

## **Masterthesis**

Vor- und Zuname:

■■■■■ ■■■■■ ■■■■■

Sandra Bohne

■■■■■■ ■■■■■■ ■■■■■■

Titel:

“Fashion out of Food Waste? Eine Analyse der Erfolgsfaktoren und das damit in Verbindung stehende Erfolgspotential von Fasern und Textilien aus Biopolymeren aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion“

Abgabedatum:

19.03.2018

Betreuende/r Professor:

Herr Prof. Patrick Kugler

Zweite/r Prüfende/r:

Frau Prof. Ulrike Schempp

Fakultätsübergreifender Studiengang: Fakultät Wirtschaft und Soziales, Fakultät Design, Medien und Information

### **Studiengang:**

Multichannel Trade Management in Textile Business (M.A.)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung der Arbeit .....	2
1.2 Struktur der Arbeit .....	2
<b>2 Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>4</b>
2.1 Biopolymere .....	4
2.1.1 Der Begriff des Biopolymers .....	4
2.1.2 Arten von Biopolymeren und Herstellungsverfahren .....	7
2.1.3 Vorstellung relevanter Biopolymere .....	10
2.1.4 Normen, Zertifizierungen und Kennzeichnungen .....	14
2.2 Food Waste – Abfälle aus der Nahrungsmittelproduktion als Rohstoffquelle .....	16
2.2.1 Definition von Food Waste in der Nahrungsmittel-Lieferkette.....	16
2.2.2 Food Waste als Rohstoffquelle in der Bioökonomie .....	18
2.2.3 Nachhaltigkeit von Food Waste als Rohstoffquelle für Biopolymere.....	22
2.3 Biopolymere aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion als Fasern und Textilien in der Textilindustrie .....	23
2.3.1 Aufkommen von Biopolymerfasern in der Textilindustrie.....	24
2.3.2 Marktdurchsetzung und Zukunftsperspektiven.....	27
2.3.3 Übersicht der Faser – und Textilhersteller auf dem Markt.....	29
2.3.4 Stand und Entwicklung von Fasern und Textilien aus Food Waste .....	35
<b>3 Methodisches Vorgehen</b> .....	<b>38</b>
3.1 Vorgehensweise der Datenerhebung .....	38
3.1.1 Die qualitative Datenerhebung.....	38
3.1.2 Das Leitfadeninterview .....	39
3.1.3 Die Auswahl der Experten .....	39
3.2 Entwicklung und Durchführung des Interviews .....	41
3.2.1 Entwicklung des Leitfadens .....	41
3.2.2 Durchführung des Interviews .....	42
3.3 Auswertung der Experteninterviews .....	42
3.3.1 Bestandaufnahme ausgewählter Interessengruppen .....	43

3.3.2	Auswertungsmethode.....	46
3.3.3	Auswertung durch induktive Kategorienbildung .....	47
3.4	Auswertung der Literaturrecherche .....	62
<b>4</b>	<b>Ergebnispräsentation .....</b>	<b>68</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>79</b>
5.1	Zusammenfassung.....	79
5.2	Ausblick.....	81
<b>6</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>82</b>
<b>7</b>	<b>Eidesstaatliche Erklärung .....</b>	<b>99</b>
<b>8</b>	<b>Eidesstaatliche Erklärung zur Veröffentlichung.....</b>	<b>100</b>
	<b>Appendix .....</b>	
	<b>a) Zusatzinformationen Biopolymere .....</b>	
	<b>b) Fragebögen der Leitfadeninterviews .....</b>	
	<b>c) Transkripte der Experteninterviews .....</b>	
	<b>d) Auswertung der Experteninterviews.....</b>	
	<b>e) Erfolgsfaktorenraster der Experteninterviews .....</b>	
	<b>f) Erfolgsfaktorenraster der Literaturrecherche .....</b>	

## Abkürzungsverzeichnis

<b>CA</b>	Celluloseacetat
<b>CAB</b>	Celluloseacetatbutyrat
<b>CAP</b>	Celluloseacetatpropionat
<b>CCS</b>	Content Claim Standard
<b>CTA</b>	Cellulosetriacetat
<b>ECHA</b>	Europäische Chemikalienagentur
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>GOTS</b>	Global Organic Textile Standard
<b>GRS</b>	Global Recycled Standard
<b>GVO</b>	Genetisch veränderte Organismen
<b>IEEP</b>	Institute for European Environmental Policy
<b>IUCN</b>	International Union for Conservation of Nature
<b>IVN</b>	Internationaler Verband der Naturtextilwirtschaft e.V.
<b>KbA</b>	kontrolliert biologischer Anbau
<b>KbT</b>	kontrolliert biologische Tierhaltung
<b>LCA</b>	Life-Cycle-Analysis
<b>NOS</b>	Never Out of Stock
<b>OBS</b>	Organische Bodensubstanz
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development
<b>PA</b>	Polyamid
<b>PET</b>	Polyethylenterephthalat
<b>PETA</b>	People for the Ethical Treatment of Animals
<b>PHA</b>	Polyhydroxyalkanoate
<b>PLA</b>	Poly lactide
<b>PTT</b>	Polytrimethylene terephthalate
<b>PUR</b>	Polyurethan
<b>REACH</b>	Europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe
<b>USDA</b>	United States Department of Agriculture

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.: Allgemeine Übersicht der Typen von Biopolymeren .....	7
Abbildung 2.: BioPreferred® label .....	14
Abbildung 3.: Bio-based Content Certification Scheme .....	15
Abbildung 4.: Kompostierbarkeitszeichen "Keimling" .....	15
Abbildung 5.: Relativer Beitrag zu regionalen Lebensmittelabfällen in der jeweiligen Stufe der Nahrungsmittel-Lieferkette .....	18
Abbildung 6.: Rohstoffgenerationen in der Bioökonomie .....	20
Abbildung 7.: Faserkonsum nach Faserart, in Mio. t (zwei Szenarien für 2050) .....	27
Abbildung 8.: Zusammenführung der Erfolgsfaktoren aus Experteninterviews und Literaturrecherche .....	69
Abbildung 9.: Darstellung des Zusammenhangs der Erfolgsfaktoren .....	78

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.: Hersteller (bPET, PLA, bPTT und bPA) .....	26
Tabelle 2.: Experteninterviews .....	41
Tabelle 3.: Induktive Kategorienbildung aus den Experteninterviews .....	48
Tabelle 4.: Induktive Kategorienbildung aus der Literaturrecherche .....	62

# 1 Einleitung

Wenn man von einer neuen Nutzung dessen spricht, was früher als Abfallprodukt angesehen wurde, wird das Problem der Abfallentsorgung zu einer Frage der Verfügbarkeit von Rohmaterialien. Was früher als eine Verbindlichkeit angesehen wurde, die mit der Entstehung von Entsorgungskosten verbunden war, wird nun zu einem Vermögenswert, der mobilisiert und dann effizient genutzt und transformiert werden kann.<sup>1</sup>

Das Umweltbewusstsein der Verbraucher ist in den letzten zehn Jahren stetig gewachsen, zuletzt in der Mode- und Textilindustrie. Da ein erheblicher Anstieg der globalen Fasernachfrage erwartet wird, ist die Industrie auf der Suche nach nachhaltigeren Lösungen mit einem minimalen ökologischen Fußabdruck. Um eine geringe Umweltbelastung zu erzielen, wird nach umweltfreundlichen Rohstoffen und einem nachhaltigen Herstellungsprozess gesucht.<sup>2</sup> In der vorliegenden Forschungsarbeit werden Abfälle aus der Nahrungsmittelproduktion als nachhaltige Rohstoffquelle für Fasern und Textilien aus Biopolymeren betrachtet. Auf Basis von Experteninterviews sowie einer Literaturrecherche sollen Erfolgsfaktoren modelliert werden. Die Befragung wird mit Herstellern von Biopolymerfasern- und -textilien, die zum Teil bereits mit Abfallstoffen arbeiten, sowie Modelabels des *Internationalen Verband der Naturtextilwirtschaft e. V. (IVN)* und Repräsentanten der Standardsetzung des Verbandes durchgeführt. Der Einbezug verschiedener Interessengruppen soll es ermöglichen Zusammenhänge verschiedener Sichtweisen zu erkennen und hieraus das resultierende Erfolgspotential abzuleiten.

Die Textilindustrie steht hinsichtlich des Übergangs von petrochemisch basierten Synthetikfasern zu biobasierten Polymerfasern in den Anfängen. Das mit der Bioökonomie in Zusammenhang stehende und sensible Thema der Agrarflächenkonkurrenz des Anbaus von Lebensmitteln und biobasierten Rohstoffen sowie der bisher niedrige Entwicklungsgrad der Nutzbarmachung von Abfall- und Restströmen konkretisieren den Forschungsbedarf des gewählten Gebietes.<sup>3</sup> Wachsendes Interesse der Forschung, Initiativen und Innovationsplattformen in der nachhaltigen Textilindustrie beschleunigen die Aufmerksamkeit für Food Waste als Rohstoffquelle.<sup>4</sup> Dennoch sind die Marktfähigkeit und das damit verbundene Erfolgspotential von Abfall- und Reststoffen speziell

---

<sup>1</sup> Vgl. Kretschmer, B. et al. (2013): Technology options for recycling agricultural, forestry and food wastes and residues for sustainable bioenergy and biomaterials, S.8.

<sup>2</sup> Vgl. Lenzing AG (2017): Press Information.

<sup>3</sup> Vgl. Textile Exchange (2017): Preferred Fiber Market Report 2017.

<sup>4</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018b): Quick Guide to Biosynthetics; Orange Fiber S.r.l. (2016): We have won Global Change Award by H&M Foundation; VEGEA S.r.l. (2017d): VEGEA wins the Global Change Award 2017.

für den Bereich Textilien bislang kaum erforscht. In der Recherche wurden nur wenige Untersuchungen gefunden, die sich speziell mit dem Thema beschäftigen.

## **1.1 Zielsetzung der Arbeit**

Um das Erfolgspotential von Fasern und Textilien aus Biopolymeren aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion ganzheitlich zu untersuchen werden unter anderem die Beschaffung und Herstellung, die Verarbeitung, der Gebrauch, die Entsorgung sowie eine potentielle Zertifizierung der Materialien in die Befragung und somit in die Modellierung der Erfolgsfaktoren einbezogen. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt hierbei auf dem ökonomischen Aspekt und führt keine umfassende Analyse der Umweltauswirkungen und sozialer Gesichtspunkte dieser Materialien durch.

Nahrungsmittelabfälle werden in dieser Forschungsarbeit als Rohstoffquelle für Fasern und Textilien betrachtet. Als Faserstoffe werden Fasern pflanzlichen und tierischen Ursprungs, auf natürlichen Rohstoffen basierende Chemiefasern sowie bakterielle Nanocellulose verstanden. Unter Textilien werden sowohl durch Textilverfahren hergestellte Flächengebilde als auch Lederersatzmaterialien, die aus natürlichen Rohstoffen oder in Verbindung mit biotechnologischen Verfahren wie der Bakterien- oder Pilzzüchtung hergestellt werden, verstanden.

Diese Arbeit hat nicht den Anspruch eine detaillierte Untersuchung der mechanischen, chemischen bzw. biotechnologischen Herstellung von Fasern und Textilien aus Biopolymeren aus Nahrungsmittelabfällen durchzuführen. Dies kann u.a. damit begründet werden, dass die Herstellungsverfahren der Unternehmen und Akteure am Markt zum Großteil nach patentierten Verfahren durchgeführt werden, die dem Geschäftsgeheimnis unterliegen. Daher werden im weiteren Verlauf die allgemein angewendeten Verfahren zur Herstellung der in dieser Arbeit relevanten Biopolymere kurz vorgestellt.

Darüber hinaus besteht nicht der Anspruch auf Vollständigkeit der Aufzählung von Projekten und Unternehmen, die sich mit Food Waste beschäftigen. Grund hierfür ist die derzeit große Anzahl globaler Neuentwicklungen und Veröffentlichungen in der Branche und gleichzeitig der begrenzte Zugang zu Informationen.

## **1.2 Struktur der Arbeit**

Die vorliegende Forschungsarbeit stellt im zweiten Kapitel die theoretischen Grundlagen vor, in denen zunächst der Begriff des Biopolymers definiert wird. Im weiteren Verlauf werden die verschiedenen Arten von Biopolymeren sowie die allgemeinen Herstellungsverfahren beschrieben

und die für diese Arbeit relevanten Biopolymere kurz vorgestellt. Abschließend wird auf Normen, Zertifizierungen und Kennzeichnungen biobasierter Polymere eingegangen.

Im nächsten Abschnitt werden Abfälle aus der Nahrungsmittelproduktion als Rohstoffquelle vorgestellt. Der Abschnitt beinhaltet die dieser Arbeit zugrundeliegende Definition von Food Waste entlang der Nahrungsmittel-Lieferkette und ordnet die Rohstoffquelle im Rahmen der Bioökonomie ein. Darauffolgend wird die Nachhaltigkeit der Verwendung von Lebensmittelabfällen als Resource knapp beleuchtet.

Im dritten Abschnitt werden Biopolymere aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion als Fasern und Textilien in der Textilindustrie beschrieben. Neben dem Aufkommen dieser Fasergruppe auf dem Textilmarkt, geht der Abschnitt auf die Marktdurchsetzung und Zukunftsperspektiven im Rahmen der Bioökonomie ein. Des Weiteren wird eine Übersicht der Faser- und Textilhersteller auf dem Textilmarkt gegeben, die die Beschaffung und Verarbeitung der jeweiligen Abfallstoffe sowie die Eigenschaften der Produkte kurz aufzeigt. Abschließend wird der aus den Herstellerinformationen ableitbare Entwicklungsstand von Food Waste Fasern und Textilien im Allgemeinen zusammenfassend dargestellt.

Das Kapitel drei beschreibt die methodische Vorgehensweise dieser Forschungsarbeit. Neben der qualitativen Datenerhebung wird die Entwicklung und Durchführung der Interviews beschrieben. Im letzten Abschnitt wird die Auswertungsmethode vorgestellt und die Auswertungen der Befragungen sowie der Literaturrecherche durchgeführt.

Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit präsentiert. Darauf folgen eine Zusammenfassung und ein Ausblick.



## 2 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel bietet eine allgemeine Einführung in das Fachgebiet der Biopolymere. Hierbei wird der Begriff Biopolymer definiert und die verschiedenen Arten und Eigenschaften dieser Werkstoffgruppe erläutert. Anschließend werden in diesem Zusammenhang Abfälle aus der Lebensmittelproduktion als Rohstoffquelle in der Bioökonomie beschrieben und von anderen Rohstoffgenerationen abgegrenzt. Im weiteren Verlauf wird das Aufkommen von Biopolymeren aus Food Waste als Fasern in der Textilindustrie aufgezeigt sowie die Marktsituation beleuchtet.

### 2.1 Biopolymere

#### 2.1.1 Der Begriff des Biopolymers

Biopolymere sind seit Jahrtausenden die primären Werkstoffe der Menschheit. Denn Biopolymere oder auch natürliche Polymere sind im Überfluss in der Natur vorhanden<sup>5</sup> und bilden die Grundlage aller lebenden Organismen. Biopolymere lassen sich nach ihren Grundbausteinen Polydiene (z.B. Naturkautschuk), Polysaccharide (z.B. Stärke und Cellulose) Polypeptide bzw. Proteine (z.B. Seide und Kollagen) und Polynucleotide (z.B. Desoxyribonucleinsäure DNA) gliedern. Die Natur kann diese komplizierten organischen Makromoleküle hochspezifisch und reproduzierbar herstellen. Ein Makromolekül besteht hierbei aus einer großen Anzahl kleinerer Moleküleinheiten den sog. Monomeren<sup>6</sup> wie z.B. Zuckern, Disacchariden und Fettsäuren.<sup>7</sup> Zur Gruppe der organischen Polymere zählen zudem chemisch modifizierte Biopolymere. Dazu gehören z.B. Celluloseether, Stärkederivate und Viskoseseide.<sup>8</sup>

Im gegenwärtigen Sprachgebrauch umfasst der Begriff „Biopolymer“ auch bezeichnet als „Biokunststoff“ oder „biologisch abbaubarer Kunststoff“, jedoch eine erheblich breiter gefächerte Gruppe an Werkstoffen, wodurch es häufig zu Missverständnissen kommt.<sup>9</sup> Der Verband *European Bioplastics e.V.* definiert neben biobasierten Polymeren außerdem noch biologisch abbaubare Kunststoffe und Erzeugnisse, die beide Eigenschaften vereinen als Biopolymere. Biobasiert kann hierbei bedeuten, dass die Erzeugnisse vollständig oder auch nur teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen stammen. Dabei können sie, müssen aber nicht, biologisch abbaubar sein.<sup>10</sup> Biologisch abbaubare Kunststoffe wiederum können, müssen aber nicht, aus nachwachsenden

---

<sup>5</sup> Vgl. Shen, L. et al. (2009): Product overview and market projection of emerging bio-based plastics, S.1.

<sup>6</sup> Vgl. Lechner M.D. et al. (2014): Makromolekulare Chemie, S.3ff.

<sup>7</sup> Vgl. Thielen, M. (2013): Biokunststoffe: Pflanzen, Rohstoffe, Produkte, S.10.

<sup>8</sup> Vgl. Lechner M.D. et al. (2014): S.3ff.

<sup>9</sup> Vgl. Endres, H.-J./ Siebert-Raths, A. (2009): Technische Biopolymere, S.5.

<sup>10</sup> Vgl. European Bioplastics e.V. (2017a): Bioplastic materials.

Rohstoffquellen erzeugt werden. Sie können aber auch aus fossilen, nicht nachwachsenden Ressourcen bestehen, die biologisch abbaubar sind. Die biologische Abbaubarkeit hängt dementsprechend nicht von der Rohstoffquelle ab, sondern von der chemischen Zusammensetzung des Erzeugnisses.<sup>11</sup> Unterschieden wird zudem zwischen biologisch abbaubaren und kompostierbaren Kunststoffen. Als kompostierbar gilt ein Material lediglich, wenn es sich unter definierten Bedingungen in einem Kompostierungssystem innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne abbaut.<sup>12</sup>

Mit Beginn des Industriezeitalters wurden Kunststoffe zunächst ausschließlich auf Basis nachwachsender Rohstoffe erzeugt, wie z.B. Cellulosederivate- und regenerate oder auch Kautschuk. Mit der Entwicklung der Petrochemie wurden die nachwachsenden Rohstoffe durch eine erdölbasierte Rohstoffbasis verdrängt. Mit der zunehmenden Erkenntnis, dass sich hinter der Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten und Funktionalität der petrochemisch basierten Kunststoffe neben der Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Energien auch nachteilige Entsorgungseigenschaften verbergen, rückten die Aspekte der Entsorgung und Verwertung der petrochemischen Polymere mehr und mehr in den Vordergrund. Seit Ende der 80er Jahre konnte hierdurch eine zunehmende Entwicklung biologisch abbaubarer Biopolymere verzeichnet werden. Im Hinblick auf die sinkende Verfügbarkeit petrochemischer Rohstoffe und den damals erwarteten Anstieg der Preise verlagerte sich der Schwerpunkt der Biopolymerindustrie erneut, d.h. nicht mehr die Kompostierbarkeit, sondern der Einsatz erneuerbarer Ressourcen rückte wieder zunehmend in den Fokus.<sup>13</sup>

Stärke ist aktuell der wirtschaftlich bedeutendste nachwachsende Rohstoff für biobasierte Kunststoffe. Der überwiegende Anteil der globalen Stärkeerzeugung entfällt auf kohlenhydratreiche Pflanzen wie Mais, Kartoffeln, Zuckerrohr und Weizen, d.h. aus Nahrungsmittelkulturen der ersten Generation. Weltweit werden rund 45 Mio. t Stärke produziert, die in Form von thermoplastischer Stärke 80% des Biopolymermarkts abdecken.<sup>14</sup> Um Rohmaterialien nachhaltiger zu beziehen, forscht die Biokunststoffindustrie verstärkt nach alternativen Materialien der zweiten und dritten Generation, d.h. Rest- und Abfallstoffe der Landwirtschaft,<sup>15</sup> sowie in Verbindung damit erzeugte Biopolymere aus der Mikrobiologie.<sup>16</sup>

---

<sup>11</sup> Vgl. Deutscher Bundestag (2015): Biologisch abbaubare Kunststoffe, S.4f.

<sup>12</sup> Vgl. European Bioplastics e.V. (2017e): Composting.

<sup>13</sup> Vgl. Endres, H.-J./ Siebert-Raths, A. (2009): S.21.

<sup>14</sup> Vgl. Biokunststoffe.de (2013a): Stärkeblends & Stärkederivate.

<sup>15</sup> Vgl. European Bioplastics e.V. (2017b): Renewable feedstock.

<sup>16</sup> Vgl. Burbiel, J. (2014): Nanocellulose, S.70.

Von den jährlich produzierten rund 320 Mio. t Kunststoff sind derzeit etwa ein Prozent Biokunststoffe. Da die Nachfrage steigt und immer anspruchsvollere Biopolymere, Anwendungen und Produkte entwickelt werden, wächst der Markt kontinuierlich. Es wird erwartet, dass die globale Produktionskapazität für Biokunststoffe von rund 2,05 Mio. t im Jahr 2017 auf etwa 2,42 Mio. t im Jahr 2022 steigt. In 2017 machte die Textilindustrie einen Anteil von 11% an der globalen Biokunststoffproduktion aus.<sup>17</sup> Textilien aus Biopolymeren werden z.B. bereits in der Bekleidung, für Schuhe und Heimtextilien eingesetzt und stellen eine aufstrebende Fasergruppe dar. Derzeit werden hauptsächlich stärkebasierte Biopolyester in Form von Polymilchsäuren (PLA), Bio-Polytrimethylene terephthalate (bPTT), Bio-Polyethylenterephthalat (bPET) und pflanzenölbasierte Bio-Polyamide (bPA) hergestellt.<sup>18</sup>

---

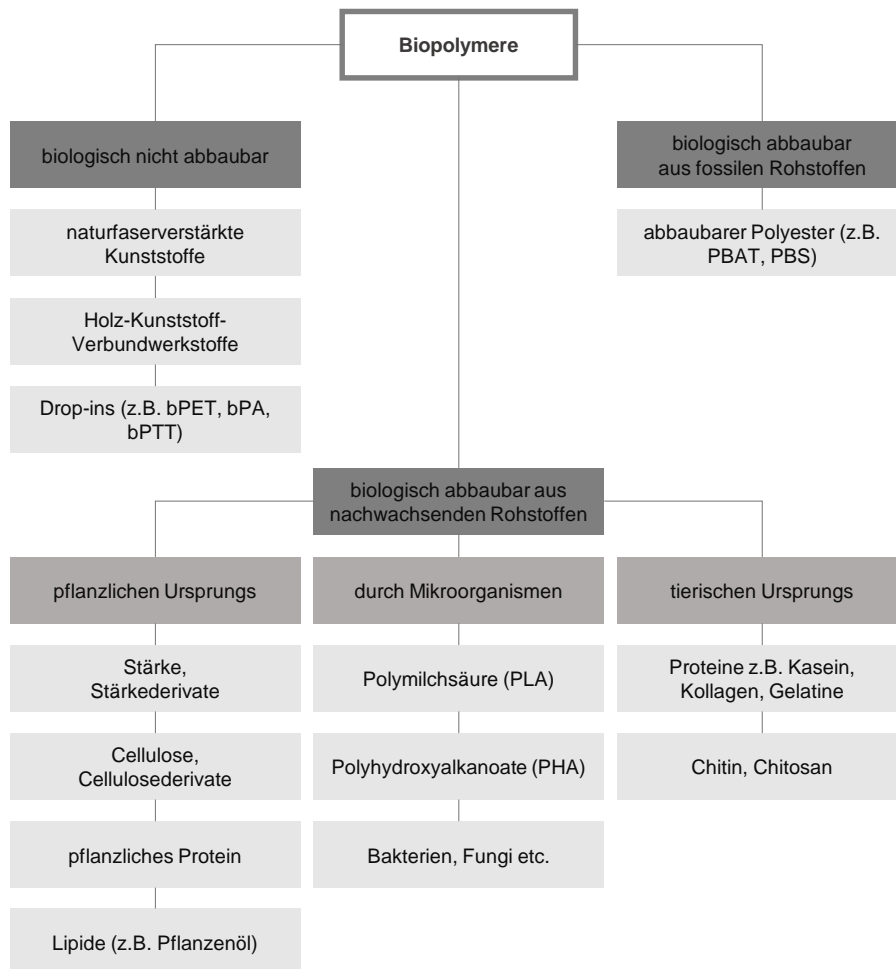
<sup>17</sup> Vgl. European Bioplastics e.V. (2017c): Bioplastics market data 2017, S.2.

<sup>18</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018b): S.10ff.

## 2.1.2 Arten von Biopolymeren und Herstellungsverfahren

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Arten von Biopolymeren, welche zurzeit am Markt angeboten werden, kurz vorgestellt. Im Allgemeinen lassen sich Biopolymere anhand Ihrer Rohstoffbasis und Eigenschaften der biologischen Abbaubarkeit gruppieren. Biologisch abbaubare, aus nachwachsenden Rohstoffen bestehende Biopolymere können zusätzlich anhand ihrer verschiedenen organischen Ausgangsmaterialien oder anhand ihres Herstellungsverfahrens unterteilt werden.

Abbildung 1.: Allgemeine Übersicht der Typen von Biopolymeren<sup>19</sup>



Heute gibt es fast zu jedem herkömmlichen Kunststoffmaterial eine biobasierte Alternative. Biokunststoffe können sog. „Drop-ins“ wie z.B. zuvor genannte bPET, bPA und bPTT sein. Diese Polymere sind partiell oder komplett biobasiert, nicht biologisch abbaubar und chemisch identisch

<sup>19</sup> Quelle: Modifiziert nach Beier, W. (2009): Biologisch abbaubare Kunststoffe, S.4; sowie Daten entnommen aus: Aeschelmann, F./ Carus, M. (2015): Bio-based Building Blocks and Polymers in the World, Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020, S.5ff.

zu ihrem petrochemischen Pendant; lediglich die Quelle der Rohstoffe ist unterschiedlich. Sie können zumeist in bestehenden Industrieanlagen mit herkömmlichen Herstellungs- und Recyclingverfahren verwendet werden. Andere sind einzigartig und haben kein petrochemisches Äquivalent (z.B. PLA). Sie benötigen durch ihre neuen Eigenschaften häufig unterschiedliche Prozess- und Recycling Strukturen.<sup>20</sup> Wie Abb.1 zeigt, gibt es eine Vielfalt an industriell hergestellten Biokunststoffen. Da diese Forschungsarbeit insbesondere Biopolymere aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion untersuchen möchte, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit der Fokus auf biologisch abbaubare, aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Polymere gelegt, die aus Abfällen gewonnen werden können. Demnach werden hauptsächlich Biopolymere betrachtet, die indirekt aus Biomasse pflanzlichen Ursprungs (Cellulose, Cellulosederivate und pflanzliches Protein) oder tierischen Ursprungs (tierisches Protein) oder direkt durch Mikroorganismen (Bakterien und Fungi) hergestellt werden (siehe Abb.1).

Der Herstellungsprozess biologisch abbaubarer, biobasierter Polymere kann auf verschiedenen Verfahren beruhen. Die eigentliche Polymerisationsreaktion kann sowohl chemisch, d.h. von Menschenhand, als auch auf biologischem oder natürlichem Wege, d.h. durch Fermentation, herbeigeführt werden. Die biologische Abbaubarkeit ist von der resultierenden Molekülstruktur abhängig und nicht vom Ausgangsmaterial oder der Bildungsreaktion der Polymere.<sup>21</sup> Die in dieser Arbeit untersuchten Biopolymere aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion werden zum Teil mit patentierten, dem Geschäftsgeheimnis unterliegenden Verfahren produziert. Im Allgemeinen werden die drei folgenden Verfahren für die Herstellung von Biokunststoffen angewendet:<sup>22</sup>

#### *Modifizierung nachwachsender Rohstoffe*

Bei der Modifizierung werden natürliche Polymere (pflanzlichen oder tierischen Ursprungs) chemisch, thermisch oder enzymatisch modifiziert, können aber zum Großteil in ihrer Form erhalten bleiben. Hauptsächlich werden durch Modifizierung auf Polysacchariden (Vielfachzuckern) basierende Biopolymere wie z.B. thermoplastische Stärke oder Cellulosederivate hergestellt.<sup>23</sup>

---

<sup>20</sup> Vgl. European Bioplastics e.V. (2017a); Aboutbiosynthetics.org (2018a): Feedstock to Fashion, First, Second & Third Generation.

<sup>21</sup> Vgl. Endres, H.-J./ Siebert-Raths, A. (2009): S.91.

<sup>22</sup> Vgl. Ebd., S.91.

<sup>23</sup> Vgl. Stevens, E.S. (2003): What makes green plastics green?, zitiert bei: Kuruppalil, Z. (2011): Green Plastics, S.4.

### *Chemische Synthese biobasierter Rohstoffe*

In dieser Gruppe werden zunächst biobasierte Monomere durch einen Fermentationsprozess hergestellt. Unter Fermentation wird eine Umwandlung von Materialien mit Hilfe von Bakterien-, Pilz- oder Zellkulturen (Mikroorganismen) oder auch durch den Zusatz von Enzymen verstanden. In sogenannten Fermentern oder Bioreaktoren, in denen bestimmte Bedingungen in Bezug auf u.a. Temperatur, Nährstoffzugabe, pH-Wert und Sauerstoffgehalt herrschen, können Mikroorganismen eine Vielzahl verschiedener Stoffe synthetisieren. In einem zweiten Schritt können die, auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden, Monomere mittels chemischer Methoden, d.h. von Menschenhand, polymerisiert werden. Das, auf Milchsäure basierende, PLA stellt mengenmäßig bisher das wichtigste chemisch synthetisierte Biopolymer dar.<sup>24</sup>

### *Direkte Biosynthese der Biopolymere*

Bei der direkten fermentativen Herstellung von Biopolymeren findet die Polymerisation der Biopolymere bereits während des Fermentationsprozesses statt. Im Gegensatz zur fermentativen Erzeugung der Monomere mit einer darauffolgenden Polymerisation von Menschenhand, ist hier, aufgrund der natürlich stattfindenden Biosynthese, der zusätzliche Schritt der Polymerisation überflüssig. Biopolymere können von vielen verschiedenen Arten von Mikroorganismen hergestellt werden. Beispiele für eine extrazelluläre Produktion von Biopolymeren stellen durch Bakterienkulturen generierte bakterielle Cellulose, auch Nanocellulose genannt,<sup>25</sup> oder mit Hilfe von Fungi generierte Verbundmaterialien aus verschiedenen Biopolymeren dar.<sup>26</sup>

Biopolymere können in reiner Form oder aber als Blend, Copolymer oder Composite Material hergestellt werden. Ein Polymerblend ist definiert als makroskopisch homogene Mischung von zwei oder mehr verschiedenen Polymerarten.<sup>27</sup> Copolymere sind Polymere, die von mehr als einer Art von Monomer abgeleitet werden. Copolymere, die durch Copolymerisation zweier Monomere hergestellt wurden, nennt man auch Bipolymer.<sup>28</sup> Ein Polymer Composite ist ein Verbundstoff, bei dem mindestens eine Komponente ein Polymer ist.<sup>29</sup> Die Mischung biobasierter Polymere mit ebenfalls von nachwachsenden Rohstoffen abgeleiteten Kunststoffen oder mit petrochemischen Polymeren kann den Biogehalt von Produkten erhöhen und ggf. gewünschte Produkteigenschaften erzeugen.<sup>30</sup>

---

<sup>24</sup> Vgl. Endres, H.-J./ Siebert-Raths, A. (2009): S.103-104.

<sup>25</sup> Vgl. Burbiel, J. (2014): S.70.

<sup>26</sup> Vgl. Haneef, M. et al. (2017): Advanced Materials From Fungal Mycelium, S.1.

<sup>27</sup> Vgl. IUPAC (1997): Polymer Blend.

<sup>28</sup> Vgl. Ebd., Copolymer.

<sup>29</sup> Vgl. Ebd., Polymer Composite.

<sup>30</sup> Vgl. Shen, L. et al. (2009): S.66.

### 2.1.3 Vorstellung relevanter Biopolymere

Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten biologisch abbaubaren, aus nachwachsenden Rohstoffen bestehenden Biopolymere vorgestellt.<sup>31</sup> Neben der Herkunft des Ausgangsstoffes und der angewendeten Verarbeitung werden die Anwendungsbereiche und die Marktrelevanz knapp beleuchtet.

#### 2.1.3.1 Cellulose basierte Biopolymere

Cellulose gehört zu den Polysacchariden und bildet einen der Hauptbestandteile pflanzlicher Zellwände und ist somit die häufigste organische Verbindung auf der Erde.<sup>32</sup> In der Natur kommt Cellulose in fast reiner Form in Baumwollfasern vor. In Holz, in Bastfasern sowie in anderen verholzten Pflanzenteilen taucht Cellulose in Kombination mit Lignin und Hemicellulose als Gerüstsubstanz auf.<sup>33</sup> Außerdem enthalten die Zellwände grüner Algen und die Membranen der meisten Pilze Cellulose. Die sogenannte bakterielle Cellulose kann z.B. durch das Bakterium *Acetobacter Xylinum* auf einem Nährmedium, das Glukose enthält, synthetisiert werden.<sup>34</sup>

Die am Markt etablierten cellulosebasierten Kunststoffe unterteilen sich allgemein in zwei Hauptgruppen. Celluloseregenerate, bekannt als Viskose, Zellglas, Cellophan und Cellulosehydrat etc., welche meist in Form von Fasern oder Folie vorliegen und Cellulosederivate, welche sich wiederum in die zwei Gruppen der Celluloseester und Celluloseether aufteilen.<sup>35</sup> Celluloseester können zudem in organischer und anorganischer Form vorliegen. Zur Herstellung von biobasiertem Kunststoff, der bspw. zur Produktion von biobasierten Fasern verwendet werden kann, werden hauptsächlich organische Celluloseester und regenerierte Cellulose verwendet, die deshalb im Folgenden erläutert werden.<sup>36</sup> Anschließend wird auf die sich in der Forschung und Entwicklung befindenden Biopolymere aus bakterieller Cellulose eingegangen.

#### *Organische Celluloseester*

Zu den industriell gefertigten organischen Celluloseestern zählen Celluloseacetat (CA), Celluloseacetatpropionat (CAP) und Celluloseacetatbutyrat (CAB).<sup>37</sup> Als Rohmaterial werden hauptsächlich Baumwollfasern und Holz verwendet. Organische Celluloseester können durch das Be-

---

<sup>31</sup> Siehe außerdem Appendix a) „Zusatzinformationen Biopolymere“.

<sup>32</sup> Vgl. Krässig, H. et al. (2004): Cellulose, Kap. 1.2 Occurrence.

<sup>33</sup> Vgl. Kalia, S. et al. (2011): Cellulose-Based Bio- and Nanocomposites, S.2.

<sup>34</sup> Vgl. Krässig, H. et al. (2004): Kap. 1.2 Occurrence.

<sup>35</sup> Vgl. Endres, H.-J./ Siebert-Raths, A. (2009): S.136.

<sup>36</sup> Vgl. Shen, L. et al. (2009): S.43f.

