

---

# Roadmap 2050 Biobasierter Kunststoff – Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen

---

H. Frischenschlager  
V. Reinberg  
J. Kisser

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**6/2018**

## **Impressum**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

[www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at)

# Roadmap 2050 Biobasierter Kunststoff – Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen

Helmut Frischenschlager, Michael Kellner,  
Ilse Schindler, Helmut Gaugitsch  
Umweltbundesamt GmbH

Veronika Reinberg, Johannes Kisser, Julia Edlinger,  
Ines Kantauer, Carmen Zehetbauer  
alchemia-nova GmbH

Wien, Februar 2018

**Ein Projektbericht im Rahmen der FTI Initiative**

## Produktion der Zukunft

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## VORWORT

Die umfassende und exzessive Nutzung fossiler und nicht erneuerbarer Ressourcen hat vor allem in den Industrienationen lange Zeit für ein kontinuierliches wirtschaftliches Wachstum gesorgt. Heute allerdings stellt diese Handlungsweise die Weltgemeinschaft vor große Herausforderungen, die im 21. Jahrhundert gelöst werden müssen – seien es der Klimawandel, die globale Umweltverschmutzung oder die allgemeine Verknappung der Ressourcen.

Speziell die EU-Mitgliedstaaten liefern sich aufgrund ihrer hohen Rohstoffimportabhängigkeit (z. B. betreffend Erdöl und Erdgas) der immer stärkeren Konkurrenz auf dem Weltmarkt aus. Mit ressourceneffizienter und nachhaltiger Nutzung biogener Rohstoffe gibt es für die Wirtschaft vielfältig nutzbare Alternativen.

Nachhaltigen Industriekonzepten wird zur Lösung eingangs genannter Herausforderungen eine entscheidende Rolle zugesprochen, die biobasierte Industrie wird hierbei ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor sein. Diese ermöglicht die Umwandlung (Konversion) nachwachsender Rohstoffe in hochwertige Produkte und erzeugt so zusätzlichen Mehrwert. Die zielgerichtete Forschung und Entwicklung für den Ausbau der biobasierten Industrie gewährleistet Wertschöpfung im nationalen und europäischen Raum und somit realen Mehrwert für die regionale und lokale Nutzung der Rohstoffe und den Einsatz heimischer Fach- und Arbeitskräfte.

Aber auch biogene Ressourcen sind nicht unbegrenzt verfügbar. Daher ist es sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen notwendig, Biomasse möglichst vollständig zu verwerten, beziehungsweise Konzepte zu entwickeln, die eine ressourceneffiziente Nutzung berücksichtigen und höhere Wertschöpfung erzielen. Zugleich soll eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft unterstützt werden, welche – neben der kaskadischen Nutzung – auf die Rückführung von biogenem Material in den Produktionskreislauf und die Verwertung von Reststoffen abzielt.

Der vorliegende Bericht dokumentiert in umfassender Weise die Ergebnisse eines Projekts im Themenbereich „Biobased Industry“ im Rahmen der FTI Initiative „Produktion der Zukunft“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). Unsere Motivation ist es, kontinuierlich Ergebnisse geförderter Projekte zentral und themenübergreifend zugänglich zu machen. Damit geben wir einen Anstoß zur Lösung unserer großen gesellschaftlichen Herausforderungen und folgen dem Ziel des bmvit, unter der Initiative „open4innovation“ ([www.open4innovation.at](http://www.open4innovation.at)) die Basis für Vernetzung und für die Gestaltung von Neuem zu schaffen.

Theodor ZILLNER / René ALBERT  
Thementeam Ressourcen  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien



# Inhaltsverzeichnis

---

1.	Kurzfassung .....	3
2.	Hintergrundinformation zum Projekthalt .....	7
3.	Einleitung.....	9
4.	Stand der Technik und des Wissens .....	12
4.1.	Kunststoffwirtschaft .....	12
4.2.	Biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe .....	13
4.3.	„Neue biobasierte Kunststoffe“ .....	15
4.3.1.	Stärke-Derivate (Thermoplastische Stärke, TPS).....	15
4.3.2.	Polyhydroxyalkanoate (PHAs) .....	15
4.3.3.	Polymilchsäure (Polylactic Acid, PLA).....	16
4.3.4.	Cellulose-basierte Kunststoffe .....	17
4.3.5.	Lignin-basierte Kunststoffe.....	17
4.3.6.	Polyethylenfurandicarboxylat (PEF) .....	18
4.4.	Drop-ins .....	19
4.4.1.	Polyamide (PA) .....	19
4.4.2.	Polyurethane (PU, PUR und TPU).....	19
4.4.3.	Polyethylen (PE).....	19
4.4.4.	Polypropylen (PP) .....	20
4.4.5.	Polyethylenterephthalat (PET) .....	20
4.4.6.	Andere biobasierte Kunststoffe .....	21
4.5.	Nachhaltigkeit.....	22
4.6.	Rohstoffe – Flächenbedarf und Nutzungskonkurrenzen.....	23
4.6.1.	Rohstoff Stärke .....	25
4.6.2.	Alternative Rohstoffe – biobasierte Kunststoffe der 2. Generation .....	26
4.6.3.	Nutzung von CO <sub>2</sub> durch Algen oder chemolithoautotrophe Mikroorganismen – biobasierte Kunststoffe der 3. Generation.....	27
4.6.4.	Direkte CO <sub>2</sub> -Nutzung mittels elektrochemischer Prozesse – biobasierte Kunststoffe der 4. Generation.....	28
4.7.	Produktion und Markt (weltweit und EU) .....	29
4.8.	Unternehmen und Produkte in Österreich .....	32
4.9.	Wirtschaftlichkeit und Preise .....	33
4.10.	Recycling.....	33

4.11.	Littering .....	35
4.12.	Vereinigungen .....	36
4.13.	Europäische Projekte.....	36
4.14.	Strategien und Projekte in Österreich.....	38
5.	Gesetzliche Regelungen und Standards .....	41
5.1.	Standards zur Bestimmung des biobasierten Anteils.....	42
5.2.	Recycling.....	44
5.3.	Entsorgung.....	44
5.3.1.	Biologische Abbaubarkeit.....	44
5.3.2.	Normvorgaben für (industrielle) Kompostierbarkeit .....	44
5.3.3.	Normvorgaben für Heim-Kompostierbarkeit.....	46
5.3.4.	Biologische Abbaubarkeit im Boden .....	47
5.3.5.	Biologische Abbaubarkeit in Wasser .....	47
5.4.	Zertifizierungen .....	47
5.4.1.	Kompostierbarkeitskennzeichen .....	48
5.5.	Entwicklungen in der Europäischen Union.....	49
5.6.	Nationale Implementierungen und Gesetze .....	52
5.6.1.	Beispiel Frankreich .....	52
5.6.2.	Beispiel Italien .....	52
5.6.3.	Beispiel Spanien.....	52
5.6.4.	Beispiel Österreich.....	52
6.	Ergebnisse des Projekts.....	53
6.1.	Regulative, technische und ökonomische Hemmnisse, Einsatz biobasierter Kunststoffe und mögliche Lösungen zu deren Überwindung.....	53
6.1.1.	Biomass Resource Planning.....	53
6.1.2.	Technologie .....	56
6.1.3.	Markt – Infrastruktur.....	58
6.1.4.	Financial and Economic Considerations .....	61
6.2.	Zielpfad zur Steigerung des Marktanteils biobasierter Kunststoffe mit Empfehlungen für Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen zur Regulierung.....	65
7.	Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen .....	71
8.	Vernetzung und Ergebnistransfer .....	77
9.	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	77

# 1. Kurzfassung

## Ausgangssituation

Obwohl es bereits vielfältige Entwicklungen im Bereich biobasierter Kunststoffe (BbKs) gibt, haben diese international einen verhältnismäßig geringen Marktanteil. Während der Anteil von BbKs bis Mitte dieses Jahrzehnts – im Zuge der Umsetzung von NAWARO-Projekten und um Alternativen zur Abhängigkeit von Erdöl zu entwickeln – stetig zunahm, ist aktuell fast ein Gegenteil zu vermerken. BbKs sind zurzeit aufgrund der niedrigen Erdölpreise kaum konkurrenzfähig und finden sich fast nur in speziellen Nischenanwendungen wieder.

## Inhalte und Zieleetzungen

Vor diesem Hintergrund wurde ein „Szenario 2050 – Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen (biobasierter Kunststoff)“ ausgearbeitet. Dieses Szenario soll mit dem hypothetischen Ziel erstellt werden, dass Biokunststoffe bei in der EU hergestellten Produkten einen Marktanteil von 100 % erreichen.

## Methodische Vorgehensweise

Aus Literatur- und Internetrecherchen wurden, ergänzt durch einen ExpertInnenworkshop, der Stand der Technik und des Wissens sowie Hemmnisse im Einsatz von BbKs dargestellt. Der Kunststoffbedarf für das Szenario wurde in einem Top-down-Ansatz – ausgehend vom Kunststoffbedarf in der EU im Jahr 2015 (49 Mt) und einem abgeschätzten Marktwachstum (2,6 %) – ermittelt. Alternativ dazu wurde auch ein Szenario bei einem jährlichen Marktwachstum von 0,5 % eingeführt. Die im Jahr 2050 erzielbaren Mengen an biobasierten Kunststoffen wurden anschließend in einem Bottom-up-Ansatz durch die potenziell in Europa verfügbare Biomasse, Biomassennutzungskonkurrenzen und in der Literatur beschriebene Umwandlungsfaktoren grob abgeschätzt. In einem abschließenden Feedback-Workshop wurde der Zielpfad des BbKs Szenarios 2050 mit Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Unternehmen und Verwaltung reflektiert und die Wirksamkeit der Handlungsempfehlungen und der Forschungsbedarf wurden diskutiert. Unter Einbindung der relevanten Stakeholder und deren Input wurde auf diese Weise der Zielpfad in vier Zwischenschritten mit Handlungsempfehlungen und der Darstellung des Forschungsbedarfs entlang einer Zeitachse bis 2050 im Szenario ausformuliert.

## Ergebnisse

Zwischen dem Biobasierten Virgin Feedstock Bedarf bei einem Marktwachstum von 2,6 % und dem entwickelten Zielpfad des BbKs-Angebots klafft im Jahr 2050 eine Lücke von 37 Mt. Diese wird zwar unter der Annahme eines jährlichen Marktwachstums der kunststoffverarbeitenden Industrie von nur 0,5 % kleiner, beträgt aber selbst dann immer noch rund 10 Millionen Tonnen biobasierter Kunststoff. Um diesen Gap zu schließen, müssten der Virgin Feedstock Bedarf weiter verringert (Demand Side) und die verfügbare Menge an BbKs erhöht werden (Supply Side).

Für eine Verringerung der Feedstock Bedarfsmengen (Demand Side) wären vor allem eine Verlängerung der Produktlebenszeit (u. a. Reuse und Circular Design) und eine Veränderung des Verbraucherverhaltens nötig. Eine Verbesserung der technischen Performance und anwendungsorientierte Optimierung der Eigenschaften der biobasierten Kunststoffe, vor allem in Hinsicht auf Recyclierbarkeit, wären hier ebenfalls nötig. Hohe Recyclingquoten (Verhindern

unkontrollierter Freisetzung, keine Deponierung, Verbrennung nur am Ende der Wertschöpfungskette) wurden für das Szenario bereits weitestgehend berücksichtigt, da hier Vorgaben der EU bereits vorliegen.

Eine Steigerung der Verfügbarkeit von BbKs (Supply Side) wäre durch eine Effizienzsteigerung bei der Umwandlung von Rohstoffen zu Biopolymeren sowie eine Erhöhung der Biomasseverfügbarkeit unter Berücksichtigung einer nachhaltigen Land- und Forstwirtschaft möglich. Neue BbKs mit besseren Umwandlungsfaktoren können durch F&E bedeutende Mengen an BbKs für breite Einsatzgebiete liefern. Beispielhaft genannt seien hier die Optimierung bei Kultivierung und Produktion von PHAs, die Fortführung der Forschung zu Lignocellulose und zu Cellulosederivaten, Logistikforschung für Rohstoffbereitstellung, Verarbeitungsschritte, Verteilung und Recycling von BbKs und BbKs aus autotrophen Mikroorganismen bzw. CO<sub>2</sub>-Nutzung mittels technisch-chemischer Prozesse und erneuerbarer Energie (Überschussstrom).

Aus ExpertInnen­sicht sind folgende Faktoren zur nennenswerten Steigerung des Marktanteils von Kunststoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe bedeutsam:

- Vernetzung zwischen Forschung, Industrie, Händlern für Produktentwicklung, Recyclern, Landwirtschaft, Rohstoffbereitstellern, Lehre & Ausbildung, sozialen Themen;
- Information und Bewusstseinsbildung bei Industrie, Produzenten, Produktdesignern, Gestaltern von Prozessabläufen, Großverbrauchern & Kunststoffverarbeitern und gezielte Öffentlichkeitsarbeit (Kommunikation);
- regulative Festlegung spezifischer Anwendungen für biobasierte Kunststoffe, die für jene nachweislich bessere Ökobilanzen aufweisen;
- ökonomische Differenzierung zwischen fossilen und biogenen Kunststoffen durch fiskale Steuerungsinstrumente (z. B. Anreizsysteme, ansteigende Besteuerung/verminderte Förderung von fossilbasierten Kunststoffen/fossilen Rohstoffen in bestimmten Anwendungsbereichen).

Das Szenario dient als Grundlage für weitere nationale FTI-Aktivitäten, aber auch für Handlungsempfehlungen im Bereich der Regulierung.

# Summary

## Starting point/Background

Although a great many developments have taken place in the bio-based plastics sector, the market share of these plastics is still comparatively small. Despite a steady increase up to middle of this decade – through the implementation of NAWARO projects and the development of alternatives to oil – there is now almost a counter trend running in the opposite direction. With low oil prices, bio-based plastics are currently barely competitive and used almost only for specific niche applications.

## Content and objectives

Against this background, a “2050 scenario - plastics made from renewable resources (bio-based plastics)” has been developed. The hypothetical target of this scenario is for bio-based plastics to have a 100 % market share of product manufacturing in the EU.

## Methodology

Using research into literature and on the internet, and with the help of an expert workshop, the state of the art and current knowledge as well as the barriers to the use of bio-based plastics were described. In a top-down approach the demand for plastics was calculated for the scenario, on the basis of the EU demand for plastics in 2015 (49 Mt) and an estimated market growth of 2.6 %. As an alternative, another scenario assuming an annual market growth of 0.5 % was introduced. A rough estimate of bioplastic quantities achievable by 2050 was carried out, using a bottom-up approach based on the amount of biomass potentially available in Europe, on competition for biomass use and on conversion factors described in the literature. At a final feedback workshop, a pathway to the 2050 target of the bio-based plastics scenario was deliberated on with experts from science, business and administration, and discussions were held on the effectiveness of recommendations and the need for research. With the help of relevant stakeholders and their inputs, a pathway was developed for the scenario up to 2050, consisting of four intermediary stages with a timeline of recommendations and describing the need for relevant research.

## Results

Assuming a market growth rate of 2.6%, the gap in 2050 between the demand for virgin bio-based feedstock and bioplastic supply (according to the pathway developed) amounts to 37 Mt. Although this gap is expected to become smaller, if one assumes that the plastics processing industry will grow by a mere 0.5 %, it will still amount to around 10 million tonnes of bio-based plastics. To close the gap, the demand for virgin feedstock has to be further reduced (demand side), while the quantity of bio-based plastics available has to be increased (supply side).

To reduce the demand for feedstocks (demand side), it would above all be necessary to extend the life of products (e.g. by introducing a reuse and circular design) and to change consumer behaviour. An improved technical performance and an application-oriented optimisation of the properties of bio-based plastics, especially in terms of their recyclability, would also be necessary. High recycling rates (preventing uncontrolled releases, avoiding disposal in landfills, incineration only at the end of the supply chain) have been considered in the scenario as far as possible, in line with existing EU requirements.

An increase in the availability of bio-based plastics (supply side) could be achieved by increasing the efficiency in the conversion of raw materials to biopolymers and by increasing biomass availability, while at the same time respecting the principles of sustainable agriculture and forestry. With R & D, new bio-based plastics with better conversion factors can deliver considerable quantities of bio-based plastics for a broad range of applications, for example by optimising the cultivation and production of PHAs, and through continued research on lignocellulose and cellulose derivatives, the logistics for the provision of raw materials, research into processing steps and the distribution and recycling of bio-based plastics and bio-based plastics produced from autotrophic microorganisms, and the use of CO<sub>2</sub> through technical-chemical processes and renewable energy (surplus electricity).

From an expert point of view the following factors are relevant if an appreciable increase in the market share of plastics made from renewable resources is to be achieved:

- networking between areas of research and industry, traders supporting product development, recycling companies, agriculture, raw material providers, teaching & training, and social issues;
- information and awareness raising in industry and among manufacturers, product designers and designers of process flows, large-scale consumers & processors of plastics, and targeted public relations (communication);
- regulations defining specific applications for bio-based plastics with demonstrably better scores in life cycle assessments;
- economic differentiation between fossil and biogenic plastics through fiscal control mechanisms (e.g. incentive systems, higher taxes/less support for fossil-based plastics/fossil plastics for specific applications).

The scenario provides the basis for further national RTI activities and for recommendations for regulation.

## 2. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

Obwohl es bereits vielfältige Entwicklungen im Bereich Biokunststoffe<sup>1</sup> gibt, haben diese auf dem internationalen Parkett einen verhältnismäßig geringen Marktanteil. Während der Anteil von BbKs bis Mitte dieses Jahrzehnts, im Zuge der Umsetzung von NAWARO-Projekten und um Alternativen zur Abhängigkeit von Erdöl zu entwickeln, stetig zunahm, ist aktuell fast ein Gegenteil zu vermerken. Biokunststoffe sind zurzeit aufgrund der niedrigen Erdölpreise kaum konkurrenzfähig und finden sich fast nur in speziellen Nischenanwendungen wieder.

Forschung und Entwicklung im Themenfeld Biokunststoffe sowie deren Einsatzmöglichkeiten bleiben jedoch wichtige Themen. Mögliche geschlossene Stoffkreisläufe, die Substitution von Erdöl als endliche Ressource, aber auch die zunehmende Problematik der Verteilung von Mikroplastik-Partikeln in Umwelt und Gewässern<sup>2</sup> sind Fragestellungen, die mit Forschung und Entwicklung zu lösen sind.

Ziel des österreichischen Projekts war daher die Erstellung eines publizierbaren Szenarios 2050 mit Handlungsempfehlungen sowie eine Darstellung des Forschungsbedarfs zur nennenswerten Steigerung des Marktanteils von Kunststoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe bis 2050 in Österreich bzw. der EU. Das Szenario soll als Grundlage für weitere nationale FTI-Aktivitäten, aber auch für Handlungsempfehlungen im Bereich der Regulierung im europäischen, und gegebenenfalls auch im internationalen Kontext dienen. Damit soll das Szenario zur Erreichung folgender Ziele beitragen:

- Schließen von Stoffkreisläufen,
- Substitution von Erdöl als endliche Ressource,
- Reduktion der Importabhängigkeit von Erdöl,
- Verringerung der Treibhausgasemissionen,
- Wettbewerbsvorteile der österreichischen Kunststoffbranche.

Die Erstellung des Szenarios 2050 erfolgte ausgehend vom aktuellen, in einem ersten Schritt des Projekts erhobenen Wissensstand zu aktuellen Biopolymeren inklusive benötigter Rohstoffe sowie deren Einsatz- und Recyclingmöglichkeiten. Als weitere Ausgangsbasis dienten die im Rahmen des Projekts erhobenen aktuellen gesetzlichen Regelungen in der EU mit Bezug auf Biopolymere hinsichtlich ihres Einsatzes sowie vorgeschriebener Recycling- und Entsorgungsmaßnahmen.

Unter Einbindung relevanter Stakeholder wurden regulative, technische sowie ökonomische Hemmnisse im Einsatz von biobasierten Kunststoffen (BbKs) identifiziert und Möglichkeiten zu deren Überwindung abgeleitet. Neue technologische Entwicklungen zu biobasierten Kunststoffen wurden ermittelt und deren Potenziale abgeschätzt. Nach Konkretisierung des dem Projekt hinterlegten hypothetischen Ziels, dass Biokunststoffe bei in der EU hergestellten Produkten einen Marktanteil

---

<sup>1</sup> Hier: ‚biobased‘, also auf Basis nachwachsender Rohstoffe — nicht ‚biodegradable‘ (siehe auch Kapitel 44 Stand der Technik und des WissensStand der Technik und des Wissens sowie <http://www.europeanbioplastics.org/bioplastics/>)

<sup>2</sup> Biobasierte Kunststoffe können ein möglicher Lösungsansatz sein, wenn sie in den für sie bestimmten Anwendungen und unter den in diesen Anwendungen vorliegenden Bedingungen vollständig bioabbaubar sind.

von 100 % erreichen, wurde – aufbauend auf dem zuvor erhobenen Stand der Technik und des Wissens – ein Zielpfad bis 2050 ausgearbeitet, einschließlich notwendiger Zwischenschritte, des Forschungsbedarfs und möglicher Regulierungsmaßnahmen. In einem abschließenden Feedback-Workshop wurden der Zielpfad des BbKs Szenarios 2050 mit Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Unternehmen und Verwaltung reflektiert und die Wirksamkeit der Handlungsempfehlungen und der Forschungsbedarf diskutiert. Mit Einbindung der relevanten Stakeholder und deren Input wurde so der schrittweise Zielpfad einschließlich der Handlungsempfehlungen und der Darstellung des Forschungsbedarfs entlang einer Zeitachse bis 2050 im Szenario ausformuliert.

Das BbKs Szenario 2050 wurde vom Umweltbundesamt und alchemia-nova im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) im Rahmen der Forschungs-, Technologie- und Innovations-Initiative (FTI-Initiative) ‚Produktion der Zukunft‘ des bmvit und mit Unterstützung der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) entwickelt. Bei der Erstellung des BbKs Szenarios 2050 wurde auch auf die mutmaßlichen Veränderungen der Gesellschaft und Wirtschaft eingegangen, die den Stellenwert und Einsatz von Kunststoffen beeinflussen. Hierbei konnte auf die jahrelange Erfahrung des Umweltbundesamtes in der Entwicklung von Szenarien bis 2050 (z. B. Energie- und THG-Szenarien, Industrieszenarien, ClimTrans 2050, Teilnahme am Klima- & Energiestrategie-Prozess 2030) aufgebaut werden. Das Unternehmen alchemia-nova befasst sich bereits seit der Gründung mit den Themen biobasierter Kunststoffe und der kaskadischen Nutzung von Pflanzen bzw. mit dem Konzept der integrierten Bioraffinerie (u. a. als Rohstoffe für die Erzeugung von Biokunststoffen).

Das Projekt startete im März 2017 und wurde nach einer Projektlaufzeit von 14 Monaten Ende April 2018 abgeschlossen.

### 3. Einleitung

Bis zum Jahr 2050 ist – bei einem von verschiedenen ExpertInnen und Institutionen abgeschätzten jährlichen Marktwachstum von 2 bis 3,1 % – von einer Erhöhung des **Kunststoffbedarfs in Europa auf 100–150 Mt pro Jahr** auszugehen (weltweit: > 1.000 Mt) (Quellen: ExpertInnen-Interviews, plasticseurope, Borealis, Verband der Chemischen Industrie e.v. – VCI).

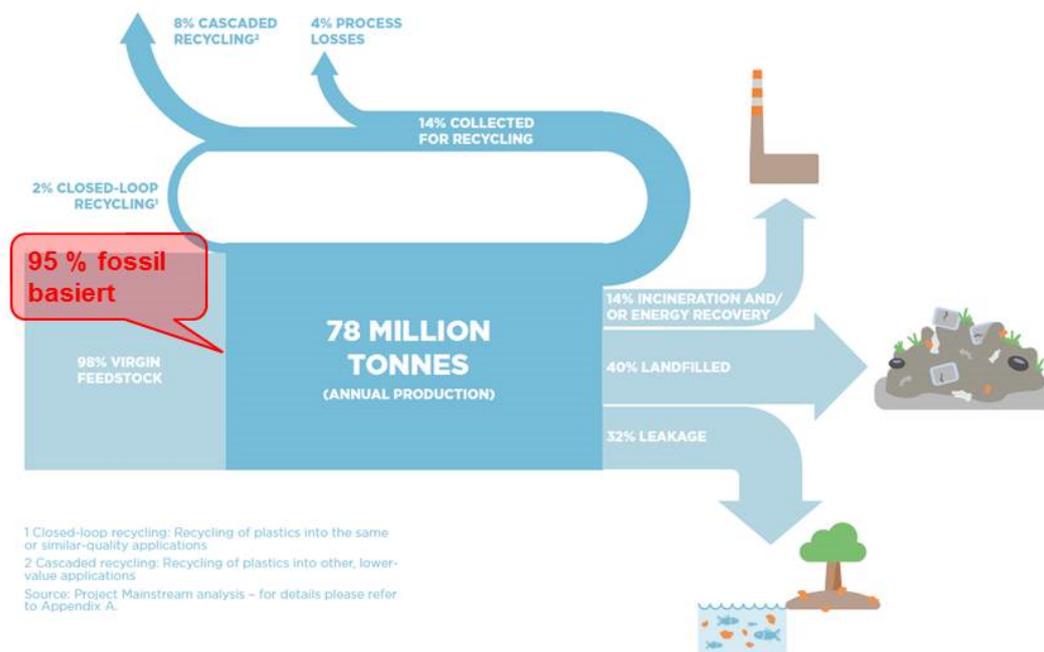


Abbildung 1: Global Flows of Plastic Packaging Materials in 2013. (Quelle: [EMAF 2016](#))

Die Kunststoffwirtschaft (z. B. im Verpackungssektor) beruht zurzeit auf einem weitestgehend **linearen Stoff- bzw. Materialfluss**, in Abbildung 1 dargestellt anhand der weltweiten Kunststoffströme im Jahr 2013. Dieses Wirtschaftssystem basiert auf rund 95 % fossiler Rohstoffe und hat – vor allem ohne effiziente Kreislaufführung der Wertstoffe und energieeffiziente Gewinnung der Rohstoffe und deren Verarbeitung – negative Folgen auf Umwelt und Klima. Im Jahr 2016 haben das World Economic Forum, die **Ellen MacArthur Foundation (EMAF)** und McKinsey & Company unter anderem berechnet, dass bis 2050 in einem **Business-As-Usual-Szenario** der Anteil des weltweiten Erdölverbrauchs für Kunststoffe von derzeit rund 6 % auf 20 % steigen wird<sup>3</sup> und dass sich damit der Anteil der Kunststoffe am globalen CO<sub>2</sub>-Budget von 1 % auf 15 % erhöhen wird<sup>4</sup> (Quelle: [EMAF 2016](#)).

<sup>3</sup> lt. EMAF 2016 wird der gesamte, globale Ölverbrauch voraussichtlich langsamer wachsen (0,5 % p.a.) als die Kunststoffproduktion (3,8 % bis 2030, dann 3,5 % bis 2050)

<sup>4</sup> Hierbei wird lt. EMAF 2016 CO<sub>2</sub> des Energieeinsatzes in der Kunststoffherstellung berücksichtigt und CO<sub>2</sub>, das bei Verbrennung und/oder Energierückgewinnung nach der Verwendung freigesetzt wird. Letzteres basiert auf 14 % Verbrennung und/oder Energierückgewinnung im Jahr 2014 und 20 % im Jahr 2050. (CO<sub>2</sub>-Budget basierend auf 2 Grad-Szenario)

Dies zeigt sehr deutlich die Notwendigkeit einer ‚**Neuen Kunststoffwirtschaft**‘, wie sie unter anderem von der Ellen MacArthur Foundation konzipiert wurde, die sich an den Grundsätzen und Zielen der **Kreislaufwirtschaft** und **nachhaltigen Bioökonomie** orientiert (siehe Abbildung 2). Neben dem **massiv gesteigerten Einsatz von Recyclat** in der Kunststoffverarbeitung enthält dieses Konzept als eines der Hauptziele die **Entkoppelung der Kunststoffproduktion von fossilen Rohstoffen** durch den **Einsatz biobasierter Rohstoffe**. Das EMAF-Konzept wurde auch weitestgehend von der **europäischen Kunststoffstrategie**<sup>5</sup> übernommen.

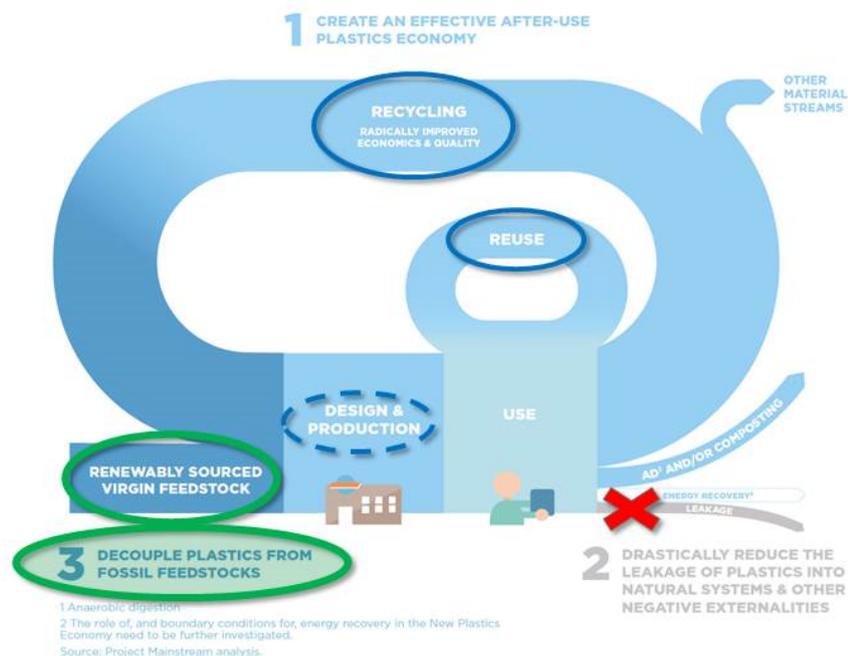


Abbildung 2: Ambitions of The New Plastics Economy. (Quelle: [EMAF 2016](#))

Obwohl es bereits vielfältige Entwicklungen im Bereich der Biokunststoffe<sup>6</sup> gibt, haben diese auf dem internationalen Parkett einen verhältnismäßig geringen Marktanteil. Während der Anteil von BbKs bis Mitte dieses Jahrzehnts – im Zuge der Umsetzung von NAWARO-Projekten und um Alternativen zur Abhängigkeit von Erdöl zu entwickeln – stetig zunahm, ist aktuell fast ein Gegenteil zu vermerken. Biobasierte Kunststoffe sind zurzeit aufgrund der niedrigen Erdölpreise kaum konkurrenzfähig und finden sich fast nur in speziellen Nischenanwendungen wieder.

Bei der Steigerung des Marktanteils der biobasierten Kunststoffe in der EU sind alle Aspekte und Ziele der **Kreislaufwirtschaft** und **Bioökonomie**, der **nachhaltigen Entwicklung** (z. B. Sustainable Development Goals – **SDGs**, Erhalt der **Biodiversität**) sowie generell die Aspekte einer **Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft** in einer nachhaltigen, klimakompatiblen und zukunftsfähigen Welt 2050 zu berücksichtigen. **Reuse** und **Recycling** von Kunststoffen (mechanisch, chemisch und organisch) haben bei der Umsetzung des Konzepts oberste Priorität (Verbindung zu

<sup>5</sup> EC – European Commission (2018): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. COM(2018) 28 final. Brussels, 16.01.2018.

<sup>6</sup> Hier: ‚biobased‘, also auf Basis nachwachsender Rohstoffe – nicht ‚biodegradable‘. Siehe auch <http://www.europeanbioplastics.org/bioplastics/>

Kreislaufwirtschaft). Mit der Nutzung **biogener Rohstoffe**<sup>7</sup> in einer **regionalen Kreislaufwirtschaft** und der potenziellen **Nutzung von CO<sub>2</sub>** als möglicher Einsatzstoff zur Kunststoffherstellung besteht auch der Kontext zu einer **nachhaltigen Bioökonomie** und der **Energie- und Klimapolitik**.

Mögliche geschlossene Stoffkreisläufe, die Substitution von Erdöl als endliche Ressource, aber auch die zunehmende Problematik der Verteilung von Mikroplastik-Partikeln in Umwelt und Gewässern sind Fragestellungen, die mit **Forschung und Entwicklung** zu lösen sind. Forschung und Entwicklung im Bereich Biokunststoffe sowie deren Einsatzmöglichkeiten sind demnach wichtige Themen.

Vor diesem Hintergrund soll ein **„Szenario 2050 – Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen (biobasierter Kunststoff)“** ausgearbeitet werden. Dieses Szenario soll mit dem **hypothetischen Ziel** erstellt werden, dass Biokunststoffe bei in der EU hergestellten Produkten einen **Marktanteil von 100 %** erreichen. Es dient als **Grundlage für weitere nationale FTI-Aktivitäten, aber auch für Handlungsempfehlungen im Bereich der Regulierung**. Dieses Szenario wird als Hauptergebnis des Projekts in Kapitel 6 dargestellt.

Zunächst wird der im Rahmen des Projekts erhobene **Stand der Technik und des Wissens** zu aktuellen biobasierten Kunststoffen inklusive benötigter Rohstoffe sowie deren Einsatz- und Recyclingmöglichkeiten dargestellt (siehe Kapitel 4). Den aktuellen **gesetzlichen Regelungen und Standards** in der EU mit Bezug auf Biopolymere hinsichtlich Einsatz- sowie vorgeschriebener Recycling- und Entsorgungsmaßnahmen ist ein eigenes Kapitel gewidmet (siehe Kapitel 5). In Abschnitt 6.1 werden **regulative, technische und ökonomische Hemmnisse** beschrieben, die einem breiten Einsatz von biobasierten Kunststoffen entgegenstehen und es werden **Möglichkeiten zu deren Überwindung** erörtert. In Abschnitt 6.2 wird schließlich der **Zielpfad zur Steigerung des Marktanteils biobasierter Kunststoffe mit Empfehlungen für Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen** zur Regulierung entlang einer **Zeitachse 2026 bis 2050** zur Erreichung des dem Projekt hinterlegten hypothetischen Ziels dargestellt.

