



# ERSATZ VON FOSSILEN ROHSTOFFEN MATERIALIEN FÜR EINE BIOBASIERTE LEBENS- UND WIRTSCHAFTSWEISE

HERAUSFORDERUNGEN UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

## ERSATZ VON FOSSILEN ROHSTOFFEN

### MATERIALIEN FÜR EINE BIOBASIERTE LEBENS- UND WIRTSCHAFTSWEISE

1	EINFÜHRUNG BIOPOLYMERE UND BESTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN	5
2	ROHSTOFFBASIS FÜR BIOPOLYMERE	11
3	NUTZUNG UND ANWENDUNGSBEREICHE	21
4	BIOPOLYMERE IM KREISLAUF	33
5	ZUSAMMENFASSEND E BETRACHTUNG & ZENTRALE FORDERUNGEN	43
	LITERATURVERZEICHNIS	46
	IMPRESSUM	50

# 1 EINFÜHRUNG

## BIOPOLYMERE UND BESTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN

### HINTERGRUND

Der anthropogene Klimawandel ist die größte Herausforderung unserer Zeit. Mehr als 90 % der emittierten Treibhausgase enthalten Kohlenstoff, welcher wiederum zu mehr als 80 % aus fossilen Quellen stammt.<sup>1</sup> Um die Klimaziele des Übereinkommens von Paris einhalten zu können, muss ein Großteil der noch vorhandenen fossilen Rohstoffe zwingend im Boden verbleiben und bereits in Nutzung befindlicher Kohlenstoff besser im Kreislauf gehalten werden, um nicht in die Atmosphäre zu gelangen. Auf der anderen Seite ist Kohlenstoff der wichtigste Baustein und das Grundgerüst der meisten heute genutzten Chemikalien und Materialien. Eine Dekarbonisierung ähnlich dem Energiesektor ist somit faktisch im Materialsektor unmöglich.

Ob der Kohlenstoff aus fossilen oder erneuerbaren Rohstoffen stammt, ist für die Eigenschaften der daraus entstehenden Produkte zunächst nicht relevant. Aus technologischer, ökologischer und wirtschaftlicher Sicht ist die Rohstoffquelle jedoch von entscheidender Bedeutung. Die Bandbreite der Anwendungen erneuerbaren Kohlenstoffs reicht dabei von nahezu unveränderter Nutzung wie beispielsweise Bauholz bis zu synthetischen Produkten wie Kunststoffen.

Um in Zukunft eine klima- und umweltverträgliche Versorgung mit kohlenstoffbasierten Materialien sicherzustellen, ist ein Wandel von der Nutzung fossilen Kohlenstoffs hin zu biobasierten, erneuerbaren Ressourcen, wie z.B. Holz, Zucker oder Pflanzenölen, und der Aufbau einer möglichst regionalen Wertschöpfungskette notwendig. Die Vielseitigkeit biobasierter als auch bioabbaubarer Materialien und deren Mehrwert für Umwelt, Industrie und Gesellschaft sollen in den nachfolgenden Kapiteln betrachtet werden. In den Kapiteln „Rohstoffbasis für Biopolymere“, „Nutzung und Anwendungsbereiche“ und „Biopolymere im Kreislauf“ fokussiert der Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern die Schwerpunkte der Nutzung biobasierter und/oder bioabbaubarer Polymere und beleuchtet die Bereiche des Wertschöpfungskreislaufs von der Rohstoffbasis über Anwendungsfelder bis zur Kreislaufführung der Polymere im Sinne des Cradle to Cradle Prinzips.<sup>2</sup>

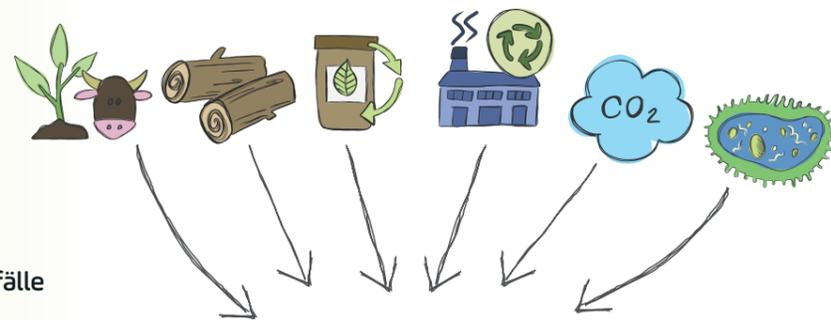
*Ein Wandel von der Nutzung fossilen Kohlenstoffs hin zu biobasierten, erneuerbaren Ressourcen ist notwendig, um in Zukunft eine klima- und umweltverträgliche Versorgung mit kohlenstoffbasierten Materialien sicherzustellen.*

Die ausgewählten Beispiele dieser Broschüre sollen exemplarisch für die Potenziale der Bioökonomie stehen. Mit ihnen soll aufgezeigt werden, wie es neue technische und chemische Verfahren ermöglichen, nachwachsende Rohstoffe zur Gewinnung von herkömmlichen oder neuen Werkstoffen und Chemikalien zu nutzen, welche von diesen bereits aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden und welche Vorteile mit ihrer Herstellung und Verwendung verbunden sein können. Diese können sowohl ökonomischer als auch ökologischer oder sozialer Natur sein. Den Abschluss bildet das letzte Kapitel „Zusammenfassende Betrachtung und zentrale Forderungen“.

# EINFÜHRUNG BIOPOLYMERE UND BESTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN

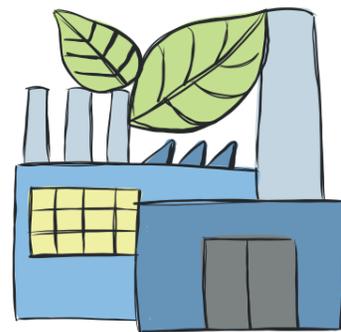
## BIOGENE ROHSTOFFBASIS

Als Basis zur Herstellung biobasierter Polymere dienen verschiedene Nachwachsende Rohstoffe, organische Abfälle oder industrielle Neben- & Restströme. Ebenso kann gewonnenes CO<sub>2</sub> als Rohstoff genutzt werden.



## ANWENDUNGEN UND NUTZUNG VON BIOPOLYMEREN

In Bioraffinerien und weiteren verarbeitenden Betrieben entstehen aus den biogenen Rohstoffen vielseitige Biopolymere und Materialien.



## IM KREISLAUF GEDACHT

Biopolymere werden nach ihrer Nutzung als Ver- und Gebrauchsgüter durch technisches oder biologisches Recycling im Kreislauf gehalten. Das spart Ressourcen und der Kohlenstoff bleibt überwiegend gebunden. Schädliche Auswirkungen durch (unvermeidbare) Eintragungen in die Umwelt können durch biologisch abbaubare Materialien reduziert werden.



## PROBLEMBESCHREIBUNG UND LÖSUNGSANSÄTZE

Basierend auf allgemeinen Prognosen zu Bevölkerungswachstum und Wohlstandsentwicklung wird der zukünftige Bedarf an Materialien, insbesondere Kunststoffen, global gesehen weiter ansteigen. Die Internationale Energieagentur (IEA) schätzt, dass die Erdölnachfrage bis 2025 zu 14 % aus der Petrochemie stammen wird (2020: 12 %).<sup>3</sup> Dies wird, neben ungelösten Problemen wie Plastikmüll in der Umwelt, unter den derzeitigen Gegebenheiten zwangsläufig zu einer weiteren Zunahme der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Materialsektors führen. Um diese Entwicklung zu unterbrechen, sind dringend Maßnahmen notwendig. Eine naheliegende Option ist die Reduktion des primären Rohstoffbedarfs, beispielsweise durch Suffizienz, Wiederverwendung und Recycling. Aktuelle Beispiele innerhalb der EU sind das Verbot von bestimmten Einwegprodukten, die Revision der Verpackungsverordnung sowie verbindliche Ziele zu Recyclinganteilen von bestimmten Kunststoffprodukten. Allerdings ist eine vollständige Kreislaufschließung durch diese Maßnahmen allein nicht möglich, da unvermeidliche Verluste im Recyclingprozess oder während der Nutzung sowie Markt- und Nachfragewachstum die Einführung von zusätzlichem Kohlenstoff verlangen. Dieser Kohlenstoff sollte aus erneuerbaren Quellen stammen, beispielsweise Biomasse: Pflanzen nehmen während ihrer Wachstumsphase Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub> auf und lagern diesen in ihrem Gewebe ein. Durch Verwendung von pflanzlicher Biomasse als Rohstoff für langlebige Produkte, z.B. in Holzprodukten und -bauten, oder dem konsequenten Recycling kurzlebiger Produkte, z.B. Plastikverpackungen, wird dieser Kohlenstoff entweder langfristig gebunden oder im Kreislauf geführt. Durch die Nutzung nachwachsender, nachhaltig produzierter Rohstoffe wird somit die Transformation hin zu einer nachhaltigen, post-fossilen Wirtschafts- und Lebensweise ermöglicht, die im Einklang mit den Zielen von Klimaschutz, Biodiversität, Ressourceneffizienz, Wohlstandssicherung und globaler Gerechtigkeit steht. Durch intensive Forschung und Entwicklung ist es technologisch bereits heute möglich, eine Vielzahl von chemischen Zwischenprodukten oder Polymeren auf Basis von Biomasse qualitativ gleichwertig zu ersetzen. Die Herstellung von Biopolymeren findet beispielsweise über innovative bio- oder chemokatalytische Umwandlung von Biomassebestandteilen wie Kohlenhydraten oder Lignin statt. Die Spanne reicht dabei von molekular identischen Produkten (Drop-Ins), z.B. Polyethylen und Polypropylen, bis hin zu neuartigem „Bioplastik“ mit teilweise

*Durch die Nutzung nachwachsender, nachhaltig produzierter Rohstoffe wird die Transformation hin zu einer nachhaltigen, post-fossilen Wirtschafts- und Lebensweise ermöglicht, die im Einklang mit den Zielen von Klimaschutz, Biodiversität, Ressourceneffizienz, Wohlstandssicherung und globaler Gerechtigkeit steht.*

## EINFÜHRUNG BIOPOLYMERE UND BESTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN



neuen Eigenschaftsprofilen, z.B. Polymilchsäure und andere biobasierte Polyester. Unabhängig vom gewählten Biopolymer muss grundsätzlich eine bestmögliche Integration in bestehende und zukünftige Stoffkreisläufe angestrebt werden, um eine maximale Kreislaufführung des Kohlenstoffs zu erreichen und den zusätzlichen Bedarf an Kohlenstoff zu minimieren. Dies betrifft auch eine eventuell angestrebte (industrielle) Kompostierung als Lebensende-Szenario: da mit dem biologischen Abbau auch zwangsläufig die Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffs einhergeht, sollte dies nur für Produktkategorien die bevorzugte Lebensende-Option sein, in denen Wiederverwendung und Recycling nicht praktikabel sind oder eine Emission in die Umwelt nicht vermeidbar ist. Konkrete Anwendungsfälle wären beispielsweise Mulchfolien, Kompostbeutel oder Rasentrimmer-Mähfäden.

Auch wenn immer wieder neue Verfahren zur Herstellung von biobasierten Polymeren im Labormaßstab entwickelt werden, so scheitert es derzeit meist an deren großtechnischer Umsetzung. Das kann z.B. daran liegen, dass ein Verfahrensschritt zu aufwändig und kostenintensiv ist, als dass sich eine industrielle Produktion ökonomisch darstellen ließe.

Ein gutes Beispiel hierfür sind die Polyhydroxyalkanoate (PHAs). Diese Biopolymere werden von einigen Bakterienarten als natürlicher Speicherstoff produziert und sind daher allgegenwärtig. Sie können aus einer Vielzahl von Reststoffen hergestellt werden und sind unter den verschiedensten Umweltbedingungen sehr gut biologisch abbaubar, jedoch ist die großtechnische Aufreinigung immer noch zu teuer, um im Wettbewerb mit herkömmlichen Polymeren aus fossilen Quellen bestehen zu können. In einigen europäischen Ländern, wie z.B. Österreich, Rumänien, Griechenland, Italien, Spanien und Frankreich, hat eine umweltpolitisch motivierte Gesetzgebung dazu geführt, dass kompostierbare Tragetaschen auf Basis Nachwachsender Rohstoffe, trotz des höheren Preises, eine Chance auf dem Markt bekommen. Ein weiteres Problem bei neuen Polymeren liegt auch in der langwierigen Entwicklungszeit und schwierigen Markt-

einführung. Wenn ein neuer Kunststoff Anwendungen finden und für diese entwickelt und getestet werden soll, muss sicher sein, dass er auch in großen Mengen produziert werden kann. An der Herstellung der Kunststoffe wird aber erst gearbeitet, wenn sicher ist, dass sie auch Anwendungen finden. Ein Henne-Ei-Problem. Nur wenn alle Beteiligten entlang der Herstellungskette gemeinsam an Entwicklung und Vermarktung arbeiten, können sich neuartige Biokunststoffe durchsetzen.