<sup>37</sup> Vgl. Balsler, K. et al. (2004): Cellulose Esters, Kap. 2.0 Organic Esters.

arbeiten von Cellulose mit u.a. Essigsäurehydrid, Buttersäure und Propansäure hergestellt werden.<sup>38</sup> Für die Textilindustrie werden in erster Linie Celluloseacetat und das in einer Prozessvorstufe gewonnene, Cellulosetriacetat (CTA) verwendet. Für die Herstellung der Acetatfasern wird das Acetat bzw. Triacetat in einem geeigneten organischen Lösungsmittel gelöst und in einem Trockenspinnverfahren versponnen.<sup>39</sup>

### *Regenerierte Cellulose*

Das klassische Verfahren für Celluloseregenerate ist das Viskoseverfahren, das angewendet wird um Regeneratfasern und Cellulosehydrat (z.B. Zellophan) herzustellen. Den größten Anteil machen hier Regeneratfasern aus, die zurzeit in drei verschiedenen Prozessen hergestellt werden.<sup>40</sup> Das mit Abstand am meisten genutzte Verfahren ist der genannte Viskose Prozess,<sup>41</sup> der im Laufe der Zeit modifiziert wurde. Die erste Abwandlung war der Modal Prozess, der zu einem höheren Grad an Polymerisation und somit zu einer verbesserten Faserqualität führte.<sup>42</sup> Besonders für seine Umweltfreundlichkeit und Schnelligkeit bekannt ist der darauf entwickelte Lyocell Prozess, der auf ein ungiftiges Lösungsmittel setzt und im Rahmen eines geschlossenen Stoffkreislaufes funktioniert.<sup>43</sup> Als Rohmaterial für Celluloseregenerat wird Zellstoff aus Bäumen oder Baumwollfasern verwendet, wobei auch andere Einjahrespflanzen möglich sind. Im Regeneratverfahren werden durch Auflösen der kurzen Zellstofffasern in einem chemischen Prozess Fasern oder Folien hergestellt.<sup>44</sup>

### *Bakterielle Cellulose*

Durch biochemische Polymerisation von niedermolekularen Bausteinen wie z.B. Traubenzucker kann bakterielle Nanocellulose hergestellt werden. Mithilfe von Mikroorganismen (zumeist Essigsäurebakterien) und der Verwendung ausgewählter Umgebungsparameter wird z.B. ein fest geknüpftes Netz aus unterschiedlich langen Fasern der bakteriellen Cellulose hergestellt. Durch die Auswahl des Mikroorganismus und der Rahmenbedingungen können die Eigenschaften der Fasernetze gezielt beeinflusst werden. Auch die Form und Größe des Polymergels (mit über 99% Wassergehalt), das im ersten Prozessschritt gebildet wird, kann durch die Art des Bioreaktors

---

<sup>38</sup> Vgl. Balsler, K. et al. (2004): Cellulose Esters, Kap. 2.1.2 Raw Materials, 2.3 Cellulose Acetate Fibers.

<sup>39</sup> Vgl. Heim, E. (1966): S.44ff.

<sup>40</sup> Vgl. Krässig, H. et al. (2004): Kap. 3.1 Regenerate Cellulose.

<sup>41</sup> Vgl. Shen, L. et al. (2009): S.46.

<sup>42</sup> Vgl. Krässig, H. et al. (2004): Kap. 3.1.1 Principle of the Viscose Process.

<sup>43</sup> Vgl. Ebd., Kap. 3.2 Lyocell Fibers.

<sup>44</sup> Vgl. Ebd., Kap. 3.1.1 Principle of the Viscose Process.



kontrolliert werden.<sup>45</sup> Diese Polymergelkörper können getrocknet werden und z.B. als Lederersatzmaterial verwendet werden.<sup>46</sup>

Cellulosefasern deckten in 2015 mit 6,1 Mio. t rund 6,4% der globalen Faserproduktion ab. Das Volumen von Viskosefasern konnte auf 4,9 Mio. t angehoben werden, während die Produktion von Acetatfasern auf 0,9 Mio. t zurückging.<sup>47</sup> Die Produktionskapazitäten von bakterieller Cellulose sind aufgrund des Preises und der Verwendbarkeit des Materials noch weit entfernt von einer Herstellung auf industrieller Basis.<sup>48</sup> Im Bereich Textil bzw. Lederersatz werden Pilotprojekte und erste Unternehmenskooperationen durchgeführt.<sup>49</sup>

### 2.1.3.2 Protein basierte Polymere

Proteine, auch bezeichnet als Polypeptide, sind komplexe Copolymere, die aus bis zu 20 verschiedenen Aminosäurebausteinen bestehen können. Die Vielfalt der Proteine begründet die Bandbreite an Funktionen, die sie in lebenden Organismen erfüllen. Sie sind das wichtigste Mittel zum Ausdruck der, in der DNA kodierten, genetischen Informationen.<sup>50</sup> Proteine aus industrieller Herstellung können tierischer- oder pflanzlicher Abstammung sein.<sup>51</sup> Zu den tierischen Proteinen gehören z.B. Kollagen als Strukturprotein des Bindegewebes höherer Lebewesen in bspw. Haut, Sehnen oder Knochen und Kasein aus Säugetiermilch.<sup>52</sup> Ebenfalls außerhalb des Lebewesens eingesetzt werden Strukturproteine wie bspw. Fibroin und Sericin, als Bausteine der Seiden von vielen Insekten und Spinnen.<sup>53</sup> Zu den pflanzlichen Proteinen zählt Gluten, ein Gemisch aus verschiedenen Proteinen, das in Getreidekörnern vorkommt.<sup>54</sup> Außerdem enthalten u.a. Mais, Reis, Sojabohnen, Kartoffeln, Gemüse, Früchte und Nüsse pflanzliches Protein.<sup>55</sup>

Nach ersten Versuchen das Milcheiweiß Kasein in Verbindung mit Formaldehyd als biobasiertes Plastik und später als synthetische Faser einzusetzen,<sup>56</sup> wurde in den letzten Jahren ein neues,

---

<sup>45</sup> Vgl. Burbiel, J. (2014): S.70.

<sup>46</sup> Vgl. Suzanne Lee (2011): Video Grow your own clothes.

<sup>47</sup> Vgl. The Fiber Year Consulting (2016): The Fiber Year 2016, zitiert bei: Südwest Textil Verband der Südwestdeutschen Textil- und Bekleidungsindustrie (2016): Branchendaten Chemiefasern.

<sup>48</sup> Vgl. Burbiel, J. (2014): S.70.

<sup>49</sup> Vgl. z.B. Nanollose Ltd. (2017): Technology; ScobyTec (2017): About.

<sup>50</sup> Vgl. U.S. Congress (1993): Making Materials Nature's Way, S.6.

<sup>51</sup> Vgl. Klostermeyer, H. et al. (2000): Proteins, Kap.1. Introduction.

<sup>52</sup> Vgl. Thielen, M. (2013): S.10.

<sup>53</sup> Vgl. Lang, G. (2015): Herstellung und Charakterisierung von Fasern aus rekombinanten Spinnenseidenproteinen, S.4.

<sup>54</sup> Vgl. Thielen, M. (2013): S.10.

<sup>55</sup> Vgl. Klostermeyer, H. et al. (2000): Kap.1. Introduction.

<sup>56</sup> Vgl. Thielen, M. (2013): S.16; Klare, H. (1985): Geschichte der Chemiefaserforschung, S.66.

umweltfreundlicheres Verfahren zur Herstellung von Proteinfasern aus Kasein von Milch entwickelt.<sup>57</sup> Aktuell wurden außerdem völlig neue Herangehensweisen an proteinbasierte Biopolymere aus dem Bereich der Mikrobiologie vorgestellt. Mit dem Seidenfaden von Spinnen als Vorbild werden Proteine bspw. genetisch modifiziert und in einem Fermentationsprozess zu einem synthetischen Proteinmaterial herangezüchtet, das zu einer Faser gesponnen werden kann.<sup>58</sup> Des Weiteren wird mit Hilfe tierischer Hautzellen das Protein Kollagen in dünnen Schichten gezüchtet, um dies dann als künstliches Leder ernten zu können.<sup>59</sup> Zudem werden weitere Forschungen durchgeführt zur Verwendung von Gelatine (ein Kollagenprotein aus der Fleischproduktion)<sup>60</sup> und Kollagen aus Fischschuppen<sup>61</sup>. Der Bereich der pflanzlichen Proteine wurde ebenfalls bereits in der Herstellung von Biokunststoffen verwendet. Bereits in den 1910er Jahren experimentierte der Automobilhersteller Henry Ford mit Weizen und Soja als Rohmaterial für biobasierte Polymere.<sup>62</sup>

Biopolymere aus Proteinen werden im Bereich Textil zurzeit in ersten Pilotprojekten und Unternehmenskooperationen am Markt eingeführt.<sup>63</sup>

### 2.1.3.3 Myzel

Pilze, auch Fungi genannt, gehören zu den Mikroorganismen. Sie sind in der Lage große organische Moleküle zu zerlegen und in nährenden Boden zu verwandeln, mit Hilfe dessen zukünftige Generationen an Lebewesen gedeihen können.<sup>64</sup> Fungi sind aerobe Organismen aus der Gruppe der eukaryotischen Lebewesen. Es gibt einzellige Pilze, die Mehrheit der Fungi wächst jedoch in fadenförmigen Zellgewächsen sog. Hyphen, die als Gewebe das Mycelium oder auch Myzel bilden.<sup>65</sup> Diese Pilzgewebe erstrecken sich praktisch unter der Oberfläche jedes fruchtbaren Bodens.<sup>66</sup>

In den letzten Jahren beschäftigt sich die Forschung vermehrt mit der Gewinnung selbstwachsender, faseriger, natürlicher Verbundmaterialien aus Myzel von Pilzen.<sup>67</sup> Durch die Kultivierung

---

<sup>57</sup> Vgl. Qmilch IP GmbH (2017a): Material of the Future Broschüre.

<sup>58</sup> Vgl. Spiber Inc. (2016a): Endeavor.

<sup>59</sup> Vgl. Modern Meadow Inc. (2016): Our Technology.

<sup>60</sup> Vgl. Rüegg, P. (2015): Garn aus Schlachtabfall.

<sup>61</sup> Vgl. Umofil (2017): Beauty Fiber®.

<sup>62</sup> Vgl. Thielen, M. (2013): S.13.

<sup>63</sup> Vgl. Qmilch IP GmbH (2017a); Spiber Inc. (2016a); Modern Meadow Inc. (2016).

<sup>64</sup> Vgl. Stamets, P. (2005): Mycelium Running, S.10.

<sup>65</sup> Vgl. Alexopoulos, C. J. (1966): Einführung in die Mykologie, S.6-9.

<sup>66</sup> Vgl. Stamets, P. (2005): S.10.

<sup>67</sup> Vgl. Mycoworks (2017): Video the Fungi in your Future; Mycotech UK Ltd. (2017): Home; Mycoplast Snc (2017): Home, mogu.

von bspw. *Ganoderma Lucidum* oder *Pleurotus Ostreatus* entstehen faserige Pilzstrukturen, deren physikalische Eigenschaften durch die gezielte Auswahl biobasierter Rohstoffe als Nährboden beeinflusst werden können.<sup>68</sup> Im Gegensatz zu anderen, direkt durch Biosynthese von Mikroorganismen gewonnenen Biopolymeren, wie bakterielle Cellulose, zeigt das Myzel Material je nach zugegebenen Biosubstrat (z.B. Cellulose oder Kartoffeldextrose) unterschiedliche Konzentrationen an Biopolymeren, meist Polysacchariden, Lipiden, Proteinen und Chitin und ist somit ein Polymerverbundmaterial.<sup>69</sup> Als Rohstoffe können z.B. landwirtschaftliche Reststoffe aller Art dienen.<sup>70</sup>

Wie die Ausstellung *Fungal Futures* in 2016 zeigte, ist die Anwendbarkeit der Myzel Werkstoffe vielseitig. Designer präsentierten Bauwerkstoffe, Interior Design, Haushaltsgegenstände, Verpackungen sowie Textilien und Lederersatz.<sup>71</sup> Produkte aus Fungi befinden sich bisher noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase bzw. in ersten Pilotprojekten.<sup>72</sup>

#### 2.1.4 Normen, Zertifizierungen und Kennzeichnungen

Hinweise, die sich auf den Gehalt an nachwachsenden Rohstoffen in biobasierten Materialien oder die Kompostierbarkeit beziehen, sind für Verbraucher häufig schwer zu überprüfen.<sup>73</sup> In den letzten Jahren wurden mehrere neue Zertifizierungen zur Überprüfung des Biogehalts sowie der Kompostierbarkeit entwickelt, die dies vereinfachen sollen.

Abbildung 2.: *BioPreferred® label*<sup>74</sup>



Der *BioPreferred®* Standard des *United States Department of Agriculture (USDA)* bietet z.B. die Möglichkeit einer freiwilligen Kennzeichnung biobasierter Produkte, die dem Konsumenten versichern, dass das Produkt eine nachgewiesene Menge an erneuerbaren Rohstoffen enthält. Zusätzlich legt das *USDA* obligatorische Einkaufsanforderungen biobasierter

<sup>68</sup> Vgl. Haneef, M. et al. (2017): S.1.

<sup>69</sup> Vgl. Ebd., S.6.

<sup>70</sup> Vgl. Ecovative Design LLC (2017b): How it works; Mycoworks (2017).

<sup>71</sup> Vgl. *Fungal Futures* (2016): Projects.

<sup>72</sup> Vgl. z.B. Mycoplast Snc (2017); Mycoworks (2017).

<sup>73</sup> Vgl. European Bioplastics e.V. (2017d): Certifications for bioplastics.

<sup>74</sup> Quelle: Green Biologics Inc. (2016): *USDA BioPreferred®* program.

Produkte für Bundesbehörden der USA fest.<sup>75</sup> Der Standard beinhaltet eine Vielzahl an Produktkategorien. Die für Textilien relevante Kategorie ist „Fibers and Fabrics“.<sup>76</sup>

Abbildung 3.: Bio-based Content Certification Scheme<sup>77</sup>



Das *Bio-based Content Certification Scheme* ist das Europäische Zertifizierungssystem, das eine unabhängige Bewertung des biobasierten Gehalts von Produkten auf Basis der Europäischen Norm EN 16785-1 ermöglicht. Die Zertifizierung enthält Bestimmungen zur Verifizierung des biobasierten Gehalts von Produkten und ist für alle Arten von kohlenstoffhaltigen Produkten anwendbar.<sup>78</sup>

Abbildung 4.: Kompostierbarkeitszeichen "Keimling"<sup>79</sup>



Das gemeinsame Zertifizierungsprogramm der *DIN CERTCO* und *European Bioplastics e.V.* mit dem international anerkannten Kompostierbarkeitszeichens „Keimling“ basiert auf der Norm DIN EN 13432 sowie auf Wunsch zusätzlich nach den Normen ASTM D 6400, DIN EN 14995, ISO 18606 und/oder ISO 17088. Das Siegel besagt, dass das Kunststoffprodukt innerhalb von 12 Wochen in einer industriellen Kompostierungsanlage (bei 60 Grad Celsius) mehrheitlich zu Wasser, Kohlendioxid und Mineralien zersetzt werden kann.<sup>80</sup> Was das Zertifizierungskennzeichen nicht bewertet, ist die Kompostierbarkeit der Kunststoffprodukte in einem bestimmten Zeitrahmen auf dem Gartenkompost oder in der Umwelt im Allgemeinen. Zum Nachweis der Kompostierbarkeit im Gartenkompost wurden allerdings die separaten Normen AS 5810 und NF T51-800 nach *DIN CERTCO* entwickelt.<sup>81</sup>

<sup>75</sup> Vgl. USDA (2017a): What is BioPreferred®?.

<sup>76</sup> Vgl. USDA (2017b).

<sup>77</sup> Quelle: NEN certification scheme (2016): NCS 16785 Bio-based content certification scheme, S.18.

<sup>78</sup> Vgl. NEN (2016): S.5.

<sup>79</sup> Quelle: DIN CERTCO (2016): Zertifizierung von industriell kompostierbaren Produkten, S.1.

<sup>80</sup> Vgl. Deutscher Bundestag (2015): S.6-7.

<sup>81</sup> Vgl. Ebd., S.7-8.

## 2.2 Food Waste – Abfälle aus der Nahrungsmittelproduktion als Rohstoffquelle

Dieser Abschnitt stellt zunächst die dieser Arbeit zugrundeliegende Definition von Food Waste vor. Im weiteren Verlauf werden Abfälle der Nahrungsmittelproduktion als Rohstoffquelle in der Bioökonomie eingeordnet. In diesem Zusammenhang wird die ökologische Nachhaltigkeit in Bezug auf den Anbau der erneuerbaren Ressourcen, die Verarbeitung und Entsorgung knapp erläutert.

### 2.2.1 Definition von Food Waste in der Nahrungsmittel-Lieferkette

Abfall ist eines der alarmierendsten Probleme unseres Planeten. Derzeit wird ca. ein Drittel der essbaren Lebensmittel, die für Menschen angepflanzt werden, aussortiert oder entsorgt, was global gesehen 1,3 Mrd. t Lebensmitteln pro Jahr entspricht.<sup>82</sup> Um den Übergang zu einer ressourcenschonenden Gesellschaft zu erreichen, besteht dementsprechend ein dringender Bedarf, die Lebensmittelverschwendung zu reduzieren bzw. die Abfälle zu verwerten.

In der Literatur gibt es verschiedene Definitionen für den Term „Food Waste“. Laut der *Europäischen Kommission* werden Lebensmittel zunächst als jegliche Substanzen und Produkte, in roher oder verarbeiteter bzw. teilverarbeiteter Form, die für den Konsum des Menschen gedacht sind, definiert. Als „Food Waste“ bezeichnet die *EU Kommission* sowohl zum Verzehr geeignete Lebensmittel als auch nicht zum Verzehr gedachte Bestandteile, die entlang der Nahrungsmittel-Lieferkette entsorgt werden.<sup>83</sup> Die *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)* hingegen fasst „Food Waste“ und „Food Loss“ unter dem Begriff „Food Wastage“ zusammen. Gemeint sind hiermit nur landwirtschaftliche Erzeugnisse, die für den Verzehr des Menschen geeignet sind und aufgrund von ungenügender Qualität oder Masse in der Produktion und Verarbeitung aussortiert werden (Food Loss) oder aufgrund von Bruch, Auslaufen, Schimmel oder Ablauf des Haltbarkeitsdatums etc. (Food Waste) entlang der gesamten Nahrungsmittel-Lieferkette entsorgt werden.<sup>84</sup>

In dieser Forschungsarbeit werden unter dem Begriff „Food Waste“ sowohl Abfälle die aufgrund von Bruch, Auslaufen etc. entsorgt werden als auch die, die aufgrund von ungenügender Qualität oder Masse aussortiert werden, zusammengefasst. Des Weiteren werden zusätzlich zu den Nahrungsmittelabfällen, die ursprünglich zum Verzehr des Menschen geeignet waren, entlang der Nahrungsmittel-Lieferkette „landwirtschaftliche Reststoffe“ und „natürliche Verarbeitungsabfälle“

---

<sup>82</sup> Vgl. Gustavsson, J. et.al. (2011): Global Food Losses and Food Waste, S.2,4.

<sup>83</sup> Vgl. European Commission (2016): Estimates of European food waste levels, S.7.

<sup>84</sup> Vgl. FAO (2013): Food wastage footprint, S.8-10.

unter dem Begriff „Food Waste“ zusammengefasst. Während der Ernte auf dem Feld und im Verarbeitungsprozess sowie durch den Konsum von Lebensmitteln wird eine beträchtliche Menge an ungenutzter Biomasse generiert.<sup>85</sup> Mit „landwirtschaftlichen Reststoffen“ ist die Biomasse gemeint, die in Form von bspw. Stroh, Stängeln, Hülsen oder Blättern auf der Agrarfläche zurückbleibt.<sup>86</sup> Unter nicht zum Verzehr geeigneten, „natürlichen Verarbeitungsabfällen“ werden z.B. Schalen, Häute, Hefen, Flüssigabfall, Fruchtmarm und Kerne beispielsweise aus der Orangensaftproduktion und der Wein- oder Bierherstellung verstanden, die entsorgt werden müssen.<sup>87</sup> Des Weiteren werden in der Stufe Konsum durch Privatpersonen oder gewerbliche Einrichtungen nicht nur die zum Verzehr geeigneten Nahrungsmittelabfälle sondern auch entsorgte Reststoffe wie z.B. Kaffeesatz betrachtet. Aus der Arbeit ausgeschlossen sind hingegen solche Abfallprodukte, die in der Fleisch- und Fischproduktion anfallen wie z.B. Federn, Lederreste, Gelatine, Fischhaut- und schuppen (Nicht ausgeschlossen ist Milch). Hierzu zählen auch von Tierhaut entnommene Zellen, die in der Biotechnologie eingesetzt werden können.

Die Nahrungsmittel-Lieferkette erstreckt sich von der landwirtschaftlichen Produktion über die Ernteabwicklung und Lagerung, die Verarbeitung und die Distribution bis zum Konsum durch den Verbraucher oder die private Entsorgung im Haushaltsmüll oder öffentliche Entsorgung durch Restaurants, Catering oder Einzelhandelsflächen etc.<sup>88</sup>

Je später ein Produkt in der Lieferkette verloren geht oder verschwendet wird, desto höher ist der gesamte Energieaufwand und die Umweltauswirkungen, die bspw. bei der Verarbeitung, beim Transport oder beim Kochen investiert wurden. Aus einer Vielzahl von Gründen tritt Nahrungsmittelverschwendung in allen Phasen der Nahrungsmittel-Lieferkette auf. Das Abfallaufkommen in den einzelnen Stufen ist dabei sehr stark abhängig von den lokalen Bedingungen in den einzelnen Ländern.<sup>89</sup>

---

<sup>85</sup> Vgl. Jölli, D./ Giljum, S. (2005): Unused biomass extraction in agriculture, forestry and fishery, S.7.

<sup>86</sup> Vgl. European Bioplastics e.V. (2016a): Fact Sheet - Biobased plastics, S.3.

<sup>87</sup> Vgl. Cecchini, C. (2017): Bioplastics made from upcycled food waste, S.1599-1600.

<sup>88</sup> Vgl. FAO (2013): S.8-10.

<sup>89</sup> Vgl. Ebd., S.10-14.

Abbildung 5.: Relativer Beitrag zu regionalen Lebensmittelabfällen in der jeweiligen Stufe der Nahrungsmittel-Lieferkette<sup>90</sup>

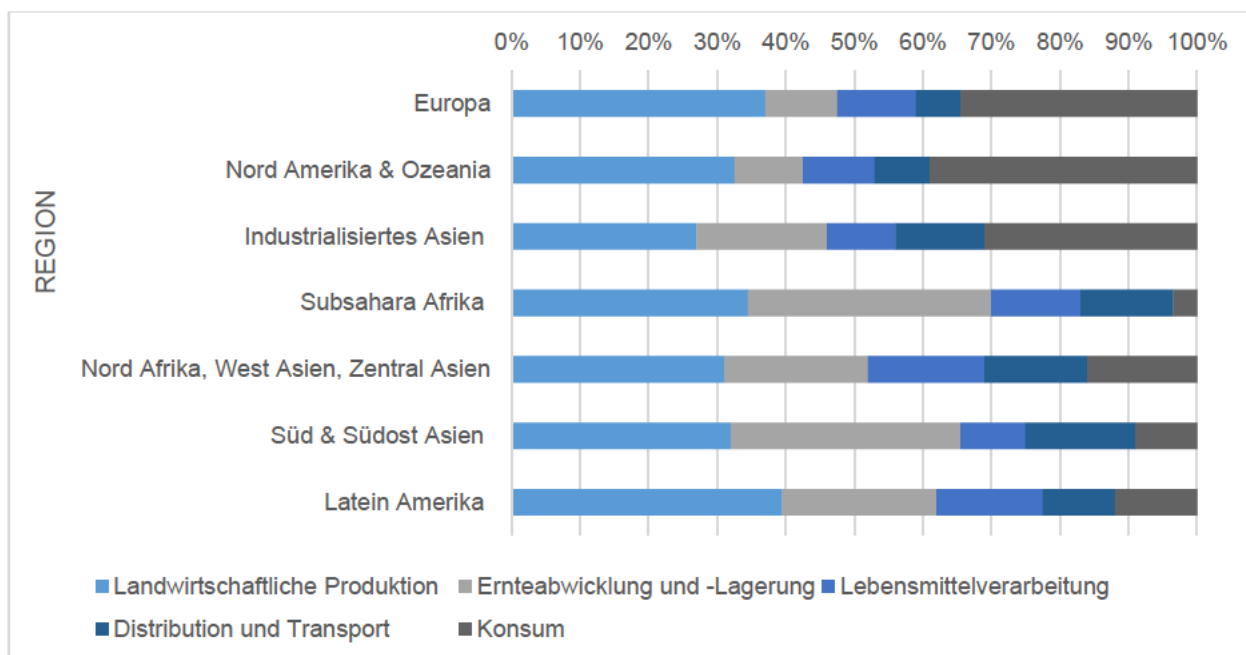


Abb.5 zeigt, den relativen Beitrag verschiedener Regionen weltweit zum regionalen Lebensmittelabfall (Daten lediglich auf Basis zum Verzehr geeigneter Produkte) aufgegliedert nach Stufe der Nahrungsmittel-Lieferkette. In der Prozessstufe „landwirtschaftliche Produktion“ ist die Abfallrate Regionen übergreifend eher homogen (etwa ein Drittel der Lebensmittelabfälle), wohingegen der Anteil in der Stufe „Konsum“ sehr unterschiedlich ist. In Regionen mit mittlerem und hohem Einkommen (z.B. Region 1-3) wird eine sehr hohe Food Waste Rate verzeichnet (31-39%), wobei in Regionen mit niedrigerem Einkommen die Abfallrate in der Konsumstufe eher niedrig ausfällt (4-16%) und dafür mehr Lebensmittelabfälle während der Ernteabwicklung und Lagerung anfallen (21-35,5%).<sup>91</sup>

## 2.2.2 Food Waste als Rohstoffquelle in der Bioökonomie

Das Konzept der Bioökonomie ist an natürlichen Stoffkreisläufen orientiert. Es umfasst die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe und die Umwandlung dieser Ressourcen in Mehrwertprodukte wie Lebensmittel, Futtermittel, biobasierte Produkte und Bioenergie. Hierbei kommen nicht nur Rohstoffe, die in der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft sowie in der Aquakultur oder der Bio-

<sup>90</sup> Quelle: modifiziert nach FAO (2013): S.13.

<sup>91</sup> Vgl. FAO (2013): S.13.

technologie erzeugt werden zum Einsatz, sondern verstärkt auch Rest- und Abfallstoffe biologischen- oder organischen Ursprungs.<sup>92</sup> Der Wandel von einer überwiegend auf fossilen Rohstoffen basierenden Wirtschaft zu einer auf erneuerbaren Ressourcen beruhenden, rohstoffeffizienten Wirtschaft hat eine Priorität für die Europäische Union sowie die Vereinigten Staaten von Amerika und viele weitere Regionen weltweit.<sup>93</sup> Im vergangenen Jahrzehnt haben die Entwicklungen im Bereich der Bioökonomie als neue Strategie zur Förderung von Innovation, nachhaltiger Entwicklung und grünem Wachstum in insgesamt 45 Industrie- und Schwellenländern an Dynamik gewonnen.<sup>94</sup>

Neben wichtigen Umweltzielen wie der Vermeidung von Abfällen und der Eindämmung des Klimawandels und sozioökonomischen Aspekten wie dem Fokus auf nachhaltige Landwirtschaft und neue biobasierte Industrien um somit die Entwicklung ländlicher Gebiete zu fördern und Arbeitsplätze zu schaffen, stellt die Ernährungssicherheit eine große gesellschaftliche Herausforderung dar.<sup>95</sup> Die Europäische Union hat die Notwendigkeit, den Wettbewerb zwischen verschiedenen Sektoren der Nahrungsmittel, Futtermittel und industriellen Nutzung für Biomasse in Einklang zu bringen, als strategische Priorität der Europäischen Entwicklungspolitik definiert.<sup>96</sup>

Die alternative Nutzung von Lebens- und Futtermittelpflanzen zur industriellen Herstellung von Biokunststoffen sowie Bioenergie oder Biokraftstoffen stellt einen potentiellen Konflikt dar.<sup>97</sup> Laut der *European Bioplastics e. V.* werden nach aktuellem Stand im Bereich der Biokunststoffe hauptsächlich kohlenhydratreiche Nutzpflanzen zur Gewinnung von stärkebasierten Biopolymeren, wie Mais, Kartoffeln, Zuckerrohr und Weizen, sog. Rohstoffe der ersten Generation, verwendet. Rohstoffe der ersten Generation gelten für die Biopolymerindustrie bis dato als effizienteste Alternative zur Herstellung von Biopolymeren, da sie auf verhältnismäßig geringer Fläche die höchsten Erträge erzielen.<sup>98</sup> Einen weiteren Vorteil stellen die etablierten und einfachen Prozessstrukturen der Verarbeitung dar.<sup>99</sup> Dennoch weist ein Bericht des *UN-Menschenrechtsrats*, zusätzlich zum erwarteten Anstieg des Flächenbedarfs der Nutzpflanzen, auf den signifikanten Verlust der Agrar-Biodiversität und auf die Bodenerosion der ausgeweiteten Anpflanzung von ertragreichen Mono-

---

<sup>92</sup> Vgl. BMEL (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie, S.8.; European Commission (2012): *Innovating for Sustainable Growth*, S.3ff.

<sup>93</sup> Vgl. Bioökonomierat (2015): *Bioeconomy Policy*, S.4.

<sup>94</sup> Vgl. Ebd., S.4.

<sup>95</sup> Vgl. European Commission (2012): S.3ff.

<sup>96</sup> Vgl. Bioeconomy Knowledge Center (2017a): *Food and feed security*.

<sup>97</sup> Vgl. Carus, M./ Dammer, L. (2013): *Food or non-food: Which agricultural feedstocks are best for industrial uses?*, S.4.

<sup>98</sup> Vgl. European Bioplastics e.V. (2017b).

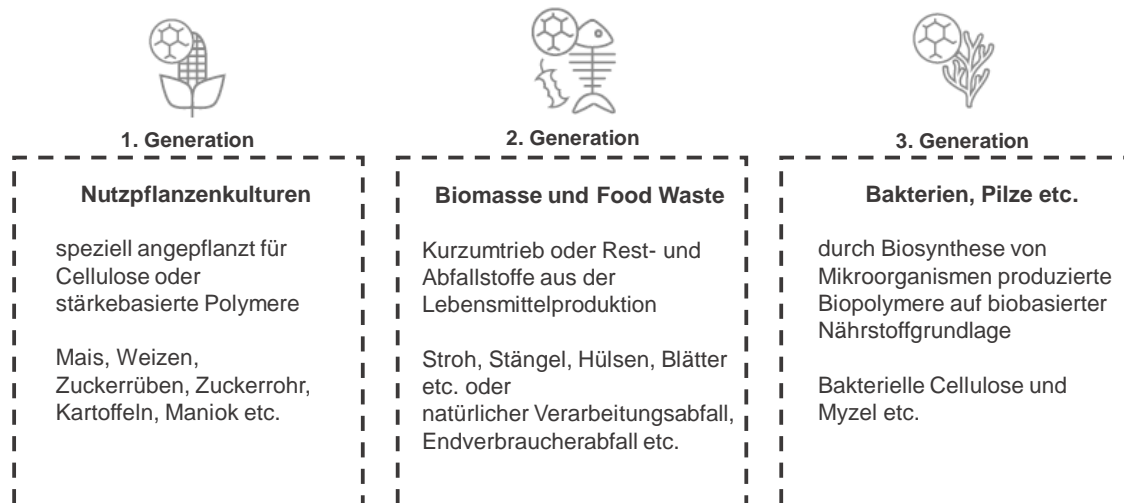
<sup>99</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018a).



kulturen hin. Damit einher geht außerdem ein steigender Bedarf an erdölbasierten Düngern, Pestiziden und Bewässerung.<sup>100</sup> Auch die Diskussion über den Einsatz von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) in der Pflanzenproduktion, wo das Ausgangsmaterial oft Maisstärke ist, spielt hier eine entscheidende Rolle.<sup>101</sup>

Die für Biopolymere verwendeten Ressourcen werden ständig weiterentwickelt, um sowohl die Leistung zu verbessern als auch die Umweltauswirkungen zu verringern. Dies führte zu einer Unterscheidung zwischen Bio-Rohstoffen der ersten-, zweiten- und dritten Generation (siehe Abb.6), basierend auf dem Entwicklungsstadium und der Bioressource, von der sie abgeleitet wird.<sup>102</sup>

Abbildung 6.: Rohstoffgenerationen in der Bioökonomie<sup>103</sup>



Als Alternative zu Nutzpflanzen wird aktuell die Verwendung von Biomasse Rohstoffen von Pflanzen auf Cellulosebasis, sog. Rohmaterialien der zweiten Generation, erforscht. Zunächst werden entweder speziell zur Verwendung als Biomasse Rohstoffe angebaute Kurzumtriebspflanzen oder Rest- und Abfallstoffe wie Stroh, Stängel, Hülsen, Blätter etc. in Betracht gezogen. Noch befinden sich letztere Rohstoffe in der Demonstrations- und Pilotphase für die Produktion von Biokunststoffen und sind noch nicht in kommerziellem Maßstab verfügbar.<sup>104</sup>

Erst kürzlich der zweiten Generation untergeordnet, haben zum Verzehr gedachte Nahrungsabfälle und natürliche Verarbeitungsabfälle über die gesamte Nahrungsmittel-Lieferkette hinweg in

<sup>100</sup> Vgl. De Schutter, O. (2014): Report of the Special Rapporteur on the right to food, S.4-5.

<sup>101</sup> Vgl. European Bioplastics e.V. (2016b): Are GMO crops used for bioplastics?.

<sup>102</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018a).

<sup>103</sup> Quelle: modifiziert nach Textile Exchange (2017): S.25.

<sup>104</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018a).

den letzten Jahren an Aufmerksamkeit gewonnen. Neue Valorisierungsmöglichkeiten zur Nutzung für verschiedenste Konsumgüter werden zurzeit erforscht.<sup>105</sup> Die Vielfalt an ungenutzten Rohstoffen hat sowohl Kleinunternehmen sowie multinationale Konzerne dazu bewegt, neue Materialien aus Abfallstoffen herzustellen.<sup>106</sup> Insbesondere die Nutzung von Food Waste aus Prozessschritten der industriellen Verarbeitung hat sich erheblich weiterentwickelt.<sup>107</sup> Prof. Cecchini der *University of Rome* weist z.B. darauf hin, dass Abfälle wie Orangenschalen aus der Saftpresung oder Traubenhülsen aus der Weinherstellung wertvolle Ressourcen darstellen. Diese könnten dazu beitragen, das Problem der Entsorgung immenser Mengen an Fest- und Flüssigstoffen während der Lebensmittelverarbeitung zu lösen, die in der Praxis häufig mit beträchtlichen Kosten verbunden ist.<sup>108</sup>

Abfälle der Lebensmittelindustrie können außerdem als Nährstoffgrundlage in Verbindung mit Rohstoffen der dritten Generation, d.h. durch Biosynthese von Mikroorganismen produzierte Biopolymere, eingesetzt werden. Bisher befinden sich Produkte aus Rohstoffen der dritten Generation zum Großteil noch in Forschungs- und Entwicklungsstadien und sind nicht am Markt verfügbar.<sup>109</sup> Dennoch wird der Erschließung von Mikroorganismen als Rohstoffquelle, wie z.B. Bakterien und Pilzen wegen ihrer vielfältigen Inhaltsstoffe, für die industrielle Biotechnologie eine hohe Bedeutung beigemessen.<sup>110</sup>

Gegenwärtig gibt es keine EU-Rechtsvorschriften zur Lebensmittel- und Futtermittelsicherheit sowie für die biobasierte Industrie und Biotechnologie.<sup>111</sup> Dennoch beschäftigt sich bereits z.B. die *Bioplastic Feedstock Alliance* damit, die Vielfalt potenzieller Biokunststoff Rohstoffe zu bewerten, um ein Verständnis aktueller und potenziell künftiger Verbesserungen der Nachhaltigkeit zu gewährleisten.<sup>112</sup> Der *Roundtable on Sustainable Biomaterials* beschäftigt sich ebenfalls mit der Zertifizierung von nachhaltigen Biomaterialien, um die Bioökonomie zu stärken und den Schutz von Ökosystemen sowie die Ernährungssicherheit zu ermöglichen.<sup>113</sup>

---

<sup>105</sup> Vgl. Luque, R./ Clark, J.H. (2013): Valorisation of food residues, S.1.

<sup>106</sup> Vgl. Baud-Berthier, C. et al. (2015): Textifood Lille3000; Matrec S.r.l. (2015): Made in Food Waste, Food waste as sustainable resource; Cecchini, C. (2017).

<sup>107</sup> Vgl. Matrec S.r.l. (2015): S.2.

<sup>108</sup> Vgl. Cecchini, C. (2017): S.1599.

<sup>109</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018b), S.4,11.

<sup>110</sup> Vgl. BMEL (2014): S.10.

<sup>111</sup> Vgl. Bioeconomy Knowledge Center (2017a); Bioeconomy Knowledge Center (2017b): Bio-based industries.

<sup>112</sup> Vgl. BFA (2017): Who we are.

<sup>113</sup> Vgl. RSB (2016): About.

