

hintergrund

Bund für  
Umwelt und  
Naturschutz  
Deutschland



# „Bio“-Kunststoffe

# Inhalt

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Definition von „Bio“-Kunststoffen</b>	<b>4</b>
	2.1. Biobasierte Kunststoffe	5
	2.1.1 Zur Herkunft der Rohstoffe für die Produktion biobasierter Kunststoffe	8
	2.1.2 Zur Ökobilanz biobasierter Kunststoffe	9
	2.2. Bioabbaubare Kunststoffe	10
<b>3.</b>	<b>Recycling von „Bio“-Kunststoffen</b>	<b>15</b>
<b>4.</b>	<b>Additive in „Bio“-Kunststoffen und human- und ökotoxikologische Auswirkungen</b>	<b>16</b>
<b>5.</b>	<b>Kritische Aspekte von „Bio“-Kunststoffen in der Übersicht</b>	<b>18</b>
<b>6.</b>	<b>BUND-Forderungen und Leitsätze zu „Bio“-Kunststoffen</b>	<b>19</b>
	<b>Anhang A: Additive in „Bio“-Kunststoffen und human- und ökotoxikologische Auswirkungen</b>	<b>21</b>
	<b>Literatur</b>	<b>25</b>
	<b>Normen</b>	<b>28</b>

# 1. Einleitung

Die Produktion und Nutzung von Kunststoffen ist über die vergangenen Jahrzehnte massiv ausgeweitet worden. Der zentrale Treiber dieser Entwicklung ist der stark angebotsgetriebene Markt für Kunststoffe. Die fossilen Rohstoffe für die Erzeugung von Kunststoffen sind kostengünstig verfügbar, und dies führt zu einem Überangebot an billiger Neuware (Röchling Stiftung/Wider Sense 2020). Nicht nur wegen der anhaltenden Einträge von Kunststoffen in die Umwelt hat sich in den letzten Jahren in der öffentlichen Diskussion der Begriff „Plastikkrise“ zunehmend durchgesetzt, um die Bedrohung für Ökosysteme, das Klima, die Biodiversität und den Menschen durch die immer weiter zunehmende Plastikverschmutzung deutlich zu machen (vgl. Ekardt et al. 2019).

Vor dem Hintergrund der Plastikkrise verknüpfen sich mit den sogenannten „Bio“-Kunststoffen eine Vielzahl von Erwartungen für eine nachhaltige<sup>1</sup> Werkstoffnutzung: Es besteht die Hoffnung, fossile Rohstoffe durch nachwachsende zu ersetzen und durch die Bioabbaubarkeit von Kunststoffen zur Lösung der Abfallproblematik beizutragen. Diese Hoffnungen können sogenannte „Bio“-Kunststoffe jedoch nur sehr eingeschränkt erfüllen. Eine neutrale Diskussion zu Bio-kunststoffen wird auch dadurch erschwert, dass das Label „Bio“ hier häufig als Marketingstrategie missbraucht und falsche Erwartungen bei Verbraucher\*innen geweckt werden. Irreführend ist zudem u. a., dass die EU-Öko-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 834/2007) für die Begriffe Bio-, Öko-, biologisch und ökologisch definierte Kriterien für Agrarprodukte ansetzt, welche aber bei sogenanntem „Bio“-Plastik<sup>2</sup> keine Anwendung finden.

Anders als beispielsweise bei Biobaumwolle, die aus kontrolliertem ökologischem Anbau stammt, entstammen die pflanzlichen Produkte, aus denen sogenannte „Bio“-Kunststoffe hergestellt werden, weitgehend der konventionellen Landwirtschaft.

Entsprechend wird im weiteren Papier die Schreibweise „Bio“-Plastik bzw. „Bio“-Kunststoff gewählt.

In jedem Fall sind „Bio“-Kunststoffe keine einfache Lösung für die Plastikkrise, denn die momentan genutzten Mengen an (Einweg-) Kunststoffen auf fossiler Basis können und sollen durch „Bio“-Kunststoffe nicht komplett ersetzt werden, auch nicht zukünftig. Eine konsistente Suffizienz-Politik, d. h. eine deutliche Verbrauchssenkung, ist daher Voraussetzung für den Erfolg von jeglichen weiteren Maßnahmen zur Lösung der Plastikkrise<sup>3</sup> und bei der Debatte über „Bio“-Kunststoffe als mögliche „bessere Kunststoffe“ immer parallel mitzudenken und zu integrieren.<sup>4</sup>

Noch ist der Markt der „Bio“-Kunststoffe klein: Europaweit machten sie im Jahr 2020 etwa 1 % des Kunststoffverbrauchs aus. Doch wie auch bei herkömmlichen Kunststoffen wächst die Produktion der „Bio“-Kunststoffe beständig, zum Teil sogar deutlich stärker. Etwa die Hälfte der „Bio“-Kunststoffe wird derzeit für Verpackungen eingesetzt – bei den fossilen Kunststoffen sind es etwa 30 %, die für Verpackungen eingesetzt werden (European Bioplastics 2020). In den nachfolgenden Ausführungen wird deshalb ein Schwerpunkt auf den Bereich Verpackungen gelegt. Weitere maßgebliche „Bio“-Kunststoffanwendungen sind Landwirtschaftsfolien und Einweg-Konsumgüter wie Geschirr und Besteck. Prinzipiell sind verschiedene „Bio“-Kunststoffe jedoch auch zur Produktion hochwertiger Kunststoffbauteile (z. B. Möbel, technische Teile für Elektrotechnik und Automobilbau) geeignet.

