D., Ladu L., Sumfleth B., Thrän D. (2018): Gaps and Research Demand for Sustainability Certification and Standardisation in a Sustainable Bio-Based Economy in the EU. *Sustainability*, 10(7), 2455.

Mäkinen S., Halonen T. (2019): Roach and other cyprinid fish are an unexploited treasure in Finnish waters. <https://www.bioeconomy.fi/roach-and-other-cyprinid-fish-are-an-unexploited-treasure-in-finnish-waters/> (accessed 25.02.2020).

Mathijs E., Brunori G., Carus M., Griffon M., Last L. (2015): Sustainable Agriculture, Forestry and Fisheries in the Bioeconomy -A Challenge for Europe.

Ministry of the environment, climate protection and the energy sector (2019): The Baden-Württemberg government's sustainable bioeconomy strategy.

Moilanen P., Halonen T., Purtonen H. (2019): The key to sustainable growth lies in the oceans. <https://www.bioeconomy.fi/the-key-to-sustainable-growth-lies-in-the-oceans/> (accessed 06.02.2020).

Muneer F. (2015): Biocomposites from Natural Polymers and Fibers.

Netherlands Institute for Packaging (KIDV) (2018): Factsheet: biodegradable plastic packaging materials.

Nova Institut (2018): Succinic acid: New bio-based building block with a huge market and environmental potential? <http://news.bio-based.eu/succinic-acid-new-bio-based-building-block-with-a-huge-market-and-environmental-potential/> (accessed 03.02.2020).

Nova Institute (2019): European Bioeconomy in Figures 2008 –2016.

Osterwalder A. (2004): The Business Model Ontology: A proposition in a Design Science Approach: PhD Dissertation, University of Lausanne, 2004, pp. 169.

Practical Law (n.d.): Build-Own-Operate (BOO).

[https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/Browse/Home/PracticalLaw?transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&comp=pluk](https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/Browse/Home/PracticalLaw?transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&comp=pluk) (accessed 26.02.2020).

Prasad S. and Dhanya M. S. (2011): Air Quality and Biofuels, Environmental Impact of Biofuels.

Quarshie R., Carruthers J. (2014): Technology overview – Biocomposites.

Renewable Energy World (2014): How To Make Briquettes From Daily Wastes.

<https://www.renewableenergyworld.com/2014/08/06/how-to-make-briquettes-from-daily-wastes/#gref> (accessed 03.02.2020).

Robak K., Balcerek M. (2018): Review of Second-Generation Bioethanol Production from Residual Biomass. Food Technology and Biotechnology, 56(2).

Rogers J. N., Stokes B., Dunn J., Cai H., Wu M., Haq Z., Baumes H. (2016): An assessment of the potential products and economic and environmental impacts resulting from a billion ton bioeconomy. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 11(1), 110–128.

Romeorim (n.d.): Thermosets vs. Thermoplastics. <https://romeorim.com/thermoset-vs-thermoplastics/> (accessed 06.02.2020).

Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern (2017): Funktionale Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Scholwin F., Fritsche U. (2007): Beurteilung von Biogasanlagenparks im Vergleich zu Hof-Einzelanlagen.

SETIS (2016): The biomass approach to heating and cooling.

<https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-magazine/low-carbon-heating-cooling/biomass-approach-heating-and-cooling> (accessed 03.02.2020).

Sillanpää M., Ncibi C. (2017): A Sustainable Bioeconomy: The Green Industrial Revolution.

SINTEF (2016): Mobile Sealab – a hydrolysis factory in a container.

https://www.sintef.no/contentassets/75160257fa014b2aace4ecc1ff468c10/faktaark_mobile_sealab_2016.pdf (accessed 05.08.2019)

SINTEF (2018): Mobile Sealab. <https://www.sintef.no/en/all-laboratories/mobile-sealab/> (accessed 05.08.2019).