### 2.2.3 Nachhaltigkeit von Food Waste als Rohstoffquelle für Biopolymere

Biopolymere tragen dazu bei, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, die eine endliche Ressource darstellen, zu reduzieren. Sie haben das Potential, Umweltproblemen wie dem Klimawandel entgegenzuwirken, indem sie Treibhausgaseinsparungen ermöglichen oder sogar CO<sup>2</sup>-neutral sein können. Darüber hinaus haben Biokunststoffe das Potential, soziale Probleme anzugehen, Arbeitsplätze zu schaffen und ländliche Entwicklung zu fördern.<sup>114</sup>

Dennoch ist das Konzept der Bioökonomie nicht per Definition nachhaltig. Derzeit ist die Landwirtschaft der Hauptgrund für den Verlust der biologischen Vielfalt, denn sie untergräbt genau die Ökosysteme, von denen sie abhängt. Um die Bioökonomie auf effizienten Nährstoffzyklen aufzubauen und eine optimale Nutzung von Biomasse zu ermöglichen, erachtet die *International Union for Conservation of Nature (IUCN)* Recycling und die Verwendung von Abfällen als eine vielversprechende Option.<sup>115</sup> Abfallstoffe oder Reststoffe, die kein zusätzliches Wasser und keine zusätzlichen Agrarflächen in Anspruch nehmen, könnten die Möglichkeit bieten positive Synergien zwischen der Konsumgüter- und der Nahrungsmittelindustrie entstehen zu lassen.<sup>116</sup>

Der Food Wastage Footprint Bericht der *FAO* zeigt, dass mit der derzeitigen industriellen Agrarwirtschaft Abfallstoffe entlang der Nahrungsmittel-Lieferkette, die für den Verzehr des Konsumenten gedacht waren, jährlich einen signifikanten Anteil von 6,7% am globalen Treibhausgasausstoß haben. Der Fußabdruck des Süßwasserverbrauchs der globalen Lebensmittelverschwendung beläuft sich auf ca. 250 km<sup>3</sup>. Obwohl es schwierig ist, die Auswirkungen auf die Biodiversität auf globaler Ebene zu bestimmen, ist es ersichtlich, dass Nahrungsmittelabfälle in Verbindung stehen mit den negativen externen Effekten der Kultivierung von Monokulturen und der Ausweitung der Agrarflächen auf bisher unberührte Gebiete und somit einen Verlust von Biodiversität herbeiführen.<sup>117</sup> Weitere schädliche Einflussfaktoren konventioneller Landwirtschaft auf Mensch und Umwelt sind der Einsatz von Pestiziden sowie die benzinbetriebene Landwirtschaftstechnik. Die Nutzung von GVO stellt ein weiteres Thema dar.<sup>118</sup> Es lässt sich jedoch ein positiver Trend in der biologischen Landwirtschaft verzeichnen. Mit Ende 2015 betrieben bereits 179 Länder auf insgesamt 50,9 Mio. Hektar ökologischen Landbau.<sup>119</sup>

---

<sup>114</sup> Vgl. Contreras, S. (2015): Are Bio-Based Products Always Preferable to Oil-based?.

<sup>115</sup> Vgl. IUCN (k.A.): S.9f.

<sup>116</sup> Vgl. Cecchini, C. (2017): S.1599.

<sup>117</sup> Vgl. FAO (2013): S.6.

<sup>118</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018b): S.17.

<sup>119</sup> Vgl. FiBL (2017): The World of Organic Agriculture 2017, S.2,5.

Neben der Produktion der Basismaterialien spielt der Produktionsprozess zur Umwandlung der biobasierten Rohstoffe in Biopolymere und anschließend in Mehrwertprodukte eine entscheidende Rolle. Biopolymere als Drop-ins können häufig in etablierten Herstellungsprozessen mit herkömmlichem Equipment verarbeitet werden, während neue Materialien, durch ihre neuen Eigenschaften, u.U. abweichende Herstellungsinfrastruktur benötigen, auch Transport und Logistik spielen eine entscheidende Rolle in Bezug auf den Energieaufwand und die Emissionen.<sup>120</sup>

Im Hinblick auf die Entsorgungsmöglichkeiten wird ausgehend von dem häufigen Missverständnis, dass alle Biokunststoffe biologisch abbaubar sind, die Nachhaltigkeit häufig nur aufgrund der Kompostierfähigkeit hervorgehoben. Dennoch ist nicht in jedem Prozess eine vollständige Abbaubarkeit gewährleistet und die Materialien werden häufig als Störstoff erkannt, da sie keinen Beitrag zur Verbesserung der Kompostqualität leisten.<sup>121</sup>

Eine ganzheitliche Lebenszyklusanalyse (LCA) müsste die Messung von Energie- und Rohstoffverbräuchen sowie von Emissionen in Luft, Wasser und Boden abdecken.<sup>122</sup> Laut einer Studie existieren bereits LCA zu verschiedenen herkömmlichen Verwertungsmethoden von Food Waste (z.B. thermische Verwertung, Kompostierung etc.).<sup>123</sup> Allerdings konnten laut dem *Textile Exchange* Netzwerk bisher keine LCA für alternative Verwendungsmöglichkeiten von Food Waste für z.B. Fasern und Textilien gefunden werden.<sup>124</sup>

### **2.3 Biopolymere aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion als Fasern und Textilien in der Textilindustrie**

Im folgenden Abschnitt werden Biokunststoffe aus Food Waste als Rohmaterial für Fasern und Textilien in der Textilindustrie betrachtet. Dieser Abschnitt beschreibt zunächst die Geschichte und das Aufkommen dieser Fasern und Textilien in der Industrie. Anschließend wird die aktuelle Verbreitung am Markt und die Zukunftsaussichten beleuchtet. Zum Schluss wird eine Übersicht über die am Markt agierenden Unternehmen und Akteure gegeben.

---

<sup>120</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018a).

<sup>121</sup> Vgl. Deutscher Bundestag (2015): S.7ff.

<sup>122</sup> Vgl. Beier, W. (2009): S.7f.

<sup>123</sup> Vgl. Bernstad, A./ La Cour Jansen, J. (2012): Review of comparative LCAs of food waste management systems.

<sup>124</sup> Vgl. Textile Exchange (2017): S.31.

### 2.3.1 Aufkommen von Biopolymerfasern in der Textilindustrie

Bei der Herstellung von Bekleidung kommen seit Jahrtausenden Naturmaterialien zum Einsatz. Bspw. nutzte man schon im antiken Rom und alten Ägypten Flachs, um Gewebe aus Leinen herzustellen. Gegerbte Tierhäute, d.h. Leder wurden sogar schon in der Steinzeit als Material zur Bekleidung verwendet.<sup>125</sup> In den vergangenen Jahrhunderten wurden durch Innovationen in der Textiltechnologie erstmalig Chemiefasern zunächst basierend auf nachwachsenden Rohstoffen und später auf synthetischer Basis hergestellt.<sup>126</sup> In jüngster Vergangenheit konnte jedoch ein Trend zurück zu natürlichen Fasern beobachtet werden.<sup>127</sup>

Dem Franzosen Graf Hilaire Bernigau de Chardonnet gelang es erstmalig zwischen 1878 und 1884 aus gelöster Dinitrocellulose die cellulosebasierte natürliche Chemiefaser, genannt „Nitro-Kunstseide“, herzustellen, die ab 1890 auf industrieller Basis produziert wurde. Bis heute bestehen außerdem die 1885 entwickelte Herstellung von Viskosefasern, bei der Cellulosexanthogenat in Natronlauge gelöst wird sowie die ab 1919 industriell erzeugten Acetatfasern, bei denen das Ausgangspolymer durch Teilverseifung von Cellulose-triacetat hergestellt werden kann.<sup>128</sup> In den 1930er Jahren wurden ebenfalls Proteine, in Form von Kasein aus Milch, erstmals in Verbindung mit Formaldehyd als Basismaterial zur Herstellung von Stapelfasern, genannt „Lanital“, verwendet.<sup>129</sup> Dennoch war der Erfolg der synthetischen Chemiefasern nach dem zweiten Weltkrieg unaufhaltsam. Die Massenproduktion von Polyamid 66 („Nylon“, 1935), Elastan (1937), Polyamid 6 („Perlon“, 1938), Polyester (1941), Polyacrylnitril (1942) eroberte den Markt.<sup>130</sup> Die scheinbar unendliche Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten und Funktionalität der erdölbasierten Kunststoffe führten dazu, dass die Biokunststoffe bis auf weiteres unbeachtet blieben.<sup>131</sup>

Das gesteigerte Umweltbewusstsein trug Ende der 80er-, Anfang der 90er-Jahre jedoch dazu bei, dass die ersten neuartigen Biopolymere, basierend auf Stärke oder durch Fermentation hergestellte PHA, am Markt eingeführt wurden. Trotz des anfänglichen öffentlichen Interesses, konnten sich die biologisch abbaubaren Stoffe zunächst nicht am Markt durchsetzen. Grund hierfür waren die ungenügenden Materialeigenschaften und die nachteiligen rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, bedingt durch ein mangelndes Interesse von Politik und Industrie.<sup>132</sup>

---

<sup>125</sup> Vgl. Bioökonomie.de (2016): Branchen – Textilien.

<sup>126</sup> Vgl. Klare, H. (1985): S.26ff.; Rauch, W. (2017): S.16f.

<sup>127</sup> Vgl. Bioökonomie.de (2016).

<sup>128</sup> Vgl. Klare, H. (1985): S.26ff.; Rauch, W. (2017): S.16f.

<sup>129</sup> Vgl. Klare, H. (1985): S.66.

<sup>130</sup> Vgl. Rauch, W. (2017): S.17.

<sup>131</sup> Vgl. Cecchini, C. (2017): S.1597-1598.

<sup>132</sup> Vgl. Endres, H. J. et al. (2007): Overview of the current Biopolymers Market Situation, S.22.

Vor dem Hintergrund der wachsenden Besorgnis über die Umweltauswirkungen von synthetisch hergestellten Materialien, insbesondere das allgegenwärtige Entsorgungsproblem traditioneller ölbasierter Thermoplaste, hat die Suche nach biologisch abbaubaren Alternativen gefördert<sup>133</sup> und die intensive Weiterentwicklung und Optimierung verschiedenster Biopolymere vorangetrieben.<sup>134</sup>

Dennoch sind neuartige Biopolymerfasern bisher nicht signifikant auf dem Markt vertreten.<sup>135</sup> Mit biobasiertem PET als am weitesten verbreitete Biopolymerfaser, gefolgt von biobasierten PA Fasern, PLA Fasern und biobasierten PTT Fasern wird die Skalierung der industriellen Produktion von traditionellen Synthetikfaser Herstellern vorangetrieben.<sup>136</sup> Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft die derzeit führenden Hersteller am Markt.

---

<sup>133</sup> Vgl. U.S. Congress (1993): S.20.

<sup>134</sup> Vgl. Endres, H. J. et al. (2007): S.22.

<sup>135</sup> Vgl. Piotrowski, Dr. S./ Carus, M./ Essel, R. (2015): Nachhaltig nutzbare Potenziale für Biokraftstoffe in Nutzungskonkurrenz zur Lebens- und Futtermittelproduktion, S.164.

<sup>136</sup> Vgl. Textile Exchange (2017): S.7,34.

Tabelle 1.: Hersteller (bPET, PLA, bPTT und bPA) <sup>137</sup>

Anbieter	Produkt	Kategorie	Produkt Typ	Rohstoff	Biogehalt (%)	Produktion, Ort	Volumen (MT)	LCA	
DuPont	Sorona®	bPTT	Polymer		~ 30%	USA, China	k.A.	LCA	
Far Eastern	TopGreen®	bPET	„Chips to garment“		30% (Pilot-phase 100%)	China, Taiwan	500		
Far Eastern		bPTT	Filament		~ 30%	China, Taiwan	3.600	LCA	
Far Eastern	Ingeo®	PLA	Stapelfaser	Pflanzenzucker	100%	Taiwan	450	LCA	
NatureWorks	Ingeo®	PLA	Polymer		100%	USA	k.A.	LCA	
Palmetto	Ingeo®	PLA	Stapelfaser		100%	USA	725		
RadiciGroup	PLA	PLA	Garn		100%	Schweiz	5.000		
Toray	ECODEAR® PET	bPET	Filament, textile Fläche, Kleidungsstück		30%	China, Indonesien, Italien, Japan, Malaysia	k.A.	LCA	
Toray	ECODEAR® PLA	PLA	Filament		100%	Japan	k.A.		
Toray	ECODEAR® PTT	bPTT	Textile Fläche		~ 30%	Tschechische Rep., Japan, Malaysia	k.A.	LCA	
Fulgar	Evo®	bPA 10.10	Filament		Pflanzenöl (Rizinussamen)	100%	Italien	k.A.	LCA
RadiciGroup	Radilon	bPA 6.10	Garn			64%	Italien	10.000	LCA
RadiciGroup	Biofeel	bPA 5.10	Garn			100%	Italien	5.000	LCA
RadiciGroup	Dorix 6.10	bPA 6.10	Stapelfaser	64%		Italien	6.000	LCA	
Toray	ECODEAR® PA 6.10	bPA 6.10	Filament	k.A.		Japan	k.A.		

Die dauerhafte Anwendung von nahezu ausschließlich Maisstärke als Hauptrohstoffmaterial für biobasierte Kunststoffe führte auch in der Textilindustrie zum Fortbestehen der Debatte über Konkurrenz der Agrarflächennutzung und Nutzung von GVO im Anbau.<sup>138</sup> Mittlerweile sind verschiedene Technologien zur Herstellung von biosynthetischen Fasern aus einer breiteren Palette von Rohmaterialien, einschließlich Biomasse und Reststoffen aus der Landwirtschaft und Lebensmittelabfällen, in der Entwicklung.<sup>139</sup>

<sup>137</sup> Quelle: Aboutbiosynthetics.org (2018b): S.25.

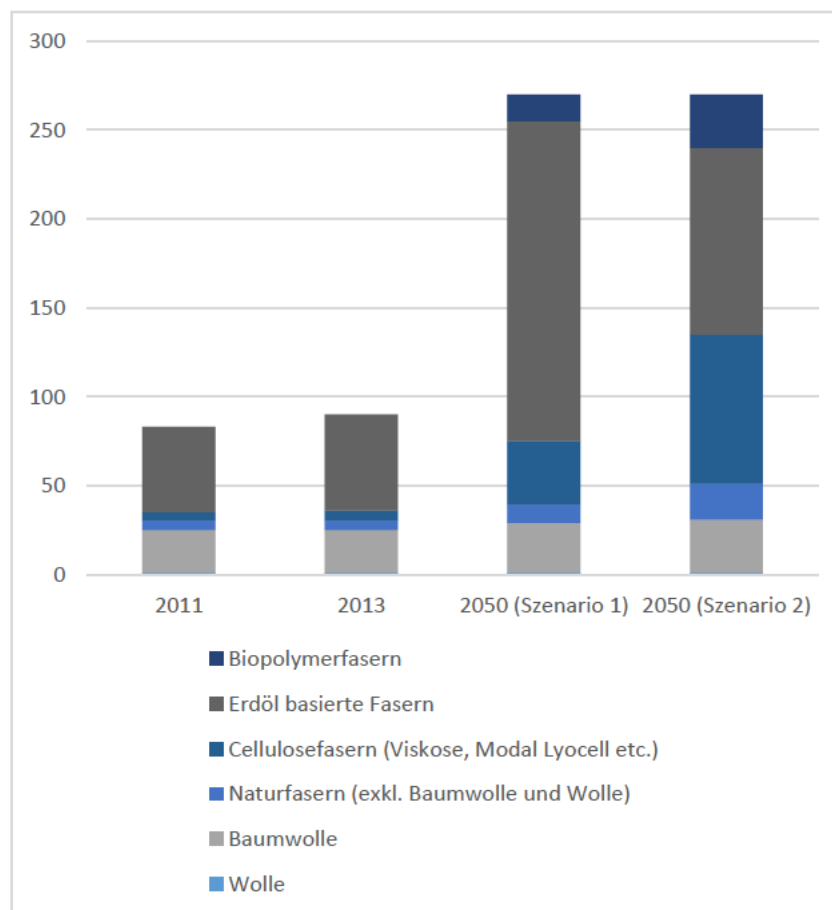
<sup>138</sup> Vgl. Textile Exchange (2017): S.7.

<sup>139</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018b): S.4.; Natureworks LLC (2017): Where Ingeo™ comes from; Virent Inc. (2017): Products.

### 2.3.2 Marktdurchsetzung und Zukunftsperspektiven

Die Forschungen und Entwicklungen um das Konzept der Bioökonomie haben den Textilmarkt lange weitgehend außer Acht gelassen. Laut eines Berichts des *Nova Instituts* sieht sich die Textilbranche, die traditionell eine auf natürliche Rohstoffe angewiesene Industrie war, in Europa noch nicht als Teil der neuen biobasierten Wirtschaft, die erst seit kurzem in den Fokus gerückt ist. Laut des Instituts könnte dies eine potentielle Markteintrittsbarriere für verbesserte biobasierte Materialien darstellen, da es an Bewusstsein in der Branche mangelt und Innovationen nicht primär auf diesen Sektor ausgerichtet werden.<sup>140</sup> Die rasant ansteigende Nachfrage der Konsumenten nach Bekleidung stellt dennoch einen wesentlichen Treiber zur Suche nach Lösungen und Alternativen dar, denn Schätzungen zufolge wird der Gesamtkonsum an Fasern bis zum Jahr 2050 mit einer jährlichen Wachstumsrate von 3% bei 270 Mio. t (83 Mio. t 2011) Fasern liegen.<sup>141</sup>

Abbildung 7.: Faserkonsum nach Faserart, in Mio. t (zwei Szenarien für 2050)<sup>142</sup>



<sup>140</sup> Vgl. Dammer, L. et al. (2017): Study on current situation and trends of the bio-based industries in Europe, S.25f., 212.

<sup>141</sup> Vgl. Piotrowski, Dr. S./ Carus, M./ Essel, R. (2015): S.164.

<sup>142</sup> Quelle: modifiziert nach Piotrowski, Dr. S./ Carus, M./ Essel, R. (2015): S.164f.



Abb.7 zeigt den prognostizierten Anstieg des Faserkonsums und die Verteilung nach Faserart bis 2050 in zwei unterschiedlichen Szenarien. Die vom *Nova Institut* entwickelten Szenarien zeigen zwei mögliche Deckungsanteile der Bioökonomie an der erwarteten stofflichen Nachfrage. Während in Szenario eins nur eine geringe Deckung der zukünftigen stofflichen Nachfrage durch biobasierte Textilien erwartet wird, sondern überwiegend durch petrochemische Fasern, zeigt Szenario zwei den Fall, dass biobasierte Textilien (Biopolymer- und Cellulosefasern) einen relevanten Teil der Fasernachfrage abdecken. Die zukünftige Durchsetzung von Biopolymerfasern steht in Abhängigkeit der Nachfrage auf dem Markt sowie des zukünftigen Angebots an nachhaltiger Biomasse.<sup>143</sup>

Die Szenarien basieren auf den Annahmen, dass durch die drohende Umweltbelastung und die ungenügenden Kapazitäten hinsichtlich geeigneter Anbauflächen und Infrastruktur weltweit keine Ausweitung des Baumwollanbaus erwartet wird. Dennoch wird sich die absolute Produktionsmenge durch Ertragssteigerungen leicht erhöhen. Für andere Naturfasern wie z.B. Hanf, Jute und Leinen wird eine geringfügige Flächenausweitung als auch eine Ertrageffizienz prognostiziert.<sup>144</sup> Um die drohende Diskrepanz des Fasermarktes nicht ausschließlich mit petrochemischen Fasern abdecken zu müssen, weist das *Nova Institut* auf die Notwendigkeit der Investition vor allem in Cellulosefasern und biobasierte Polymerfasern hin.<sup>145</sup>

Derzeit stellen Politik und Richtlinien in Bezug auf die Bioökonomie eher eine Hürde für biobasierte Textilfasern dar. Biokraftstoffe werden bspw. von der Europäischen Union intensiv unterstützt, während biobasierte Fasern der neuen Generationen weitgehend unbeachtet bleiben. Beispielsweise könnten Textilfasern der zweiten Generation, die aus dem gleichen lignocelluloseischen Rohmaterial hergestellt werden, einen höheren Mehrwert und mehr Arbeitsplätze im Vergleich zu Biokraftstoffen bringen.<sup>146</sup> Begünstigt wird die Ausweitung von Cellulosefasern als auch Biopolymerfasern durch die essentiellen Umweltfaktoren, sodass bis 2050 eine signifikante Vertretung auf dem Markt durch das *Nova Institut* erwartet wird.<sup>147</sup> Das *Textile Exchange* Netzwerk spricht sogar von einer erwarteten Verdreifachung des Marktes für biobasierte Synthetikfasern bis 2020.<sup>148</sup> Die neue Fasergruppe könnte somit ein Teil des Übergangs zur Bioökonomie werden.<sup>149</sup>

---

<sup>143</sup> Vgl. Piotrowski, Dr. S./ Carus, M./ Essel, R. (2015): S.164f.; Dammer, L. et al. (2017): S.28.

<sup>144</sup> Vgl. Piotrowski, Dr. S./ Carus, M./ Essel, R. (2015): S.164.

<sup>145</sup> Vgl. Dammer, L. et al. (2017): S.28.

<sup>146</sup> Vgl. Ebd., S.27ff.

<sup>147</sup> Vgl. Piotrowski, Dr. S./ Carus, M./ Essel, R. (2015): S.164.

<sup>148</sup> Vgl. Textile Exchange (2016): Preferred Fiber Market Report 2016, S.24.

<sup>149</sup> Vgl. Aboutbiosynthetics.org (2018b): S.10.

### 2.3.3 Übersicht der Faser – und Textilhersteller auf dem Markt

Im Folgenden wird eine Übersicht der Unternehmen und Akteure am Markt gegeben. Wie bereits in Kapitel 2.2.1. erläutert, fallen Abfallstoffe in der Nahrungsmittelproduktion in verschiedenen Stufen der Nahrungsmittel-Lieferkette an. Dementsprechend werden die Unternehmen und Akteure je nach verwendeter Abfallart den folgenden Abfallstoffgruppen zugeordnet: Landwirtschaftliche Reststoffe, Erntenebenprodukte in Abwicklung und Lagerung, natürliche Verarbeitungsabfälle, Abfälle während Distribution und Transport, private Entsorgung sowie öffentliche Entsorgung.

#### *Landwirtschaftliche Reststoffe*

*Green Banana Paper* mit Sitz in Mikronesien wurde 2014 gegründet und produziert Bananenfasern. Die Fasern werden aus dem Stamm des Bananenbaumes gewonnen. Da Bananenbäume nur einmal in ihrer Lebenszeit Früchte tragen, werden die Stämme gerodet sobald sie ausgedient haben.<sup>150</sup> Laut dem *Philippine Textile Research Institute* werden zur Herstellung eines Kilos an Bananenfasern 37 kg Bananenstamm benötigt. Dementsprechend hätten allein die inländischen Plantagen in 2012 eine Kapazität zur Herstellung von rund 300.000 Tonnen Bananenfasern gehabt.<sup>151</sup> *Green Banana Paper* kauft die ausgedienten Stämme und löst die Fasern. Daraufaufgehend können die Fasern verwebt werden oder die Cellulose durch einen Kochvorgang extrahiert und zu einer Zellstoffmasse verarbeitet. Die Masse wird herausgesiebt und durch Trocknung und anschließender Beschichtung zu lederartigem Material. Die Bananenfasern und das Bananenmaterial sind sehr strapazierfähig und gleichzeitig biologisch abbaubar und können für Kleidung, Geldbörsen oder Matten etc. verwendet werden.<sup>152</sup> Des Weiteren beschäftigen sich z.B. die Designerin *Ditta Sandico*<sup>153</sup> von den Philippinen sowie die Firma *Seidentraum*<sup>154</sup> (sog. BANANA-SILK) aus Leipzig mit Bananenfasern.

*Ananas Anam Ltd.* aus Großbritannien wurde 2013 gegründet und produziert Ananas Leder. Das alternative Leder, genannt Piñatex®, wird aus Abfall-Blättern der Ananasernte gewonnen. Während der Ananasernte fallen jährlich 40.000 t landwirtschaftliche Reststoffe an, die in der Regel auf dem Feld verrotten oder verbrannt werden.<sup>155</sup> *Ananas Anam Ltd.* braucht 16 Ananaspflanzen bzw. 480 Blätter (ca. 1m Länge) um einen Quadratmeter „medium weight“ Ananasleder

---

<sup>150</sup> Vgl. Green Banana Paper (2017): About us.

<sup>151</sup> Vgl. Hendriksz, V. (2017): Sustainable Textile Innovations, Banana Fibres.

<sup>152</sup> Vgl. Green Banana Paper (2017).

<sup>153</sup> Vgl. Ditta Sandico (2017): Meet Ditta.

<sup>154</sup> Vgl. Seidentraum (2018) Bioseide BANANA.

<sup>155</sup> Vgl. Ananas Anam Ltd. (2017a): About us.

herzustellen. In Ländern wie Brasilien, Thailand, den Philippinen, China, Kenia und Ghana können Ananas alle 14 Monate geerntet werden.<sup>156</sup> Die Blätter werden nach einem Entholungs- und Entschleimungsverfahren zu einem Vließmaterial verarbeitet, als Basismaterial für Piñatex®. Durch einen speziellen Veredlungsprozess erhält das Vliesnetz anschließend seine lederartige Erscheinung. Piñatex® versteht sich als nachhaltige Alternative zu chromgegerbtem Leder und synthetischen Alternativen wie PVC. Ihr Herstellungsprozess kommt mit wenig Wasser, ohne schädliche Chemikalien und tierische Produkte aus und produziert wenig Abfall. Die Produktionskapazität des Unternehmens liegt bei 100.000 laufenden Metern (auf 1,55 m Breite) pro Monat.<sup>157</sup> *Ananas Anam Ltd.* arbeitet bereits in Kooperation mit Labels wie *Bourgeois Boheme* und *Liselore Frowijn*.<sup>158</sup>

*MycoWorks* aus den USA wurde 2013 gegründet und stellt ein alternatives Leder aus Myzel her. Für das MYCOWORKS™ Material dienen der Firma Reststoffe wie u.a. gedroschene Maiskolben, Hanfschäben und Reishülsen, die von Pilzen wie vom *Ganoderma Lucidum* umgewandelt werden können. In einem Fermentationsprozess werden die hinzugegebenen Rohmaterialien innerhalb von zwei Wochen zu einer lederartigen Oberfläche umgesetzt, die bis zu der Größe einer Kuhhaut heranwachsen kann. Durch Bioengineering kann das Material in seiner Schichtdicke, Dichte und Oberflächengröße beeinflusst werden. Außerdem können dreidimensionale Strukturen und Muster eingearbeitet werden. Es ist wasserabweisend, atmungsaktiv und vollkommen biologisch abbaubar.<sup>159</sup> Laut dem *Global Fungal Material Market 2017 Industry Research Report* sind *MycoWorks* und *Ecovative Design LLC*<sup>160</sup> die global führenden Hersteller von Myzelprodukten.<sup>161</sup> Weitere Pioniere, die mit Pilzen arbeiten, sind z.B. *MycoTex*<sup>162</sup>, *Mycoplast Snc*.<sup>163</sup>, *Mycotech UK Ltd.*<sup>164</sup> und *Grado Zero Espace S.r.l.*<sup>165</sup>.

#### *Lebensmittelabfälle in Ernteabwicklung und Lagerung*

*Qmilch IP GmbH* aus Hannover wurde 2011 gegründet und stellt Milchfasern her. Die Firma verarbeitet das Milcheiweiß Kasein aus Non-Food Milch in Verbindung mit nachwachsenden Rohstoffen zu der Faser namens QMILK®. Die Milch, die als Abfallprodukt in der Milchgewinnung

---

<sup>156</sup> Vgl. Hickey, S. (2014): Wearable pineapple fibres could prove sustainable alternative to leather.

<sup>157</sup> Vgl. Ananas Anam Ltd. (2017a).

<sup>158</sup> Vgl. Ananas Anam Ltd. (2017b): Products.

<sup>159</sup> Vgl. Mycoworks (2017).

<sup>160</sup> Vgl. Ecovative Design LLC (2017a): TextileBio.

<sup>161</sup> Vgl. Global Fungal Material Market (2017): Industry Research Report.

<sup>162</sup> Vgl. NEFFA (2017): MycoTex proof-of-concept.

<sup>163</sup> Vgl. Mycoplast Snc (2017).

<sup>164</sup> Vgl. Mycotech UK Ltd. (2017).

<sup>165</sup> Vgl. Grado Zero Espace S.r.l. (2017): MuSkin.

anfällt (bspw. durch Medikamentengabe an die Kühe), darf gesetzlich nicht mehr als Lebensmittel verkauft werden und wird deutschlandweit jährlich als Abfallprodukt in Mengen von 2. Mio. t entsorgt. Momentan bezieht die *Qmilch IP GmbH* ihren Rohstoff von lokalen Bauern. QMILK® kann zu Garn, Filz, Vlies, Composites oder in Reinform als Textil verarbeitet werden. Die Fasern sind antibakteriell, schwer entflammbar und verfügen über eine dermatologisch getestete Hautfreundlichkeit. Die Produkte lassen sich als eine der wenigen Biopolymerfasern im Garten kompostieren und bauen sich innerhalb weniger Monate auch in der Umwelt rückstandslos ab. QMILK® wird z.B. durch das eigene Label *MCC Style*<sup>166</sup> und seit kurzem in Kooperation mit *vaude*<sup>167</sup> vertrieben.

#### *Natürliche Verarbeitungsabfälle*

*Orange Fiber S.r.l.* aus Italien wurde 2014 gegründet und stellt Fasern aus Orangenschalen her. Die Fasern, namens Orange Fiber, werden aus dem Abfallprodukt der Orangensaftherstellung in Italien gewonnen. Mehr als 700.000 t des sogenannten „Pastazzo“ werden jährlich in Italien entsorgt. Aus dem Pastazzo wird die Cellulose extrahiert und in einem patentierten Prozess zu einer Spinnmasse verarbeitet, die zu Garn versponnen wird. Das Material ist weltweit einzigartig und kann u.a. im Bekleidungs- und Heimtextilsektor eingesetzt werden. Die Fasern haben eine weiche, seidenartige Haptik und können matt oder schimmernd verarbeitet werden.<sup>168</sup> *Orange Fiber S.r.l.* hat zur Saison Frühling/ Sommer 2017 in Kooperation mit dem Label *Salvatore Ferragamo* eine erste Kollektion herausgebracht.<sup>169</sup>

*VEGEA S.r.l.* aus Italien wurde 2016 gegründet und stellt alternatives Leder aus Abfällen der Weinproduktion her. Das VEGEA® Biomaterial wird aus der Cellulose und den Ölen des Traubentresters gewonnen. Trester besteht aus den bei der Weinherstellung anfallenden Traubenhüllen und Samen. Nach eigenen Angaben von *VEGEA S.r.l.* könnten von 26 Mrd. Litern Wein, die jährlich weltweit hergestellt werden, sieben Mrd. Kilogramm Traubentrester zu drei Mrd. Quadratmetern VEGEA® Biomaterial verarbeitet werden.<sup>170</sup> *VEGEA S.r.l.* hält sich bedeckt über den genauen Herstellungsprozess ihres Materials. Sie geben dennoch Auskunft darüber, dass Rohstoffe nach der Europäischen Chemikalienverordnung (REACH) als auch der Liste der *Europäischen Chemikalienagentur (ECHA)* kontrolliert werden.<sup>171</sup> Im Oktober 2017 wurde die erste VEGEA® Biomaterial Sustainable Fashion Collection präsentiert.<sup>172</sup> Zudem gehört die Firma zu den PETA

---

<sup>166</sup> Vgl. Qmilch IP GmbH (2017a); Qmilch IP GmbH (2017b): QMILK Collect.

<sup>167</sup> Vgl. Vaude (2018): Green Shape Core Collection Biobasierte Materialien.

<sup>168</sup> Vgl. Orange Fiber S.r.l. (2017a): Fabrics.

<sup>169</sup> Vgl. Orange Fiber S.r.l. (2017b): Collections.

<sup>170</sup> Vgl. VEGEA S.r.l. (2017a): About us.

<sup>171</sup> Vgl. VEGEA S.r.l. (2017b): Research and Development.

<sup>172</sup> Vgl. VEGEA S.r.l. (2017c): Fashion.

Fashion Award Gewinnern 2017.<sup>173</sup> Mit Beginn 2018 planen Sie nach eigenen Angaben ein Patent anzumelden und mit bekannten Brands zu kooperieren.<sup>174</sup>

*The Apple Girl* aus Dänemark wurde 2015 gegründet und ist ein Forschungsprojekt, das Apfelle der erforscht. Für das Apfelle der werden aus der Apfelsaftkelterei überbleibende Fruchtfleisch und Schalen verwendet. Durch Pressung und Trocknung entsteht eine lederartige Oberfläche. *The Apple Girl* hält sich auf der Webseite bedeckt über weitere Verarbeitungsschritte bzw. Hilfsmittel. Das Material ist essbar und zu 100% kompostierbar. Durch seine Flexibilität und Robustheit lässt es sich wie konventionelles Leder verarbeiten.<sup>175</sup> Als erstes Projekt wurden 2016 Armbänder für das *Copenhagen Richtig Cider Festival* aus Apfelle der hergestellt.<sup>176</sup>

*Nanollose Ltd.* aus Australien wurde 2015 gegründet und stellt Fasern aus Abfällen der Wein- und Bierproduktion her. Das sog. Plant-Free™ Cellulose Material besteht aus bakterieller Nanocellulose, die mit Hilfe von Bakterienkulturen in einem Fermentationsprozess gewonnen wird und anschließend mit der Nanollose Technologie (ein unternehmenseigenes Viskoseverfahren) zu Fasern verarbeitet wird. Als Rohstoffbasis nutzt *Nanollose Ltd.* Abfallprodukte aus der Wein- und Bierproduktion.<sup>177</sup> Im Oktober 2017 wurde der Firma AU\$ 5 Mio. von Investoren zur Verfügung gestellt. Bisher ist das Plant-Free™ Cellulose Material nicht am Markt verfügbar.<sup>178</sup>

*XXLab* ist ein Frauenkollektiv aus Indonesien, das seit 2015 Fasern aus Soya herstellt. Das Material SOYA C(O)U(L)TURE entsteht durch einen Fermentationsprozess mit Hilfe von verschiedenen Bakterien und Hefen auf Basis des flüssigen Abfallprodukts, das bei der Tofu- und Tempehproduktion entsteht. Tofu und Tempeh sind traditionelle Lebensmittel in Indonesien, die viel pflanzliches Protein und Cellulose enthalten und durch einen biologischen Prozess hergestellt werden. Durch die Herstellung dieses Nahrungsmittels entsteht eine Abfallflüssigkeit, die durch chemische Zusätze das Grundwasser und die Flüsse verschmutzt. Das entstehende Material kann als Lederersatz oder Textil eingesetzt werden, ist kompostierbar und kann durch seine Flexibilität und Robustheit für Bekleidung aber auch Schuhe verwendet werden.<sup>179</sup> Es werden keine Angaben über die Produktionskapazitäten gemacht.

---

<sup>173</sup> Vgl. VEGEA S.r.l. (2017e): VEGEA PETA Fashion Innovation Award 2017.

<sup>174</sup> Vgl. Brainard, A. (2017): 9 Startups Changing the Fabric of Fashion.

<sup>175</sup> Vgl. Michaud, H. (2017): Video The Apple Girl.

<sup>176</sup> Vgl. The Apple Girl (2016): Partners.

<sup>177</sup> Vgl. Nanollose Ltd. (2017).

<sup>178</sup> Vgl. Fibre2Fashion.com (2017): Nanollose raises Au\$5 mn to develop sustainable fibre.

<sup>179</sup> Vgl. XXLab (2015): SOYA C(O)U(L)TURE.

### *Lebensmittelabfälle während Distribution und Transport*

*Fruitleather Rotterdam* aus Rotterdam wurde 2015 gegründet und ist ein Projekt, das Fruchtleider entwickelt. Auf dem größten Outdoor Markt der Niederlande werden täglich ca. 3500 Kilo Früchte von niederländischen Importeuren aussortiert wie z.B. Mangos, Nektarinen oder Erdbeeren, dessen Entsorgung mit Kosten einhergehen würde. *Fruitleather Rotterdam* stellen durch Zerkleinerung, Kochen und Trocknung ein lederartiges Material aus den Früchten her, das durch ein finales Finishing außerdem beschichtet und bedruckt werden kann. Die Materialien sind bisher nur als Samples erhältlich. Ziel des Projekts ist die Anwendung des Fruchtleiders für Schuhe, Fashion Accessoires sowie Möbel.<sup>180</sup>

### *Abfälle durch private Entsorgung*

Es konnten bisher keine Unternehmen oder Akteure auf dem Markt gefunden werden, die sich mit Nahrungsmittelabfällen, die in der privaten Entsorgung anfallen, beschäftigen.