Das Papier gliedert sich im Weiteren wie folgt: Zunächst wird erläutert, welche Produktgruppen unter dem Begriff „Bio“-Kunststoffe zusammengefasst werden. Im Anschluss geht das Papier näher auf biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe ein, sowie auf die Kritikpunkte, die mit diesen Kunststoffen heute verbunden sind. Es folgt eine Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten des Recyclings, bevor das Papier mit den BUND-Forderungen und Leitsätzen zu „Bio“-Kunststoffen schließt.

<sup>1</sup> Zur durch den BUND favorisierten Definition von Nachhaltigkeit vgl. BUND 2021a sowie BUND Position 49 zum Verständnis von Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft (BUND 2010).

<sup>2</sup> Wie im deutschen Sprachgebrauch üblich, werden in diesem Beitrag Kunststoff und Plastik synonym verwendet, obwohl nicht jeder Kunststoff Plastik ist.

<sup>3</sup> Nicht zuletzt muss die Diskussion um „Bio“-Kunststoffe als Teil einer nachhaltigen Stoffpolitik begriffen werden, die es zu gestalten gilt (vgl. BUND Position 69 zur nachhaltigen Stoffpolitik (BUND 2019) sowie die Plastikvermeidungsstrategie des BUND (BUND 2021b)).

<sup>4</sup> Die Risiken, die mit der Herstellung, Verwendung und Entsorgung von Plastik, und somit auch „Bio“-Plastik, einhergehen sind nicht lokal begrenzt und treffen uns gesamtgesellschaftlich. Deshalb wird in diesem Zusammenhang von systemischen Risiken gesprochen (Kramm et al. 2020, S. 10). Die Risiken entstehen dabei nicht durch einen Unfall oder eine Naturkatastrophe, sondern durch unseren alltäglichen Umgang mit Kunststoffprodukten. Dies bedeutet die Verwendung von „Bio“-Kunststoffen im Vergleich zu anderen Materialien, auch zu herkömmlichen Kunststoffen, zu betrachten und Lösungsmöglichkeiten entlang der gesamten Wertschöpfungsketten in den Blick zu nehmen. Durch eine solche integrative Betrachtung rücken systemische Veränderungen (z. B. die Förderung von Vermeidungs- und Suffizienz-Strategien) in den Fokus und vermeintlich schnelle Lösungen, die nur die Symptome behandeln (sogenannte End-Of-Pipe-Lösungen) können vermieden werden (vgl. Kramm et al. 2020).

## 2. Definition von „Bio“-Kunststoffen

Unter „Bio“-Kunststoffen werden zwei unterschiedliche Gruppen von Produkten zusammengefasst:

- biobasierte Kunststoffe und
- biologisch abbaubare Kunststoffe.

Biobasierte Kunststoffe stammen teilweise oder vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen, die z. B. in Mais, Zuckerrohr oder Kartoffeln enthalten sind. Sie entsprechen chemisch häufig den herkömmlichen Kunststoffen, z. B. Bio-PE (Polyethylen) oder Bio-PET (Polyethylenterephthalat). Biobasierte Kunststoffe können biologisch abbaubar sein – sind es aber häufig nicht. Biologisch abbaubare Kunststoffe wie das biobasierte PLA (Polylactid, „Polymilchsäure“) und das fossile PBAT (Polybutyrat-Adipat-Terephthalat) wiederum zeichnen sich durch die Eigenschaft aus, unter bestimmten Bedingungen durch mikrobielle Prozesse in CO<sub>2</sub> und Wasser zersetzt werden zu können. Die biologische Abbaubarkeit hängt dabei nicht vom ursprünglich gewählten Rohstoff<sup>5</sup>, sondern allein von der chemischen Struktur des Endprodukts ab (Deut-

scher Bundestag 2016). Abbaubare Kunststoffe können demnach fossiler oder biologischer Herkunft sein.

Abbildung 1 veranschaulicht die Einteilung verschiedener Kunststoffe bezüglich der Herkunft ihrer Rohstoffe sowie nach der biologischen Abbaubarkeit.

Neben den zwei oben genannten und in diesem Papier vorrangig betrachteten Gruppen existieren weitere Werkstoffe, die prinzipiell als „Bio“-Kunststoffe gelten:

- Verbundwerkstoffe, häufig mit fossiler Kunststoffbasis, die biobasierte Füll- oder Verstärkungsstoffe aus Holz oder Naturfasern enthalten sowie
- Duroplastische bzw. elastomere „Bio“-Kunststoffe, insbesondere Polyurethane und Epoxide.

