

# Roadmap 2050 Biobasierter Kunststoff – Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen

Kurzfassung

H. Frischenschlager  
V. Reinberg  
J. Kisser

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 6a/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

Kurzfassung

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 .....	2
2. Einleitung.....	6
3. Stand der Technik und des Wissens .....	9
4. Gesetzliche Regelungen und Standards .....	13
5. Zielfad zur Steigerung des Marktanteils biobasierter Kunststoffe.....	15
6. Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen .....	21
7. Hintergrundinformation zum Projektinhalt .....	27
8. Abkürzungsverzeichnis .....	29

# 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 Zielsetzungen

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, Biomassenutzungskonkurrenzen 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. Einleitung

Bis zum Jahr 2050 ist – bei einem von verschiedenen ExpertInnen und Institutionen abgeschätzten jährlichen Marktwachstum von 2–3,1 % – 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).

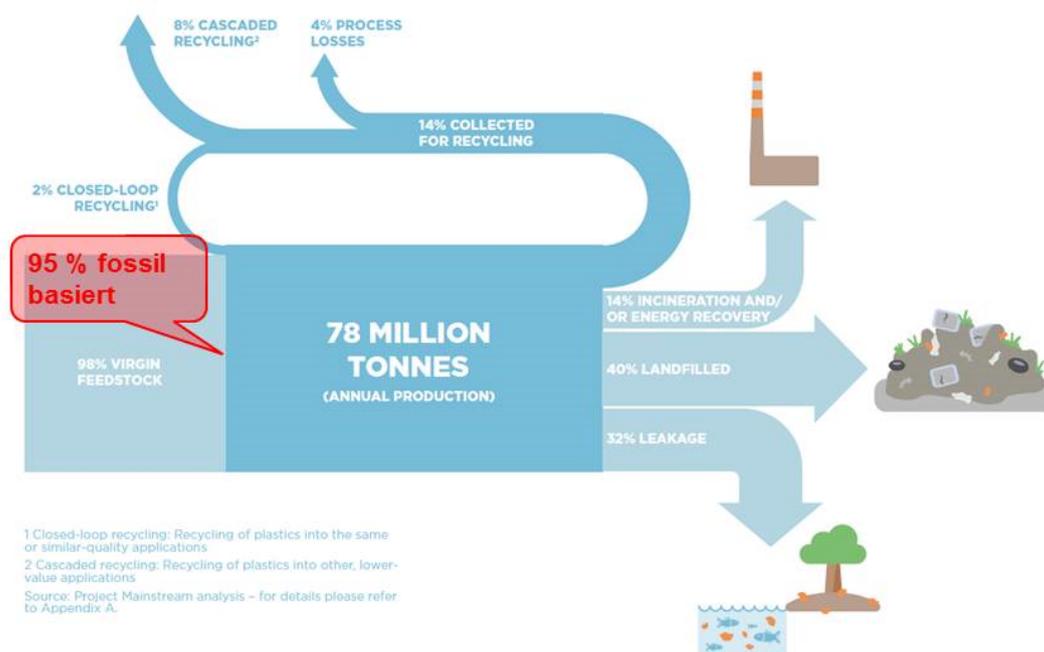


Abbildung 1: Global Flows of Plastic Packaging Materials in 2013. (Quelle: [EMAF 2016](#))

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 % fossilen Rohstoffen 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>1</sup> und dass sich damit der Anteil der Kunststoffe am globalen CO<sub>2</sub>-Budget von 1 % auf 15 % erhöhen wird<sup>2</sup> (Quelle: [EMAF 2016](#)).

<sup>1</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>2</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>3</sup> übernommen.