### *Abfälle durch öffentliche Entsorgung*

*Singtex Industrial Co. Ltd.* aus Taiwan wurde 1989 gegründet und stellt seit 2009 Fasern versetzt mit Kaffeesatz her.<sup>181</sup> Laut einer Studie ist die globale Kaffeeherstellung jährlich für ca. 23 Mio. t Abfall verantwortlich.<sup>182</sup> So kam *Singtex Industrial Co. Ltd.* auf die Idee unter dem Markennamen S.Café®, Kaffeefasern aus dem aufgebrühten und entsorgten Kaffeesatz der lokalen Coffee Shops wie z.B. *Starbucks* und *7-Eleven* herzustellen. Für S.Café® Fasern wird der entsorgte Kaffeesatz in einem patentierten Verfahren unter niedriger Temperatur und hohem Druck mit einer konventionellen Faser verbunden wie z.B. recyceltem PET oder Viskose. Für ein T-Shirt wird eine Menge von zum Beispiel ca. drei Portionen „coffee grounds“ und fünf PET Flaschen benötigt.<sup>183</sup> S.Café® Fasern sind bspw. in Verbindung mit Viskose durch den BioPreferred® Standard des *USDA* mit 100% Bioanteil zertifiziert.<sup>184</sup> S.Café® nutzt die natürliche Eigenschaft von Kaffee, geruchsneutralisierend zu wirken, besonders für Sportbekleidung aber auch Unterwäsche und den Fashionbereich. *Singtex Industrial Co. Ltd.* arbeitet bereits mit 110 Brands zusammen, wie z.B. *asics*, *vaude*, *Timberland*, *New Balance* und *Fjäll Räven*.<sup>185</sup>

---

<sup>180</sup> Vgl. *Fruitleather Rotterdam* (2018a): The Project; *Fruitleather Rotterdam* (2018b): Info; *Fruitleather Rotterdam* (2018c): Shop.

<sup>181</sup> Vgl. *Singtex Industrial Co. Ltd.* (2015a): S.Café® Brand Story.

<sup>182</sup> Vgl. *Singtex Industrial Co. Ltd.* (2015b): Upcycled Coffee Textiles: Print Media Report.

<sup>183</sup> Vgl. *Singtex Industrial Co. Ltd.* (2015c): S.Café® Function; *Singtex Industrial Co. Ltd.* (2015a).

<sup>184</sup> Vgl. *USDA* (2017b).

<sup>185</sup> Vgl. *Singtex Industrial Co. Ltd.* (2015d): S.Café® Partner.

*Nau International Inc.* aus Portland wurde 2007 gegründet und stellt Fasern versetzt mit Kokosnussschalen her. Mit der 37.5™ Technologie (vormals Cocona) werden Fasern aus Kokosnussschalenabfällen aus der Nahrungsmitteldienstleistungsindustrie hergestellt. Die Schalen werden zu Kohle reduziert und mit Polyester kombiniert. Im Verhältnis 30% Kokos und 70% Polyester werden sie zu Garn versponnen. Die Fasern werden als Isolierungsmaterial für Outdoor Produkte verwendet und haben wärmende, feuchtigkeitsregulierende und schnell trocknende Eigenschaften. Die Kokosfasern sorgen zudem für eine Geruchsregulierung. Die Outdoor Jacken mit 37.5™ Isolierung sind auf der eigenen Webseite des Unternehmens erhältlich.<sup>186</sup>

Der Fokus dieser Forschungsarbeit liegt, wie bereits erläutert, auf der Verwendung von Biopolymeren aus Food Waste. Überdies gibt es eine Vielzahl von Akteuren, die innovative Fasern und Textilien basierend auf Nutzpflanzen, wie z.B. Maisstärke in Verbindung mit Proteinen, erforschen. Bspw. stellen die Firmen *Bolt Threads Inc.*<sup>187</sup>, *AMSilk*<sup>188</sup> und *Spiber Inc.*<sup>189</sup> Spinnenseidenproteinfasern mithilfe verschiedener biotechnologischer Verfahren her. Außerdem beschäftigen sich z.B. *BioCouture*<sup>190</sup> und *ScobyTec*<sup>191</sup> mit Nanocellulose basierend auf konventionellem Zucker und Kombuchatee.

Ebenso wird in dieser Arbeit nicht auf die Verwendung von Abfällen aus der Fleischproduktion, dem Fischfang sowie tierischen Zellen in der Biotechnologie eingegangen. Da auch für dieses Thema erhöhte Aufmerksamkeit in der Textilindustrie entstanden ist, wird im Folgenden ein Kurzüberblick über innovative Unternehmen und Akteure in diesem Bereich gegeben:

- *Inspidere B.V.* aus den Niederlanden forscht an Fasern aus Kuh Dung, namens Mestic® Manure Couture<sup>192</sup>
- *Das Forschungsinstitut ETH Zürich* forscht an Fasern aus dem in der Fleischproduktion anfallenden, tierischem Protein Kollagen aus Gelatine<sup>193</sup>
- *Umorfil* forscht an Fasern aus dem Kollagen recycelter Fischeschuppen, namens Umorfil Beauty Fiber®<sup>194</sup>

---

<sup>186</sup> Vgl. *Nau International Inc.* (2016): 37.5™ Technology; *Onegreenplanet.org* (2012): Vegan and Eco-friendly Win: Winter Jackets Insulated with Coconut Husks.

<sup>187</sup> Vgl. *Bolt Threads Inc.* (2017): Technology.

<sup>188</sup> Vgl. *AMSilk GmbH* (2017): Home.

<sup>189</sup> Vgl. *Spiber Inc.* (2016b): About us.

<sup>190</sup> Vgl. *Suzanne Lee* (2011).

<sup>191</sup> Vgl. *ScobyTec* (2017).

<sup>192</sup> Vgl. *Inspidere B.V.* (2016): Mestic®.

<sup>193</sup> Vgl. *Rüegg, P.* (2015).

<sup>194</sup> Vgl. *Umorfil* (2017).

- *Modern Meadow* aus den USA forscht an Leder, das aus tierischen Hautzellen im Labor gezüchtet werden kann, namens ZOA™<sup>195</sup>
- *Ingvar Helgason* aus Island forscht an der Züchtung von Biopelz, namens BioFur, im Labor<sup>196</sup>

#### 2.3.4 Stand und Entwicklung von Fasern und Textilien aus Food Waste

Die Verwendung von Nahrungsmittelabfällen, als neu entdeckte Rohstoffquelle für Biopolymerfasern, ist derzeit noch mit einer Vielzahl an Hürden verbunden. Viele der Unternehmen und Akteure am Markt befinden sich in der Forschungs- und Entwicklungsphase und weisen auf bestehende Schwierigkeiten vor allem in der Rohstoffverfügbarkeit- und beschaffung sowie der Funktionalität und Qualität der Materialien hin.

Die eingeschränkte Verfügbarkeit von Lebensmittelabfällen, bedingt durch die mangelnde Etablierung der Beschaffungsstrukturen und Logistikprozesse, stellt ein essentielles Problem der Mobilisierung von Food Waste als Rohstoffquelle dar.<sup>197</sup> Beispielsweise bezieht die Firma *Qmilch IP GmbH* die Non-Food Milch bisher lediglich bei lokalen Molkereien. Mit dem Projekt QMILK® Collect soll ein Logistiksystem zur Sammlung von bislang technisch ungenutzter, nicht verkehrsfähiger Milch direkt von den Bauern entwickelt werden. *Qmilch IP GmbH* ruft hiermit Milcherzeuger weltweit dazu auf, sich zu beteiligen.<sup>198</sup> Als weiteres Beispiel ist die Beschaffung von Produktionsabfällen der Firma *Orange Fiber S.r.l.* hauptsächlich auf die Saison, in der die Saftpressung in Italien stattfindet, angewiesen. Mittlerweile sind die Abfallstoffe jedoch lagerfähig.<sup>199</sup> Des Weiteren sucht *Fruitleather Rotterdam* nach eigenen Angaben zusätzliche Unterstützung in der Etablierung der Logistikprozesse für die Abfallsammlung unverkäuflicher Früchte der Anbieter auf dem Wochenmarkt sowie dem eigenen Abfallmanagement.<sup>200</sup>

Um über eine größere Vielfalt an Rohstoffen zu verfügen, erforschen die Unternehmen und Akteure am Markt immer mehr Abfallströme, die auf nachhaltige Weise verwertet werden könnten. *VEGEA S.r.l.* bspw. hat zusätzlich zu VEGEA® bereits ein weiteres Projekt begonnen, dass neben den Traubenschalen und Samen auch den Weinschnitt, der auf den Feldern zurückbleibt, nutzen soll. Bei den Weinkellereien, die mit *VEGEA S.r.l.* kooperieren, fallen jedes Jahr 1200 kg

<sup>195</sup> Vgl. Modern Meadow Inc. (2017): ZOA™.

<sup>196</sup> Vgl. Katcher, J. (2015): Fashion's Biological Future Is Now.

<sup>197</sup> Vgl. Kretschmer, B. et al. (2013): S.5.

<sup>198</sup> Vgl. Fritzsche, N (2016): Milch ist auch gut zum Anziehen; Qmilch IP GmbH (2017b).

<sup>199</sup> Vgl. Marchese, F. (2017): How Sicilian Oranges are being made into clothes.

<sup>200</sup> Vgl. Fruitleather Rotterdam (2017b).



Weinbergschnitt pro Hektar an, die in einem neuen, bereits patentierten, Prozess zu Garn verarbeitet werden können. *VEGEA S.r.l.* weist auf das Potential von allein 650.000 Hektar Weinberge in Italien und 7,5 Mio. Hektar weltweit hin.<sup>201</sup> Außerdem plant bspw. die Firma *Nanollose Ltd.* die Erschließung der bereits etablierten Kokosnussindustrie, um mit den Reststoffen die Grundlage für bakterielle Cellulose zu sichern, die anschließend ebenfalls mit Nanollose Technologie zu Viskosefasern oder anderen Faserarten verarbeitet werden könnten.<sup>202</sup>

In Verbindung mit der Ressourcenverfügbarkeit sowie den Beschaffungs- und Produktionsstrukturen steht die eingeschränkte Skalierung der Produktionskapazitäten auf industrieller Basis. Zum Beispiel ist die *Ananas Anam Ltd.*, laut eigenen Angaben, begeistert von dem Potential Fasern aus Ananas-Anbauregionen auf der ganzen Welt zu beziehen und Piñatex® vor Ort in diesen Gemeinden zu produzieren. Dennoch ist die Firma noch nicht bereit, global zu expandieren und die patentierte Piñatex® Technologie in Lizenz anzubieten.<sup>203</sup> Vorreiter wie die Firma *Singtex Industrial Co. Ltd.* eröffneten bereits eine Lizenz Service Plattform für die Marke S.Café® um die Verbreitung der Fasern voranzutreiben.<sup>204</sup> Des Weiteren plant der Myzelleder Hersteller *Ecovative Design LLC* in naher Zukunft mit der neuen Tochtergesellschaft *TextileBio* die Produktion in Massenproduktionsanlagen wie Pilzfarmen auf einen industriellen Maßstab skalieren zu können<sup>205</sup> und die Firma *Nanollose Ltd.* verwendet ihr aufgenommenes Kapital, um die Weiterentwicklung der Fasertechnologien des Unternehmens zu vereinfachen und Produktionslieferketten mit wichtigen Partnern aufzubauen.<sup>206</sup>

Zudem erschweren Defizite in Funktionalität und Qualität die Etablierung und Akzeptanz auf dem Markt. Zum Beispiel ist das Material von *Green Banana Paper* nach eigenen Angaben bisher schwierig für Kleidung oder auch Schuhe einzusetzen.<sup>207</sup> Spezialisten sagen, dass das MYCOWORKS Ledermaterial insbesondere noch auf Langlebigkeit und Robustheit getestet werden muss, sodass es dieselbe Lebensdauer wie das tierische Pendant erreichen kann.<sup>208</sup> Des Weiteren sieht *Fruitleather Rotterdam* nach eigenen Angaben die Notwendigkeit die Funktionalität ihres Ledermaterials hingehend Langlebigkeit, Festigkeit, Verarbeitbarkeit und Hydrophobie-

---

<sup>201</sup> Vgl. *VEGEA S.r.l.* (2017f): European Parliament News.

<sup>202</sup> Vgl. Friedman, A. (2017): Nanollose Just Created a Viscose Fiber That Doesn't Use Plants at All.

<sup>203</sup> Vgl. *Ananas Anam Ltd.* (2018).

<sup>204</sup> Vgl. *Singtex Industrial Co Ltd.* (2017): License Service.

<sup>205</sup> Vgl. *Ecovative Design LLC* (2017a).

<sup>206</sup> Vgl. *Fibre2Fashion.com* (2017).

<sup>207</sup> Vgl. *Green Banana Paper* (2017).

<sup>208</sup> Vgl. Herberg, R. (2016): Wie aus Pilzen Leder wird; Wendlandt, A. (2017): Fashion's Interest in Alternative Fabrics Keeps Growing.

rung weiterzuentwickeln sowie eine Anwendbarkeit auf verschiedene Produktgruppen zu erforschen und planen daher die Zusammenarbeit mit Herstellern, Designern, Regierungsorganisationen und Forschungszentren.<sup>209</sup> Zudem forscht *VEGEA S.r.l.* nach Verfahren, ihr Material mit verschiedenem Gewicht, Dicke, Stärke, Finish und Struktur herzustellen<sup>210</sup> und *Nau International Inc.* versucht die Frage zu klären, ob ihre Kokosfasern genauso wirksam wie Gänsedaunen und tatsächlich nachhaltiger sind.<sup>211</sup>

Da die meisten Hersteller ihre Produkte noch nicht am Markt anbieten (oder nur für ausgewählte Kooperationspartner) waren Preise größtenteils nicht einsehbar.

Zur Funktionalität der Food Waste Fasern zählt außerdem die Entsorgungsmöglichkeit. Während Materialien aus z.B. bakterieller Cellulose oder QMILK® Fasern zu 100% kompostierbar im Gartenkompost sind,<sup>212</sup> ist Piñatex® durch sein Veredlungsverfahren bisher nicht biologisch abbaubar.<sup>213</sup> Ebenso könnte die synthetische Beimischung von z.B. Polyester bei S.Café® und 35.7™ Fasern die nachhaltige Entsorgung erschweren.<sup>214</sup>

---

<sup>209</sup> Vgl. Fruitleather Rotterdam (2018b).

<sup>210</sup> Vgl. VEGEA S.r.l. (2017d).

<sup>211</sup> Vgl. Nau International Inc. (2016).

<sup>212</sup> Vgl. Qmilch IP GmbH (2017a).

<sup>213</sup> Vgl. Ananas Anam Ltd. (2017a).

<sup>214</sup> Siehe Kap 2.3.3.

### **3 Methodisches Vorgehen**

Dieses Kapitel stellt die methodische Vorgehensweise dieser Forschungsarbeit dar. Es wird die angewendete Technik zur Datenerhebung sowie die Auswertungsmethode beschrieben. Hierzu wird im ersten Schritt das Experteninterview als spezielle Form des Leitfadeninterviews als Instrument zur qualitativen Datenerhebung erläutert. Darauffolgend wird die Auswahl der Experten begründet sowie eine Übersicht der befragten Personen gegeben. Im Anschluss wird die Entwicklung des Leitfadens für das Experteninterview und die Durchführung der Befragung beschrieben, gefolgt von der Vorstellung der Auswertungsmethode als abschließender Punkt.

#### **3.1 Vorgehensweise der Datenerhebung**

Dieser Abschnitt stellt die zur Beantwortung der Forschungsfragestellung gewählte Vorgehensweise der Datenerhebung dar. Mit Hilfe einer qualitativen Datenerhebung als Leitfadeninterview in spezieller Form eines Experteninterviews wurden Experten verschiedener Interessengruppen befragt.

##### **3.1.1 Die qualitative Datenerhebung**

Die qualitative Forschung bietet ein weites Feld an speziellen Methoden, die sich in den jeweiligen Forschungsprozess einbetten lassen und mit Hilfe derer unterschiedliche Forschungsziele verfolgt werden können. Qualitative und quantitative Forschung unterscheiden sich vornehmlich durch den bestimmenden Leitgedanken der Datenerhebung. Anders als die quantitativen Methoden, die eine Vorgehensweise zur numerischen Darstellung empirischer Sachverhalte darstellen, wird die qualitative Forschung von einer sinnverstehenden, interpretativen, wissenschaftlichen Verfahrensweise bei der Erhebung der Daten geleitet.<sup>215</sup> Die Auswahl der qualitativen Forschungsmethode in dieser Arbeit ist insbesondere damit zu begründen, dass qualitative Datenerhebung mitunter die Berücksichtigung und Analyse unterschiedlicher Perspektiven sowie die Reflexion des Forschers über die Daten als Teil der Erkenntnis einbeziehen will.<sup>216</sup>

---

<sup>215</sup> Vgl. Hussy, W. et al. (2013): Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften, S.20.

<sup>216</sup> Vgl. Flick U. (1999): Qualitative Forschung: Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften S.9ff.

### 3.1.2 Das Leitfadeninterview

Verbale Daten können in der qualitativen Forschung mit Hilfe von Erzählverfahren oder mittels Leitfadeninterviews aufgenommen werden. Sind konkrete Aussagen über einen Forschungsgegenstand Ziel der Datenerhebung, so ist die Durchführung eines Leitfadeninterviews der effizientere Weg. Eine besondere Form des Leitfadeninterviews ist das Experteninterview. Hierbei wird der Befragte als Experte eines bestimmten Fachgebietes befragt und als Repräsentant einer Gruppe in die Untersuchung einbezogen.<sup>217</sup>

Einem Leitfadeninterview bzw. Experteninterview liegen offen formulierte Fragen zu Grunde. Der Leitfaden dient hierbei als Gerüst, um alle wesentlichen Aspekte der Forschungsfrage abzudecken. Die Reihenfolge der Fragen ist hierbei nicht zwingend einzuhalten.<sup>218</sup> Durch die Offenheit des Vorgehens wird die Entdeckung bisher unbekannter Sachverhalte ermöglicht.

### 3.1.3 Die Auswahl der Experten

Um die Forschungsfrage dieser Arbeit zielführend zu beantworten, wurde eine Expertenbefragung durchgeführt. Nach Bogner, Littig und Menz richtet sich die Definition, wer als Experte betrachtet wird, gemeinhin nach dem Forschungsziel.<sup>219</sup> Entsprechend des Forschungsinteresses dieser Arbeit wurden Experten aus der nachhaltigen Textilindustrie befragt, die nicht zwingend eine übergreifende Fachkenntnis im Bereich der Biopolymere haben. Die bereits genannte Intention verschiedene Perspektiven in die Forschung einfließen zu lassen, begründet die Kontaktaufnahme mit Fachleuten aus drei verschiedenen Interessengruppen. Die Gruppeneinteilung wurde hierbei entsprechend der unterschiedlichen Bezugsrahmen für den Untersuchungsgegenstand vorgenommen. Im Folgenden werden die drei Interessengruppen aufgeführt und die jeweiligen Bezugsrahmen für Biopolymere aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion kurz beschrieben:

#### *Gruppe 1*

Faser- und Textilhersteller von Biopolymeren aus biobasierten Rohstoffen als Repräsentanten der Forschung und Entwicklung im Bereich Fasern und Textilien aus Biopolymeren aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion. Es werden sowohl Experten befragt, die bereits Abfallstoffe der Nahrungsmittelproduktion in der Herstellung verwenden als auch Experten, die es anstreben Ab-

---

<sup>217</sup> Vgl. Flick U. (1999): S.109ff.

<sup>218</sup> Vgl. Ebd., S.112f.

<sup>219</sup> Vgl. Bogner, A. et al. (2005): Das Experteninterview: Theorie, Methode, Anwendung, S.39ff.

fallstoffe zukünftig zu verwenden. Die Experten werden u.a. zum Stand der Forschung und Entwicklung sowie dem Erfolgspotential der in dieser Forschung behandelten Fasern und Textilien befragt.

### *Gruppe 2*

Mitglieder des Richtlinienausschusses des *Internationalen Verband der Naturtextilwirtschaft e.V.* als Repräsentanten der Standardsetzung für Naturtextilien (gleichzeitig Funktion als Geschäftsführer von *IVN Modelabels*). Die Experten wurden zum Potential der Aufnahme der in dieser Forschung behandelten Fasern und Textilien in ein bestehendes oder neues Standardwerk befragt.

### *Gruppe 3*

Modelabels des *Internationalen Verband der Naturtextilwirtschaft e.V.* als Repräsentanten der Hersteller und des Handels<sup>220</sup>. Es werden Modelabels befragt, die hauptsächlich zertifizierte Naturtextilien in Ihrem Sortiment anbieten. Die Experten werden zum Potential der Aufnahme der in dieser Forschung behandelten Fasern- und Textilien in die eigene Kollektion befragt.

Wie aus Kapitel 2.3.3. ersichtlich wird, sind die Unternehmen und Akteure der ersten Expertengruppe international verteilt aufgestellt. Daher wurde anhand von telefonischen oder webbasierten Kontaktdaten, soweit vorhanden, eine große Vielzahl potentieller Ansprechpartner weltweit angefragt. Um das Gebiet der Fasern und Textilien aus Biopolymeren möglichst umfassend abzudecken, wurden Hersteller unterschiedlicher Biopolymere aus verschiedenen Rohstoffgenerationen und mit verschiedenen Herstellungsverfahren angefragt. Die verhaltene Resonanz auf die Interviewanfragen und die häufig fehlende zeitliche Verfügbarkeit der Experten erschwerte die gezielte Auswahl der Interviewpartner. Aufgrund dessen konnte keine Gleichverteilung der Unternehmungen, die sich mit Rohstoffen der zweiten und dritten Generation beschäftigen, erzielt werden. Dennoch erklärte sich eine Expertin, die Rohstoffe der zweiten Generation verwendet, dazu bereit einen verkürzten Fragebogen schriftlich einzureichen.

Für die zweite Expertengruppe wurden Mitglieder des Richtlinienausschusses des *internationalen Verbands der Naturtextilwirtschaft* angefragt. Damit die Möglichkeit eines direkten Vergleiches der Interessengruppen gegeben ist, wurden gezielt die drei Mitglieder, die eigene Modelabels führen, kontaktiert (wovon zwei zugesagt haben).

---

<sup>220</sup> Die Modelabels des IVN stellen in passiver Lohnveredelung bzw. Auftragsproduktion her und vertreiben ihre Produkte über Händler bzw. eigene POS.

In der dritten Gruppe wurden vor allem junge und moderne Modelabels unter den Mitgliedern des IVN kontaktiert. Durch telefonischen Kontakt konnten die Interviewtermine mit den Interviewpartnern vereinbart werden. Tab.2 zeigt die Details der Experteninterviews.

*Tabelle 2.: Experteninterviews<sup>221</sup>*

Experte	Unternehmen	Interview Details	Interessengruppe
Bernhard Schipper	Scobytec, Leipzig (DE)	Telefongespräch 27.11.2017; 56:44 Min.	Gruppe 1
Gary Cass	Nanollose Ltd., Perth (AU)	Skypegespräch 04.12.2017; 1:14:08 h	Gruppe 1
Hannah Michaud	The Apple Girl, Kopenhagen (DK)	Schriftliche Einreichung 22.01.2018	Gruppe 1
Elmar Sautter	disana GmbH & Co KG, Lichtenstein-Holzelfingen (DE)	Telefongespräch 08.12.2017; 50:27 Min.	Gruppe 2
Gabriele Kolompar	Engel GmbH, Pfullingen (DE)	Telefongespräch 28.12.2017; 1:03:56 h	Gruppe 2,3
Heiko Wunder	Wunderwerk Rheinstoff GmbH & Co. KG, Düsseldorf (DE)	Telefongespräch 28.12.2017; 1:21:30 h	Gruppe 3

## 3.2 Entwicklung und Durchführung des Interviews

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie der Leitfaden für die Experteninterviews entwickelt und die Befragungen durchgeführt wurden. Dabei wird die Entstehungssituation betrachtet und auf mögliche Probleme hingewiesen.

### 3.2.1 Entwicklung des Leitfadens

Der Leitfaden im Rahmen eines Experteninterviews dient als Orientierung bzw. Gerüst und soll sicherstellen, dass alle wesentlichen Aspekte der Forschungsfrage im Interview behandelt werden. Dementsprechend dient ein auf theoretischen Vorannahmen basierendes sensibilisierendes Konzept als Grundlage für die Entwicklung. Wobei die offenen Fragestellungen des Leitfadens das Eingehen auf andere Sichtweisen und Aspekte jederzeit zulassen.<sup>222</sup>

Grundlage für das Konzept bilden vier übergeordnete Abschnitte, die sich in allgemeine Angaben zum Unternehmen, Stand und Entwicklung des befragten Unternehmens, Erfolgsfaktoren sowie Entwicklungstendenzen und Erfolgspotential der betrachteten Fasergruppe gliedern. Vor dem

<sup>221</sup> Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>222</sup> Vgl. Mayer H. O. (2013): Interview und schriftliche Befragung, Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung, S.36f.

Hintergrund der Befragung von drei Interessengruppen wurde zum Zweck dieser Forschungsarbeit das Leitfadeninterview mit verschiedenen gesetzten Schwerpunkten entwickelt.<sup>223</sup>

Die Leitfragen orientieren sich am Lebenszyklus von Textilien von der Rohstoffbeschaffung über die Herstellung bis zum Vertrieb, Gebrauch und der Entsorgung bzw. Wiederverwertung. Hierbei werden die Erfolgsfaktoren und das Erfolgspotential in verschiedenen Problemfeldern mit offen formulierten Fragen behandelt. Entsprechend der Bezugsrahmen der Expertengruppen wurden die Schwerpunkte der Befragungen gesetzt.

Wie in Kapitel 3.1.3. erläutert, sind die Mitglieder des Richtlinienausschusses außerdem Geschäftsführer eigener Modelabels des IVN. Aufgrund dessen wurde ein Interview mit einem geteilten Schwerpunkt entwickelt, um einen direkten Vergleich zu ziehen.

### 3.2.2 Durchführung des Interviews

Die Durchführung der Interviews erfolgte per Skype- oder Telefongespräch. Die Befragungen wurden im Voraus terminlich vereinbart und die erwartete Gesprächsdauer kommuniziert. Beim Leitfadengespräch wurde eine offene Gesprächsführung gewählt, um in der Interviewsituation einen Einblick in die Relevanzstruktur und die Erfahrungshintergründe der Befragten zu erlangen. Potentielle Störfaktoren von Experteninterviews im Allgemeinen und im speziellen Fall von Skype- und Telefongesprächen wie Verbindungs- oder Geräuschstörungen, fehlende Gestik und Mimik sowie Missverständnisse sind in dieser Forschungsarbeit nicht ausgeschlossen.

Der Interviewpartner Gary Cass der Firma *Nanollose Ltd.* aus Perth hat ohne Angabe weiterer Gründe die Freigabe für das Transkript des Skypegesprächs verweigert und reichte anstatt dessen eine schriftliche Beantwortung der Interviewfragen per E-Mail ein. Daher wird in der Auswertung auf die schriftliche Einreichung eingegangen.

## 3.3 Auswertung der Experteninterviews

Um die durchgeführten Interviews hingehend der Beantwortung der Untersuchungsfrage auszuwerten, muss eine geeignete Methode zur Auswertung gewählt werden. In diesem Abschnitt wird zunächst eine Bestandsaufnahme der Interessengruppen dargestellt. Im Anschluss werden die Auswahl und Begründung der Auswertungsmethode beschrieben sowie die Auswertung durchgeführt.

---

<sup>223</sup> Siehe Appendix b) „Fragebögen der Leitfadeninterviews“.

### 3.3.1 Bestandsaufnahme ausgewählter Interessengruppen

In diesem Abschnitt wird eine kurze Bestandsaufnahme der Unternehmen der befragten Experten dargestellt. Hierfür werden hauptsächlich Informationen aus den Experteninterviews verwendet.

#### *Faser- und Textilhersteller*

Bernhard Schipper gründete gemeinsam mit Caroline Wendel das Unternehmen *ScobyTec* im Jahr 2014. Bernhard Schipper leitet den Bereich „Products and Marketing“ der Firma.<sup>224</sup> Zur Herstellung von bakterieller Nanocellulose unter dem Namen *ScobyTec BNC* verwendet das Unternehmen grünen und schwarzen Tee (Kombucha) in Verbindung mit konventionellem Zucker als Nährboden.<sup>225</sup> Die bakterielle Cellulose dient als Lederersatzmaterial<sup>226</sup> und wurde bereits als Kinderschuh Prototyp in Partnerschaft mit der *Ricosta Schuhfabriken GmbH* produziert.<sup>227</sup> *ScobyTec* betreibt zurzeit eine Produktionsstätte in Leipzig zur Musterproduktion<sup>228</sup> mit einer maximalen Auslastung von 50m<sup>2</sup> im Monat.<sup>229</sup> Im Rahmen eines Joint Ventures möchte das Unternehmen eine zweite Firma in Kanada gründen, um im Februar mit der Testproduktion zu beginnen.<sup>230</sup> Die Produktionsstätten sollen eine Art „Proof of Concept“ für die industrielle Fertigung darstellen.<sup>231</sup> Der Quadratmeter-Preis des gefertigten Materials liegt zwischen 500 und 1000 € in der Prototyping Phase.<sup>232</sup> Das Material von *ScobyTec* ist in Abhängigkeit des Finishings zu 100% kompostierbar und verfügt über keinerlei Zertifizierung.<sup>233</sup> Den größten Bedarf für Forschung und Entwicklung sieht Bernhard Schipper aktuell in der Funktionalität. Aufgrund der Struktur der Celluloseschichten besteht insbesondere ein Abriebproblem dem *ScobyTec*, mit der Entwicklung neuer Veredlungsverfahren, entgegenwirken will.<sup>234</sup> Im September 2017 erhielt *ScobyTec* den PETA Innovator Award.<sup>235</sup>

Gary Cass ist der Gründer von *Nanollose Ltd.* (siehe auch Unternehmensvorstellung in Kap. 2.3.3), welche seit Oktober 2017 an der *Australian Securities Exchange* gelistet ist.<sup>236</sup> Die Umwandlung der Abfallstoffe in bakterielle Cellulose dauert bei *Nanollose Ltd.* ca. einen Monat und

---

<sup>224</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.3, Z.52-55.

<sup>225</sup> Vgl. Ebd., S.4, Z.100-109.

<sup>226</sup> Vgl. Ebd., S.3, Z.59-64.

<sup>227</sup> Vgl. Ebd., S.6-7, Z.179-190.

<sup>228</sup> Vgl. Ebd., S.4, Z.87-90.

<sup>229</sup> Vgl. Ebd., S.5, Z.121-124.

<sup>230</sup> Vgl. Ebd., S.4, Z.87-90.

<sup>231</sup> Vgl. Ebd., S.9, Z.264-274.

<sup>232</sup> Vgl. Ebd., S.5, Z.140-141.

<sup>233</sup> Vgl. Ebd., S.7, Z.201-206; S.17, Z.562-564.

<sup>234</sup> Vgl. Ebd., S.8, Z.222-234.

<sup>235</sup> Vgl. Ebd., S.5, Z.145-146.

<sup>236</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.2, Z.20-21.



wird bei 30C° in vertikaler Landwirtschaft betrieben. Insbesondere der geringe Platzverbrauch spricht für das Potential zur industriellen Skalierung.<sup>237</sup> Den größten Bedarf für Forschung und Entwicklung sieht Gary Cass aktuell in der Verfügbarkeit und Beschaffung von Nahrungsmittelabfällen um ein wirtschaftlich rentables Produkt herzustellen, das immer noch umweltfreundlich und nachhaltig ist.<sup>238</sup> Der Betrieb befindet sich noch in der Entwicklungsphase und bietet sein Produkt noch nicht am Markt an. Die globale Vermarktung soll über eine Lizenz erfolgen.<sup>239</sup> Das Plant-Free™ Cellulose Material ist kompostierbar und verfügt über keinerlei Zertifizierung.<sup>240</sup>

Hannah Michaud ist Gründerin von dem Forschungsprojekt *The Apple Girl* (siehe auch Projektvorstellung in Kap. 2.3.3). Das Forschungsprojekt arbeitet im Bereich „Biotech alternative materials“ und stellt Lederersatzmaterial her.<sup>241</sup> Zur Herstellung werden neben den Resten aus der Apfelsaftkellerei zwei weitere Nahrungsmittelreststoffe verwendet, die aus Patentgründen nicht genannt werden können.<sup>242</sup> Das Team hat bisher keine eigene Produktionsstätte und bewirbt sich um finanzielle Unterstützung, um das Material weiterzuentwickeln und am Markt anbieten zu können. Der Lederersatz ist zu 100% kompostierbar und verfügt über keinerlei Zertifizierung.<sup>243</sup> Den größten Bedarf für Forschung und Entwicklung sieht Hannah Michaud aktuell in der Hydrophobierung des Materials.<sup>244</sup>

#### *Mitglieder des Richtlinienausschusses des Internationalen Verbands der Naturtextilwirtschaft e. V.*

Elmar Sautter ist Geschäftsführer der *disana GmbH & Co. KG* und Vorstandsvorsitzender des *IVN*. Gleichzeitig ist er Mitglied im Richtlinienausschuss des *IVN* als Experte für Strickerei. Das Unternehmen wurde 1982 in Lichtenstein-Holzelfingen gegründet und zählt nach eigenen Angaben zu den Gründern der Naturtextilszene.<sup>245</sup> Die *disana GmbH & Co. KG* stellt als vom Global Organic Textile Standard (GOTS) und *IVN BEST* zertifizierter, mehrstufiger Betrieb gestrickte Kinderbekleidung her.<sup>246</sup> Der Betrieb verwendet hauptsächlich Schurwolle und entschied sich für dieses Material aufgrund der damals wachsenden Marktnachfrage. Heute ist das Unternehmen

---

<sup>237</sup> Vgl. Gary Cass, Nanollose Ltd., S.2-3, Z.48-59.

<sup>238</sup> Vgl. Ebd., S.3, Z.79-82.

<sup>239</sup> Vgl. Ebd., S.3, Z.64-68.

<sup>240</sup> Vgl. Ebd., S.3, Z.73-75.

<sup>241</sup> Vgl. Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.1, Z.6.

<sup>242</sup> Vgl. Ebd., S.2, Z.20-23, 46.

<sup>243</sup> Vgl. Ebd., S.2, Z.28-38.

<sup>244</sup> Vgl. Ebd., S.2, Z.42.

<sup>245</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.3, Z.78-86.

<sup>246</sup> Vgl. *disana GmbH & Co. KG* (2018): Zertifikate.

vor allem überzeugt von den herausragenden Eigenschaften der Wolle.<sup>247</sup> Elmar Sautter hat sich bisher nicht mit Biopolymeren beschäftigt.<sup>248</sup>

Gabriele Kolompar ist Geschäftsführerin der *Engel GmbH* und GOTS Beauftragte des *IVN*. Gleichzeitig ist sie Mitglied im Richtlinienausschuss des *IVN* als Experte für Produktion. Das Unternehmen wurde 1982 in Pfullingen gegründet und fertigt Bekleidung aus Merino Schurwolle, Seide und Baumwolle. Das Unternehmen stellt in passiver Lohnveredlung in Deutschland her und vertreibt seine Produkte als Never out of Stock (NOS) Artikel ausschließlich an Händler. 95% der Kollektion sind durch GOTS und IVN BEST ausgezeichnet.<sup>249</sup> Die *Engel GmbH* entschied sich für die Verwendung von Naturfasern um gegen die zukünftig erwarteten Umweltbelastungen, Klimaveränderungen und zunehmenden Allergien vorzugehen.<sup>250</sup> Gabriele Kolompar hat sich bisher nicht mit Biopolymeren beschäftigt.<sup>251</sup>

#### *Modelabels des Internationalen Verbands der Naturtextilwirtschaft e.V.*

Heiko Wunder ist einer von zwei Geschäftsführern der *Rheinstoff GmbH & Co. KG*, Inhaber des Modelabels *Wunderwerk*, aus Düsseldorf. Das Unternehmen wurde 2013 gegründet, ist Mitglied im *IVN* und stellt Bekleidung hauptsächlich aus Naturfasern her.<sup>252</sup> Die Kollektionen werden zu über 90 % in Europa produziert.<sup>253</sup> *Wunderwerk* setzt so weit wie möglich mit dem GOTS ausgezeichnete Materialien ein.<sup>254</sup> Das Label hat sich für Biobaumwolle, Biowolle und Mulesing-freie normale Wolle, Lenzing Modal® nach der Edelweiss® Faser Technologie, TENCEL® und Elastan entschieden.<sup>255</sup> *Wunderwerk* möchte hiermit innovative, qualitativ hochwertige und umweltschonende Materialien einsetzen.<sup>256</sup> Für Lenzing Modal® hat sich das Unternehmen insbesondere aufgrund der Weichheit und Regionalität entschieden.<sup>257</sup> Heiko Wunder ist sehr aufmerksam was den Bereich Biopolymere angeht und beobachtet Optionen, die ihn überzeugen könnten.<sup>258</sup>

Gabriele Kolompar, Engel GmbH (siehe Bestandaufnahme unter „Mitglieder des Richtlinienausschusses des *Internationalen Verbands der Naturtextilwirtschaft e.V.*“)

---

<sup>247</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.4, Z.100-112.