Ein wichtiger Faktor für den Erfolg von Produkten aus Biopolymeren ist die öffentliche Wahrnehmung. Informationsdefizite zu bestehenden Eigenschaften oder Produktvorteilen biobasierter Anwendungen wie beispielsweise die Differenzierung der Begriffe „biobasiert“ und „bioabbaubar“ oder gar negative Assoziationen mit Produkten auf Basis Nachwachsender Rohstoffe, beeinflussen die Wahrnehmung der Konsument\*innen. Dementsprechend kommt der Aufklärung der Bevölkerung und von Entscheidungsträger\*innen zum Umgang mit biobasierten Produkten und der Kommunikation der ökologischen Vorteile bzw. Nachhaltigkeitsaspekte eine entscheidende Rolle zu.

Das bestehende und steigende Potenzial biobasierter Polymere wird in den fünf Kapiteln dieser Broschüre entlang des Wertschöpfungskreislaufs und im Kontext der Bioökonomie ganzheitlich beleuchtet. Um fossilbasierte Polymere in Zukunft effizient und nachhaltig durch Biopolymere zu ersetzen, müssen neue Wertschöpfungsstrukturen etabliert und bestehende Prozesse optimiert werden. Die besonderen Herausforderungen bei der Herstellung, Anwendung und Kreislaufführung biobasierter Polymere werden in den Kapiteln „Rohstoffbasis von Biopolymeren“, „Nutzung und Anwendungsbereiche“ und „Biopolymere im Kreislauf“ im aktuellen rechtlichen und industriellen Umfeld der (bayerischen) Bioökonomie betrachtet. Abschließend werden im letzten Kapitel die Herausforderungen und Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Biopolymeren zusammengefasst.

*Ein wichtiger Faktor für den Erfolg von Produkten aus Biopolymeren ist die öffentliche Wahrnehmung.*

## 2 ROHSTOFFBASIS FÜR BIOPOLYMERE

### HINTERGRUND

Biopolymere sind, strenggenommen, Polymere, die in der Natur natürlich vorkommen. Dazu gehören Proteine, die aus Aminosäuren aufgebaut werden, Nukleinsäuren wie DNA und RNA, die aus Nukleotiden aufgebaut sind, und auch Polysaccharide wie Zellulose und Stärke, die beide Polymere der Glucose darstellen, sowie Xanthan, Carrageen, Alginat, etc. Ein weiteres wichtiges Biopolymer stellt das im Holz enthaltene Lignin dar, welches eine der häufigsten organischen Verbindungen der Erde ist. Auch Polymere organischer Säuren kommen natürlicherweise in Zellen vor (z.B. Polyhydroxyalkanoate, kurz PHA). Ein Biopolymer setzt sich in aller Regel aus mehreren Hundert (einfache Proteine) bis Millionen (Chromosomale DNA) Monomereinheiten zusammen, wobei Proteine aus 20 und DNA aus vier Grundmonomeren aufgebaut sind. Die Rohstoffbasis für die Biosynthese in Zellen ist die Verwertung von organischen Stoffen (z.B. Glucose) oder anorganischen Stoffen (z.B. Kohlendioxid). Welche Rohstoffquelle nutzbar ist, hängt vom jeweiligen Organismus ab: Bakterien, die PHAs einlagern, nutzen bevorzugt organische Stoffe, wohingegen Pflanzen Kohlendioxid zum Aufbau von Cellulose oder Stärke (z.B. Kartoffel, Weizen) mittels Photosynthese nutzen. Der Begriff Biopolymer wird im industriellen Kontext weitergehend verstanden: Die Polymerisation der einzelnen Monomere muss nicht in einer Zelle stattgefunden haben, sondern kann auch chemisch umgesetzt worden sein. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist Polylactid (PLA), das aus Lactid hergestellt wird. Lactid wird wiederum aus von Bakterien synthetisierter Milchsäure (Laktat) gewonnen. Zur Unterscheidung spricht man hier von „biobasierten“ Polymeren im Gegensatz zu den oben genannten „biogenen“ Polymeren.

Zur Herstellung des Grundmaterials von Biopolymeren im industriellen Kontext werden die Synthesefähigkeiten von biologischen Zellen genutzt, um entweder das entstehende Biopolymer direkt zu verarbeiten (z.B. PHA) oder um ein Monomer zu gewinnen, das mittels weiterer Schritte in das Ziel-Biopolymer überführt wird (z.B. PLA).

Unabhängig davon, ob ein biobasiertes oder biogenes Polymer aus tierischer oder pflanzlicher Biomasse gewonnen wird, kommt der umweltfreundlichen Produktion der Biopolymere, die als Ausgangsstoffe für zahlreiche biobasierte Anwendungen genutzt werden und Materialien auf Basis fossiler Rohstoffe ersetzen, im Sinne einer nachhaltig gestalteten Bioökonomie eine bedeutende Rolle zu.

*Der umweltfreundlichen Produktion, im Sinne einer nachhaltig gestalteten Bioökonomie, kommt eine bedeutende Rolle zu - egal, ob ein Biopolymer aus tierischer oder pflanzlicher Biomasse gewonnen wird.*

## PROBLEMBESCHREIBUNG UND LÖSUNGSANSÄTZE

Wesentlich für den Wandel hin zu einer biobasierten Wirtschaft sind die regionale Rohstoffversorgung und Versorgungssicherheit. Die Versorgung deutscher und bayerischer Unternehmen mit Rohstoffen, Zwischenprodukten und Werkstoffen muss gegen Krisen, wie z.B. Lockdowns wegen Virus-Pandemien, Tankerunglücke und Engpässe bei Transportkapazitäten aus anderen Teilen der Welt gesichert werden.

In der Diskussion um den ökologischen Mehrwert von Biopolymeren (im Vergleich zu petrobasierten Alternativen) spielt die Herkunft der Rohstoffe eine grundlegende Rolle. Bei der Erzeugung von Biomasse fallen durch die Nutzung von Landmaschinen, Düngemitteln und Pestiziden große Mengen an Treibhausgasen an und es werden Flächen zum Anbau der Rohstoffe benötigt. In Bayern wurden 2018 rund 451.000 ha zum Anbau nachwachsender Rohstoffe verwendet, was einem Anteil von etwa 14 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche entspricht.<sup>4</sup> Auch Holz stellt einen wertvollen Rohstoff für lignozellulose-basierte Biopolymere dar, weshalb der nachhaltigen Forstwirtschaft eine ebenso wichtige Bedeutung zukommt. In der chemischen Industrie sind rund 13 % der insgesamt verarbeiteten Ausgangsmaterialien nachwachsende Rohstoffe.<sup>5</sup> Obwohl das Marktvolumen von biobasierten Kunststoffen und auch der Flächenbedarf zum Anbau der benötigten Rohstoffe sehr gering

sind, besteht die stetige Debatte um die Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion. Klar ist: Die Deckung des Lebensmittelbedarfs hat in jedem Fall Vorrang vor der stofflichen und nachfolgend energetischen Nutzung von Biomasse. Doch selbst langfristige Szenarien zeigen, dass bei einer beinahe vollständigen Substitution fossiler Kunststoffe durch solche auf Basis nachwachsender Rohstoffe nur insgesamt 4 – 7 % der global verfügbaren Landwirtschaftsfläche benötigt werden.<sup>6</sup> Daneben bieten auch die im Lebensmittelbereich anfallenden Abfall- und Reststoffe ein enormes Potential für die stoffliche Nutzung (~ 12 Mio. t Biomasse/a in Deutschland).<sup>7</sup>

Damit eine nachhaltige Bioökonomie umgesetzt werden kann, ist die umweltverträgliche Produktion der benötigten Biomasse entscheidend. Regionale Aspekte, wie negative Landnutzungseffekte (indirekte Landnutzungsänderung und Abholzung) oder lokale Aspekte, wie der zunehmende Maisanbau oder die übermäßige Nutzung von Agrarchemikalien, z.B. dem hohen Pestizideinsatz im Raps, wurden in der Vergangenheit stark kritisiert. Bestrebungen für eine Steigerung der Agrarproduktion bei gleichzeitiger Verringerung der Umweltbelastungen müssen weiter vorangetrieben werden.

Daneben kann auch Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) als Rohstoffquelle für neuen Kohlenstoff verwendet werden. Mit Carbon Capture and Utilisation (CCU)-Technologien kann CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen oder direkt aus der

*Wesentlich für den Wandel hin zu einer biobasierten Wirtschaft ist die gesicherte, regionale Rohstoffversorgung.*



Atmosphäre wieder nutzbar gemacht und der Kohlenstoffkreislauf geschlossen werden. Der Einsatz von CO<sub>2</sub> als Bestandteil von Materialien und Energieträgern trägt dabei zur Reduzierung des Bedarfs an fossilem und biobasiertem Kohlenstoff bei.

Ein großer Vorteil der Biopolymere ist, dass sie aus den verschiedensten organischen Materialien gewonnen werden können. Biomasse kann vielseitig genutzt werden und besonders Rest- und Nebenströme sind im Sinne der Kaskadennutzung und Ressourcenschonung geeignet, in einen stofflichen Verwertungspfad überführt zu werden, bevor sie aufgrund mangelnder Alternativen verbrannt oder vergärt werden. Welcher Reststrom bzw. Abfall für welchen Anwendungszweck genutzt werden kann oder tatsächlich genutzt wird, hängt einerseits von den technologischen Möglichkeiten ab und andererseits von der Wirtschaftlichkeit.

Als Beispiel hierfür sei das verbleibende Zellmaterial der Rohr- und der Rübenzuckerindustrie angeführt. In der Rohrzuckerindustrie ist es üblich, die Bagasse (entzuckerter Zuckerrohrstängel) als Brennstoff im Kesselhaus zur Herstellung der benötigten Prozesswärme und zur Stromerzeugung zu nutzen, während in der Rübenzuckerindustrie üblicherweise verschiedene Futtermittel aus dem entzuckerten Zuckerrübenzellmaterial hergestellt werden. Fallen die Futtermittelpreise oder steigen die Energiepreise weiter, kann es auch für die Rübenzuckerindustrie wirtschaftlich sinnvoll werden, das Zellmaterial ebenfalls im Kesselhaus zu nutzen oder die Rübenfasern werden als Zellstoffersatz genutzt. Dem Futtermittelmarkt würden diese Nebenprodukte in diesen Fällen aber so entzogen werden.

Weitere Beispiele für andere Neben- und sogar Abfallströme, bei denen Biopolymere zum Einsatz kommen, sind Gärreste aus Biogasanlagen, Rohglycerin aus der Biodieselherstellung, Holzhydrolysat, Bioabfälle, kommunaler Grün-



schnitt oder Stroh. Oftmals ist der Marktpreis für Rest- und Abfallstoffe sehr gering oder es fallen sogar Kosten für die Entsorgung an. Eine wertsteigernde Nutzung kann daher durchaus wirtschaftlich interessant sein. Damit ein möglicher Transport auch unter nachhaltigen Aspekten noch sinnvoll ist, sollte der Reststrom hochkonzentriert sein oder die Verwertung am Standort der Entstehung sein.

Restströme oder gar Abfallströme werden in Bioraffinerien durch möglichst vollständige Verwertung der pflanzlichen Rohstoffe allerdings bestmöglich vermieden. Aus dieser Logik heraus ist der Anfall an geeignet einsetzbaren Rest- und Abfallströmen sehr begrenzt bzw. bedarf einer klaren Definition, um werthaltige Nebenströme oder Nebenprodukte nicht mit Rest- oder Abfallströmen zu vertauschen.

Trotz der Erneuerbarkeit von Biomasse ist das Gesamtvolumen der pro Jahr erzeugten Biomasse begrenzt. Es werden daher bei einer effizienten Verarbeitung von Biomasse idealerweise alle Materialströme zur Herstellung von Lebensmitteln, Futtermitteln, Chemikalien, Materialien oder Energieträgern genutzt.