Bei diesen genannten Werkstoffen handelt es sich z. T. um große Mengen, diese werden aber in den hier gezeigten Statistiken zu „Bio“-Kunststoffen nicht berücksichtigt.

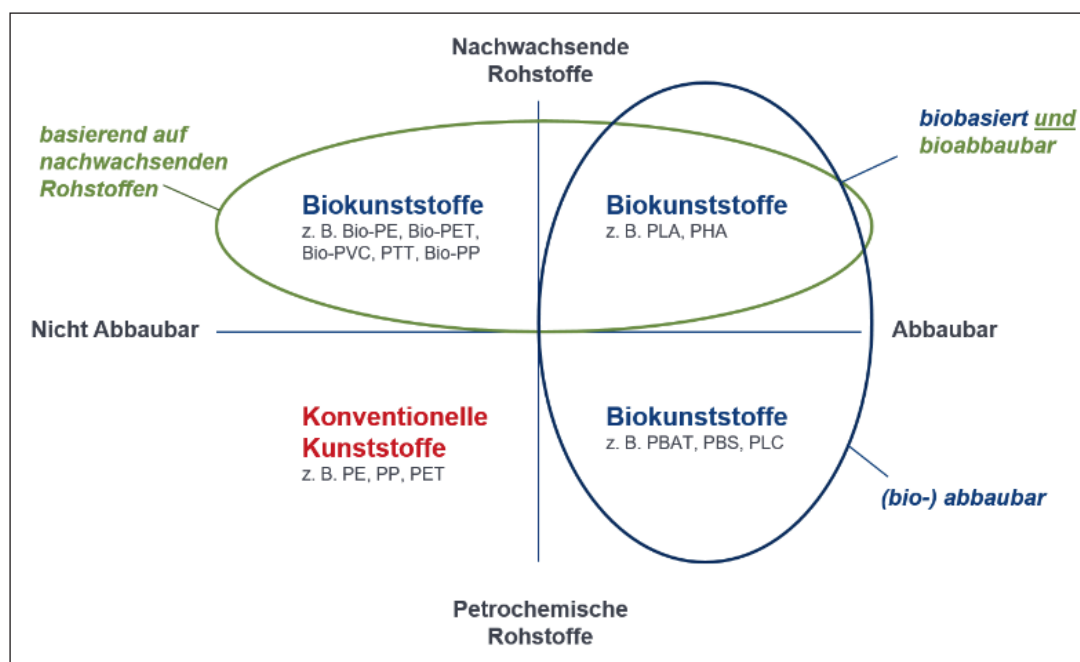


Abbildung 1: Einteilung der Kunststoffe nach Herkunft (fossil oder biobasiert) sowie nach biologischer Abbaubarkeit (Kreutzbruck et al. 2021)

<sup>5</sup> Stoff oder Stoffgemisch in un- oder gering bearbeitetem Zustand, der/das in einen Produktionsprozess eingehen kann (UBA 2012).

Auch wenn „Bio“-Kunststoffe häufig als bessere Alternative zu herkömmlichen Kunststoffen angepriesen werden, so weisen sie eine ähnliche chemische Komplexität auf und enthalten ähnlich viele Additive wie herkömmliche Kunststoffe.

Abbildung 2 veranschaulicht die globalen Produktionskapazitäten für „Bio“-Kunststoffe nach Anwendungen (European bioplastics 2020). Der größte Teil der „Bio“-Kunststoffe wird für flexible Verpackungen eingesetzt, gefolgt von starren Verpackungen; zusammen machen sie ca. 47% aus. Für Konsumgüter, Textilien, Landwirtschaft und Transport stehen insgesamt Kapazitäten von knapp 700.000 t zur Verfügung. Insbesondere bei flexiblen Verpackungen sowie in der Landwirtschaft überwiegt der Anteil der prinzipiell bio-abbaubaren Kunststoffe denjenigen der nicht-abbaubaren. Bei den starren Verpackungen entfällt ein großer Anteil auf PET-Behälter; allerdings sind PLA- und PBAT-Anwendungen hier wie auch in anderen Anwendungen auf dem Vormarsch. Für diese zwei Typen ist je ein Gesamtwachstum von 7% zwischen 2020 und 2025 prognostiziert (Renewable Carbon publications 2021). Einige „Newcomer“ unter den „Bio“-Kunststoffen wachsen, von kleinen Marktanteilen beginnend, beträchtlich, so z. B. PP mit 34% bis 2025.

## 2.1 Biobasierte Kunststoffe

Biobasierte Kunststoffe bestehen vollständig oder teilweise aus nachwachsenden, meist pflanzlichen Rohstoffen.