---

<sup>7</sup> Die Rohstoffe für biobasierte Kunststoffe stammen heute in der Regel aus der Land- und Forstwirtschaft. Heute werden Biokunststoffe meist aus kohlenhydratreichen Pflanzen wie Mais oder Zuckerrohr, sogenannten Nahrungsmittelpflanzen oder Rohstoffen der ersten Generation, hergestellt. Rohstoff der ersten Generation ist derzeit der effizienteste für die Produktion von Biokunststoffen (siehe hierzu auch Abschnitt ‚Rohstoffe – Flächenbedarf und Nutzungskonkurrenz‘ in Kapitel 4). Die Fläche, die heute benötigt wird, um genügend Ausgangsmaterial für die Produktion von Biokunststoffen zu produzieren, beträgt weniger als 0,02 % der weltweiten landwirtschaftlichen Fläche von insgesamt 5 Milliarden Hektar. Trotz dieses geringen Flächenanteils führt die stoffliche Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen unter Fachleuten immer wieder zu kontroversen Diskussionen. Der Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) hat 2012 ein Grundsatzpapier zu ‚Chancen und Grenzen des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe in der Chemischen Industrie‘ veröffentlicht. Um im Einzelfall entscheiden zu können, ob ein Einsatz nachwachsender Rohstoffe nachhaltig ist, seien demnach vergleichende Analysen über den gesamten Lebenszyklus des jeweiligen Produktes notwendig. Der Anbau von Rohstoffpflanzen darf insbesondere nicht zu Lasten der Erzeugung von Nahrungs- oder Futtermitteln gehen. Auch muss sichergestellt sein, dass für eine Ausweitung der Anbauflächen keine schützenswerten Ökosysteme zerstört werden. Die chemische Industrie erkennt die Bedeutung eines nachhaltigen Anbaus von Biomasse auch für die stofflich genutzten nachwachsenden Rohstoffe an. Um den stofflichen Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie über die bisherigen Anwendungsfelder hinaus zu erweitern, seien noch erhebliche Anstrengungen in Forschung und Entwicklung notwendig. Wesentliche Ziele seien dabei die vollständige Verwertung der Biomasse durch Nutzung aller Pflanzenbestandteile und die verstärkte Nutzung von Non-Food-Biomasse (u. a. Lignozellulose) (VCI 2012). Der Kunststoffhersteller Borealis hat die klare Entscheidung getroffen, aus ethischen Überlegungen nicht in den Wettbewerb mit Nahrungspflanzen zu treten, d. h. keine biobasierten Kunststoffe erster Generation herzustellen. Borealis wird biobasierte Kunststoffe zweiter Generation nur dann als nützliche Option betrachten, wenn die Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Borealis als Unternehmen nachweislich besser sind als bei konventionellen Kunststoffen auf fossiler Basis (BOREALIS 2017).

## 4. Stand der Technik und des Wissens

### 4.1. Kunststoffwirtschaft

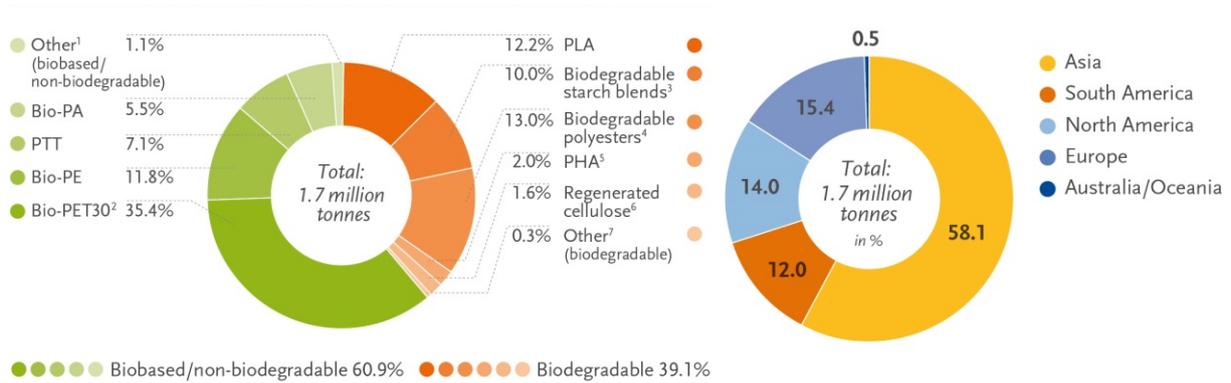
Der Großteil des aktuell verwendeten Kunststoffes wird aus Chemikalien produziert, die aus Erdöl gewonnen werden. Die Erdölgewinnung an sich zieht gleichzeitig eine große Kette an möglichen negativen Umweltauswirkungen mit sich, die bei der Exploration und Förderung beginnen und bei der letztlichen Entsorgung der Kunststoffe wie Deponierung, Verbrennung oder Verteilung in der Umwelt enden. Derzeit wird nur ein geringer Teil der Kunststoffe recycelt, der überwiegende Teil wird deponiert, thermisch verwertet oder landet in der Umwelt. Erdöl als fossiler Rohstoff und Energieträger und darauf basierender Kunststoff fördern durch die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid bei der Produktion und der thermischen Verwertung die weltweite Klimaerwärmung. Da knapp 10 % der weltweiten Erdölförderung in der Kunststoffproduktion verbraucht wird<sup>8</sup>, tragen somit die fossilbasierten Kunststoffe zum Treibhauseffekt bei. Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen hingegen setzen bei der thermischen Verwertung kein fossiles CO<sub>2</sub> frei und sind häufig auch biologisch abbaubar.

Darüber hinaus ist Erdöl eine begrenzte Ressource und muss aufgrund mangelnder nationaler Vorkommen importiert werden. Daraus ergibt sich eine Abhängigkeit gegenüber dem internationalen Rohstoffmarkt. In den letzten Jahren zeigte sich mehrmals, dass aufgrund von Spekulationen am Rohstoffmarkt, unterschiedlichen politischen Interessen der erdölfördernden Staaten oder Naturkatastrophen und Kriegen der Preis von Erdöl starken und unvorhersehbaren Schwankungen unterworfen ist. Durch die starke Abhängigkeit von Erdölimporten kann sich diese Abhängigkeit negativ auf die Wirtschaft auswirken. Rohstoffe für biobasierte Kunststoffe stammen großteils aus der Agrar- und Forstwirtschaft und können somit national bzw. in Europa produziert werden. Die Einbettung in eine kaskadische Wertschöpfungskette mit mehreren Koppelprodukten kann bei der Biokunststoffherstellung eine zusätzliche Wertsteigerung darstellen und wird in zahlreichen „zweite Generation“ Bioraffineriekonzepten berücksichtigt. Die regionale Wertschöpfung fördert einerseits die nationale und europäische Wirtschaft und reduziert andererseits auch die Abhängigkeit von Rohstoffimporten.

Trotz dieser positiven Aspekte spielen biobasierte Kunststoffe, obgleich die globalen Produktionskapazitäten steigen, noch immer eine sehr untergeordnete Rolle, insbesondere am europäischen Kunststoffmarkt. So wurden im Jahr 2014 weltweit rund 300 Mio. Tonnen Kunststoffe produziert, davon entfallen aber nur knapp 1,7 Mio. Tonnen auf Kunststoffe aus erneuerbaren Quellen (siehe Abbildung 3).

---

<sup>8</sup> Worldwatch Institute, 2015: Global Plastic Production Rises, Recycling Lags. <http://www.worldwatch.org/global-plastic-production-rises-recycling-lags-0> [2016-07-06].



<sup>1</sup>Contains durable starch blends, Bio-PC, Bio-TPE, Bio-PUR (except thermosets); <sup>2</sup>Biobased content amounts to 30%; <sup>3</sup>Blend components incl. in main materials; <sup>4</sup>Contains fossil-based PBAT, PBS, PCL; <sup>5</sup>Incl. Newlight Technologies (CO<sub>2</sub>-based); <sup>6</sup>Compostable hydrated cellulose foils; <sup>7</sup>Biodegradable cellulose ester

Abbildung 3: Weltweite Produktionskapazitäten 2014 für biobasierte Kunststoffe unterteilt nach Kunststoffart bzw. Produktionsort. (Quelle: <http://www.european-bioplastics.org/>)

## 4.2. Biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe

Der Begriff „Bioplastics“ bzw. „Biokunststoffe“ wird im Allgemeinen für biobasierte und bioabbaubare, biobasierte und nicht-abbaubare und für abbaubare Kunststoffe aus fossilen Quellen verwendet (siehe Abbildung 4). Der **Fokus dieses Projekts liegt auf biobasierten Kunststoffen**, da das Szenario Faktoren und Optionen zur Entkoppelung der Kunststoffproduktion von fossilen Rohstoffen als eines der Hauptziele einer neuen Kunststoffwirtschaft aufzeigen soll.

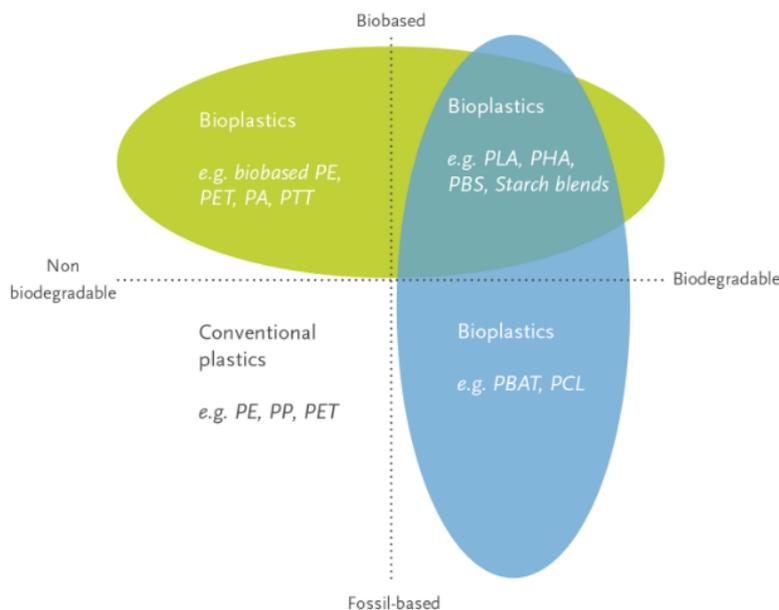


Abbildung 4 Biokunststoffe und „konventionelle“ Kunststoffe mit Beispielen. (Quelle: European Bioplastics)<sup>9</sup>

Schon heute werden biobasierte Kunststoffe (BbKs) im industriellen Maßstab eingesetzt, wie z. B. Abbildung 5 für den globalen Verpackungssektor illustriert.

<sup>9</sup> European Bioplastics: <http://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>, 31.05.2017

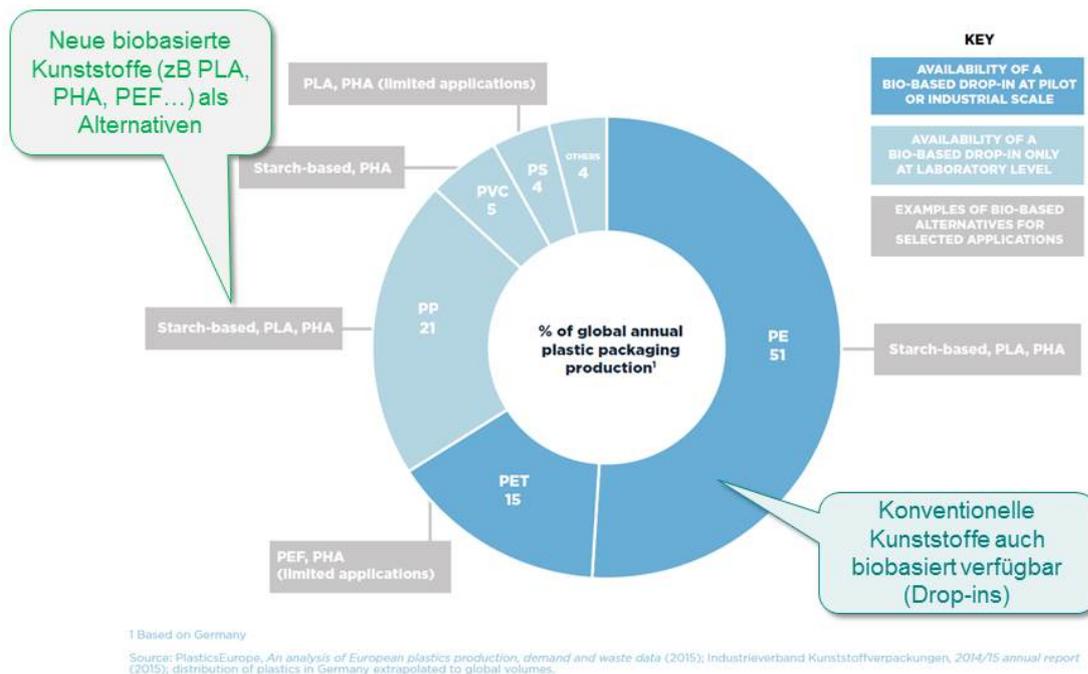


Abbildung 5: Bio-Polymere im Verpackungsbereich weltweit. (Quelle: [EMAF 2016](#))

Man unterscheidet einerseits zwischen sogenannten „**Drop-ins**“, das sind Biokunststoffe, bei denen die erforderlichen Monomere (chemischen Bestandteile) auf nachwachsenden Rohstoffen (Biomasse) basieren und bei denen damit die bestehenden, konventionellen Prozess- und Wertschöpfungsketten der Verarbeitung, der Nutzung und des Recyclings unverändert bleiben (innerer Kreis in der Darstellung). Andererseits gibt es „**neue**“ **biobasierte Kunststoffe**, die die fossilbasierten Kunststoffe ersetzen können und diesen bei bestimmten Anwendungen hinsichtlich ihrer Eigenschaften sogar überlegen sind. Dabei handelt es sich in vielen Fällen nicht um neuartige Werkstoffe, sondern ihre Nutzung als Alternative zu fossilbasierten Kunststoffen ist noch nicht oder noch nicht lange etabliert (grau hinterlegte Textfelder in der Darstellung).

Im ersten Arbeitspaket des Projekts wurden der aktuelle Stand der Technik und des Wissens sowie die gesetzlichen Rahmenbedingungen zu biobasierten Kunststoffen mittels Literatur- und Quellenrecherche erhoben und analysiert. Diese dienen als Ausgangspunkt für die Entwicklung des Szenarios 2050 und des Zielpfades. Ergänzt wurden die Informationen durch ExpertInnengespräche und im Rahmen von Workshops. Im Folgenden werden alle wichtigen Daten einzelner am Markt verfügbarer, biobasierter Kunststoffe dargestellt, wie z. B. verwendete Rohstoffe, Produkteigenschaften, Einsatz- und Recyclingmöglichkeiten, Preise und Preisentwicklungen.

Die Prozent-Angaben in den folgenden Darstellungen der unterschiedlichen biobasierten Kunststoffe beziehen sich (der Informationsquelle folgend)<sup>10</sup> auf den „bio-based carbon content“, also auf den Anteil an Kohlenstoff, der aus nachwachsenden Rohstoffen stammt. Davon zu unterscheiden sind Angaben des „bio-based content“, was dem Anteil eines Produktes entspricht, der aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen wird (Definitionen nach EN 16575 Biobasierte Produkte –

<sup>10</sup> Florence Aeschelmann & Michael Carus: “Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021”. 2017.

Terminologie). Eine nähere Beschreibung der verschiedenen Normen und gesetzlichen Vorgaben ist im Kapitel 5 zu finden.

Eine Übersicht über die Produktionskapazitäten und Einschätzungen der zukünftigen Entwicklung der verschiedenen Biokunststoffe ist in Kapitel 4.7 dargestellt. Eine kurze Aufzählung und Beschreibung einer Auswahl an Biokunststoffen erfolgt im folgenden Abschnitt, wobei eine Einteilung in „neue Biokunststoffe“ (Kunststoffe, die nicht auf Erdölbasis hergestellt am Markt sind) und „Drop-ins“ (Kunststoffe, die fossilbasiert am Markt sind, aber alternativ aus Biomasse erzeugt werden können) vorgenommen wurde.

### **4.3. „Neue biobasierte Kunststoffe“**

#### **4.3.1. Stärke-Derivate (Thermoplastische Stärke, TPS)**

Stärke-Blends sind zu 25–100 % biobasiert und gut bioabbaubar.<sup>11</sup> Für die Verwendung von Stärke als Kunststoff (Thermoplastische Stärke) sind ein hoher Wassergehalt und/oder „Weichmacher“ wie Glycerol oder Sorbitol nötig.<sup>12</sup> TPS werden bereits für zahlreiche verschiedene Anwendungen, wie z. B. Folien und Tragetaschen, eingesetzt. Oft werden Blends oder Copolyester von TPS mit bioabbaubaren Kunststoffen verwendet.<sup>13</sup> Die Hälfte der 2015 in Europa vertriebenen Produkte aus bioabbaubaren Kunststoffen wurde aus TPS hergestellt.<sup>14</sup> Ein großer Anbieter von Stärkekunststoffen ist die Firma Novamont (Marke MATER-BI) mit drei Produktionsstandorten in Italien, an denen der Ansatz der regionalen Wertschöpfung mit lokalen Ressourcen und Bioraffinerie-Prozessen im Mittelpunkt steht.<sup>15</sup>

#### **4.3.2. Polyhydroxyalkanoate (PHAs)**

PHAs sind eine Gruppe von Polymeren mit einer großen Vielfalt an Eigenschaften. So sind bisher 150 verschiedene Monomere bekannt.<sup>16</sup> Sie sind zu 100 % biobasiert und sogar im Süßwasser und Meer und bei geringen Temperaturen abbaubar, da viele Mikroorganismen PHA-abbauende Enzyme produzieren können.<sup>17, 18</sup> Allerdings ist der Abbau stark von den klimatischen Verhältnissen und der

---

<sup>11</sup> Aeschelmann & Carus

<sup>12</sup> Tizazu Mekonnen et al.: “Progress in Bio-Based Plastics and Plasticizing Modifications”. *Journal of Materials Chemistry A* 1, no. 43 (2013): 13379–98, <https://doi.org/10.1039/C3TA12555F>.

<sup>13</sup> Nanou Peelman et al.: “Application of Bioplastics for Food Packaging”. *Trends in Food Science & Technology* 32, no. 2 (August 2013): 128–41, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.003>.

<sup>14</sup> Harald Kaeb, Florence Aeschelmann & Michael Carus: “Market Study on the Consumption of Biodegradable and Compostable Plastic Products in Europe 2015 and 2020”. 2016.

<sup>15</sup> Novamont S.p.A.: <http://www.novamont.com/eng/>, 28.06.2017

<sup>16</sup> Giin-Yu Amy Tan et al.: “Start a Research on Biopolymer Polyhydroxyalkanoate (PHA): A Review”. *Polymers* 6, no. 3 (March 12, 2014): 706–54, <https://doi.org/10.3390/polym6030706>.

<sup>17</sup> Aeschelmann & Carus: “Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021”

<sup>18</sup> K.-I. Kasuya et al.: “Biochemical and Molecular Characterization of the Polyhydroxybutyrate Depolymerase of *Comamonas Acidovorans* YM1609, Isolated from Freshwater”. *Applied and Environmental Microbiology* 63, no. 12 (1997): 4844–52.

Form der Kunststoffteile abhängig.<sup>19, 20</sup> Die Herstellung erfolgt bisher mit Reinkulturen (unter sterilen Bedingungen) mit Glukose als Kohlenstoffquelle<sup>21</sup> in einer einstufigen Fermentation, bei der das Polymer als Reservestoff in den Bakterienzellen angereichert wird.<sup>22,23</sup> Mindestens 30 % der Kosten von PHAs sind durch die Kohlenstoffquelle (Glucose), Nährstoffe und die Belüftung bei der Fermentation bedingt.<sup>24</sup> Da sich PHAs mit der Zeit verändern, sind Weichmacher und Nukleierungsmittel entscheidend für den erfolgreichen Einsatz.<sup>25</sup> Zur Gewinnung und Aufreinigung der PHAs werden Lösungsmittel wie Chloroform oder Methylenchlorid eingesetzt.<sup>26</sup> Ein Ersatz für diese umwelt-bedenklichen Stoffe wäre daher wünschenswert. Die Weiterverarbeitung von PHAs ist durch ein enges Verarbeitungsfenster bei der Temperatur aufwendig.<sup>27</sup> Es ist damit zu rechnen, dass die Produktionsmenge an PHAs in den nächsten Jahren stark zunehmen wird.<sup>28</sup>

#### 4.3.3. Polymilchsäure (Polylactic Acid, PLA)

PLA ist zu 100 % biobasiert herstellbar. Im Gegensatz zu PHA ist dieses Polymer nur unter optimalen Bedingungen kompostierbar (industrielle Kompostierung). Für die Herstellung wird Stärke zu Zucker umgewandelt und anschließend für die Fermentation zu Milchsäure verwendet. Polymilchsäure wird in einem anschließenden Schritt durch direkte Polymerisierung oder durch Ring-Öffnungs-Polymerisation gewonnen. Die Eigenschaften des Polymers hängen vom Anteil der optischen Isomere (L- und D-Lactid) ab und ermöglichen einen Einsatz für diverse Produkte wie Tragtaschen, Flaschen, Folien oder Textilfasern.<sup>29, 30, 31</sup> Für die Zukunft wird vom nova-Institut eine gleichbleibende Produktionsmenge in Europa angenommen.<sup>32</sup> Der größte Produzent von PLA ist NatureWorks LLC,

---

<sup>19</sup> T. G. Volova et al.: "Biodegradation of Polyhydroxyalkanoates (PHAs) in Tropical Coastal Waters and Identification of PHA-Degrading Bacteria". *Polymer Degradation and Stability* 95, no. 12 (December 2010): 2350–59, <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.08.023>.

<sup>20</sup> T. G. Volova et al.: "Degradation of Polyhydroxyalkanoates in Eutrophic Reservoir". *Polymer Degradation and Stability* 92, no. 4 (April 2007): 580–86, <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.01.011>.

<sup>21</sup> Jelmer Tamis et al.: "Enrichment of Plasticicumulans Acidivorans at Pilot-Scale for PHA Production on Industrial Wastewater". *Journal of Biotechnology* 192, Part A (December 20, 2014): 161–69, <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2014.10.022>.

<sup>22</sup> Elodie Bugnicourt et al.: "Polyhydroxyalkanoate (PHA): Review of Synthesis, Characteristics, Processing and Potential Applications in Packaging". June 2014, <http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/4563>.

<sup>23</sup> Tamis et al.: "Enrichment of Plasticicumulans Acidivorans at Pilot-Scale for PHA Production on Industrial Wastewater".

<sup>24</sup> Tan et al.: "Start a Research on Biopolymer Polyhydroxyalkanoate (PHA)"

<sup>25</sup> Bugnicourt et al.: "Polyhydroxyalkanoate (PHA)"

<sup>26</sup> Peelman et al.: "Application of Bioplastics for Food Packaging"

<sup>27</sup> Mekonnen et al.: "Progress in Bio-Based Plastics and Plasticizing Modifications"

<sup>28</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021"

<sup>29</sup> Majid Jamshidian et al.: "Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9, no. 5 (September 1, 2010): 552–71, <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x>.

<sup>30</sup> Peelman et al.: "Application of Bioplastics for Food Packaging"

<sup>31</sup> Paulien F. H. Harmsen, Martijn M. Hackmann & Harriette L. Bo.: "Green Building Blocks for Bio-Based Plastics". *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 8, no. 3 (May 1, 2014): 306–24, <https://doi.org/10.1002/bbb.1468>.

<sup>32</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021"

mit einer Produktionsanlage in den USA mit einer Kapazität von 140.000 t pro Jahr Biopolymer (Marke Ingeo).<sup>33</sup>

#### 4.3.4. Cellulose-basierte Kunststoffe

Cellulosederivate werden durch Entfernen des Lignins und der Hemicellulosen aus Holz und anschließende chemische Veränderungen hergestellt. Zum Teil werden Weichmacher eingesetzt, die toxische Eigenschaften besitzen, daher wird an der Nutzung neuer, unbedenklicher Weichmacher wie z. B. Ionic Liquids geforscht.<sup>34</sup> Die Eigenschaften unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Art der Derivatisierung stark.<sup>35</sup> Die Einsatzmöglichkeiten sind daher grundsätzlich sehr groß, allerdings wirkt sich der (im Verhältnis zu anderen Kunststoffen) sehr hohe Preis (> 10 €/kg)<sup>36</sup> hemmend auf eine Steigerung des Absatzes aus.<sup>37, 38</sup> Die zurzeit erhältlichen Celluloseacetate (CA) sind zu 50 % biobasiert.<sup>39</sup> Neben Acetaten und anderen Cellulosederivaten gehören auch Cellulose-Regeneratfasern zu den Cellulose-basierten Biokunststoffen. Die Cellulose wird entweder durch Derivatisierung oder direkt in geeigneten Lösungsmitteln gelöst und danach z. B. durch Spinndüsen zu Fasern sowie zu Folien und anderen Formkörpern geformt. Das Produktspektrum der Lenzing AG umfasst hier unter anderem Viskose-, Modal- oder Lyocell-Fasern, die im Textilsektor, aber auch für Vliesstoffe (Nonwovens) in Einwegprodukten wie Wischtüchern und Hygieneartikeln eingesetzt werden.<sup>40</sup> Derzeit verfügbare Celluloseprodukte werden auch im Verpackungssektor (z. B. Gemüse netze, Einkaufstaschen, nachhaltige Kunststoffverstärkung in Spritzguss-Compounds) und für andere Kunststoffanwendungen, beispielsweise in der Landwirtschaft und Aquakultur (z. B. Aufleitschnüre, Agrarmulche, Wachstumsnetze für Muschelfarmen) eingesetzt.

#### 4.3.5. Lignin-basierte Kunststoffe

Lignin fällt als 30 % der Masse von Lignocellulose weltweit mit einer Menge von 50 Mio. t pro Jahr an (v. a. als Nebenprodukt der Papier- und Zellstoffindustrie) und stellt damit eine in großen Mengen verfügbare Ressource dar, die bisher zum größten Teil verbrannt wird. Aus Lignin, das nach Ursprungsquelle und Gewinnungsart sehr unterschiedliche Eigenschaften bzw. Zusammensetzung aufweist, können thermoplastische und duromere Materialien hergestellt werden. Oft wird es als Blend (mit PE, PVC, PA) oder in Composites mit Naturfasern verarbeitet.<sup>41</sup> Gute Erfolge wurden in wissenschaftlichen Versuchen unter anderem als Blend mit PLA erzielt (verbesserte mechanische

---

<sup>33</sup> NatureWorks LLC: <http://www.natureworksllc.com>, 28.06.2017

<sup>34</sup> Mekonnen et al.: "Progress in Bio-Based Plastics and Plasticizing Modifications"

<sup>35</sup> Juergen Puls, Steven A. Wilson & Dirk Hölder: "Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review". *Journal of Polymers and the Environment* 19, no. 1 (March 1, 2011): 152–65, <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0258-0>.

<sup>36</sup> Christopher Jakubiec: *Wirtschaftliches Potential von biobasierten Werkstoffen in Österreich* (diplom.de, 2016).

<sup>37</sup> Peelman et al.: "Application of Bioplastics for Food Packaging"

<sup>38</sup> Li Shen, Juliane Haufe & Martin Patel: "Product Overview and Market Projection of Emerging Bio-Based Plastics". Final Report (University of Utrecht, 2009),

[https://www.researchgate.net/profile/Li\\_Shen15/publication/216092211\\_Product\\_overview\\_and\\_market\\_projection\\_of\\_emerging\\_bio-based\\_plastics\\_PRO-BIP\\_2009/links/0c9605279efb4e96a8000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Li_Shen15/publication/216092211_Product_overview_and_market_projection_of_emerging_bio-based_plastics_PRO-BIP_2009/links/0c9605279efb4e96a8000000.pdf).

<sup>39</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021"

<sup>40</sup> Lenzing AG: [www.lenzing.com](http://www.lenzing.com), 29.11.2017

<sup>41</sup> Michael Thielen: "Biokunststoffe". Pflanzen Rohstoffe Produkte (FNR, 2013).

<https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch.biokunststoffe-web-v01.pdf>.

Eigenschaften im Vergleich mit PLA).<sup>42</sup> Unter dem Begriff „Flüssiges Holz“ bzw. der Marke ARBOFORM® wird von der deutschen TECNARO GmbH<sup>43</sup> ein rein biobasiertes Lignin-Granulat (als Composit mit Naturfasern) für Spritzguss vertrieben.

#### 4.3.6. Polyethylenfurandicarboxylat (PEF)

PEF weist ähnliche Charakteristika auf wie PET und zeichnet sich durch bessere Barriereigenschaften sowie Verarbeitbarkeit und gute Nachhaltigkeitsbeurteilungen aus.<sup>44, 45</sup> Bisher werden sowohl das benötigte Monomer Ethylenglycol (aus Ethanol) als auch 2,5-Furandicarbonsäure (FDCA) für Bio-PEF aus Maisstärke hergestellt. Nach der zurzeit laufenden Pilotanlage wird eine kommerzielle Herstellung von Bio-PEF durch Avantium (als Partner von Swire Pacific, Coca Cola, Danone und Alpla)<sup>46</sup> mittels „YXY Technologie“ (siehe Abbildung 6) ab 2020 erwartet.<sup>47, 48</sup> Die Herstellung von FDCA könnte ökonomische Vorteile gegenüber der Erzeugung von Bio-TPA (für PET) haben.<sup>49</sup> Die verschiedenen Umwandlungsschritte bei der Herstellung von PEF bzw. die chemischen Bedingungen und Katalysatoren zur Optimierung der Produktion werden intensiv erforscht und bieten ein hohes Potenzial für eine ökonomische Verbesserung der Produktionsprozesse.<sup>50</sup>

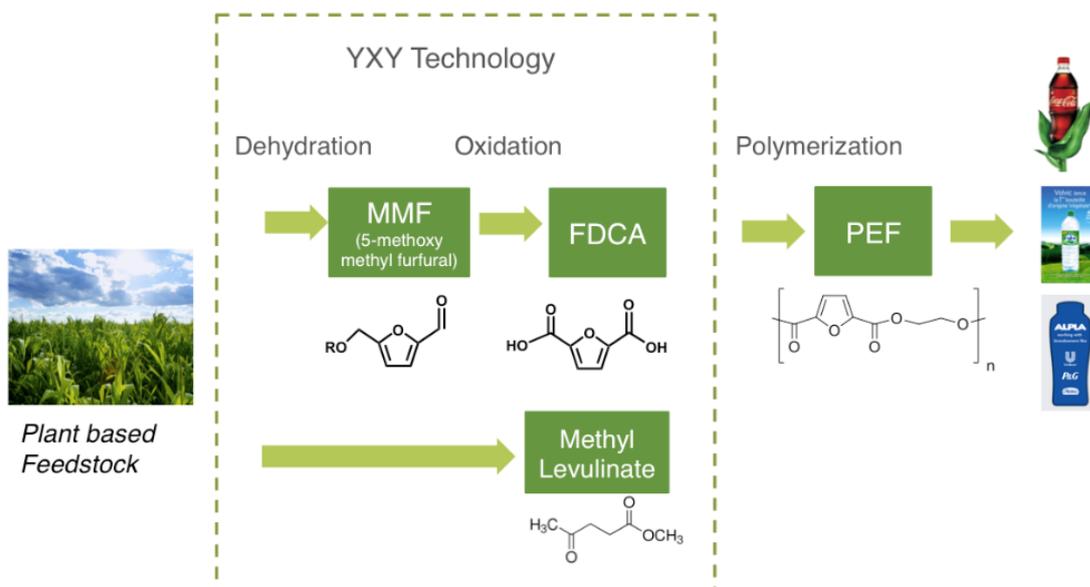


Abbildung 6: YXY Technologie Avantium. (Quelle: <https://www.avantium.com/yxy/yxy-technology/>)

<sup>42</sup> Iuliana Spiridon et al.: "Evaluation of PLA–lignin Bioplastics Properties before and after Accelerated Weathering". *Composites Part B: Engineering* 69 (February 1, 2015): 342–49, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.10.006>.

<sup>43</sup> TECNARO GmbH: <http://www.tecnaro.de/start.html>, 28.06.2017

<sup>44</sup> Roger A. Sheldon: "Green and Sustainable Manufacture of Chemicals from Biomass: State of the Art". *Green Chemistry* 16, no. 3 (2014): 950–63, <https://doi.org/10.1039/C3GC41935E>.

<sup>45</sup> A. J. J. E. Eerhart, A. P. C. Faaij & M. K. Patel: "Replacing Fossil Based PET with Biobased PEF; Process Analysis, Energy and GHG Balance". *Energy & Environmental Science* 5, no. 4 (2012): 6407–22, <https://doi.org/10.1039/C2EE02480B>.

<sup>46</sup> Andreia F. Sousa et al.: "Biobased Polyesters and Other Polymers from 2,5-Furandicarboxylic Acid: A Tribute to Furan Excellency". *Polymer Chemistry* 6, no. 33 (August 11, 2015): 5961–83, <https://doi.org/10.1039/C5PY00686D>.

<sup>47</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021"

<sup>48</sup> Avantium: <https://www.avantium.com/yxy/yxy-technology/>, 06.12.2017

<sup>49</sup> Harmsen, Hackmann & Bos: "Green Building Blocks for Bio-Based Plastics"

<sup>50</sup> Sousa et al.: "Biobased Polyesters and Other Polymers from 2,5-Furandicarboxylic Acid"

## 4.4. Drop-ins

### 4.4.1. Polyamide (PA)

Es gibt eine große Anzahl verschiedener Bio-Polyamide mit einem Gehalt von 40–100 % biobasiertem Kohlenstoff.<sup>51</sup> Polyamide sind Polymere aus Diamin- und Dicarbonsäure-Einheiten mit unterschiedlicher Anzahl an Kohlenstoffatomen. Sie werden vor allem als Fasern für Textilien (auch für technische Anwendungen) verwendet. Als biobasierter Rohstoff kommt bisher vor allem Rizinusöl zum Einsatz (BASF, DuPont). Die Forschung befasst sich momentan mit der Herstellung biobasierter Diamine, wie zum Beispiel der fermentativen Herstellung von Diaminopentan in gentechnisch veränderten Bakterien.<sup>52, 53</sup> Polyamid 11 wird schon immer vollständig biobasiert hergestellt (10 kt im Jahr 2013). Die Erzeugung von biobasiertem Caprolactam als Monomer für Polyamid 6.6 und Polyamid 6 (als am häufigsten verwendete PAs) ist im Forschungs- bzw. Entwicklungsstadium.<sup>54</sup>

### 4.4.2. Polyurethane (PU, PUR und TPU)

Bio-PU sind zu 10–100 % biobasiert und stellten im Jahr 2016 mit 41,2 % den größten Anteil an Biokunststoffen dar.<sup>55</sup> Von den zwei Ausgangsstoffen, den Polyolen und Isocyanaten, sind meist erstere biobasiert (aus Pflanzenölen wie Rizinus-, Raps- oder Sojaöl bzw. aus Terpenen), während die Isocyanate zumeist aus fossilen Quellen stammen.<sup>56</sup> Es sind aber auch bereits biobasierte Isocyanate, wie PDI (Pentamethylendiisocyanat, Desmodur® PU-Hardener der Fa. Covestro), am Markt erhältlich.<sup>57, 58</sup> Polyurethane werden unter anderem in Beschichtungen und Lacken sowie als Hart- und Weich-Schaum, Harz oder Klebstoff genutzt und sind aufgrund unterschiedlicher Monomere und Vernetzungsgrade mit einem breiten Spektrum an Eigenschaften herstellbar.<sup>59</sup> Biobasiertes PU ist (neben PET) der Marktführer im Bereich der biobasierten Polymere.<sup>60</sup>

### 4.4.3. Polyethylen (PE)

Bio-PE wird von der Firma Braskem bereits seit 2010 in großem Maßstab (Kapazität 200.000 t/a) mit Ethanol aus Zuckerrohr als Ausgangsstoff produziert, macht damit allerdings nur 4,8 % der

---

<sup>51</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021"

<sup>52</sup> Stefanie Kind et al.: "From Zero to Hero – Production of Bio-Based Nylon from Renewable Resources Using Engineered *Corynebacterium Glutamicum*". *Metabolic Engineering* 25 (September 2014): 113–23, <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2014.05.007>.