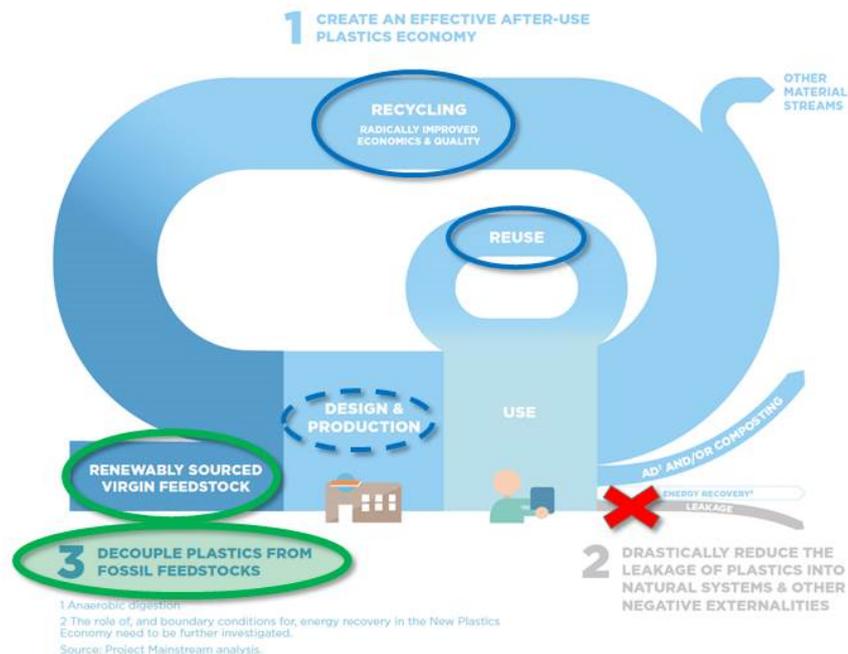


Abbildung 2: Ambitions of The New Plastics Economy. (Quelle: [EMAF 2016](#))

Obwohl es bereits vielfältige Entwicklungen im Bereich der Biokunststoffe<sup>4</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,

<sup>3</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>4</sup> Hier: ‚biobased‘, also auf Basis nachwachsender Rohstoffe – nicht ‚biodegradable‘. Siehe auch <http://www.europeanbioplastics.org/bioplastics/>

chemisch und organisch) haben bei der Umsetzung des Konzepts oberste Priorität (Verbindung zu Kreislaufwirtschaft). Mit der Nutzung **biogener Rohstoffe**<sup>5</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. Das Szenario wird als Hauptergebnis des Projekts in Kapitel 5 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 3). Den aktuellen **gesetzlichen Regelungen** in der EU mit Bezug auf Biopolymere hinsichtlich Einsatz- sowie vorgeschriebener Recycling- und Entsorgungsmaßnahmen ist ein eigenes Kapitel gewidmet (siehe Kapitel 4). In den Kapiteln 5 und 6 wird schließlich der **Zielpfad zur Steigerung des Marktanteils biobasierter Kunststoffe** entlang einer **Zeitachse 2026 bis 2050** zur Erreichung des dem Projekt hinterlegten hypothetischen Ziels dargestellt.

---

<sup>5</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 3). 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).

### 3. Stand der Technik und des Wissens

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 3). 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.

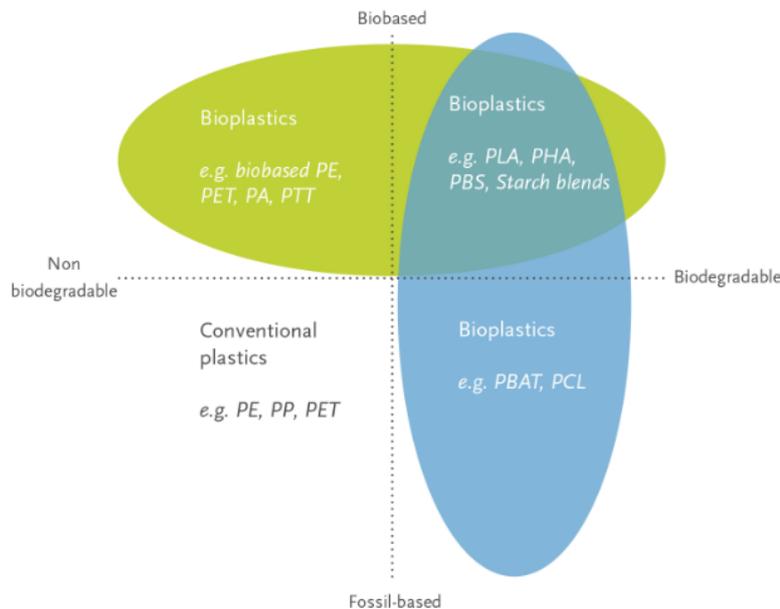


Abbildung 3 Biokunststoffe und „konventionelle“ Kunststoffe mit Beispielen. (Quelle: European Bioplastics)<sup>6</sup>

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. 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.