Sie werden noch weiter unterteilt in Drop-in-Lösungen und neuartige Biopolymere. Unter Drop-in-Lösungen versteht man biobasierte Kunststoffe, die chemisch identisch mit den bereits bekannten Materialien auf Mineralölbasis sind. Beispiele dafür sind Bio-PET (Polyethylenterephthalat) und Bio-PA (Polyamid). Diese Biokunststoffe sind genauso wenig bio-abbaubar wie die entsprechenden petrochemischen „Originale“. Zu den bio-basierten chemisch neuartigen Polymeren, die nicht strukturgleich mit herkömmlichen Kunststoffen

sind, gehören z. B. PLA (Polylactide) und PHA (Polyhydroxyalkanoate) (Deutscher Bundestag 2016).

Die meisten Biokunststoffe sind nicht zu 100% biogenen Ursprungs. Viele von ihnen basieren teilweise auf fossilen, teilweise auf nachwachsenden Rohstoffen.

Zudem gibt es Blends, bei denen unterschiedliche biobasierte Kunststoffe mit einem fossilen Polymer gemischt werden; gängig sind z. B. Stärkeblends, die häufig für Verpackungen und Konsumgüter eingesetzt werden.

Für die Zertifizierung biobasierter Kunststoffe gibt es verschiedene Normen, z. B. die internationale Norm ISO 16620, die europäische Norm CEN/TS 16137 oder die für Deutschland aus der EU übernommene DIN EN 17228. Von DIN CERTCO (einer Zertifizierungsgesellschaft der TÜV Rheinland Gruppe) werden darauf basierend Siegel je nach biobasiertem Anteil vergeben. Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Siegel der DIN CERTCO, die „Bio“-Kunststoffe in drei verschiedene Gruppen je nach biobasiertem Anteil einteilen (DIN CERTCO 2021a). Als Prüfverfahren wird dabei die C14- (auch Radiokohlenstoffmethode genannt) angewendet, mit der der Anteil der biobasierten Kohlenstoffatome ermittelt wird (DIN CERTCO 2017). Da die C14-Atome über sehr lange Zeiträume hinweg zerfallen, sind sie in fossilen Quellen nicht mehr enthalten.

Zudem legt die DIN EN 17228 Merkmale von biobasierten Kunststoffen fest. Der biobasierte Kohlenstoffanteil muss bei mindestens 20% liegen.

Weitere Siegel werden von TÜV Austria oder Biobasedcontent verliehen.

Ein großer Teil der heute verfügbaren „Bio“-Kunststoffe stammt von kleineren Erzeugern.

In der Großindustrie hingegen, die Massenkunststoffe (z. B. in Form von Pellets) herstellt, wird beim Einsatz