<sup>248</sup> Vgl. Ebd., S.4, Z.117.

<sup>249</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.2-3, Z.43-56.

<sup>250</sup> Vgl. Ebd., S.3, Z.69-79.

<sup>251</sup> Vgl. Ebd., S.4, Z.92-96.

<sup>252</sup> Vgl. Heiko Wunder, *Wunderwerk Rheinstoff GmbH & Co. KG* (nachfolgend nur noch mit Heiko Wunder, *Wunderwerk* abgekürzt), S.4, Z.94-99; *Wunderwerk* (2018): *Brand Mission*.

<sup>253</sup> Vgl. *Wunderwerk* (2018).

<sup>254</sup> Vgl. Heiko Wunder, *Wunderwerk*, S.4-5, Z.116-130; *Wunderwerk* (2018).

<sup>255</sup> Vgl. Heiko Wunder, *Wunderwerk*, S.5-6, Z.140-170.

<sup>256</sup> Vgl. *Wunderwerk* (2018).

<sup>257</sup> Vgl. Heiko Wunder, *Wunderwerk*, S.5, Z.152-155.

<sup>258</sup> Vgl. Ebd., S.6, Z.186-190.

### 3.3.2 Auswertungsmethode

Wie in Abschnitt 3.1 bereits beschrieben, soll durch die Befragung festgestellt werden, welche Einflussfaktoren den Erfolg von Fasern und Textilien aus Biopolymeren aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion bedingen und welches Potential hiermit in Verbindung steht. Hierzu werden zunächst die Experteninterviews ausgewertet. Anschließend wird eine Auswertung der Literaturrecherche vorgenommen, gefolgt von einer Zusammenführung der Ergebnisse.

Um die durchgeführten Interviews auszuwerten, wird eine an die Verfahrenstechnik zusammenfassender qualitativer Inhaltsanalyse angelehnte Auswertungsmethode angewendet. Nach Mayring ist der Zweck dieser Auswertung eine große Materialmenge auf ein überschaubares Maß zu kürzen und die wesentlichen Aussagen auf einem angemessenen Abstraktionsniveau, ohne Verlust wesentlicher Inhalte, darzustellen.<sup>259</sup> Um eine Kategorisierung der Erfolgsfaktoren aus dem vorliegenden Material herauszufiltern, lässt sich das grundlegende Modell der zusammenfassenden qualitativen Inhaltsanalyse für eine induktive Kategoriendefinition anwenden.<sup>260</sup> Als induktives Vorgehen wird allgemein das Schlussfolgern von Einzelfällen auf das Allgemeine verstanden.<sup>261</sup> Eine induktive Kategorienbildung leitet somit die Kategorien in einem Verallgemeinerungsprozess direkt aus dem Material ab, ohne Bezug auf konkrete vorformulierte Theoriekonzepte.<sup>262</sup>

Anschließend werden die Ergebnisse der qualitativen Datenerhebung mit den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche zusammengeführt. Die Ergebnisse der Kategorienbildung und das sich ableitende Erfolgspotential werden abschließend resümiert.

---

<sup>259</sup> Vgl. Mayring, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse, Grundlagen und Techniken, S.83ff.

<sup>260</sup> Vgl. Ebd., S.85.

<sup>261</sup> Vgl. Hussy, W. et al. (2013): S.7.

<sup>262</sup> Vgl. Mayring, P. (2015): S.83ff.

### 3.3.3 Auswertung durch induktive Kategorienbildung

Bei der zusammenfassenden, qualitativen Inhaltsanalyse werden ausgewählte Textstellen paraphrasiert, dann generalisiert und anschließend erfolgt eine Reduktion aus der sich Kategorien bilden lassen. Die Selektion der auszuwertenden Textstellen wird entsprechend der Bezugnahme der Aussagen auf das Erfolgspotential der untersuchten Fasergruppe durchgeführt. Im Auswertungsvorgang wird bei allen Interviews bzw. schriftlichen Einreichungen ein einheitliches angemessenes Abstraktionsniveau erzielt, das eine übergreifende Kategorienbildung zulässt. Auf diese Weise können ggf. Unterschiede zwischen den Interessengruppen bzw. einzelnen Interviews herausgearbeitet werden. Die gebildeten Kategorien sollen Aufschluss darüber geben, ob und wie Fasern und Textilien aus Biopolymeren aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion Relevanz in der Textilindustrie erlangen könnten.<sup>263</sup>

Tab.3 zeigt eine Übersicht der in die zehn Bereiche mit den jeweiligen Unterkategorien eingeteilten Erfolgsfaktoren, die sich aus den Befragungen ergeben haben. Die grauen Punkte signalisieren in welchen Experteninterviews welche Unterkategorien identifiziert werden konnten. Insgesamt kristallisierten sich 30 Kategorien heraus, die in zehn Bereiche eingeteilt werden konnten. In den Interviews bzw. den schriftlichen Einreichungen ließen sich zweimal 18 und 16 Kategorien und einmal zehn und 23 Kategorien ableiten. Bei vielen Befragungen bildeten sich annähernd die gleichen Kategorien, wenn gleich mit verschiedenen Ansichten über die den Erfolg bedingenden Faktoren. Diese Ähnlichkeit lässt sich durch die Orientierung der Interviews am Leitfaden erklären. Es gibt lediglich sieben Klassen, die nur in einem oder zwei Interviews auftauchen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde trotz der Komplexität vieler Aussagen von einer Doppelnennung in mehreren Kategorien abgesehen.

---

<sup>263</sup> Siehe Appendix d) „Auswertung der Experteninterviews“.

Tabelle 3.: Induktive Kategorienbildung aus den Experteninterviews <sup>264</sup>

Bereich	#	Kategorie	Nanolose	ScobyTec	Apple Girl	disana	Engel	Wunderwerk
			Hersteller			Standard		Label
Rohstoff	1.	Verfügbarkeit von Lebensmittelabfällen	●				●	●
	2.	Abfallverwertung entlang der Nahrungsmittellieferkette	●		●			
	3.	Abfallstoffe anstatt Nutzpflanzenkulturen	●	●	●	●	●	
	4.	Kontrolliert biologischer Anbau bzw. Tierhaltung	●	●	●	●	●	●
	5.	Gentechnisch veränderte Organismen (GVO)	●			●		
Herstellung	6.	Nachhaltiger Beschaffungs- und Herstellungsprozess	●	●	●	●	●	●
	7.	Kompatibilität mit bestehenden Verarbeitungs- und Produktionsanlagen	●			●		●
End-of-Use	8.	Entsorgung	●	●		●	●	●
	9.	Entsorgungssystem	●	●	●	●		
Prüfung	10.	Rückstandsprüfung					●	
	11.	Zertifizierung allgemein	●	●	●	●	●	
	12.	Standardintegration IVN				●	●	
	13.	Standardneuentwicklung IVN für Food Waste Fasern				●	●	●
Fasereigenschaften	14.	Funktionalität und Qualität		●		●	●	●
	15.	Textilphysikalische Anforderungen				●	●	●
	16.	Fasermischungen					●	●
	17.	Vergleichbarkeit mit gegenwärtig am Markt verfügbaren Fasern und Materialien	●	●		●	●	●
	18.	Forschung und Entwicklung	●	●	●	●		
Vermarktung	19.	Akzeptanz auf dem Markt	●	●	●	●	●	
	20.	Information und Schulung	●	●		●	●	●
	21.	Marketing		●		●	●	●
Wirtschaftlichkeit	22.	Marktfähigkeit	●			●	●	●
	23.	Preis	●	●	●	●	●	
	24.	Skalierung der Produktion	●	●		●		
	25.	Regulierung und Förderung durch die Industrie	●	●				●
Sonstige	26.	Kulturelle Bedingtheit		●			●	
	27.	Diversifikation in der Faserherstellung			●	●	●	
	28.	Regulierung und Förderung durch die Politik		●		●		●
Produkt	29.	Produktbezogener individueller Erfolgsfaktor	●					
Unternehmen	30.	Unternehmensinterner individueller Erfolgsfaktor				●	●	●

Im Folgenden wird die Auswertung der Experteninterviews bzw. schriftlichen Einreichungen nach den einzelnen Interessengruppen entlang der Bereiche durchgeführt. Hierbei wird eine Zusammenfassung der identifizierten Unterkategorien des jeweiligen Bereichs gegeben und nicht auf die präzise Zuordnung der Erfolgsfaktoren eingegangen.<sup>265</sup>

<sup>264</sup> Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>265</sup> Die genaue Zuordnung kann aus Appendix d) „Auswertung der Experteninterviews“ sowie Appendix e) „Erfolgsfaktorenraaster der Experteninterviews“ entnommen werden.

### *Faser- und Textilhersteller*

In der Gruppe Faser- und Textilhersteller konnten im Bereich *Rohstoff* die Kategorien eins bis vier identifiziert werden. *Nanollose Ltd.* erachtet eine Zusicherung global ausreichender Verfügbarkeit und gleichbleibender Qualität der Abfallrohstoffe als essentiell wichtig, um das Interesse der Industrie zu gewinnen. Derzeit würden noch erhebliche Probleme bestehen bei der Suche geeigneten Abfallmaterials.<sup>266</sup> Sowohl *Nanollose Ltd.* als auch *The Apple Girl* sehen die Möglichkeit die Lebensmittelabfälle umsonst zu erhalten, da für Abfallproduzenten ansonsten u.U. hohe Entsorgungskosten anfallen würden.<sup>267</sup> *Nanollose Ltd.* äußerte weiterhin, es sei denkbar zukünftig Post-Konsumenten Abfälle aus Kompostfabriken zu verwerten, indem die stickstoff- und phosphorhaltige zurückbleibende Biomasse in Kombination mit einer Kohlenhydratquelle als Nährboden für Bakterien genutzt würde. Zusätzlich könnte das durch die Kompostierungsanlage generierte Methangas zur Energieerzeugung und damit zur Lösung des Temperaturproblems in der Bakterienzüchtung in kälteren Regionen genutzt werden.<sup>268</sup> Faser- und Textilhersteller stimmen überein, dass Food Waste als nachhaltige Rohstoffquelle als Alternative zu Nutzpflanzenkulturen zum Einsatz kommen sollte um durch Synergienutzung umweltrelevante Probleme zu bewältigen.<sup>269</sup> Die Konkurrenz um die Agrarflächen sowie die Nutzung benzinbetriebener Landwirtschaftstechnik zur Ernte von Massenpflanzungen würden zur Diskussion stehen.<sup>270</sup> Sowohl *Nanollose Ltd.* als auch *The Apple Girl* sehen kontrolliert biologischen Anbau von Lebensmittelabfällen als keinen zwingenden Erfolgsfaktor, *ScobyTec* hingegen erachtet kontrolliert biologischen Anbau als aktuelles Thema in der Gesellschaft auch bei Food Waste Fasern für wichtig. Unter Umständen könnten schwer pestizidverseuchte Rohstoffe sogar zu negativen Reaktionen der Bakterienkulturen führen.<sup>271</sup>

Im Bereich *Herstellung* konnten die Kategorien sechs und sieben identifiziert werden. *ScobyTec* sieht Bakterienkulturen als essentielle menschliche Lebensgrundlage (z.B. Stoffwechselprozesse). Daher bestehe klares Erfolgspotential diese Mikroorganismen auch für Bekleidung nutzbar zu machen.<sup>272</sup> Außerdem betont das Unternehmen die extrem kurze Wachstumsdauer des lederartigen Materials im Gegensatz zu Pflanzen bzw. Bäumen oder Tieren.<sup>273</sup> *Nanollose Ltd.*

---

<sup>266</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.4, Z.102-110, Z.114-118.

<sup>267</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.2, Z.34-36; Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.2, Z.20-23.

<sup>268</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.7-8, Z.217-232.

<sup>269</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.7, Z.209-211; Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.22, Z.709-711; Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.4, Z.93.

<sup>270</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.21-22, Z.702-705; S.22, Z.709-711.

<sup>271</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.16, Z.515-517; Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.3, Z.59; Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.5, Z.135-138.

<sup>272</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.15, Z.477-483.

<sup>273</sup> Vgl. Ebd., S.6, Z.165-173.

weist darauf hin, dass lokale Ressourcenbeschaffung und Produktion von Rohmaterialien in geeigneten Regionen zu Energie- und Emissionseinsparungen beitragen könnten. *The Apple Girl* hingegen erachtet ein zentrales Sammelsystem für Lebensmittelabfälle als Rohmaterial anstatt lokalem Sourcing als geeigneter.<sup>274</sup> *Nanollose Ltd.* hebt als einziges hervor, dass die neuartigen Fasern kompatibel mit den bestehenden Verarbeitungs- und Produktionsanlagen sein müssten, um den Herstellungsprozess mit wenig bis keiner Nachrüstung von Geräten in die bestehende Fertigung einfließen lassen zu können.<sup>275</sup>

Im Bereich *End-of-Use* konnten die Kategorien acht und neun identifiziert werden. Hier stimmen die Meinungen von *Nanollose Ltd.* und *The Apple Girl* überein, dass biologische Abbaubarkeit einen der wichtigsten Faktoren für die Textilindustrie darstelle. Beide Firmen erachten sowohl den Markt und die Entsorgungssysteme als bereit für abbaubare Naturtextilien, solange diese richtig vermarktet würden.<sup>276</sup> *ScobyTec* betont hingegen die Schwierigkeit der Komponententrennung von Textilien sowie die fehlende Infrastruktur zur Kompostierung in Großstädten.<sup>277</sup>

Im Bereich *Prüfung* konnte die Kategorie 11 identifiziert werden. Weder *ScobyTec* als auch *The Apple Girl* sehen die Notwendigkeit für eine Zertifizierung. *ScobyTec* betont zudem, dass Zertifizierungen einen Vergleich mit herkömmlichen Materialien fördern würden, was die Möglichkeit der Abwertung des Produktes böte.<sup>278</sup> *Nanollose Ltd.* sieht eine Zertifizierung mit der Markteinführung der Materialien als eine lohnende Option. Dennoch fehle es generell an mehr Klarheit und Sensibilität in Diskussionen um z.B. den Einsatz von GVO und Begrifflichkeiten wie „bio“ und „organic“.<sup>279</sup>

Im Bereich *Fasereigenschaften* konnten die Kategorien 14,17 und 18 identifiziert werden. Das Material von *ScobyTec* hat einen honigartigen Geruch und hebt sich damit von herkömmlichen Materialien ab. Die Firma erachtet die Diskussion um die Erzielung vergleichbarer oder neuer Eigenschaften zu gegenwärtig verfügbaren Fasern als schädlich.<sup>280</sup> Auf der anderen Seite erwartet *Nanollose Ltd.* einen Markterfolg nur durch ähnliches Aussehen, Haptik und Preis zu gegenwärtig verfügbaren Fasern.<sup>281</sup> Sowohl *Nanollose Ltd.* als auch *ScobyTec* betonen den Bedarf an Forschung und Entwicklung hingehend der präziseren Lokalisierung der Bakterien, die für das

---

<sup>274</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.6, Z.182-185; Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.3, Z.80.

<sup>275</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.3-4, Z.86-8; S.4, Z.114-118.

<sup>276</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.5, Z.144-148; Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.3, Z.65.

<sup>277</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.17, Z.548-553.

<sup>278</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.18, Z.572-577; Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.3, Z.75.

<sup>279</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.3, Z.74-75; S.6, Z.163-166.

<sup>280</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.13, Z.393-403, Z.417-419.

<sup>281</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.4, Z.96-97.

Faserwachstum zuständig seien um die benötigte Nährstoffgrundlage genau definieren zu können.<sup>282</sup> *The Apple Girl* konzentriert sich in der Forschung auf die Langlebigkeit und Haltbarkeit des Materials.<sup>283</sup>

Im Bereich *Vermarktung* konnten die Kategorien 19-21 identifiziert werden. Die Experten vertreten alle die Meinung, dass die Marktakzeptanz und Skepsis der Kunden eine entscheidende Rolle für den Markterfolg spiele.<sup>284</sup> Zudem betonen *Nanollose Ltd.* und *ScobyTec*, dass der Skepsis der Konsumenten mit Hintergrundinformationen und Marketing entgegengewirkt werden müsse.<sup>285</sup> *Nanollose Ltd.* erachtet die Ähnlichkeit der Qualität und Funktionalität der Fasern mit gegenwärtig verfügbaren als notwendige Bedingung für die Akzeptanz am Markt.<sup>286</sup> *ScobyTec* erklärt, dass der Geruch des Materials als Eigenschaft zwar eine Hürde darstelle aber es gerade deshalb eine Voraussetzung sei, dass das Marketing die Händler von den Produkteigenschaften überzeuge, damit diese das Produkt überzeugend verkaufen könnten.<sup>287</sup>

Im Bereich *Wirtschaftlichkeit* konnten die Kategorien 22-25 identifiziert werden. *Nanollose Ltd.* hebt hervor, dass Lebensmittelabfälle anwendbar und wirtschaftlich rentabel sein müssten. Die Kosten für Beschaffung und Herstellung müssten zumindest die Möglichkeit haben, in Zukunft wettbewerbsfähig zu werden. Die Firma erachtet eine Expansion gemeinsam mit Industriepartnern hierbei als erfolgsversprechend,<sup>288</sup> genauso wie die Konzentration auf „grün- orientierte Märkte“ mit hohem Umweltbewusstsein und Zahlungsbereitschaft.<sup>289</sup> *Nanollose Ltd.* und *The Apple Girl* sehen nachhaltige aber kostengünstige Fasern als Grundbedingung an. *ScobyTec* betont hingegen, dass die frühe Produktentwicklung nicht durch Kosten reglementiert werden solle, wenn man etwas in der Welt verändern wolle. Die Firma kommuniziere einen signifikant höheren Preis in der F&E Phase, um die Kaufabsicht der Kunden zu prüfen.<sup>290</sup>

Um Skaleneffekte vom Rohmaterial bis zur Verarbeitung generieren zu können, solle laut *Nanollose Ltd.* in die Verbesserung des Supply Chain Management von Lebensmittelabfällen investiert werden.<sup>291</sup> *ScobyTec* weist darauf hin, dass es die größte Herausforderung bei der Skalierung der Produktion sei, die Fläche in gleichbleibender Qualität herzustellen. Die Eigenschaften der

---

<sup>282</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.3, Z.79-82; Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.9-10, Z.288-293.

<sup>283</sup> Vgl. Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.2, Z.53-54.

<sup>284</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.5-6, Z.152-158; Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.15, Z.477-483; Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.3, Z.69.

<sup>285</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.5-6, Z.152-158; Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.15, Z.477-483.

<sup>286</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.5, Z.127-130.

<sup>287</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.13-14, Z.423-429; S.15, Z.493-495.

<sup>288</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.3, Z.79-82; S.4, Z.102-110; S.3-4, Z.86-89.

<sup>289</sup> Vgl. Ebd., S.5-6, Z.152-158.

<sup>290</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.11, Z.314-318, Z.331-335.

<sup>291</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.3, Z.79-82.



Nährlösung beeinflussten ab einer bestimmten Menge an Bakterienkulturen das Raumklima, was zu einer schnellen Eskalation des Prozesses führen könne.<sup>292</sup> Hinsichtlich der Regulierung und Förderung durch die Industrie sieht *Nanollose Ltd.* ein großes Potential darin, dass globale Textilkonzerne von den neuen Technologien, entwickelt durch Kleinunternehmen als Vorreiter in der Forschung und Entwicklung nachhaltiger Fasern, profitieren könnten.<sup>293</sup> *ScobyTec* sieht die Aufmerksamkeit in der Industrie durch z.B. erste Produktpräsentationen von US Firmen wie *Modern Meadow Inc.*<sup>294</sup> mit einem Investmentkapital von US\$ 60 Mio., die die Diskussion über wirtschaftliche Rentabilität der Biotechnologie Branche anstoßen, als förderlich.<sup>295</sup>

Im Bereich *Sonstige* konnten die Kategorien 26-28 identifiziert werden. *ScobyTec* verweist als einzige Firma auf die kulturelle Bedingtheit von Food Waste Materialien. Durch verschiedene Geruchsaffinitäten in manchen Kulturen könnten Vor- oder Nachteile für bakterielle Cellulose entstehen.<sup>296</sup> Des Weiteren hebt die Firma die dringende finanzielle Unterstützung durch Forschungsgelder hervor, da z.B. eine große Diskrepanz zwischen der Förderung in Deutschland und den USA bestehe.<sup>297</sup> *The Apple Girl* äußert, dass Textilien aus Food Waste definitiv eine Zukunftsperspektive hätten. Die Expertin ging nicht weiter auf eine Diversifikation in der Faserherstellung ein.<sup>298</sup>

Als letzte konnte die Kategorie 29 in dieser Interessengruppe identifiziert werden. *Nanollose Ltd.* sieht einen entscheidenden produktbezogenen Vorteil in der Bakterienzüchtung durch den geringen ökologischen Fußabdruck. Ohne dass Lichtzufuhr benötigt wird, könne durch vertikale Anbaumethoden in Laboren oder Fabriken Platz gespart werden. Die Hitze tropischer Regionen, in denen Faserpflanzen normalerweise nicht wachsen, eigne sich besonders. Dadurch würden größere Anbauflächen und Energieeinsparungen entstehen.<sup>299</sup>

#### *Mitglieder des Richtlinienausschusses des internationalen Verbands der Naturtextilwirtschaft e.V.*

In der Gruppe Mitglieder des Richtlinienausschusses im Bereich *Rohstoff* konnten die Kategorien drei bis fünf identifiziert werden. Die *disana GmbH & Co. KG* (im Folgenden abgekürzt mit *disana*) und die *Engel GmbH* (im Folgenden abgekürzt mit *Engel*) erachten beide das Konkurrenzproblem

---

<sup>292</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.11-12, Z.356-366.

<sup>293</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.7, Z.199-204.

<sup>294</sup> Siehe Kap. 2.3.3.

<sup>295</sup> Vgl. Bernhard Schipper, *ScobyTec*, S.20, Z.650-662, Z.662-667.

<sup>296</sup> Vgl. Ebd., S.13, Z.404-409.

<sup>297</sup> Vgl. Ebd., S.20, Z.638-640, Z.645-654.

<sup>298</sup> Vgl. Hannah Michaud, *The Apple Girl*, S.4, Z.103.

<sup>299</sup> Vgl. Gary Cass, *Nanollose Ltd.*, S.6-7, Z.186-192.

der Flächennutzung als Argument für Food Waste Fasern.<sup>300</sup> Dennoch sieht *disana* die Kernprinzipien des *IVN* wie den kontrolliert biologischen Anbau und den Ausschluss von gentechnisch veränderten Organismen als potentielle Hürden für eine Standardintegration der Materialien. Kontrolliert biologischer Anbau sei definitiv ein Vorteil für Lebensmittelabfälle als Rohstoff, wenn der Bioanbau sogar in der Post-Konsumentenphase nachweisbar wäre. Hierbei bestünden allerdings große Zweifel der Nachweisbarkeit bei z.B. Kaffeesatz von Starbucks sowie Zweifel des Ausschlusses von GVO bei Bakterien- und Pilzeinsätzen.<sup>301</sup> *Engel* ist der Meinung, dass kontrolliert biologischer Anbau hinsichtlich der Neuentwicklung eines Standards für Food Waste Fasern durch den *IVN* nicht als Kriterium gesetzt werden sollte, solange der Bioanbau nicht über alle Recyclingfasern<sup>302</sup> hinweg machbar wäre. Zudem sollte eine Nachweisbarkeit in den Recyclingfasern gegeben sein, was hieße, dass sortenrein recycelt werden würde.<sup>303</sup>

Im Bereich *Herstellung* konnten die Kategorien sechs und sieben identifiziert werden. In Bezug auf einen nachhaltigen Beschaffungs- und Herstellungsprozess erachtet *disana* die Züchtung von bakterieller Cellulose etc. im Labor hinsichtlich der Flächen- und Ressourcenschonung als interessant. Dennoch sollte der Energieaufwand der Abfallverwertung zur Faserherstellung in Relation gesetzt werden.<sup>304</sup> *Engel* macht insbesondere auf das logistische Problem der Abfallsortierung aufmerksam. Eine Vermischung von Abfall aus kontrolliert biologischen Anbau bzw. Tierhaltung und konventionellem Anbau würde dazu führen, dass die Recyclingfaser u.U. nicht sortenrein herstellbar wäre. Zudem könnte die Kompatibilität mit bestehenden Verarbeitungs- und Produktionsanlagen ohnehin ein Problem für die sortenreine Herstellung darstellen, da Recyclinganlagen nur bestimmte Mindestmengen verarbeiten könnten.<sup>305</sup>

Im Bereich *End-of-Use* konnten die Kategorien acht und neun identifiziert werden. *disana* sieht die Kompostierbarkeit als Plus-Punkt in der Entsorgung für Textilien. Da die Aufklärung beim Verbraucher allerdings bisher ein Problem darstelle, sei hier eine marktpsychologische Aufarbeitung notwendig. Zudem fehle es an Infrastruktur für die Kompostierung, was bereits bei den neuen biologisch abbaubaren Plastiktüten zum Hindernis würde.<sup>306</sup>

---

<sup>300</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.14, Z.432-443; Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.18-19, Z.596-602.

<sup>301</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.5, Z.148-152; S.7, Z.196-200; S.15, Z.467-469.

<sup>302</sup> Gabriele Kolompar benannte Biopolymerfasern aus Food Waste im Interview als Recyclingfasern.

<sup>303</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.14, Z.440-446.

<sup>304</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.6, Z.162-167; S.11, Z.332-336.

<sup>305</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.14, Z.447-455; S.15, Z.466-472.

<sup>306</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.9, Z.274-278; S.9-10, Z.287-293.

Im Bereich *Prüfung* konnten die Kategorien 11-13 identifiziert werden. Beide Ausschussmitglieder sind sich darüber einig, dass eine Standardintegration von Food Waste Fasern bzw. Textilien in den IVN BEST, als derzeit höchsten Standard im Bereich Naturtextil, nicht vorstellbar sei.<sup>307</sup> Genau wie etablierte Regeneratfasern auch, würden Biopolymerfasern nicht der Definition des *IVN* von Fasern natürlicher Herkunft entsprechen. In den Standardstatuten würden derzeit Fasern aus natürlichem Rohmaterial, das von Natur aus keine Faser sei, nicht als klassische Naturfaser anerkannt bspw. aufgrund der chemischen Bearbeitung. Zudem sieht *disana* eine klare Unterscheidung zwischen den „klassischen Biotextilstandards“ und dem „neuen Nachhaltigkeitsgedanken“, dennoch bestehe die Notwendigkeit neue Nachhaltigkeitskonzepte in die Richtlinien der Standards einfließen zu lassen.<sup>308</sup> *Engel* sieht vielmehr die Option der Neuentwicklung eines Recyclingstandards durch den *IVN*, vergleichbar mit dem von *Textile Exchange* (Global Recycled Standard (GRS)), in dem die Sortenreinheit als Kriterium gesetzt werden sollte, nicht aber der kontrolliert biologische Anbau. Ein Standard müsse in Bezug auf die Rohstoffgewinnung und Anwendung der Faser umsetzbare und nachprüfbare Kriterien festlegen, um einen Nutzen für die Industrie generieren zu können.<sup>309</sup> Die Breite der Kriterien des Standards bedinge die abgedeckte Produktrange.<sup>310</sup>

Im Bereich *Fasereigenschaften* konnten die Kategorien 14-15 und 17-18 identifiziert werden. Laut *disana* darf im Punkt „Funktionalität und Qualität“ die Eigenschaft der Kompostierbarkeit nicht zulasten der Trageeigenschaften eingeführt werden. Es müsse eine Balance zwischen Abbaubarkeit und Haltbarkeit bzw. Langlebigkeit gefunden werden. Vor diesem Hintergrund erachtet *disana* es als sehr wichtig, dass die Materialien textilphysikalischen Anforderungen wie Schweiß- und Urinresistenz genügen.<sup>311</sup> Als erfolgsversprechende Eigenschaft sieht die Firma dennoch an erster Stelle die Attraktivität des Produktes.<sup>312</sup> Wie Herr Sautter sagte: „Das Produkt müsste „sexy“ sein.“<sup>313</sup> *Engel* äußert in Bezug auf Forschung und Entwicklung, dass eine pflegeleichte und vor allem hautfreundliche Faser als Alternative zur Deckung des hohen globalen Bedarfs benötigt würde.<sup>314</sup>

---

<sup>307</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.12, Z.379-381; Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.13-14, Z.424-435.

<sup>308</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.5, Z.132-141; S.6, Z.171-175.

<sup>309</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.13-14, Z.424-435; S.15, Z.473-477, Z.484-490.

<sup>310</sup> Vgl. Ebd., S.15-16, Z.496-511.

<sup>311</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.10, Z.303-308, Z.312-315.

<sup>312</sup> Vgl. Ebd., S.9, Z.256-259.

<sup>313</sup> Ebd., S.9, Z.259.

<sup>314</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.18, Z.585-589.

Im Bereich *Vermarktung* konnten die Kategorien 19-21 identifiziert werden. Für *disana* stellt die Schwierigkeit der Akzeptanz bei den Konsumenten die Marktfähigkeit von Food Waste Fasern definitiv in Frage. Marktpsychologisch sei es einfacher, wenn Fasern aus einer dem Verbraucher bekannten Quelle kommen. Für die Firma ist es ohnehin zweifelhaft, ob insbesondere Bakterienzüchtung etc. für die Bekleidung akzeptiert werden müssten.<sup>315</sup> Im Punkt „Information und Schulung“ sieht das Unternehmen vor allem Aufklärungsbedarf was Kompostierbarkeit in Bezug auf die Dauer und Prozessbedingungen bedeute.<sup>316</sup>

*Engel* sieht den „Ekelfaktor“ bei Lebensmittelabfällen eher als eine Frage der Kommunikation. Dennoch erforderten sogar Fasern mit funktionalen, erprobten Trageeigenschaften einen hohen Marketingaufwand. Für Materialien mit abweichenden Fasereigenschaften mache dies eine gute Vorausplanung der Kommunikation am Markt unumgänglich.<sup>317</sup>

Im Bereich *Wirtschaftlichkeit* konnten die Kategorien 22-24 identifiziert werden. Hinsichtlich der Marktfähigkeit von Food Waste Materialien am Massenmarkt sieht *Engel* die große Herausforderung relativ preiswerte und einfach reproduzierbare Fasern zu entwickeln. Zudem müssten die Unternehmen eine Einführungs- bzw. Gewöhnungsphase einplanen, die in diesem besonderen Fall u.U. Jahre dauern könne.<sup>318</sup> Hiermit in Zusammenhang betont *Engel*, dass der Herstellungsprozess der Recyclingfasern nicht teurer als der der originären Fasern, z.B. Seide, sein dürfe. Eine Einordnung im massenmarktauglichen Preissegment der Materialien sei hier wichtig.<sup>319</sup> Im Punkt „Skalierung der Produktion“ geht *disana* speziell auf Rohstoffe der dritten Generation ein und macht darauf aufmerksam, dass die Lebensmittel- und Bekleidungsnachfrage der wachsenden Weltbevölkerung wirklich Masse und dementsprechend ausreichend Fläche benötige. Die Firma betont, dass die Größe von Züchtungslaboren für bakterielle Cellulose etc. immens sein müsste, um den Bedarf effektiv decken zu können. *disana* hält es daher für unrealistisch, dass Züchtungsbehälter in warmen Regionen, z.B. Entwicklungsländern, große Märkte mit Fasermaterial bzw. textiler Fläche versorgen könnten.<sup>320</sup> Wie Herr Sautter sagte: „Das ist mir in dem Fall zu viel Science-Fiction“.<sup>321</sup>

Im Bereich *Sonstige* konnten die Kategorien 27-28 identifiziert werden. Beide Unternehmen sind der Ansicht, dass aufgrund des langfristig auftretenden Konkurrenzproblems in der Flächennutzung eine größere Diversifikation in der Faserherstellung angestrebt werden sollte. Auf der einen

---

<sup>315</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.8, Z.224-228, Z.242-247.

<sup>316</sup> Vgl. Ebd., S.9-10, Z.287-293.

<sup>317</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.9, Z.263-273; S.10, Z.296-307.

<sup>318</sup> Vgl. Ebd., S.19, Z.606-613; S.20, Z.634-642.

<sup>319</sup> Vgl. Ebd., S.19, Z.620-629; S.20, Z.634-642.

<sup>320</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.11, Z.332-336, Z.351-354; S.12, Z.367-370.

<sup>321</sup> Ebd., S.12, Z.370.

Seite durch Forschung und Entwicklung alternativer Fasern und auf der anderen Seite durch Betrachtung vergessener Fasern wie Leinen und Hanf.<sup>322</sup> Zusätzlich weist *disana* darauf hin, dass sie erwarten würden, dass Baumwolle erst mittelfristig in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion trete und Hanf, wenn überhaupt, auf lange Sicht. Die Firma begründet die Annahme u.a. damit, dass zumindest in Europa bisher kein Flächenproblem bestehe, da die EU Politik derzeit mehr Agrarfläche pro Jahr stilllege, als neu dazugewonnen würde.<sup>323</sup>

Dadurch, dass der Bedarf an Fasern zukünftig nicht nur von Naturfasern gedeckt werden könne, weist *disana* darauf hin, dass sich der *IVN* langfristig anpassen müsse. Da die Färbung und Ausrüstung etc. von Food Waste Materialien ebenfalls ökologischen und sozialen Kriterien unterliegen sollte, wären diese Textilien ebenfalls zu zertifizieren und damit wäre eine Standardneuentwicklung durch den *IVN* denkbar.<sup>324</sup>

Als letzte Kategorie konnte Kategorie 30 in dieser Interessengruppe identifiziert werden. Nahrungsmittelrecycling entspricht *Engels* Philosophie, sodass sie eine Faser mit Aussicht auf Erfolg unternehmensintern testen würden.<sup>325</sup>

#### *Modelabels des internationalen Verbands der Naturtextilwirtschaft e.V.*

In der Gruppe Modelabels des *internationalen Verbands der Naturtextilwirtschaft e.V.* im Bereich *Rohstoff* konnten die Kategorien eins und vier identifiziert werden. Sowohl *Wunderwerk* als auch *Engel* erachten die Verfügbarkeit von Mindestbestellmengen der Rohmaterialien als essentiell wichtig.<sup>326</sup> *Wunderwerk* betont, dass Food Waste Fasern, besonders von großen Herstellern, erst richtig getestet werden könnten, wenn relevante Mengen am Markt verfügbar wären.<sup>327</sup> Zusätzlich weist *Engel* darauf hin, dass eine regelmäßige Verfügbarkeit, was hieße nicht saisonbedingt o.ä., eine große Relevanz habe.<sup>328</sup> Wie bereits erläutert, sieht *Engel* derzeit eine große Schwierigkeit des kontrolliert biologischen Anbaus und der Zertifizierung dessen bei Abfallprodukten und sieht dies deshalb vorerst nicht als Voraussetzung.<sup>329</sup> Für *Wunderwerk* stellt der ökologische Anbau eine notwendige Bedingung dar. Die Firma sieht insbesondere ein großes Problem bei dem weit

---

<sup>322</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.14, Z.432-443; Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.18, Z.566-584.

<sup>323</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.14, Z.432-443, Z.452-459.

<sup>324</sup> Vgl. Elmar Sautter, *disana GmbH & Co. KG*, S.12-13, Z.382-398.

<sup>325</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.20, Z.649-652.

<sup>326</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.4-5, Z.115-120; Heiko Wunder, *Wunderwerk*, S.10, Z.320-323.