#### “Neue” Biokunststoffe

Thermoplastische Stärke (**TPS**) stellte im Jahr 2015 den Ausgangsstoff für die Hälfte der in Europa vertriebenen Produkte aus bioabbaubaren Kunststoffen dar.<sup>7</sup> Auch Polyhydroxyalkanoate (**PHA**)

<sup>6</sup> European Bioplastics, <http://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>, 31.05.2017

gehören zu den bioabbaubaren Biokunststoffen. Diese Polymere werden bei der Fermentation als Speicherstoffe in den Zellen von Bakterien angereichert. Polymilchsäure (**PLA**) wird durch die Polymerisierung von Milchsäure (aus Zucker fermentiert) hergestellt und gehört ebenfalls zu den bioabbaubaren Kunststoffen, wobei eine industrielle Kompostierung nötig ist, um einen vollständigen Abbau zu erreichen.

**Ligninbasierte Kunststoffe** werden oft als Composites mit Naturfasern verwendet. Je nach Quelle und Verarbeitung sind ihre Eigenschaften im Herstellungsprozess entsprechend der Anwendung optimierbar. Lignin fällt als Holz-Bestandteil weltweit in einer Menge von 50 Mt pro Jahr (v. a. als Nebenprodukt der Papier- und Zellstoffindustrie) an.<sup>8</sup>

**Cellulose** ist der weltweit mengenmäßig bedeutendste Rohstoff, da sie einen großen Teil der pflanzlichen Biomasse ausmacht. Im Jahr 2016 wurden weltweit etwa 15 Mt Holz (atro) zur Zellstoffproduktion für 6 Mt regenerierte Celluloseprodukte (außer Papier) eingesetzt. Ein Fünftel dieser Produktionskapazitäten entfielen auf Europa. Allein in Österreich wurde etwa gut 1 Mt Holz (atro) zu rund 420.000 t Zellstoff für regenerierte Celluloseprodukte (außer Papier) verarbeitet.<sup>9</sup>

**Cellulosederivate** (wie Celluloseacetat, **CA**) weisen, je nach chemischer Veränderung, unterschiedliche Eigenschaften auf. Neben Derivaten wird auch **Regeneratcellulose** erzeugt, die als Textilfaser und Folien Anwendung findet.<sup>10</sup> Global wurden 2014 etwa 860.000 t Celluloseacetat sowie 2016 ca. 90.000 t Cellulosefolie, Cellophan® u. ä. Produkte hergestellt.<sup>11</sup>

Polyethylenfurandicarboxylat (**PEF**) ist ein neuer (nicht bioabbaubarer) Kunststoff mit ähnlichen Eigenschaften und Anwendungsgebieten wie PET, wobei sowohl die Monomere Ethylenglycol und 2,5-FDCA bisher aus Maisstärke erzeugt werden.<sup>12</sup>

## Drop-ins

Als Drop-ins werden Biokunststoffe bezeichnet, die bereits fossilbasiert auf dem Markt sind und alternativ aus Biomasse hergestellt werden können.

Polyurethane stellen eine Gruppe von Kunststoffen dar, die zu 10–100 % biobasiert (“bio-based carbon content”) den größten Anteil der Biokunststoffe ausmachen (**bio-PUR**, 41,2 %, 2016), wobei meist biobasierte Polyole mit fossil basierten Isocyanaten polymerisiert werden.<sup>13,14</sup> Wie auch bei

---

<sup>7</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>8</sup> Michael Thielen: “Biokunststoffe”. Pflanzen Rohstoffe Produkte (FNR, 2013), <https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch.biokunststoffe-web-v01.pdf>.

<sup>9</sup> Abschätzung Lenzing nach FAO-Statistiken, Produktion Österreich: Lenzing und Schweighofer (Lenzing AG, persönliche Mitteilung vom 28.02.2018)

<sup>10</sup> Thielen

<sup>11</sup> Quelle: nova institute und Hersteller (Lenzing AG, persönliche Mitteilung vom 28.02.2018)

<sup>12</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>13</sup> Florence Aeschelmann & Michael Carus: “Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021”. 2017.