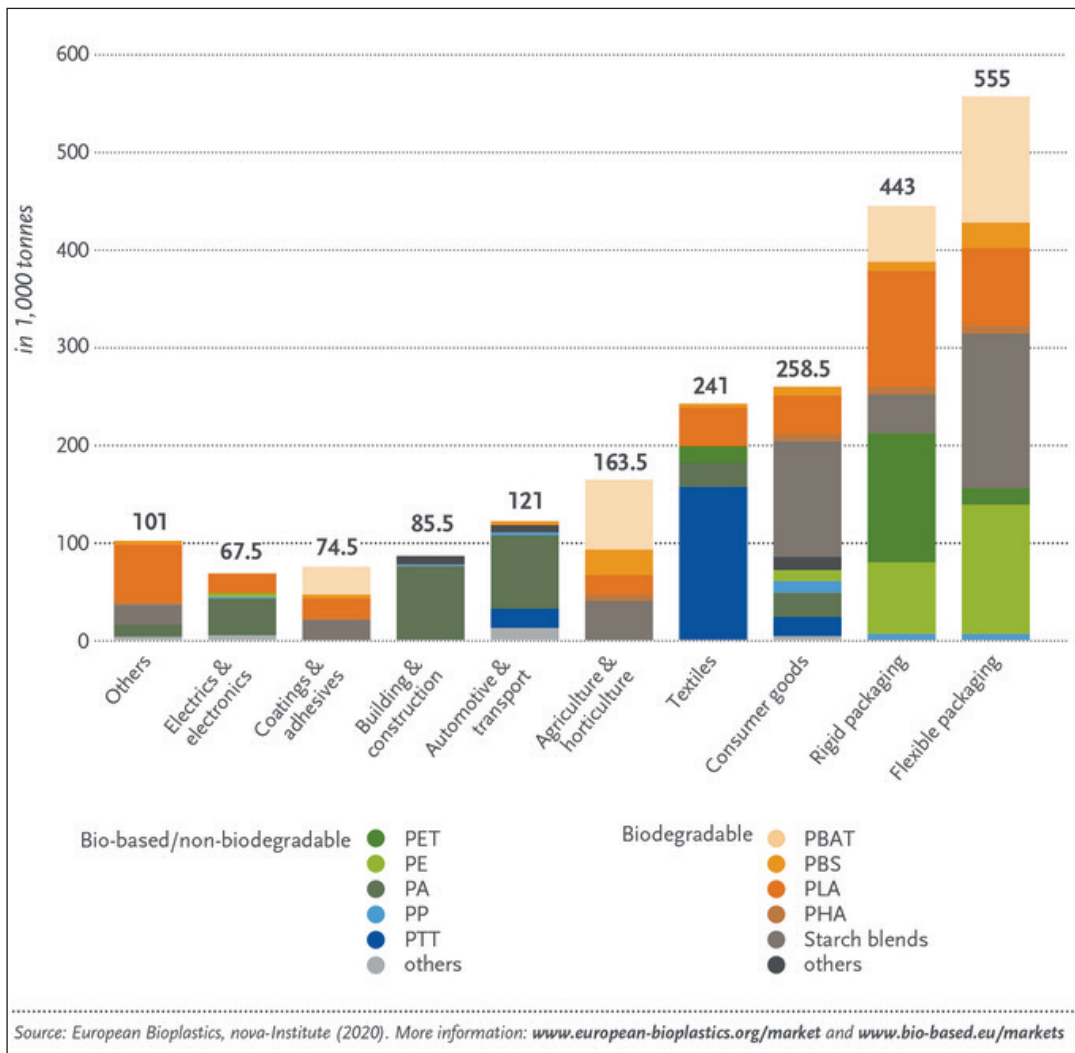


Abbildung 2: Globale Produktionskapazitäten von „Bio“-Kunststoffen nach Einsatzgebiet. Quelle: european bioplastics (2020)

Legende

Kurzzeichen	Chemische Bezeichnung	Typische Anwendung/Bemerkung
PET	Polyethylenterephthalat	Starre Verpackungen
PE	Polyethylen	Verpackungen aller Art, Rohre & Kabel
PA	Polyamid	Viele chemisch unterschiedliche Typen, Konstruktionswerkstoff
PP	Polypropylen	Verpackungs- und Konstruktionswerkstoff, als Biokunststoff kleiner Marktanteil, starkes Wachstum
PTT	Polytrimethylenterephthalat	Faserwerkstoff
PBAT	Polybutylenadipaterephthalat	Folien für Verpackung und Landwirtschaft, vorwiegend fossilen Ursprungs, hoher Marktanteil
PBS	Polybutylensuccinat	Verpackungen, Mulchfolien
PLA	Polymilchsäure (Polylactic acid)	Sehr breites Anwendungsfeld, hoher Marktanteil, starkes Wachstum
PHA	Polyhydroxyalkanoate	Verschiedene Typen, breites Anwendungsfeld, kleiner Marktanteil, starkes Wachstum
Starchblends	Stärkeblends	Verpackung, Konsumgüter, hoher Marktanteil



Abbildung 3: Siegel der DIN CERTCO für biobasierte Kunststoffe; Quelle: DIN CERTCO 2021

nachwachsender Rohstoffe zunehmend die sogenannte Massenbilanzierung („mass balance approach“) realisiert. Aufgrund der vielfach verzweigten Stoffströme ist dort eine Trennung biobasierter und fossiler Stoffströme praktisch nicht möglich. Ein Aufbau sogenannter „dedizierter“ Produktionsanlagen, die über die gesamte Prozesskette hinweg ausschließlich biobasierte Produkte herstellen, wird aus wirtschaftlichen Gründen derzeit nicht in Betracht gezogen.

Mit Hilfe der Massenbilanzierung werden die – heute noch in sehr geringen Mengen – eingesetzten nach-

wachsenden Rohstoffe den Produkten rechnerisch zugeordnet. Als massenbilanziert gelten Kunststoffe, für deren Herstellung nachweislich biobasierte Rohstoffe oder Vorprodukte innerhalb eines klar definierten Bilanzraums eingesetzt wurden (VCI 2017). Dies ist ähnlich der Vorgehensweise bei der Einspeisung von Ökostrom. So wird ein Anteil der Produkte 100% nachwachsenden Rohstoffen zugeordnet, der andere 100% fossilen, wohingegen beide in Realität eine Mischung sind.

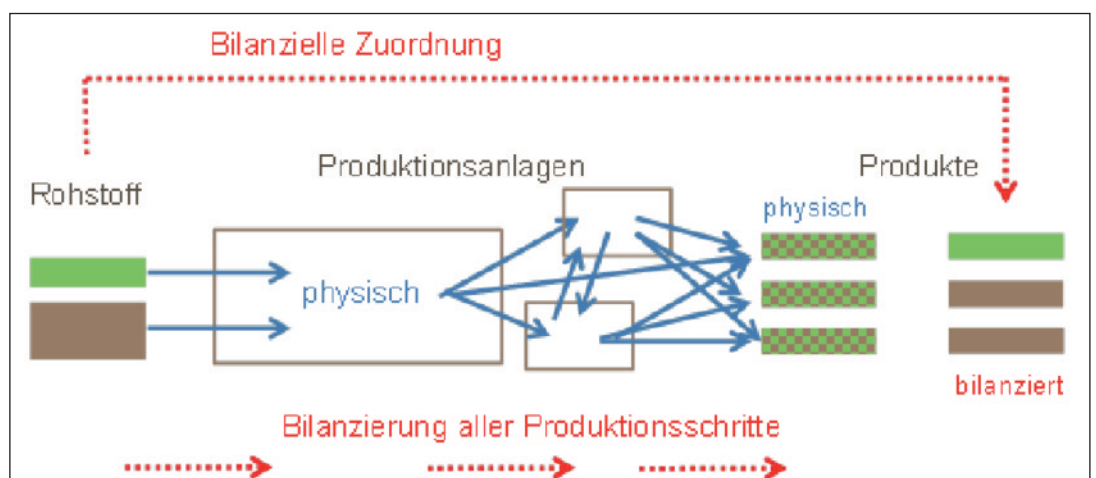


Abbildung 4: Prinzip der Massenbilanzierung (VCI 2017)