<sup>327</sup> Vgl. Heiko Wunder, *Wunderwerk*, S.10, Z.320-323.

<sup>328</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.13, Z.394-396.

<sup>329</sup> Vgl. Ebd., S.5, Z.120-124; S.14, Z.440-446.

verbreiteten Einsatz von Pestiziden, die im Normalfall, bei Ananas oder Trauben etc. durchgeführt würde.<sup>330</sup>

Im Bereich *Herstellung* konnten die Kategorien sechs und sieben identifiziert werden. *Engel* setzt eine Herstellung mit geringem Energie- und Wasseraufwand voraus, um in Richtung einer Kreislaufwirtschaft gehen zu können. Erreicht werden könnte dies durch eine Beschaffung und Herstellung in Regionen mit optimalen Bedingungen für die Rohstoffqualität und einem nachhaltigen Sourcing.<sup>331</sup> Beispielsweise in der Bakterien- und Pilzmaterialherstellung in warmen Regionen, z.B. Entwicklungsländern, sehe *Engel* hinsichtlich der Industrialisierung zusätzlich großes ökologisches als auch soziales Potential.<sup>332</sup> Sowohl *Engel* als auch *Wunderwerk* sehen umfassende Informationen über den Prozessablauf als essentiell wichtigen Faktor an, wie bspw. die CO<sup>2</sup> Bilanz des Prozesses, die Art und Umweltfreundlichkeit der Ausrüstung und Färbung sowie Informationen über das Lösungsverfahren mit dem die Fasern aus den Abfallstoffen wie Orangenschalen, Kokosshalen etc. gewonnen würden.<sup>333</sup>

*Wunderwerk* geht insbesondere auf die Maschinenkompatibilität der Materialien auf gegenwärtigen Webstühlen bzw. Strickmaschinen ein. Die Kompatibilität bedinge die effiziente nachhaltige Produktion; und die Wirtschaftlichkeit der Herstellung bedinge wiederum den Preis und die Marktfähigkeit der Produkte. In diesem Zusammenhang hebt *Wunderwerk* die Grundvoraussetzung der Herstellbarkeit des Materials in Meterware hervor. Außerdem macht er darauf aufmerksam, dass erste Testläufe auf den genannten Verarbeitungsanlagen ebenfalls nur mit bestimmten Mindestmengen an Rohstoff möglich seien.<sup>334</sup>

Im Bereich *End-of-Use* konnte die Kategorie acht identifiziert werden. Laut *Engel* sollte die Wiederverwertung in Kreisläufen grundsätzlich der Entsorgung vorgezogen werden, wie z.B. Kompostierung, Verbrennung oder Deponierung. Die Komponententrennung bei Bekleidung stelle bereits das erste große Problem bei der Kompostierung dar.<sup>335</sup> *Wunderwerk* hingegen betont, dass keine pauschale Antwort auf die Priorisierung von entweder Wiederverwertbarkeit oder Kompostierbarkeit gegeben werden könne. Dies müsse in Abhängigkeit des Produktes entschieden werden. Dennoch sieht auch *Wunderwerk* Schwierigkeiten bei der Kompostierung. Zunächst müsse der Einfluss auf die Langlebigkeit des Produktes betrachtet und dementsprechend in Abhängigkeit der erwarteten Tragedauer des Kleidungsstückes (z.B. T-Shirt vs. Jeans) gesetzt werden.

---

<sup>330</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.15-16, Z.496-504.

<sup>331</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.6-7, Z.184-195; S.7, Z.208-214.

<sup>332</sup> Vgl. Ebd., S.8, Z.223-228.

<sup>333</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.6-7, Z.184-195; S.8, Z.238-254; Heiko Wunder, Wunderwerk, S.15-16, Z.496-504.

<sup>334</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.10-11, Z.323-335; S.11, Z.350-356; S.12, Z.382-383, 383-387.

<sup>335</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.11, Z.327-339.

Des Weiteren weist die Firma auf den Unterschied zwischen der Industriekompostierung und der Kompostierbarkeit auf dem Komposthaufen im Garten hin sowie auf das Problem der Komponententrennung.<sup>336</sup>

Im Bereich *Prüfung* konnten die Kategorien 10-11 und 13 identifiziert werden. Für *Engel* als Modelabel wäre eine ökologische sowie soziale Zertifizierung der Abfallprodukte eine Grundvoraussetzung.<sup>337</sup> Die Firma weist darauf hin, dass Lebensmittel ohnehin kritisch seien was Schadstoffe angehe, weshalb eine Rückstandsprüfung gesundheitsschädlicher Schadstoffe insbesondere für hautnahe Textilien notwendig sei. Falls diese Hautverträglichkeit nicht einzuhalten sein sollte, wäre eine alternative Verwendung der Materialien als Heimtextil (ausgeschlossen Bettwäsche etc.) denkbar.<sup>338</sup> Beide Labels könnten sich im Rahmen einer Standardneuentwicklung durch den *IVN* eine Art Unbedenklichkeitsbescheinigung vorstellen, was hieße ein Zertifikat, das die Sortenreinheit und den Ausschluss einer sekundären Kontamination sichern würde.<sup>339</sup> *Wunderwerk* fügt hier noch die Festlegung des Chemikalieneinsatzes in der Verarbeitung durch den Standard hinzu.<sup>340</sup>

Im Bereich *Fasereigenschaften* konnten die Kategorien 14-17 identifiziert werden. Im Punkt „Funktionalität und Qualität“ erachtet *Engel* Komfort, Wohlgefühl und den ökologischen Mehrwert der Fasern als wichtigste Voraussetzung.<sup>341</sup> Des Weiteren sei die Stapellänge der Fasern für die Hautverträglichkeit und Bequemlichkeit entscheidend sowie der Mode Grad des Materials.<sup>342</sup> Zudem müsse die Verarbeitbarkeit inkl. der Färbbarkeit und Ausrüstbarkeit gegeben sein sowie eine möglichst einfache und unproblematische Pflege des Materials.<sup>343</sup> *Wunderwerk* nennt in diesem Zusammenhang die Standfestigkeit bzw. Flexibilität des Materials, die das Schneiden des Stoffes zulasse, sowie Softness und eine nachhaltige Pflegeeigenschaft als entscheidende Faktoren. Außerdem betont das Label, dass Food Waste Fasern nicht nur aus Marketinggründen auf den Markt gelangen dürften ohne nachgewiesene Funktionalität.<sup>344</sup> Beide Labels erachten textilphysikalische Anforderungen wie Echtheiten z.B. Licht,- Speichel,- Urin,- Wasch,- und Farbechtheit, Temperatur- und Feuchtigkeitsregulierung sowie gutes Pillingverhalten als sehr wichtig.<sup>345</sup> Zudem

---

<sup>336</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.18, Z.583-585, 590-592; S.18, Z.601-607; S.19, Z.620-621.

<sup>337</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.5, Z.120-124.

<sup>338</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.6, Z.155-171.

<sup>339</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.12, Z.389-391; Heiko Wunder, Wunderwerk, S.21, Z.705-709.

<sup>340</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.25, Z.820-823.

<sup>341</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.10, Z.308-311.

<sup>342</sup> Vgl. Ebd., S.5, Z.129-137; S.8, Z.238-254.

<sup>343</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.13, Z.404-406.

<sup>344</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.13, Z.411-413, Z.416-420, Z.421-423; S.27, Z.893-901.

<sup>345</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.8, Z.238-254; S.13, Z.406-415; Heiko Wunder, Wunderwerk, S.13, Z.416-420.

betont *Engel*, dass es von Relevanz sei, ob die Fasern sortenrein eingesetzt werden könnten oder ob z.B. eine synthetische Beimischung benötigt würde, um die Funktionalität zu gewährleisten.<sup>346</sup> *Wunderwerk* schließt die Anwendung von Fasern aus Lebensmittelabfällen, sofern sie mit synthetischen Komponenten gemischt würden, komplett aus.<sup>347</sup>

Das Label *Wunderwerk* sieht generell sowohl konventionelle als auch neue Fasereigenschaften als wünschenswert. Die Priorität liege aber derzeit auf der Erforschung nachhaltiger Alternativen für unverzichtbare Fasern wie z.B. Elastan. Für Food Waste Materialien sieht *Wunderwerk* eine Wettbewerbsfähigkeit nur dann, wenn eine Anpassung an den Markt, was hieße an die Performance gegenwärtig verfügbarer Fasern, angestrebt werde. Potential könne man sich zunächst vorstellen in der Anwendung als Leder,- bzw. Wildlederersatzmaterial anstatt der gegenwärtigen Kunststoffoptionen bspw. bei Accessoires wie Lederpatches.<sup>348</sup> *Engel* sieht mit neuen Fasereigenschaften eine große Schwierigkeit der Kommunikation am Markt. Der entscheidende Faktor sei hier der Tragekomfort.<sup>349</sup>

Im Bereich *Vermarktung* konnten die Kategorien 19-21 identifiziert werden. Das Label *Engel* macht darauf aufmerksam, dass der Handel eine der wichtigsten Stakeholder Gruppen darstelle. Die Skepsis des Handels müsse noch vor der Skepsis der Verbraucher überwunden werden. Das Produkt müsse attraktiv sein und in die Produktpalette des Händlers passen, um ihn zu überzeugen. Zudem seien ein angemessener Preis und die Unterstreichung seines Images durch das Produkt von Relevanz. *Engel* betont, dass der Handel einbezogen und informiert werden müsse, denn das Verkaufsargument sei das Bindeglied zwischen Hersteller und Verbraucher. Der Händler müsse gewillt sein, das Produkt zu erklären und zu vermarkten.<sup>350</sup> Beide Unternehmen sind der Meinung, dass Information und Schulung eine entscheidende Rolle spielten, denn wenig informierte Konsumenten seien ein generelles Problem. *Engel* hebt die Notwendigkeit von Information und Aufklärung über die Herstellung der Materialien hervor, während *Wunderwerk* die Bedeutung von Kompostierbarkeit bei Food Waste Fasern bezüglich der Dauer und Prozessbedingungen als besonders wichtig erachtet.<sup>351</sup>

*Engel* erklärt, dass der Handel von der Attraktivität und Nachhaltigkeit des Produktes durch Marketing überzeugt werden müsse. Inverkehrbringer könnten das Produkt zunächst ihrem Kundenkreis anbieten und diese überzeugen.<sup>352</sup> *Wunderwerk* gibt im Punkt „Marketing“ das Beispiel von

---

<sup>346</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.8, Z.238-254.

<sup>347</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.2, Z.46-49.

<sup>348</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.11, Z.350-356; S.14, Z.447-453; S.26, Z.870-875.

<sup>349</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.10, Z.296-307.

<sup>350</sup> Vgl. Ebd., S.16, Z.524-529; S.17, Z.534-540; S.17, Z.548-553.

<sup>351</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.17, Z.555-561; Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.10, Z.296-307; Heiko Wunder, Wunderwerk, S.18, Z.583-585.

<sup>352</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.17, Z.534-540.



der Marke QMILK®. Die Marktpräsenz von QMILK® Fasern sei nur kurzweilig gewesen. Es sei nicht bekannt, wo die Fasern erhältlich seien und keine Informationen über Funktionalität und Pflege (insbesondere über das Bügeln der Proteinfasern) seien bekannt.<sup>353</sup>

Im Bereich *Wirtschaftlichkeit* konnten die Kategorien 22-23 und 25 identifiziert werden. *Wunderwerk* erachtet es als sehr gut, dass die Industrie überhaupt etwas unternahme und ausprobiere, wie bspw. das Projekt von SOYA C(O)U(L)TURE in Indonesien. Es sei dennoch wichtig, dass die Hersteller nicht das volle Risiko übernehmen müssten. Die Faser müsse marktfähig sein. Was bedeute, dass sie entwickelt und getestet sei sowie unabhängig von der Nachhaltigkeit funktioniere.<sup>354</sup> Das Label vertritt aber auch die Meinung, dass wenn die Marktfähigkeit von Food Waste Fasern und Textilien gegeben sei, diese Materialgruppe eine Chance bekommen müsse, denn sie bürge ein Potential für die Zukunft.<sup>355</sup> *Engel* sieht die Akzeptanz des Produkts vom Handel und die Belegung von genügend Verkaufsfläche als besonders große Herausforderung, um Marktfähigkeit zu erreichen. Letztendlich sei der Preis entscheidend.<sup>356</sup>

Des Weiteren merkt *Wunderwerk* an, dass der aktuell wachsende Druck auf die Industrie Reaktionen hervorrufen würde bzw. teilweise bereits hervorgerufen habe. Das Label erwartet, dass auch Großkonzerne, die derzeit unter Beschuss stünden, wie z.B. *H&M* oder *PRIMARK*, schnell bei solchen innovativen Fasern einsteigen würden - sofern sie marktfähig wären. Dennoch sei die Bioökonomie letztendlich auch nur eine Frage des Geldes.<sup>357</sup>

Im Bereich *Sonstige* konnten die Kategorien 26 und 28 identifiziert werden. Das Label *Engel* betrachtet Alkoholabfälle, z.B. aus der Wein- und Bierherstellung, als besonders kritisch.<sup>358</sup> Dieser Punkt lässt sich unter der Kategorie „kulturelle Bedingtheit“ einordnen. *Wunderwerk* sieht politische Unterstützung durch positiven Druck in der Industrie in Form von bspw. Belohnungen für Forschung und Entwicklung neuer nachhaltiger Fasern und Textilien, als einen Erfolgsfaktor.<sup>359</sup>

Als letztes konnte in dieser Interessengruppe die Kategorie 30 im Bereich Unternehmen identifiziert werden. *Engel* äußert, dass ein unternehmensinterner Erfolgsfaktor für Food Waste Materialien die unternehmensinterne Prüfung der produktbezogenen Anwendbarkeit der Rohstoffe für

---

<sup>353</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.17, Z.555-561.

<sup>354</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.16, Z.527-533; S.26, Z.866-870.

<sup>355</sup> Vgl. Ebd., S.26-27, Z.879-883; S.27, Z.912-916.

<sup>356</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.10, Z.296-307; S.17, Z.534-540.

<sup>357</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.3, Z.72-76; S.27, Z.912-916.

<sup>358</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, Engel GmbH, S.10, Z.296-307.

<sup>359</sup> Vgl. Heiko Wunder, Wunderwerk, S.26-27, Z.879-883.

Garn, Stoff und Verarbeitung etc. sei.<sup>360</sup> *Wunderwerk* betont, dass das Unternehmen neben *Dry-korn*, *Closed* und *Marco Polo* anstatt *hessnatur* bestehen wolle. Solange das Produkt nicht marktfähig sei – also entwickelt und getestet, würden sie sich daher nicht darauf stürzen. *Wunderwerk* beobachte die Entwicklungen mit Vorsicht und Zurückhaltung.<sup>361</sup>

---

<sup>360</sup> Vgl. Gabriele Kolompar, *Engel GmbH*, S.12-13, Z.392-394.

<sup>361</sup> Vgl. Heiko Wunder, *Wunderwerk*, S.26, Z.870-875; S.27, Z.893-901.

### 3.4 Auswertung der Literaturrecherche

In diesem Abschnitt wird die Literaturrecherche hingehend der Identifikation von Erfolgsfaktoren ausgewertet.

Tab.4 verdeutlicht, dass in der Literaturrecherche vier neue Kategorien und 15 zusätzliche Aspekte zu bestehenden Kategorien identifiziert werden konnten.

Tabelle 4.: Induktive Kategorienbildung aus der Literaturrecherche<sup>362</sup>

Bereich	#	Kategorie	Dammer, L. et al. (2017): trends bio-based industries EU	Aboutbiosynthetic s (2018a, 2018b und 2018c): Webseite und Quick Guide; OECD (2010): Industrial Biotechnology	Kretschmer, B et al. (2013): Technology options for Recycling	McEachran (2015): Wo uld you wear a wedding dress made from fungus?
Rohstoff	1.	Verfügbarkeit von Lebensmittelabfällen			●	
	2.	Abfallverwertung entlang der Nahrungsmittellieferkette			●	
	3.	Abfallstoffe anstatt Nutzpflanzenkulturen				
	4.	Kontrolliert biologischer Anbau bzw. Tierhaltung				
	5.	Gentechnisch veränderte Organismen (GVO)		●		
Herstellung	6.	Nachhaltiger Beschaffungs- und Herstellungsprozess			●	
	7.	Kompatibilität mit bestehenden Verarbeitungs- und Produktionsanlagen				
	8.	Entwicklung neuer Verarbeitungs- und Produktionsanlagen			●	
End-of-Use	9.	Entsorgung		●		●
	10.	Entsorgungssystem		●		
Prüfung	11.	Rückstandsprüfung		●		
	12.	Zertifizierung allgemein		●		
	13.	Standardintegration IVN				
	14.	Standardneuentwicklung IVN für Food Waste Fasern				
Allgemeine Umweltauswirkungen	15.	Lebenszyklusanalyse		●		
	16.	Organische Bodensubstanz (OBS)			●	
	17.	Mikroplastikproblematik	●			
Fasereigenschaften	18.	Funktionalität und Qualität				●
	19.	Textilphysikalische Anforderungen				
	20.	Fasermischungen				
	21.	Vergleichbarkeit mit gegenwärtig am Markt verfügbaren Fasern und Materialien		●		
	22.	Forschung und Entwicklung				
Vermarktung	23.	Akzeptanz auf dem Markt				●
	24.	Information und Schulung				
	25.	Marketing				
Wirtschaftlichkeit	26.	Marktfähigkeit		●	●	
	27.	Preis				
	28.	Skalierung der Produktion		●		
	29.	Regulierung und Förderung durch die Industrie				
Sonstige	30.	Kulturelle Bedingtheit				
	31.	Diversifikation in der Faserherstellung				
	32.	Regulierung und Förderung durch die Politik	●			
Produkt	33.	Produktbezogener individueller Erfolgsfaktor				
Unternehmen	34.	Unternehmensinterner individueller Erfolgsfaktor				

<sup>362</sup> Quelle: Eigene Darstellung.

Im Folgenden wird die Auswertung der Literaturrecherche entlang der einzelnen Literaturquellen durchgeführt. Hierbei werden die identifizierten Unterkategorien des jeweiligen Bereichs den Erfolgsfaktoren zugeordnet.<sup>363</sup>

Das *Nova Institut* behandelt in seinem Report „Current situation and trends of the bio-based industries in Europe with a focus on bio-based materials“ u.a. das Potential von Biopolymeren in der Textilindustrie.

Laut dem Institut stelle insbesondere die Entwicklung einer europäischen Textilfaser-Strategie, die festlegt, welche Faserstoffe zukünftig verwendet werden sollten, eine Grundvoraussetzung für eine zukunftsweisende nachhaltige Textilindustrie dar. Ob Fasern petrochemischer Natur, Baumwolle, neue Biopolymerfasern oder nachhaltig hergestellte Cellulosefasern aus europäischen Wäldern eingesetzt werden sollten, seien Entscheidungen, die hier zu treffen seien.<sup>364</sup> Aus diesem Erfolgsfaktor lässt sich die Kategorie „Regulierung und Förderung durch die Politik“ unter dem Bereich *Sonstige* ableiten. Des Weiteren könne durch das zunehmende Mikroplastikproblem eine zusätzliche Nachfrage nach biobasierten und biologisch abbaubaren Textilien entstehen. Das *Nova Institut* macht darauf aufmerksam, dass sich nicht biologisch abbaubare Fasern durch den Waschvorgang in der Maschine in der Umwelt und schließlich in Ozeanen und Fischen ansammeln. Unter der Voraussetzung der angemessenen biologischen Abbaubarkeit könnten einige Biopolymerfasern potentiell in Süßwasser wie auch im Ozean biologisch abgebaut werden und damit zur Vermeidung dieses Problems beitragen.<sup>365</sup> Aus diesem Erfolgsfaktor lässt sich die Kategorie „Mikroplastikproblematik“ unter dem neuen Bereich *allgemeine Umweltauswirkungen* ableiten.

Die vom *Textile Exchange* Netzwerk kürzlich veröffentlichte Webseite *Aboutbiosynthetics.org* (inkl. des Quick Guides to Biosynthetics) ist eine der ersten Plattformen, die einen Überblick über Biopolymere in der Textilindustrie bietet.

Das *Textile Exchange* Netzwerk sowie die *Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)* machen darauf aufmerksam, dass die Verwendung von genmanipulierten Organismen, in Bezug auf die Verwendung in der Agrarwirtschaft oder als Ausgangsmaterial für industrielle biotechnologische Verfahren, umstritten sei.<sup>366</sup> Insbesondere berge die Anwendung in Zusammenhang mit Rohstoffen der dritten Generation z.B. ethische Bedenken. Auf der Plattform *Aboutbiosynthetics.org* wird betont, dass es von großer Wichtigkeit sei dieses Thema zukünftig

---

<sup>363</sup> Siehe außerdem Appendix f) „Erfolgsfaktorenraaster der Literaturrecherche“.

<sup>364</sup> Vgl. Dammer, L. et al. (2017): S.29.

<sup>365</sup> Vgl. Ebd., S.28.

<sup>366</sup> Vgl. OECD (2010): Outlook on Industrial Biotechnology, S.9; Aboutbiosynthetics.org (2018b): S.18.

im größeren Rahmen zu behandeln.<sup>367</sup> Aus diesem Erfolgsfaktor lässt sich die Kategorie „Genetisch veränderte Organismen“ unter dem Bereich *Rohstoff* ableiten.

Da nicht alle Biopolymere kompostierbar bzw. biologisch abbaubar seien und es bisher an angemessener Infrastruktur fehle, ist die Kompostierung laut *Textile Exchange* nicht die präferierte End-Of-Life Option. Das Netzwerk erachtet Recycling und Upcycling als erfolgversprechendste Form der Entsorgung.<sup>368</sup> Zudem sei es eine essentielle Voraussetzung die Bedenken hingehend der Kompost- und Recyclinginfrastrukturen für Biopolymere anzugehen. Nicht alle geographischen Regionen betrieben Industriekompostanlagen oder die Kompatibilität mit den bestehenden Anlagen sei nicht gegeben. Um die Vorteile von Biopolymeren zu maximieren und die Marktfähigkeit zu gewährleisten, sei eine Kombination aus politischen Anreizen und Regulierungen, privat-öffentlichem Engagement und Entwicklungen der Industrie erforderlich.<sup>369</sup> Aus diesen Erfolgsfaktoren lassen sich die Kategorien „Entsorgung“, „Entsorgungssystem“ im Bereich *End-Of-Use* sowie die Kategorie „Marktfähigkeit“ im Bereich *Wirtschaftlichkeit* ableiten.

Die umfassende Überwachung der Lieferkette und somit die Produktsicherheit seien eine Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Textilindustrie laut *Textile Exchange*. Somit würden Biopolymere, die nach einem Nachhaltigkeitsstandard produziert würden, wie z.B. dem Content Claim Standard (CCS), entlang der Lieferkette rückverfolgt. Die Entwicklung von Tools und Standards würden von der Nachfrage auf dem Markt und Akzeptanz in der Industrie angetrieben werden.<sup>370</sup> Aus diesem Erfolgsfaktor lässt sich die Kategorie „Zertifizierung allgemein“ im Bereich *Prüfung* ableiten.

Auf der Plattform *Aboutbiosynthetics.org* wird des Weiteren die Sammlung und Auswertung von Messgrößen und Lebenszyklusdaten für Biopolymerfasern als die wichtigste Voraussetzung erachtet. Die Analysen müssten das Niveau der für etablierte nachhaltige Fasern entwickelten Lebenszyklusanalysen erreichen. Die Quantifizierung der Auswirkungen auf die Umwelt würde helfen, die Vorteile der biosynthetischen Fasern aufzuzeigen und sie in dem vom *Textile Exchange* Netzwerk entwickelten Preferred Fiber Portfolio<sup>371</sup> aufzunehmen. Es bestünde bereits ein stetig wachsendes Portfolio an Ökobilanzen, auf denen die Analyse der Auswirkungen von Biopolymeren aufgebaut werden könne. Dennoch bestünden für Fasern in einem solchen frühen Entwicklungsstadium noch Probleme bezüglich der Messgrößen, wie z.B. die Tiefe der untersuchten Arbeiten, Methodologie und Rahmensetzung der Analysen und die Bandbreite der Daten zur Darstellung von regionalen Unterschieden. Darüber hinaus stelle das Fehlen standardisierter LCA-

---

<sup>367</sup> Vgl. *Aboutbiosynthetics.org* (2018b): S.18.

<sup>368</sup> Vgl. *Aboutbiosynthetics.org* (2018a).

<sup>369</sup> Vgl. *Aboutbiosynthetics.org* (2018b): S.18.

<sup>370</sup> Vgl. Ebd., S.21.

<sup>371</sup> Siehe Preferred Fiber Market Reports des Textile Exchange Netzwerks

Benchmarks für etablierte Kunstfasern eine Hürde für die Vergleichbarkeit mit Biopolymerfasern und das Ziehen von Rückschlüssen auf deren Nachhaltigkeit dar.<sup>372</sup> Aus diesem Erfolgsfaktor lässt sich die Kategorie „Lebenszyklusanalyse“ unter dem neuen Bereich *allgemeine Umweltauswirkungen* ableiten.

Sowohl die *OECD* als auch *Textile Exchange* weisen zudem darauf hin, dass die Kostenunterschiede zwischen Ölpreisen und biobasierten Rohstoffpreisen die Wettbewerbsfähigkeit der Umstellung auf industrielle Biotechnologien beeinflussen würden.<sup>373</sup> Dennoch erachtet es z.B. das *Textile Exchange* Netzwerk als erfolgsversprechend, dass sich Hersteller und Händler mit biobasierten Polymeren beschäftigten anstatt sie mit erdölbasierten Materialien zu vergleichen. Die Materialien versprechen geringere Schadstoffemissionen und neue Eigenschaften. Ein früher Beginn mit strategischer Entwicklungsarbeit würde Skaleneffekte und ein diversifiziertes kommerzielles Portfolio sicherstellen, um auf steigende Preise von Erdöl bzw. erdölbasierten Polymeren vorbereitet zu sein.<sup>374</sup> Aus diesen Erfolgsfaktoren lassen sich die Kategorien „Vergleichbarkeit mit gegenwärtig am Markt verfügbaren Materialien“ im Bereich *Fasereigenschaften* und „Skalierung der Produktion“ im Bereich *Wirtschaftlichkeit* ableiten.

Die Studie „Recycling agricultural, forestry & food wastes and residues for sustainable bioenergy and biomaterials“ des *Institute for European Environmental Policy (IEEP)* macht auf eine Bandbreite an Faktoren aufmerksam, die die Mobilisierung von landwirtschaftlichen Reststoffen und Lebensmittelabfällen als effiziente Ressource für biobasierte Materialien bedingen.

Laut dem Institut gäbe es zwei übergreifende Herausforderungen für die Verwertung von natürlichen Rückständen auf den Agrarflächen. Zunächst seien die Transportkosten sehr hoch, da die Rückstände hochgradig verstreut lägen sowie ein großes Volumen aber einen niedrigen Wert hätten. Dies begrenze den Bereich, über den sie wirtschaftlich zur Verarbeitung gesammelt werden könnten und setze die Voraussetzung, dass Verarbeitungsbetriebe optimal lokalisiert seien. Diese Mobilisierung der Rohmaterialien erfordere angemessene Investitionen in Maschinen und Geräte, was kooperative Maßnahmen oder spezialisierte Auftraggeber bedürfe. Zweitens gebe es bereits etablierte Praktiken und Verwendungen der Reststoffe, insbesondere zur Anreicherung des Nährstoffgehalts im Boden, es bestünde daher das Risiko der schädlichen Verringerung der organischen Bodensubstanz (OBS) mit Folgewirkungen einer geringeren Bodenfunktionalität und Biodiversität sowie ein Erosionsrisiko.<sup>375</sup> Aus diesen Erfolgsfaktoren lassen sich die Kategorie „Nachhaltiger Beschaffungs- und Herstellungsprozess“ und die neue Kategorie „Entwicklung

---

<sup>372</sup> Vgl. [aboutbiosynthetics.org](http://aboutbiosynthetics.org) (2018c): Home.

<sup>373</sup> Vgl. *OECD* (2010): S.8; [aboutbiosynthetics.org](http://aboutbiosynthetics.org) (2018b): S.6.

<sup>374</sup> Vgl. [aboutbiosynthetics.org](http://aboutbiosynthetics.org) (2018b): S.6.

<sup>375</sup> Vgl. Kretschmer, B. et al. (2013): S.5ff.

neuer Verarbeitungs- und Produktionsanlagen“ im Bereich *Herstellung* sowie „Organische Bodensubstanz“ im Bereich *allgemeine Umweltauswirkungen* ableiten.

Laut dem *IEEP* trügen vier Faktoren zur Schwierigkeit der Mobilisierung von Food Waste als Rohstoffquelle bei. Erstens erschwere das Fehlen einer global harmonisierten Definition von Food Waste die Regulierung. Zweitens sei es schwierig eine routinemäßige und umfassende Trennung von Lebensmittelabfällen von anderen Abfällen, insbesondere auf Haushaltsebene, herbeizuführen. Des Weiteren erzeuge der Umgang mit den diffusen Quellen von Lebensmittelabfällen von diversen Herstellern, Einzelhändlern, Gastronomiebetrieben und öffentlichen Einrichtungen aber vor allem Haushalten hohe Kosten. Viertens könne die Vermeidung von Lebensmittelabfällen als primäres Food Waste Management Ziel in der EU und den USA zu einer erheblichen Reduzierung von Lebensmittelabfällen führen, was zu der Unsicherheit über die zukünftige Verfügbarkeit dieses Abfallstroms beitragen würde und somit Investitionen hemmen könnte.<sup>376</sup> Aus diesen Erfolgsfaktoren lassen sich die Kategorien „Verfügbarkeit von Lebensmittelabfällen“ und „Abfallverwertung entlang der Nahrungsmittel-Lieferkette“ im Bereich *Rohstoff* ableiten.

Zudem weist die *IEEP* darauf hin, dass sowohl die landwirtschaftlichen Reststoffe sowie Nahrungsmittelabfälle eine Form physischer Vorbehandlung benötigen würden, wie z.B. Sortierung von Komponenten, Trocknung, Zerkleinerung und Pelletierung. Aus diesem Erfolgsfaktor kann die Kategorie „Entwicklung neuer Verarbeitungs- und Produktionsanlagen“ im Bereich *Herstellung* abgeleitet werden.

Das *IEEP* fasst zusammen, dass das Erfolgspotential von biobasierten Materialien aus Abfallstoffen durch die Masse und Art der verfügbaren Abfallstoffe, politik- und marktgetriebene Nachfrage der Produkte sowie auf dieser Ebene getroffene Investitions- und Produktionsentscheidungen bedingt würde. Unter der Voraussetzung umfassender Transparenz und unter Garantie des Umweltschutzes solle die Entwicklung des Sektors unterstützt werden.<sup>377</sup> Aus dieser Zusammenfassung kann zusätzlich die Kategorie „Marktfähigkeit“ im Bereich *Wirtschaftlichkeit* abgeleitet werden.

Der Artikel „Would you wear a wedding dress made from fungus?“ aus der britischen Tageszeitung *The Guardian* untersucht das Potential der Zusammenführung von Biotechnologie und Fashion.

Laut des Berichts habe die Züchtung von Bekleidung, wodurch die Abmessungen und Spezifikationen exakt auf die des Herstellers zugeschnitten werden könnten, großes Potential. Textilien

---

<sup>376</sup> Vgl. Kretschmer, B. et al. (2013): S.5ff.

<sup>377</sup> Vgl. Ebd., S.5ff.

aus Bakterien und Pilzen könnten für One-Time-Use Objekte eingesetzt werden, um eine angemessene Lebensdauer der Materialien zu erreichen. Das Hochzeitskleid stelle z.B. ein gutes Beispiel für ein einmal verwendetes, energieintensives und vollkommen nicht nachhaltiges Kleidungsstück dar. Aus diesen Erfolgsfaktoren kann die Kategorie „Entsorgung“ im Bereich *End-of-Use* und die Kategorie „Funktionalität und Qualität“ im Bereich *Fasereigenschaften* abgeleitet werden.

Dennoch gäbe es bisher große Zweifel darüber, ob die Menschen etwas tragen würden, das aus Abfall hergestellt wurde. Die durchgeführte Umfrage zeige, dass viele sich mit der Idee nicht wohl fühlen würden. Ein Befragter hätte gesagt, dass es sei, als würde man sich nach dem Bad wieder schmutzige Kleidung anziehen. Andere hätten gesagt, dass der Gedanke daran ihre Haut kribbeln lasse. Jedoch vertrat auch ein Befragter die Meinung, dass wir ja bereits Seide tragen würden - ein von einem Wurm ausgeschiedenes Protein. Also sollten wir keine Bedenken haben, aus Bakterien gezüchtete Kleidung zu kaufen. Aus diesem Erfolgsfaktor kann die Kategorie „Akzeptanz auf dem Markt“ im Bereich *Vermarktung* abgeleitet werden.<sup>378</sup>

---

<sup>378</sup> Vgl. McEachran (2015): Would you wear a wedding dress made from fungus?.



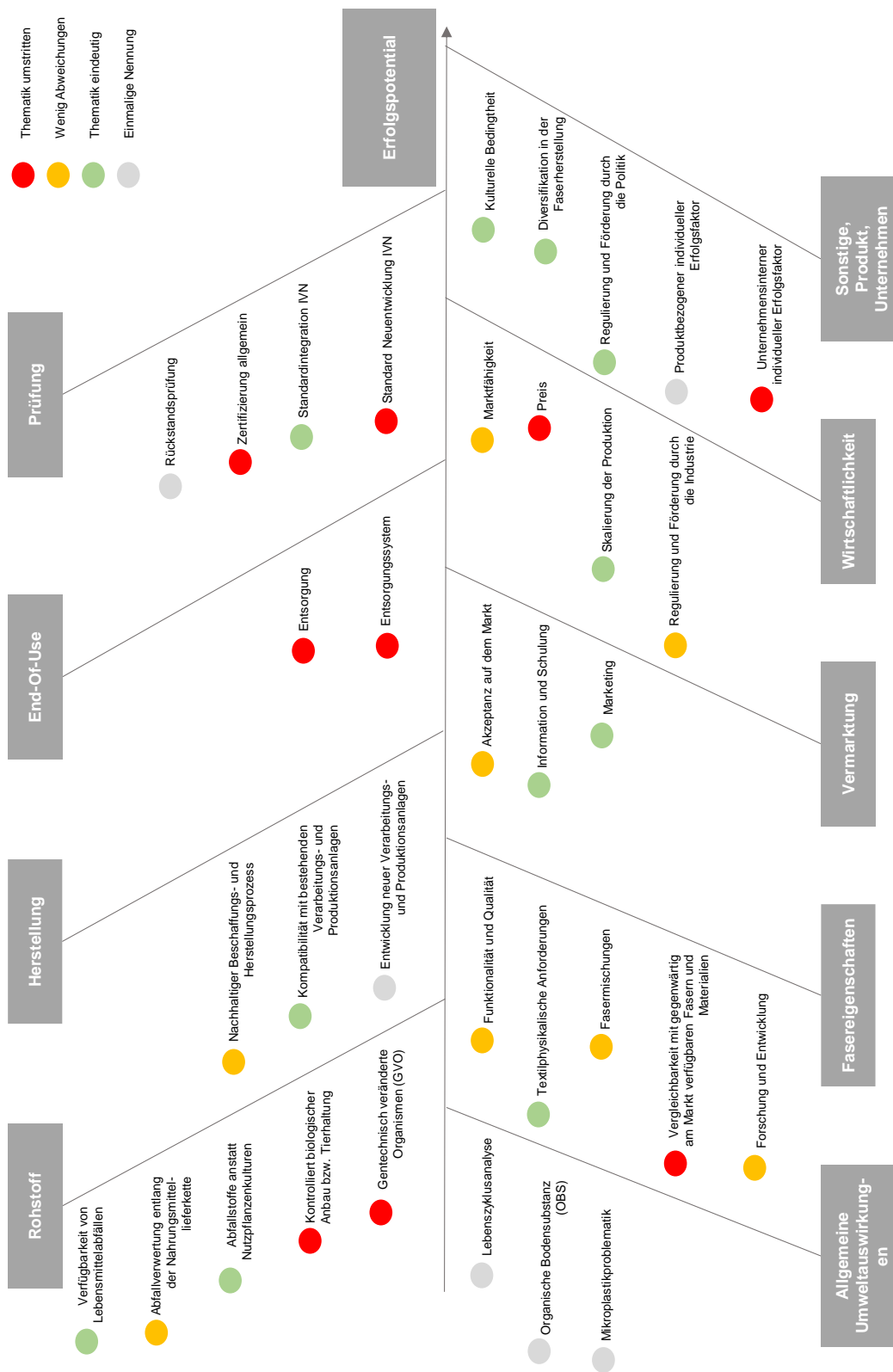
## 4 Ergebnispräsentation

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Experteninterviews sowie der Literaturrecherche dargestellt. Die Ergebnispräsentation erläutert die Zusammenhänge der Erfolgsfaktoren und beleuchtet das damit in Verbindung stehende Erfolgspotential.