Biomasse besteht aus verschiedenen Materialklassen, hauptsächlich aus Kohlenhydraten, Proteinen, Fetten und Lignin. Darüber hinaus besteht jede Klasse nicht aus einer einzigen molekularen Komponente, sondern aus einer Vielfalt (z.B. verschiedene Proteine, die aus verschiedenen Aminosäuren gebildet werden). Dies bedeutet, dass jede Produktionsstätte auf der Basis von Biomasse mit verschiedenen Molekularklassen und Komponenten zu tun hat und außerdem nicht auf ein einzelnes Produkt ausgerichtet ist, sondern auf Produktvarianten, die z.B. von den verfügbaren Rohstoffen, Prozesstechnologien, Marktbedürfnissen usw. abhängen. In dieser Hinsicht kann eine Produktionsstätte auf der Basis von Biomasse mit einer petrochemischen (Verbund-)Raffinerie verglichen werden, in der Öl in verschiedene Fraktionen aufgeteilt wird, die zu verschiedenen chemischen Produkten weiterverarbeitet werden. Diese Analogie der integrierten Verarbeitung hat zu dem Begriff „Bioraffinerie“ geführt, wo

Biomasse als Rohstoff zur Herstellung verschiedener Produkte verwendet wird.

In der wissenschaftlichen Literatur, in Roadmaps oder Positionspapieren werden für Bioraffinerien unterschiedliche Definitionen beschrieben. Allen gemeinsam ist, dass sie ein integratives Konzept zur Nutzung von Biomasse aus verschiedenen Quellen zur Erzeugung einer Reihe von unterschiedlichen Produkten vorschlagen, wobei die umfassende Nutzung der eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe maximiert wird.<sup>8</sup> Bio- und petrochemische Raffinerien unterscheiden sich jedoch deutlich, z.B. hinsichtlich der Rohstoffe, der Materialverarbeitung und teilweise der Produkte. Mitunter sind Lebens- und Futtermittel sehr wichtige Produkte oder Nebenprodukte einer Bioraffinerie, während normalerweise keines dieser beiden Produkte an einem petrochemischen Produktionsstandort gewonnen werden kann. Ein weiterer

*Biomasse kann vielseitig genutzt werden und besonders Rest- und Nebenströme sind geeignet, in einen stofflichen Verwertungspfad überführt zu werden, bevor sie verbrannt oder vergärt werden.*

wichtiger Unterschied besteht darin, dass Biomasse aus chemischer Sicht häufig überfunktionalisiert ist, während es fossilen Rohstoffen an Funktionalität mangelt. Konkret bedeutet dies, dass die biogenen Rohstoffe, neben Kohlenstoff und Wasserstoff, zusätzlich größere Mengen an Sauerstoff als Heteroatome enthalten. Um das gleiche Produkt herzustellen, geht daher bei Biomasse als Ausgangsmaterial durch die Entfernung der Heteroatome Masse verloren, während bei der Nutzung fossiler Rohstoffe durch die Einführung von Heteroatomen Masse gewonnen wird (z.B. kann aus 1 t Cellulose nur ca. 300 kg PE hergestellt werden, wohingegen dafür nur 300 kg petrochemisches

Ethylen benötigt werden). Bei der Betrachtung desselben Produkts führt dies zu einem klaren wirtschaftlichen Vorteil für die Verarbeitung fossiler Rohstoffe, solange Nachhaltigkeitsaspekte, wie beispielsweise Klimafolgekosten durch die Emission von CO<sub>2</sub>, nicht berücksichtigt werden.

1

### FÖRDERUNG DER NACHHALTIGEN BIOMASSEPRODUKTION

Zur nachhaltigen und effizienten Bereitstellung von Rohstoffen für die Herstellung von Biopolymeren gilt es einerseits, Kohlenstoff, so gut es geht, im Nutzungskreislauf zu halten und damit den Bedarf an neuem Kohlenstoff – ob aus fossilen oder biobasierten Quellen – zu verringern. Die Forschung an Technologien und Prozessen zur Nutzung von CO<sub>2</sub> sollte dazu weiter vorangetrieben werden. Der steigende Bedarf an Rohstoffen fordert eine nachhaltige Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft. Die Stilllegung von Waldflächen sollte dabei nur begrenzt erfolgen. Rohstoffherzeuger\*innen müssen explizit unterstützt werden, z.B. im Rahmen von Förderprogrammen zur nachhaltigen Bewirtschaftung land- und forstwirtschaftlicher Flächen und zur stofflichen Nutzung von Biomasse. In der Vergangenheit zeigte sich beispielsweise, dass durch die „Vermaisung“ der Agrarlandschaft zur Biogas-Substratgewinnung die Erzeugung biobasierter Energie auch negative Auswirkungen auf die Umwelt haben kann. Im Gegensatz dazu wird Biomasse im Sinne der nachhaltigen Bioökonomie vielseitig und effizient genutzt. Alternative Kulturen, die insbesondere die Biodiversität fördern, und einjährige lignozellulose-haltige Pflanzen sollten für eine bunte Bioökonomielandschaft in Bayern vermehrt angebaut werden. Ebenso wichtig ist es, den Rohstoffherzeuger\*innen ihre grundlegende Rolle bei der Transformation zu einer nachhaltigen Bioökonomie durch die Produktion regionaler, klimafreundlicher und umweltverträglicher Rohstoffe näher zu bringen. Mit der Entwicklung von Verfahren, die gemischte Stoffströme hin zu wenigen Produkten ermöglichen, kann auch aus großer Biodiversität stammende Biomasse sinnvoll umgewandelt werden.

2

### ETABLIERUNG VON ZERTIFIZIERUNGEN FÜR NACHHALTIGE BIOMASSE

Einheitliche Zertifizierungen, wie z.B. FSC, PEFC oder ISCC+-Zertifikate<sup>9</sup>, liefern eindeutige Hinweise zur Umweltverträglichkeit der Waldbewirtschaftung und den Produktionsbedingungen und sollten vermehrt eingeführt werden. Die Kennzeichnung nachhaltig produzierter Biomasse sowie daran anschließender Verarbeitungsprozesse bis hin zu Entsorgungsoptionen erleichtert allen Akteur\*innen entlang des Produktlebenszyklus eine Einstufung zum ökologischen Mehrwert eines biobasierten Produkts. Strengere Kriterien zu Herkunft, Anbau und Verarbeitung Nachwachsender Rohstoffe tragen zur Einsparung von Düngemitteln und Pestiziden bei, können Auskunft zum Wasserverbrauch, der Bodenbewirtschaftung oder dem Ausstoß (fossiler) CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Anbau und der Produktion geben. So kann bereits vor dem eigentlichen Produktionsprozess in der Bioraffinerie der Einsatz nachhaltig hergestellter Biomasse sichergestellt werden. Dadurch wird die Intention, dass die Herstellung der Biopolymere tatsächlich nachhaltiger ist als bei petrobasierten Pendanten, weiter vorangetrieben und auch für Endverbraucher\*innen werden bisher schwer nachvollziehbare Produktionsketten transparenter, wodurch die öffentliche Wahrnehmung Nachwachsender Rohstoffe verbessert werden kann.

3

### SICHERUNG DER ROHSTOFFVERFÜGBARKEIT BEI STEIGENDEM ROHSTOFFBEDARF

Der Bedarf an biobasierten Rohstoffen zur Herstellung diverser Zwischenprodukte und Materialien wird auch in Zukunft weiter ansteigen. Der damit einhergehenden Steigerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen muss jedoch zwingend entgegengewirkt werden. Zur Reduktion des primären Rohstoffbedarfs müssen bestehende Prozesse zur Wiederverwendung und dem Recycling optimiert und neue Wege etabliert werden. Auch hier ist die Verwendung bereits im Kreislauf befindlichen Kohlenstoffs zu nennen, wie die Nutzung von CO<sub>2</sub>.

Damit die Versorgung mit Biomasse zur Herstellung von Biopolymeren in Bayern gesichert werden kann, sollte vermehrt auf regional produzierte Rohstoffe gesetzt und die Biomasse im Sinne der Kaskadennutzung möglichst effizient verarbeitet werden. Der Einsatz Nachwachsender Rohstoffe, die in heimischer Land- und Forstwirtschaft erzeugt und in Bayern verarbeitet werden, fördert den Aufbau zusammenhängender Wertschöpfungskreisläufe. Die Sicherung der Rohstoffversorgung kann besonders durch zuverlässige Lieferketten gestärkt werden, in denen alle Akteur\*innen von den vielseitigen Absatzkanälen für Biomasse in der bayerischen Bioökonomie profitieren.

# 4

#### VORZUG DER STOFFLICHEN NUTZUNG VON ABFALL- UND RESTSTOFFEN

Organische Nebenprodukte, die derzeit in eine thermische Verwertung gehen, sollten im Sinne der Kaskadennutzung zukünftig weitestgehend stofflich genutzt werden, soweit sie nicht anderweitig, z.B. als Futter- oder Düngemittel, verwendet werden. Die energetische Verwertung von Biomasse sollte in jedem Fall erst erfolgen, wenn eine stoffliche Nutzung nicht mehr in Frage kommt.

An Lebensmittelindustrie, Forst- sowie Landwirtschaft gekoppelte Abfallströme fallen in großen Mengen an und können prinzipiell „sortenrein“ gesammelt werden, wodurch die stoffliche Nutzung in Bioraffinerien erleichtert wird.

# 5

#### WETTBEWERBSAUSGLEICH DURCH BEPREISUNG EXTERNALISierter KOSTEN

Um langfristig das Marktvolumen der biobasierten Chemikalien zu erhöhen, ist die wirtschaftliche Attraktivität der Rohstoffe maßgeblich. Derzeit sind Biopolymere oft schlechter verfügbar und häufig teurer als vergleichbare fossile Polymere, weil letztere externalisierte Umweltkosten nicht einpreisen und Herstellungsprozesse über lange Jahre erprobt sind. Dies unterstreicht die Bedeutung von kürzlich diskutierten Instrumenten, wie der CO<sub>2</sub>-Bepreisung, die schrittweise zu einer Veränderung dieser Diskrepanz führen und biobasierte Produkte und damit auch Biopolymere letztendlich wettbewerbsfähig gegenüber Produkten aus fossilen Rohstoffen machen könnten. Um Kompetenzen zu bündeln und die Fortschrittsgeschwindigkeit der Biopolymer-Forschung zu heben, empfiehlt sich außerdem die Schaffung von Bioraffinerie-Verbundstandorten in Bayern. Darüber hinaus müssen politische Rahmenbedingungen geschaffen werden, um die Etablierung bioökonomischer Produktionsprozesse im Binnenmarkt zu ermöglichen. Ein Abwandern industrieller Prozesse ins EU-Ausland zur Umgehung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung durch einen wirksamen Schutz an den EU-Außergrenzen (z.B. Carbon border adjustment mechanism) muss verhindert werden.<sup>10</sup>

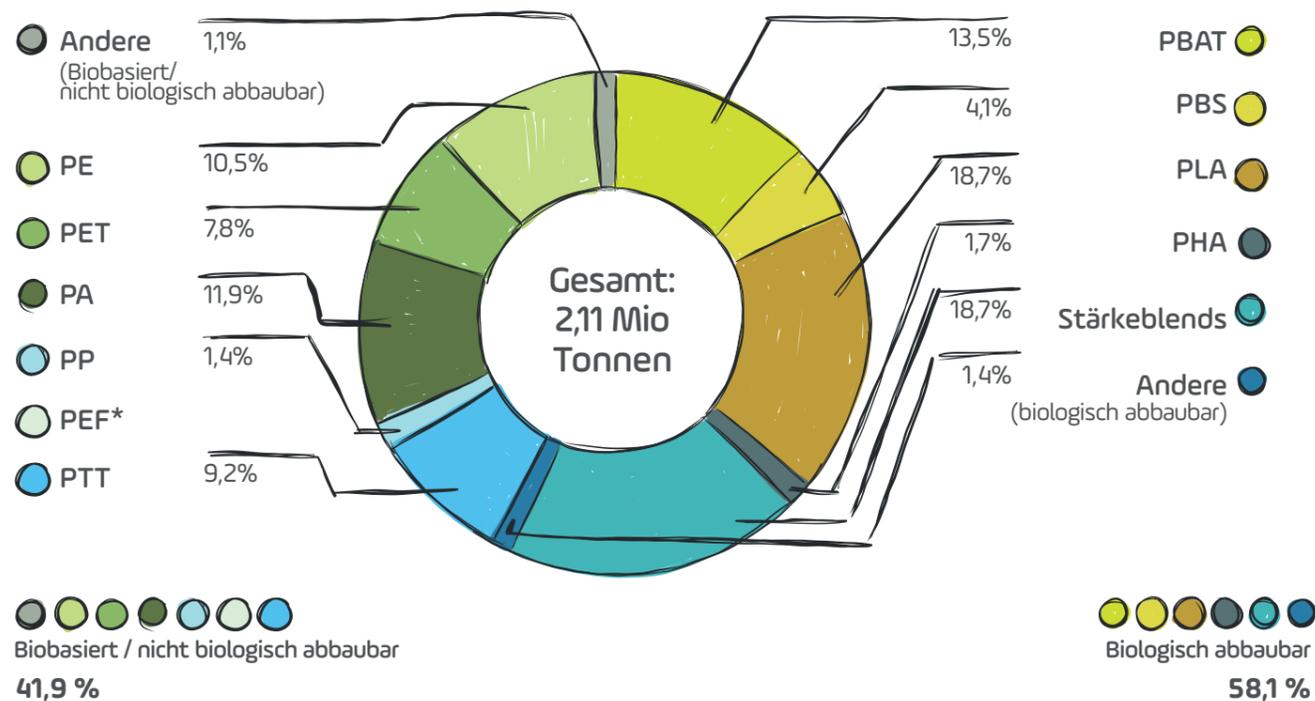
### HINTERGRUND

Biopolymere sind vielfältig hinsichtlich der verwendeten Rohstoffe, ihrer Herstellung, ihrer Eigenschaften und ihrer Verwendung. Im Folgenden sollen nur Beispiele von Biopolymeren betrachtet werden, die aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden.