In ein und demselben Prozess kann der biogene Kohlenstoffgehalt im Kunststoff zeitlich fluktuieren. Auch Verdünnungseffekte sowie Herstellung und Vertrieb an regionalen Produktionsstandorten mit unterschiedlicher Rohstoffversorgung können dazu führen, dass ein Nachweis biogenen Kohlenstoffs nicht mehr möglich ist. Kunststoffe, denen durch Massenbilanzierung nachwachsende Rohstoffe zugeordnet wurden, sind nach Definition des CEN/TC „Bio-based Products“ nicht biobasiert (VCI 2017). Um Verbraucher\*innen-täuschung zu vermeiden muss es klare Richtlinien für Auskünfte zu diesen Produkten geben, da diese nicht tatsächlich biobasiert sind, sondern nach Massenbilanz auf 100% nachwachsenden Rohstoffen basieren. Hier sollten Normen (z. B. Quelle TÜV Süd) beachtet und ggfs. weiter erarbeitet werden. Auf eine leichtverständliche Kommunikation ist dabei Wert zu legen. Es muss eine klare Abgrenzung zu tatsächlich biobasierten Produkten vorgenommen werden.

In Zukunft bleibt zu beobachten, inwieweit die Massenbilanzierung – die auch bei der Anwendung unterschiedlicher Recyclingverfahren zunehmend zum Einsatz kommt mit einer transparenten Rohstoffherkunft, die für Verbraucher\*innen verständlich ist, in Einklang zu bringen ist.

### 2.1.1 Zur Herkunft der Rohstoffe für die Produktion biobasierter Kunststoffe

Die Bio-Komponenten für biobasierte Polymere werden derzeit fast ausschließlich aus Anbaubiomasse gewonnen. Eine Aufstellung über die Regionen und Rohstoffe für diese Biopolymere zeigt Tabelle 1. In einigen Fällen sind Anbaugesbiet und Ort der Verarbeitung („Kapazitäten“) nicht identisch; so wird beispielsweise Bio-PET vorwiegend in Indien hergestellt, der Rohstoff stammt aber aus Brasilien.

Die für den Anbau des nachwachsenden Rohstoffs für die Produktion von „Bio“-Kunststoffen erforderliche landwirtschaftliche Anbaufläche wird für das Jahr 2020 auf 0,7 Millionen Hektar geschätzt. Dies ent-

spricht 0,015% der weltweiten Agrarfläche von 4,7 Milliarden Hektar. Der Anteil der Flächennutzung für „Bio“-Kunststoffe wird in den nächsten 5 Jahren auf 0,02% steigen (European Bioplastics 2020). Auch wenn der Anteil an der globalen Anbaufläche für die Produktion biobasierter Kunststoffe sehr klein anmutet, so ist die **Nutzung von Anbaubiomasse für die Kunststoffproduktion schon heute ein zentraler Kritikpunkt**. Im Zuge des Bioökonomiediskurses ist die Anbaufläche für unterschiedliche Nutzungen (Nahrungsmittelproduktion, Weideflächen und Futteranbau, Biokraftstoffe, etc.) bereits heute hart umkämpft und zum Teil doppelt und dreifach verplant. Zusätzlich entsteht vermehrt Druck auf extensiv genutzte Flächen sowie Schutzgebiete (BUND 2021c). Global bekannte Unternehmen<sup>6</sup> werben mit vielen neuen „Bioplastik“-Produkten. Durch die **aktuellen Anbaumethoden der industriellen Landwirtschaft** für die oben erwähnten Feldfrüchte für die vielen neuen Produkte wird die **weitreichende Zerstörung der natürlichen Ressourcen** massiv vorangetrieben. Die industrielle Landwirtschaft ist dabei einer der Haupttreiber für den Klimawandel und den Verlust von Biodiversität. Zudem verschlechtert sie die Bodenqualität, und besonders der Maisanbau in Monokulturen trägt zur Boden-erosion bei. Der intensive Einsatz mineralischer Düngemittel und chemischer Pestizide – die in der EU aus guten Gründen oft gar nicht erlaubt sind (Heinrich Böll Stiftung/BUND 2019) – stellen eine Gefahr für die Umwelt, die menschliche Gesundheit und Insekten dar und führt außerdem zu einer Verschmutzung von Grund- und Oberflächengewässern. Ebenso geht eine Gefahr von dem vermehrten Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen aus.