In den Teilauswertungen wurde ersichtlich, dass das Erfolgspotential bzw. die Marktfähigkeit von Fasern und Textilien aus Biopolymeren aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion durch eine Vernetzung einer Vielzahl an Erfolgsfaktoren bedingt wird. Insgesamt konnten 34 Unterkategorien, aufgeteilt in 11 Bereiche, identifiziert werden. Die verschiedenen Interessengruppen zeigten, dass teilweise signifikante Meinungsunterschiede aber auch Korrelationen zwischen den das Erfolgspotential bedingenden Gesichtspunkten bestehen.

In Abb.8 werden die identifizierten Erfolgsfaktoren der Experteninterviews und Literaturrecherche zunächst zusammengeführt und die Unterkategorien nach dem bestehenden Konsens über die Ausprägungen der Einflussgrößen eingeordnet. Im Anschluss werden die Ergebnisse, orientiert an den 11 Bereichen der Auswertung, präsentiert.

Abbildung 8.: Zusammenführung der Erfolgsfaktoren aus Experteninterviews und Literaturrecherche<sup>379</sup>



379 Quelle: Eigene Darstellung.

Im Bereich *Rohstoff* stellt der potentielle Konflikt um die Agrarflächennutzung ein zentrales Thema dar. Die umweltbelastenden Anbau- und Erntemethoden von Massenanpflanzungen für z.B. Biokunststoffe sind ein klares Argument für die Verwendung von Lebensmittelabfällen als Alternative. Dennoch könnte die Mobilisierung von Food Waste als Rohstoffquelle nur unter der Prämisse global ausreichender Verfügbarkeit realisiert werden. Insbesondere eine regelmäßige und saisonunabhängige Verfügbarkeit von Mindestbestellmengen müsste gewährleistet werden, um das Interesse der Industrie zu wecken. Durch die Priorität der Vermeidung von Nahrungsabfällen als Food Waste Management Ziel in der EU sowie den USA könnte die zukünftige Verfügbarkeit der Abfallstoffe als Rohmaterial im Allgemeinen gefährdet sein.

Um Synergien zwischen der Lebensmittel- und Textilindustrie nutzen zu können und umweltrelevanten Problemen vorzubeugen, wäre zunächst eine global harmonisierte Definition von Food Waste notwendig. Außerdem müsste eine routinierte und umfassende Trennung von Lebensmittelabfällen auf allen Ebenen der Nahrungsmittel-Lieferkette eingeführt werden. Insbesondere für den Handel und die Standardsetzung ist eine sortenreine und rückverfolgbare Anwendung von Food Waste unumgänglich. Dem gegenüber stehen die Pläne der Faser- und Textilhersteller, z.B. Post-Konsumenten Abfälle aus Kompostfabriken als neue Ressource in Betracht zu ziehen.

Die zwei umstrittensten Thematiken im Bereich *Rohstoff* stellen der kontrolliert biologische Anbau sowie die Verwendung gentechnisch veränderter Organismen dar. Aktuell bestehen große Zweifel darüber, ob ein kontrolliert biologischer Anbau über alle Food Waste Materialien hinweg machbar sowie im Endprodukt nachweisbar wäre (z.B. bei Kaffeesatz von Starbucks). Da keiner der befragten Faser- und Textilhersteller Abfallstoffe aus ökologischem Anbau verwendet und sich nicht alle für eine zukünftige Verwendung von Produkten aus Bioanbau aussprechen, könnte hier eine erhebliche Schmälerung des Erfolgspotentials bestehen.

Die Verwendung von gentechnisch veränderten Organismen, insbesondere in Verbindung mit Bakterien- und Pilzkulturen, verstößt grundlegend gegen die Kernprinzipien des *IVN*. Hingegen sprechen das *Textile Exchange* Netzwerk und die *OECD* für eine zukünftig eingehendere Behandlung des Themas. Da die in dieser Arbeit befragten Experten nicht von einer Verwendung von GVO in ihren Herstellungsprozessen gesprochen haben, kann das Erfolgspotential dahingehend nicht eingeschätzt werden.

Auf der Suche nach nachhaltigeren Lösungen mit einem minimalen ökologischen Fußabdruck könnte eine lokale Ressourcenbeschaffung und Produktion von Food Waste Fasern und Textilien in geeigneten Regionen zu Energie-, Wasser- und Emissionseinsparungen beitragen. Entscheidend wäre dennoch eine effiziente Beschaffung und Verarbeitung der Ressourcen. Denn z.B. die

Mobilisierung von landwirtschaftlichen Reststoffen, die hochgradig verstreut liegen und eine geringe Dichte haben, ist mit hohen Logistik- und Transportkosten verbunden. Zudem müssten ggf. neue Technologien zur physischen Vorbehandlung (Sortierung, Trocknung etc.) entwickelt werden.

Für eine effiziente und nachhaltige Produktion wäre es weiterhin entscheidend, dass die Kompatibilität der Materialien mit bestehenden Verarbeitungs- und Produktionsanlagen (Recyclinganlagen, Webstühlen und Strickmaschinen) gegeben ist. Verknüpft ist hiermit das Problem der bisher eingeschränkten Verfügbarkeit an Rohstoffen. Da bestehende Anlagen zumeist mit Mindestmengen arbeiten, könnte z.B. der Mangel an sortenreinen Abfällen aus kontrolliert biologischem Anbau ein Problem darstellen. Das Erfolgspotential der Mobilisierung von landwirtschaftlichen Reststoffen und Lebensmittelabfällen könnte durch diese Faktoren allgemein geschmälert sein.

In Verbindung mit der Bakterien- und Pilzzüchtung, die in vertikaler Landwirtschaft ohne zwingende Lichtzufuhr möglich ist, werden vor allem Potentiale hinsichtlich der Flächen- und Ressourcenschonung gesehen. Außerdem könnte die extrem kurze Wachstumsdauer der Mikroorganismen einen großen Vorteil darstellen. Durch die geplante Züchtung, vornehmlich in warmen Regionen (z.B. Entwicklungsländern), könnte zudem Potential unter sozialen Gesichtspunkten hinsichtlich der Industrialisierung und ländlichen Entwicklung entstehen.

Als elementar wichtig erwies sich im Bereich *Herstellung* zudem, dass umfassende Informationen über den gesamten Prozessablauf kommuniziert werden. Der Markt müsste ggf. über das Lösungsverfahren der Fasern, die CO<sup>2</sup> Bilanz sowie die Art und Umweltfreundlichkeit der Ausrüstung und Anlagen informiert werden. Diese Prozesstransparenz könnte z.B. durch die geplante Lizenzoption des Produktionsprozesses von bakterieller Cellulose entstehen.

Über die erfolgsversprechendste Entsorgungsoption gibt es verschiedene Ansichten. Während sich der Großteil der Faser- und Textilhersteller im Bereich *End-Of-Use* für die Kompostierung als einen der entscheidenden Faktoren für die Textilindustrie aussprechen, besteht Uneinigkeit unter den weiteren Befragten, ob Kompostierbarkeit oder Wiederverwertbarkeit angestrebt werden sollte. Eine Möglichkeit wäre die Entsorgungsoption in Abhängigkeit der erwarteten Tragedauer des Produktes (z.B. One-Time-Use Kleidungsstücke für die Kompostierung) festzulegen. Allgemein stellt die Komponententrennung bei Bekleidung das ausschlaggebende Problem für die Kompostierung dar. Überdies ist es eine grundlegende Voraussetzung, dass die Trageeigenschaften durch die Kompostierbarkeit nicht negativ beeinflusst werden.

In Abhängigkeit der Dauer und Prozessbedingungen für die Kompostierung bestimmter Materialien entscheidet sich, ob eine Gartenkompostierung oder Industriekompostierung notwendig ist. In diesem Zusammenhang bestehen große Bedenken hinsichtlich global fehlender Infrastruktur sowie der Kompatibilität mit bestehenden Anlagen. Zudem ist die Kompostierbarkeit als End-Of-

Use Option verknüpft mit der Grundvoraussetzung von Information und Schulung für den Verbraucher sowie einer marktpsychologischen Aufarbeitung der Thematik durch das Marketing.

Im Bereich *Prüfung* besteht unter den Mitgliedern des Richtlinienausschusses Einigkeit darüber, dass eine Standardintegration von Food Waste Fasern bzw. Textilien in den IVN BEST, als derzeit höchsten Standard im Bereich Naturtextil, ausgeschlossen ist. Die entscheidenden Gründe hierfür sind erstens die klare Definition von Naturtextilien, die natürliche Rohstoffe ausschließt, wenn diese chemisch oder anderweitig bearbeitet wurden. Zweitens das Erfordernis des kontrolliert biologischen Anbaus der Rohstoffe sowie drittens der Ausschluss von GVO.

Trotz einer klaren Trennung der „klassischen Biotextilstandards“ und dem „neuen Nachhaltigkeitsgedanken“ wird es angestrebt, neue Nachhaltigkeitskonzepte in die Richtlinien des IVN einfließen zu lassen. Demnach sehen die Mitglieder des Richtlinienausschusses die Option einer Neuentwicklung eines Recyclingstandards, der Biopolymere aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion abdecken könnte. Als essentielle Voraussetzung wird hierbei die Festlegung umsetzbarer und nachprüfbarer Kriterien in Bezug auf die Rohstoffgewinnung und Anwendung der Fasern gelegt, um einen Nutzen für die Industrie generieren zu können. Demnach müsste ein Standard die Sortenreinheit der Abfallstoffe festlegen, nicht aber den kontrolliert biologischen Anbau aufgrund der fehlenden Umsetzbarkeit und Nachvollziehbarkeit. Da Fasern und Textilien aus Food Waste eine große Spannbreite an Rohstoffen und Herstellungsverfahren abdecken, wäre zudem die Breite der Kriterien ausschlaggebend für die Anwendbarkeit und den Nutzen der Zertifizierung. Andere Standardsetzer, wie das *Textile Exchange* Netzwerk, betrachten die umfassende Überwachung der Lieferkette und somit die Produktsicherheit ebenfalls als Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Textilindustrie. Die Anwendbarkeit des Content Claim Standards auch für Biopolymer Materialien wird in Aussicht gestellt. In Verbindung mit der Rückverfolgbarkeit der Prozesse könnte eine größere Glaubwürdigkeit und damit ein Interesse auf dem Markt entstehen.

Unter den befragten Modelabels stellt eine Rückstandsprüfung sowie eine soziale und ökologische Zertifizierung eine grundlegende Voraussetzung dar. Grund hierfür ist insbesondere die Skepsis über die Schadstoffbelastung von Abfallstoffen aus der Lebensmittelindustrie sowie die unbekanntenen Prozesse, Ausrüstung und Chemikalien in der Herstellung. Die Zertifizierung müsste die Sortenreinheit und den Ausschluss einer sekundären Kontamination sichern. Wesentlich für die Anwendung der Food Waste Materialien für die Bekleidungsbranche ist die Hautverträglichkeit, ansonsten könnte eine alternative Verwendung als Heimtextil in Betracht gezogen werden.

Seitens der Faser- und Textilhersteller wird eine Zertifizierung eher abgelehnt. Durch den zwingend entstehenden Vergleich mit gegenwärtig verfügbaren Fasern und Materialien besteht die Möglichkeit einer potentiellen Abwertung der Materialien.

Der Erfolg von Standards ist allgemein mit der Nachfrage auf dem Markt und der Akzeptanz in der Industrie verknüpft. Da die Modelabels des IVN die Nachweisbarkeit sozialer und ökologischer Aspekte als Grundvoraussetzung sehen, könnte die Ablehnung von Standards der Faser- und Textilhersteller zu einer Schmälerung des Erfolgspotentials führen.

Die Entwicklung von Lebenszyklusanalysen für Biopolymerfasern zur Quantifizierung der Auswirkungen auf die Umwelt stellt im Bereich *allgemeine Umweltauswirkungen* einen wesentlichen Faktor dar. LCA könnten die geforderte Prozesstransparenz und umfassenden Informationen über die Nachhaltigkeit der Materialien für Händler und Hersteller sowie Endverbraucher ermöglichen. Das Fehlen von Messgrößen, Datengenauigkeit (zur Feststellung regionaler Besonderheiten) sowie standardisierter LCA-Benchmarks für etablierte Fasern (zum Vergleich der Nachhaltigkeit) erschweren jedoch derzeit die Umsetzung.

Als bedenklich hinsichtlich der Umweltauswirkungen wird insbesondere die Konkurrenz zwischen der Verwendung von landwirtschaftlichen Reststoffen als Rohmaterial und den etablierten Praktiken zur Anreicherung des Nährstoffgehalts im Boden angesehen. Das bestehende Risiko der komplexen Beeinflussung der Bodeneigenschaften und -funktionen durch die organische Bodensubstanz stellen eine erhebliche Schmälerung des Erfolgspotentials hinsichtlich der Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit von Food Waste als Rohstoffquelle dar. Hier wäre eine umfassende Analyse der Agrar-Umweltindikatoren notwendig.<sup>380</sup>

Bedingt durch die zunehmende Mikroplastikproblematik könnte zusätzliches Potential für biobasierte und biologisch abbaubare bzw. kompostierbare Textilien entstehen. Durch die häufig vorkommende Limitierung der Abbaubarkeit auf Industriekompostanlagen sowie durch das Problem der Komponententrennung könnte dieses Erfolgspotential dennoch geschmälert sein.

Die Vergleichbarkeit mit gegenwärtig am Markt verfügbaren Fasern und Materialien stellt im Bereich *Fasereigenschaften* ein zentrales Thema dar. Auf der einen Seite wird die Ähnlichkeit des Aussehens, der Haptik und des Preises als notwendige Voraussetzung für den Markterfolg verstanden. Eine Wettbewerbsfähigkeit wird nur dann erwartet, wenn eine Anpassung an die Leistungsfähigkeit gegenwärtig verfügbarer Fasern angestrebt wird. Verknüpft ist hiermit die Schwierigkeit der Kommunikation von neuen Fasereigenschaften am Markt. Auf der anderen Seite wird

---

<sup>380</sup> Vgl. Zeller, V. et al. (2011): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe zur Bioenergiebereitstellung, S.12.

die Diskussion um die Erzielung einer Ähnlichkeit grundsätzlich als schädlich betrachtet. Biopolymere sollten nicht mit z.B. erdölbasierten Materialien verglichen werden. Die potentiell geringeren Umweltauswirkungen und neuen Eigenschaften, wie z.B. eine den Körpermaßen angepasste Züchtung von Bekleidung, könnten erfolgsversprechend sein.

Es besteht allgemein Konsens darüber, dass die wichtigsten Voraussetzungen für die Entwicklung einer alternativen Faser zur Deckung des zukünftig hohen globalen Faserbedarfs Komfort, Funktionalität und ein ökologischer Mehrwert sind. Das Erfolgspotential von Food Waste Fasern wird somit signifikant durch die Fasereigenschaften bedingt. Hierbei sind die Anwendbarkeit (z.B. Verarbeitbarkeit, Ausrüstbarkeit, Färbbarkeit, Schneidbarkeit, Flexibilität etc.), die textilphysikalischen Anforderungen sowie der Tragekomfort, die Hautfreundlichkeit, nachhaltige Pflegeeigenschaften und der Mode Grad der Fasern und Textilien entscheidend. In diesem Zusammenhang ist ein weiterer entscheidender Punkt die aus Gründen der Funktionalität benötigte Beimischung einer synthetischen Komponente (z.B. bei Fasern aus Kaffeesatz), die durch die Modelabels ausgeschlossen wird. Generell wird die Attraktivität sowie die nachgewiesene Funktionalität des Produktes als elementare Voraussetzung betrachtet, sodass Food Waste Materialien nicht nur aus Marketinggründen auf den Markt gelangen würden.

Die bisher bestehenden Defizite in der Funktionalität und Qualität der Materialien, z.B. kurze Haltbarkeit und starkes Abriebverhalten, können das Erfolgspotential entscheidend beeinflussen.

Die Akzeptanz auf dem Markt stellt im Bereich *Vermarktung* ein zentrales Thema dar und spielt eine entscheidende Rolle für den Markterfolg. Trotz der Meinungsverschiedenheiten über die Vergleichbarkeit der Materialien mit den gegenwärtig am Markt verfügbaren Fasern und Textilien, erachten alle Stakeholder das Abmildern der Skepsis der Konsumenten durch Hintergrundinformationen und Marketing als eine essentielle Grundvoraussetzung.

Am Markt wird insbesondere der Handel als eine der wichtigsten Stakeholder Gruppen betrachtet. Das Bindeglied zwischen Hersteller und Verbraucher stellt das Verkaufsargument dar, dass durch den Handel transportiert werden müsste. Dementsprechend müsste die Skepsis des Handels noch vor der Skepsis der Verbraucher überwunden werden. Wesentlich wäre hierbei die Attraktivität des Produkts, der Fit in die Produktpalette des Händlers, ein angemessener Preis und die Unterstreichung seines Images. Notwendig wären zudem umfassende Informationen über die Herstellung und Nachhaltigkeit der Materialien sowie über Pflegeeigenschaften und Entsorgungsmöglichkeiten, sodass der Handel überzeugt ist von dem Produkt und es vermarkten kann.

Des Weiteren stellt der Endverbraucher eine wichtige Stakeholdergruppe dar. Die Schwierigkeit der Akzeptanz am Markt, durch das erwartete „Ekelgefühl“ der Konsumenten bei Materialien aus Lebensmittelabfällen bzw. Bakterien oder Pilzen, könnte die Marktfähigkeit stark beeinflussen. Es bestehen generell Zweifel, ob Bakterienzüchtungen etc. für die Bekleidung akzeptiert werden

müssen. Marktpsychologisch wäre es einfacher, wenn Fasern aus einer dem Verbraucher bekannten Quelle kommen.

Die Anwendbarkeit und wirtschaftliche Rentabilität der Lebensmittelabfälle stellt im Bereich *Wirtschaftlichkeit* ein zentrales Thema dar. Die Kosten für Beschaffung und Herstellung der Materialien müssten zumindest die Möglichkeit haben, in der Zukunft wettbewerbsfähig zu werden. Beispielsweise planen die Faser- und Textilhersteller die Abfallstoffe kostenlos zu erhalten, da den Abfallerzeugern ansonsten u.U. hohe Entsorgungskosten entstehen würden. Es herrscht Konsens unter den Mitgliedern des Richtlinienausschusses, dass die große Herausforderung in der Entwicklung relativ preiswerter und einfach reproduzierbarer Fasern bestehen könnte, deren Herstellungsprozess nicht teurer als der von konventionellen Fasern (z.B. Seide) sein dürfte. Die Einordnung im massenmarkttauglichen Segment gilt hierbei als erfolgsversprechend. Zudem müsste eine Einführungs- bzw. Gewöhnungsphase eingeplant werden, die in diesem besonderen Fall u.U. Jahre dauern könnte.

Die Faser- und Textilhersteller planen hingegen eine Konzentration insbesondere auf „grün-orientierte Märkte“ mit hohem Umweltbewusstsein und Zahlungsbereitschaft. Der Preis stellt jedoch ein umstrittenes Thema dar. Es besteht kein Konsens darüber, ob es erfolgsversprechender ist, direkt mit einem wettbewerbsfähigen Preis zu beginnen oder zunächst auf die Reglementierung der Kosten zu verzichten, um den Nachhaltigkeitsgedanken der Materialien nicht einzuschränken. Zudem könnte die Kaufabsicht der Kunden überprüft werden. Das Erfolgspotential auf dem Markt könnte hierdurch erheblich geschmälert werden.

Um eine Skalierung der Produktion zu erreichen, gilt unter den Faser- und Textilherstellern eine Investition in die Optimierung des Supply Chain Managements von Lebensmittelabfällen sowie eine Expansion mit Industriepartnern als erfolgsversprechend. Dennoch stellt insbesondere bei der Skalierung der Produktion von bakterieller Cellulose die Herstellung in gleichbleibender Qualität, aufgrund der Eskalationsgefahr des Prozesses, eine große Herausforderung dar. In diesem Zusammenhang bestehen unter den Mitgliedern des Richtlinienausschusses weiterhin große Zweifel darüber, dass die Größe von Züchtungslaboren für bakterielle Cellulose ausreichen würde, um die Bekleidungsnachfrage der wachsenden Weltbevölkerung effektiv zu decken. Um das Erfolgspotential speziell in der Bakterienzüchtung zu bestimmen, wären daher weitere Forschungen und Tests notwendig.

Unter den Modelabels werden die Forschungen in der Industrie als sehr positiv wahrgenommen. Dennoch stellt es eine Grundvoraussetzung dar, dass marktfähige, d.h. entwickelte und getestete, Materialien auf den Markt gelangen, die auch ohne Nachhaltigkeit funktionieren. Die Hersteller und der Handel dürften nicht das volle Risiko übernehmen.



Unter der Prämisse der Marktfähigkeit der Materialien wird erwartet, dass globale Textilkonzerne, die unter wachsendem Druck stehen, schnell auf diese Art innovative Fasern reagieren und einsteigen würden. Die Industrie könnte von den neuen Technologien, entwickelt durch Kleinunternehmen als Vorreiter in der Forschung und Entwicklung, profitieren. Als besonders fördernd gilt zudem die Aufmerksamkeit durch erste Produktpräsentationen, von US Firmen wie z.B. Modern Meadow, die die Diskussion über eine wirtschaftliche Rentabilität der Biotechnologie Branche erstmalig anstoßen.

In der Literaturrecherche wird das wirtschaftliche Erfolgspotential von biobasierten Materialien aus Abfallstoffen als bedingt durch die Masse und Art der verfügbaren Abfallstoffe, politik- und marktgetriebene Nachfrage der Produkte sowie auf dieser Ebene getroffene Investitions- und Produktionsentscheidungen zusammengefasst. Unter der Voraussetzung umfassender Transparenz und unter Garantie des Umweltschutzes sollte die Entwicklung des Sektors unterstützt werden. Vor allem vor dem Hintergrund der steigenden Erdölpreise wird ein früher Beginn mit strategischer Entwicklungsarbeit als erfolgversprechend betrachtet, um Skaleneffekte und ein diversifiziertes kommerzielles Portfolio sicherzustellen.

Im Bereich *Sonstige* stellt die größere Diversifikation in der Faserherstellung ein zentrales Thema dar. Unter den Mitgliedern des Richtlinienausschusses des IVN besteht Konsens darüber, dass aufgrund des langfristig auftretenden Konkurrenzproblems in der Flächennutzung eine größere Diversifikation in der Faserherstellung angestrebt werden sollte. Neben der Forschung und Entwicklung alternativer Fasern sollten ebenfalls vergessene Fasern wie Leinen und Hanf betrachtet werden, dessen Anbauflächen u.U. erst auf lange Sicht mit den Agrarflächen zur Lebensmittelproduktion in Konkurrenz stehen könnten.

Sowohl unter den Faser- und Textilherstellern als auch unter den Mitgliedern des Richtlinienausschusses wurde eine kulturelle Bedingtheit des Erfolgspotentials von Materialien aus Abfällen bzw. durch Bakterien erzeugte Fasern und Textilien als wesentlich erkannt. Generell könnten Vor- und Nachteile durch z.B. verschiedene Geruchsaffinitäten in bestimmten Regionen entstehen. Insbesondere mit Hinblick auf Materialien aus Alkoholabfällen könnten potentielle kulturelle Schwierigkeiten entstehen.

Des Weiteren stellt die politische Unterstützung der Industrie, z.B. in Form von Forschungsgeldern, zur Entwicklung neuer nachhaltiger Textilien ein zentrales Thema dar. Die große Diskrepanz zwischen Fördergeldern in verschiedenen Ländern bzw. Nationen hemmt das Erfolgspotential.

Im Bereich *Produkt* könnte der geringe ökologische Fußabdruck und die Platzeinsparung, aufgrund vertikaler Anbaumethoden, in der Bakterienzüchtung ein produktbezogenes Erfolgspotential darstellen. Zudem könnten die Erschließung neuer Anbauflächen in tropischen Regionen, in denen Faserpflanzen normalerweise nicht wachsen sowie die Realisierung von Energieeinsparungen durch die Außentemperatur Vorteile entstehen lassen.

Im Bereich *Unternehmen* besteht Konsens darüber, dass die Marktfähigkeit die notwendige Voraussetzung für Biopolymere aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion ist. Zudem müsste eine unternehmensinterne Prüfung der produktbezogenen Anwendbarkeit der Rohstoffe für Garn, Stoff und Verarbeitung etc. durchgeführt werden.

Die Modelabels zeigen sich eher zurückhaltend. Ausschlaggebend wäre, dass die Materialien nicht nur auf dem nachhaltigen Bekleidungsmarkt, sondern auch in der Modebranche im Allgemeinen wettbewerbsfähig wären. Die Zurückhaltung und Vorsicht der Hersteller, als wichtige Stakeholder Gruppe, könnte das Erfolgspotential der Food Waste Materialien entscheidend beeinflussen.

In Abb.9 wird der Zusammenhang der Erfolgsfaktoren noch einmal verdeutlicht.



## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden in diesem Abschnitt zusammenfassend dargestellt und interpretiert. Im Anschluss wird ein Ausblick vorgenommen, der zukünftige Herausforderungen im Bereich der weiteren Forschung aufzeigt.

### 5.1 Zusammenfassung

Mit dem erwarteten Anstieg der globalen Fasernachfrage könnten Fasern und Textilien aus Biopolymeren im Rahmen der Bioökonomie dazu beitragen, umweltrelevanten Problemen, wie die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, der Klimawandel sowie soziale Probleme, entgegenzuwirken. Biosynthetische Fasern, die heute bereits im Handel erhältlich sind, werden aus Nutzpflanzenkulturen wie Mais, Zuckerrohr, Zuckerrüben und Rizinussamen gewonnen. Die offensichtlichste Gefahr in der Bioökonomie stellt dabei der Wettbewerb um Anbauflächen für die Nahrungs- und Futtermittelindustrie dar, weshalb vermehrt die Nutzbarmachung biobasierter Reststoffe erforscht wird.

Getrieben durch eine steigende Wegwerfmentalität, insbesondere in den Industrieländern, kommen Lebensmittelabfälle aus unterschiedlichsten Gründen in allen Stufen der Nahrungsmittel-lieferkette vor. Abfallstoffe oder Reststoffe, die kein zusätzliches Wasser und keine zusätzliche Agrarfläche in Anspruch nehmen, könnten positive Synergien zwischen der Textil- und Nahrungsmittelindustrie ermöglichen. Durch lokale Ressourcenbeschaffung und Rohmaterialproduktion in Regionen mit geeigneten Bedingungen könnten Energie-, Wasser- und Emissionseinsparungen realisiert und Transparenz geschaffen werden.

Dennoch bestehen bisher eine Vielzahl Unsicherheiten, die die Verfügbarkeit und Anwendbarkeit von Lebensmittelabfällen als nachhaltige Rohstoffquelle für Textilien beeinflussen. Diffuse Abfallquellen, die durch fehlende Routine in der Trennung auf allen Ebenen der Nahrungsmittel-Lieferkette entstehen, beschränken die sortenreine Trennung und damit die Rückverfolgbarkeit sowie die Wirtschaftlichkeit der Beschaffung. In Verbindung mit den Grundsatzproblemen industrieller Landwirtschaft wie der Schadstoffbelastung und dem Einsatz gentechnisch veränderter Organismen etc., stellt ein kontrolliert biologischer Anbau der Rohstoffe, der zumeist als Grundvoraussetzung für nachhaltige Naturtextilien gilt, eine große Schwierigkeit dar.

Die wirtschaftliche Rentabilität von biobasierten Fasern und Textilien aus Nahrungsmittelabfällen wird bedingt durch die Masse und Art der verfügbaren Abfallstoffe, politik- und marktgetriebene Nachfrage der Produkte sowie auf dieser Ebene getroffene Investitions- und Produktionsentscheidungen der Industrie.

Die aus dieser Arbeit hervorgehende Analyse der Erfolgsfaktoren lässt darauf schließen, dass vor allem die derzeit bestehende Skepsis und Zurückhaltung am Markt, bedingt durch die Undurchsichtigkeit der Beschaffungs- und Herstellungsprozesse sowie der Leistungsfähigkeit, Verarbeitbarkeit, Pflege und Entsorgung der Materialien, das Erfolgspotential derartiger Biopolymerfasern bisher erheblich einschränkt. Es besteht jedoch Interesse die Fasern und Textilien auf lange Sicht unter den Prämissen der Marktfähigkeit, umfassender Transparenz und unter Garantie des Umweltschutzes unternehmensintern zu testen bzw. im Rahmen eines neuen Recyclingstandards in Betracht zu ziehen. Als erfolgversprechend gilt in diesem Zusammenhang die Quantifizierung der Auswirkungen auf die Umwelt anhand relevanter Messgrößen durch Lebenszyklusanalysen, die zum Beispiel durch politische Unterstützung der Forschung und Entwicklung vorangetrieben werden könnte.

Da der Lebensstil insbesondere in den Industrieländern die Annahme zulässt, dass trotz des primären Ziels der Abfallvermeidung, keine zeitnahe signifikante Reduzierung der Nahrungsmittelabfälle zu erwarten ist, könnten die Forschungen der Kleinunternehmen zu wirtschaftlich rentablen und nachhaltigen Valorisierungsmöglichkeiten solcher Abfallstoffe führen. Auch wenn noch Bedenken hinsichtlich der Marktfähigkeit von Bekleidung aus Nahrungsmittelabfällen bestehen, zeigt die wachsende Vielfalt der Projekte und Unternehmen am Markt und deren großes Engagement in der Forschung und Entwicklung das Optimierungspotential. Um die Aufmerksamkeit der Industrie zu erlangen, ist es essentiell wichtig, die Beschaffungs- und Herstellungsprozesse der Fasern und Textilien in Einklang mit den Umwelt- und Sozialanforderungen der Hersteller und Händler zu bringen. Zudem sollte die Nachhaltigkeit der Materialien mit überzeugender Leistung und Funktionalität kombiniert werden, um einen angemessenen Preis zu rechtfertigen und Nachfrage zu schaffen.

Fest steht schon jetzt, dass Textilhersteller global von den neuen Technologien, entwickelt durch Kleinunternehmen als Vorreiter in der Forschung und Entwicklung derartiger Biopolymere, lernen und profitieren können. Fasern und Textilien aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion haben das Potential, einen Beitrag zur Transformation zu einer nachhaltigeren Textilindustrie zu leisten.

## 5.2 Ausblick

Aufgrund des eingeschränkten Zugangs zu Informationen über die Fasereigenschaften und Herstellungsprozesse der Fasern und Textilien sowie dem primär ökonomischen Rahmen der vorliegenden Arbeit, wurde keine umfassende Analyse der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit der Materialien erarbeitet. Dementsprechend besteht neben den gewonnenen Erkenntnissen weiterführender Forschungsbedarf um vollständig zu verstehen, ob und inwiefern eine nachhaltige Verwertung von Lebensmittelabfällen realisierbar ist und welcher Rohstoff bzw. welche Verarbeitung am nachhaltigsten ist.

Da sich herauskristallisierte, dass die Akzeptanz am Markt sowohl vom Handel als auch dem Konsumenten einen zentralen Erfolgsfaktor darstellt, besteht weiterführender Forschungsbedarf um, z.B. im Rahmen einer quantitativen Meinungsforschung, ein umfängliches Bild der Aufgeschlossenheit und Zugänglichkeit des Marktes vor allem hinsichtlich neuer Fasereigenschaften zu bekommen.

Außerdem wurde in dieser Arbeit das Potential und ein erster Ansatz für eine Neuentwicklung eines Recyclingstandards vom IVN, der Fasern und Textilien aus Abfällen der Nahrungsmittelproduktion abdeckt, erarbeitet. Dennoch konnte in diesem Rahmen kein tiefergehendes Konzept für einen solchen Standard entwickelt werden. Es besteht weiterführender Forschungsbedarf die Bandbreite und die Restriktionen der Kriterien genauer zu definieren, um die Anwendbarkeit des Standards und somit den Nutzen für den Markt zu gewährleisten.

## 6 Quellenverzeichnis

- Aboutbiosynthetics.org (2018a): Feedstock to Fashion; First, Second & Third Generation, [<http://aboutbiosynthetics.org/>], (Erstelldatum: 01.2018; Verfügbarkeitsdatum: 06.01.18).
- Aboutbiosynthetics.org (2018b): Quick Guide to Biosynthetics, [<http://textileexchange.org/downloads/quick-guide-to-biosynthetics/>], (Erstelldatum: 01.2018; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.18), S.1-28.
- Aboutbiosynthetics.org (2018c): Home, [<http://aboutbiosynthetics.org/>], (Erstelldatum: 01.2018; Verfügbarkeitsdatum: 09.02.18).
- Aeschelmann, F./ Carus, M. (2015): Bio-based Building Blocks and Polymers in the World, Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020, Nova- Institut (Hrsg.) [[http://www.bio-based.eu/market\\_study/media/files/15-05-13\\_Bio-based\\_Polymers\\_and\\_Building\\_Blocks\\_in\\_the\\_World-nova\\_Booklet.pdf](http://www.bio-based.eu/market_study/media/files/15-05-13_Bio-based_Polymers_and_Building_Blocks_in_the_World-nova_Booklet.pdf)], (Erstelldatum: 05.2015; Verfügbarkeitsdatum: 27.12.17), S.1-13.
- Alexopoulos, C. J. (1966): Einführung in die Mykologie, Stuttgart 1966.
- AMSilk GmbH (2017): Home, [<https://www.amsilk.com/home/>], (Erstelldatum: 2017, Verfügbarkeitsdatum: 16.12.17).
- Ananas Anam Ltd. (2017a): About us, [<https://www.ananas-anam.com/about-us/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Ananas Anam Ltd. (2017b): Products, [<https://www.ananas-anam.com/products/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 16.12.17).
- Ananas Anam Ltd. (2018): FAQ, [<https://www.ananas-anam.com/faqs/>], (Erstelldatum: 2018; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.18).
- Arthur, R. (2017): Bolt Threads Is Launching Its First Bioengineered Spider Silk Product At SXSW – A Necktie, [<https://www.forbes.com/sites/rachelarthur/2017/03/10/bolt-threads-is-launching-its-first-bioengineered-spider-silk-product-at-sxsw-a-necktie/#222bbd954d13>], (Erstelldatum: 10.03.17; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).

- Balsler, K./ Hoppe, L./ Eicher, T./ Wandel, M./ Astheimer, H./ Steinmeier, H./ Allen, J.M. (2004): Cellulose Esters, in: Ullmann, F./ Arpe, H.-J./ Gerhartz, W. (Hrsg.): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 8. Aufl. DVD Edition (2017), Walsrode u.a. 2004, DOI: 10.1002/14356007.a05\_419.pub2.
- Baud-Berthier, C./ Cunier, M./ Pereira, L./ Puype, K. (2015): Textifood Lille3000 / Futurotextiles & Stichting Kunstboek, Oostkamp 2015.
- Beier, W. (2009): Biologisch abbaubare Kunststoffe, [<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3834.pdf>], (Erstelldatum: 08.2009; Verfügbarkeitsdatum: 17.11.17), S.1-11.
- BeMiller, J. N./ Huber, K. C. (2011): Starch, in: Ullmann, F./ Arpe, H.-J./ Gerhartz, W. (Hrsg.): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 8. Aufl. DVD Edition (2017), Indiana u.a. 2011, DOI: 10.1002/14356007.a25\_001.pub4.
- Bernstad A./ La Cour Jansen, J. (2012): Review of comparative LCAs of food waste management systems - current status and potential improvements, [<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22922048>], (Erstelldatum: 23.07.12; Verfügbarkeitsdatum: 26.12.17).
- BFA Bioplastic Feedstock Alliance (2017): Who we are, [<http://bioplasticfeedstockalliance.org/who-we-are/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 23.12.17).
- Bioeconomy Knowledge Center (2017a): Food and feed security, [<https://biobs.jrc.ec.europa.eu/topic/policy>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 23.12.17).
- Bioeconomy Knowledge Center (2017b): Bio-based industries, [<https://biobs.jrc.ec.europa.eu/topic/policy>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 26.12.17).
- Biokunststoffe.de (2013a): Stärkeblends & Stärkederivate, [[http://biokunststoffe.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=49&Itemid=89&lang=de](http://biokunststoffe.de/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=89&lang=de)], (Erstelldatum: 2013; Verfügbarkeitsdatum: 21.11.17).
- Biokunststoffe.de (2013b): Polymilchsäure (PLA), [[http://biokunststoffe.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=47&Itemid=93&lang=de](http://biokunststoffe.de/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=93&lang=de)], (Erstelldatum: 2013, Verfügbarkeitsdatum: 20.11.17).