Polyurethanen wird zur Herstellung biobasierter Polyamide (**bio-PA**) oft Rizinusöl als Rohstoff herangezogen. Beforscht wird besonders die fermentative Herstellung von Diaminen als zweiter Komponente in Polyamiden.<sup>15</sup>

Biobasiertes PE (**Bio-PE**) wird über die chemische Umwandlung von Ethanol aus Zuckerrohr zu Ethen hergestellt, das ebenso wie fossilbasiertes Ethen weiterverarbeitet wird.

Teil-biobasiertes **PET** macht mit 22,8 % zurzeit nach **PUR** weltweit den größten Teil an biobasierten Kunststoffen aus.<sup>16</sup> Bei den momentan im Handel erhältlichen Bio-PET-Flaschen handelt es sich um biobasiertes Ethenglycol und fossil basierte Terephthalsäure als Monomere (20 % biobasiert).<sup>17</sup>

Die Entwicklung der weltweiten Biokunststoff-Produktionskapazität und die Einschätzung der zukünftigen Entwicklung durch das nova-Institut sind in Abbildung 4 dargestellt.

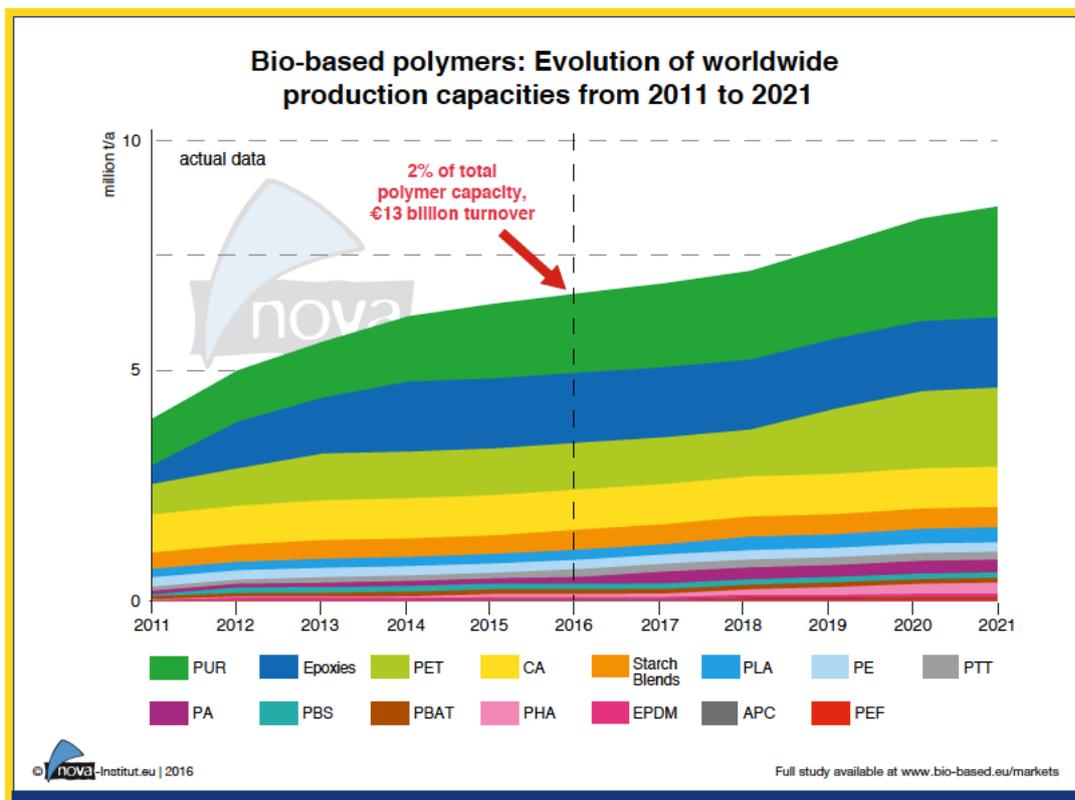


Abbildung 4: Bio-based polymers: Evolution of global production capacities from 2011 to 2021. (Quelle: Aeschelmann & Carus, 2017)

<sup>14</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>15</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>16</sup> Aeschelmann & Carus: "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016-2021".

<sup>17</sup> Aeschelmann & Carus.

## Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeit von Biokunststoffen bzw. die Einsparung an THG-Emissionen hängt stark von der Polymerart und dem jeweiligen Herstellungsprozess ab. Außerdem wird der Bedarf einer Vereinheitlichung der **LCA-Methoden** betont.<sup>18</sup> Neben dem Anbau und der Verarbeitung der Rohstoffe sind im Fall der Nutzung neuer (bisher ungenutzter) Anbauflächen auch die Land Use Change Emissions einzubeziehen (was für jegliche Nutzung dieser Flächen gilt).<sup>19</sup> Eine Nutzung von Rohstoffen der zweiten Generation in **integrierten Bioraffinerien** (z. B. Lignocellulose-Restmassen, Non-food-Öle) könnte einen Beitrag zu einer verbesserten Nachhaltigkeit leisten.<sup>20</sup> 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>21</sup>

## Rohstoffe – Flächenbedarf und Nutzungskonkurrenz

Für die 2017 weltweit hergestellten biobasierten Kunststoffe wurde eine Fläche von etwa 0,82 Mio ha benötigt (**0,016 % der weltweiten Agrarflächen** von insgesamt 5 Mrd. ha). 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>22</sup> Die Frage der Verfügbarkeit neuer, bisher ungenutzter Flächen wird kontrovers diskutiert. Global sehen manche WissenschaftlerInnen und Forschungsinstitute große Flächen potenziell nutzbarer Flächen, während andere Fachleute produktive, ungenutzte Flächen vor allem in Primärwäldern sehen, deren Erhaltung eine hohe Bedeutung hat.<sup>23,24</sup>

Neben primären Rohstoffen (Ackerfrüchte, die für die stoffliche Nutzung angebaut werden) werden **sekundäre Rohstoffe** (Reststoffe aus dem Anbau von Lebensmittel-Feldfrüchten, "Abfälle" aus der Lebensmittelherstellung und nicht als Lebensmittel nutzbare Biomasse) für die Herstellung von Biokunststoffen genutzt und erforscht. Die Verwendung von autotrophen **Algen** oder **Bakterien** zur

---

<sup>18</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.2012.11.09>.

<sup>19</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>20</sup> Roger Arthur Sheldon, Isabel W. C. E. Arends & Ulf Hanefeld: "Introduction: Green Chemistry and Catalysis". in *Green Chemistry and Catalysis* (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007), 1–47, <https://doi.org/10.1002/9783527611003.ch1>.

<sup>21</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>22</sup> European Bioplastics e.V.: Renewable feedstock. <http://www.european-bioplastics.org/bioplastics/feedstock/>, 27.02.2018

<sup>23</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>24</sup> Michael Carus & Stephan Piotrowski: "Land Use for Bioplastics". *Bioplastics MAGAZINE* 04/09, no. 4 (2009): 46–49.

Produktion von Mono- oder Polymeren mit CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle (und Licht oder chemischen Reaktionen als Energiequelle) wird als **Produktion dritter Generation** bezeichnet. Technische Verfahren zur Herstellung organischer Moleküle aus CO<sub>2</sub> könnte man in Abgrenzung davon als **Verfahren der vierten Generation** bezeichnen. Dieser Bereich wird momentan vor allem aus dem Blickwinkel der Treibstoffgewinnung erforscht, ist aber grundsätzlich (u. a. über Ethen) auch für die Herstellung von Monomeren für die Kunststoffherzeugung geeignet. Der entscheidende Faktor ist dabei die nachhaltige Erzeugung der benötigten Energie (besonders als effiziente Nutzung von Sonnenenergie).

## 4. Gesetzliche Regelungen und Standards

Die Europäische Kommission, nationale Regierungen und Ministerien sowie unabhängige Standardisierungsinstitute haben zahlreiche Standards erstellt, die als Basis für die Bewertung von Anforderungen an bioabbaubare und biobasierte Produkte dienen.

Standards, die sich mit Biokunststoff befassen, bedienen unterschiedliche Aspekte, wie beispielsweise die **Kompostierung** oder die Bestimmung des **biobasierten Anteils**. Es gibt derzeit keine Standards, die sich mit dem Recycling von Biopolymeren befassen.<sup>25</sup> In Europa gibt es zwei Normen für industrielle Kompostierbarkeit (EN 13432:2000 und EN 14995:2007). Es existieren gewisse nationale Normvorgaben für Heimkompostierung. In Frankreich und Italien gibt es Vorgaben für die biologische Abbaubarkeit im Boden.