<sup>53</sup> Hatice Mutlu & Michael A. R. Meier: "Castor Oil as a Renewable Resource for the Chemical Industry". *European Journal of Lipid Science and Technology* 112, no. 1 (January 1, 2010): 10–30, <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900138>.

<sup>54</sup> Harmsen, Hackmann & Bos: "Green Building Blocks for Bio-Based Plastics"

<sup>55</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021"

<sup>56</sup> Maria Kurańska et al.: "Polyurethane–polyisocyanurate Foams Modified with Hydroxyl Derivatives of Rapeseed Oil". *Industrial Crops and Products* 74 (November 15, 2015): 849–57, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.006>.

<sup>57</sup> Covestro Deutschland AG: <http://press.covestro.com/news.nsf/id/9ssdpm-new-milestones-in-polyurethanes>, 12.05.2017

<sup>58</sup> Aqdas Noreen et al.: "Bio-Based Polyurethane: An Efficient and Environment Friendly Coating Systems: A Review". *Progress in Organic Coatings* 91 (February 1, 2016): 25–32, <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.11.018>.

<sup>59</sup> Hynek Beneš et al.: "Polyurethanes with Bio-Based and Recycled Components". *European Journal of Lipid Science and Technology* 114, no. 1 (January 1, 2012): 71–83, <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000123>.

<sup>60</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021"

weltweiten Produktionskapazität der biobasierten Kunststoffe aus.<sup>61</sup> Pro Kilogramm PE werden in der Produktion von Braskem 2,3 Liter Ethanol benötigt, was bei einer „Ernte“ von 0,3–0,8 l/m<sup>2</sup> bedeutet, dass pro m<sup>2</sup> angebautem Zuckerrohr zwischen 0,13 und 0,35 kg Bio-PE gewonnen werden können.<sup>62</sup> PE wird für diverse Produkte wie Taschen, Folien und Rohre eingesetzt.<sup>63</sup>

#### 4.4.4. Polypropylen (PP)

Die Herstellung von biobasiertem Polypropylen (Bio-PP) ist aus verschiedenen Ausgangssubstanzen wie Ethen (aus Ethanol), n-Butanol, Aceton, Isopropanol oder Propan (aus Glycerol) möglich, die durch Fermentation bzw. chemische Umwandlungen hergestellt und weiterverarbeitet werden. DuPont, Betamax Advanced Technologies, Cobalt Technologies und Green Biologics sind in eine kommende Kommerzialisierung involviert.<sup>64</sup> Eine Produktionsanlage von Braskem für Bio-PP wurde zwar geplant, allerdings vor dem Bau wieder verworfen und durch eine Anlage für fossiles PP „ersetzt“.<sup>65</sup> Eine direkte Fermentation von Kohlenwasserstoffen wird von Global Bioenergies, Genitor und Amyris, Goodyear und Michelin beforscht.<sup>66</sup> PP wird für sehr viele verschiedene Anwendungen eingesetzt, wie Lebensmittelverpackungen, Küchenutensilien, Autoteile, Schäume und Fasern.<sup>67</sup>

#### 4.4.5. Polyethylenterephthalat (PET)

Bio-PET kann bei Verwendung von biobasiertem Ethanol über den biobasierten Intermediär Ethylenglycol (aus Bio-Ethanol erzeugt) und erdölbasierter Terephthalsäure (TPA) derzeit zu 20 % biobasiert hergestellt werden<sup>68, 69</sup> und umfasst zurzeit neben PU mit 23 %<sup>70</sup> den größten Anteil an der weltweiten Produktion biobasierter Polymere (siehe auch Abbildung 7). Glycerin als Nebenprodukt der Biodieselherstellung oder 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) aus Holzrestmassen werden in neuen Verfahren als Ausgangssubstanzen für p-Xylen verwendet, um daraus Terephthalsäure (TPA) biobasiert herzustellen (BIOFORMPX von Virent, Gevo und Toray Industries) und damit 100 % biobasiertes PET zu erzeugen.<sup>71, 72</sup> PET wird vor allem für die Herstellung von Verpackungen (u. a. Getränkeflaschen) und Fasern eingesetzt.<sup>73</sup>

---

<sup>61</sup> Rolf Mülhaupt: “Green Polymer Chemistry and Bio-Based Plastics: Dreams and Reality”. *Macromolecular Chemistry and Physics* 214, no. 2 (January 25, 2013): 159–74, doi:10.1002/macp.201200439.

<sup>62</sup> J. A. Colwill et al.: “Bio-Plastics in the Context of Competing Demands on Agricultural Land in 2050”. *International Journal of Sustainable Engineering* 5, no. 1 (March 1, 2012): 3–16, <https://doi.org/10.1080/19397038.2011.602439>.

<sup>63</sup> Harmsen, Hackmann & Bos: “Green Building Blocks for Bio-Based Plastics”

<sup>64</sup> A. Sheldon: “Green and Sustainable Manufacture of Chemicals from Biomass”

<sup>65</sup> APS-OTS Originaltext GmbH: [https://www.ots.at/presseaussendung/fliesstext/OTS\\_20170622\\_OTSO204](https://www.ots.at/presseaussendung/fliesstext/OTS_20170622_OTSO204), 26.06.2017

<sup>66</sup> A. Sheldon: “Green and Sustainable Manufacture of Chemicals from Biomass”

<sup>67</sup> Harmsen, Hackmann & Bos: “Green Building Blocks for Bio-Based Plastics”

<sup>68</sup> Aeschelmann & Carus: “Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021”

<sup>69</sup> Rolf Mülhaupt: “Green Polymer Chemistry and Bio-Based Plastics: Dreams and Reality”. *Macromolecular Chemistry and Physics* 214, no. 2 (January 25, 2013): 159–74, <https://doi.org/10.1002/macp.201200439>.

<sup>70</sup> Aeschelmann & Carus: “Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021”

<sup>71</sup> Yuya Tachibana, Saori Kimura & Ken-ichi Kasuya: “Synthesis and Verification of Biobased Terephthalic Acid from Furfural”. *Scientific Reports* 5 (February 4, 2015), <https://doi.org/10.1038/srep08249>.

<sup>72</sup> A. Sheldon: “Green and Sustainable Manufacture of Chemicals from Biomass”

<sup>73</sup> Harmsen, Hackmann & Bos: “Green Building Blocks for Bio-Based Plastics”

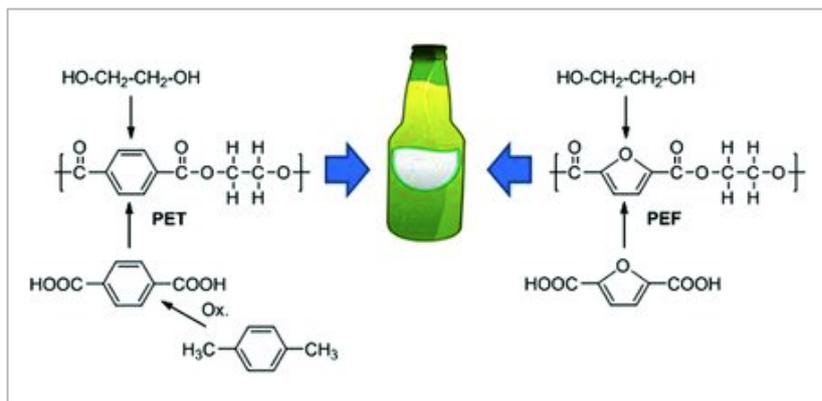


Abbildung 7 Monomere für die Herstellung von PET- und PEF-Trinkflaschen. (Quelle: Mülhaupt 2012)<sup>74</sup>

Die Unternehmen Nestle Waters und Danone planen als NaturALL Bottle Alliance mit dem Partner Original Materials die schrittweise Einführung einer zu 100 % biobasierten PET-Flasche. Das Verfahren zur Herstellung von PET aus Karton- und Holz-Restmassen ist in einer Pilotanlage getestet worden. Bis 2022 soll ein Anteil von 95 % biogenen Rohstoffen erreicht werden.<sup>75</sup> Die Aktivitäten der Plant PET Technology Collaborative, die von Coca-Cola initiiert wurde und 2009 zur Einführung der 30 % biobasierten PlantBottle™ geführt hat, wurden allerdings stark reduziert, obwohl laut Firmenangaben 2015 die 100 % biobasierte PET-Flasche auf der World Expo in Milan vorgestellt wurde.<sup>76, 77</sup>

#### 4.4.6. Andere biobasierte Kunststoffe

Neben den bisher beschriebenen Polymeren sind zahlreiche weitere Biokunststoffe herstellbar und werden zum Teil (in relativ geringen Mengen) in kommerziellem Maßstab produziert. Biokunststoffe wie PBS, Epoxide, PBAT oder EPDM enthalten 0–70 % biobasierten Kohlenstoff (PBS ist bioabbaubar, wird allerdings zurzeit zu 100 % aus fossilen Rohstoffen hergestellt).<sup>78</sup> Ein sehr weites Feld umfassen außerdem diverse Composites wie WPCs (Wood Plastic Composites), die einen Verbund von (Bio-)Kunststoffen mit Holzfasern darstellen. Unter der Marke FASAL wird holzreiches Material (Sägespäne oder Pflanzenfasern) mit Biopolymeren als Composit von der österreichischen Firma FASAL WOOD GmbH hergestellt, das für Spritzgießen geeignet ist und bereits bei Spielzeugen als Werkstoff Anwendung findet. Auch Naturlatex stellt einen wichtigen Biokunststoff dar, dessen Rohstoff allerdings auf tropische Gebiete beschränkt ist. Als Alternative gibt es europäische Projekte zur Nutzung des Russischen Löwenzahns, an denen unter anderem der Reifenhersteller Continental, Joanneum Research und die Fraunhofer-Gesellschaft beteiligt waren und sind.<sup>79, 80, 81, 82, 83</sup>

<sup>74</sup> Mülhaupt: "Green Polymer Chemistry and Bio-Based Plastics"

<sup>75</sup> Nestle: <http://www.nestleusa.com/media/pressreleases/nestle-waters-launch-alliance-naturall-bio-based-bottles>, 24.03.2017

<sup>76</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021"

<sup>77</sup> Coca-Cola Company: <http://www.coca-colacompany.com/stories/plantbottle-20-coca-cola-unveils-worlds-first-pet-plastic-bottle-made-entirely-from-plants>, 09.03.2017

<sup>78</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021"

<sup>79</sup> Fraunhofer-Gesellschaft: <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2015/Juni/naturkautschuk-aus-loewenzahn.html>, 29.11.2017

## 4.5. Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeit von Biokunststoffen wird sehr kontrovers diskutiert. Einerseits gibt es Studien, die zeigen, dass (zumindest einige) Biokunststoffe Einsparungen an Treibhausgasen oder dem Einsatz nicht-erneuerbarer Energie bringen können,<sup>84, 85</sup> andererseits kommen andere Studien zu dem Schluss, dass manche fossilen Kunststoffe besser oder ähnlich abschneiden wie biobasierte Kunststoffe oder weisen darauf hin, dass Biokunststoffe bei den verschiedenen Kriterien der LCAs unterschiedlich gut beurteilt werden.<sup>86</sup> So zeigen Philp et al., dass die Einsparungen an Treibhausgasen stark nach Polymerart und Herstellungsprozess schwanken. Die Autoren sind überzeugt, dass eine Vereinheitlichung der LCA-Methoden nötig wäre, um vergleichbare Daten zu generieren und Polymere bzw. Produkte vergleichen zu können.<sup>87</sup> Ein Faktor, der auf jeden Fall zu berücksichtigen ist, sind die Land Use Change (LUC) Emissions für neu generierte Anbauflächen in bisher nicht landwirtschaftlich genutzten Gebieten.<sup>88</sup>

Für PEF gibt es Berechnungen, dass bereits die momentane Erzeugung (aus Maisstärke) die Treibhausgas-Emissionen um 45–55 % und den Einsatz von nicht-erneuerbarer Energie um 40–50 % reduzieren würde.<sup>89</sup> Weltweit wäre mit einer Reduktion von 20–35 Mt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr zu rechnen.<sup>90</sup> Analysen von Bio-PE und Bio-PP haben eine enorme Reduktion von THG-Emissionen im Vergleich mit fossilbasierten Kunststoffen und anderen biobasierten Kunststoffen gezeigt.<sup>91</sup> Laut Braskem werden pro t bio-PE 2,5 t CO<sub>2</sub> sequestriert.<sup>92</sup>

---

<sup>80</sup> Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: [https://fisaonline.de/projekte-finden/details/?tx\\_fisaresearch\\_projects%5Bp\\_id%5D=7024&tx\\_fisaresearch\\_projects%5Baction%5D=projectDetails&tx\\_fisaresearch\\_projects%5Bcontroller%5D=Projects&cHash=1e23b5d0b8d8e96ab2beed4f182d17d6](https://fisaonline.de/projekte-finden/details/?tx_fisaresearch_projects%5Bp_id%5D=7024&tx_fisaresearch_projects%5Baction%5D=projectDetails&tx_fisaresearch_projects%5Bcontroller%5D=Projects&cHash=1e23b5d0b8d8e96ab2beed4f182d17d6), 29.11.2017

<sup>81</sup> Continental: <https://www.continental-reifen.de/autoreifen/media-services/archiv/archiv-2016/20160812-forschungsanlage-fuer-naturkautschuk-aus-loewenzahn>, 29.11.2017

<sup>82</sup> FNR e.V.: <https://biowerkstoffe.fnr.de/biokunststoffe/rohstoffe-biopolymere/kautschuk-und-latex-aus-russischem-loewenzahn/>, 29.11.2017

<sup>83</sup> Projekt DRIVE4eu: <http://www.drive4eu.eu>, 19.02.2018

<sup>84</sup> A. Sheldon: "Green and Sustainable Manufacture of Chemicals from Biomass"

<sup>85</sup> E. Eerhart, C. Faaij & K. Patel: "Replacing Fossil Based PET with Biobased PEF; Process Analysis, Energy and GHG Balance"

<sup>86</sup> Madeleine R. Yates & Claire Y. Barlow: "Life Cycle Assessments of Biodegradable, Commercial biopolymers—A Critical Review". *Resources, Conservation and Recycling* 78 (September 2013): 54–66, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.06.010>.

<sup>87</sup> J. C. Philp, R. J. Ritchie & K. Guy: "Biobased Plastics in a Bioeconomy". *Trends in Biotechnology* 31, no. 2 (February 2013): 65–67, <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.11.009>.

<sup>88</sup> V. Piemonte & F. Gironi: "Bioplastics and GHGs Saving: The Land Use Change (LUC) Emissions Issue". *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 34, no. 21 (November 1, 2012): 1995–2003, <https://doi.org/10.1080/15567036.2010.497797>.

<sup>89</sup> A. Sheldon: "Green and Sustainable Manufacture of Chemicals from Biomass"

<sup>90</sup> E. Eerhart, C. Faaij & K. Patel: "Replacing Fossil Based PET with Biobased PEF; Process Analysis, Energy and GHG Balance"

<sup>91</sup> Jim C. Philp et al.: "Bioplastics Science from a Policy Vantage Point". *New Biotechnology*, Biotechnology for the Bio and Green Economy, 30, no. 6 (September 25, 2013): 635–46, <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2012.11.021>.

<sup>92</sup> Mülhaupt: "Green Polymer Chemistry and Bio-Based Plastics"

Der Einsatz von Lignocellulose würde weitere Vorteile bringen. So wäre die Verwendung von 2<sup>nd</sup> Generation Rohstoffen, also Lignocellulose-Restmassen und Non-Food-Ölen in integrierten Bioraffinerien, sowie die Fermentation von CH<sub>4</sub> zu chemischen Grundstoffen laut Sheldon ein wichtiger Schritt in Richtung Nachhaltigkeit.<sup>93</sup>

Wie bei allen Technologien, die am Anfang ihrer Entwicklung stehen, so ist auch die Technologie zur Produktion und Verarbeitung von Biokunststoffen zu verstehen. Eine notwendige Lernkurve ist auch hier vorprogrammiert. Eine Aufbürdung von anspruchsvollen Kriterien könnte schnell zu einer Überforderung der beteiligten Unternehmen (mehrheitlich KMUs) führen, was Administration aber auch Finanzielles anbelangt.

Nicht zuletzt kann bei einem ökonomischen Vergleich von biobasierten Kunststoffen mit erdölbasierten die Einbeziehung der gesamten Kosten (Internalisierung externer Kosten) einen Vorteil für biobasierte Kunststoffe mit sich bringen, da Auswirkungen auf die Umwelt mitberücksichtigt werden.<sup>94</sup>

#### **4.6. Rohstoffe – Flächenbedarf und Nutzungskonkurrenzen**

Die Rohstoffe für biobasierte Kunststoffe stammen in der Regel aus der Land- und Forstwirtschaft. Somit sind Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen prinzipiell potenzielle Konkurrenten zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion oder jeglichen anderen Art der landwirtschaftlichen Flächennutzung. Für die 1,7 Mt dieser ausgewählten biobasierten Kunststoffe, die 2014 hergestellt wurden, wurde eine Fläche von etwa 0,7 Mio. Hektar benötigt, für die 2017 weltweit hergestellten biobasierten Kunststoffe stieg der Flächenbedarf auf etwa 0,82 Mio. Hektar an (0,016 % der weltweiten Agrarflächen von insgesamt 5 Mrd. Hektar). Ohne Nutzung der Abfälle aus Lebensmittelproduktion, Feldfrüchten, die keine Nahrungsmittel darstellen, oder Lignocellulose wären 2022 unter der Annahme eines anhaltend starken Wachstums des Biokunststoffmarktes auf der Grundlage des derzeitigen Standes der technologischen Entwicklung weltweit rund 0,02 % der landwirtschaftlichen Fläche zur Produktion der biogenen Kunststoffe nötig.<sup>95</sup>

Die Konkurrenz zur Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für Lebens- und Futtermittel bzw. die Verwendung von Lebensmittelpflanzen für andere Anwendungen führt zu kontroversen Diskussionen. Auch die Frage der Verfügbarkeit neuer, bisher ungenutzter Flächen wird kontrovers diskutiert. Von Fachleuten wird häufig die große Kapazität ungenutzter Flächen (8 Mio. Hektar in der EU) betont. Diese Flächen liegen vor allem in den neuen Mitgliedstaaten in Osteuropa. Auch global sehen manche WissenschaftlerInnen und Forschungsinstitute große Flächen potenziell nutzbarer Flächen, während andere Fachleute produktive, ungenutzte Flächen vor allem in Primärwäldern

---

<sup>93</sup> A. Sheldon: "Green and Sustainable Manufacture of Chemicals from Biomass"

<sup>94</sup> Kaur, Guneet, Kristiadi Uisan, Khai Lun Ong & Carol Sze Ki Lin: 'Recent Trends in Green and Sustainable Chemistry & Waste Valorisation: Rethinking Plastics in a Circular Economy'. *Green and Sustainable Chemistry Conference 2018* 9 (1 February 2018): 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.11.003>.

<sup>95</sup> European Bioplastics e.V.: Renewable feedstock. <http://www.european-bioplastics.org/bioplastics/feedstock/>, 27.02.2018

sehen, deren Erhaltung eine hohe Bedeutung hat.<sup>96, 97</sup> Die Ergebnisse der Untersuchung zur Flächennutzung sind in Abbildung 8 dargestellt.<sup>98</sup> Der Einfluss des Rohstoffbedarfs für die Herstellung von Biokunststoffen auf die Lebensmittelpreise scheint bis 2009 gering gewesen zu sein (0,1%), während der höchste Anteil an Preissteigerungen von der stark zunehmenden Fleisch- und Milchproduktion verursacht worden ist.

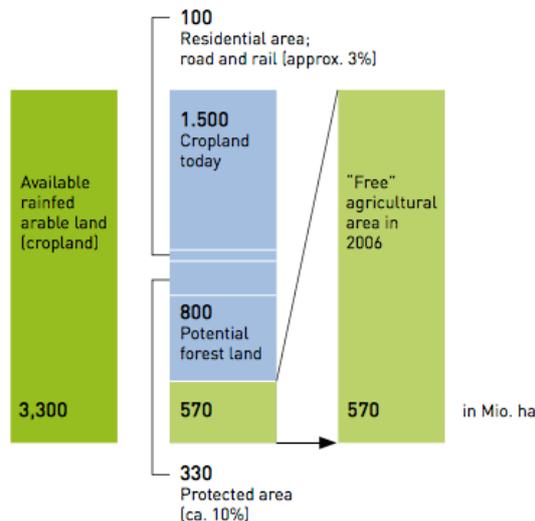


Abbildung 8 Verfügbare Anbauflächen weltweit 2006. (Quelle: Carus & Piotrowski 2009)

Colwill et al. haben den Landbedarf für Biokunststoffe auf der Basis von Ethanol in unterschiedlichen Szenarien ermittelt, wobei auch der Bedarf für Biotreibstoffe, die im Anbau in Konkurrenz zu Biokunststoffen stehen, einbezogen wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die Flächen für Biokunststoffe nur einen geringen Anteil der benötigten Flächen ausmachen und dass der Bedarf für Lebensmittel, Biotreibstoffe und Biokunststoffe bei mittlerer Produktivität (0,55 Liter Ethanol/m<sup>2</sup>) und hohem Konsum noch mit dem verfügbaren Land inklusive Grünflächen und Wald zu decken ist. Bei geringer Produktivität (z. B. infolge des Klimawandels) und starkem Konsum der Ressourcen werden die verfügbaren Flächen laut dieser Szenarien allerdings nicht ausreichen.<sup>99</sup> Andere WissenschaftlerInnen sehen die zusätzliche Verfügbarkeit von Flächen zur stofflichen Nutzung der Biomasse als fraglich an. So stellen die 5–7% weltweit ungenutzter, produktiver Flächen laut Haberl vor allem Primärwälder dar, deren Erhaltung eine hohe Bedeutung hat. Andere ungenutzte Flächen sind vor allem trockene bzw. kalte Gebiete mit einer geringen Produktivität.<sup>100</sup>

Bei der Konkurrenz zu Lebensmitteln ist zu beachten, dass in der EU und in noch höherem Maße in Österreich im Verhältnis zu der empfohlenen Menge (ca. 2.000 kcal/Tag) eine viel höhere

<sup>96</sup> Helmut Haberl: "Competition for Land: A Sociometabolic Perspective". *Ecological Economics* 119 (November 1, 2015): 424–31, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.10.002>.

<sup>97</sup> Michael Carus & Stephan Piotrowski: "Land Use for Bioplastics". *Bioplastics MAGAZINE* 04/09, no. 4 (2009): 46–49.

<sup>98</sup> Michael Carus & Stephan Piotrowski: "Land Use for Bioplastics". *Bioplastics MAGAZINE* 04/09, no. 4 (2009): 46–49.

<sup>99</sup> Colwill et al.: "Bio-Plastics in the Context of Competing Demands on Agricultural Land in 2050"

<sup>100</sup> Helmut Haberl: "Competition for Land: A Sociometabolic Perspective". *Ecological Economics* 119 (November 1, 2015): 424–31, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.10.002>.

durchschnittliche Aufnahme an Kalorien erfolgt (Österreich 2013: 3.768 kcal/Tag).<sup>101</sup> Das bedeutet, dass eine Reduktion der Nahrungsaufnahme ohne eine Verschlechterung der Versorgung in Europa möglich wäre und damit mehr Flächen bzw. Rohstoffe für die stoffliche (bzw. energetische) Nutzung zur Verfügung stünden. Nicht nur die aufgenommene Energiemenge, sondern auch die Art der Nahrung spielt eine Rolle beim Verbrauch an Ressourcen. So kommen Westhoek et al. zu dem Ergebnis, dass eine Halbierung des Fleischkonsums und des Konsums an Milchprodukten in der EU eine Reduktion der für Lebensmittel benötigten Flächen um 25 % bringen würde.<sup>102</sup> Des Weiteren könnte eine Reduktion der Lebensmittelabfälle, die derzeit zwischen 30 % und 50 % der Lebensmittelproduktion in Europa und den USA betragen (2.600 kcal/Person/Tag)<sup>103, 104</sup>, großes Potenzial für freie Flächen für die Bioökonomie schaffen.

Die kaskadische Nutzung sekundärer Rohstoffe – also biogener Reststoffe – für die Herstellung von Biokunststoffen wird als Alternative zu Rohstoffen mit Flächenkonkurrenz gesehen, wobei eine gleichbleibende Qualität dieser Rohstoffe sowie auch die Konkurrenz zu anderen Nutzungsmöglichkeiten zu berücksichtigen sind. Die ‚Commission Expert Group on Bio-based Products‘ betont in ihrem Endbericht, dass die Ressourceneffizienz ein wichtiges Prinzip in der Bioökonomie sein muss und dass die Nutzung aller Nebenströme zu beachten ist.<sup>105</sup>

#### 4.6.1. Rohstoff Stärke

Da Stärke ein für viele Arten von Biokunststoffen nutzbarer Rohstoff ist, folgt eine kurze Darstellung der europäischen Produktion und der Nutzungsfelder.

Laut der ‚European Starch Industry Association‘ gibt es in der EU 77 Stärke-Fabriken, die sich in 20 Ländern befinden. Es werden jährlich ca. 16 Millionen Tonnen Getreide und Mais und 7 Mt Kartoffeln zu 11 Mt Stärke und 5 Mt Nebenerzeugnissen weiterverarbeitet. Die Nutzung der Stärke in den Bereichen Food (61 %), Feed (1 %) und Non-Food (38 %) ist in Abbildung 9 dargestellt, wobei der größte Teil im Bereich der industriellen Anwendungen (Non-Food) in die Papier- und Kartonherstellung bzw. -verarbeitung geht (29 % der Gesamtmenge bzw. 76 % der Non-Food Stärke).<sup>106</sup> Für die Herstellung von Stärke werden vor allem Weizen, Mais und Kartoffeln verwendet.

Österreich deckte im Jahr 2015 mit 536.000 t Kartoffeln 1 % der EU-Kartoffelerträge ab (mit Deutschland als größtem Produzenten). Im Jahr 2016 wurden 301 Mt Getreide (inkl. Reis) in der EU geerntet, 5,7 Mt davon in Österreich (1,9 %).<sup>107</sup>

---

<sup>101</sup> Eurostat: [http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020\\_rk100&plugin=1](http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020_rk100&plugin=1), 30.01.2018

<sup>102</sup> Henk Westhoek et al.: „Food Choices, Health and Environment: Effects of Cutting Europe’s Meat and Dairy Intake“. *Global Environmental Change* 26 (2014): 196–205.

<sup>103</sup> Effie Papargyropoulou et al.: „The Food Waste Hierarchy as a Framework for the Management of Food Surplus and Food Waste“. *Journal of Cleaner Production* 76 (August 1, 2014): 106–15, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.020>.

<sup>104</sup> Vaclav Smil: *Feeding the World* (Cambridge, MA: MIT Press, 2000). <https://mitpress.mit.edu/books/feeding-world>.

<sup>105</sup> „Commission Expert on Bio-Based Products Final Report“. Final Report (Commission Expert Group on Bio-based Products, 2017). <http://bio-based.eu/policy/>.

<sup>106</sup> European Starch Industry Association: <https://www.starch.eu/european-starch-industry/>, 05.10.2017

<sup>107</sup> Eurostat: <http://ec.europa.eu/eurostat/>, 29.11.2017

## Nutzung von Stärke in der EU

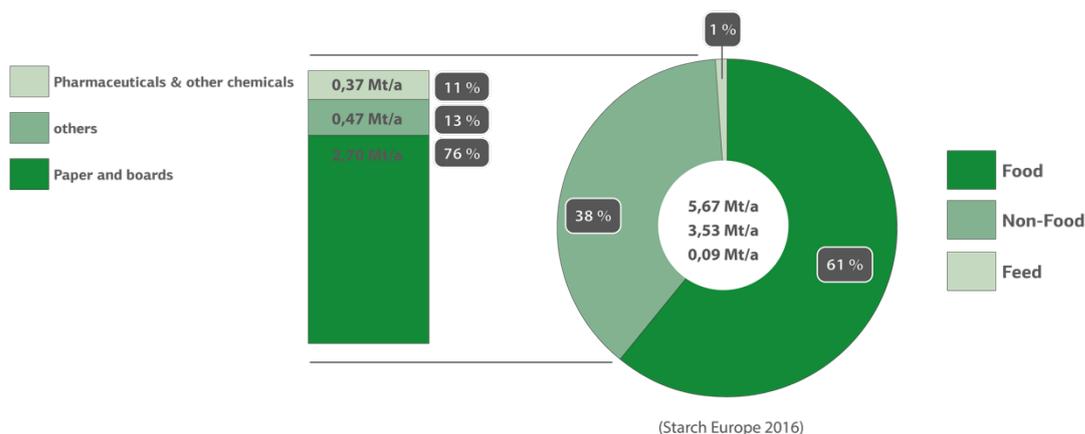


Abbildung 9: Mengen und Verwendung von Stärke in der EU 2016. (Quelle: European Starch Industry Association)

In den drei Produktionsstandorten der Agrana in Österreich werden jährlich rund 220.000 t Stärkekartoffeln, 540.000 t Mais und 820.000 t Weizen verarbeitet.<sup>108, 109</sup>

Anwendungen verschiedener, zum Teil chemisch modifizierter, Stärken im Non-Food-Bereich sind in der Papierindustrie (Papiermasse und für die Oberflächen-Behandlung), in der Papierverarbeitenden Industrie (Wellpappe, Kleben von Papiertragetaschen, Dry Adhesives etc.), in der Bauindustrie (Bindemittel für Baustoffe), in der Textilindustrie (Finishing, Verdickung von Farben etc.), in der pharmazeutischen Industrie (Plasmaexpander, Tablettenbestandteil etc.), als Drilling-Agent in der Erdölindustrie oder zur Herstellung von Chemikalien und zur Herstellung von Bioethanol.<sup>110</sup>

### 4.6.2. Alternative Rohstoffe – biobasierte Kunststoffe der 2. Generation

Die Nutzung von Abwässern und agrarischen Restmassen stellt eine Alternative zur Nutzung von primären biogenen Rohstoffen dar. Hierzu wurden bereits zahlreiche Forschungsprojekte durchgeführt und Pilotanlagen gebaut.

An der Technischen Universität Delft (Abteilung für Biotechnologie) wird zurzeit die Herstellung von PHAs aus industriellem Abwasser in einer Pilotanlage<sup>111</sup> mit gemischten, natürlich selektierten Mikroorganismen-Konsortien unter anderem in neuartigen Reaktoren (Granular Sludge

<sup>108</sup> AGRANA: <http://www.agrana.com/en/media/news-detail/?newsID=1469>, <http://www.agrana.at/news/news-detail/?newsID=1475&cHash=45dd2941b0a3a1f6b7126be003211315>, 29.11.2017

<sup>109</sup> BMLFUW: <https://www.bmlfuw.gv.at/land/produktion-maerkte/pflanzliche-produktion/zucker-staerke/Staerkekartoffel.html>, 29.11.2017

<sup>110</sup> Akhilesh V Singh, Lila K Nath & Anudwipa Singh: "Pharmaceutical, Food and Non-Food Applications of Modified Starches: A Critical Review". *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 2010, [https://www.researchgate.net/profile/Dr\\_Akhilesh\\_Singh/publication/235694313\\_Pharmaceutical\\_food\\_and\\_non-food\\_applications\\_of\\_modified\\_starches\\_A\\_critical\\_review/links/02bfe512b442d5616c000000/Pharmaceutical-food-and-non-food-applications-of-modified-starches-A-critical-review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dr_Akhilesh_Singh/publication/235694313_Pharmaceutical_food_and_non-food_applications_of_modified_starches_A_critical_review/links/02bfe512b442d5616c000000/Pharmaceutical-food-and-non-food-applications-of-modified-starches-A-critical-review.pdf).

<sup>111</sup> TU Delft: 03.05.2017

Technology)<sup>112</sup> untersucht. Die Zusammensetzung des Abwassers hat dabei einen großen Einfluss auf die sich etablierenden Mikroorganismen und die Ausbeute an PHA. Für eine Vermarktung der Technologie sind Optimierungen der Prozessführung (für verschiedene Abwässer und Leachates von organischem Müll) bzw. der Einsatzmittel nötig, um eine nachhaltige und wirtschaftliche Produktion zu ermöglichen.<sup>113,114</sup>

In EU-Forschungsprojekten der Technischen Universität Graz (Institut für Biotechnologie und Bioprozesstechnik, Institut für Prozess- und Partikeltechnik) wurde die Nutzung von Tierabfall (ANIMPOL), Abfall aus der Milchverarbeitung (WHEYPOL) und Abwasser aus der Olivenöl-Gewinnung (POLYVERY) zur Herstellung von Biokunststoffen untersucht. Die Verwertung dieser „Abfall“-Ströme könnte den Preis von PHAs auf 3 € pro kg senken.<sup>115</sup>

An der TU Wien haben ForscherInnen am Institut für angewandte Synthesechemie die Herstellung von HMF (u. a. zur Produktion von PEF) aus Stroh mittels Durchfluss-Mikroreakorttechnologie untersucht.<sup>116</sup> Außerdem wurde ein Verfahren zur Herstellung von FDCA (als Terephthalsäureersatz) bereits patentiert und soll im Unternehmen Annikki kommerziell umgesetzt werden.<sup>117</sup> Zurzeit laufen Versuche an einer Pilotanlage.<sup>118,119</sup> Am Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften wurde die Erzeugung von PHB mittels extrem halophiler Mikroorganismen aus Abwässern untersucht.<sup>120, 121</sup> Dabei wurden 95 % der organischen Inhaltsstoffe in Wertstoffe (Carotinoide und PHB) umgewandelt. Die Technologie wurde zum Patent angemeldet und in einem Technology Offer an Unternehmen herangetragen.<sup>122</sup>

#### **4.6.3. Nutzung von CO<sub>2</sub> durch Algen oder chemolithoautotrophe Mikroorganismen – biobasierte Kunststoffe der 3. Generation**

Weitere Forschungsprojekte befassen sich mit der Produktion von Biokunststoffen aus CO<sub>2</sub> in Algen. Im Projekt „Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Verwertung von Abgas-CO<sub>2</sub> zu Biogas und

---

<sup>112</sup> TU Delft: <http://www.citg.tudelft.nl/en/about-faculty/departments/watermanagement/sections/sanitary-engineering/staff/alexander-hendriks/high-rate-vfa-production-from-industrial-waste-using-the-granular-sludge-process/>, 03.05.2017

<sup>113</sup> Emmanouela Korkakaki et al.: "PHA Production from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW): Overcoming the Inhibitory Matrix". *Water Research* 96 (June 1, 2016): 74–83, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.033>.

<sup>114</sup> Tamis et al.: "Enrichment of *Plasticumulans Acidivorans* at Pilot-Scale for PHA Production on Industrial Wastewater".