Der Anbau von Zuckerrohr in Brasilien führt bei der derzeitigen hohen Nachfrage (2020) und der ungerechten Landverteilung zu einer Welle von **Umwandlung von ehemaligen Viehweiden in intensiv genutzte Monokulturen durch einige wenige Großkonzerne** mit schwerwiegenden **negativen Auswirkungen auf die indigene Bevölkerung, die lokale Umwelt und das Klima**. Auch wenn der Zuckerrohr-Anbau selbst nur

<sup>6</sup> Coca Cola wirbt für die „PlantBottle“, Pepsi gemeinsam mit Nestlé und Danone für die „NaturAll Bottle“, LEGO will in wenigen Jahren sein gesamtes Sortiment auf „Bio“-Plastik umstellen, und auch IKEA wirbt für „grüne“ Produkte (Denkhaus Bremen 2021)



Kunststofftyp	Vorwiegende Kapazitäten	Kleine bzw. wachsende Kapazitäten	Biogener Rohstoff
Stärkeblends	Europa		Europäischer Mais
PLA	USA	China, Thailand	US-Mais (Asiatisches Zuckerrohr)
Bio-PE	Brasilien		Zuckerrohr
Bio-PET	Indien	Türkei	Zuckerrohr aus Brasilien
Bio-PA	Europa, Nordamerika, Asien		Rizinus-, Soja-, Rapsöle, ggfs. Zucker
Bioabbaubare Copolyester	Europa und Asien		Rizinus, Mariendistel, Zucker

Tabelle 1: Regionen und Rohstoffe für verschiedene Biopolymere; Quelle: Detzel et al (2019), S. 29

marginal in Regenwald-Gebieten stattfindet, trägt er dazu bei, dass sich die Viehwirtschaft in Brasilien in Amazonien ausdehnt (Fatheuer 2020).

Neben der Nutzung von Anbaubiomasse können auch Agrar-Reststoffe zur Gewinnung von Biomasse verwertet werden. Allerdings sind auch hier konkurrierende Nutzungsarten, vor allem die Futtermittelproduktion, nicht auszuschließen (Detzel et al. 2019). Bei der **Nutzung von „Reststoffen“** aus der Landwirtschaft muss jedoch aus ökologischen Gesichtspunkten bedacht werden, dass das **Verbleiben von Reststoffen auf dem Acker wichtige Funktionen für die Bodengesundheit inkl. Humusaufbau** und somit Klimaschutz haben.

### 2.1.2 Zur Ökobilanz biobasierter Kunststoffe

Grundsätzlich haben biobasierte Kunststoffe keine eindeutig bessere Ökobilanz als herkömmliche Kunststoffe. Dies zeigen Studien aus den vergan-

genen Jahren (Detzel et al. 2019; UBA 2014; UBA 2017). Dabei wurden z. B. PE-Tragetaschen, PET-Flaschen und PLA-Klappdeckelschalen, jeweils im Vergleich zu einem herkömmlichen Kunststoff, untersucht. Folgende Wirkungskategorien wurden betrachtet: der kumulierte Energiebedarf, das Treibhaus-, das Versauerungs- und das Eutrophierungspotenzial sowie die Naturrauminanspruchnahme. Vorteile für die biobasierten Kunststoffe ergeben sich in der Regel bei der Schonung nicht-erneuerbarer Energieträger und einen geringeren Beitrag zum Treibhaus-effekt, teilweise auch zum Sommersmog. Nachteile ergeben sich in den Bereichen terrestrische und aquatische Eutrophierung, Humantoxizität und Versauerung.

## 2.2 Bioabbaubare Kunststoffe

„Die biologische Abbaubarkeit umfasst die Eigenschaft eines Stoffes, durch Mikroorganismen in Anwesenheit von Luftsauerstoff zu Kohlendioxid, Wasser, Biomasse und Mineralien sowie unter Luftabschluss zu Kohlendioxid, Methan, Biomasse und Mineralien zersetzt zu werden, wobei kein Zeitraum definiert ist“ (DIN 16208).

Hauptanwendungsgebiete für biologisch abbaubare Kunststoffe liegen im Verpackungs- und im Cateringbereich. Daneben gibt es auch Anwendungen im Gartenbau und in der Landwirtschaft (z. B. Mulchfolien, Saatgutbänder, Anzuchtöpfe u. ä.).

Der Abbau erfolgt durch spezielle Mikroorganismen, deren Enzyme die Polymerketten des Materials in kleine Teile zerlegen. Diese können dann von Bakterien – ggf. auch zusammen mit anderem organischem Material – weiter abgebaut werden. Nach dem Abbau bleiben vom Kunststoff selbst nur Wasser und Kohlendioxid übrig, Zusatzstoffe und Additive werden allerdings ebenfalls freigesetzt.