SINTEF (n.d.): Prosjekter og råmaterialer. <https://www.sintef.no/alle-laboratorier/mobile-sealab/prosjekter-og-ramaterialer/> (accessed 05.08.2019).

Spinnova (2019): Mail traffic.

Spinnova (n.d.): Technology. <https://spinnova.com/> (accessed 23.08.2019).

Stein K., Riel M., Tretter H., Höher M., Rutz D., Krizmanić M., Vrčec V., Šegon V., Jagarčec M., Bozhika-live V., Gluscevic M., Ščap S., Hafner P., Krajnc N. (2017): Guideline on financing options, contracts, ownership models and business models for bioenergy villages.

Stratan D. (2017): Success Factors of Sustainable Social Enterprises Through Circular Economy Perspective. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 6(1), 17–23.3.

Strathclyde (n.d.): What is Bioethanol? http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/02-03/biofuels/what_bioethanol.htm (accessed 04.02.2020).

Sunko R., Sunki B., Rutz D., Mergner R., Doczekal C., Pukšec T., Jensen L., Redžić E., Gjorgievski V., Bjelic I. (2015): Guidelines on improved business models and financing schemes of small renewable heating and cooling grids.

The Federal Ministry of Education and Research (BMBF) (2014): Bioökonomie in Deutschland - Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft.

The Federal Ministry of Education and Research (BMBF) (n.d.): Bioökonomie – Biogene Ressourcen und biologisches Wissen für eine nachhaltige Wirtschaft. <https://www.bmbf.de/de/biooekonomie-neue-konzepte-zur-nutzung-natuerlicher-ressourcen-726.html> (accessed 20.02.2020).

The Food and Agriculture Organization (FAO) (1999): <http://www.fao.org/wairdocs/tac/x5784e/x5784e05.htm>.

The Food and Agriculture Organization (FAO) (2014): Land use and irrigation - codes and definitions. www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess_test_folder/Definitions/LandUse_list.xls (accessed 14.02.2020).

The Food and Agriculture Organization (FAO) (2018): Assessing the contribution of bioeconomy to countries' economy - A brief review of national frameworks.

The Food and Agriculture Organization (FAO) (n.d.): Biocarburants et agriculture – un aperçu technique.

The Food and Agriculture Organization (FAO) n.d. a: Fish waste. <http://www.fao.org/bioenergy/aquaticbiofuels/knowledge/fish-waste/en/> (accessed 06.02.2020).

Tiemann I., Breuer H., Fichter K., Lüdeke Freund F. (2018): Sustainability-oriented business model development: principles, criteria and tools. *International Journal of Entrepreneurial Venturing*, 10(2), 256.

Tripathi A. D. (2015): Statistical Optimization of Parameters Affecting Polyhydroxybutyrate(PHB) Recovery by Dispersion Method from *Alcaligenes* Cells and Its Characterization. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, 5(7).

U.S. Department of Energy (2017): Putting the U.S. Bioeconomy to Work - Jobs & Economic Impact of a Billion-Ton Bioeconomy.

UNEP SETAC (2009): Guidelines for social life cycle assessment of products.

Vink Chemicals (n.d.): Cellulose ethers. <https://vink-chemicals.com/en/products/chemical-raw-materials/cellulose-ethers/> (accessed 06.02.2020).

Wells G. J., Stuart N., Furley P. A., Ryan C. M. (2018): Ecosystem service analysis in marginal agricultural lands: A case study in Belize. *Ecosystem Services*, 32, 70–77.

Whole Building Design Guide (WBDG) (2016): Biomass for Electricity Generation. <https://www.wbdg.org/resources/biomass-electricity-generation> (accessed 03.02.2020).

World Economic Forum (WEF) (2010): The future of industrial biorefineries.

WWF 2013: SEARCHING FOR SUSTAINABILITY - Comparative Analysis of Certification Schemes for Biomass used for the Production of Biofuels.