Biopolymere wie Alginat, Xanthan oder Carrageen können beispielsweise zur Herstellung in Kosmetika, als Zusatz zu Farben und Lacken oder als Fließmittel verwendet werden und damit petrochemische Stoffe ganz oder zumindest teilweise ersetzen. Aus Chitin gewonnenes Chitosan und mithilfe von Bakterien oder Pilzen hergestellte biobasierte Tenside können in Waschmitteln zum Einsatz kommen und bieten nachhaltig erzeugbare und ökologisch attraktive Alternativen zu fossilbasierten Inhaltsstoffen. Es gibt aber auch Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen, die aus Polymeren bestehen oder Polymere enthalten, die in ihrer natürlichen Form verwendet werden, wie Wolle und Stroh. Häufig verwendete Polyamid-Kunststoffe, wie z.B. Nylon und Perlon können ebenfalls teilweise unter Verwendung nachwachsender Rohstoffe, z.B. Rizinusöl, hergestellt werden. Moderne Fasern, die wir u.a. in Sportbekleidung und Vliesstoffen finden, wie z.B. Lyocell, sind Regeneratfasern der Zellulose. PET-Getränkeflaschen können unter Einbindung von biobasiertem Monoethylenglykol (MEG) hergestellt werden und sind bereits bei internationalen Getränkeherstellern im Einsatz. Schließlich bestehen die kompostierbaren Obst- & Gemüsebeutel aus überwiegend biobasierten Stärke-Blends-Mischungen aus thermoplastischer Stärke und biologisch abbaubaren Polyestern. Dieser Überblick zeigt beispielhaft die Bandbreite der Rohstoffe und ihrer Anwendungen.

*Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen in Drop-in-Kunststoffen oder biologisch abbaubaren Kunststoffen kann dazu beitragen, die Umweltbelastungen, die mit unserem Konsum verbunden sind, zu reduzieren – sowohl in Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Emissionen als auch auf den Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt.*

## Globale Produktionskapazitäten für Biokunststoffe 2020 (NACH MATERIALIEN)



\* PEF befindet sich momentan in der Entwicklung und wird voraussichtlich ab 2023 im großtechnischen Maßstab verfügbar sein.

adaptiert von European Bioplastics / nova-Institut (2020)

Die Grafik zeigt, dass die Mengen von biobasierten und/oder biologisch abbaubaren Kunststoffen – meist biobasiert – im Vergleich zu den Produktionskapazitäten von fossilen Kunststoffen (2019: ~ 368 Mio. to<sup>11</sup>) mit einem Anteil von etwa 1 % noch gering sind. Einen großen Anteil davon halten die sogenannten Drop-In-Biokunststoffe. Sie können fossile Pendant, wie Polyethylen und Polypropylen 1:1 ersetzen, weil ihre chemischen Strukturen identisch sind. Drop-Ins wie Bio-PE oder das zumindest zu einem kleinen Teil aus Biomasse hergestellte Bio-PET werden oft in Verpackungen verwendet, wo sie die petrobasierten Polymere PE bzw. PET ersetzen. Ihr Vorteil besteht darin, dass sie Kohlenstoff enthalten, den Pflanzen erst vor kurzem – bei Holz innerhalb der letzten Jahrzehnte – der Atmosphäre entzogen und durch Photosynthese gebunden haben. Drop-In Biokunststoffe weisen grundsätzlich die gleiche chemische Struktur und damit auch die gleichen Verarbeitungs-, Gebrauchs-, Haltbarkeits- und Entsorgungsprofile wie entsprechende petrochemische Produkte auf. Je nach Herstellungsprozess können unterschiedlich hohe Anteile biogener Rohstoffe Eingang in das Produkt finden. Idealerweise werden beim Compoundieren, also der Veredelung der Kunststoffe durch die Beimischung von Additiven und Zuschlagstoffen, sogar ausschließlich Kunststoffe aus biogenen Rohstoffen verwendet. Derzeit machen Drop-In-Biokunststoffe mit 0,8 Mio. Tonnen rund 40 % der globalen Produktionskapazitäten für Biokunststoffe aus.<sup>12</sup> Hinter dieser Entwicklung stehen weltweit agierende Unternehmen aus den Bereichen Lebensmittel, Konsumgüter sowie der Automobilindustrie. Ihr Ziel ist es, durch den Verzicht auf erdölbasierte Rohstoffe und die Verwendung von rezyklierbaren Biokunststoffen den ökologischen Fußabdruck ihrer Produkte zu verbessern.

*Momentan wird die industrielle Produktion von den hohen Preisen des Monomers und fehlenden Produktionskapazitäten begrenzt.*

In technischen Biopolymeren hingegen, wie z.B. Polyester oder bestimmten faserverstärkten Kunststoffen, werden nachwachsende Rohstoffe eingesetzt, um Werkstoffe mit bestimmten technischen Eigenschaften zu erhalten. Das Polyethylenfuranoat (PEF) wird beispielsweise für verschiedenste technische Anwendungen, mitunter auch als Hochleistungspolymer, eingesetzt. Es ist dem fossilen Kunststoff PET sehr ähnlich, aufgrund seiner besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften dem PET in manchen Kriterien sogar überlegen. Momentan wird die industrielle Produktion nur von den hohen Preisen des Monomers und fehlenden Produktionskapazitäten begrenzt und nicht von der bestehenden Technologie. Als Basis-komponente kann PEF für eine breite Palette maßge-

schneiderter Polymerfasern verwendet werden.<sup>13</sup> Können die organischen Bestandteile von Polymeren durch biologische Aktivität, z.B. von Mikroorganismen oder Enzymen, in einfachere chemische Strukturen (CO<sub>2</sub>, Wasser und Biomasse) zerlegt und wieder in den biologischen Kreislauf eingebracht werden, spricht man von biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW). Die überwiegende Menge an BAW wird zur Herstellung von kurzlebigen Produkten, wie Verpackungen, Catering-Geschirr und -Besteck, Einkaufstüten, Bioabfallbeuteln oder landwirtschaftlichen Betriebsmitteln, wie Mulchfolien, verwendet.<sup>14</sup> Einige Einwegprodukte aus

fossilen wie auch biobasierten Kunststoffen wurden vor kurzem durch die Europäische Single-Use-Plastics Directive (EU) 2019/904 verboten. In Deutschland wurde diese Verordnung unter anderem mit der Einwegkunststoff-Verbotsverordnung in deutsches Recht umgesetzt. Die Verpflegung außer Haus ist weit verbreitet und Lunchboxen, Suppenschalen und Besteck scheinen unverzichtbar. Hier bahnt sich eine Umstellung von solchen Verpackungen aus herkömmlichen Kunststoffen auf biologisch abbaubare Kunststoffe an. Deren Vorteil besteht darin, dass mit Lebensmittelresten verschmutzte kompostierbare Catering-Artikel zusammen mit Speiseresten zu Kompost und – wenn eine Kompostierung nicht möglich ist – zu Biogas verwertet werden können. Durch den schnelleren Abbau in der Umwelt verursacht das Littering von BAW-Produkten zudem weniger drastische Auswirkungen als bei fossilen Kunststoffen.

Besonders problematisch hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen sind synthetische Fasern. Neben dem Einsatz von umwelt- und gesundheitsschädlichen Chemikalien bei der Produktion von Stoffen, verursachen Textilien wie Polyester auch während ihrer Nutzung weitere Probleme. So gelangen bei jedem Waschgang einer Fleece-Jacke ca. 250 000 Mikrofasern in das Abwasser.<sup>15</sup> Biogene und biologisch abbaubare Textilfasern als Alternativen dazu sind, neben Naturfasern wie Hanf oder Flachs, Fasern wie Viskose, Modal oder Lyocell, die durch vermehrt ökologische und sozialverträgliche Produktion die Modebranche revolutionieren. Durch ihre Eigenschaften weisen die Materialien andere bzw. bessere Funktionalitäten der Fasern im Vergleich zu Naturfasern auf und die Herstellung von Kleidungsstücken ist oft nach ökologisch-ethischen Standards zertifiziert (z.B. Tencel™).

### PROBLEMBESCHREIBUNG UND LÖSUNGSANSÄTZE

Mit Blick auf das steigende Bewusstsein der Gesellschaft zur Vermeidung von konventionellen Kunststoffen kommt zwangsläufig die Frage nach umweltfreundlicheren oder nachhaltigeren Alternativen auf. Im Konsumverhalten der Verbraucher\*innen spielen mitunter die Faktoren Zeit, Wissen, Verfügbarkeit und Gewohnheiten bei der Kaufentscheidung eine essenzielle Rolle. Durch mangelndes Wissen darüber, was eine nachhaltige Verpackung ausmacht und die geringe Verfügbarkeit von Produkten und Verpackungen auf Basis nachwachsender Rohstoffe, fällt die Wahl daher aktuell zumeist auf Produkte aus fossilen Kunststoffen oder herkömmliche Kunststoffverpackungen.<sup>16</sup> Besonders im Verpackungsbereich fehlen aktuell Instrumente, die den Nutzer\*innen helfen, die tatsächliche Nachhaltigkeit von biobasierten Verpackungen sowie Verpackungen im Allgemeinen einzuschätzen und damit die Möglichkeit, die wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Aspekte dieser Innovationen in ihrer Kaufentscheidung zu berücksichtigen. Sind biobasierte Produkte bzw. unverpackte Lebensmittel in Supermärkten und Discountern vorhanden, ist es oftmals der häufig höhere Preis der nachhaltigen Alternative, der gegen die Kaufentscheidung spricht.

Für viele petrobasierte Polymere existieren bereits biobasierte Alternativen. Es gilt nun einerseits, die



Produktionskapazitäten aus dem Labor- in den Industriemaßstab zu heben und andererseits, die zahlreichen Biopolymere auf den Märkten zu etablieren, ihre Position zu stärken und das Bewusstsein zu biobasierten Produkten zu steigern. Außerdem sollte vermehrt untersucht werden, für welche Industriezweige sich welche biobasierten Polymere eignen und als Substitute für fossile Polymere gefördert oder bevorzugt werden können. Es ist zu prüfen, welche gesetzlichen Regulierungsinstrumente (z.B. NawaRo-Quoten, CO<sub>2</sub>-Bepreisung/-Abgabe auf petrobasierte Produkte) implementiert werden können, um den Wandel der fossilen hin zur biobasierten Industrie voranzubringen.

Als ein Klassifizierungsmerkmal ist die biologische Abbaubarkeit der Polymere zu nennen. Bei Biopolymeren werden biobasierte und bioabbaubare Biopolymere unterschieden. Die Polymere können dabei auch beide Eigenschaften besitzen. Für welche Produkte die biologische Abbaubarkeit sinnvoll ist, hängt von der jeweiligen Anwendung ab. Grundsätzlich gilt im Sinne der Kreislaufwirtschaft, Kohlenstoff – biobasiert oder fossil – so lange wie möglich im Kreislauf zu halten.

Bei bestimmten Anwendungen ist eine Rückführung in den technischen Kreislauf nicht möglich, weil es beispielsweise bei der Nutzung zum Verschleiß oder Abrieb kommt und so Rückstände des Materials in der Umwelt oder in Gewässern verbleiben. Für den Einsatz von Kunststoffen in ökosensiblen Bereichen bieten abbaubare Materialien einen bedeutenden Mehrwert, wenn dadurch der Eintrag von Mikroplastik in die Natur vermindert wird.

Um einer Verwechslung oder Gleichsetzung der Begriffe „biobasiert“ und „biologisch abbaubar“ entgegenzuwirken, muss das Verbraucher\*innenverständnis zu den Eigenschaften deutlich erhöht werden.

Eindeutige Kennzeichnungen helfen den Anwender\*innen bei der richtigen Entsorgung der biobasierten bzw. bioabbaubaren Produkte.