<sup>115</sup> CORDIS: [http://cordis.europa.eu/result/rcn/58861\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/58861_en.html), 10.03.2017

<sup>116</sup> TU Wien: [https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news\\_detail/article/9144/](https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/9144/), 10.03.2017

<sup>117</sup> Chemiereport.at: [http://www.chemiereport.at/sites/default/files/uploads/printausgaben/web\\_chemiereport\\_3\\_13.pdf](http://www.chemiereport.at/sites/default/files/uploads/printausgaben/web_chemiereport_3_13.pdf), 27.06.2017

<sup>118</sup> Erika Ganglberger & Thomas Sturm: "FTI-Strategie Für Die Biobasierte Industrie in Österreich". Berichte Aus Energie- und Umweltforschung, 2014. [http://www.oegut.at/downloads/pdf/fti-strategie\\_biobasierte-industrie\\_2014.pdf](http://www.oegut.at/downloads/pdf/fti-strategie_biobasierte-industrie_2014.pdf).

<sup>119</sup> Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: "Projekt Grüne Chemie in Österreich". 2016.

<sup>120</sup> Michaela Weissgram et al.: "Generation of PHB from Spent Sulfite Liquor Using Halophilic Microorganisms". *Microorganisms* 3, no. 2 (June 8, 2015): 268–89, <https://doi.org/10.3390/microorganisms3020268>.

<sup>121</sup> TU Wien: [https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news\\_detail/article/9337/](https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/9337/), 08.05.2017

<sup>122</sup> TU Wien: [http://www.tuwien.ac.at/fileadmin/t/t-transfer/Dokumente/Erfinderservice/Technology\\_Offers\\_27.6.12/Technology\\_Offer\\_Herstellung\\_von\\_Wertstoffen\\_aus\\_Abfallsstroemen.pdf](http://www.tuwien.ac.at/fileadmin/t/t-transfer/Dokumente/Erfinderservice/Technology_Offers_27.6.12/Technology_Offer_Herstellung_von_Wertstoffen_aus_Abfallsstroemen.pdf), 08.05.2017

Biokunststoff mittels photoautotropher Cyanobakterien“ wird an der Universität für Bodenkultur Wien in Tulln mit ANDRITZ Energy & Environment GmbH und EVN AG die Produktion von PHB in einer Pilotanlage erforscht.<sup>123, 124</sup>

Bei der Nutzung chemolithoautotropher Mikroorganismen werden aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> organische Moleküle gebildet, die durch weitere biotechnologische oder technische Prozesse als Grundstoffe für Biokunststoffe genutzt werden können. Dieser Weg wird unter anderem im Projekt Bio-ABC der TU Wien verfolgt.<sup>125</sup>

#### 4.6.4. Direkte CO<sub>2</sub>-Nutzung mittels elektrochemischer Prozesse – biobasierte Kunststoffe der 4. Generation

Fischer-Tropsch-Verfahren werden unter anderem zur Herstellung flüssiger Treibstoffe aus Kohle eingesetzt. Dabei wird das im Syngas enthaltene CO/CO<sub>2</sub> an Katalysatoren mit H<sub>2</sub> zu Kohlenwasserstoffen umgewandelt. Auch zur Gewinnung von Treibstoffen aus Biomasse können diese Prozesse eingesetzt werden (2<sup>nd</sup> Generation). Bei der von Biomasse unabhängigen Nutzung (4<sup>th</sup> Generation) wird atmosphärisches CO<sub>2</sub> für die Umwandlung zu organischen Molekülen – ohne „Umweg“ über die Aufnahme durch Pflanzen in Biomasse – verwendet. Je nach Prozessführung und Katalysator-Zusammensetzung und -struktur werden unterschiedliche Produkte gewonnen (z. B. C1 – C4).<sup>126, 127, 128</sup> Die nachhaltige Herstellung von H<sub>2</sub> als Rohstoff (z. B. mit Wind-Spitzenstrom) spielt hier eine große Rolle.<sup>129</sup>

In alternativen Verfahren wird CO<sub>2</sub> in Methanol und anschließend in MTG-Prozessen (methanol-to-gasoline) zu Kohlenwasserstoffen umgewandelt.<sup>130</sup>

Unter künstlicher Photosynthese werden elektrochemische Prozesse verstanden, bei denen unter Einstrahlung von Sonnenlicht aus Wasser H<sub>2</sub> bzw. aus CO<sub>2</sub> organische Moleküle gebildet werden.

---

<sup>123</sup> Boku Wien: [https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt\\_uebersicht?sprache\\_in=de&menue\\_id\\_in=300&id\\_in=10518](https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt_uebersicht?sprache_in=de&menue_id_in=300&id_in=10518), 08.05.2017

<sup>124</sup> Katharina Meixner et al.: “Low-Solids Digestate as Nutrient Medium for Phototrophic Poly-β-Hydroxybutyrate Production with Cyanobacteria”. 2016.

<sup>125</sup> Technische Universität Wien: [https://www.vt.tuwien.ac.at/biochemical\\_engineering/bioprocess\\_technology/projekte/aktuelle\\_projekte/bio\\_abc\\_development\\_of\\_a\\_two\\_step\\_biological\\_co2\\_fixing\\_process\\_for\\_the\\_production\\_of\\_fuel\\_chemicals/](https://www.vt.tuwien.ac.at/biochemical_engineering/bioprocess_technology/projekte/aktuelle_projekte/bio_abc_development_of_a_two_step_biological_co2_fixing_process_for_the_production_of_fuel_chemicals/), 07.11.2017

<sup>126</sup> Gérôme Melaet et al.: “Evidence of Highly Active Cobalt Oxide Catalyst for the Fischer–Tropsch Synthesis and CO<sub>2</sub> Hydrogenation”. *Journal of the American Chemical Society* 136, no. 6 (February 12, 2014): 2260–63, <https://doi.org/10.1021/ja412447q>.

<sup>127</sup> Rhodri E. Owen et al.: “Effect of Support of Co-Na-Mo Catalysts on the Direct Conversion of CO<sub>2</sub> to Hydrocarbons”. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization* 16, no. Supplement C (December 1, 2016): 97–103, <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2016.06.009>.

<sup>128</sup> Carlo Giorgio Visconti et al.: “CO<sub>2</sub> Hydrogenation to Lower Olefins on a High Surface Area K-Promoted Bulk Fe-Catalyst”. *Applied Catalysis B: Environmental* 200, no. Supplement C (January 1, 2017): 530–42, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.07.047>.

<sup>129</sup> S. Srinivas, Ranjan K. Malik & Sanjay M. Mahajani: “Fischer-Tropsch Synthesis Using Bio-Syngas and CO<sub>2</sub>”. *Energy for Sustainable Development* 11, no. 4 (December 1, 2007): 66–71, [https://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60411-1](https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60411-1).

<sup>130</sup> Carlo Giorgio Visconti et al.: “CO<sub>2</sub> Hydrogenation to Hydrocarbons over Co and Fe-Based Fischer-Tropsch Catalysts”. *Catalysis Today*, Selected Papers from the 6th Czech-Italian-Spanish Conference on Molecular Sieves and Catalysis, Amantea, Italy, from June 14th to 17th 2015, 277, no. Part 1 (November 15, 2016): 161–70, <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.04.010>.

Diese Verfahren werden vor allem mit dem Ziel der Herstellung von Treibstoffen forciert, würden aber ebenso eine vom Erdöl unabhängige Produktion von Rohstoffen für Kunststoffe ermöglichen.<sup>131</sup> In AMPEA (einem Joint Programme der European Energy Research Alliance, mit künstlicher Photosynthese als ein Schwerpunkt) wurde ein Wirkungsgrad der Konversion von Licht zu Treibstoff von 10 % für 2020 angestrebt bzw. vorhergesagt. Von einem Forschungsteam aus Singapur wurde vor kurzem ein Prototyp zur Erzeugung von Ethen aus CO<sub>2</sub> mittels Sonnenlicht vorgestellt.<sup>132</sup>

#### **4.7. Produktion und Markt (weltweit und EU)**

Eine Einschätzung der weltweiten Entwicklung der Produktionskapazitäten von 2011 bis 2021 ist in Abbildung 10 dargestellt. Das verlangsamte Wachstum der Kapazitäten in den letzten Jahren ist laut nova-Institut auf die aktuell niedrigen Ölpreise, ungünstige politische Rahmenbedingungen, ein langsames Wachstum der Ausnutzung der Kapazitäten und die Thematisierung der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zurückzuführen. Im Jahr 2016 wurden 43,4 % der Biokunststoffe in Asien, 27,1 % in Europa und 23,4 % in Nordamerika hergestellt.<sup>133</sup> Abbildung 11 zeigt die Produktionskapazitäten in Europa (ohne Duromere und CA).

Der Anteil von biobasierten Kunststoffen am Gesamtmarkt für Polymere beträgt ca. 2 % und wächst mit ähnlichen Raten wie der gesamte Polymer-Markt. Es wird erwartet, dass die nicht-abbaubaren Biokunststoffe auch in Zukunft den größten Anteil am Markt haben werden. Biobasiertes PET und PUR stellen die Marktführer dar. Es wird davon ausgegangen, dass der Markt für die verschiedenen PHAs enorm wachsen wird; derzeit steht er noch am Anfang.<sup>134</sup> Grundsätzlich zeigt sich ein Trend von bioabbaubaren Biokunststoffen zu biobasierten, nicht-abbaubaren Kunststoffen (PE, PP, PET).<sup>135</sup>

---

<sup>131</sup> Anders Thapper et al.: "Artificial Photosynthesis for Solar Fuels - an Evolving Research Field within AMPEA, a Joint Programme of the European Energy Research Alliance". *Green* 3, no. 1 (2013): 43–57, <https://doi.org/10.1515/green-2013-0007>.

<sup>132</sup> Science X network: <https://phys.org/news/2017-11-scientists-artificial-photosynthesis-device-greener.html>, 29.11.2017

<sup>133</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021"

<sup>134</sup> Aeschelmann & Carus.

<sup>135</sup> Philp, Ritchie & Guy: "Biobased Plastics in a Bioeconomy"

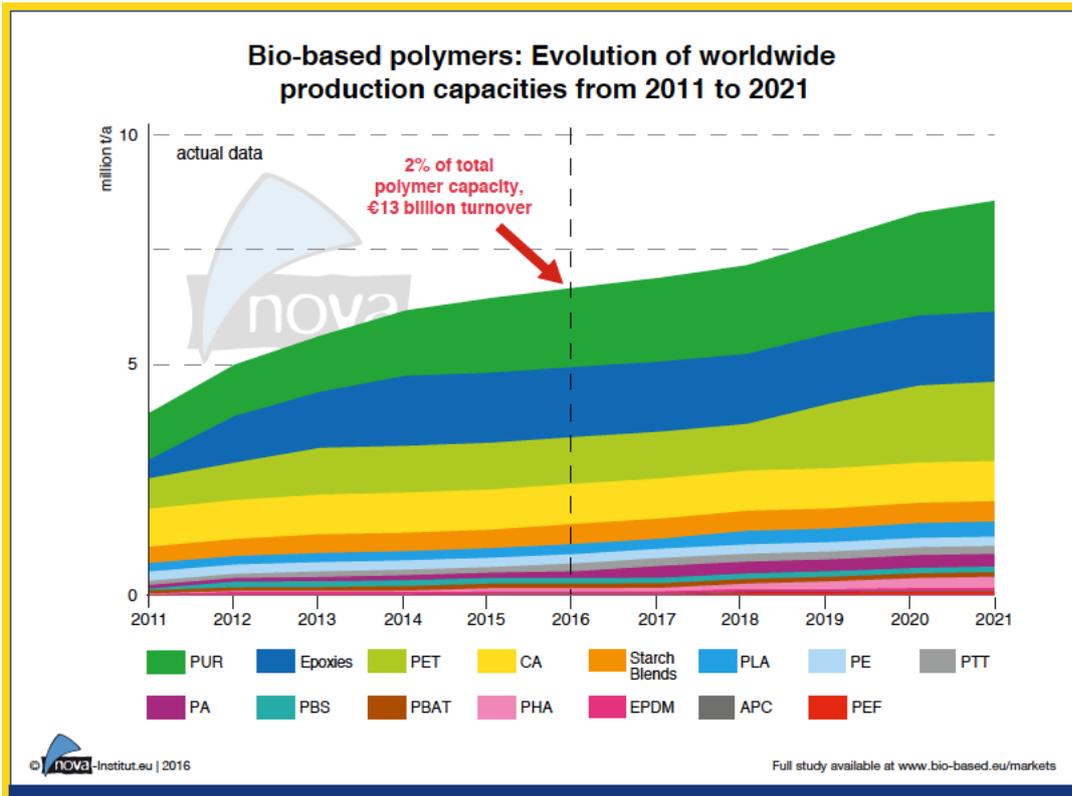


Abbildung 10: Entwicklung der weltweiten Produktionskapazitäten von Biokunststoffen.  
(Quelle: Aeschelmann & Carus 2017)

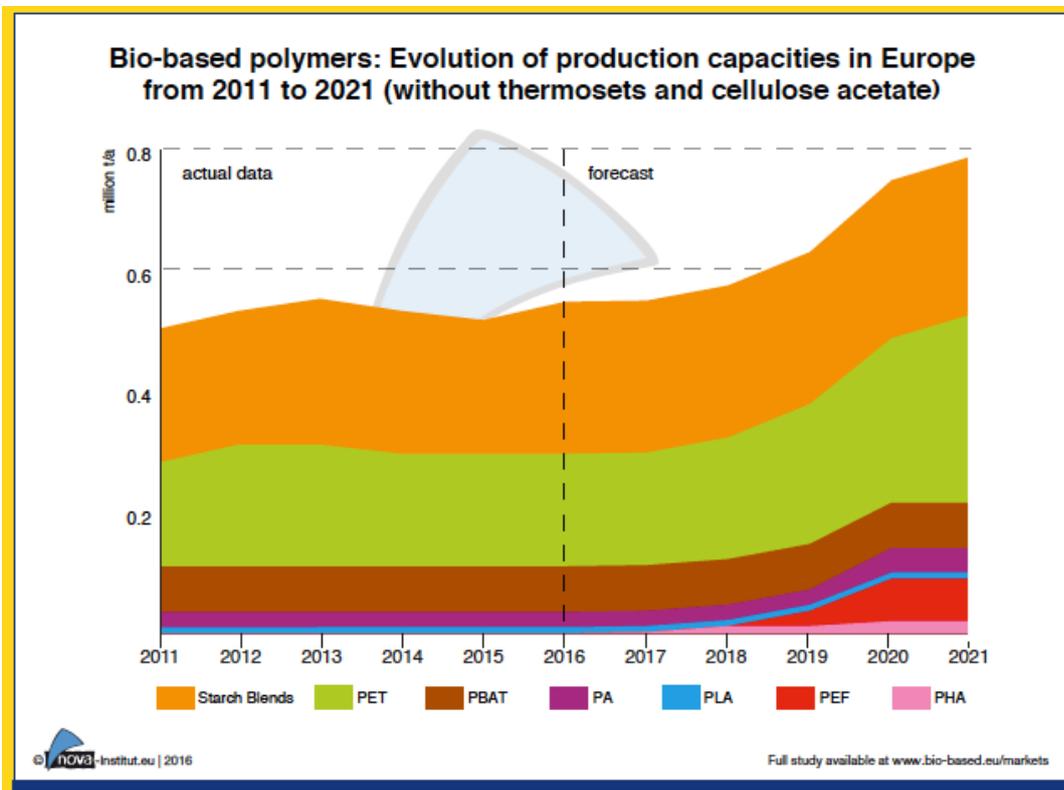


Abbildung 11: Entwicklung der Produktionskapazität biobasierter Polymere in Europa (2011–2021).  
(Quelle: Aeschelmann & Carus 2017)

In Abbildung 12 ist die Produktion von Polymeren in bioabbaubaren Kunststoffprodukten in der EU dargestellt. Den größten Anteil haben hier Stärke-Co-Polyester Compounds mit 50 %.<sup>136</sup>

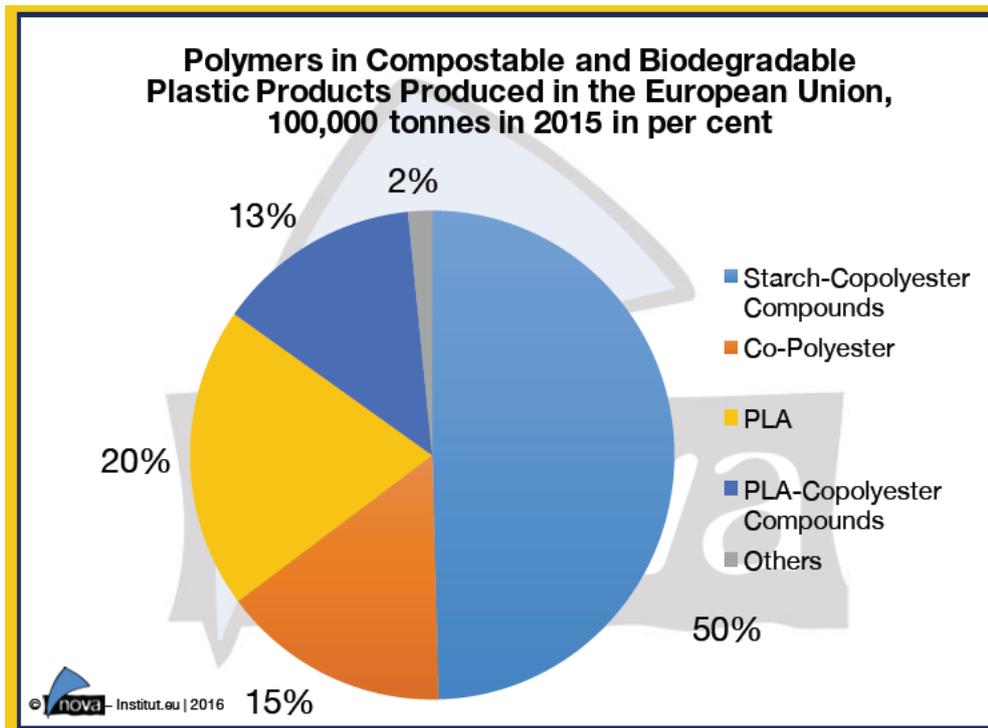


Abbildung 12: Anteil der Polymere in bioabbaubaren Kunststoffprodukten in der EU 2015 (insgesamt 100.000 t). (Quelle: Aeschelmann & Carus 2017)

100.000 t bioabbaubare Polymer-Produkte werden jährlich am EU-Markt eingesetzt. Die vorherrschende Anwendung ist dabei die Kunststoff-Tragetasche („Plastik-Sackerl“, 67.000 t), gefolgt von der Nutzung als Verpackung (20.000 t). Alle anderen Anwendungen, wie Folien für Gartenbau und Landwirtschaft, Fasern oder Konsumgüter, stellen noch Nischen-Bereiche dar.<sup>137</sup>

Im iBIB 2012/13 (Kooperation von nova-Institut, bioplastics MAGAZINE und agrobases) findet sich eine Übersicht zu Herstellern, Verarbeitern, Anlagenbau-Firmen und Beratern im Bereich biobasierter Kunststoffe (und Composites).<sup>138</sup>

Laut Österreichischer Energieagentur liegt das jährliche Absatzpotenzial für Biokunststoffe in Österreich in einer Größenordnung von rund 50.000 t.<sup>139</sup>

<sup>136</sup> Kaeb, Aeschelmann & Carus: “Market Study on the Consumption of Biodegradable and Compostable Plastic Products in Europe 2015 and 2020”

<sup>137</sup> Kaeb, Aeschelmann & Carus

<sup>138</sup> nova-Institute & Polymedia Publisher GmbH: “International Business Directory for Innovative Bio-Based Plastics and Composites 2012/13”. 2013.

<sup>139</sup> Österreichische Energieagentur: “Biokunststoffe in Österreich – Ein Beitrag Zu Ressourcenschonung Und Zum Klimaschutz”. (Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, January 2015), [https://www.bmlfuw.gv.at/dam/jcr:85f073c6-ca0e-4fe5-901c-da895b439067/5\\_klimaaktiv\\_Biokunststoffe\\_2015.pdf](https://www.bmlfuw.gv.at/dam/jcr:85f073c6-ca0e-4fe5-901c-da895b439067/5_klimaaktiv_Biokunststoffe_2015.pdf).

## 4.8. Unternehmen und Produkte in Österreich

Im Bericht „Biokunststoff in Österreich“ (2015)<sup>140</sup> der Austrian Energy Agency werden einige Unternehmen genannt, die bereits Biokunststoffe bzw. Biokunststoff-Produkte vertreiben. Lenzing AG hat in Kooperation mit Borckenstein (Garnhersteller) und dem Verpackungszentrum Graz Netze aus Modal® COLOR<sup>141</sup> als Verpackung für Obst und Gemüse auf den Markt gebracht. Die Firma WITASEK Pflanzenschutz GmbH verkauft bioabbaubare Rebschutzhüllen aus Biokunststoff.<sup>142</sup> Die Herstellung von TPS wird am AGRANA Research & Innovation Center (ARIC) der AGRANA-Gruppe intensiv erforscht. Dieses Unternehmen gilt als großer Stärke-Produzent sowohl für TPS als auch für die Verzuckerung und Fermentation von Stärke als ein wichtiger österreichischer Stakeholder.<sup>143</sup> Die Doraplast GmbH vertreibt unter dem Markennamen Biodora Produkte aus Bio-PE.<sup>144</sup> Im Familienunternehmen Volpini-Verpackungen GmbH Austria werden neben anderen Produkten laut Strimitzer und Höher 10 Mio. PLA-Joghurtbecher pro Jahr hergestellt.<sup>145</sup> Naku vertreibt sowohl Produkte aus Biokunststoff (Frischhalte-Beutel, Lebensmittelbehälter u. a.) als auch Biokunststoff-Granulate zur Weiterverarbeitung, wobei ausschließlich bioabbaubare Materialien zum Einsatz kommen. Neben den angebotenen Kunststofftypen wird auch die Entwicklung neuer Biokunststoffe angeboten.<sup>146</sup> Naturabiomat vertreibt Verpackungsfolien, Trays, Agrarfolien, Hundekotbeutel und Kompostsäcke aus Biokunststoffen.<sup>147</sup> Das Unternehmen BioBag Austria vertreibt Abfallsammelsysteme, Verpackungssysteme, Tragetaschen, Frischhaltebeutel und Catering-Produkte aus biologisch abbaubaren Materialien.<sup>148</sup> Saphium Biotechnology GmbH kündigt den Verkauf von im eigenen Unternehmen fermentierten PHAs als Filamente (PHAbulous filaments) an. Es wurden bereits Prototypen der Filamente für den 3D-Druck hergestellt. Geforscht wird zurzeit an den optimierten Mikroorganismen für die Fermentation, außerdem wird eine Produktionsanlage geplant.<sup>149</sup> Seit April 2017 werden in Österreich PlantBottle™ (mit 20 % biobasiertem C-Anteil) für den Verkauf von Römerquelle-Mineralwasser verwendet.<sup>150, 151</sup> Im Kunststoffcluster sind im Themenschwerpunkt Biokunststoffe als „Biopolymer-Team“ zahlreiche Unternehmen aus Industrie (Rohstoffherzeugung, Kunststoffverarbeitung, Recycling etc.) und Forschung vernetzt.<sup>152</sup>

---

<sup>140</sup> Lorenz Strimitzer & Martin Höher: „Biokunststoffe in Österreich Ein Beitrag Zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz“. Klimaaktiv NAWARO Markt (BMLFUW, 2015).

<sup>141</sup> Lenzing AG: <http://www.lenzing-fibers.com/lenzing-modal/lenzing-modal-color/>, 26.06.2017

<sup>142</sup> WITASEK Pflanzenschutz GmbH: <https://www.witasek.com/rebschutz-traubenschutz/biowit-rebschutzprodukte/>, 26.06.2017

<sup>143</sup> AGRANA Beteiligungs-AG: <http://www.agrana.at/produkte/staerke/>, 28.06.2017

<sup>144</sup> Doraplast GmbH: <https://www.biodora.at/deutsch/produkte/staerke/>, 26.06.2017

<sup>145</sup> Volpini-Verpackungen GmbH Austria: <http://www.volpini.at>, 26.06.2017

<sup>146</sup> Naku: [http://www.naku.at/de\\_DE/rohmaterialien](http://www.naku.at/de_DE/rohmaterialien), 26.06.2017

<sup>147</sup> Naturabiomat: <https://www.naturabiomat.com>, 26.06.2017

<sup>148</sup> BioBag Austria: <http://www.biobag.at>, 27.06.2017

<sup>149</sup> Saphium Biotechnology GmbH: <http://de.saphium.eu>, 26.06.2017

<sup>150</sup> Römerquelle Trading GmbH: <http://www.roemerquelle.at/de-AT/UeberUns/Umweltschutz>, 27.06.2017

<sup>151</sup> Manstein ZeitschriftenverlagsgmbH: <http://www.cash.at/archiv/pflanzenpower-roemerquelle-macht-die-05-l-pet-flasche-zur-plantbottle/>, 27.06.2017

<sup>152</sup> Kunststoffcluster: <http://www.kunststoff-cluster.at/themenschwerpunkte/materialentwicklung/biokunststoffe/>, 16.11.2017

## 4.9. Wirtschaftlichkeit und Preise

Neben den Rohstoffen entfällt momentan der größte Teil der Kosten für die Herstellung der meisten Biokunststoffe auf die Enzyme für die Verzuckerung von Stärke.<sup>153</sup> Philp sieht in den hohen Preisen biobasierter Kunststoffe das größte Hindernis für einen wachsenden Einsatz, betont allerdings auch das ungleiche technologische Niveau von bio- und fossilbasierten Kunststoffen und den Einfluss der ‚economy of scale‘.<sup>154</sup>

Für Stärkeblendwerkstoffe lagen 2009 die Preise bei 2,5–5,5 €/kg, womit sie zu den preiswerteren Biokunststoffen gehören.<sup>155</sup> Marktpreise der Biokunststoffe im Bereich von 3.000–4.500 €/t stehen Preisen von 1.000–2.000 €/t für herkömmliche Kunststoffe wie PE oder PP gegenüber.<sup>156</sup>

## 4.10. Recycling

Weltweit werden zurzeit nur 14 % der Kunststoff-Verpackungen recycelt. Der dadurch verlorene Wert entspricht 80–120 Milliarden US-\$ pro Jahr. Laut Ellen MacArthur Foundation liegt das unter anderem stark am Design der Verpackungen, das nur eine einmalige Verwendung zulässt. In diesem Zusammenhang werden kleinformige Verpackungen, Multi-Material-Verpackungen aus verschiedenen Schichten, Verpackungen aus „selteneren“ Materialien (wie PVC und PS) sowie mit Lebensmitteln verunreinigte Verpackungen als problematisch eingestuft.<sup>157</sup> Zudem gibt es in den meisten Fällen von Wiederverwendung und -verwertung nur einen weiteren Nutzungszyklus mit vermindertem Wert.<sup>158</sup> In der EU wurden 2012 26 % der post-consumer Kunststoffe – also der Kunststoffe, die beim Endverbraucher anfallen – einem Recycling zugeführt (mechanisches Recycling und feedstock-Recycling).

Mechanisches Recycling (Recycling ohne Veränderung der Basisstruktur des Materials) findet vor allem für konventionelle Kunststoffe wie PE, PET, PP und PS Anwendung und ist auch bei der Herstellung dieser Stoffe aus biogenen Rohstoffen möglich. Für diese Nutzung ist ein sehr reiner Materialinput von größter Bedeutung.<sup>159</sup> Organische Verunreinigungen (vor allem bei Haushalts-Kunststoffabfall) verringern die ökologischen Vorteile des Recyclings. Deswegen – und auch wegen anderen Verunreinigungen, wie Schwermetallen und Zusatzstoffen – ist eine Veränderung schon im

---

<sup>153</sup> Philp et al.: „Bioplastics Science from a Policy Vantage Point“

<sup>154</sup> Jim Philp: „OECD Policies for Bioplastics in the Context of a Bioeconomy, 2013“. *Industrial Biotechnology* 10, no. 1 (January 24, 2014): 19–21, <https://doi.org/10.1089/ind.2013.1612>.

<sup>155</sup> nachwachsende-rohstoffe.biz: <http://www.nachwachsende-rohstoffe.biz/glossar/thermoplastische-starke-tps-starkeblends/>, 28.06.2017

<sup>156</sup> Stefan Reinhardt: *Nachwachsende Rohstoffe: Eine mögliche Basis für eine zukünftige stoffliche Ressource der Industrie*. (Igel Verlag RWS, 2014).

<sup>157</sup> Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum & McKinsey & Company: *The New Plastics Economy – Rethinking the Future of Plastics*. 2016.

<sup>158</sup> Ellen MacArthur Foundation, 2016: „The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics“. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics>. [2016-07-15].

<sup>159</sup> European Bioplastics e.V.: Fact Sheet 2015 Mechanical Recycling. European Bioplastics e.V. [2016-07-21].

Bereich der Produktion und Verarbeitung nötig.<sup>160</sup> Für das Recycling bietet Bio-PET den Vorteil, dass bereits Prozesse und Kapazitäten etabliert wurden, die PET (unabhängig von der Rohstoffquelle) zuverlässig abtrennen und wiederverwerten können. Verfahren für das Trennen von PLA und PET-Flaschen wurden bereits erforscht.<sup>161</sup> Auch für andere konventionelle Kunststoffe, die biobasiert hergestellt werden können, gibt es bereits Recycling-Verfahren.

Da in der Regel beim mechanischen Recycling nur eine begrenzte stoffliche Wiederverwendung des Polymers mit seinen ursprünglichen Eigenschaften möglich ist, wird zunehmend auch chemisches Recycling untersucht. Auch wenn energetische Verluste bei der De- und Repolymerisierung auftreten, ist dieser Prozess im Verhältnis zur Herstellung von (neuer) Milchsäure aus Zucker energetisch überlegen.<sup>162</sup> Allerdings wird von Soroudi & Jakubowicz auf den hohen Energieeinsatz und die damit verbundenen Kosten beim chemischen Recycling hingewiesen.<sup>163</sup> Die deutsche RE PLA Cycle GmbH hat bereits Pilotprojekte in Sortier- und Verwertungsanlagen durchgeführt und Verfahren optimiert. Auch der Einsatz von PLA-Recyclat wird in einem aktuellen Pilotprojekt erfolgreich umgesetzt.<sup>164</sup> In Belgien betreibt Galactic eine Pilotanlage für das chemische Recycling von PLA (LOOPLA).<sup>165, 166</sup>

Für PHBV wurde in der Literatur die Angabe von fünf potenziellen Recycling-Zyklen gefunden, während für PLA 10 Zyklen angegeben werden. Um die mechanischen Eigenschaften über eine größere Anzahl von Zyklen zu erhalten, wird der Einsatz von Quinon als „Stabilisierer“ untersucht.<sup>167</sup>

Da die Produktion von Polyurethanen und damit auch der PU-Abfall zunehmen, werden verschiedene Methoden zum Recycling intensiv erforscht. Beim chemischen Recycling gibt es Untersuchungen zu Hydrolyse, Hydroglycolyse, Aminoalkoholyse und Glycolyse, wobei bei der letztgenannten Methode die Wiedergewinnung der Komponenten (v. a. Polyolen) als Rohstoffe für neue PUR-Produkte im Mittelpunkt steht, was bisher allerdings mit einer verringerten Qualität einhergeht.<sup>168</sup>

Grundsätzlich ist das Erreichen einer kritischen Masse der unterschiedlichen (neuen) Polymere für ein wirtschaftliches mechanisches Recycling nötig.<sup>169</sup> Die Zusatzstoffe wie Weichmacher, Färbemittel,

---

<sup>160</sup> David Lazarevic et al.: "Plastic Waste Management in the Context of a European Recycling Society: Comparing Results and Uncertainties in a Life Cycle Perspective". *Resources, Conservation and Recycling* 55, no. 2 (December 2010): 246–59, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.09.014>.

<sup>161</sup> A. Ulrici et al.: "Efficient Chemometric Strategies for PET–PLA Discrimination in Recycling Plants Using Hyperspectral Imaging". *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 122 (March 15, 2013): 31–39, <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2013.01.001>.

<sup>162</sup> V. Piemonte, S. Sabatini & F. Gironi: "Chemical Recycling of PLA: A Great Opportunity Towards the Sustainable Development?". *Journal of Polymers and the Environment* 21, no. 3 (September 1, 2013): 640–47, <https://doi.org/10.1007/s10924-013-0608-9>.

<sup>163</sup> Azadeh Soroudi & Ignacy Jakubowicz: "Recycling of Bioplastics, Their Blends and Biocomposites: A Review". *European Polymer Journal* 49, no. 10 (October 2013): 2839–58, <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.07.025>.

<sup>164</sup> Reclay Holding GmbH: <https://www.reclay-group.com/de/de/newsletter/reclay-news-ausgabe-12012/loesungen-fuer-pla-recycling>, 11.05.2017

<sup>165</sup> Soroudi & Jakubowicz: "Recycling of Bioplastics, Their Blends and Biocomposites"

<sup>166</sup> Galactic S.: <http://www.loopla.org/services/rpla.htm>, 09.05.2017

<sup>167</sup> Soroudi & Jakubowicz: "Recycling of Bioplastics, Their Blends and Biocomposites"

<sup>168</sup> Beneš et al.: "Polyurethanes with Bio-Based and Recycled Components"

<sup>169</sup> Soroudi & Jakubowicz: "Recycling of Bioplastics, Their Blends and Biocomposites".

Vernetzungsagentien etc. in den Kunststoffen werden für ein sauberes Recycling ebenfalls als problematisch angesehen. Dadurch wird jeder Kunststoff-Recycling-Prozess derzeit zu einem sogenannten ‚Downcycling‘, entweder mit Qualitäts- oder Masseverlusten. Die recycelten Kunststoffmischungen werden in Folge meist für niederwertigere Produkte eingesetzt, wie z. B. Straßenpfosten, Sitzbänke oder Ähnliches.<sup>170</sup> Beim chemischen Recycling (Umwandlung in Monomere und Repolymerisation) kann durch thermo-chemische Alterungsprozesse auch nie das gesamte Material zu hochwertigem Rohstoff konvertiert werden.<sup>171</sup> Die verbleibenden Restmengen werden derzeit zumeist einer thermischen Verwertung zugeführt.

Gemäß Europäischer Kunststoffstrategie sollen bis zum Jahr 2030 alle Kunststoffverpackungen, die in der EU in Verkehr gebracht werden, entweder wiederverwendbar sein oder auf kosteneffiziente Weise recycelt werden können. Auf EU-Ebene versteht man unter ‚Recycling‘ – neben dem mechanischen und chemischen – auch das organische Recycling von bioabbaubaren Kunststoffen (Kompostierung, Verrottung etc.).