Die wichtigsten **Zertifizierungen** für biologisch abbaubare und/oder kompostierbare Kunststoffe sind der „Keimling“ und „ok compost“ von Vincotte.

In Österreich ist in der Verpackungsverordnung<sup>26</sup> für Kunststoffe eine **Recyclingquote** von 22,5 % vorgeschrieben. Bei der Berechnung der Quote für Kunststoffe darf nur Material eingerechnet werden, das durch Recycling wieder zu Kunststoff wird und in eine Recyclinganlage nach dem Stand der Technik eingebracht worden ist.

Die Europäische Kommission äußerte 2017 das Ziel, bis 2030 die gesamten Kunststoffverpackungen recycelbar zu machen.

### Entwicklungen in der EU

Kunststoffe sind einer der fünf Schwerpunkte, mit der sich der **Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft** beschäftigt (veröffentlicht im Dezember 2015). Dieser Aktionsplan verpflichtet sich zur Vorbereitung einer Strategie, die die vielen Herausforderungen, die Kunststoffe aufwerfen,

---

<sup>25</sup> Michael Niaounakis: "Regulatory Aspects Framework". in *Biopolymers Reuse, Recycling, and Disposal* (Elsevier, 2013), 251–74.

<sup>26</sup> Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten, 2014

anspricht. Es wird festgehalten, dass das verstärkte Recycling von Kunststoffen für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft von grundlegender Bedeutung ist. Diese Strategie wurde im Jänner 2018 veröffentlicht und setzt klare Ziele zur Reduzierung von Kunststoffabfällen, zur Steigerung der Ressourceneffizienz und zur Schaffung von Wertschöpfung und Beschäftigung in Europa. In einer „**new plastics economy**“ ist das Design und die Produktion von Kunststoff und Kunststoffprodukten ausgerichtet auf **Reuse, Repair, Recycling** und die Verwendung von **nachhaltigeren Materialien**. Die steigenden Marktanteile von bioabbaubaren Kunststoffen werden von der EU als Chance, aber auch als mögliches Risiko gesehen. Unklare Kennzeichnung und unangemessene Müllsammlung sowie Behandlung könnten die Freisetzung von nicht-bioabbaubaren Kunststoffen in die Umwelt verstärken. Bioabbaubare Kunststoffe könnten ein technisches Problem für das mechanische Recycling darstellen. Andererseits wird bioabbaubaren Kunststoffen eine wichtige Rolle in bestimmten Anwendungen zugesprochen und Innovationen in diesem Bereich sind willkommen. Ziel der europäischen Kunststoffstrategie ist u. a. die Einführung eines klaren regulativen Rahmens für bioabbaubare Kunststoffe, um Verbraucherinnen und Verbrauchern **klare und korrekte Informationen** zu bieten.

Folgende **Maßnahmen für kompostierbare und biologisch abbaubare Kunststoffe** werden angeführt:<sup>27</sup>

- Arbeiten zur Entwicklung einheitlicher Vorschriften für die Bestimmung und Kennzeichnung kompostierbarer und biologisch abbaubarer Kunststoffe (ab dem 1. Quartal 2018);
- 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);
- Arbeiten zur Einschränkung der Verwendung oxo-biologisch abbaubarer Kunststoffe (Oxo-Plastik) im Rahmen der REACH-Verordnung (läuft).

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 anmerkt. Der Beitrag biologisch abbaubarer Kunststoffe zu einer Kreislaufwirtschaft (organisches Recycling) wird zwar anerkannt, jedoch fehlen aus Sicht des Verbands, der die Interessen der Biokunststoffindustrie in Europa vertritt, konkrete Maßnahmen.<sup>28</sup>

---

<sup>27</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>28</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

## 5. Zielpfad zur Steigerung des Marktanteils biobasierter Kunststoffe

Der Entwicklung des Zielpfades des Biobasierten Kunststoff Szenarios 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 5):

- 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).