- Biokunststoffe.de (2013c): Polyhydroxyalkanoate (PHA), [[http://biokunststoffe.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45&Itemid=125&lang=de](http://biokunststoffe.de/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=125&lang=de)], (Erstelldatum: 2013; Verfügbarkeitsdatum: 21.11.17).
- Bioökonomie.de (2016): Branchen - Textilien, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), [<https://biooekonomie.de/branche/textilien>], (Erstelldatum: 12.08.16; Verfügbarkeitsdatum: 09.01.18).
- Bioökonomierat (2015): Bioeconomy Policy (Part II) Synopsis of National Strategies around the World, A Report from the German Economy Council, [[http://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/Bioeconomy-Policy\\_Part-II.pdf](http://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/Bioeconomy-Policy_Part-II.pdf)], (Erstelldatum: 01.2015; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.18), S.1-136.
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie, Nachwachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie, [<https://www.bmbf.de/files/BioOekonomiestrategie.pdf>], (Erstelldatum: 03.14; Verfügbarkeitsdatum: 12.12.17), S.1-80.
- Bogner, A./ Littig, B./ Menz, W. (2005): Das Experteninterview: Theorie, Methode, Anwendung, 2. Aufl., Wiesbaden 2005.
- Bolt Threads Inc. (2017): Technology, [<https://boltthreads.com/technology/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Brainard, A. (2017): 9 Startups Changing the Fabric of Fashion, [<https://www.entrepreneur.com/article/299459#>], (Erstelldatum: 17.09.17; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Burbiel, J. (2014): Nanocellulose – Das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen berichtet über neue Technologien, in: Europäische Sicherheit & Technik, 3. Jg. (2014), Nr.4, S.70.
- Carus, M./ Dammer, L. (2013): Food or non-food: Which agricultural feedstocks are best for industrial uses?, in: Nova paper bio-based economy, 2. Jg. (2013), Nr.2, S.1-9.
- Cecchini, C. (2017): Bioplastics made from upcycled food waste - Prospects for their use in the field design, in: The Design Journal, 20.Jg. (2017), Nr.1, S.1596-1610.

- Contreras, S. (2015): Are Bio-Based Products Always Preferable to Oil-based?, [[http://www.sustainablebrands.com/news\\_and\\_views/packaging/soledad\\_contreras/sustainability\\_mythbusters\\_are\\_bio-based\\_products\\_always\\_](http://www.sustainablebrands.com/news_and_views/packaging/soledad_contreras/sustainability_mythbusters_are_bio-based_products_always_)], (Erstelldatum: 07.09.15; Verfügbarkeitsdatum: 26.12.17).
- Dammer, L./ Carus, M./ Iffland, K./ Piotrowski, S/ Sarmiento, L./ Chinthapalli, R./ Raschka, A. (2017): Study on current situation and trends of the bio-based industries in Europe, Nova Institut (Hrsg.), [<http://bio-based.eu/markets/#top>], (Erstelldatum: 06.17; Verfügbarkeitsdatum: 10.11.17), S.1-213.
- De Schutter, O. (2014): Report of the Special Rapporteur on the right to food, submitted to the Human Rights Council of the General Assembly of the United Nations, [[http://www.srfood.org/images/stories/pdf/officialreports/20140310\\_finalreport\\_en.pdf](http://www.srfood.org/images/stories/pdf/officialreports/20140310_finalreport_en.pdf)], (Erstelldatum: 24.01.2014; Verfügbarkeitsdatum: 03.12.17), S.1-28.
- Deutscher Bundestag (2015): Biologisch abbaubare Kunststoffe, Ausarbeitung für wissenschaftliche Dienste, Fachbereich: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung, [<https://www.bundestag.de/blob/410104/34eca17202ee9d7380e1df34946335c8/wd-8-028-15-pdf-data.pdf>], (Erstelldatum: 27.03.15; Verfügbarkeitsdatum: 25.11.17), S.1-14.
- DIN CERTCO (2016): Zertifizierung von industriell kompostierbaren Produkten, [[http://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente\\_1/prospekte/Industriell\\_kompostierbare\\_Produkte\\_Flyer.pdf](http://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente_1/prospekte/Industriell_kompostierbare_Produkte_Flyer.pdf)], (Erstelldatum: 2016; Verfügbarkeitsdatum: 13.12.17), S.1-2.
- DIN Deutsches Institut für Normung (2011): Biobasierte Produkte – Übersicht über Normen, Deutsche Fassung CEN/TR 16208:2011, zitiert bei: Deutscher Bundestag (2015): Biologisch abbaubare Kunststoffe, Ausarbeitung für wissenschaftliche Dienste, Fachbereich: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung, Berlin 2015, [<https://www.bundestag.de/blob/410104/34eca17202ee9d7380e1df34946335c8/wd-8-028-15-pdf-data.pdf>], (Erstelldatum: 27.03.15; Verfügbarkeitsdatum: 25.11.17), S.1-14.
- disana GmbH & Co KG (2018): Zertifikate, [<https://www.disana.de/ueber-uns/oekologie/zertifikate/>], (Erstelldatum: 2018; Verfügbarkeitsdatum: 27.01.2018).

- Ditta Sandico (2017): Meet Ditta, [<http://dittachannel.com/meet-ditta/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- DuPont (2017): Apparel, [<http://sorona.com/apparel/>] (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Ecovative Design LLC (2017a): TextileBio, [<http://textile.bio/?ref=lp>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 16.12.17).
- Ecovative Design LLC (2017b): How it works, [<https://www.ecovatedesign.com/how-it-works>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 05.12.17).
- Endres, H.-J./ Siebert, A./ Kaneva, Y. (2007): Overview of the current Biopolymers Market Situation, in: Bioplastics Magazine, 2. Jg. (2007), Nr. 3, S.31-33.
- Endres, H.-J./ Siebert-Raths, A. (2009): Technische Biopolymere – Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften, München 2009.
- European Bioplastics e.V. (2016a): Fact Sheet - Biobased plastics – fostering a resource efficient circular economy; Benefits, feedstock types, sustainable sourcing, land use, [[http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP\\_fs\\_renewable\\_resources.pdf](http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_renewable_resources.pdf)], (Erstelldatum: 01.2016; Verfügbarkeitsdatum: 27.11.17), S.1-4.
- European Bioplastics e.V. (2016b): Are GMO crops used for bioplastics?, [<http://www.european-bioplastics.org/faq-items/are-gmo-crops-used-for-bioplastics/>], (Erstelldatum: 02.03.16; Verfügbarkeitsdatum: 26.12.17).
- European Bioplastics e.V. (2017a): Bioplastic materials, [<http://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 05.11.17).
- European Bioplastics e.V. (2017b): Renewable feedstock, [<http://www.european-bioplastics.org/bioplastics/feedstock/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 05.11.17).
- European Bioplastics e.V. (2017c): Bioplastics market data 2017, [[http://docs.european-bioplastics.org/publications/market\\_data/2017/Report\\_Bioplastics\\_Market\\_Data\\_2017.pdf](http://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/2017/Report_Bioplastics_Market_Data_2017.pdf)], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 12.12.17), S.1-4.

- European Bioplastics e.V. (2017d): Certifications for bioplastics, [<http://www.european-bioplastics.org/bioplastics/standards/certification/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.12.17).
- European Bioplastics e.V. (2017e): Composting, [<http://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/composting/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 09.03.18).
- European Commission (2012): Innovating for Sustainable Growth; A Bioeconomy for Europe, [[http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy_en.pdf)], (Erstelldatum: 13.02.12; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.18), S.1-9.
- European Commission (2016): Estimates of European food waste levels, [<http://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf>], (Erstelldatum: 31.03.16; Verfügbarkeitsdatum: 16.12.17), S.1-80.
- FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (2013): Food wastage footprint, Impacts on natural resources, Summary Report, [<http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>], (Erstelldatum: 2013; Verfügbarkeitsdatum: 25.11.17), S.1-63.
- Far Eastern Group (2016): FEG News 22.04.16, (FENC) Announced the World's First 100% Bio-Polyester Shirts, [<http://www.feg.com.tw/en/news/detail.aspx?id=3324>], (Erstelldatum: 22.04.16; Verfügbarkeitsdatum 13.11.17).
- FiBL Forschungsinstitut für biologischen Landbau (2017): The World of Organic Agriculture 2017, [<http://www.fibl.org/fileadmin/documents/en/news/2017/mr-world-organic-agriculture-2017-english.pdf>], (Erstelldatum: 09.02.17; Verfügbarkeitsdatum: 08.12.17), S.1-17.
- Fibre2Fashion.com (2017): Nanollose raises Au\$5 mn to develop sustainable fibre, [<http://www.fibre2fashion.com/news/textile-news/nanollose-raises-au-5-mn-to-develop-sustainable-fibre-228463-newsdetails.html>], (Erstelldatum: 11.10.17; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- Flick, U. (1999): Qualitative Forschung: Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften, 4. Aufl., Hamburg 1999.

- Friedman, A. (2017): Nanollose Just Created a Viscose Fiber That Doesn't Use Plants at All, [<https://sourcingjournalonline.com/nanollose-creates-plant-free-viscose-fiber-microbial-cellulose/>], (Erstelldatum: 05.12.17, Verfügbarkeitsdatum: 15.01.18).
- Fritzsche, N (2016): Milch ist auch gut zum Anziehen, [[https://www.weser-kurier.de/bremen/bremen-wirtschaft\\_artikel,-Milch-ist-auch-gut-zum-Anziehen-\\_themenwelt,-Wirtschaft-Finanz-\\_arid,1284667\\_twid,9.html](https://www.weser-kurier.de/bremen/bremen-wirtschaft_artikel,-Milch-ist-auch-gut-zum-Anziehen-_themenwelt,-Wirtschaft-Finanz-_arid,1284667_twid,9.html)], (Erstelldatum: 05.01.16; Verfügbarkeitsdatum: 21.02.18).
- Fruitleather Rotterdam (2018a): The Project, [<http://fruitleather.nl/home/project/>], (Erstelldatum: 2018; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.2018).
- Fruitleather Rotterdam (2018b): Info [[https://www.facebook.com/pg/fruitleather.rotterdam/about/?ref=page\\_internal](https://www.facebook.com/pg/fruitleather.rotterdam/about/?ref=page_internal)], (Erstelldatum: 2018; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.2018).
- Fruitleather Rotterdam (2018c): Shop [<http://fruitleather.nl/shop/>], (Erstelldatum: 2018; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.2018).
- Fulgar S.p.A (2018): Products, EVO®, [<http://www.fulgar.com/eng/products/evo>], (Erstelldatum: 2018; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.2018).
- Fungal Futures (2016): Projects, [<http://www.fungal-futures.com/Projects>], (Erstelldatum: 2016; Verfügbarkeitsdatum: 05.12.17).
- Global Fungal Material Market (2017): Industry Research Report, Report Details [<https://market.biz/report/global-fungal-material-market-2017/52254/#details>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 09.01.18).
- Grado Zero Espace S.r.l. (2017): MuSkin, [<http://www.gradozero.eu/gzenew/index.php?pg=muskin&lang=en>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Green Banana Paper (2017): About us, [<https://greenbananapaper.com/blogs/about-us/banana-fiber-paper>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Green Biologics Inc. (2016) Green Biologics certified under USDA BioPreferred® program, [<http://biomassmagazine.com/articles/13982/green-biologics-certified-under-usda-biopreferred-program>], (Erstelldatum: 05.12.16; Verfügbarkeitsdatum: 28.02.18).

- Gustavsson, J./ Cederberg, C./ Sonesson, U./ van Otterdijk, R./ Meybeck, A. (2011): Global Food Losses and Food Waste, Extent, Causes and Prevention, [<http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>], (Erstelldatum: 2011; Verfügbarkeitsdatum: 25.11.17), S.1-37.
- Haneef, M./ Ceseracciu, L./ Canale, C./ Bayer, I. S./ Heredia- Guerrero, J. A./ Athanassiou A. (2017): Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties, [<https://www.nature.com/articles/srep41292.pdf>], (Erstelldatum: 24.01.17; Verfügbarkeitsdatum: 05.12.17), S.1-11.
- Heim, E. (1966): Acetat und Triacetat – heute, in: Lenzinger Berichte, 14. Jg. (1966), Nr. 22, S. 43-54.
- Hendriksz, V. (2017): Sustainable Textile Innovations, Banana Fibres, [<https://fashionunited.in/news/fashion/sustainable-textile-innovations-banana-fibre/2017082815584>], (Erstelldatum: 28.08.17; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Herberg, R. (2016): Wie aus Pilzen Leder wird, [<http://www.wiwo.de/technologie/green/tech/eco-fashion-wie-aus-pilzen-leder-wird/14490752.html>], (Erstelldatum: 02.09.16; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.18).
- Hickey, S. (2014): Wearable pineapple fibres could prove sustainable alternative to leather, [<https://www.theguardian.com/business/2014/dec/21/wearable-pineapple-leather-alternative>], (Erstelldatum: 21.12.14; Verfügbarkeitsdatum: 09.01.18).
- Hussy, W./ Schreier, M./ Echterhoff, G. (2013): Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor, 2. Aufl., Köln u.a. 2013, DOI 10.1007/978-3-642-34362-9.
- Inspidere B.V. (2016): Mestic® [<http://mestic.eu>], (Erstelldatum: 2016; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- INVISTA S.a.r.l. (2017a): INVISTA Announces the Availability of LYCRA® Fiber Produced with a Renewable Bio-Based Raw Material, [<http://www.invista.com/DE/news/pr-invista-announces-availability-of-lycra-fiber-with-renewable-raw-material.html>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- INVISTA S.a.r.l. (2017b): Q&A with INVISTA, [<http://www.invista.com/de/biotechnology/biotechnology-question-and-answer.html>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum:13.11.17).

- IUCN International Union For Conservation of Nature (k.A.): Building a true & bio-based economy, [[https://www.dsm.com/content/dam/dsm/cworld/en\\_US/documents/building-a-sustainable-bio-based-economy-iucn.pdf](https://www.dsm.com/content/dam/dsm/cworld/en_US/documents/building-a-sustainable-bio-based-economy-iucn.pdf)], (Erstelldatum: k.A., Verfügbarkeitsdatum: 22.12.17), S.1-10.
- IUPAC Compendium of Chemical Terminology (1997): The Gold Book, Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson, 2 Aufl. Online Version, Oxford 1997, DOI: <https://doi.org/10.1351/goldbook>.
- Jölli, D./ Giljum, S. (2005): Unused biomass extraction in agriculture, forestry and fishery, Sustainable Europe Research Institute (Hrsg.), [[http://web205.vbox-01.inode.at/Data/seri/publications/documents/SERI\\_Studies\\_3.pdf](http://web205.vbox-01.inode.at/Data/seri/publications/documents/SERI_Studies_3.pdf)], (Erstelldatum: 03.2005; Verfügbarkeitsdatum: 25.11.17), S.1-40.
- Kalia, S./ Dufresne, A./ Cherian, B. M./ Kaith, B. S./ Avérous, L./ Njuguna, J./ Nassiopoulos, E. (2011): Cellulose-Based Bio- and Nanocomposites: A Review, in: International Journal of Polymer Science, (k.A.) Jg. (2011), S.1-36, DOI: 10.1155/2011/837875.
- Katcher, J. (2015): Fashion's Biological Future Is Now, [[https://www.huffingtonpost.com/joshua-katcher/fashions-biological-future\\_b\\_7867424.html](https://www.huffingtonpost.com/joshua-katcher/fashions-biological-future_b_7867424.html)], (Erstelldatum: 24.07.15; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- Klare, H. (1985): Geschichte der Chemiefaserforschung, Berlin 1985.
- Klostermeyer, H./ Schmandke, H./ Soeder, C.J./ Schreiber, W./ Oehlenschläger, J./ Scholtyssek, S./ Kobald, M./ Sander, A./ Eilers, E./ von Kries, E. (2000): Proteins, in: Ullmann, F./ Arpe, H.-J./ Gerhartz, W. (Hrsg.): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 8. Aufl. DVD Edition (2017), Potsdam u.a. 2000, DOI: 10.1002/14356007.a22\_289.
- Kourmentza, C. et al. (2017): Recent Advances and Challenges towards Sustainable Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production, in: Bioengineering – Open Access Journal, 4. Jg. (2017), Nr.2, S.1-43, DOI:10.3390/bioengineering4020055.
- Krässig, H./ Schurz, J./ Steadman, R.G./ Schliefer, K./ Albrecht, W./ Mohring, M./ Schlosser, H. (2004): Cellulose, in: Ullmann, F./ Arpe, H.-J./ Gerhartz, W. (Hrsg.): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 8. Aufl. DVD Edition (2017), Graz u.a. 2004, DOI: 10.1002/14356007.a05\_375.pub2.

- Kretschmer B./ Smith C./ Watkins E./ Allen B./ Buckwell A./ Desbarats J./ Kieve D. (2013): Technology options for recycling agricultural, forestry and food wastes and residues for sustainable bioenergy and biomaterials, Teil der Studie Technology Options for Feeding 10 Billion People, IEEP Institute for European Environmental Policy (Hrsg.), [[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/JOIN/2013/513513/IPOL-JOIN\\_ET\(2013\)513513\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/JOIN/2013/513513/IPOL-JOIN_ET(2013)513513_EN.pdf)], (Erstelldatum: 09.2013; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.18), S.1-161.
- Kuruppallil, Z. (2011): Green Plastics: An Emerging Alternative for Petroleum Based Plastics?, Ohio University, Paper 036, Published in Conference Proceedings of The 2011 IAJC-ASEE International Conference, [[https://ijme.us/cd\\_11/PDF/Paper%2036%20ENT%20202.pdf](https://ijme.us/cd_11/PDF/Paper%2036%20ENT%20202.pdf)], (Erstelldatum: 2011; Verfügbarkeitsdatum: 28.11.17), S.1-10.
- Kutschker, M./ Bäurle, I./ Schmid, S. (1997): Quantitative und qualitative Forschung im internationalen Management: Ein kritisch-fragender Dialog, Kath. Universität Eichstätt und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät Ingolstadt (Hrsg.), Ingolstadt 1997.
- Lang, G. (2015): Dissertation - Herstellung und Charakterisierung von Fasern aus rekombinanten Spinnenseidenproteinen und deren potentielle Applikationen, Universität Bayreuth (Hrsg.), [[https://epub.uni-bayreuth.de/2038/1/Dissertation\\_Lang.pdf](https://epub.uni-bayreuth.de/2038/1/Dissertation_Lang.pdf)], (Erstelldatum: 05.03.15; Verfügbarkeitsdatum: 26.11.17), S.1-173.
- Lechner M. D./ Gehrke, K./ Nordmeier, E. H. (2014): Makromolekulare Chemie, Ein Lehrbuch für Chemiker, Physiker, Materialwissenschaftler und Verfahrenstechniker, 5. Aufl., Osnabrück u.a. (2014), DOI 10.1007/978-3-642-41769-6.
- Lenzing AG (2017): Press Information, EcoVero™ fibers – new industry standard in eco-friendly viscose, [<http://www.lenzing-fibers.com/en/news/press-releases/detail/article///ecoveroTM-fibers-new-industry-standard-in-eco-friendly-viscose-1/>], (Erstelldatum: 23.05.17; Verfügbarkeitsdatum: 25.02.18).
- Luque, R./ Clark, J. H. (2013): Valorisation of food residues: waste to wealth using green chemical technologies, in: Sustainable Chemical Processes, Nr.10, S.1-3, DOI:10.1186/2043-7129-1-10.



- Marchese, F. (2017): How Sicilian Oranges are being made into clothes, [<http://www.bbc.com/news/business-40946159>], (Erstelldatum: 24.08.17; Verfügbarkeitsdatum: 15.01.18).
- Matrec S.r.l. (2015): Made in Food Waste, Food waste as sustainable resource, [[https://www.matrec.com/wp-content/uploads/2016/11/matrec\\_made-in-food-waste-matrec-2015.pdf](https://www.matrec.com/wp-content/uploads/2016/11/matrec_made-in-food-waste-matrec-2015.pdf)], (Erstelldatum: 2015; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17), S.1-57.
- Mayer, H. O. (2013): Interview und schriftliche Befragung, Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung, Fachhochschule Vorarlberg (Hrsg.), 6. Aufl., München 2013.
- Mayring, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse, Grundlagen und Techniken, 12. Aufl., Weinheim u.a. 2015.
- McEachran (2015): Would you wear a wedding dress made from fungus?, [<https://www.theguardian.com/sustainable-business/sustainable-fashion-blog/2015/feb/17/grow-compost-wedding-dress-homegrown-fashion>], (Erstelldatum: 17.02.15; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Michaud, H. (2017): Video The Apple Girl, [<https://www.youtube.com/watch?v=jy40bPbrCAU>], (Erstelldatum: 08.03.17; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Modern Meadow Inc. (2016): Our Technology, [<http://www.modernmeadow.com/our-technology/>], (Erstelldatum: 2016; Verfügbarkeitsdatum: 24.11.17).
- Modern Meadow Inc. (2017): ZOA™, [<http://zoa.is/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- Mycoplast Snc (2017): Home, mogu [<http://www.mycoplast.com/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Mycotech UK Ltd. (2017): Home, [<https://www.mycotech.ch/>], (Erstelldatum: 2017, Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Mycoworks (2017): Video The Fungi in Your Future, [<https://www.mycoworks.com/>], (Erstelldatum: k.A.; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).

- Nanollose Ltd. (2017): Technology, [<http://nanollose.com/technology/overview/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- Natureworks LLC (2017): Where Ingeo™ comes from, [<https://www.natureworksllc.com/What-is-Ingeo/Where-Ingeo-Comes-From>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 25.11.17).
- Nau International Inc. (2016): 37.5™ Technology, [<https://www.nau.com/our-fabrics/synthetic-insulation>], (Erstelldatum: 2016; Verfügbarkeitsdatum: 21.02.18).
- NEFFA (2017): MycoTex proof-of-concept, [<http://neffa.nl/portfolio/mycotex/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 03.02.18).
- NEN Certification Scheme (2016): NCS 16785 Bio-based content certification scheme, [[http://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente\\_1/certification\\_schemes/Biobasierte\\_Produkte\\_NCS-16785-2016-11.pdf](http://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente_1/certification_schemes/Biobasierte_Produkte_NCS-16785-2016-11.pdf)], (Erstelldatum: 11.2016; Verfügbarkeitsdatum: 23.12.17), S.1-32.
- OECD Organisation for Economic Co-operation and Development (2010): Outlook on Industrial Biotechnology, Discussion Paper-Session II “ Industry Structure and Business Models for Industrial Biotechnology, [<http://www.oecd.org/sti/biotech/44777057.pdf>], (Erstelldatum: 13-15.01.10; Verfügbarkeitsdatum: 09.02.18).
- Onegreenplanet.org (2012): Vegan and Eco-friendly Win: Winter Jackets Insulated with Coconut Husks, [<http://www.onegreenplanet.org/news/vegan-and-eco-friendly-win-winter-jackets-insulated-with-coconut-husks/>], (Erstelldatum: 08.10.12; Verfügbarkeitsdatum: 21.02.18).
- Orange Fiber S.r.l. (2016): We have won Global Change Award by H&M Foundation, [<http://orangefiber.it/en/we-win-global-change-award-by-hm-conscious-foundation/>], (Erstelldatum: 13.02.16; Verfügbarkeitsdatum: 15.01.18).
- Orange Fiber S.r.l. (2017a): Fabrics, [<http://orangefiber.it/en/fabrics/>], (Erstelldatum: k.A.; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Orange Fiber S.r.l. (2017b): Collections, [<http://orangefiber.it/en/collections/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Piotrowski, Dr. S./ Carus, M./ Essel, R. (2015): Nachhaltig nutzbare Potenziale für Biokraftstoffe in Nutzungskonkurrenz zur Lebens- und Futtermittelproduktion, Bioenergie sowie zur

stofflichen Nutzung in Deutschland, Europa und der Welt, Nova- Institut (Hrsg.), [http://bio-based.eu/downloads/nachhaltig-nutzbare-potenziale-fuer-biokraftstoffe-in-nutzungskonkurrenz-zur-lebens-und-futtermittelproduktion-bioenergie-sowie-zur-stofflichen-nutzung-in-deutschland-europa-und-der-welt/], (Erstelldatum: 19.08.15; Verfügbarkeitsdatum: 28.12.17), S.1-286.

Qmilch IP GmbH (2017a): Material of the Future Broschüre, [https://www.qmilkfiber.eu/download], (Erstelldatum: k.A.; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17), S.1-9.

Qmilch IP GmbH (2017b): QMILK Collect, [https://www.qmilkfiber.eu/qmilk-collect], (Erstelldatum: k.A.; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).

Rauch, W. (2017): Spezial Fasern und Garne – Teil 1: Chemiefasern, Nachhaltigkeit vs. Fortschritt?, in: Textile Network, 2. Jg. (2017), Nr.1, S.16-23.

RSB Roundtable on Sustainable Biomaterials (2016): About, [http://rsb.org/about/], (Erstelldatum: 2016; Verfügbarkeitsdatum: 26.12.17).

Rüegg, P. (2015): Garn aus Schlachtabfall, ETH Zürich (Hrsg.) [https://www.ethz.ch/content/main/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2015/07/garn-aus-gelatine.html], (Erstelldatum: 29.07.15; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).

ScobyTec (2017): About, [http://scobytec.tumblr.com/about], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).

Seidentraum (2018): Bioseide BANANA, [https://www.seidentraum.biz/epages/64114803.sf/de\_DE/?ObjectPath=/Shops/64114803/Products/DAS-bs70], (Erstelldatum: k.A.; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.18).

Shen, L./ Haufe, J./ Patel, M.K. (2009): Product overview and market projection of emerging bio-based plastics, Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Utrecht University (Hrsg.), [http://news.bio-based.eu/media/news-images/20091108-02/Product\_overview\_and\_market\_projection\_of\_emerging\_bio-based\_plastics,\_PRO-BIP\_2009.pdf], (Erstelldatum: 06.2009; Verfügbarkeitsdatum: 11.11.17), S.1-243.

Singtex Industrial Co. Ltd. (2015a): S.Café® Brand Story, [http://www.scafefabrics.com/global/about/story], (Erstelldatum: 2015; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).

- Singtex Industrial Co. Ltd. (2015b): Upcycled Coffee Textiles: Print Media Report, Out Of The Garbage Can And Into The Dyer, [[http://www.scafefabrics.com/en-global/media\\_center/news\\_detail/sprudge](http://www.scafefabrics.com/en-global/media_center/news_detail/sprudge)], (Erstelldatum: 29.11.17, Verfügbarkeitsdatum: 18.12.17).
- Singtex Industrial Co. Ltd. (2015c): S.Café® Function, [<http://www.scafefabrics.com/en-global/about/particular>], (Erstelldatum: 2015; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- Singtex Industrial Co. Ltd. (2015d): S.Café® Partner, [[http://www.scafefabrics.com/en-global/partner/index/Clothing\\_brand](http://www.scafefabrics.com/en-global/partner/index/Clothing_brand)], (Erstelldatum: 2015; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- Singtex Industrial Co. Ltd. (2017): License Service, [<http://www.scafefabrics.com/certificate/home/index>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 15.01.18).
- Spiber Inc. (2016a): Endeavor, [<https://www.spiber.jp/en/endeavor>], (Erstelldatum: 2016; Verfügbarkeitsdatum: 25.11.17).
- Spiber Inc. (2016b): About, [<https://www.spiber.jp/en/about>], (Erstelldatum: 2016; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- Stamets, P. (2005): Mycelium Running, How mushrooms can help save the world, New York 2005.
- Starr, J. N./ Westhoff, G. (2014): Lactic Acid, in: Ullmann, F./ Arpe, H.-J./ Gerhartz, W. (Hrsg.): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 8. Aufl. DVD Edition (2017), Minnetonka u.a. 2014, DOI: 10.1002/14356007.a15\_097.pub3.
- Stevens, E. S. (2003): What makes green plastics green?, in: BioCycle, 44. Jg. (2003), Nr.3, zitiert bei: Kuruppalil, Z. (2011): Green Plastics: An Emerging Alternative for Petroleum Based Plastics?, Ohio University, Paper 036, Published in Conference Proceedings of The 2011 IAJC-ASEE International Conference, [[https://ijme.us/cd\\_11/PDF/Paper%2036%20ENT%20202.pdf](https://ijme.us/cd_11/PDF/Paper%2036%20ENT%20202.pdf)], (Erstelldatum: 2011; Verfügbarkeitsdatum: 28.11.17), S.1-10.
- Suzanne Lee (2011): Video Grow your own clothes, [[https://www.ted.com/talks/suzanne\\_lee\\_grow\\_your\\_own\\_clothes/up-next](https://www.ted.com/talks/suzanne_lee_grow_your_own_clothes/up-next)], (Erstelldatum: 2011; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).

- Textile Exchange (2016): Preferred Fiber Market Report 2016, [<http://textileexchange.org/wp-content/uploads/2017/02/TE-Preferred-Fiber-Market-Report-Oct2016-1.pdf>], (Erstelldatum: 10.2016; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17), S.1-56.
- Textile Exchange (2017): Preferred Fiber Market Report 2017, [<http://textileexchange.org/downloads/2017-preferred-fiber-materials-market-report/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 08.11.17), S.1-75.
- The Apple Girl (2016): Partners, [<https://www.theapplegirl.org/partners/>], (Erstelldatum: 2016; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- The Fiber Year Consulting (2016): The Fiber Year 2016 – World Survey on Textiles & Nonwovens, zitiert bei: Südwest Textil Verband der Südwestdeutschen Textil- und Bekleidungsindustrie (2016): Branchendaten Chemiefasern: Studie `The Fiber Year 2016´, [<https://www.suedwesttextil.de/nachrichten/branchendaten-chemiefasern-studie-the-fiber-year-2016>], (Erstelldatum: 24.05.16; Verfügbarkeitsdatum: 02.12.17).
- Thielen, M. (2013): Biokunststoffe: Pflanzen, Rohstoffe, Produkte, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), [<https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch.biokunststoffe-web-v01.pdf>], (Erstelldatum: 2013; Verfügbarkeitsdatum: 21.11.17), S.1-68.
- U.S. Congress (1993): Making Materials Nature's Way, Office of Technology Assessment Background Paper, [[https://www.princeton.edu/~ota/disk1/1993/9313\\_n.html](https://www.princeton.edu/~ota/disk1/1993/9313_n.html)], (Erstelldatum: 09.1993; Verfügbarkeitsdatum: 25.11.17), S.1-86.
- Umofil (2017): Beauty Fiber®, [<https://umofil.com/feature.html>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).
- USDA United States Department of Agriculture (2017a): What is BioPreferred®, [<https://www.biopreferred.gov/BioPreferred/faces/pages/AboutBioPreferred.xhtml>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 11.11.17).
- USDA United States Department of Agriculture (2017b): BioPreferred® Catalog, [<https://www.biopreferred.gov/BioPreferred/faces/catalog/Catalog.xhtml>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 29.12.17).

- Vaude (2018): Green Shape Core Collection Biobasierte Materialien, [<https://www.vaude.com/de-AT/Green-Shape-Core-Collection-Biobasierte-Materialien>], (Erstellatum:2018; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.18).
- VEGEA S.r.l. (2017a): About us, [<http://www.Vegeacompany.com/en/about-us/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- VEGEA S.r.l. (2017b): Research and Development, [<http://www.Vegeacompany.com/en/Vegea-research-and-development/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- VEGEA S.r.l. (2017c): Fashion, [<http://www.Vegeacompany.com/en/fashion/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- VEGEA S.r.l. (2017d): Vegea wins the Global Change Award 2017, [<http://www.vegeacompany.com/en/vegea-global-change-award-2017/>], (Erstelldatum: 07.04.17; Verfügbarkeitsdatum: 15.01.18).
- VEGEA S.r.l. (2017e): VEGEA PETA Fashion Innovation Award 2017, [<http://www.vegeacompany.com/vegea-vince-peta-fashion-innovation-award-2017-moda-animal-friendly/>], (Erstelldatum: 10.11.17; Verfügbarkeitsdatum: 15.01.18).
- VEGEA S.r.l. (2017f): European Parliament News: Nestlé Nespresso EU40 selected VEGEA as virtuous circular economy model, [<http://www.vegeacompany.com/en/european-parliament-nestle-nespresso-eu40-selected-vegea-as-virtuous-circular-economy-model/>], (Erstelldatum: 06.12.17; Verfügbarkeitsdatum: 15.01.18).
- Virent Inc. (2017): Products, [<http://www.virent.com/products/>], (Erstelldatum: 2017; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).
- Wendlandt, A. (2017): Fashion's Interest in Alternative Fabrics Keeps Growing, [<https://www.ny-times.com/2017/11/12/style/alternative-fabrics-sustainability-recycling.html>], (Erstelldatum: 12.11.17; Verfügbarkeitsdatum: 12.01.18).
- Wunderwerk (2018): Brand Mission, [<https://www.wunderwerk.com/brand-mission/>], (Erstelldatum: 2018; Verfügbarkeitsdatum: 27.01.18).
- XXLab (2015): SOYA C(O)U(L)TURE, [<http://xxlab.honfablab.org/soya-coulture/>], (Erstelldatum: 16.03.15; Verfügbarkeitsdatum: 15.11.17).

Young-A Lee (2016): Clothing made from tea byproduct could improve health of fashion industry, Iowa State University (Hrsg.), [<https://www.news.iastate.edu/news/2016/04/26/sustainableclothing>], (Erstelldatum: 26.04.16; Verfügbarkeitsdatum: 13.11.17).

Zeller, V./Weiser, C./Hennenberg, K./Reinicke, F./Schaubach, K./Thrän, D./Vetter, A./Wagner, B. (2011): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe zur Bioenergiebereitstellung, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), [[https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Ver%C3%B6ffentlichungen/02\\_Basisinformationen\\_Reststoffe\\_web.pdf](https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Ver%C3%B6ffentlichungen/02_Basisinformationen_Reststoffe_web.pdf)], (Erstelldatum: 2011; Verfügbarkeitsdatum: 18.02.18).

## **7 Eidesstaatliche Erklärung**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst, nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Ich versichere auch, dass ich diese Arbeit weder im In- noch im Ausland einem Beurteiler oder einer Beurteilerin in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.



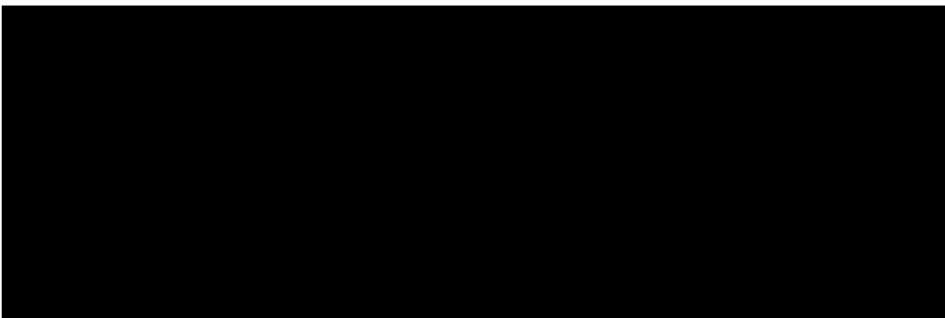
## 8 Eidesstaatliche Erklärung zur Veröffentlichung

Ich erkläre mich damit



o nicht einverstanden,

dass ein Exemplar meiner Masterthesis in die Bibliothek des Fachbereichs aufgenommen wird; Rechte Dritter werden dadurch nicht verletzt. (Wenn das Unternehmen Bedenken gegen die Veröffentlichung der Masterthesis hat, ist eine schriftliche Begründung der Firma erforderlich).



## **Appendix**

(siehe PDF auf beigefügter CD)

- a) Zusatzinformationen Biopolymere
- b) Fragebögen der Leitfadeninterviews
- c) Transkripte der Experteninterviews
- d) Auswertung der Experteninterviews
- e) Erfolgsfaktorenraster der Experteninterviews
- f) Erfolgsfaktorenraster der Literaturrecherche