#### **4.11. Littering**

Es ist bis heute nicht klar, ob biologisch abbaubare Kunststoffe die durch marines Littering verursachten Probleme mindern können. Da die Bedingungen für einen vollständigen Abbau meist nur in einer industriellen Kompostieranlage gegeben sind, kommt eine Studie des United Nations Environment Programme zum Schluss, dass das Labelling von Produkten aus biologisch abbaubaren Kunststoffen weder die Kunststoffmengen, die ins Meer gelangen, noch das Risiko negativer Auswirkungen auf das Ökosystem Meer reduzieren kann.<sup>172</sup> Laut Philp et al.<sup>173</sup> ist das Erforschen der Bioabbaubarkeit in mariner Umgebung nur für PHAs nachgewiesen. Der Abbau sollte ausschließlich unter den Bedingungen untersucht werden, die mit der jeweiligen Anwendung und dem End-of-Life zusammenhängen.

Problematisch sind oxo-abbaubare Kunststoffe, die zwar zerfallen, aber nicht biologisch abbaubar sind bzw. nicht zu CO<sub>2</sub>, Wasser und Biomasse umgewandelt werden, da sich auf diese Weise kleine Kunststoffpartikel in der Umwelt anreichern.<sup>174</sup>

---

<sup>170</sup> S. M. Al-Salem, P. Lettieri & J. Baeyens: “Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW): A Review”. *Waste Management* 29, no. 10 (October 2009): 2625–43, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004>.

<sup>171</sup> P.-A. Eriksson et al.: “Effect of Thermal-Oxidative Aging on Mechanical, Chemical, and Thermal Properties of Recycled Polyamide 66”. *Journal of Applied Polymer Science* 65, no. 8 (August 22, 1997): 1619–30, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19970822\)65:8<1619::AID-APP18>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19970822)65:8<1619::AID-APP18>3.0.CO;2-Q).

<sup>172</sup> Peter John Kershaw: “Biodegradable Plastics & Marine Litter”. 2015.

<sup>173</sup> Philp et al.: “Bioplastics Science from a Policy Vantage Point”.

<sup>174</sup> Philp et al.

## 4.12. Vereinigungen

In diesem Abschnitt werden auszugsweise Informationen aus einer Publikation von Maikel Kishna et al. zu Kooperationen im Bereich Biokunststoffe zusammengefasst.<sup>175</sup>

### *European Bioeconomy Alliance*<sup>176</sup>

Die European Bioeconomy Alliance ist eine Vereinigung, die sich zum Ziel gesetzt hat, Bioökonomie zu einem wichtigen Thema in der europäischen Politik zu machen, Opinion Leader zu mobilisieren und die Nutzung biobasierter Produkte zu fördern.

### *Bioplastic Feedstock Alliance (BFA)*<sup>177</sup>

Diese Vereinigung ist ein Zusammenschluss zahlreicher großer, global agierender Unternehmen wie Coca-Cola Company, Danone, Ford Motor, Nestle, P&G, Unilever und The Lego Group. In Kooperation mit dem WWF werden Kriterien und Strategien zur nachhaltigen Nutzung von Rohstoffen für die Herstellung von Biokunststoffen entwickelt. Eine Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse findet sich im veröffentlichten Whitepaper.<sup>178</sup>

### *CO<sub>2</sub> Value Europe*

43 Stakeholder aus Industrie und Forschung (wie Solvay, Avantium, nova-Institut sowie diverse Universitäten und Verbände) haben sich im November 2017 zusammengeschlossen, um nachhaltige Anwendungen und Prozesse für die CO<sub>2</sub>-Nutzung zu finden, zu entwickeln, zu optimieren und umzusetzen.<sup>179</sup>

## 4.13. Europäische Projekte

Im Folgenden wird eine Auswahl an EU-Projekten, die im Bereich der Biokunststoffe angesiedelt sind, kurz beschrieben, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht.

### *Bread4PLA*<sup>180</sup>

In diesem dreijährigen Projekt (seit 2014 beendet) wurde in einer Demonstrationsanlage PLA aus Brot- und Gebäckresten hergestellt, compoundiert und zu Folien verarbeitet. Ziel ist es, Gebäck in Folien aus „Abfall“ verpacken zu können und einen verbesserten Materialkreislauf zu erreichen.

### *PEFference*<sup>181</sup>

Ziel ist die Umwandlung von Biomasse in hochwertige biobasierte Materialien via FDCA in einer Flagship-Bioraffinerie, wobei ein Fokus auf der Herstellung von PEF liegt. Neben BASF, dem nova-

---

<sup>175</sup> Maikel Kishna et al.: "The Role of Alliances in Creating Legitimacy of Sustainable Technologies: A Study on the Field of Bio-Plastics". *Journal of Cleaner Production*, Making, Buying and Collaborating for More Sustainable Production and Consumption, 155, no. Part 2 (July 1, 2017): 7–16, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.089>

<sup>176</sup> European Bioeconomy Alliance: <http://bioeconomyalliance.eu>, 23.11.2017

<sup>177</sup> Bioplastic Feedstock Alliance: <http://bioplasticfeedstockalliance.org>, 23.11.2017

<sup>178</sup> [http://bioplasticfeedstockalliance.org/bioplastics/BFA\\_Responsible\\_Bioplastics.pdf](http://bioplasticfeedstockalliance.org/bioplastics/BFA_Responsible_Bioplastics.pdf)

<sup>179</sup> Avantium: [https://www.avantium.com/wp-content/uploads/2017/12/05DEC17\\_Press-release-for-creation-of-CO2-Value-Europe.pdf](https://www.avantium.com/wp-content/uploads/2017/12/05DEC17_Press-release-for-creation-of-CO2-Value-Europe.pdf), 23.11.2017

<sup>180</sup> Project Bread4PLA: <http://www.bread4pla-life.eu>, 07.12.2017

<sup>181</sup> Project PEFference: <https://www.bbi-europe.eu/projects/peference>, 05.12.2017

Institut, Avantium und Lego Systems sind unter anderem auch die österreichischen Alpla Werke im Konsortium vertreten.

#### *agrimax*<sup>182</sup>

In dem seit 2016 laufenden Projekt agrimax werden Wertschöpfungsketten für Agrarabfälle mit höchstmöglicher Wertschöpfung erarbeitet und die Gewinnung von hochwertigen bio basierten Stoffen in Form von kaskadischer Nutzung wird in zwei Demonstrationsanlagen getestet. Ein Nutzungsziel betrifft dabei auch thermoplastische Polymere.

#### *Superbio*<sup>183</sup>

Von 2016 bis 2018 werden neue biobasierte Wertschöpfungsketten mit zahlreichen SMEs aus 19 verschiedenen Industriesektoren entwickelt und Informationen für mögliche Investoren erarbeitet, um eine Kommerzialisierung zu ermöglichen. Auf diese Art sollen SMEs dabei gefördert werden, Innovationen auf den Markt zu bringen. Als Zielprodukte sind auch Ausgangsstoffe für Biokunststoffe zu untersuchen.

#### *A-LEAF*<sup>184</sup>

Von 2017 bis 2020 soll ein (aus häufig vorkommenden Elementen bestehender) Prototyp einer photo-elektro-katalytischen Zelle entwickelt werden, um die Umwandlung von CO<sub>2</sub> in chemische Energieträger mittels Sonnenlicht zu ermöglichen. Aus Österreich ist die Technische Universität Wien mit dem Institut für Angewandte Physik im Konsortium vertreten.

#### *FIRST2RUN*<sup>185</sup>

In diesem Demonstrations-Projekt werden selten genutzte Ölpflanzen zur Herstellung von Polymeren (sowie Schmiermitteln und Kosmetika) verwendet, um eine Wertschöpfung aus trockenen bzw. unproduktiven Gebieten zu ermöglichen, die nicht in Konkurrenz zur Lebensmittel- oder Futtermittelproduktion stehen. Die technische Umsetzung erfolgt in Form von Bioraffinerien.

#### *CARBAFIN*

Unter Koordination der ACIB GmbH sollen neue Wertschöpfungsketten für Zuckerrübenzucker gefunden werden. Dabei werden die Herstellung von Glukosiden für die Lebensmittelindustrie, Kosmetika und Detergentien und die Herstellung von 5-HMF aus Fruktose auf Demonstrationsebene untersucht.<sup>186</sup>

---

<sup>182</sup> Project Agrimax: <http://agrimax-project.eu>, 06.12.2017

<sup>183</sup> Project Superbio: <http://www.h2020-superbio.eu>, 06.12.2017

<sup>184</sup> Project A-LEAF: <http://www.a-leaf.eu/project/>, 06.11.2017

<sup>185</sup> Project FIRST2RUN: <https://bbi-europe.eu/projects/first2run>, 07.12.2017

<sup>186</sup> Project CARBAFIN: [https://cordis.europa.eu/project/rcn/212343\\_de.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/212343_de.html), 19.02.2018

#### 4.14. Strategien und Projekte in Österreich

Im Folgenden werden österreichische Strategien bzw. Agenden sowie eine Auswahl an Projekten vorgestellt, die im Zusammenhang mit dem Biobasierten Kunststoff (BbKs) Szenario 2050 stehen.

##### *FTI-Strategie Biobasierte Industrie (2014)*<sup>187</sup>

Aus der FTI-Strategie Biobasierte Industrie geht hervor, dass in Österreich – aufgrund des Rückgangs von Viehwirtschaft – ein steigendes Potenzial an Grünlandbiomasse-Rohstoff zu erwarten ist. Die verfügbare Trockenmasse liegt dabei im Bereich von 750.000 t pro Jahr.<sup>188</sup> Trotz der öffentlichen Diskussion über Food versus Fuel bzw. technischer Nutzung von Rohstoffen wird bereits jetzt ein Großteil der Stärkeproduktion in Österreich für Non-Food-Zwecke eingesetzt. Außerdem geht aus der Strategie hervor, dass eine vermehrte Nutzung von Laubholz in Österreich – das in der Papier- und Zellstoffindustrie ausschließlich von Lenzing verarbeitet wird, dessen Flächen aber steigen – Vorteile für die biobasierte Industrie bringen würde. Die Verwendung von Algen zur Produktion von Rohstoffen ist in Österreich nur mit geschlossenen Systemen möglich. Eine Chance sehen hier die Autoren der FTI-Strategie in der Weiterentwicklung dieser geschlossenen Systeme und auch integrierter Systeme, die zur Reinigung von Abwasser genutzt werden könnten. Die Autoren sehen ein Potenzial für 50.000 t Biokunststoffe in Österreich. Neben TPS, PLA und PHA, die bereits am Markt präsent sind, sollen auch Furanharze und ligninbasierte Kunststoffe sowie Cellulose als Restmasse in Österreich zukünftig eine Rolle spielen. Hier könnten vor allem neue Ausgangsstoffe aus der Papierindustrie interessant sein. Als mögliche chemische Grundstoffe werden FDCA (für PEF bzw. PET), 1,4-Butandiol (für Polyester, große Konkurrenz an Mitbewerbern) und 1,3-Propandiol (für Polyester wie PTT) genannt. Auch die Herstellung von Milchsäure für PLA (noch nicht umgesetzt) und die Fermentation von PHA wäre in Österreich möglich (erfolgt bereits im kleinen Maßstab und wird u. a. von Mitarbeitern der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) erforscht).

##### *Research Agenda Biobasierte Industrie (2012)*<sup>189</sup>

In der Research Agenda Biobasierte Industrie wird auf die ‚Holzbioraffinerie‘ der Lenzing AG hingewiesen, deren Nebenprodukte Furfural und Essigsäure (aus der Brüdenkondensation) an die Lebensmittel- und chemische Industrie verkauft werden. Im in Österreich noch angewandten Sulfitverfahren sehen Windsperger et al. ein großes Potenzial für die Gewinnung von Grundstoffen (die z. T. auch für Biokunststoffe eingesetzt werden könnten), da bei diesem Prozess die Kohlenhydrate so vorliegen, dass sie weiterverarbeitet werden können. Als aussichtsreich wird außerdem die Gewinnung von Milchsäure (u. a. für PLA) aus einer Grünen Bioraffinerie gesehen, wobei das Downstreaming noch nicht ausgereift ist. Als mögliche Player für die Herstellung von Grundstoffen für Biokunststoffe werden Jungbunzlauer, Agrana (Ethanolproduktion in Pischelsdorf), Lenzing, Vogelbusch (patentiertes Verfahren für Propandiol, Patente für Herstellung von Milchsäure) und ABandCD (Pilotanlage für Milchsäuregewinnung) genannt. Zur Nutzung von Lignin (als Komponente von Klebstoffen bzw. Biokunststoffen) verweisen Windsperger et al. auf den hohen Preis und die Problematik der gleichbleibenden Qualität, auf der anderen Seite wird aufgrund der

---

<sup>187</sup> Ganglberger & Sturm: „FTI-Strategie Für Die Biobasierte Industrie in Österreich“

<sup>188</sup> Horst Steinmüller: „Demonstrationsanlage zur Gewinnung von Milchsäure und Aminosäuren aus Silagen von Dauergrünland und Feldfutter bei der Biogasanlage der Ökoenergie Utzenaich GmbH“. Endbericht, Fabrik Der Zukunft (BMVIT, 2011). <http://www.energieinstitut-linz.at/v2/wp-content/uploads/2016/09/Endbericht-Bioraffinerie.pdf>.

<sup>189</sup> A. Windsperger et al.: „Research Agenda Biobasierte Industrie“. Berichte Aus Energie- Und Umweltforschung (BMVIT, 2012).

jahrelangen Erfahrung bei österreichischen Firmen ein großes Potenzial für Cellulosederivate als Biokunststoffe gesehen. Bei Bernsteinsäure und Butandiol sehen die Autoren eine zu starke Konkurrenz von Großunternehmen im Ausland für eine Produktion in Österreich.

*Projekt BioTransform.at – Perspektiven für die Etablierung einer auf inländischen Ressourcen basierenden Bioökonomie in Österreich (2014–2016)*<sup>190</sup>

Nach Erhebung der österreichischen Biomasse-Flüsse und der optimalen Nutzung der verfügbaren Anbauflächen wurden Szenarien (Zielfunktion Minimierung der Treibhausgase) für die Transformation in eine Bioökonomie für den Zeitraum 2010 bis 2050 entwickelt. Es wurde gezeigt, dass eine Umstellung auf eine low-carbon Bioökonomie unter Verwendung inländischer Ressourcen unter der Voraussetzung möglich ist, dass eine drastische Reduzierung des Energieverbrauchs, eine Ausweitung der Nutzung anderer erneuerbarer Energieträger sowie eine effiziente Biomasse-Nutzung stattfindet. Dafür wurde einerseits ein „Intensiv-Szenario“ mit Ertragssteigerungen und Mobilisierung landwirtschaftlicher Reststoffe (+ 30 % Biomasseaufkommen für 2050), andererseits ein „Alternativ-Szenario“ mit einer starken Reduktion des Fleisch- und Milchkonsums, der Nahrungsmittelverluste und des Verlustes an landwirtschaftlichen Flächen entwickelt, die eine THG-Reduktion von mindestens 80 % zur „Kyoto-Baseline“ ermöglichen. Ein Großteil der momentan in Österreich verwendeten (feuchten) Biomasse wird als Futtermittel eingesetzt (46 Mt pro Jahr, 17,1 Mt für Energieaufbringung, 8 Mt für Lebensmittel).

*Flippr*

Die Projekte Flippr<sup>o</sup> und Flippr<sup>2</sup> (COMET K-Projekte) haben die Holznutzung im Sinne von Bioraffinerien zum Inhalt. Seit April 2017 wird an der Integration der zuvor entwickelten Bioraffinerieprozesse an den Standorten der Projektpartner gearbeitet.<sup>191</sup>

*BioModFiber*

Das Transfercenter für Kunststofftechnik und IFGAsota entwickeln ein integrales Konzept für die Herstellung von technischen und elastischen Fasern aus PLA. Durch Modifizierung des Kunststoffes und eine Anpassung des Spinnverfahrens soll ein möglichst hoher Anteil an biobasierten Rohstoffen für die Fasern erreicht werden.<sup>192</sup>

*Bio-ABC: TU Wien*

In diesem Projekt der TU Wien wird die Nutzung von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> durch Mikroorganismen zur Herstellung von Chemikalien und Treibstoffen in einem zweistufigen Verfahren untersucht.<sup>193</sup>

*FT-Treibstoffe aus Biomasse in Österreich*

Unter der Projektleitung der TU Wien (Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften) werden Biomassevergasung, Gasreinigung und Gaskonditionierung, Fischer-Tropsch Synthese und die Aufbereitung der Fischer-Tropsch Rohprodukte behandelt.

---

<sup>190</sup> Austrian Energy Agency: <https://www.energyagency.at/projekte-forschung/energie-klimapolitik/detail/artikel/biotransformat-perspektiven-fuer-die-etablierung-einer-auf-inlaendischen-ressourcen-basierenden-bio.html>, 29.11.2017

<sup>191</sup> Papierholz Austria: <http://www.flippr.at/jart/prj3/flippr/main.jart>, 29.11.2017

<sup>192</sup> BMVIT: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/projekte/biomod-fiber.php>, 05.12.2017

<sup>193</sup> TU Wien: [https://www.vt.tuwien.ac.at/biochemical\\_engineering/bioprocess\\_technology/projekte/aktuelle\\_projekte/bio\\_abc\\_development\\_of\\_a\\_two\\_step\\_biological\\_co2\\_fixing\\_process\\_for\\_the\\_production\\_of\\_fuel\\_chemicals/DE/](https://www.vt.tuwien.ac.at/biochemical_engineering/bioprocess_technology/projekte/aktuelle_projekte/bio_abc_development_of_a_two_step_biological_co2_fixing_process_for_the_production_of_fuel_chemicals/DE/), 29.11.2017

*FT-Diesel mit H<sub>2</sub> aus Windspitzenstrom (TU Wien Güssing)*

In Güssing wird an der Entwicklung eines Verfahrens geforscht, mit dem man überschüssigen Windstrom zu Diesel umwandeln kann, was unter anderem Fischer-Tropsch Dieselreaktoren umfasst.<sup>194</sup>

---

<sup>194</sup> TU Wien:

[https://www.vt.tuwien.ac.at/chemische\\_verfahrenstechnik\\_und\\_energietechnik/zukunftsfaeihige\\_energietechnik/synthetische\\_biokraftstoffe/projekte/diesel\\_aus\\_wind\\_erzeugen/](https://www.vt.tuwien.ac.at/chemische_verfahrenstechnik_und_energietechnik/zukunftsfaeihige_energietechnik/synthetische_biokraftstoffe/projekte/diesel_aus_wind_erzeugen/), 29.11.2017

## 5. Gesetzliche Regelungen und Standards

In der EU existieren in den einzelnen Ländern unterschiedliche Regelungen bezüglich biobasierter Kunststoffe. Diese können zum Beispiel Förderungen oder Verbote beinhalten. Mit aktuellen Initiativen auf EU-Ebene werden zahlreiche EU-Richtlinien ergänzt, die auch die Behandlung von Biokunststoffen betreffen.

Die Europäische Kommission, nationale Regierungen und Ministerien sowie unabhängige Standardisierungsinstitute haben zahlreiche Standards erstellt, die als Basis für die Bewertung von Anforderungen an Biokunststoff und biobasierte Produkte dienen. Ein wichtiger Schritt ist die Harmonisierung von Standards auf EU-Level durch das European Committee for Standardization (CEN).

Standards, die sich mit Biokunststoff befassen, bedienen unterschiedliche Aspekte, wie beispielsweise die Kompostierung. Im Folgenden werden alle relevanten CEN-Standards, ISO-Standards und weitere nationale Standards aufgelistet. Wichtig an dieser Stelle ist eine Begriffserklärung, die durch EN 16575:2014 vorgegeben wird (siehe Tabelle 1)

Tabelle 1: Begrifflichkeiten nach EN 16575:2014 (bio-based products – Vocabulary).<sup>195</sup>

Begriff	relevante Standards
bio-based abgeleitet aus Biomasse; diese kann physikalisch, chemisch oder biologisch behandelt werden	CEN/TC 411 Standards für Bestimmung und Kommunikation von „bio-based“
bio-based carbon, biogenic carbon Kohlenstoff abgeleitet aus Biomasse	
bio-based content Ein Anteil des Produktes ist abgeleitet aus Biomasse; meist ausgedrückt als Prozentsatz der totalen Masse des Produktes	EN 16785 1:2015 Anforderungen zur Bestimmung des biobasierten Anteils CEN/TR 16721 Technischer Bericht (bio-based products – overview of methods to determine the bio-based content)
bio-based product Produkte, die ganz oder zum Teil aus Biomasse abgeleitet sind. sollten immer mit dem bio-based content versehen sein	
biomass Material aus biologischem Ursprung (Ausnahme: Material in geologischen Formationen und/oder fossilen Ursprungs)	
renewable material Material bestehend aus Biomasse, welches kontinuierlich regeneriert wird	

<sup>195</sup> CEN: <https://biobs.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/generated/files/policy/CEN%20Bio-Based%20Definitions%20EN16575.pdf>, 26.04.2017

„Bio-based“ beschreibt den Ursprung eines Materials, das zum Teil oder gänzlich aus Biomasse abstammt. Der Begriff gibt keine Informationen über die Optionen der Folgenutzung und Abbaubarkeit. Biobasierte Kunststoffe sind nicht notwendigerweise kompostierbar. Gewisse biobasierte Kunststoffe sind für einen technischen Kreislauf vorgesehen (bio-PET ist recycelbar) oder für einen biologischen Kreislauf (PLA ist industriell kompostierbar). Manche biobasierte Kunststoffe wie PLA und PHA sind sowohl recycelbar als auch industriell kompostierbar.<sup>196</sup> Wichtig diesbezüglich ist eine Unterscheidung der Begriffe „biodegradable“ und „compostable“:

- **biodegradable**  
beschreibt, dass das Material mit der Hilfe von Mikroorganismen biologisch in natürliche Elemente abgebaut werden kann. Es gibt keine Bestimmungen über den Zeitraum des Abbaus.
- **compostable**  
Das Material ist geeignet für Kompostierung und erfüllt die offiziellen Kriterien für die jeweilige Umgebung.<sup>197</sup>

## 5.1. Standards zur Bestimmung des biobasierten Anteils

Tabelle 2: Standards: biobasierter Anteil.

Standard	Art	Titel	Beschreibung
CEN/TS 16137:2011	technische Regel	Kunststoffe – Bestimmung des biobasierten Kohlenstoffgehalts	In dieser technischen Spezifikation wird das Berechnungsverfahren festgelegt, nach dem der Gehalt an biobasiertem Kohlenstoff in Monomeren, Polymeren, Kunststoffen und Produkten unter Anwendung des C14-Verfahrens bestimmt wird.
EN 16785 1:2015	Norm	Biobasierte Produkte – biobasierter Gehalt – Teil 1: Bestimmung des biobasierten Gehalts unter Verwendung der Radiokarbon- und Elementaranalyse	Bereitstellung eines Verfahrens zur Bestimmung des biobasierten Gehalts von festen, flüssigen und gasförmigen Produkten unter Anwendung der Radiokarbon- und Elementaranalyse. Diese Europäische Norm gilt für alle festen, flüssigen und gasförmigen Produkte, die das Element Kohlenstoff enthalten, vorausgesetzt es steht eine Erklärung zur Verfügung, in der die Zusammensetzung und die Herkunft des Produktes angeführt sind.
EN 16785-2:2016	Norm-Entwurf	Biobasierte Produkte – biobasierter Gehalt – Teil 2: Bestimmung des biobasierten Gehalts unter Verwendung der Materialbilanzmethode	Dieser europäische Norm-Entwurf legt eine Methode zur Bestimmung des biobasierten Gehalts in Produkten unter Verwendung einer Materialbilanz fest. Dieser europäische Norm-Entwurf ist anwendbar auf alle festen, flüssigen und gasförmigen Produkte aus einer Fertigungseinheit, für die die biobasierten Gehalte der Inputs bekannt sind.

<sup>196</sup> European Bioplastics (2015): Fact sheet: What are bioplastics?

<sup>197</sup> Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum & McKinsey & Company: *The New Plastics Economy – Rethinking the Future of Plastics*.

Standard	Art	Titel	Beschreibung
CEN/TS 16295:2012	technische Regel	Kunststoffe – Deklaration des Gehaltes an biobasiertem Kohlenstoff	beschreibt die Anforderungen an die Deklaration (einschließlich Erklärungen und Kennzeichnungen) des Gehalts an biobasiertem Kohlenstoff von Erzeugnissen, wie zum Beispiel Polymere, Kunststoffmaterialien, Halbzeuge aus Kunststoff und fertige Kunststoffprodukte einschließlich Verbundstoffe.
ASTM D 6866	Norm	Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis	beschreibt die Analyse zur Bestimmung des biobasierten Anteils einer Probe
ISO 16620-1:2015 ISO 16620-2:2015 ISO 16620-3:2015	Norm	Kunststoffe – Bestimmung des biobasierten Anteils – Teil 1: Allgemeine Verfahren Teil 2: Prüfverfahren für die Bestimmung des biobasierten Kohlenstoffgehalts Teil 3: Prüfverfahren für die Bestimmung des biobasierten synthetischen Polymergehalts	beschreibt die Analyse zur Bestimmung des biobasierten Kohlenstoffgehalts einer Probe

Der Gehalt an biobasiertem Kohlenstoff stellt keinen Indikator für die biologische Abbaubarkeit dar.

Es gibt verschiedene Zertifizierungen, die den Gehalt an erneuerbaren Rohstoffen (% biobasiert) von Produkten darstellen (nach EN 16785-1) z. B. das ‚Ok biobased Logo‘ von Vincotte. Je nach Gehalt enthält das Logo einen bis vier Sterne:

			
between 20 and 40 % Biobased	between 40 and 60 % Biobased	between 60 and 80 % Biobased	more than 80 % Biobased

Quelle: <http://www.okcompost.be/en/recognising-ok-environment-logos/ok-biobased/>.

Zugriff: 03.05.2017

Die Logos von DIN CERTCO zeigen ebenso unterschiedliche Gehalte an erneuerbaren Rohstoffen an.<sup>198</sup>



<sup>198</sup>Dincertco:

[http://www.dincertco.de/en/dincertco/produkte\\_leistungen/zertifizierung\\_produkte/umwelt\\_1/biobasierte\\_produkte/biobasierte\\_produkte\\_mehr\\_nachhaltigkeit.html](http://www.dincertco.de/en/dincertco/produkte_leistungen/zertifizierung_produkte/umwelt_1/biobasierte_produkte/biobasierte_produkte_mehr_nachhaltigkeit.html), 28.06.2017

## 5.2. Recycling

Es gibt keine Standards, die sich mit dem Recycling von Biopolymeren befassen.<sup>199</sup> Es können allerdings die gleichen Standards, die für Polymere aus fossilen Energieträgern gelten, herangezogen werden, da es keine spezifischen Anforderungen für Biopolymere gibt.

Kunststoff-Recyclate werden grundsätzlich mit den Standards der EN 1534x-Reihe bedient. Diese Standards definieren Qualitätskriterien für recycelte Kunststoffe aus PE, PP, PS, PVC und PET. Es gibt keine spezifischen Anforderungen für Biopolymere und Biokunststoff.<sup>200</sup>

Tabelle 3: Standards in Zusammenhang mit Kunststoffrecycling.

Standard	Art	Titel
EN 15342:2007	Norm	Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polystyrol (PS)-Rezyklaten
EN 15343:2007	Norm	Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Rückverfolgbarkeit bei der Kunststoffverwertung und Bewertung der Konformität und des Rezyklatgehalts
EN 15344:2007	Norm	Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polyethylen (PE)-Rezyklaten
EN 15345:2007	Norm	Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polypropylen (PP)-Rezyklaten
EN 15346:2007	Norm	Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polyvinylchlorid (PVC)-Rezyklaten
EN 15347:2007	Norm	Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Kunststoffabfällen
EN 15348:2014	Norm	Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polyethylenterephthalat (PET)-Rezyklaten
CEN/TR 15353:2007	technische Regel	Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Leitfaden für die Entwicklung von Normen für Kunststoff-Rezyklate

## 5.3. Entsorgung

### 5.3.1. Biologische Abbaubarkeit

Die (biologische) Abbaubarkeit von Produkten kann sich bei unterschiedlichen Umweltbedingungen stark unterscheiden: z. B. Kompost, Boden, Wasser, Deponien. Aus diesem Grund wurden unterschiedliche Standards und Testmethoden für die biologische Abbaubarkeit entwickelt.

### 5.3.2. Normvorgaben für (industrielle) Kompostierbarkeit

Die Definition von Kompostierbarkeit ist in unterschiedlichen Standards und Normen festgeschrieben, die von ISO (International Standards Organization), CEN (European Committee on Normalization), ASTM (American Society for Testing and Materials), DIN (German Institute on Normalisation), JIS (Japanese Institute for Standardization) und AS (Standards Australia) entwickelt

<sup>199</sup> Michael Niaounakis: "Regulatory Aspects Framework". In: *Biopolymers Reuse, Recycling, and Disposal* (Elsevier, 2013), 251–74.

<sup>200</sup> Niaounakis

wurden. In Europa gibt es zurzeit zwei Normen für industrielle Kompostierbarkeit: EN 13432:2000 und EN 14995:2007.

Der Standard ‚EN 13432:2000: Verpackung – Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau – Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen‘ ist geeignet für industrielle Kompostierung bei Temperaturen von bis zu 70 °C.<sup>201</sup>

Prüfungsumfang:<sup>202</sup>

- Chemische Prüfung: Offenlegung aller Inhaltsstoffe, Grenzwerte für Schwermetalle sind einzuhalten. Es werden für 11 Elemente Maximalkonzentrationen angeführt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Schwermetallgrenzen (Quelle: Deconinck & De Wilde) 2013.

Metal	Limit values (ppm on total solids)		
	Europe* EN 13432 (2000)	USA** ASTM D 6400-04	Canada BNQ P 9011-911-5
Zn	150	1400	463
Cu	50	750	189
Ni	25	210	45
Cd	0.5	19.5	5
Pb	50	150	125
Hg	0.5	8.5	1
Cr	50	-	265
Mo	1	-	5
Se	0.75	50	4
As	5	20.5	19
F	100	-	-
Co	-	-	38

- Anteil an organischer Substanz bestimmt als flüchtige Feststoffe muss mindestens 50 % sein.
- Biologische Abbaubarkeit im wässrigen Medium (Sauerstoffbedarf und Entwicklung von CO<sub>2</sub>): Es ist nachzuweisen, dass mindestens 90 % des organischen Materials in 6 Monaten in CO<sub>2</sub> umgewandelt werden.
- Desintegration in Kompost: Nach 3 Monaten Kompostierung und anschließender Absiebung durch ein 2 mm Sieb dürfen nicht mehr als 10 % Rückstände, bezogen auf die Originalmasse, verbleiben.
- Praktische Prüfung der Kompostierbarkeit im Technikumsmaßstab (oder in einer Praxisanlage): Es dürfen keine negativen Einwirkungen auf die Kompostierbarkeit erfolgen.
- Kompostanwendung: Untersuchung des Effekts von Komposten auf das Pflanzenwachstum (agronomischer Test), Ökotoxizitätstest gemäß OECD Test 208<sup>203</sup> („terrestrial plants: growth test“, es müssen mind. zwei Pflanzen aus zwei der drei Kategorien des Tests getestet werden).

<sup>201</sup> UNEP, 2015: Biodegradable plastics and marine litter: misconceptions, concerns and impacts on marine environment.

<sup>202</sup> European bioplastics: <http://www.bioplastics.ch/EN-13432.pdf>, 28.06.2017

<sup>203</sup> OECD: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/33653757.pdf>, 03.05.2017

EN 13432 exkludiert Kunststoff-Materialien, die nicht für Verpackung verwendet werden, wie z. B. Kunststoff, der in der Landwirtschaft verwendet wird. Dafür ist die EN 14995 vorgesehen, die sich an Kunststoffmaterialien im Allgemeinen richtet (EN 14995:2006: Kunststoffe – Bewertung der Kompostierbarkeit – Prüfschema und Spezifikationen). Der Standard ‚ISO 17088:2012: Festlegungen für kompostierbare Kunststoffe‘ beschreibt dasselbe Prüfschema wie EN 13432:2000, EN 14995:2006 und ASTM D6400-12.

Alle angeführten Standards unterscheiden sich vor allem in ihrer geografischen Reichweite und überschneiden sich inhaltlich mit nur geringen Unterschieden. ISO hat eine globale Reichweite, ist aber sozusagen „freiwillig“, wobei EN 13432 von der Europäischen Kommission bestätigt wurde und somit einen harmonisierten europäischen Standard mit einem stärker bindenden Charakter darstellt.<sup>204</sup>

### **5.3.3. Normvorgaben für Heim-Kompostierbarkeit**

Für Kompostierung in Privathaushalten gibt es nur wenige Standards, im Gegensatz zur industriellen Kompostierung. Nationale Standards wurden von Australien, Italien und Frankreich entwickelt.

Standard für Heim-Kompostierung in Australien: AS 5810-2010 (AS: Standards Australia): Biodegradable plastics – Biodegradable plastics suitable for home composting. Dieser Standard verwendet niedrigere Temperaturen in der Testumgebung und einen längeren Testzeitraum. Auf diesen Standard bezieht sich die DIN CERTCO Zertifizierung für ihr Logo „home compostable“.

Italien hat einen Standard für die Abbaubarkeit bei Raumtemperatur – UNI 11183:2006 (Plastic Materials Biodegradable at Room Temperature).

Frankreich führte 2015 ebenso einen eigenen Standard ein: NF T 51-800 (Plastics – Specifications for plastics suitable for home composting), dieser Standard wird ebenso von DIN CERTCO für Zertifizierungen berücksichtigt.

Die Entwicklung eines ähnlichen Standards wurde von der Europäischen Union im Juni 2016 vorgeschlagen. Das European Standardisation Committee (CEN) hat den Entwurf in seiner derzeitigen Form allerdings abgelehnt und fordert gewisse Änderungen, beispielsweise die Einschränkung auf leichte Kunststofftragetaschen. CEN befürwortet die Entwicklung eines „Technical report as a form of standardisation activity on the voluntary gardening practice of home composting“. Es wird geschätzt, dass die Entwicklung dieses Berichts und folgend die Entwicklung eines Standards drei Jahre dauern wird.<sup>205</sup> Die Abfallrahmenrichtlinie erkennt Heim-Kompostierung nicht als Form des Recyclierens oder als Option für Abfallbehandlung an. Der neue Standard soll sich aus diesem Grund nur auf leichte Kunststofftragetaschen beschränken, die dazu dienen, Küchen- und Gartenabfälle auf Komposthaufen zu transportieren. Alle anderen kompostierbaren Kunststoff-Verpackungen sollen in industriellen Anlagen behandelt werden.<sup>206</sup>

---

<sup>204</sup> Sam Deconinck & Bruno De Wilde: *Benefits and Challenges of Bio- and Oxo-Degradable Plastics – A Comparative Literature Study* (OWS/Plastics Europe, 2013).

<sup>205</sup> European bioplastics: <http://www.european-bioplastics.org/revised-mandate-for-home-composting-standard/>, 03.05.2017

<sup>206</sup> European bioplastics: [http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/pp/EUBP\\_PP\\_Home\\_Composting.pdf](http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/pp/EUBP_PP_Home_Composting.pdf), 03.05.2017

#### **5.3.4. Biologische Abbaubarkeit im Boden**

Für die biologische Abbaubarkeit im Boden existieren nur zwei Standards. Im Jahr 2005 veröffentlichte in Frankreich die AFNOR (Association Francaise de Normalisation) den Standard NF U 52-001: „Biodegradable materials for use in agriculture and horticulture – Mulching products“.