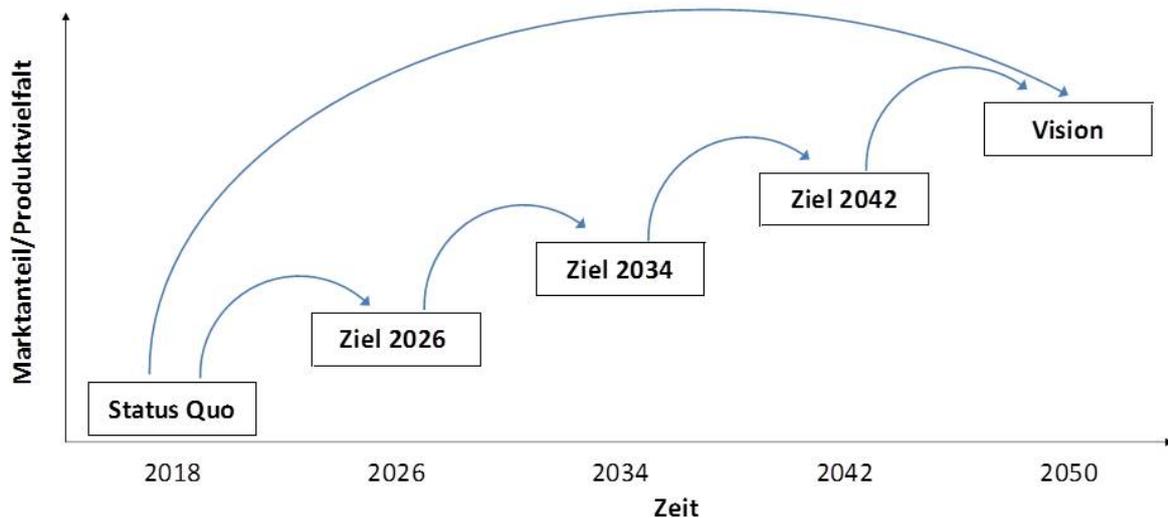


Abbildung 5: Entwicklung des Zielpfades zum BbKs Szenario 2050.

### **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>29</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>30</sup>

### **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 1).

---

<sup>29</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>30</sup> Im Vergleich dazu errechnet sich bei der Annahme eines mittleren jährlichen Marktwachstums von 0,5 % ein Virgin Feedstock Bedarf 2050 von 25 Mt.

Tabelle 1: Datenbasis und Annahmen zur Ermittlung des Zielpfades zum BbKs Szenario 2050 (Quellen siehe Fußnoten; Mengen-Angaben beziehen sich auf „harvested product“/Erntemasse).

**Biomassepotenzial Europa für BbKs (Abschätzung 2030)**

	Rohstoff-Menge [Mt]	geschätzter Anteil für BbKs [%]	Biomassepotenzial für BbKs [Mt]	t Rohstoff/t Polymer <sup>31</sup>	max. erzielbare BbKs-Menge [Mt]
Stärkerohstoff <sup>32</sup>	23	10 %	2,3	3,5	0,66
Zuckerrübe <sup>33</sup>	112	50 %	56	16	3,5
Holz <sup>34</sup>	170	15 %	26	10	2,6
Abfall/Reststoffe <sup>34</sup>	33	30 %	10	20	0,50
Landwirtschaftl. Abfälle <sup>34</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>

**Biomassepotenzial Europa für BbKs (Perspektive 2050)**

	Rohstoff-Menge [Mt]	geschätzter Anteil für BbKs [%]	Biomassepotenzial für BbKs [Mt]	t Rohstoff/t Polymer	max. erzielbare BbKs-Menge [Mt]
Kartoffel <sup>32</sup>	56	10 % <sup>35</sup>	5,6	4,0	1,4
Mais <sup>32</sup>	61	10 %	6,1	3,7	1,6
Weizen <sup>32</sup>	144	10 %	14	2,6	5,5
Zuckerrübe <sup>33</sup>	112	50 %	56	16	3,5
Holz <sup>34</sup>	170	15 %	26	10	2,6
Abfall/Reststoffe <sup>34</sup>	33	50 %	17	20	0,83
Landwirtschaftl. Abfälle <sup>34</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>

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

<sup>31</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>32</sup> Quellen: Eurostat COMEXT (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb/>); Starch Europe ([www.starch.eu](http://www.starch.eu)) (Datenbasis 2016)

<sup>33</sup> Quelle: Eurostat COMEXT (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb/>) (Datenbasis 2016)

<sup>34</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>35</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.