Nicht abbaubare Anwendungen sind z.B. Drop-In-Biokunststoffe, die in bestehende Verarbeitungsstrukturen integriert werden und identische Eigenschaften wie konventionelle Kunststoffe aufweisen. Bio-PET kann problemlos mit fossilem PET zusammengeführt und recycelt werden. Dies ermöglicht eine leichte Integration in den bestehenden Kreislauf der Getränkeflaschen-Sammlung. Das chemische Recycling wird neue Optionen hinsichtlich der Verwertung von Biopolymeren eröffnen, z.B. könnte die Terephthalsäure aus der enzymatischen Spaltung von PET wiederum als Rohstoff für andere chemische Syntheseprozesse verwendet werden.

Um das Verständnis zur begrifflichen Differenzierung zu steigern, müssen sinnvolle End-of-life-Optionen klar identifiziert werden und die Produkte entsprechend eindeutig gekennzeichnet werden.

Kunststoffartikel, die in Verbindung mit Lebensmitteln eingesetzt werden, können in den Abfallstrom der organischen Abfälle gelangen, z.B. Obstetiketten, Lebensmittelverpackungen oder Kaffeekapseln, und erschweren die Produktion von sauberem Kompost ohne Kunststoffrückstände. Durch biologisch abbaubare Werkstoffe wird der Mikroplastik-Eintrag in die Natur, aufgrund der schnelleren Zersetzung des Materials, verringert. Im Rahmen des Bio-Beutel Projekts des C.A.R.M.E.N. e.V. konnte aufgezeigt werden, dass die kompostierbaren Obst- und Gemüsebeutel für den Einkauf und die Sammlung von Bioabfall gerne von den Verbraucher\*innen angenommen werden. Zudem konnten in Kompostuntersuchungen keine Folienrückstände der biologisch abbaubaren Beutel mehr nachgewiesen werden.<sup>17</sup> Der Einsatz von biologisch abbaubaren Beuteln sollte weiter vorangetrieben werden und es müssen die regionalen, abfallrechtlichen

Rahmenbedingungen, z.B. kommunale Abfallsatzungen, zur Biomüllsammlung angepasst werden – so können die Mengen an organischen Küchenabfällen, die getrennt gesammelt werden, signifikant gesteigert werden.

Das Mikroplastik-Problem besteht auch bei vielen weiteren Kunststoffanwendungen. Der Begriff bezeichnet feste Kunststoffpartikel, die aus Gemischen von Polymeren und funktionalen Zusatzstoffen sowie ggf. auch Verunreinigungen bestehen. Mikroplastikstoffe können Produkten absichtlich zugesetzt werden, wie beispielsweise in Kosmetika oder Pflegeprodukten, oder sie werden unbeabsichtigt gebildet, wenn sich Kunststoffartikel, wie Autoreifen oder synthetische Textilien, abnutzen. Diese Kunststoffpartikel gelangen so in Böden und Gewässer, wo sie zu einer permanenten Verunreinigung unserer Ökosysteme und Nahrungsketten beitragen.

*Besonders im Verpackungsbereich fehlen Instrumente, die den Nutzer\*innen helfen, die tatsächliche Nachhaltigkeit von biobasierten Verpackungen sowie Verpackungen im Allgemeinen einzuschätzen.*



# 1

#### STEIGERUNG DER WETTBEWERBSFÄHIGKEIT

Um die Bioökonomie voranzubringen reicht es nicht, nur die Erforschung und Entwicklung neuer Technologien und Materialien zu fördern, auch der Absatz der Produkte, die daraus hervorgehen, muss gefördert und in der Einführungsphase gegen billigere, nicht nachhaltige Produkte bzw. Produkte aus fossilen Rohstoffen geschützt werden.

Durch die finanzielle Förderung biobasierter Anwendungen bzw. fairer Bepreisung von externalisierten Kosten wird die Produktion nachhaltiger Biopolymere unterstützt. Dazu müssen geeignete Förder- und Lenkungsinstrumente definiert werden (z.B. Green Public Procurement (GPP) und CO<sub>2</sub>-Steuer).

# 2

#### ETABLIERUNG VON KENNZEICHUNGEN UND ZERTIFIZIERUNGEN

Informationen zu Umweltvorteilen und Nachhaltigkeitsaspekten biobasierter Produkte sind derzeit nicht ausreichend verfügbar und die Einordnung eines Produkts für Endverbraucher\*innen daher nur bedingt möglich. Zudem besteht kein klares Verständnis zur Differenzierung der Begriffe „kompostierbar“, „bioabbaubar“ und „biobasiert“, was den korrekten Umgang mit den Produkten erschwert.

Durch die Zertifizierung von Nachhaltigkeitsaspekten oder einer ganzheitlichen Produktbewertung durch Lebenszyklusanalysen könnten biobasierte Produkte mit entsprechenden Labels gekennzeichnet werden. Die ökologischen Vorteile biobasierter im Vergleich zu fossilen Anwendungen werden dadurch für Anwender\*innen transparent. Zudem kann durch ein entsprechendes Label eine Aussage zur Recyclingfähigkeit von Produkten oder Verpackungen getroffen werden. Bei Produkten, die aus mehreren Rohstoffen bestehen, wie z.B. Getränkekartons, könnte ein eindeutiger Hinweis, in welcher Abfalltonne die Verpackung entsorgt werden soll – Papier oder Leichtverpackungen –, die Qualität der einzelnen Abfallfraktionen erhöhen.

# 3

#### ANPASSUNG GESETZLICHER RAHMENBEDINGUNGEN

Es empfiehlt sich der Einsatz auf europäischer Ebene für eine sinnvolle, praxisnahe Auslegung der gesetzlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf den Begriff „natürliche Polymere“. Gemäß der Richtlinie 2019/904 (Europäisches Parlament und Rat 2019; „EU Single-Use Plastic Ban“) sind einige Produkte, die aus modifizierten natürlichen Polymeren, fossilen oder synthetischen Polymeren aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden, verboten. Dies gilt ebenso für Papiere und Pappen, die mit solchen Polymeren beschichtet wurden. Natürliche Polymere, die nicht chemisch modifiziert wurden, sind von der Richtlinie ausgenommen. Leider fallen auch biotechnologisch hergestellte, biologisch abbaubare Kunststoffe, wie z.B. PHA, die ähnlich gut wie z.B. Zellulose biologisch abbaubar sind, unter diese Richtlinie. Innovationen und die weitere Marktentwicklung für gut biologisch abbaubare Biopolymere werden dadurch gebremst.

# 4

#### UNTERSTÜTZUNG BEI FORSCHUNG & ENTWICKLUNG UND FÖRDERUNG VON FIRST-OF-ITS-KIND- & SCALE-UP-ANLAGEN

Schwerpunkte in der Biopolymerforschung sind mitunter die Ermittlung bzw. Untersuchung biobasierter Polymere, die gleichwertigen fossilbasierten Polymeren in ihren Eigenschaften ökologisch überlegen sind und diese in verschiedensten Bereichen ersetzen können. Neben der Forschung an innovativen, nachhaltigen Biopolymeren, kommt auch der Entwicklung neuer Verfahren, die eine großtechnische und wirtschaftliche Herstellung biobasierter Anwendungen ermöglichen, eine entscheidende Rolle zu.

Die Forschung und praktische Umsetzung in Industrie und Mittelstand muss weiter gefördert werden: Neben der Forschungsförderung an Universitäten und Hochschulen sollten verstärkt auch Förderprogramme für die anwendungsorientierte Forschung in mittelständischen Unternehmen und der Industrie angeboten werden. Zudem müssen Anreize zur Innovationstätigkeit von Unternehmen geschaffen und der Wissenstransfer von der Theorie in die Praxis beschleunigt werden. Die Förderung von Pilot-, Demonstrations- und First-of-its-kind-Anlagen wird auch in der bayerischen Bioökonomiestrategie behandelt.

# 5

## STEIGERUNG VON AUFKLÄRUNG UND GESELLSCHAFTLICHEM DIALOG

Um das Bewusstsein der Bevölkerung und der Industrie für die Umweltvorteile von biobasierten Produkten zu steigern, muss die Kommunikation zum Einsatz von Biopolymeren und deren Auswirkungen auf Klima, Umwelt und Kreislaufwirtschaft verstärkt werden. Das hätte sicherlich einen positiven Einfluss auf das Einkaufsverhalten zugunsten biobasierter, nachhaltiger Produkte. Die Differenzierung von kompostierbaren und biologisch abbaubaren und nicht abbaubaren Produkten muss klar kommuniziert werden, um das Verständnis der Öffentlichkeit zu den jeweiligen Vorteilen der Produkteigenschaften zu erhöhen. Informationen zum Mehrwert von nachhaltigem, biobasiertem Kohlenstoff im Vergleich zu fossilem Kohlenstoff verdeutlichen den Verbraucher\*innen die unterschiedlichen Umweltauswirkungen der Herkunft und Verwendung von Kohlenstoff.

Im Dialog mit der Öffentlichkeit müssen klare Informationen darüber bereitgestellt werden, wie biogene Rohstoffe sowohl in chemieindustriellen Prozessen als auch in der Nahrungs- und/oder Futtermittelkette genutzt werden können, ohne dass Nutzungskonkurrenzen auftreten. Kleinere, ggf. dezentrale Ausstellungen, Veranstaltungen, Lehrinhalte an Schulen, Ausbildungsstätten und auch Universitäten ermöglichen eine breit angelegte Wissensvermittlung.

Durch zielgruppenorientierte und transparente Informationskampagnen über verschiedene Kommunikationsmedien können Gesellschaft und Stakeholder für biobasierte Polymere und daraus erzeugte Produkte sensibilisiert und deren Handlungswissen gesteigert werden. Dabei sind auch Wirtschaft und Handel zu integrieren. Kritische Stimmen sollen in den Diskurs einbezogen und die Bekanntheit des interpretationsbedürftigen Begriffs „Bioökonomie“ in Verbindung mit Biopolymeren ausgebaut werden.

## 4 BIOPOLYMERE IM KREISLAUF

### HINTERGRUND

Die Vielfaltigkeit von Biopolymeren zeigt sich auch in den unterschiedlichen Entsorgungs- und Verwertungsmöglichkeiten von biobasierten Produkten.

Ein Nylon-Zahnrad aus einem Pedelec-Motor wird mehrere Jahre im Einsatz hinter sich gebracht haben, bis es dann (hoffentlich) rezykliert wird. Eine Zahnbürste mit Borsten aus Nylon sollte nach einigen Wochen Verwendung über den Restmüll entsorgt werden, wodurch sie in eine Verbrennungsanlage gelangt und thermisch verwertet wird. PET-Getränkeflaschen werden in der Regel eingesammelt und entweder gereinigt und wiederverwendet oder das PET wird geschreddert und rezykliert. Ein biobasierter Obst- & Gemüsebeutel, der anschließend zum Sammeln von Bioabfällen verwendet werden soll, muss auch kompostierbar sein, damit der Kompost und der Ackerboden nicht durch Mikroplastik verschmutzt werden.