Im Jahr 2012 veröffentlichte die UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) in Italien den Standard UNI 11462: „Materiali plastici biodegradabili in suolo“.

Der technische Bericht aus dem Jahr 2010 CEN/TR 15822:2010: „Bioabbaubare Kunststoffe in oder auf Böden – Verwertung, Entsorgung und verwandte Umweltthemen“ fasst den aktuellen Wissensstand und die Erfahrung im Bereich bioabbaubarer Kunststoffe, die auf Böden verwendet werden oder in diese gelangen, zusammen. Dieses Dokument ist dafür vorgesehen, eine Grundlage für die Erarbeitung zukünftiger Normen zu schaffen.

#### **5.3.5. Biologische Abbaubarkeit in Wasser**

EN 14987:2006: „Plastics – Evaluation of disposability in waste water treatment plants. Test scheme for final acceptance and specifications“ (Kunststoffe; Bewertung der Entsorgbarkeit in Kläranlagen; Prüfplan für Endabnahme und Spezifikation). Um den Test zu bestehen, muss ein Abbau von 90 % im Zeitraum von maximal 56 Tagen bei Umgebungstemperatur stattfinden.

#### **Biologische Abbaubarkeit im Meer**

Im Jahr 2005 wurde der Standard ASTM D7081-05: „Standard Specification for Non-Floating Biodegradable Plastics in the Marine Environment“ veröffentlicht. Dieser Standard wurde allerdings 2014 zurückgezogen.<sup>207</sup>

Im Jahr 2015 wurde der Standard ASTM D7991-15: „Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Buried in Sandy Marine Sediment under Controlled Laboratory Conditions“ veröffentlicht. Für Europa gibt es diesbezüglich keine Vorgaben.

Die in den Normen beschriebenen Testmethoden werden in den Bioabbau-Teststandards dargestellt. Diese werden je nach Umweltbedingungen während des biologischen Abbaus unterteilt: z. B. anaerober wässriger Abbau. Eine Auflistung findet sich in Niaounakis (2013).<sup>208</sup>

### **5.4. Zertifizierungen**

Die in Tabelle 5 angeführten Organisationen zertifizieren biologisch abbaubare und/oder kompostierbare Materialien.

---

<sup>207</sup> ASTM International: <https://www.astm.org/Standards/D7081.htm>, 10.05.2017

<sup>208</sup> Michael Niaounakis: Biopolymers Reuse, Recycling and Disposal, 2013.  
<http://www.sciencedirect.com/science/book/9781455731459>.

Tabelle 5: Wichtigste Zertifizierungsorganisationen (nach Niaounakis, 2013).

Zertifizierungsorganisation	Land
DIN CERTCO	EU/DE
Vinçotte	EU/BE
Biodegradable Products Institute (BPI)	USA
Japan BioPlastics Association (JBPA)	JP
Keurmerkinstituut	NL
Association for Organics Recycling (Afor)	UK
Consorzio Italiano Compostatori (CIC)	IT
Polish Packaging Research and Development Centre (COBRO)	PL
Avall Norge	NO
Finnish Solid Waste Association (JLY)	FI
Bureau de normalisation du Quebec	CA
Australian Bioplastics Association (ABA)	AU

#### 5.4.1. Kompostierbarkeitskennzeichen

„Keimling“ – „products made of compostable materials“

Der „Keimling“ gehört European Bioplastics, wird verwaltet von DIN CERTCO und basiert auf: DIN EN 13432, ASTM D 6400, DIN EN 14995 und ISO 17088. Die Kennzeichnung stellt sicher, dass nicht nur der Kunststoffanteil eines Produktes vollständig biologisch abbaubar und für die Kompostierung geeignet ist, sondern auch die dazugehörigen Bestandteile, wie Farben, Kleber, Etiketten.



Ok compost

- Basiert auf EN 13432,
- Kompostieren in industriellen Kompostieranlagen (zwischen 55 °C und 60 °C),



Ebenso gibt es Zertifikate für Heim-Kompostierung („OK composte HOME“), welche Kompostierung auch unter schwierigen Bedingungen (z. B. geringer Temperaturen) garantieren, für im Boden abbaubare Kunststoffe („OK biodegradable SOIL“) und im Wasser abbaubare Kunststoffe („OK biodegradable WATER“).

Sowohl Vincotte als auch DIN CERTCO erteilen Zertifikate für biobasierte Materialien, beruhend auf dem ASTM 6866 Standard (Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis).

In Deutschland, Österreich und anderen Ländern der EU werden kompostierbare Kunststoffe, die nach EN 13432 zertifiziert wurden, mit dem „Keimling“-Logo versehen. In Großbritannien und den Benelux-Staaten überwiegt das „OK compost“-Logo.

Weitere Logos sind in Deconinck & De Wilde (2013) dargestellt.

## 5.5. Entwicklungen in der Europäischen Union

Kunststoffe sind einer der fünf Schwerpunkte, mit der sich der Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft<sup>209</sup> beschäftigt (veröffentlicht im Dezember 2015). Dieser Aktionsplan verpflichtet sich zur Vorbereitung einer Strategie, die die vielen Herausforderungen, die Kunststoff aufwirft, anspricht. Es wird festgehalten, dass das verstärkte Recycling von Kunststoffen für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft von grundlegender Bedeutung ist. Biobasierte Kunststoffe werden darin allerdings nicht dezidiert angesprochen. Es sollen allerdings Qualitätsstandards für Sekundärrohstoffe (insbesondere für Kunststoffe) ausgearbeitet werden.

Ein Bericht über die Implementierung des Aktionsplans der EU für die Kreislaufwirtschaft (veröffentlicht am 26.01.2017) beschreibt die Ziele für 2017. Die Kommission wird eine Strategie für Kunststoffe zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Qualität, zur Ausweitung von Kunststoffrecycling und Wiederverwendung, zur Verringerung des Verlustes an die Umwelt und zur Entkoppelung der Kunststoffproduktion von fossilen Energieträgern vorbringen. Ein weiteres Ziel ist es, die Aufnahme von Sekundärrohstoffen zu verbessern.

In der folgenden Tabelle 6 sind die Thematisierung von biobasierten Kunststoffen und entsprechende Entwicklungen skizziert.

Tabelle 6: Entwicklungen in der Europäischen Union.

07.03.2013	<p>Veröffentlichung des Grünbuchs zu einer europäischen Strategie für Kunststoffabfälle in der Umwelt<sup>210</sup></p> <p>Anmerkung, dass der Begriff „biologisch abbaubar“ von Verbrauchern missverstanden werden kann und die Kennzeichnung dahingehend ausgelegt werden kann, dass solche Erzeugnisse zur Kompostierung in Privathaushalten geeignet sind. Es sollte klar zwischen in Privathaushalten kompostierbaren und industriell kompostierbaren Kunststoffen differenziert werden.</p> <p>Ebenso werden oxo-abbaubare Kunststoffe kritisch erwähnt.</p> <p>Bezüglich biobasierter Kunststoffe wird angemerkt, dass Verbraucher über die Begrifflichkeiten biobasiert und biologisch abbaubar umfassend informiert werden müssen. Das Thema der Ressourcenkonkurrenz wurde ebenso aufgegriffen.</p>
28.11.2013 →	<p>Veröffentlichung: „Analysis of the public consultation on the green paper. European Strategy on Plastic Waste in the Environment“<sup>211</sup></p> <p>Soll als Grundlage für eine Überprüfung der EU Abfallgesetzgebung dienen</p>

<sup>209</sup> European Commission: “Moving towards a Circular Economy”. 2015. [http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm).

<sup>210</sup> Europäische Kommission: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0123&from=EN>, 12.05.2017

<sup>211</sup> BIO Intelligence Service (2013): Final Report prepared for the European Commission, DG ENV.

14.01.2014	<p>In einer Resolution über Kunststoff-Abfall in der Umwelt fordert das Europäische Parlament bindende Ziele für die Sammlung, Sortierung und das Recycling von Kunststoffen sowie verpflichtende Kriterien für die Recyclierbarkeit von Kunststoffen.</p> <p><i>„The European Parliament stresses that in the case of biodegradable, bio-based and compostable plastics adequate measures should be adopted to promote them, provided their production does not impact negatively on agricultural output for human or animal consumption or on the environment“<sup>212</sup></i></p>
02.07.2014	<p>Veröffentlichung des Commission staff working document:  “Fitness check of five Waste Stream Directives”  enthält unter anderem die Begutachtung der Ziele der Richtlinien 2008/98/EC und 94/62/EC</p>
29.04.2015	<p>Richtlinie 2015/720 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 94/62/EC betreffend die Verringerung des Verbrauchs von leichten Kunststofftragetaschen</p> <p>Die Mitgliedstaaten müssen eine oder beide der folgenden Maßnahmen ergreifen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Erlass von Maßnahmen, durch die sichergestellt wird, dass der jährliche Verbrauch an leichten Kunststofftragetaschen pro Person bis 31.12.2019 höchstens 90 und bis 31.12.2025 höchstens 40 beträgt.</li> <li>● Erlass von Instrumenten, durch die sichergestellt wird, dass leichte Kunststofftragetaschen in Verkaufsstellen von Waren oder Produkten spätestens bis 31.12.2018 nicht unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden.</li> </ul> <p>Im Rahmen der Bereitstellung der Daten über Verpackungen und Verpackungsabfälle an die Kommission sollen die Mitgliedstaaten ab dem 27.05.2018 über den jährlichen Verbrauch an leichten Kunststofftragetaschen berichten.</p> <p>In Artikel 8a wurde unter anderem eingefügt:</p> <p>Spezifische Maßnahmen zu Etiketten oder Kennzeichnung für biologisch abbaubare und kompostierbare Kunststofftragetaschen. Die Kommission erlässt bis zum 27.05.2017 einen Durchführungsrechtsakt mit Spezifikationen für Etiketten oder Kennzeichnungen, durch die sichergestellt wird, dass biologisch abbaubare und kompostierbare Kunststofftragetaschen in der gesamten Union anerkannt und Verbrauchern korrekte Informationen über die Kompostierungseigenschaften dieser Taschen zur Verfügung gestellt werden.<sup>213</sup></p>
24.01.2017	<p>Abstimmung EU-Abfallrecht  Positives Votum:</p> <p>Führt zu Änderungen der EU-Abfallrahmenrichtlinie, die eine getrennte Sammlung von Bioabfall in ganz Europa fördern und mit Hilfe von Maßnahmen wie zertifiziert kompostierbaren Bioabfallbeuteln gewährleisten soll.</p> <p>Änderungen in der Verpackungs- und Verpackungsabfallrichtlinie zur Förderung des Einsatzes von biobasierten Ressourcen bei der Herstellung von Verpackungen.<sup>214</sup></p>
26.01.2017	<p>Roadmap „Strategy on Plastics in a Circular Economy“ (veröffentlicht). Sie gibt einen Überblick über die Ausarbeitung der Strategie und adressiert 3 Probleme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Hohe Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen,</li> <li>● geringe Recycling- und Wiederverwendungsraten,</li> <li>● hoher Verlust von Kunststoff an die Umwelt.</li> </ul> <p>Ziele sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Entkoppelung der Kunststoffproduktion von fossilen Rohstoffen und Reduzierung der life-cycle GHG-Auswirkungen,</li> <li>● Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, Qualität und Annahme von Kunststoff-Recycling und Wiederverwendung,</li> <li>● Verminderung des Verlusts an die Umwelt.</li> </ul>

<sup>212</sup>Europäisches Parlament: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+TA+P7-TA-2014-0016+0+DOC+PDF+V0//EN>, 27.07.2017

<sup>213</sup> Amtsblatt der Europäischen Union: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0720&from=EN>, 08.05.2017

<sup>214</sup> European bioplastics: Pressemitteilung: [http://docs.european-bioplastics.org/PR/2017/EUBP\\_PM\\_Europaeisches\\_Parlament\\_unterstuetzt\\_Biokunststoffe\\_in\\_Abstimmung\\_zu\\_Abfallreform\\_20170125.pdf](http://docs.european-bioplastics.org/PR/2017/EUBP_PM_Europaeisches_Parlament_unterstuetzt_Biokunststoffe_in_Abstimmung_zu_Abfallreform_20170125.pdf), 08.05.2017

26.01.2017	„Report on the implementation of the circular economy action plan“ (veröffentlicht)
07.02.2017	ENVI-Komitee Abstimmung positiv „Directive amending directive 94/62/EC“ Bis 31.12.2025 sollen mind. 60 % (nach Gewicht) des Kunststoff-Verpackungs-Mülls recycelt werden. <sup>215</sup>
27.10.2017	Im „Commission Work Programme 2018“ bestätigt die Kommission, dass sie sich dem Ziel widmen wird, die gesamten Kunststoff-Verpackungen bis 2030 recycelbar zu machen. <sup>216</sup>
16.01.2018	→ „A European strategy for plastics in a circular economy“ (veröffentlicht) <sup>217</sup> In einer neuen „plastics economy“ sind das Design und die Produktion von Kunststoff und Kunststoffprodukten ausgerichtet auf reuse, repair und recycling und die Verwendung von nachhaltigeren Materialien. Die steigenden Marktanteile von bioabbaubaren Kunststoffen werden sowohl als Chance als auch als Risiko gesehen. Unklare Kennzeichnung und unangemessene Müllsammlung sowie Behandlung können Austritt von Kunststoffen in die Umwelt verstärken und Probleme für mechanisches Recycling darstellen. Andererseits wird bioabbaubaren Kunststoffen eine Rolle in gewissen Anwendungen zugesprochen und Innovationen in diesem Bereich sind willkommen. Ziel ist die Einführung eines klaren regulativen Rahmens für bioabbaubare Kunststoffe, um KonsumentInnen klare und korrekte Informationen zu bieten. Folgende Maßnahmen für kompostierbare und biologisch abbaubare Kunststoffe werden angeführt: <sup>218</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Arbeiten zur Entwicklung einheitlicher Vorschriften für die Bestimmung und Kennzeichnung kompostierbarer und biologisch abbaubarer Kunststoffe (ab dem 1. Quartal 2018).</li> <li>● Durchführung einer Lebenszyklusbewertung zur Feststellung, unter welchen Bedingungen die Verwendung dieser Kunststoffe nützlich ist, und zur Festlegung der Kriterien für ihre Verwendung (ab dem 1. Quartal 2018).</li> <li>● Arbeiten zur Einschränkung der Verwendung oxo-biologisch abbaubarer Kunststoffe (Oxo-Kunststoff) im Rahmen der REACH-Verordnung (läuft).</li> </ul> Die vollständige Liste der Maßnahmen der Kunststoffstrategie und ihre zeitliche Planung sind im Anhang der Strategie für Kunststoffe zu finden. <sup>219</sup>
18.02.2018	Bestätigung des neuen EU waste package als Teil des Kreislaufwirtschaftspakets im Europäischen Parlament. <sup>220</sup> Damit sollen bis 2030 unter anderen <ul style="list-style-type: none"> <li>● 60 % des Restmülls recycelt werden,</li> <li>● 70 % der Verpackungen recycelt werden,</li> <li>● Recyclingraten gemessen werden beim Input in den letzten Recyclingprozess.</li> </ul>

Die Kunststoffstrategie soll einen spürbaren Beitrag zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele für 2030 und der Klimaschutzziele von Paris leisten. Sie setzt klare Ziele zur Reduzierung von Kunststoffabfällen, zur Steigerung der Ressourceneffizienz und zur Schaffung von Wertschöpfung und Beschäftigung in Europa. Die Strategie fokussiert jedoch vor allem auf werkstoffliches Recycling und bleibt hinter den Erwartungen an einen ganzheitlichen Ansatz zurück, wie european bioplastics in einer Presseaussendung anmerken. Der Beitrag biologisch abbaubarer Kunststoffe zu einer

<sup>215</sup>Europäisches Parlament: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8-2017-0029+0+DOC+XML+V0//EN#title1>. 16.05.2017

<sup>216</sup> Europäische Kommission: [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/cwp\\_2018\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/cwp_2018_en.pdf). 22.02.2017

<sup>217</sup> Europäische Kommission: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy.pdf>. 22.02.2017

<sup>218</sup> Europäische Kommission: [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_2&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_2&format=PDF). 22.02.2018

<sup>219</sup> Europäische Kommission: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-annex.pdf>. 22.02.2018

<sup>220</sup> European Council: "EU Ambassadors approve new rules on waste management and recycling". Consilium, accessed February 28, 2018. <http://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2018/02/23/eu-ambassadors-approve-new-rules-on-waste-management-and-recycling/>

Kreislaufwirtschaft wird zwar anerkannt, jedoch fehlen konkrete Maßnahmen.<sup>221</sup> Diese müssen in weiterer Folge noch ausgearbeitet werden, auch auf nationaler Ebene.

## 5.6. Nationale Implementierungen und Gesetze

### 5.6.1. Beispiel Frankreich

*August 2015: Energiewende-Gesetz: „Act on energy transition for green growth“<sup>222</sup>*

Ein Schwerpunkt des Gesetzes betrifft das Müll-Recycling. Das Verbot von nicht abbaubaren Kunststofftaschen ist darin ein wichtiger Punkt. Kunststoff-Recycling soll auf alle Kunststoffarten ausgedehnt werden.

Mit Juli 2016 verbot Frankreich die Produktion, die Verteilung, den Verkauf und die Verwendung von Einweg-Tragetaschen aus dünnem Kunststoff und Taschen, die zum Teil oder gänzlich aus „oxo-degradable plastics“ bestehen. Ab Jänner 2020 sollen Einweg-Becher, Besteck und Geschirr aus Kunststoff verboten werden. Es sollen dann nur noch Materialien benützt werden, die biologisch abbaubar sind.

### 5.6.2. Beispiel Italien

In Italien wurden Einweg-Beutel bereits 2011 untersagt. Gegen Italien ist ein Vertragsverletzungsverfahren anhängig, denn bis zur Änderung der Verpackungsrichtlinie 94/62/EG war in Art. 18 eine Restriktion im Hinblick auf Verbotmaßnahmen der Mitgliedstaaten enthalten. Mit der Änderung sind nun einheitliche Maßstäbe auf EU-Ebene möglich und bisherige Bestrebungen einzelner EU-Mitglieder werden gemeinschaftsrechtlich legitimiert.<sup>223</sup>

### 5.6.3. Beispiel Spanien

Spanien kündigte an, ab 2018 den Verkauf von leichten oxo-abbaubaren Kunststoff-Tragetaschen zu verbieten.<sup>224</sup>

### 5.6.4. Beispiel Österreich

Die Verpackungsverordnung Österreich (Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten, 2014) schreibt eine Recyclingquote für Kunststoffe von 22,5 % vor. Bei der Berechnung der Quote darf nur Material eingerechnet werden, das durch Recycling wieder zu Kunststoff wird.<sup>225</sup>

---

<sup>221</sup> European bioplastics: [http://docs.european-bioplastics.org/PR/2017/EUBP\\_PM\\_EU\\_Kunststoffstrategie\\_180117.pdf](http://docs.european-bioplastics.org/PR/2017/EUBP_PM_EU_Kunststoffstrategie_180117.pdf). 22.02.2018

<sup>222</sup> Government Information Service: <http://www.gouvernement.fr/en/energy-transition>. 12.05.2017

<sup>223</sup> Falk Schulze: "Künftige Leitlinien und Erwartungen an eine Europäische Ressourcenpolitik und ausgewählte ressourcenschutzrechtliche Vorgaben in anderen EU-Mitgliedstaaten". *Policy Paper*, no. 9 (2015): 1–12.

<sup>224</sup> European bioplastics: <http://www.european-bioplastics.org/oxo-degradable-plastics-increasingly-under-fire-in-europe/>. 28.06.2017

<sup>225</sup> Bundeskanzleramt: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20008902>. 28.06.2017

## 6. Ergebnisse des Projekts

### 6.1. Regulative, technische und ökonomische Hemmnisse, Einsatz biobasierter Kunststoffe und mögliche Lösungen zu deren Überwindung

Die in der Literatur und im ExpertInnenworkshop dargestellten Hemmnisse wurden (neben der Klassifizierung in ökonomische, technologische, regulatorische und sozio-ökonomische Hemmnisse) in Anlehnung an „How2Guide for Bioenergy“ in die Kategorien „Biomass Resource Planning“, „Technologie“, „Markt – Infrastruktur“ und „Financial and Economic Considerations“ eingeteilt. Nach diesen Kategorien sind sowohl Hemmnisse als auch mögliche Lösungsansätze im Folgenden dargestellt. Bei manchen Themenfeldern, bei denen keine eindeutige Trennung möglich war, wurden die Hemmnisse in mehreren Kapiteln aus unterschiedlichen Blickwinkeln besprochen.

In den folgenden Kapiteln werden eine Zusammenfassung der Hemmnisse aus den Literaturrecherchen und der beim ExpertInnenworkshop bzw. bei den -interviews genannten Hemmnisse sowie eine stichwortartige Auflistung von Lösungsvorschlägen dargestellt. Bei den Lösungen handelt es sich nicht um die Meinungen der Projektpartner, sondern um die in Artikeln oder von ExpertInnen genannten Vorschläge und Zielsetzungen. Im nächsten Schritt erfolgt die Umsetzung dieser Vorschläge durch das Konsortium in konkrete, umsetzbare Lösungswege.

#### 6.1.1. Biomass Resource Planning

In dieser Kategorie werden Hemmnisse und Lösungsvorschläge beschrieben, die mit den Rohstoffen für Biokunststoffe zusammenhängen.

Beim ExpertInnenworkshop und in den Interviews wurden die variable Rohstoffqualität und die Konkurrenz bei der Nutzung von landwirtschaftlichen oder forstwirtschaftlichen Erzeugnissen oder auch Reststoffen (u. a. Lignocellulose) mit anderen Anwendungen (wie z. B. Pellets und Faser-Platten) als Hemmnisse angeführt. Außerdem wurden Bedenken hinsichtlich der Einsetzbarkeit von Lignocellulose für PLA, PHAs, PEF und PET, die momentan noch Stärke bzw. Zucker als Rohstoff benötigen, geäußert.

Ein wichtiger Aspekt bei der Produktion von „erste Generation“ Biokunststoffen ist die Flächennutzung an sich. Oft werden große Nutzflächen zu Monokulturen (z. B. Mais) umgewidmet, um den Bedarf der Industrie decken zu können. Das geht einher mit massivem Biodiversitätsverlust, was laut Ansicht von Prof. Lang der JKU Linz ein noch größeres Problem als der Klimawandel darstellt. Bei der Verwertung von Reststoffen (Schlachtabfälle etc.) ist mit einer Umsetzung innerhalb der nächsten 10 oder 20 Jahre nicht zu rechnen. Für einige ExpertInnen trifft der Ausdruck „Reststoff“ oder gar „Abfall“ auf die meisten Stoffströme schon jetzt nicht mehr zu, da bereits heute eine große Konkurrenz bei der Nutzung vorherrscht. Ob die vorhandene Biomasse und die noch verfügbaren Flächen für die Bereitstellung von Biokunststoffen im großen Maßstab ausreichen, wird in der Literatur kontrovers dargestellt.<sup>226, 227, 228</sup> Auch bei den teilnehmenden ExpertInnen gab es einerseits

---

<sup>226</sup> Aeschelmann and Carus, „Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021.“

<sup>227</sup> Colwill et al.: „Bio-Plastics in the Context of Competing Demands on Agricultural Land in 2050“

die Meinung, dass die benötigten Mengen an Biokunststoff leicht über Flächen produziert werden könnten, andererseits die Ansicht, dass weder primäre Ressourcen noch „Reststoffe“ ausreichen würden, bei gleichbleibendem oder steigendem Konsum den Bedarf an Kunststoffen zu decken. Borealis hat ein Projekt in Schweden zitiert, wo sich die Flächen rechnerisch zwar ausgehen würden, die dahinterstehende Logistik mit Lkw Transport mit den vorhandenen Straßen jedoch nicht.

Die logistischen Herausforderungen bei der Nutzung von „Abfällen“ und die Transportwege bei der Verwertung von Biomasse werden ebenfalls als Hemmnisse gesehen.

Auch die Bedeutungslosigkeit des Bio-Anteils in Recyclaten wurde thematisiert, da der Anteil von biobasiertem Polymer im Recyclat (z. B. biobasiertes PE im PE-Recyclat) weder einfach messbar ist noch als aussagekräftig bzw. bedeutsam angesehen wird.

Tabelle 7 zeigt eine Übersicht der festgestellten Hemmnisse.

*Tabelle 7: Hemmnisse im Bereich Biomass Resource Planning.*

<b>Hemmnisse</b>	<b>Kategorie</b>
Reststoffe aktuell noch nicht nutzbar (Einfachzucker für PLA, PHAs, PEF nötig)	technisches Hemmnis
Rohstoffqualität variabel (feucht/trocken, Gehalt an Lignin, Cellulose, Stärke, ...)	technisches Hemmnis
Konkurrenz zu Bereich erneuerbare Energien	ökonomisches Hemmnis
Konkurrenz zu anderen Nutzungsoptionen auch bei „Reststoffen“ (z. B. Lignocellulose-Produkte)	ökonomisches Hemmnis
Überschüsse bei Biomasse fehlen	ökonomisches Hemmnis
Transportwege bei Nutzung von Biomasse	ökonomisches Hemmnis
Logistikprobleme bei Verwertung von Abfällen	ökonomisches Hemmnis
Vereinbarkeit mit EU-Zielen wie Gemeinsamer Agrarpolitik und relevanten Strategien (Biodiversität, Kreislaufwirtschaft etc.)	regulatives Hemmnis

Der Umstieg auf alternative und sekundäre Ressourcen (Abfall und Lignocellulose) wäre ein wichtiger Schritt, um die Nachhaltigkeit und Wahrnehmung in der Öffentlichkeit zu verbessern. Eine Nutzung von Laubholz und Grünlandbiomasse (deren verfügbare Menge im Land steigt), wäre ein möglicher Weg in Österreich. Als besonders vielversprechenden chemischen Grundstoff, der in Österreich aus Restmassen hergestellt werden könnte, haben Ganglberger und Sturm FDCA eruiert.<sup>229</sup> Windsperger et al. sehen in dem in Österreich bei der Zellstoffherstellung angewendeten Sulfatverfahren eine Chance für die Gewinnung von chemischen Grundstoffen. Außerdem zeigen sie ein mögliches Potenzial für PLA-Herstellung aus Milchsäure, die aus Grünen Bioraffinerien gewonnen werden könnte.<sup>230</sup>

<sup>228</sup> Brandon Morrison & Jay S. Golden: “An Empirical Analysis of the Industrial Bioeconomy: Implications for Renewable Resources and the Environment”. *BioResources* 10, no. 3 (May 28, 2015): 4411–40. <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.4411-4440>.

<sup>229</sup> Ganglberger & Sturm: “FTI-Strategie für die biobasierte Industrie in Österreich”

<sup>230</sup> Windsperger et al.: “Research Agenda Biobasierte Industrie”

Beim ExpertInnenworkshop zu den Hemmnissen wurde als möglicher Ausweg der Umstieg auf sekundäre Rohstoffe, wie Abfallfraktionen (organischer Anteil des Restmülls), Trester, Stroh oder Presskuchen bzw. der Anbau von alternativen Nutzpflanzen (z. B. Chicoree-Wurzeln) als Ressourcenquellen beschrieben. Die direkte Nutzung von CO<sub>2</sub> für die Herstellung von Polymeren (z. B. durch Produktion von PHAs mittels Algen oder bei Energieüberfluss auch mit technischen Prozessen) würde die Konkurrenz um Ressourcen umgehen. Dabei wäre es allerdings fraglich, inwieweit man von „Biokunststoffen“ sprechen könnte, wenn das CO<sub>2</sub> nicht von Pflanzen oder Algen, sondern in technischen Prozessen in organische Moleküle umgewandelt würde (z. B. künstliche Photosynthese). Hier könnten verschiedene Formen der Innovationsförderung helfen, um neue Ressourcen bald nutzen zu können.

Ein möglicher fördernder Faktor für bioabbaubare Biokunststoffe könnte laut ExpertInnen im Workshop auch sein, dass die Umweltprobleme mit Mikroplastik in den verschiedenen Ökosystemen immer gravierender werden, wodurch der Einsatz für bestimmte Anwendungen Vorteile bringen kann.

Da der benötigte Massenstrom beim momentanen Konsumverhalten als zu groß angesehen wird, wäre es sehr wichtig, sowohl den Reuse (Wiederverwendung, Verlängerung der Produktlebenszeit) als auch das Recycling von Kunststoffen massiv zu forcieren. Dafür wäre es nötig, das Konsumverhalten der Bevölkerung zu ändern und die Materialverschwendung aufzuzeigen. Bei manchen Anwendungen wäre auch der Einsatz von alternativen Werkstoffen vorteilhaft, v. a. wenn damit eine längere Lebensdauer gewährleistet werden könnte.

Eine Auflistung der vorgeschlagenen Lösungswege findet sich in Tabelle 8.

*Tabelle 8: Lösungsvorschläge im Bereich Biomass Resource Planning.*

<b>Lösungen</b>
Nutzung von Laubholz und Grünlandbiomasse als Rohstoffe in Österreich
Produktion von FDCA (für PEF bzw. PET) aus Biomasse in Österreich
Chemische Grundstoffe aus der österreichischen Zellstoffindustrie
PLA aus Milchsäure der Grünen Bioraffinerie (Ö)
Nutzung sekundärer Rohstoffe (Presskuchen, Trester, Stroh)
Nebenströme nutzen (Wo wird bereits viel Biomasse umgesetzt?)
Anbau alternativer Nutzpflanzen (z. B. Chicoree-Wurzeln für PEF)
Effizienz im Ackerbau steigern
CO <sub>2</sub> als Rohstoffquelle (keine Ressourcenkonkurrenz)
künstliche Photosynthese
Einsatz alternativer Werkstoffe (z. B. Metall) für passende Anwendungen und verlängerte Produktlebenszeit
Innovationen fördern (Forschungs- und Investitionsförderungen)
Verbrauchsreduktion von Ressourcen für Polymere durch Reuse (Mehrwegprodukte, Mehrfachnutzung) und Recycling forcieren (2–10 Zyklen ohne Downgrading)
Konsumverhalten verändern („Wegwerf-Mentalität“), Bewusstmachen von Materialverschwendung

### 6.1.2. Technologie

In dieser Kategorie werden Hemmnisse und Lösungsvorschläge dargestellt, die die Verarbeitung der Rohstoffe zu Polymeren und die Weiterverarbeitung der Polymere zu Produkten betreffen.

Im ExpertInnenworkshop wurden zahlreiche technische Hemmnisse sowie Bedenken geäußert. Dabei waren die fragliche Qualität von Biokunststoffen bzw. das Fehlen der nötigen Anforderungen für eine reibungslose Verarbeitung wichtige Themen. Das Bedeuten, dass ein Sicherstellen der benötigten Qualität in konstanter Menge nötig wäre. Außerdem werden im Bereich des Recyclings zahlreiche Hemmnisse wahrgenommen. Eine angeregte Diskussion wurde außerdem darüber geführt, wie Rechenmodelle für Bio-Äquivalente bei Verfahren aussehen könnten, bei denen CO<sub>2</sub> (ohne Nutzung von Organismen oder Biomasse) zur Herstellung von Kunststoffen (oder anderen Produkten) verwendet wird, da diese Stoffe zwar nicht biobasiert im engeren Sinne wären, aber atmosphärisches Kohlendioxid nutzen bzw. reduzieren würden.

Bei den PHAs entstehen hohe Kosten durch teure Rohstoffe, Belüftung und Nährstoffe. Außerdem sind die Abtrennung und die Aufreinigung des Polymers mit hohem Aufwand (und Chemikalieneinsatz) verbunden.<sup>231</sup> Die Bedenklichkeit der Extraktionschemikalien<sup>232</sup> bzw. anderer Chemikalien bei der Herstellung und Gewinnung von Biokunststoffen wurde auch beim ExpertInnenworkshop mehrfach betont. Neue Technologien, bei denen „Abfälle“ oder „Abwässer“ als Fermentationsmedium für die PHA-Produktion herangezogen werden, und die neue Reaktorarten nutzen,<sup>233</sup> könnten diese Kosten reduzieren. Des Weiteren ist eine umweltschonende und kostengünstige Extraktion und Aufreinigung der gewonnen PHAs nötig.

Die Eigenschaften von PHAs verändern sich mit der Zeit aufgrund von Kristallisierungsvorgängen. Außerdem ist das Material temperaturempfindlich und Feuchtigkeit führt zu Problemen bei der Verarbeitung.<sup>234, 235</sup> Die Verbesserung der technischen Performance (Funktionalität, Maschinenverarbeitbarkeit, Verarbeitung, ...) wird auch von Aeschelmann & Carus als wichtig angesehen.<sup>236</sup>

Die meisten zum Thema Recycling genannten Hemmnisse gelten grundsätzlich auch für herkömmliche Kunststoffe, wobei manche Verfahren für „bekannte“ Polymere weiter entwickelt sind als für neue Kunststoffe. Die Innovationsdynamik, die hinter Kunststoffprodukten steht, reduziert oft auch die Langlebigkeit von Produkten und deren Recyclingmöglichkeiten.

In Tabelle 9 sind die festgestellten Hemmnisse dargestellt.

---

<sup>231</sup> Tan et al.: "Start a Research on Biopolymer Polyhydroxyalkanoate (PHA)"

<sup>232</sup> Peelman et al.: "Application of Bioplastics for Food Packaging"

<sup>233</sup> Korkakaki et al.: "PHA Production from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW)"

<sup>234</sup> Bugnicourt et al.: "Polyhydroxyalkanoate (PHA)"

<sup>235</sup> Mekonnen et al.: "Progress in Bio-Based Plastics and Plasticizing Modifications"

<sup>236</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021"

Tabelle 9: Hemmnisse im Bereich „Technologie“.