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 6 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).

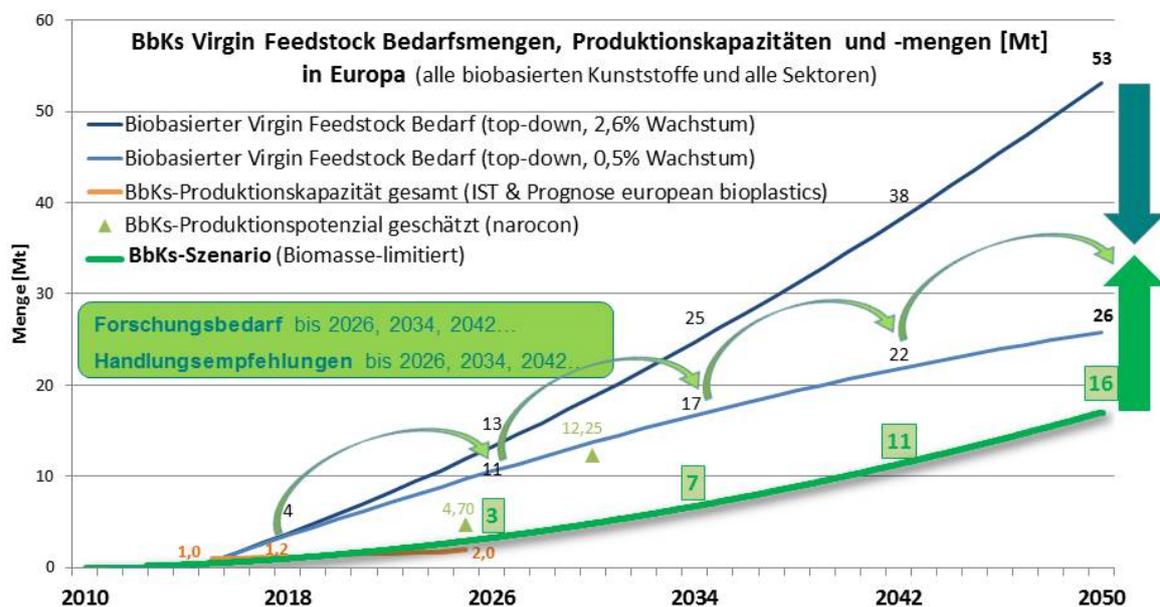


Abbildung 6: Biobasierter Kunststoff Szenario 2050.

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 **Verbraucherverhaltens** 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>36</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 Verpackungssektor 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>36</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>37</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>37</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 Kapitel 3 zu Nachhaltigkeit).

## 6. 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 (recycelbaren) 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 „bioabbaubar“** 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 Entkoppelung 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 im 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.

## 7. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

Obwohl es bereits vielfältige Entwicklungen im Bereich der Biokunststoffe<sup>38</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 Gegentrend 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>39</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

---

<sup>38</sup> Hier: ‚biobased‘, also auf Basis nachwachsender Rohstoffe – nicht ‚biodegradable‘ (siehe auch Kapitel 3 Stand der Technik und des Wissens sowie <http://www.europeanbioplastics.org/bioplastics/>)

<sup>39</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.

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 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 sowie 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.

## 8. Abkürzungsverzeichnis

BbKs: biobasierte Kunststoffe

Bio-PET30: zu 30 % biobasiertes PET

CA: Celluloseacetat

CO<sub>2</sub>: Kohlendioxid

EMAF: Ellen MacArthur Foundation

EN: Europäische Norm

EU: Europäische Union

FDCA: 2,5-Furandicarbonsäure

F&E: Forschung und Entwicklung

FTI: Forschung, Technologie und Innovation

GHG: Greenhouse gases

H<sub>2</sub>: Wasserstoff

HMF: 5-Hydroxymethylfurfural

LCA: Life Cycle Assessment

Mt: Megatonnen

NAWARO: nachwachsende Rohstoffe

(Bio-)PA: (biobasiertes) Polyamid

PEF: Polyethylenfurandicarboxylat

PHA: Polyhydroxyalkanoat

PLA: Polymilchsäure

PU, PUR: Polyurethan

SDGs: Sustainable Development Goals der UN

THG: Treibhausgase

TPS: Thermoplastische Stärke