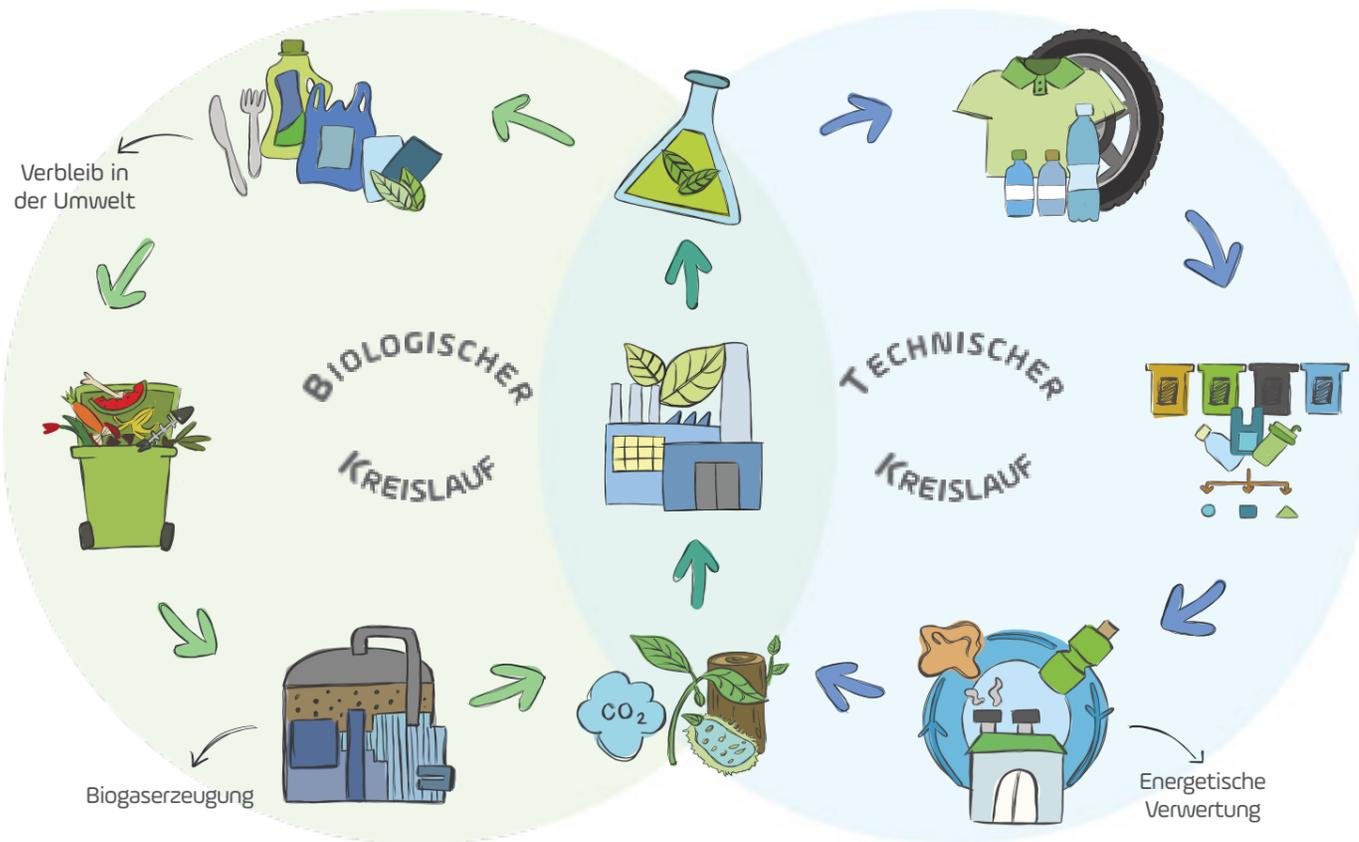
Grundsätzlich ist zu unterscheiden, wie Biopolymere im Sinne des Cradle to Cradle Prinzips<sup>18</sup> im Kreislauf geführt werden können. Die Abbildung auf der nachfolgenden Seite zeigt zum einen den technischen Kreislauf, in dem Produkte und Gebrauchsgüter, solange es möglich ist, genutzt, wiederverwendet oder durch chemische oder mechanische Aufbereitung rezykliert werden und damit der Einsatz neuer Ressourcen reduziert wird. Können Materialien oder Produkte nicht mehr sinnvoll im technischen Kreislauf gehalten werden bzw. kann ein Übertritt aus der Technosphäre in die Biosphäre nicht verhindert werden (z.B. aufgrund von Verschleiß oder Abrieb), sollten Produkte so gestaltet sein, dass sie sich in den biologischen Kreislauf integrieren lassen.

Innerhalb dieser beiden Kreisläufe werden Rohstoffe effizient und ökologisch genutzt und Ressourcen können erheblich sparsamer eingesetzt werden, als dies bei einer thermischen Verwertung der Fall ist.

Um die Rückführung der Produkte zu gewährleisten, sind funktionierende Sammelsysteme entscheidend, durch die Materialien dem besten Verwertungsweg zugeführt werden. Einen Ansatz dazu bietet die „Initiative Kreislaufverpackung“, die Lösungen zur Sammlung und Verwertung kompostierbarer Verpackungen vorschlägt.<sup>19</sup>

In der Kreislaufwirtschaft von morgen werden die biobasierten bzw. biologisch abbaubaren Produkte gemeinsam erfasst und im Anschluss durch maschinelle Sortierung entweder dem technischen Kreislauf zum Wertstoffrecycling zugeführt oder durch organisches Recycling in den biologischen Kreislauf gebracht.

*Dem Recycling von Biopolymeren liegen zwei Kreisläufe zugrunde: Im technischen Kreislauf werden Produkte und Gebrauchsgüter genutzt, wiederverwendet oder durch chemische oder mechanische Aufbereitung rezykliert. Können Materialien oder Produkte nicht mehr sinnvoll im technischen Kreislauf gehalten oder ein Übertritt in die Biosphäre nicht verhindert werden, sollten Produkte so gestaltet sein, dass sie sich in den biologischen Kreislauf integrieren lassen.*



## BIOPOLYMERE IM KREISLAUF DER BIOÖKONOMIE

Zur Umsetzung einer nachhaltigen Bioökonomie ist ein grundlegendes Umdenken notwendig – weg von linearen Nutzungsstrukturen hin zu einer bestmöglichen Kreislaufführung von Ressourcen.

Gebrauchsgegenstände auf Basis von Biopolymeren werden so lange wie möglich im technischen Kreislauf geführt, um dann nach Sammlung, Sortierung und Aufbereitung wieder als Werkstoff in die Produktion zu fließen.

Ist eine technische Kreislaufführung nicht möglich, werden biologisch abbaubare Materialien gesammelt und kompostiert – gerade in ökosensiblen Bereichen, wo der Eintrag von Stoffen in die Umwelt nicht vermeidbar ist, ist die biologische Abbaubarkeit einiger Biopolymere eine vorteilhafte Eigenschaft, um negative Auswirkungen auf die Natur zu reduzieren.

## PROBLEMBESCHREIBUNG UND LÖSUNGSANSÄTZE

Im vorhergehenden Kapitel wurden bereits einige Biopolymere, die im industriellen Maßstab hergestellt werden, und deren Anwendungsbereiche beschrieben. Ebenso wie fossil basierte Polymere, müssen auch die Biopolymere und die daraus gefertigten Produkte verschiedene rechtliche Normen erfüllen.

Diese beziehen sich einerseits auf die verwendeten Rohstoffe und Monomere, die z.B. durch die europäische REACH-Verordnung geregelt sind, andererseits auf den Einsatzbereich der Produkte, wenn diese z.B. als Verpackungen für Lebensmittel dienen und dabei mit Lebensmitteln in Kontakt kommen. Hier bestimmen die EU-Verordnungen (EU) Nr. 1935/2004 und (EU) 10/2011 (PIM) die Einsatzmöglichkeiten von Polymeren und den verwendeten Additiven. Sie sind nach „guter Herstellungspraxis so herzustellen, dass sie unter den normalen oder vorhersehbaren Verwendungsbedingungen keine Bestandteile auf Lebensmittel in Mengen abgeben, die geeignet sind, die menschliche Gesundheit zu gefährden oder eine unverträgliche Veränderung der Zusammensetzung (...) oder eine Beeinträchtigung der organoleptischen Eigenschaften der Lebensmittel herbeiführen“.<sup>20</sup>

Schließlich sind auch die möglichen Entsorgungswege festgelegt. Leichtverpackungen aus Kunststoff, Metall oder Verbundmaterialien müssen in Deutschland bei einem dualen Systembetreiber lizenziert und über die gelbe Tonne/den gelben Sack eingesammelt bzw. auf Wertstoffhöfe gebracht werden. Langlebige Produkte enden oft in der grauen Tonne und damit in einer Verbrennungsanlage. Die Verwertung von Verpackungen und Serviceverpackungen über die Kompostierung oder Vergärung ist nach deutschem Recht grundsätzlich nicht erlaubt, selbst wenn es ökologische Vorteile brächte. § 21 des deutschen Verpackungsgesetzes, der die „ökologische Gestaltung der Beteiligungs-

entgelte“ vorschreibt, könnte die Entwicklung und Herstellung von Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen befördern. Nach Abs. 1 Satz 2 soll „die Verwendung von Rezyklaten sowie von nachwachsenden Rohstoffen“ gefördert werden.<sup>21</sup> Dies soll dadurch erreicht werden, dass die Dualen Systeme, bei denen jeder Hersteller bzw. Inverkehrbringer einer Verpackung deren Einsammlung, Sortierung und ggf. Verwertung vorab bezahlen muss, geringere Gebühren für Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) oder mit hohem Rezyklat-Anteil bemessen als für vergleichbare Verpackungen aus fossilen Rohstoffen. Was wäre aber der Anreiz für die dualen Systembetreiber\*innen die Lizenzgebühren für ökologische Verpackungen zu senken, wenn die Kosten für die Sammlung und Sortierung gleich hoch sind wie für Verpackungen aus

*Was ist der Anreiz für die dualen Systembetreiber, die Lizenzgebühren für ökologische Verpackungen zu senken, wenn die Kosten für die Sammlung und Sortierung gleich hoch sind wie für Verpackungen aus herkömmlichen Kunststoffen und auch das Rezyklat nicht teurer verkauft werden kann?*



herkömmlichen Kunststoffen und auch das Rezyklat nicht teurer verkauft werden kann? Eine Steigerung der Material-Nachfrage wäre ein entscheidender Faktor für eine Verbesserung der Marktsituation von biobasierten Kunststoffen, was z.B. durch verpflichtende NawaRo-Quoten, ähnlich der zukünftigen Rezyklat-Quote für Kunststoff-Getränkeflaschen ab 2025, erreichbar wäre. Die Bestimmung des NawaRo-Anteils, sowohl in der Kunststoff-Neuware als auch im Rezyklat, kann durch eine simple Messung des Gehalts an <sup>14</sup>C-Isotopen (nach ISO 16620-2:2015 oder CEN/TS 16640:2017) erfolgen. Diese Isotope sind typischerweise nur in biobasierten Kohlenstoffverbindungen enthalten, nicht aber in fossilbasierten. Somit können biobasierte Kunststoffe leicht von solchen aus fossilen Rohstoffen hergestellten unterschieden werden und alle an der Wertschöpfungskette beteiligten Akteure erhalten eine Garantie für die Echtheit der Rohstoffe.

Mit dem Erlass der Verordnung (EU) 2019/904 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt (Single Use Plastics Directive – SUPD) wurden verschiedene Einwegprodukte aus Kunststoff verboten. Dabei wurde der Kunststoffbegriff so weit gefasst, dass auch Biokunststoffe, selbst wenn sie in der Natur vorkommen und biologisch abbaubar sind, darunter fallen. Ebenso fallen Produkte darunter, die überwiegend aus Papier oder Pappe bestehen und mit einer dünnen Kunststoff-Schicht versehen sind. Gleichzeitig fördert aber die EU die Entwicklung der Bioökonomie mit größeren Summen.

Dieses Beispiel zeigt, wie die Politik und die daraus folgende Gesetzgebung in sich widersprüchlich sein können. Die Wirtschaft wird durch solche Widersprüche nicht zur Investition in neue Materialien und Technologien im Bereich der Biokunststoffe animiert. Generelle Schwierigkeiten bei der stofflichen Verwertung von Kunststoffen werden derzeit z.B. durch den Einsatz von Verbundverpackungen bzw. Multilayer-Verpackungen und die Vermischung verschiedener Kunststoffe und Additive verursacht.

Der Ansatz des „Design for Recycling“ bietet Lösungen, wodurch bereits bei der Konzeption von Kunststoffprodukten deren Rezyklierbarkeit bedacht wird. Besonders im Bereich des

Ökodesigns können biobasierte Polymere zum Einsatz kommen. Hier ist die Etablierung von Verwertungsstrukturen entscheidend, um die Anwendungen entsprechend ihrer Eigenschaften im technischen bzw. biologischen Kreislauf zu führen.

Der möglichst geringe Einsatz von Additiven und Materialverbänden trägt dabei erheblich zur Verbesserung der Rezyklierbarkeit bei. Das Thema Biopolymer-Recycling könnte ein besonders nachhaltiger Weg sein, um pflanzlichen Kohlenstoff im Kreislauf zu führen. Hier bieten sich, je nach Produkt, verschiedene Arten des

Recyclings an. Verpackungen aus biobasiertem PET werden entweder über Pfandflaschen-Rückgabe oder die gelbe Tonne erfasst und können werkstofflich recycelt werden. Langlebige Produkte aus biobasierten Kunststoffen könnten über eine Wertstofftonne erfasst, durch Nahinfrarot-Sortierung abgetrennt und werkstofflich oder chemisch recycelt werden. Ab dem 1. Januar 2025 müssen gemäß § 20 Abs. 2 Satz 2 KrWG n.F. auch Textilabfälle getrennt gesammelt werden. Einem Team des Fraunhofer IAP ist es kürzlich gelungen,

*Biologisch abbaubare Produkte haben aufgrund ihres wesentlich kürzeren Verbleibs in der Natur weniger negative Auswirkungen auf die Umwelt.*

recycelte Zellulose zu Viskosefasern weiterzuverarbeiten.<sup>22</sup> Der Fachverband Textilrecycling im Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (bvse) hat berechnet, dass neben dem hohen Anteil weiterverwendeter Textilien ca. 34 % der eingesammelten Alttextilien als Putzlappen weiterverwendet, der thermischen Verwertung oder dem Recycling zugeführt werden, die potenziell für eine hochwertigere Weiterverarbeitung zur Verfügung stünden.<sup>23</sup>

# 1

#### FÖRDERUNG DES EINSATZES VON REZYKLATEN UND NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN IN VERPACKUNGEN DURCH VERBINDLICHE EINSATZQUOTEN UND NIEDRIGE LIZENZENTGELTE

Bei der Lizenzierung durch ein Duales System sollen Verpackungen aus Nachwachsenden Rohstoffen entsprechend des § 21 VerpackG besonders gefördert werden. Um Wettbewerbsnachteile auszugleichen und bevorzugt ökologische Verpackungen in Verkehr zu bringen, reichen allein niedrigere Lizenzgebühren für solche Verpackungen jedoch nicht aus. Es sind weitere Maßnahmen notwendig, um biobasierte Kunststoffverpackungen konkurrenzfähig zu machen.