Hemmnisse	Kategorie
Rohstoffe und Fermentation bei den aktuell verwendeten Verfahren sind teuer	technisches Hemmnis
Chemikalien für Extraktion/Aufreinigung/Polymersierung sind z. T. bedenklich	technisches Hemmnis
fehlende Materialeigenschaften und Probleme bei Verarbeitung neuer Biokunststoffe	technisches Hemmnis
Stärke aus Lebensmittelabfällen zu stark verunreinigt für Produktion von „Plastikackerln“	technisches Hemmnis
für neue Polymere sind auch neue Maschinen zur Verarbeitung nötig	technisches Hemmnis
Qualitätsschwankungen bei den biobasierten Polymeren	technisches Hemmnis
fehlende Barrierefähigkeit	technisches Hemmnis
fehlende Lagerfähigkeit (bei Celluloseacetat verdampft Weichmacher)	technisches Hemmnis
wenige Biokunststoffe mit besseren Eigenschaften als traditionelle Kunststoffe	technisches Hemmnis
Bio-Elastomere noch nicht verfügbar	technisches Hemmnis
Labormaßstab nicht auf Produktion umlegbar (Tests an großen Maschinen nötig)	technisches Hemmnis
kein Anreiz für Industrie, um auf biobasierte Kunststoffe umzusteigen	ökonomisches Hemmnis
Innovationsdynamik limitiert Recyclingmöglichkeiten	ökonomisches Hemmnis
Ziele sind nicht genau definiert (was soll mit welchem Material erreicht werden?)	regulatives Hemmnis
manche Biokunststoffe bringen kaum GHG-Einsparungen <sup>237</sup>	technisches Hemmnis
Verunreinigungen und Verbunde als Problem beim Recycling	technisches Hemmnis
Abtrennung von Verunreinigung beim Recycling schwierig	technisches Hemmnis
Erkennen und Aussortieren beim Recycling noch nicht möglich	technisches Hemmnis
Produktschutz versus Recycling (Verpackungsdesign)	technisches Hemmnis
farbige Kunststoffe nicht recycelbar	technisches Hemmnis
Additive problematisch bei Recycling	technisches Hemmnis
thermische Degradation beim Recycling	technisches Hemmnis

Einige der von den ExpertInnen genannten Lösungsmöglichkeiten umfassen verschiedene zukünftige Technologien, bei denen alternative Ressourcen genutzt werden. So wurde die Herstellung von Acetaten aus CO<sub>2</sub>, die prinzipielle Nutzung von CO<sub>2</sub> bei Energieüberschuss, künstliche Photosynthese oder die Nutzung von Nebenströmen mit neuen Technologien als Lösungen beschrieben. Für die Nutzung von Abfällen und Abwässern wäre es nötig, in die Erforschung der Aufreinigungstechnologien zu investieren. Außerdem wurde die Herstellung von biobasiertem Ethylen (aus Ethanol oder über Methan hergestellt) und anschließende klassische Weiterverarbeitung zu (biobasierten) Kunststoffen mittels bestehender Verfahren angeführt. Um die Materialeigenschaften zu verbessern, sollte außerdem an nachhaltigen Additiven geforscht werden.

Beim Thema Recycling wurde die Nutzung von Monomaterialien und Forschungsbedarf zum Thema Blends und unterschiedlicher Methoden des Recyclings genannt.

Tabelle 10 zeigt die Auflistung der ermittelten Lösungsvorschläge.

<sup>237</sup> Philp et al., "Bioplastics Science from a Policy Vantage Point."

Tabelle 10: Lösungsvorschläge im Bereich Technologie.

Lösungen
Blends von fossilen Kunststoffen und Biokunststoffen
Bewusstseinsbildung für bessere Funktionalität neuer Polymere für spezielle Anwendungen
Abfangen von Spitzen der Energieproduktion für Polymerproduktion
konventionelle Weiterverarbeitung von Bio-Ethanol über Ethylen, wie fossile Kunststoffe
konventionelle Weiterverarbeitung von Bio-Methan über Ethylen, wie fossile Kunststoffe
Forschung zu Aufreinigung von Chemikalien aus Reststoffen/Abfällen/Abwässern (Gewinnung von Milchsäure, Bernsteinsäure, Furansäure, Polyalkoholen)
Forschung zu nachhaltigen Weichmachern (und generell Additive)
Positivliste definieren für Einschränkung auf bestimmte Additive (für besseres Recycling)
Forschung im Bereich Lignocellulose (Kompetenzzentren), Forschung zur Aufreinigung von Lignin
Forschung zu Verbesserung der Eigenschaften der Biokunststoffe
Nutzung von Monomaterialien, um Recycling zu ermöglichen
Forschung zu Recycling von Blends
Forschung zu mechanischem, chemischem, enzymatischem Recycling
Trennung bei NIR für Recycling

### 6.1.3. Markt – Infrastruktur

In dieser Kategorie werden Hemmnisse und Lösungsvorschläge behandelt, die die bestehenden Marktbedingungen und die vorhandene Infrastruktur betreffen.

KonsumentInnen sind laut Blesin, Jaspersen & Möhring (2017) gar nicht oder schlecht über Biokunststoffe informiert.<sup>238</sup> So gaben nur 7 % der in der deutschen Studie Befragten an, zu wissen, was Biokunststoffe sind. Eine öffentliche Diskussion und Ablehnung der Nutzung von Lebensmittelpflanzen für stoffliche oder energetische Anwendungen steht einer Ausweitung der Flächen für den Anbau von Rohstoffen für Biokunststoffe entgegen, wobei manche wissenschaftliche Artikel den verhältnismäßig geringen Anteil an Biokunststoffen (selbst bei einer erhöhten Nutzung) am Gesamtbedarf an Land betonen.<sup>239, 240</sup> Dem steht außerdem entgegen, dass Stärke aus potenziellen Lebensmittelpflanzen auch derzeit schon in Nicht-Lebensmittelanwendungen genutzt wird, wie z. B. in Fliesenklebern, in der Papier- und Zellstoffindustrie etc. Wie bereits in Kapitel 6.1.1 beschrieben, sind auch einige befragte ExpertInnen der Ansicht, dass die zur Verfügung stehenden Flächen nicht für die Produktion der nötigen Mengen an Biokunststoffen für die Substitution aller fossilen Kunststoffe ausreichen. Der aktuellen Studie des nova-Instituts zufolge liegt der Rückgang der Wachstumsraten von biobasierten Polymeren unter anderem auch an der negativen öffentlichen Debatte der Flächenkonkurrenz und daran, dass es nur einen geringen Anteil an informierten Nutzern gibt.<sup>241</sup> Die Nutzung von gentechnisch veränderten Organismen bei der Rohstoffherzeugung

<sup>238</sup> Julia-Maria Blesin, Miriam Jaspersen & Wiebke Möhring: "Boosting Plastics' Image? Communicative Challenges of Innovative Bioplastics". *E-Plastory – Journal of Plastics History* 1, no. 1 (July 16, 2017): 2.

<sup>239</sup> Carus & Piotrowski: "Land Use for Bioplastics"

<sup>240</sup> Colwill et al.: "Bio-Plastics in the Context of Competing Demands on Agricultural Land in 2050"

<sup>241</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021"

wird in der Öffentlichkeit ebenfalls als Problem wahrgenommen.<sup>242</sup> Die Angst vor Skandalen wird als Hemmnis bei der Entwicklung neuer Produkte ebenso genannt wie die geringe Akzeptanz neuer Technologien bei KonsumentInnen. Das Abfallmanagement für Kunststoffe sei laut Borealis in den wenigsten Ländern der Welt gut etabliert. Dort sei auch das Littering das größte Problem.

Der Einsatz von Verpackungen mit „unüblichen“, also in geringen Mengen produzierten, Kunststoffen erschwert eine real umsetzbare und wirtschaftliche Wiederverwertung der Materialien.<sup>243</sup> Multi-Material-Verpackungen aus Schichten unterschiedlichen Materials und der Zusatz von verschiedenen Additiven verhindern die Möglichkeit eines mechanischen Recyclings genauso wie Kleinstverpackungen und stark verunreinigte Materialien.<sup>244</sup> Es ist zu betonen, dass sich diese Schwierigkeiten nicht ausschließlich auf biobasierte Kunststoffe beziehen, sondern ganz generell das Recycling von Kunststoffen betreffen.

Im ExpertInnenworkshop wurde die Kurzlebigkeit der Zielmärkte (wie „Einkaufssackerln“), die Innovationsdynamik (wie auch im Kapitel Technologie beschrieben), die Verwirrung der Begriffe „Biokunststoff“ mit dem „bio“-Landbau und die oft nicht klare Differenzierung zwischen „biobasiert“ und „bioabbaubar“ als Hemmnisse genannt. Außerdem ist die Bereitschaft, höhere Preise für Waren zu zahlen, eine Herausforderung. Die Schwierigkeit der Darstellung der ökologischen Vorteile für KundInnen wurde ebenfalls als Hemmnis genannt. Zudem wurde angeführt, dass die Kennzeichnung der Produkte aufgrund der Vielfalt an Labels zur Verwirrung bei den KonsumentInnen führt bzw. dass diese oft übersehen wird.

Beim ExpertInnenmeeting bei Borealis in Linz wurde die oft schlechter eingeschätzte Lebenszyklusanalyse mancher Biokunststoffe in der „Product Use“ Phase angesprochen. Diese würde meist in Bewertungen nicht berücksichtigt werden. Laut CO<sub>2</sub>-Bilanzen seien vor allem im Verpackungsbereich biobasierte Folien oft schlechter als erdölbasierte. Außerdem mache die Verpackung eines Lebensmittels insgesamt meist nur 10 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Bilanz aus.

Die festgestellten Hemmnisse sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: Hemmnisse im Bereich Markt – Infrastruktur.

Hemmnisse	Kategorie
schwierige Vermittlung der ökologischen Vorteile an KundInnen (Kunde/Kundin schaut primär auf Produkt, nicht auf Verpackung)	ökosoziales Hemmnis
Umwelt-Probleme aufgrund von Kunststoffen noch nicht präsent genug (bei langlebigen Produkten und durch Externalisierung)	ökosoziales Hemmnis
Vielzahl an Labels (führen zu Verwirrung)	regulatives Hemmnis
fehlende Bereitschaft, höhere Preise zu zahlen	ökonomisches Hemmnis
Einführung von Produkten dauert lange (Skepsis bei den KonsumentInnen)	ökonomisches Hemmnis
KonsumentInnen schlecht informiert (kein Wissen über Biokunststoffe)	ökonomisches Hemmnis
Nachhaltigkeit auch von Biokunststoffen fraglich (Additive, Produktion, erste Generation aus Stärke – Monokulturen)	ökosoziales Hemmnis

<sup>242</sup> Aeschelmann and Carus.

<sup>243</sup> Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum, and McKinsey & Company, *The New Plastics Economy - Rethinking the Future of Plastics*.

<sup>244</sup> Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum, and McKinsey & Company.

Hemmnisse	Kategorie
Konkurrenz zu Lebensmitteln (in öffentlicher Wahrnehmung)	ökosoziales Hemmnis
Bedenken bei KonsumentInnen wegen Nutzung von gentechnisch verändertem Mais für PLA-Herstellung	ökosoziales Hemmnis
Kommunikationsprobleme zwischen Akteuren	ökonomisches Hemmnis
Angst vor Skandalen	ökosoziales Hemmnis
Bevölkerung lehnt neue Technologien ab	ökosoziales Hemmnis
„Bio“kunststoff versus „Bio“-Landbau verwirrt KonsumentInnen	ökosoziales Hemmnis
Begriffe „biobasiert“ und „bioabbaubar“ werden oft verwechselt	ökosoziales Hemmnis
kurzlebige Zielmärkte (z. B. Plastiktragetaschen)	ökonomisches Hemmnis
Multi-Material-Verpackungen	technisches Hemmnis
Einsatz unterschiedlicher Additive	technisches Hemmnis
geringe Mengen verschiedener Kunststoffsorten verhindern Recycling	technisches/ökonomisches Hemmnis

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse könnten der Bevölkerung durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit vermittelt werden. Ein Einbeziehen von NGOs aus dem Umweltschutz-Bereich wäre eine Möglichkeit, negative Kampagnen zu verhindern.

Im ExpertInnenworkshop wurde geraten, Forschung in den Bereichen höchster Wertschöpfung zu fördern (statt im Bereich größter verfügbarer Masse), die aussichtsreichsten Produktkategorien für den Einsatz von Biokunststoffen zu identifizieren, und verstärkt die 2<sup>nd</sup> und 3<sup>rd</sup> Generation-Technologien zu erforschen. Um die KonsumentInnen zu erreichen, wurde das Vermitteln des Mehrwerts über schöne Bilder und „Geschichten“ und das Verbinden von positiven Attributen mit Biokunststoff (z. B. Spielzeug) genannt. Es sollten klare und einfache Entscheidungsgrundlagen für den Kauf von nachhaltigen Produkten geschaffen werden.

Für spezifische Anwendungen (wie Kunststofftragetaschen, Mulchfolien oder andere landwirtschaftliche Verschleißmaterialien, Verbisschutz etc.) sollten biologisch abbaubare und kompostierbare Produkte bevorzugt werden bzw. könnte es sogar gesetzliche Vorgaben zur Bioabbaubarkeit für spezielle Anwendungsbereiche geben. Das Vorgehen von Italien und Frankreich mit dem Verbot von Kunststofftragetaschen, die nicht bioabbaubar sind, wird von manchen ExpertInnen auch für Österreich als erstrebenswert angesehen.

Weitere Lösungsansätze – noch vor dem Recycling – könnten eine mögliche Vermeidung von Kunststoffen (wo geht und sinnvoll – wo macht Einwegverpackung Sinn?), Substitution durch andere Materialien und vor allem Reuse (z. B. Pfandsysteme, Nutzung der Funktionalitäten von Produkten/Verpackungen) sein.

Als Lösungsansatz für eine Steigerung des Recyclings zeigt die Ellen MacArthur Foundation in „New Plastics Economy“ das Entwickeln regionaler Lösungen, das Fördern von Innovationen im Verpackungsbereich und das grundsätzliche Redesign von Verpackungen auf. Außerdem sollte die

Nachfrage nach Recyclingmaterial angekurbelt werden, wodurch die Etablierung neuer Recycling-Verfahren gefördert würde.<sup>245</sup>

Eine Auflistung der Lösungsvorschläge ist in Tabelle 12 dargestellt.

*Tabelle 12: Lösungsvorschläge im Bereich Markt – Infrastruktur.*

<b>Lösungen</b>
Wertschöpfung im Fokus der Forschung (statt Masse)
Forschung im Bereich der 2 <sup>nd</sup> und 3 <sup>rd</sup> Generation-Technologien, um Nachhaltigkeit zu verbessern
Fokus auf aussichtsreichste Produktkategorien
Vermittlung des Mehrwerts über „schöne Geschichten“ (bzw. Bilder)
Biokunststoff mit Attribut verbinden (z. B. Spielzeug)
rechtliche Vorgaben zu Bioabbaubarkeit von Produkten (bei bestimmten Anwendungen, z. B. bei kurzlebigen Produkten, wo End-of-life durch Abbaubarkeit verbessert wird)
Imagekampagnen
gesetzliches Verbot von nicht-bioabbaubaren Plastiktragetaschen (wie in Italien und Frankreich) – fördert Unternehmen und ist Signal an KonsumentInnen
Kennzeichnung von konventionellen Plastiktragetaschen (nicht von Biokunststoff-„Sackerln“)
klare, einfache Entscheidungsgrundlagen für bewussten Kauf schaffen
Design auf optimale „End-of-life“-Lösung ausrichten
Redesign von Verpackungen
regionale Lösungen (Materialien, Verpackungen, Recycling)
Innovationen fördern
bioabbaubare Kunststoffmengen erhöhen, um eine Abtrennung und Recycling zu ermöglichen
biologisch abbaubare und kompostierbare Produkte für spezifische Anwendungen (u. a. Lebensmittelverpackungen, Anwendungen im land- und forstwirtschaftlichen Bereich als Konsumgüter)
Ankurbeln der Nachfrage nach Recycling-Material (um Recycling zu fördern)

#### **6.1.4. Financial and Economic Considerations**

In diesem Kapitel werden Hemmnisse und Lösungsvorschläge dargestellt, die mit der Finanzierung und Preisgestaltung zu tun haben.

Der geringe Ölpreis bzw. der im Verhältnis hohe Preis für Biokunststoffe wird allgemein als Hauptgrund dafür angesehen, dass kein breiterer Einsatz von Biokunststoffen erfolgt. Nach dem Ölpreis-Verfall 2014 hat sich die Wachstumsrate von Biopolymeren durch den höheren Preisunterschied zwischen konventionellen und biobasierten Polymeren stark verringert.<sup>246</sup> Es wird kritisiert, dass der geringe Ölpreis an den externen Kosten (externalities) liegt, die nicht einbezogen werden, was zu einer „unfairen“ Preisgestaltung führt. Besonders gravierend ist der Unterschied zum Beispiel bei Celluloseacetaten, die preislich das Vier- bis Fünffache im Verhältnis zu

<sup>245</sup> Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum & McKinsey & Company.

<sup>246</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021"

Massenkunststoffen wie PP oder PE kosten.<sup>247, 248, 249</sup> Auch bei Ligninderivaten werden sowohl Preis als auch Qualitätsschwankungen als Hemmnisse angegeben.<sup>250</sup>

Neben den geringen Ölpreisen liegt der Rückgang der Wachstumsraten von biobasierten Polymeren laut Aeschelmann & Carus auch an den ungünstigen politischen Rahmenbedingungen,<sup>251</sup> dem geringen Wachstum, der Produktionsauslastung und der öffentlichen Debatte über die Konkurrenz der Rohstoffe mit der Nutzung als Nahrungsmittel.<sup>252</sup>

Während zahlreiche AutorInnen hohe Rohstoffpreise bei den heute verwendeten Prozessen als einen der Hauptgründe für die relativ hohen Preise der Biokunststoffe sehen,<sup>253, 254</sup> betont Reinhardt, dass die Kosten der benötigten Stärke nur ein Zehntel der Materialpreise ausmacht (300–400 €/t von 3.000–4.500 €/t) und dass sich daher die Preise durch den Ausbau von Produktionsanlagen durch Skaleneffekte deutlich senken ließen.<sup>255</sup> Dieser Einfluss der Produktionsmenge auf den Preis der Biokunststoffe wird in der Literatur allgemein als Chance gesehen und wurde auch im ExpertInnenworkshop betont.

Erfolgreiche Beispiele aus der Wirtschaft zeigen, dass es nötig ist, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln, die einen Gewinn aus der Vermittlung der ökologischen Vorteile an die KonsumentInnen ziehen. Allerdings besteht ein Risiko für die Unternehmen, dass ihre Nachhaltigkeitsbeurteilungen nicht standhalten (was mit der fehlenden Standardisierung der Beurteilung zu tun hat).<sup>256</sup> Prinzipiell wären die Biokunststoffe finanziell auch jetzt nicht so sehr im Nachteil, wenn die gesamten Kosten der Wertschöpfungskette mitberücksichtigt werden würden („Kostenwahrheit“).

Das nova-Institut führt in seiner aktuellen Studie „Bio-based Building Blocks and Polymers“ eine geringe Unterstützung der EU-Politik im Gegensatz zu den Bereichen der erneuerbaren Energien und Biotreibstoffe und das damit einhergehende fehlende private Investment als Hemmnis an.<sup>257</sup> Auch für bioabbaubare Kunststoffe in der EU werden nötige regulative Anreize und bessere Rahmenbedingungen als wichtige Einflussfaktoren gesehen. In Italien und Frankreich, wo es günstigere regulative Bedingungen für bioabbaubare Kunststoffe gibt, ist es in Folge zu einem Marktzuwachs und vermehrtem Investment gekommen.<sup>258</sup>

---

<sup>247</sup> Jakubiec: *Wirtschaftliches Potential von biobasierten Werkstoffen in Österreich*.

<sup>248</sup> Peelman et al.: „Application of Bioplastics for Food Packaging“

<sup>249</sup> Shen, Haufe & Patel: „Product Overview and Market Projection of Emerging Bio-Based Plastics“

<sup>250</sup> Windsperger et al.: „Research Agenda Biobasierte Industrie“

<sup>251</sup> Aeschelmann & Carus: „Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021“

<sup>252</sup> Aeschelmann & Carus

<sup>253</sup> Philp et al.: „Bioplastics Science from a Policy Vantage Point“

<sup>254</sup> Philp: „OECD Policies for Bioplastics in the Context of a Bioeconomy, 2013“

<sup>255</sup> Reinhardt: *Nachwachsende Rohstoffe*

<sup>256</sup> Alastair Iles & Abigail N. Martin: „Expanding Bioplastics Production: Sustainable Business Innovation in the Chemical Industry“. *Journal of Cleaner Production*, Sustainable Innovation and Business Models, 45 (April 2013): 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.008>.

<sup>257</sup> Aeschelmann & Carus: „Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021“

<sup>258</sup> Aeschelmann & Carus

Im ExpertInnenworkshop wurden der Unterschied in den Produktionsmengen von herkömmlichen und Biokunststoffen und hohe Ansprüche an die Nachhaltigkeit für Biokunststoffe sowie die unterschiedlichen Beurteilungen der Nachhaltigkeit als Hemmnisse angeführt. Auch Transportwege und Logistik bei der Verarbeitung von Biomasse oder Abfällen wurden genannt. Die Kosten für ausführliche LCAs wurden als Hemmnisse für kleine Unternehmen identifiziert. Außerdem besteht die Gefahr, dass die Quotenregelungen für Recycling den Einsatz von Biokunststoffen (außer Drop-ins wie Bio-PE, Bio-PET etc.) verhindern, da jene in verhältnismäßig kleinen Mengen hergestellt werden und keine etablierten Recycling-Prozesse einschließlich der erforderlichen Logistik existieren. Es wird eine geringe politische Unterstützung in Österreich und in der EU für Biokunststoffe wahrgenommen und fehlende rechtliche Rahmenbedingungen für biobasierte Rohstoffe werden als hinderlich gesehen. Auch die Konkurrenz zur Energiewirtschaft wird kritisch gesehen.

Eine Auflistung der festgestellten Hemmnisse ist in Tabelle 13 zu finden.

*Tabelle 13: Hemmnisse im Bereich „Financial and Economic Considerations“.*

<b>Hemmnisse</b>	<b>Kategorie</b>
Preis: Geringer Ölpreis/Abhängigkeit vom Ölpreis	ökonomisches Hemmnis
fehlende Preisgerechtigkeit (external costs, konventioneller Kunststoffe nicht einbezogen)	ökonomisches Hemmnis
geringe Produktionsmengen verteuern Preis	ökonomisches Hemmnis
Produktionsstart mit kleinen Mengen zu teuer	ökonomisches Hemmnis
Konversion für Drop-ins (Bio-PET, Bio-PE) zu teuer	ökonomisches Hemmnis
Massenkunststoffe in großen Produktionsanlagen hergestellt, Biokunststoffe weit entfernt von Massenmarkt	ökonomisches Hemmnis
Einsatz „teurer“ bioabbaubarer Kunststoffe für „billige“ Verpackungen als Widerspruch	ökonomisches Hemmnis
Kunststoffindustrie beharrt auf Status-quo	ökonomisches Hemmnis
hohe Kosten für Neuentwicklungen	ökonomisches Hemmnis
geringe politische Unterstützung (in Österreich und der EU)	regulatives Hemmnis
keine Roadmap/Vision für Biokunststoffe in Österreich (keine Orientierung für Unternehmen)	regulatives Hemmnis
fehlendes privates Investment	ökonomisches Hemmnis
große industrielle Partner fehlen	ökonomisches Hemmnis
fehlende rechtliche Rahmenbedingungen für biobasierte Rohstoffe	regulatives Hemmnis
unterschiedliche Regelungen und Verwertung in verschiedenen Ländern der EU	regulatives Hemmnis
zu komplexe Beurteilung der Ökobilanz	technisches Hemmnis
hohe Ansprüche an Nachhaltigkeit	ökonomisches Hemmnis
rein technologische Forschung ohne Berücksichtigung der ökonomischen Realität	ökonomisches Hemmnis
lebensmittelrechtliche Zulassung	regulatives Hemmnis
Quotenregelungen beim Recycling (Quoten steuern Material – bioabbaubare Materialien im Nachteil)	regulatives Hemmnis
Konkurrenz zu Energiewirtschaft	ökonomisches Hemmnis

Als Lösungen für die erwähnten Problemfelder wurden das Festlegen von Zielen (wie viel soll biobasiert produziert, wie viel soll recycelt und welcher Anteil soll fossil zugeführt werden) und das Eruiere von Wertschöpfungsketten in Österreich inklusive einer umfassenden Nachhaltigkeitsbeurteilung genannt. Eine Clusterung der Ketten soll zur Festlegung von Strategien dienen. Bei den Vorteilen einer regionalen Produktion oder einer Produktion in großen Anlagen waren sich die ExpertInnen nicht einig. Für den Beginn der Steigerung des Biokunststoff-Einsatzes wurden Produkte vorgeschlagen, bei denen das Konzept schon jetzt funktioniert (wie z. B. Spielzeug). Durch den Fokus auf Produktgruppen (und nicht auf unterschiedliche Kunststofftypen) sollen Bereiche gefunden werden, die einen Einsatz von Biokunststoffen leicht möglich machen. Auch Spezialanwendungen erscheinen umsetzbar, da in diesen Bereichen die höheren Preise gerechtfertigt sind. Prinzipiell sei den Kunststoffverarbeitern und auch Produzenten mehr oder weniger egal, woher sie ihre Rohstoffe beziehen; d. h. auch Vertreter von Borealis sind der Meinung, dass die eingesetzten chemischen Bausteine durchaus biobasiert sein können. Sie seien sogar bereits in Verhandlung mit potenziellen Anbietern. Sie stellen sich auch noch weitere Vorteile bei Biokunststoffen der 3. Generation vor, wie z. B. bei mittels Algen produzierten biobasierten Kunststoffen.

Die Erforschung von Konzepten für (einheitlich aufgebaute) Mikrobioraffinerien für die lokale Nutzung diverser Biomassen in vernetzter Kooperation mit regionalen und zentralen integrierten Bioraffinerien könnte ein interessanter Weg in Österreich oder auch generell sein. Für die Forschung wurde ein interdisziplinäres Vorgehen empfohlen, um das Beachten von ökonomischen und Nachhaltigkeits-Aspekten zu garantieren.

Durch verbesserte Produktivität bei mikrobiell erzeugten Polymeren oder Grundstoffen könnten sehr hohe Preisreduktionen erreicht werden. Daher wäre dieses Themenfeld ein möglicher Forschungsschwerpunkt.

Als mögliche Lösungen im Bereich des Recyclings wurde das Festlegen von „Hauptkunststoffen“ genannt, das Fokussieren auf Produkte, bei denen eine Wiederverwertung leicht möglich ist, sowie eine Reglementierung der Additive und der Verbundstoffe. Auch eine Bevorzugung von biobasierten Kunststoffen durch Gebührensysteme wäre denkbar.

Eine Auflistung der eruierten Lösungsvorschläge findet sich in Tabelle 14.

*Tabelle 14: Lösungsvorschläge im Bereich „Financial and Economic Considerations“.*

<b>Lösungen</b>
Wertschöpfungsketten in Ö identifizieren, Nachhaltigkeit für Wertschöpfungsketten festlegen, Untersuchung der verschiedenen Pfade und Clusterung, alle Beteiligten der Wertschöpfungskette miteinbeziehen
regionale Produktion und Vorbehandlung, gekoppelt mit zentraler Weiterverarbeitung (vernetzte Bioraffinerien)
finale Produktion in großen Anlagen (zur Preisreduktion)
Kostentransparenz der unterschiedlichen Wertschöpfungsschritte würde auch Abhängigkeiten reduzieren und Kooperation fördern
gesamte Kosten internalisieren (verringert Preisunterschied zwischen Erdöl und biogenen Rohstoffen)
Fiskalreform (Primärressourcen stärker besteuern, Arbeit steuerlich entlasten) könnte Kreislaufwirtschaft stärken, somit Reuse und Recycling und mehr manuelle Arbeit wirtschaftlich zulassen, auch z. B. bei Landwirtschaft zur Erhöhung der Biodiversität etc.
Ziel (für Österreich/EU) definieren und festlegen: x % Biokunststoffe + x % Recyclat + x % fossile Kunststoffe
Start bei Produkten, bei denen Biokunststoff bereits funktioniert (z. B. Spielzeug)
Spezialanwendungen suchen (um höheren Preis zu rechtfertigen)

<b>Lösungen</b>
Fokus auf Anwendung und Produkte (Denken in Produktklassen)
Lösungen differenzieren für bestimmte Produktkategorien und Anwendungen
Forschung an (anlagentechnischem) Konzept für Mikrobioraffinerie (eine Anlage für verschiedene Rohstoffe) in Kopplung mit möglicher zentraler Weiterverarbeitung
Forschung zu Steigerung von Algen-Biomasseproduktion (bzw. anderer Mikroorganismen) und Polymergehalt (Optimierung der Stämme) – starke Preisreduktion
Forschung zu höheren Kettenlängen bei Biopolymeren, um Recycelbarkeit zu verbessern
Innovationszentrum für Biotechnologie
interdisziplinäre Forschung (Ökonomie, Nachhaltigkeit, Technologie)
Öffentlichkeitsarbeit (Wording aus Politik, wissenschaftlich basiert, Zusammenarbeit mit Presse)
gesetzliche Vorgabe von Kriterien, z. B. für Zusatzstoffe (die Kunststoffe erfüllen müssen)
Gesetzgebung als Grundlage für Beurteilung der Nachhaltigkeit/Ökobilanzierung
Konzernpolitik in Richtung biobasierter Rohstoffe
Brancheninitiativen
Hauptkunststoffe festlegen (um Recycling zu erleichtern und reine Stoffströme zu erreichen)
getrennte Stoffströme für kompostierbare Kunststoffe
Recycling: Beginnen bei Produkten, bei denen leicht realisierbar
Reglementierung zu Verunreinigungen und Verbundstoffen (Recyclingproblem)
Biokunststoff als Teil der Gesetzgebung im Bezug auf Recyclingquoten
Vorteil von Biokunststoffen im Bereich Recycling durch Gebührensystem

## 6.2. Zielpfad zur Steigerung des Marktanteils biobasierter Kunststoffe mit Empfehlungen für Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen zur Regulierung

Der Entwicklung des Zielpfades ‚Biobasierter Kunststoff Szenario 2050‘ ist das hypothetische Ziel hinterlegt, den **Marktanteil biobasierter Kunststoffe in der EU bis 2050 auf 100 % zu steigern**. Zur Entwicklung des Zielpfades sind, ausgehend vom **jetzigen Stand der Technik und des Wissens**, folgende **Schlüsselfragen** von Bedeutung, die im Rahmen des Projekts unter breiter Stakeholder-Beteiligung und mit Expertinnen und Experten diskutiert wurden (Bottom-up-Ansatz, siehe auch Abbildung 13):

- Welche **Technologien** sind verfügbar, nahe an der Marktreife oder sind gefragt?
- Welche **Produkte** aus biobasiertem Kunststoff werden erzeugt, sind nahe an der Marktreife oder sind gefragt?
- Welche Technologien/Produkte sind noch im **Forschungs- und Entwicklungsstadium**?
- In welchen **Bereichen** soll/kann die Forschung intensiviert werden?
- Was sind mögliche **Treiber** zur Forcierung von Biopolymeren in verschiedenen Branchen?
- Welche **Maßnahmen** führen zu Technologien bzw. Produkten aus biobasiertem Kunststoff?

Außerdem wurde abgeschätzt, wie hoch der Kunststoffbedarf 2050 sein könnte, sowie welche Kunststoffarten, Produkte und Anwendungen 2050 am Markt sein werden (Top-down-Ansatz).

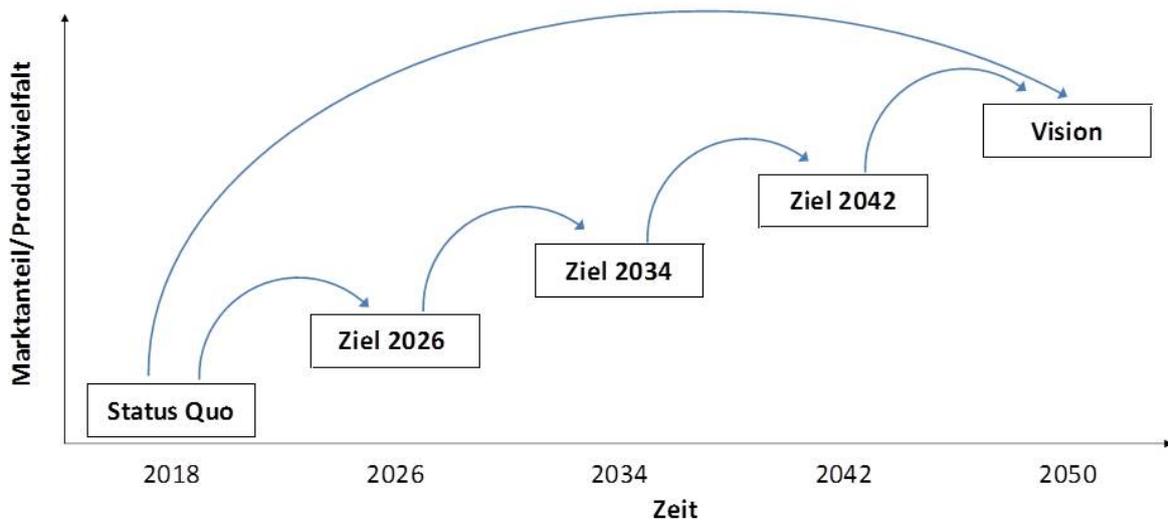


Abbildung 13: Entwicklung des Zielpfades zum BbKs Szenario 2050.

### Kunststoffbedarf und Virgin Feedstock Bedarf 2050 (Top-down-Ansatz)

Der europäische Kunststoffbedarf 2050 (Recyclat- und Virgin Feedstock Input zur Kunststoffverarbeitung) wurde mittels des Berechnungsmodells der Ellen MacArthur Foundation ([EMAF 2016](#)) und auf Basis der folgenden Datengrundlagen und Annahmen abgeschätzt:

- **Kunststoffbedarf 2015:** 49 Mt (Quelle: plasticseurope),
- mittleres jährliches **Marktwachstum:** 2,6 % (Quellen: ExpertInnen-Interviews, plasticseurope, Borealis, VCI),
- ergibt **2050** einen **Kunststoffbedarf** von **120 Mt**.

Unter Berücksichtigung von kreislaurelevanten Einflussfaktoren wie

- **Recycling** (EU Recycling Quoten 2030 bzw. 2050), **Recyclat-Input-Faktor**<sup>259</sup>, **Produktlebenszeit/Reuse** (Annahmen),
- unkontrollierte **Freisetzung, Deponierung, Verbrennung** und Einsatz als **Ersatzbrennstoff** ([EMAF 2016](#) und Annahmen),
- ➔ ergibt sich ein **Virgin Feedstock Bedarf 2050** von **56 Mt**<sup>260</sup>

<sup>259</sup> Der Recyclat-Input-Faktor berücksichtigt, dass der gesammelte Altkunststoff nicht zu 100 % für Recyclat verfügbar ist und dass es bei mechanischem Recycling i.d.R. immer zu einem Qualitätsverlust (Vermischung, Downcycling) kommt. Auch gibt es in Bezug auf Kunststoff-Recycling derzeit noch ungelöste Probleme hinsichtlich der Vielzahl von Polymerarten und eingesetzten Additiven. Die Forcierung von chemischem Recycling wäre hierzu ein möglicher Lösungsansatz.

<sup>260</sup> Im Vergleich dazu errechnet sich bei der Annahme eines mittleren jährlichen Marktwachstums von 0,5 % ein Virgin Feedstock Bedarf 2050 von 25 Mt.

## Entwicklung des Zielpfades zum BbKs Szenario 2050 (Bottom-up-Ansatz)

Beim Bottom-up-Ansatz wurde vom jetzigen **Stand der Technik und des Wissens** und den potenziell in Europa **verfügbaren Biomasse**mengen ausgegangen. Unter Berücksichtigung möglicher **Biomassenutzungskonkurrenzen** (Annahme) und in der Literatur beschriebener **Umwandlungsfaktoren** (t Rohstoff/t Polymer) wurden erzielbare **BbKs-Mengen** berechnet (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Datenbasis und Annahmen zur Ermittlung des Zielpfades zum BbKs Szenario 2050 (Quellen siehe Fußnoten; Mengen-Angaben beziehen sich auf „harvested product“/Erntemasse).

<b>Biomassepotenzial Europa für BbKs (Abschätzung 2030)</b>					
	<b>Rohstoff-Menge [Mt]</b>	<b>geschätzter Anteil für BbKs [%]</b>	<b>Biomassepotenzial für BbKs [Mt]</b>	<b>t Rohstoff/ t Polymer<sup>261</sup></b>	<b>max. erzielbare BbKs-Menge [Mt]</b>
Stärkerohstoff <sup>262</sup>	23	10 %	2,3	3,5	0,66
Zuckerrübe <sup>263</sup>	112	50 %	56	16	3,5
Holz <sup>264</sup>	170	15 %	26	10	2,6
Abfall/Reststoffe <sup>264</sup>	33	30 %	10	20	0,50
Landwirtschaftl. Abfälle <sup>264</sup>	106	1 %	1	25	0,042
<b>Summe/Mittelwert</b>	<b>444</b>	<b>21 %</b>	<b>95</b>	<b>15</b>	<b>7,2</b>

<b>Biomassepotenzial Europa für BbKs (Perspektive 2050)</b>					
	<b>Rohstoff-Menge [Mt]</b>	<b>geschätzter Anteil für BbKs [%]</b>	<b>Biomassepotenzial für BbKs [Mt]</b>	<b>t Rohstoff/ t Polymer</b>	<b>max. erzielbare BbKs-Menge [Mt]</b>
Kartoffel <sup>262</sup>	56	10 % <sup>265</sup>	5,6	4,0	1,4
Mais <sup>262</sup>	61	10 %	6,1	3,7	1,6
Weizen <sup>262</sup>	144	10 %	14	2,6	5,5
Zuckerrübe <sup>263</sup>	112	50 %	56	16	3,5
Holz <sup>264</sup>	170	15 %	26	10	2,6
Abfall/Reststoffe <sup>264</sup>	33	50 %	17	20	0,83
Landwirtschaftl. Abfälle <sup>264</sup>	106	20 %	21	25	0,85
<b>Summe/Mittelwert</b>	<b>682</b>	<b>24 %</b>	<b>145</b>	<b>12</b>	<b>16,3</b>

<sup>261</sup> Quelle: Institute for Bioplastics and Biocomposites ([www.ifbb-hannover.de](http://www.ifbb-hannover.de)): Mittelwerte über verschiedene Polymerarten. Die Umwandlungsfaktoren beziehen sich auf den gesamten Prozess, vom Rohstoff (Erntemasse) bis zum Biopolymer (Trockengewicht). Niedrige Zahlenwerte können für eine effiziente Umwandlung und/oder einen geringen Wassergehalt im Rohstoff stehen.

<sup>262</sup> Quellen: Eurostat COMEXT (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb/>); Starch Europe ([www.starch.eu](http://www.starch.eu)) (Datenbasis 2016).

<sup>263</sup> Quelle: Eurostat COMEXT (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb/>) (Datenbasis 2016).

<sup>264</sup> Quellen: Dechema (2017): Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry; Biomass Futures - Atlas of EU biomass potentials (2012): Sustainable Scenario 2030, EU 27 ([www.biomassfutures.eu/](http://www.biomassfutures.eu/))

<sup>265</sup> Die Annahme der Anteile verschiedener Stärkerohstoffe für BbKs wurde vereinfachend auf Basis der verfügbaren Rohstoffmengen getroffen und vernachlässigt die Unterschiede in den Preisen und Qualitäten zwischen den verschiedenen Rohstoffen.

Die Steigerung der erzielbaren BbKs-Menge in der Perspektive 2050 gegenüber der Abschätzung 2030 ergibt sich vor allem aus der Annahme der größeren **Stärkerohstoffmengen**. Während in der Abschätzung 2030 das Biomassepotenzial für BbKs auf der zurzeit verfügbaren Stärkerohstoffmenge von 23 Mt basiert, wurde für die Perspektive 2050 von der gesamten Rohstoffmenge 2016 an Kartoffeln, Mais und Weizen in Europa ausgegangen und 10 % davon für die BbKs-Produktion angesetzt (Beibehaltung der derzeitigen Import-/Exportsituation). Weitere geringfügige Steigerungen in der erzielbaren BbKs-Menge werden durch **technologische Entwicklungen bei der Nutzung von biogenen Reststoffen und landwirtschaftlichen Abfällen** erwartet. Bei stofflicher Nutzung derzeitiger **Agrarexporte** (z. B. Weizen) wird das zusätzliche Potenzial für erzielbare BbKs-Mengen auf 5 Mt geschätzt.

Der ermittelte **Zielffad zum BbKs Szenario 2050** stellt ein erstes, grob entwickeltes Mengengerüst als Grundlage für die Ableitung von Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen dar und ist in Abbildung 14 mit der grünen Kurve dargestellt. Die Abbildung zeigt außerdem die Entwicklung des **Kunststoffbedarfs** bei 2,6 % Marktwachstum (dunkelblaue Kurve) bzw. bei 0,5 % Marktwachstum (hellblaue Kurve), die europäische **BbKs-Produktionskapazität** (IST und Prognose bis 2025, Quelle: european bioplastics, orange Kurve) und das für 2025 und 2030 geschätzte **BbKs-Produktionspotenzial** (Quelle: narocon, grüne Dreiecke).

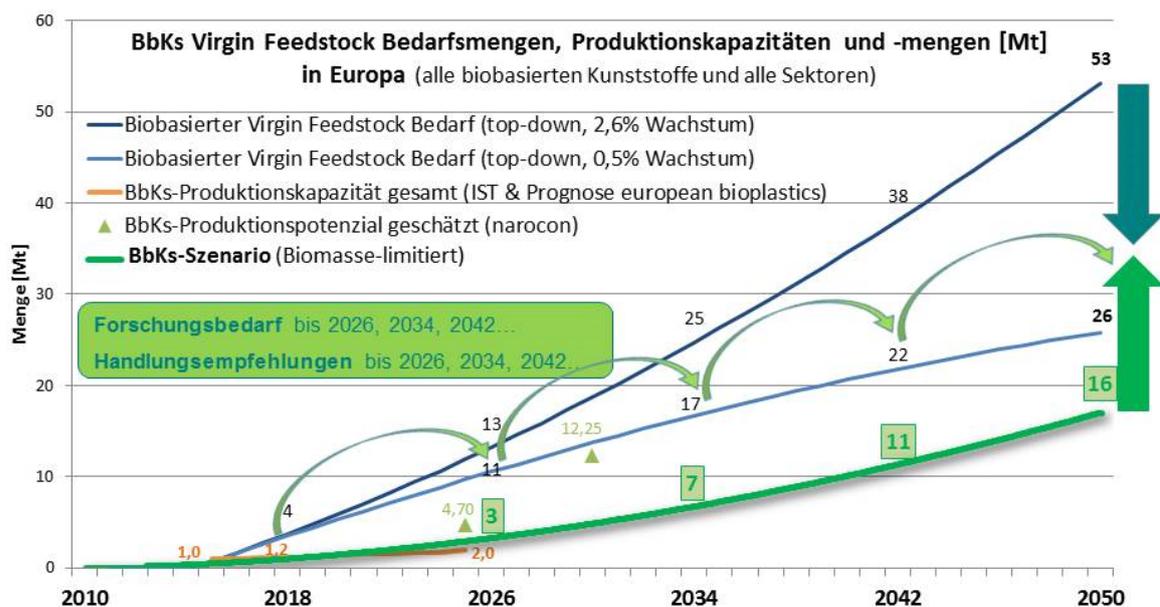


Abbildung 14: Biobasierter Kunststoff Szenario 2050.

Zwischen dem **biobasierten Virgin Feedstock Bedarf** bei einem Marktwachstum von 2,6 % und dem entwickelten Zielffad des **BbKs-Angebots** klapft im Jahr 2050 eine **Lücke von 37 Mt**. Diese wird zwar unter der Annahme eines jährlichen Marktwachstums der kunststoffverarbeitenden Industrie von nur 0,5 % kleiner, beträgt aber selbst dann immer noch rund 10 Millionen Tonnen biobasierter Kunststoff. Durch Variation der Annahmen in der Erstellung des Szenarios kann die Zahlenlage zwar etwas schwanken, die Grundaussagen zum Forschungsbedarf bleiben aber gleich, wie auch die vorgeschlagenen Handlungsoptionen, um die Lücke zwischen biobasiertem Virgin Feedstock Bedarf und BbKs-Szenario zu verringern.

Dieser Gap kann grundsätzlich geschlossen bzw. verkleinert werden durch:

- **Verringerung des Virgin Feedstock Bedarfs (demand side) durch**
  - Verringerung des Wachstums am Kunststoffbedarf der Verarbeiter (Markt) generell (Verlängerung der Produktlebenszeit/Reuse (**Circular Design**), alternative Werkstoffe, Veränderung des **Verbraucherhaltens** bzw. Stabilisierung des Konsums, ...),
  - Verbesserung der technischen Performance und **anwendungsorientierte Optimierung** von BbKs-Eigenschaften (einschließlich **Recyclierfähigkeit** und Circular Design),
  - hohe **Recycling-Quote** (2050 EU-Ziele, Circular Design im Hinblick auf mechanisches, chemisches oder organisches Recycling (anaerobe Faulung/Kompostierung), keine unkontrollierte Freisetzung, keine Deponierung, wenig Verbrennung und Einsatz als Ersatzbrennstoff nur am Ende der Wertschöpfungskette bzw. des Produktlebenszyklus (wurde bei Entwicklung des Szenarios 2050 bereits berücksichtigt, daher wenig zusätzliches Potenzial),

oder durch

- **Erhöhung der verfügbaren BbKs-Menge (supply side)**
  - **durch Effizienzsteigerungen bei der Umwandlung** von Rohstoffen zu Biopolymeren,
    - „neue“ biobasierte Kunststoffe (z. B. PHAs, Lignin- und Cellulose-basierte Kunststoffe),
    - Ersatz von Drop-ins durch Kunststoffe mit besseren Umwandlungsfaktoren (z. B. PEF statt PET im Verpackungsbereich),
    - F&E zur Steigerung der Umwandlungsraten bei Drop-ins und neuen biobasierten Kunststoffen;
  - Die **direkte Nutzung von Cellulose aus Holz und Umwandlung zu Celluloseprodukten** wie Fasern, Folien und anderen Formkörpern ohne den Prozessweg der Verzuckerung zu (bio-)synthetischen Polymeren kann die Ausbeute pro Tonne eingesetzter Biomasse um das bis zu 4-Fache erhöhen (bezogen auf trockenenes Holz).<sup>266</sup> Bei der Nutzung der Hälfte des Holzpotenzials über diesen direkten Prozessweg erhöht sich – unter Berücksichtigung eines Umwandlungsfaktors von 2,5 t Rohstoff/t Polymer – die erzielbare BbKs-Menge im Szenario 2030 bzw. 2050 um jeweils 3,8 Mt. Damit können Celluloseprodukte, wie sie beispielsweise von der Lenzing AG für den Verpackungsbereich und andere Kunststoffanwendungen in der Land- und Forstwirtschaft oder Aquakultur hergestellt werden, einen zusätzlichen Beitrag zur Schließung der Lücke zwischen biobasiertem Kunststoffbedarf und maximal erzielbarer BbKs-Menge liefern.

---

<sup>266</sup> Celluloseprodukte, z. B. Polymere wie Viskose, andere regenerierte Materialien aus Cellulose oder Produkte wie sogenannte Nonwovens, sind in den Statistiken zu Kunststoffmengen und -märkten i.d.R. nicht erfasst. Deswegen wurde diese Produktgruppe auch nicht in Tabelle 1 und Abbildung 6 berücksichtigt. Dargestellt ist nur der biochemische Holznutzungspfad über die Verzuckerung und Synthese zu Cellulose-basierten Kunststoffen.

- **Erhöhung der Biomasseverfügbarkeit** unter Berücksichtigung aller Aspekte und Ziele einer **Kreislaufwirtschaft** und **nachhaltigen Bioökonomie** (Sustainable Development Goals (SDGs), **Biodiversität**, ...):
  - **Produktivitätssteigerung** in der Landwirtschaft/Forstwirtschaft (Flächennutzung, Hektarerträge) und **Optimierung der agrarischen Flächennutzung**;
  - **Änderung von Primärrohstoffflüssen** (z. B. Zucker) und Weiterentwicklung der integrierten, kaskadischen Biomassennutzung (z. B. Holz) → Forschung zu **integrierten Bioraffinerien**);
  - Nutzung von Agrarexporten (zusätzliches Potenzial geschätzt bei ca. 5 Mt BbKs);
  - **alternative Nutzpflanzen** (z. B. Chicoree-Wurzeln für PEF);
  - verstärkte **Nutzung von Reststoffen und Abfällen** (Ernteverluste, Zuckerrübenschnitzel, -schwänze, Melasse, Schalen, Blätter, Schälreste, Trester, Reststoffe aus der Holzverarbeitung, Abwasser, Klärschlamm, grüne Biomasse, Schlachtabfälle, ...);
  - **biobasierte Kunststoffe dritter Generation** (z. B. mittels Bioreaktoren) und **vierter Generation** (direkte (chemische) CO<sub>2</sub>-Nutzung ohne Organismen, z. B. mittels technisch-chemischer Prozesse bei Überschussstrom).

Aus ExpertInnensicht sind vor allem folgende **Faktoren zur nennenswerten Steigerung des Marktanteils** von Kunststoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe entscheidend:

- **Nachhaltigkeitsbewertung**<sup>267</sup> zur **Bewusstseinsbildung** und gezielte **Öffentlichkeitsarbeit (Kommunikation)**,
- **Preis** → Konkurrenz zu Erdöl (CO<sub>2</sub>-Steuer, Ressourcensteuer etc.).

Für den Zielpfad 2026 bis 2050 lassen sich daraus Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen ableiten, wie im folgenden Abschnitt dargestellt.

---

<sup>267</sup> Hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks und der Nachhaltigkeit von Kunststoffen sollte eine **Bewertung entlang der gesamten Wertschöpfungskette** erfolgen und jedenfalls die Rohstoffe, Produktions-, Nutzungs-, Reuse-Phase und Recycling umfassen, einschließlich Berücksichtigung der Faktoren Energie- und Ressourcenbedarf, Biodiversität und Aspekte der Logistik. Der Wissenstransfer, die Dokumentation und Kommunikation hierzu haben transparent zu erfolgen. Bei der Einführung von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen wird von Seiten der Biokunststoff-Branche empfohlen, einen **stufenweisen Ansatz** zu wählen, d. h. mit einigen Kriterien zu beginnen (z. B. biobasierter Anteil, THG-Reduktion) und mit steigendem Wachstum der Branche auch die Anforderungen anzupassen (siehe auch Abschnitt 4.5 zu Nachhaltigkeit).

## 7. Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen

Die einzelnen Punkte sind der „demand bzw. supply side“ farblich zugeordnet.

### 2026

#### Forschung

- Intrinsische **Recycling-Eigenschaften** von BbKs (mechanisch-thermisches, chemisches und organisches Recycling, **Circular Design**), z. B. Implementierung von Recyclingklassen (**RecyClass**<sup>®</sup> – Plastics Recyclers Europe) und Optimierung der entsprechenden Recycling-Technologien;
- Verbesserung der **technischen Performance** von BbKs (Funktionalität, Maschinenverarbeitbarkeit, Verarbeitung, ...);
- **anwendungsorientierte Optimierung** von BbKs-Eigenschaften (nachhaltige Additive, Denken in Produktklassen, ...);
- **Pilotanlagen** für neue BbKs, um Eigenschaften (Recyclierbarkeit, Materialeigenschaften) zu testen;
- Mitentwicklung der **Analytik** zu nachwachsenden Rohstoffen und biobasierten Kunststoffen zur Charakterisierung von Ausgangs- und Zielstoffen;
- **Technikfolgenabschätzung** – umfassende Betrachtung von Nutzen/Risiken, gesundheitlichen Aspekten, Technik-Nutzen, ...;
- „Produktfolgenabschätzung“;
- Entwicklung von standardisierten **Nachhaltigkeitsbewertungssystemen** für BbKs und Vergleich mit konventionellen Kunststoffen unter Einbeziehung der Rohstoffe, Produktions-, Nutzungs-, Reuse-Phase und Recycling (LCA, ganzheitliche systemische Betrachtung einschließlich Biodiversität bei der Primärproduktion, Energiebedarf und -quellen) zur Sicherung gleicher Wettbewerbsbedingungen;
- Forschung zu **bedarfsgerechter Entwicklung** für Nutzer, Markeninhaber und Produzenten;
- **transdisziplinäre EU-weite Forschung und Vernetzung** im Kontext zu anderen Initiativen und Politiken, wie Ressourceneffizienz-Fahrplan, Energie- und Klimapolitik, nachhaltige Entwicklung etc. zur Vermeidung von Zielkonflikten;
- **Clustern mehrerer Projekte** zu unterschiedlichen, aber vernetzbaren Themen, evtl. zweistufige Verfahren und in zweiter Stufe sollten die Einreicher dazu angehalten werden, sich quer zu vernetzen;
- Untersuchung von sozio-ökonomischen Auswirkungen;
- Forschung zu regulativen Maßnahmen mit größter Hebelwirkung („**Wild Cards**“).

- **Pilot- und Demonstrationsanlagen 3. Generation BbKs** (Bioreaktoren, industrielle Biomasse, z. B. PHA mittels chemoautotropher Bakterien oder Cyanobakterien (Risiko möglicher Freisetzung in Umwelt berücksichtigen));
- **Optimierung bei PHAs** (Kultivierung und Produktion, umweltschonende und kostengünstige Extraktion und Aufreinigung; Entwicklung bis zur Technikumsanlage in AT; Beobachtung internationaler Entwicklungen, z. B. Bio-ON);
- Optimierung der **Fischer-Tropsch-Verfahren** (Katalysatoren (Spezifität, Ausbeuten), aus Bio-Syngas, aus CO<sub>2</sub> & H<sub>2</sub>, ...);
- Forschung zur 4. Generation BbKs (**direkte CO<sub>2</sub>-Nutzung**, z. B. künstliche Photosynthese);
- mögliche **Nutzung von CO<sub>2</sub>** aus Müllverbrennung oder Pyrolyse;
- Eruiieren der „Stellschrauben“ zur **Verbesserung der Wirtschaftlichkeit** in der gesamten Wertschöpfungskette von biobasierten Kunststoffen bzw. der Lücken für eine ökonomische Umsetzbarkeit;
- Entwicklung neuer **innovativer Geschäftsmodelle** zu biobasierten Kunststoffen und deren Produkten, z. B. analog zu Chemikalienleasing;
- Forschung zu **funktionalen Enzymen**, z. B. Modifizierung, Auftrennung;
- Fortführung der **Lignocellulose-Forschung** und Forschung zu **Naturfasern** wie Hanf, Flachs, Cellulosederivaten etc., einschließlich Forschung zu Nebenprodukten der Naturfasergewinnung (z. B. Umwandlung zu Zellstoff und Folgeprodukten) als Beitrag zur Effizienzsteigerung integrierter Bioraffinerien;
- **Logistik-Forschung** für Verarbeitungsschritte, Verteilung und Recycling, z. B. neue BbKs, Bioraffinerie;
- Weiterentwicklung der integrierten, kaskadischen Biomassenutzung (**integrierte Bioraffinerien**);
- periodisch wiederkehrende Ermittlung der **realen Biomasse-Potenziale** (statt der theoretisch berechneten Potenziale) und regelmäßiges Updates der entsprechenden Materialflussanalysen;
- Effizienzsteigerung bei der Bereitstellung landwirtschaftlicher Produkte (Verluste verringern), um verfügbare Biomasse zu erhöhen;
- **landwirtschaftliche Forschung** (z. B. Fruchtfolgen, Nutzung von Brachflächen, neue Nutzpflanzen wie z. B. Distel) → Evaluierung der Auswirkung auf Ökosysteme.

## Produktion & Verarbeitung

- Berücksichtigung von **Recyclierbarkeit von BbKs** (und ggf. Bioabbaubarkeit) über die gesamte Wertschöpfungskette von Kunststoffen (**Circular Design**, Eco Design bei Produkten, Life Cycle Design etc., z. B. polymerspezifische Design Guidelines);
- **Information & Bewusstseinsbildung** bei Industrie, Produzenten, Produktdesignern, Gestaltern von Prozessabläufen, Großverbrauchern & Kunststoffverarbeitern;
- Entwicklung von BbKs-Nischenprodukten, über die **Vertrauensaufbau bei KonsumentInnen** zu BbKs entsteht;

- **Optimierung der Logistik** (Rohstoffe, Prozesse, Produkte, Kreislaufwirtschaft);
- **großtechnische Produktion von BbKs 1. Generation** einschließlich Optimierungsschritte (Einsatz nachhaltig produzierter Rohstoffe, Nutzung des Konzepts integrierter Bioraffinerien, Prozesse, Ökonomie);
- **großtechnische Produktion von BbKs 2. Generation** in Österreich/Europa (z. B. über Ethanol aus Cellulose, PEF in großen Anlagen aus inhomogenen Ressourcen (z. B. Cellulose-Verzuckerung), HMF/FDCA aus Lignocellulose, ...);
- Forcierung von **BbKs mit geringerem Ressourcen-/Rohstoffbedarf** (z. B. PEF statt PET, Cellulose-Regenerate statt Cellulose-basierte Polymere über Verzuckerung und (Bio-)Synthese).

## Regulativ

- Nach der **Europäischen Kunststoffstrategie** sollen bis zum Jahr 2030 alle **Kunststoffverpackungen**, die in der EU in Verkehr gebracht werden, entweder **wiederverwendbar** sein oder auf kosteneffiziente Weise **recycelt werden können**. Auf EU-Ebene versteht man unter Recycling auch organisches Recycling von bioabbaubaren Kunststoffen (Kompostierung, Verrottung etc.).
- Einführen von Regeln zur Reparierbarkeit und Verfügbarkeit von Updates und Ersatzteilen, insbesondere in hochpreisigen Nischenbereichen;
- **regulative Festlegung spezifischer Anwendungen** für biobasierte Kunststoffe, die nachweislich bessere Ökobilanzen aufweisen, und verpflichtender Einsatz von bioabbaubaren Kunststoffen in spezifischen, 'offenen Anwendungen' (z. B. Land-, Forstwirtschaft und Aquakultur), wo das Risiko der unkontrollierten Freisetzung von Kunststoffen in die Umwelt hoch ist;
- Anreize schaffen durch **Quoten** hinsichtlich recycelbarer, biobasierter **BbKs-Anteile** bzw. regulative Restriktionen für rein fossilbasierte Kunststoffe **in ausgewählten Produkten/Produktsegmenten** (kleine Schritte);
- produktbezogene Kennzeichnung biobasierter Kunststoffe;
- Wirtschaft hat/erarbeitet **Design Guidelines** über gesamte Wertschöpfungskette, die evtl. geeignete Schnittstellen zu stoffrechtlichen, abfallrechtlichen und anderen Regelungen bieten;
- Berücksichtigung der (recyclierbaren) Additive für Massen-Kunststoffe;
- **ökonomische Differenzierung zwischen fossilen und biogenen Kunststoffen** (z. B. Anreizsysteme, ansteigende Besteuerung/verminderte Förderung von fossilbasierten Kunststoffen/fossilen Rohstoffen in bestimmten Anwendungsbereichen) bei Berücksichtigung der Ökobilanzen (z. B. nach fundierter LCA);
- Förderung biobasierter Kunststoffprodukte in der **öffentlichen Beschaffung**;
- Abschließen von **Leistungsvereinbarungen** (Bund) zu BbKs mit Universitäten und Hochschulen;
- **Einrichtung von Plattformen** zu biobasierten Kunststoffen unter KMU Einbindung.

## Gesellschaft

- **Pilot-/Demo-/Leuchtturmprojekte** und Testimonials für Umdenken in der Bevölkerung;
- klare **Differenzierung von „biobasiert“ und „bio-abbaubar“** in der Kommunikation, auch innerhalb dieser Begriffe (Standards);
- **Bewusstseinsbildung**, dass BbKs einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung und zum Schließen von Stoffkreisläufen leisten, die Importabhängigkeit von Erdöl verringern und zur Entkopplung der Kunststoffwirtschaft von fossilen Rohstoffen und damit zur Verminderung von THG-Effekten beitragen;
- **Verbraucherinformation**, dass BbKs qualitativ gleichwertig oder höherwertig sein können als konventionelle Kunststoffe („Wertschätzung“ – Kunststoff als Wertstoff, z. B. durch Imagekampagnen, gezielte Öffentlichkeitsarbeit und Vermittlung wissenschaftlicher Erkenntnisse sowie des Mehrwerts von BbKs über Story Lines, Bilder etc.; BbKs mit positiven Attributen verbinden (z. B. Spielzeug), Veränderung des Verbraucherverhaltens).

## 2034

### Forschung

- **Denken in Produktklassen** (Kopplung neuer BbKs mit Produkten, Anwendungssektoren und Einsatzgebieten);
- Optimierung von **Verarbeitungsprozessen** für BbKs;
- Entwicklung **optimierter Recycling-Technologien** (mechanisch-thermisch, chemisch) entsprechend den Polymerarten und der Kunststoffvielfalt;
- Technikfolgenabschätzung;
- volkswirtschaftliche Analyse von BbKs;
- **Pilot- und Demonstrationsanlagen 4. Generation BbKs** (direkte CO<sub>2</sub>-Nutzung, z. B. künstliche Photosynthese);
- **Entwicklung neuer BbKs** für bestehende und neue Anwendungsgebiete.

### Produktion & Verarbeitung

- Berücksichtigung von Recyclierbarkeit in Produktdesign (**Circular Design**);
- großtechnische Produktion von **BbKs der 3. Generation** (Bioreaktoren, industrielle Biomasse);
- Planung und Errichtung erster Anlagen zur Produktion von **BbKs der 4. Generation** (z. B. künstliche Photosynthese, direkte CO<sub>2</sub>-Nutzung mittels technisch-chemischer Prozesse bei Überschussstrom);
- Ausbau der Produktion von BbKs erster Generation (Nutzung frei werdender Biomassepotenziale).

## Regulativ

- Etablierung von **Nachhaltigkeitsbewertungssystemen** für BbKs mit regelmäßiger Überarbeitung;
- Einführung verbesserter und (international) harmonisierter **Zertifizierungssysteme für die Nachhaltigkeit** von Biomasse und BbKs;
- **Verbot von biologisch nicht-abbaubaren Kunststoffen in 'offenen Anwendungen'**, wo die Sammlung, Rückführung und das Recycling schwierig sind (z. B. in der Land- und Forstwirtschaft oder in sensiblen Ökosystemen wie Küstengewässern (Aquakultur)) bis hin zu Verbot von fossilbasierten Kunststoffen für bestimmte Produktgruppen bei Berücksichtigung der Ökobilanzen (z. B. nach fundierter LCA).

## Gesellschaft

- Breite **Akzeptanz**, dass biobasierte Kunststoffe einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten können und biobasierte KS qualitativ gleichwertig oder höherwertig sind als konventionelle KS;
- **soziale Innovationen** durch aktive Nachfrage der KonsumentInnen nach BbKs-Produkten.

# 2042

## Forschung

- Optimierung von Verarbeitungsprozessen für BbKs;
- Technikfolgenabschätzung;
- **Optimierung von Nutzungspfaden** – Systemanalyse (Rohstoffe, Energie, BbKs untereinander);
- Herstellung von **Monomeren aus CO<sub>2</sub> & H<sub>2</sub>** (Überschussstrom aus erneuerbarer Energie);
- Entwicklung **neuer BbKs** für bestehende und neue Anwendungsgebiete (Denken in Produktklassen).

## Produktion & Verarbeitung

- Planung und Errichtung etablierter großtechnischer Anlagen zu **BbKs 1. und 2. Generation**;
- spezifische Anwendungen für BbKs 3. Generation.

## Regulativ

- Verbot von schlecht recycelbaren Materialien.

# 2050

## Forschung

- Erschließung neuer Anwendungsgebiete;
- Entwicklung neuer und optimierter **Recyclingtechnologien**;
- **Evaluierung der Nachhaltigkeit** von BbKs (systemische Analysen, Technikfolgenabschätzung);
- Entwicklung neuer BbKs.

## Produktion & Verarbeitung

- Co-Existenz von 1. bis 4. Generation BbKs (einschließlich Monomere aus CO<sub>2</sub> & H<sub>2</sub>);
- Entwicklung neuer Monomere & Polymere;
- Entwicklung neuer Produkte aus BbKs.

## Regulativ

- Einführung von Regulativen für Rohstoffe/Additive (Qualität, fiskale Steuerungsinstrumente);
- Einführung von Regulativen für BbKs (Qualität, Quoten);
- **Anpassung der Regulative** für Abfälle und Recycling entsprechend der Entwicklung betreffend BbKs.

## Handlungsempfehlungen generell

- **Vernetzung** zwischen Forschung, Industrie, Händlern für Produktentwicklung, Recyclern, Landwirtschaft, Rohstoffbereitstellern, Lehre & Ausbildung, sozialen Themen;
- **Information** der Bevölkerung, Initiativen zu BbKs, Einbeziehung von NGOs;
- Förderung der interdisziplinären Forschung und Lehre (Technik, Ökonomie, Ökologie, Gesellschaft);
- Aufbau einer Forschungsförderungsschiene für BbKs;
- Einbeziehen der **externen Kosten**;
- **Anreize für Umstieg** auf biogene Ressourcen;
- **Investitionsförderung** für Start-ups und Produktentwicklung;
- Anreize für **Investoren** für Großproduktion;
- Einführung von Standards für Nachhaltigkeitsbeurteilung;
- regelmäßiges **Update** des BbKs Szenarios 2050.

## 8. Vernetzung und Ergebnistransfer

Das Projektvorhaben betrifft den **Ausschreibungsschwerpunkt 2016** im Bereich **F&E-Dienstleistung Biobased Industry** (Roadmap 2050). Zunächst wurde der aktuelle Stand bei biobasierten Kunststoffen erhoben. Dazu gehören rechtliche, technische und wirtschaftliche Aspekte, wobei die maßgeblichen hemmenden Faktoren festgestellt werden sollten. In einem **multidisziplinären und StakeholderInnen-orientierten Prozess** wurde das hypothetische Ziel 2050 konkretisiert und es wurden Maßnahmen und Forschungsbedarf in Zwischenschritten erarbeitet. Neben der Erzeugung und Verarbeitung der Kunststoffe aus diversen möglichen nachwachsenden Rohstoffen sind Recyclingoptionen und Ansprüche des Marktes ausschlaggebend für konkrete **Handlungsempfehlungen**, die im ausgearbeiteten Zielpfad zum BbKs Szenario von 2017 bis ins Jahr 2050 dargestellt werden. Das hypothetische Ziel ist der Einsatz von 100 % biobasierten Kunststoffen im Jahr 2050. Das BbKs Szenario 2050 dient als **Grundlage für die Implementierung von möglichen Regulierungsmaßnahmen** und von zielgerichteten **nationalen FTI-Aktivitäten** und damit zur Steigerung des Marktanteils von Biokunststoffen. Die Ergebnisse werden in einer publizierbaren und präsentierbaren Form aufbereitet und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

## 9. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die Kunststoffindustrie hat einige Jahrzehnte gebraucht, um sich zu dem, was sie heute ist, zu entwickeln: omnipräsent – zu finden in allen Lebensbereichen und Anwendungen. Die komplette Umstellung dieser Industrie auf biobasierte Ressourcen kann nicht in kurzer Zeit erfolgen. Um tatsächliche Änderungen zu bewirken, müssen die unterschiedlichen Akteure zusammenarbeiten. Das alte Modell der Erdölausbeutung basiert (fast) ausschließlich auf den Maximen einer linearen Konsumgesellschaft mit dem Ziel ökonomische Gewinne zu maximieren. Produkte sind in großem Maße zu Einwegprodukten geworden, wobei bis zu 99 % der gekauften Dinge bereits nach einem halben Jahr zu Abfall werden und nach dem derzeitigen System entweder downgecycelt oder gleich verbrannt und anschließend vergraben werden.<sup>268</sup> Dieses Modell kann auf einem endlichen Planeten mit endlichen Ressourcen nicht endlos weitergeführt werden. Daher zielen alle Maßnahmen dieses Berichts darauf ab, Symptome dieses Systems zu vermindern.

Um die Ursache dieser fehlgelaufenen Symptome mit negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt wirklich zu ändern, braucht es allerdings eine Veränderung der Zielsetzung an sich. Anstelle von Quantitätssteigerung sollte das Streben nach Qualität Vorrang haben. Die weiteren Schritte wären „nur noch“ eine Schlussfolgerung der Zielsetzung. Qualität bedeutet Kostenwahrheit, genauso wie klar definierte Bedingungen und Inhaltstoffe, die erst eine echte Kreislaufführung ermöglichen. Dass sich auch dann die Kunststoffe nicht komplett im Kreis führen lassen, mag wohl auch eine Entropiefrage sein. Die Lücken können dann aber mit biobasierten Rohstoffen gefüllt werden. Erst dann wird die Vision der Ellen MacArthur Foundation, die von diesem Projektteam geteilt wurde, realisierbar. Dies bedeutet, dass das gesamte vorgeschlagene Maßnahmenpaket mit einer klaren

---

<sup>268</sup> Story of Stuff Project, 'Story of Stuff', accessed 28 February 2018, <https://storyofstuff.org/>.

Änderung der makro- und mikroökonomischen Zieldefinition einhergehen muss, um eine echte nachhaltige und idealerweise noch immer biodiverse Bioökonomie realisieren zu können.

Dieses Forschungsprojekt hat zahlreiche weitere mögliche Interventionsfelder aufgezeigt. Die Varianten sind vielseitig, allen voran ist eine Vernetzung der Akteure erwünscht, sowie das Einbeziehen mehrerer Disziplinen zur Lösung der weiteren unterschiedlichen Fragestellungen.

Das Projektteam kann mit den gewonnenen Erkenntnissen in diesem Bereich weiterarbeiten, womöglich auch in europäischen Kooperationen. Neben der notwendigen Ausarbeitung von gezielten Schwerpunkten und deren Umsetzungsstrategien sollte dieses Szenario auch in regelmäßigen Abständen nachjustiert werden. Auch große Pläne können nur mit vielen einzelnen kleinen Schritten umgesetzt werden, die von Entscheidungsträgern genauso mitgetragen werden müssen wie von Unternehmen und der Zivilgesellschaft. Weitere Maßnahmenpakete sollen alle Ebenen weitreichend miteinbeziehen, um breite Zustimmung zu erfahren.

Mit den aktuellen geplanten Änderungen im Zuge des Kreislaufwirtschaftspakets der Europäischen Kommission, die Auswirkungen auf Verpackungen, Restmüll, Eco-Design etc. haben, werden Recyclingquoten bis 2025 bzw. 2030 in ganz Europa eingehalten werden müssen. Viele der hier vorgeschlagenen Maßnahmen unterstützen bereits diese notwendigen Implementierungen.