Eine Verpflichtung zum Einsatz eines definierten Anteils an biobasierten Rohstoffen oder Monomeren, ähnlich der Verpflichtung zum Einsatz von 25 % Rezyklat in PET-Flaschen ab 2025, kann ebenfalls zur Steigerung der Nachfrage nach Biopolymeren beitragen.

# 2

#### FÖRDERUNG DES ÖKODESIGNS / DESIGN FOR RECYCLING

Nach wie vor werden Kunststoffe bewusst in die Umwelt freigesetzt. Die Ursachen der Freisetzung von Mikroplastik sind längst bekannt, dennoch werden auch in ökosensiblen Bereichen immer noch konventionelle, nicht abbaubare Kunststoffe eingesetzt. Bereits bei der Herstellung wird dabei in Kauf genommen, dass Produkte wie Autoreifen, landwirtschaftliche Mulchfolien oder Kunststoffkleinteile in Kosmetika, Textilien, etc. durch Verschleiß, Abrieb oder fehlende Rückführung während oder nach ihrer Nutzung in der Natur verbleiben. Biobasierte Polymere bieten zahlreiche Möglichkeiten, Produkte bereits bei ihrer Konzeption für eine unproblematische Rückführung in den biologischen oder technischen Kreislauf zu gestalten. Durch einheitliche Normen und Kennzeichnungen sowie die Reduktion des Einsatzes von Additiven und Verbunden, um möglichst homogene Stoffströme zu erzeugen, wird eine effiziente Kreislaufwirtschaft ermöglicht. Dies erfordert den Ausgleich von Wettbewerbsnachteilen, um die Abnahme recycelter Materialien sicherzustellen. Daneben kommt der Integrierbarkeit von Rezyklaten in bestehende Herstellungsprozesse und Nutzungsszenarien eine wichtige Rolle zu, wofür gleichbleibende, zertifizierte Rezyklatqualitäten von grundlegender Bedeutung sind.

# 3

#### OPTIMIERUNG VON SAMMLUNG UND SORTIERUNG

Durch die getrennte Sammlung und Verwertung von organischen Abfallströmen gelangen wertvolle Nährstoffe wieder in die natürliche Umgebung zurück. Biologisch abbaubare Beutel können die Sammlung von Bioabfällen fördern und somit die Rückführung der Nährstoffe aus organischen Abfällen steigern. Verbraucher\*innen sind mit diesem Erfassungssystem vertraut und durch die klare und eindeutige Kennzeichnung der Beutel werden Fehlwürfe vermieden.

Ebenso sollten Verfahren zur Sortierung und zum Recycling von Verpackungen aus oder mit Biopolymeren weiterentwickelt werden. Mittels chemischen oder enzymatischen Recyclings könnten wertvolle Rohstoffe aus Verbundverpackungen gewonnen werden, die auch zur Herstellung anderer hochwertiger Produkte eingesetzt werden könnten.

Um (biobasierte) Kunststoffprodukte im technischen Kreislauf zu halten, können Pfandsysteme zur Steigerung der Sammelmengen beitragen, wie es bereits für PET-Getränkeflaschen existiert. Daneben ist eine Erfassung über die gelbe Tonne bzw. Wertstofftonne zwar sinnvoll und sehr praktikabel, essenzielle Bedeutung liegt jedoch in der anschließenden Auftrennung der einzelnen Materialströme und der Schaffung ökologisch sinnvoller Verwertungswege.

Zur Erhöhung der Recyclingraten kann auch eine Beschränkung auf die „essenziellen“ Polymere (PE, PP, PET) beitragen, da so große Mengen sortenreiner Verwertungsströme erzielt werden können.

# 4

#### FÖRDERUNG CHEMISCHER UND ORGANISCHER RECYCLINGVERFAHREN

Das Umweltbundesamt steht dem chemischen Recycling von Kunststoff-Verpackungsabfällen aus der gelben Tonne skeptisch gegenüber.<sup>24</sup> Organisches Recycling, d.h. Kompostierung und Vergärung, wird nicht anerkannt. Die thermische Verwertung von Verpackungsabfällen wird in Deutschland jedoch toleriert. Die Verwertung von Abfällen sollte technologieoffen gefördert werden, chemisches und organisches Recycling müssen als Verwertungswege anerkannt werden und entsprechend auf die Verwertungsquoten anrechenbar sein. Zudem braucht es Anreize und Förderprogramme für Recyclingunternehmen, um in innovative Recyclinganlagen und neue Technologien zu investieren.

# 5

## AUFHEBUNG DER BENACHTEILIGUNG VON BIOBASIERTEN, BIOLOGISCH ABBAUBAREN POLYMEREN UND PRODUKTEN DURCH EU-VERORDNUNGEN

Die SUPD und die 2021 veröffentlichten Leitlinien (EC Guidelines vom 21.05.21) zu deren Auslegung zeigen deutlich, dass die Verantwortlichen in der Kommission in Brüssel Einwegkunststoffprodukte – auch biobasierte und biologisch abbaubare – mittelfristig verbieten wollen, ohne auf der anderen Seite klare Regeln für Mehrwegkunststoff-Produkte zu definieren, wie beispielsweise Nachweise über die tatsächliche Anzahl der Nutzungen.

Wo sinnvoll, sind fossilbasierte, nicht biologisch abbaubare Materialien, die nur einen kurzen Lebenszyklus in ihrer Applikation haben, durch biologisch abbaubare und idealerweise vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen erstellte Materialien zu substituieren. Als Beispiele seien hier Primärverpackungen von Lebensmitteln genannt, die im Einzelhandel verwendeten Hemdchenbeutel oder auch Mülltüten. Biologisch abbaubare Produkte haben aufgrund ihres wesentlich kürzeren Verbleibs in der Natur – besonders in sensiblen Bereichen – weniger negative Auswirkungen auf die Umwelt. Vor allem in Land- und Forstwirtschaft gibt es Anwendungen für biologisch abbaubare Kunststoffe, die erhebliche Vorteile zur Vereinfachung verschiedener Prozesse und Ertragssteigerungen mit sich bringen. Hier sind beispielhaft abbaubare Mulchfolien, Verbisschutz für Jungpflanzen (Wuchshüllen), Obst- und Gemüseetiketten oder Pflanzen-Befestigungsclips zu nennen. Weitere Anwendungen werden im Abschlussbericht des Projekts BioSinn des nova-Instituts beschrieben.<sup>25</sup>

# 6

## NEUFASSUNG DER BERECHNUNGSMETHODEN FÜR RECYCLINGQUOTEN

Die aktuelle Definition der Recyclingquote von Verpackungen ist auch im Kontext der Verwertung von biobasierten Verpackungen problematisch. Gerade bei neuartigen (biologisch abbaubaren) Biopolymeren wird oft kritisch auf die fehlenden Verwertungswege und die dadurch „schlechte“ Rezyklierbarkeit verwiesen. Doch die vermeintlich hohen Recyclingquoten konventioneller Kunststoffe sind nach aktueller Berechnungsgrundlage ein Trugschluss. Im Jahr 2019 lag die Recyclingquote in Deutschland offiziell bei 47 %. Der Begriff der Recyclingquote ist jedoch missverständlich, da als Berechnungsgrundlage die Input-Menge der in die Recyclinganlage gehenden Post-Consumer-Abfälle und nicht der tatsächlich recycelte Output herangezogen wird. Nimmt man die Gesamtmenge der anfallenden Post-Consumer-Kunststoffe als Grundlage, werden in Deutschland nur etwa 19 % zu Rezyklat verarbeitet.<sup>26</sup> Aus diesem Grund sollte unbedingt eine outputbasierte Berechnung erfolgen, um Auskunft über die tatsächlich stofflich recycelten Mengen zu erlangen. Dass die reale Recyclingquote demnach weitaus niedriger ist, verdeutlicht die Notwendigkeit verbesserter Verwertungsströme, die nicht nur für Anwendungen aus Biopolymeren und natürlichen Packstoffen etabliert, sondern genauso für bestehende Verwertungswege überarbeitet werden müssen. Durch den Ausgleich des Wettbewerbsnachteils von Rezyklaten würde ein weiterer Anreiz zum stofflichen Recycling von Kunststoffen geschaffen werden.

## 5 ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG

### & ZENTRALE FORDERUNGEN

#### ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG

Kunststoffe und andere kohlenstoffbasierte Materialien werden auch in Zukunft wesentliche Grundstoffe für verschiedenste Anwendungen sein. Um den Umgang mit diesen Materialien nachhaltig und umweltverträglich zu gestalten, sind Rohstoffquelle und Endverbleib entscheidend: In der Bioökonomie wird Kohlenstoff aus nachhaltig angebaute Biomasse und CO<sub>2</sub> genutzt. Dabei wird der biogene Kohlenstoff möglichst lange in der Technosphäre gehalten, bis er ohne negative Umweltauswirkungen zurück in die Biosphäre geführt werden kann – eine ideale Gestaltung des Kreislaufs der Biopolymere. Dies erfordert ein neues Verständnis für Materialeigenschaften, das eine nachhaltige Rohstoffbereitstellung, effiziente Herstellungsprozesse und die uneingeschränkte Rezyklierfähigkeit der Produkte voraussetzt.

Biobasierte Polymere finden sich heute schon in einigen Massenprodukten, z.B. in technischen Anwendungen, zur Faserherstellung, in Verpackungen oder Konsumgütern. Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen in Drop-in-Kunststoffen oder biologisch abbaubaren Kunststoffen kann dazu beitragen, die Umweltbelastungen, die mit unserem Konsum verbunden sind, zu reduzieren, sowohl in Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Emissionen als auch auf den Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt. Biopolymere können recycelt werden und tragen damit zur Abfallvermeidung bei.

Forschung und Entwicklung, ebenso wie die Förderung neuartiger Anlagen zur chemischen Verwertung nachwachsender Rohstoffe, ermöglichen die Entwicklung weiterer Biopolymere aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen und schaffen Arbeitsplätze. Sie verringern unsere Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen und machen unsere Wirtschaft krisensicherer. Gelingt es uns, die daraus gefertigten Produkte im Kreislauf zu führen, sinkt der Flächenbedarf für die landwirtschaftliche Erzeugung der Rohstoffe.

*In der Bioökonomie wird Kohlenstoff aus nachhaltig angebaute Biomasse und CO<sub>2</sub> genutzt. Dabei wird der biogene Kohlenstoff möglichst lange in der Technosphäre gehalten, bis er ohne negative Umweltauswirkungen zurück in die Biosphäre geführt werden kann.*

#### WICHTIGE ASPEKTE UND FORDERUNGEN

Biopolymere können flexibel und anwendungsoptimiert eingesetzt werden: Drop-In-Biokunststoffe werden in bestehende Prozesse integriert und können mechanisch oder chemisch recycelt werden, wodurch der Einsatz fossiler Rohstoffe gesenkt werden kann.

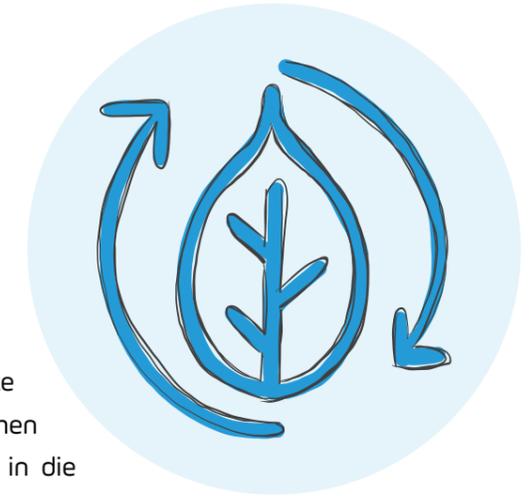
Biobasierte Produkte, die biologisch abbaubar sind, finden besonders in ökosensiblen Bereichen Anwendung: Textilien, Pflege- und Reinigungsprodukte oder Hygieneartikel, die momentan häufig Kunststoffrückstände in natürliche Kreisläufe einbringen und Produkte, die durch Verschleiß oder Abrieb zwangsläufig in die Natur gelangen, müssen durch biologisch abbaubare Produkte ersetzt und damit Mikroplastikeinträge in die Umwelt vermieden werden.

## ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG & ZENTRALE FORDERUNGEN

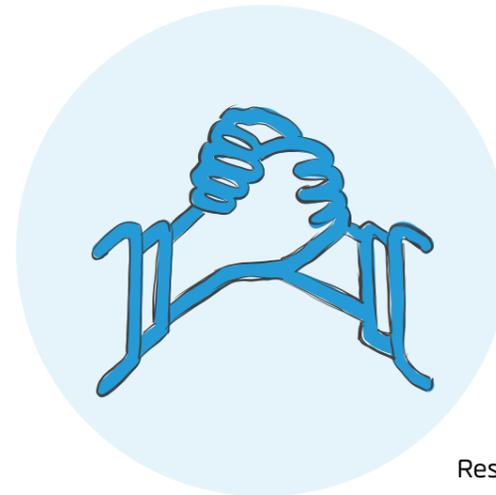
Zur Steigerung des Marktvolumens und dem Ausgleich von Wettbewerbsnachteilen von biobasierten Polymeren sind rechtliche und finanzielle Anreize zur Herstellung und Verwendung der Materialien erforderlich. Die Bevorteilung fossiler Produkte muss beendet werden, was durch eine Bepreisung externalisierter Kosten, wie CO<sub>2</sub>-Emissionen und weiteren negativen Umweltauswirkungen, erreicht werden kann. Der Unterstützung bei der Entwicklung von Biopolymeren und der Planung praktikabler Herstellungsprozesse sowie deren Umsetzung im Demonstrations- bzw. industriellen Maßstab kommt dabei eine ebenso wichtige Rolle zu.



Das Recycling von Polymeren muss in der Praxis auch tatsächlich umgesetzt werden. Es müssen sinnvolle End-of-Life-Optionen für biobasierte und biologisch abbaubare Anwendungen identifiziert und umgesetzt werden. Grundsätzlich sollen im Sinne eines effizienten und sparsamen Einsatzes von Ressourcen auch Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen einem technischen oder chemischen Recycling zugeführt werden. Kann der Übergang eines Produkts in die Biosphäre nicht vermieden werden, sollten biologisch abbaubare Anwendungen negative Umweltauswirkungen weitestgehend verhindern. Eine Weichenstellung durch Änderung der politischen Rahmenbedingungen ist dringend nötig. Durch die Förderung innovativer Recyclingtechnologien und die Unterstützung bei der Errichtung neuer Anlagen können die Ziele der Kreislaufwirtschaft in Bayern umgesetzt werden. Außerdem bedarf es klarer gesetzlicher Vorgaben und finanzieller Anreize zur recyclingfreundlichen Gestaltung von Ge- und Verbrauchsgütern, um den Einsatz von Biopolymeren zu erhöhen.



Die zielgruppenorientierte Aufklärung zu den Eigenschaften von Biopolymeren muss verstärkt werden, um das Bewusstsein aller relevanten Akteur\*innen zum Umgang mit den Produkten und der ökologischen Bewertung verschiedener Anwendungen zu steigern. Mit ihrer Kaufentscheidung tragen die Konsument\*innen wesentlich zum Erfolg biobasierter Produkte bei. Dazu ist die Zugänglichkeit zu transparenten, unabhängigen und verlässlichen Informationen über die aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigten Produkte, durch entsprechende Kennzeichnungen, erforderlich. Des Weiteren müssen politische Entscheidungsträger\*innen und weitere Akteure, wie NGOs oder Umweltorganisationen und Unternehmen, in den Diskurs eingebunden und über die Vorteile von biobasierten Produkten informiert werden. Dazu ist insbesondere die Kommunikation der begrifflichen Differenzierung der Eigenschaften „biobasiert“ und „biologisch abbaubar“ erforderlich.



Die Basis der Bioökonomie ist eine gesicherte und nachhaltige Versorgung mit biogenen Rohstoffen. Diese kann einerseits durch die Förderung regionaler Wertschöpfungsnetzwerke gestärkt werden. Zum anderen gilt es, biobasierten Kohlenstoff kaskadisch und kreislaufgeführt zu nutzen. Durch eine effiziente Verarbeitung aller Biomassebestandteile, der Integration bestehender Neben- und Reststrompotenziale und dem Ausbau von Technologien zur Einbindung von bereits in der Atmosphäre vorhandenem CO<sub>2</sub> kann eine kreislauforientierte Bioökonomie in Bayern umgesetzt werden. Um die grundlegende Bedeutung der Land- und Forstwirtschaft auf dem Weg in eine biobasierte Lebens- und Wirtschaftsweise hervorzuheben, müssen insbesondere Rohstoffherzeuger\*innen mehr Wertschätzung und Unterstützung erfahren und in Transformationsprozesse aktiv eingebunden werden.

- 1 Olivier, J., Peters, J. (2020): Trends in global CO<sub>2</sub> and total greenhouse gas emissions – 2019 Report.
- 2 Cradle to Cradle – Wiege zur Wiege e.V. (2021): Umgestalten, unter <https://c2c.ngo/umgestalten/> [04.11.2021].
- 3 IEA (2020): Oil 2020 – Analysis and forecast to 2025, S.83.
- 4 Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2020): Bayerischer Agrarbericht 2020, unter <https://www.agrarbericht.bayern.de/landwirtschaft-laendliche-entwicklung/nachwachsende-rohstoffe.html> [04.11.2021].
- 5 Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2020): Bayerischer Agrarbericht 2020, unter <https://www.agrarbericht.bayern.de/landwirtschaft-laendliche-entwicklung/stoffliche-nutzung.html> [04.11.2021].
- 6 Endres, H.-J. et al. (2011): Marktchancen, Flächenbedarf und zukünftige Entwicklungen, Kunststoffe, 09/2011, 105-110.
- 7 Schmidt, T., Schneider, F., Leverenz, D., Hafner, G. (2019): Lebensmittelabfälle in Deutschland – Baseline 2015, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 71.
- 8 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2014): Roadmap Bioraffinerien. S. 5.
- 9 Weitere Informationen unter: <https://www.fsc-deutschland.de/de-de>, <https://pefc.de/>, <https://www.iscc-system.org/>
- 10 Kunz, S., Wach, W., Kraus, W. (2002): Biorefinery Zeitz of the Südzucker Group – Status Quo and Future Perspectives, Chem. Ing. Tech. 2020, 92, No. 11, 1752-1763.
- 11 Plastics Europe (2020): Plastics- the Facts 2020.
- 12 European Bioplastics (2020): Bioplastics Market Development Update 2020.
- 13 Steinmann, M., Dauner, M., Höhnemann, T. (2021): Biobasierte Polymere für (technische) Textilien und Hochleistungsanwendungen, unter <https://www.plastverarbeiter.de/roh-und-zusatzstoffe/biobasierte-polymere-fuer-technische-textilien-und-hochleistungsanwendungen-378.html> [04.11.2021].
- 14 European Bioplastics (2020): BIOPLASTICS – Facts and Figures.
- 15 Heinrich-Böll-Stiftung und BUND (2019): Plastikatlas 2019, S. 22.
- 16 Wiefek, J., Steinhorst, J., Beyerl, K. (2021): Personal and structural factors that influence individual plastic packaging consumption—Results from focus group discussions with German consumers. – Cleaner and responsible consumption, 3, 100022, unter <https://www.iass-potsdam.de/de/news/weniger-plastikmuell-nur-mit-umfassendem-kulturwandel-moeglich> [04.11.2021].
- 17 C.A.R.M.E.N. e.V. (2021): Erste Zwischenergebnisse zum Praxistest Bio-Beutel verfügbar, unter <https://www.carmen-ev.de/2021/09/13/erste-zwischenergebnisse-zum-praxistest-bio-beutel-verfuegbar/> [04.11.2021].
- 18 Cradle to Cradle – Wiege zur Wiege e.V. (2021): Umgestalten, unter <https://c2c.ngo/umgestalten/> [04.11.2021].
- 19 Weitere Informationen unter: <https://denttabs.de/2020/09/18/wir-haben-die-initiative-kreislaufverpackung-gegruendet/> [04.11.2021].
- 20 VERORDNUNG (EG) Nr. 1935/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. Oktober 2004 über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen und zur Aufhebung der Richtlinien 80/590/EWG und 89/109/EWG, unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=LEGISSUM%3A121082a> [04.11.2021].
- 21 Weitere Informationen unter <https://www.gesetze-im-internet.de/verpackg/>
- 22 Fraunhofer Forschung Kompakt (2020): Neues T-Shirt aus alter Jeans, unter <https://www.materials.fraunhofer.de/de/presse/iap---neues-t-shirt-aus-alter-jeans.html> [04.11.2021].
- 23 bvse (2020): Bedarf, Konsum, Wiederverwendung und Verwertung von Bekleidung und Textilien in Deutschland.
- 24 Umweltbundesamt (2020): Chemisches Recycling, Hintergrund.
- 25 nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH (2021): BioSinn – Steckbriefe sinnvoll biologisch abbaubarer Produkte auf Basis von Nachwachsenden Rohstoffen.
- 26 Conversio Market & Strategy GmbH (2020): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019.



**HERAUSGEBER:**

Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern

Schulgasse 18  
94315 Straubing  
+49 (0) 9421 - 960 389  
info@biooekonomierat.bayern.de

**REDAKTION:** Geschäftsstelle des Sachverständigenrats Bioökonomie Bayern

**DRUCK:** Gedruckt auf umweltzertifiziertem Papier (EU Ecolabel)

**BILDQUELLEN:** C.A.R.M.E.N. e.V.

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe ist erlaubt.

**STAND:** Januar 2022

**HINWEIS:**

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit des Inhalts kann dessen ungeachtet nicht übernommen werden.



## Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern

Der SVB berät in erster Linie die Bayerische Staatsregierung in Fragestellungen der Bioökonomie. Er führt die Evaluierung der Bayerischen Bioökonomiestrategie durch und erarbeitet Empfehlungen für deren Weiterentwicklung und für die Gestaltung der Rahmenbedingungen zur erfolgreichen Umsetzung einer biobasierten Wirtschaft in Bayern. Darüber hinaus bemüht sich der SVB den gesellschaftlichen Dialog über die Bioökonomie zu fördern und die diversen Stakeholder zusammenzubringen.

Der Sachverständigenrat wurde erstmals im Jahr 2015 vom Bayerischen Staatsminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für drei Jahre berufen. Dieses Mandat wurde zu Beginn des Jahres 2018 um eine zweite Amtsperiode (2018 – 2020) verlängert. Seit Beginn des Jahres 2019 liegt die Federführung für die Bioökonomie und die Zuständigkeit für den Sachverständigenrat beim Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. Die Mitglieder für die Amtsperiode 2021 – 2023 wurden im Rahmen der Veröffentlichung der Bayerischen Bioökonomiestrategie im November 2020 berufen.

In dem Grundsatzpapier aus dem Jahre 2016 beschreibt der Rat seine Mission:

*„Die Bioökonomie in Bayern bezeichnet ein Wirtschaftssystem auf der Basis nachwachsender Ressourcen, das dauerhaft mit den Zielen von Klimaschutz, Biodiversität, Ressourceneffizienz, Wohlstandssicherung und globaler Gerechtigkeit vereinbar ist. Sie prägt die Transformation bestehender Produktions- und Konsummuster zu Gunsten einer nachhaltigen, post-fossilen Gesellschaft. Sie vernetzt wissenschaftlich-technische, volkswirtschaftliche und gesellschaftliche Innovationen für eine Entkoppelung von Wachstum und Umweltverbrauch. Auch der Schutz der Umwelt und einer artenreichen Kulturlandschaft, regionale Wirtschaftskreisläufe sowie die Förderung von Suffizienz sind unverzichtbare Bestandteile der Bioökonomie in Bayern. Ihre Entwicklung wird durch konsistente politische Rahmenbedingungen auf regionaler und überregionaler Ebene gefördert.“*

MEHR INFORMATIONEN AUF [WWW.BIOOEKONOMIERAT-BAYERN.DE](http://WWW.BIOOEKONOMIERAT-BAYERN.DE)

FOLGEN SIE UNS BEI 

GEFÖRDERT DURCH:

Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



Sachverständigenrat  
**Bioökonomie Bayern**

[WWW.BIOOEKONOMIERAT-BAYERN.DE](http://WWW.BIOOEKONOMIERAT-BAYERN.DE)