Typische Verrottungszeiten für biologisch abbaubare Kunststoffe sind in (UBA 2018, S. 89 ff.) dargestellt. Industriekompostierung von PBS ergab beispielsweise einen 90%igen Abbau bei 58 °C erst nach ca. fünf Monaten; ein PBS-Stärke-Film kompostierte nach 45 Tagen vollständig (ebenfalls bei 58 °C). Ein PHB-Film baute sich im Boden (allerdings bei 25 °C) innerhalb von ca. vier Monaten um mehr als 90% ab. Neben dem Materialtyp ist vor allem die Beschaffenheit (dünner Film, dickere Teile) von Einfluss.

Soll ein Kunststoff als biologisch abbaubar ausgewiesen werden, kann ein Hersteller sein Produkt nach verschiedenen Normen zertifizieren lassen, **Tabelle 2**. Hier werden jeweils **spezifische Kriterien für den Abbau** in industriellen Kompostierungsanlagen, Heimkompostierung und Bodenkompostierung in der Landwirtschaft angewendet. Für den Abbau in Süßwassergewässern gibt es nur eine Vorgehensweise in

Anlehnung an die Norm für die industrielle Kompostierung. Für den Abbau in Salzwasser ist es insbesondere schwierig, reale Bedingungen zu definieren, die sich in den Laboren der Zertifizierungsinstitute nachstellen lassen. **All diesen Prüfnormen ist gemein, dass sie keinen vollständigen Abbau zu Grunde legen.**

Der biologische Abbau eines zu testenden Materials wird im Vergleich zu einem Referenzmaterial ermittelt, die Wahl des Referenzmaterials beeinflusst somit das Testergebnis. Häufig wird mikrokristalline Zellulose als Testmaterial verwendet, die aber je nach Prüfbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, vorhandene Mikroorganismen) meist langsamer abbaubar als beispielsweise Polyhydroxybutyrat (PHB). Es ist also eine **Harmonisierung in den Normen bezüglich des Testmaterials erforderlich.**






Nach der bekanntesten und am meisten verbreiteten Zertifizierungsnorm für die Kompostierbarkeit in einer industriellen Kompostieranlage (d. h. bei ca. 60 Grad Celsius) werden folgende Anforderungen an biologisch abbaubare Kunststoffe gestellt (vgl. DIN EN 13432):

- **biologischer Abbau** – mindestens 90% der Polymermasse muss innerhalb 180 Tagen in Kohlendioxid umgesetzt sein.
- **Desintegration** – nach drei Monaten (12 Wochen) in industriellen oder halbindustriellen Kompostierungsbedingungen sollten nicht mehr als 10% Trockenmasse auf einem Sieb mit einer Lochgröße von < 2 mm verbleiben.
- **Schwermetallgehalt und Ökotoxizität** des Kompostes müssen sich unterhalb vorgegebener Grenzwerte befinden.

Die in Deutschland verbreiteten Prüfsiegel für die Industriekompostierung („Keimling“ oder DIN-Siegel „industriekompostierbar“, siehe Tabelle 2) basieren auf der DIN EN 13432. Auch wenn es vereinzelte Produktzertifizierungen für die Heimkompostierung gibt, ist diese bei der überwiegenden Mehrheit der „Bio“-Kunststoffe nicht möglich, weil die Produkte **im häus-**

Habitat	Norm	Abbau- und Desintegrationskriterien	Logos
<b>Industrielle Kompostierung</b>	<p>EN 13432 – Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau – Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen</p> <p>Vergleichbar u. a. mit: EN 14995</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) <ul style="list-style-type: none"> <li>-&gt; max. 6 Monate bei 58 ±2 °C</li> </ul> </li> <li>• Desintegrationstest: max. 10 % des ursprünglichen Trockengewichts des Prüfmaterials dürfen in einer Siebfraktion &gt; 2 mm enthalten sein <ul style="list-style-type: none"> <li>-&gt; max. 3 Monate</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Heim- und Gartenkompostierung</b>	<p>AS 5810 – Biodegradable plastics – Biodegradable plastics suitable for home composting</p> <p>NFT 51-800 – Plastics – Specifications for plastics suitable for home composting</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) <ul style="list-style-type: none"> <li>-&gt; max. 12 Monate</li> </ul> </li> <li>• Desintegrationstest: max. 10 % des ursprünglichen Trockengewichts des Prüfmaterials dürfen in einer Siebfraktion &gt; 2 mm enthalten sein <ul style="list-style-type: none"> <li>-&gt; max. 6 Monate bei 25 ±5 °C</li> </ul> </li> </ul>	

Tabelle 2: Normen zum Abbauverhalten biologisch abbaubarer Kunststoffe; um Logos erweitert, basierend auf Quellen: Burgstaller et al. 2018, Seite 6, Logos von DIN CERTCO 2021, Fischer 2021, FNR 2021, TÜV Austria 2018

Habitat	Norm	Abbau- und Desintegrationskriterien	Logos
<b>Biologischer Abbau im Boden (Mulchfolien)</b>	EN 17033 – „Biologisch abbaubare Mulchfolien für den Einsatz in Landwirtschaft und Gartenbau – Anforderungen und Prüfverfahren (veröffentlicht 2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) <ul style="list-style-type: none"> <li>-&gt; max. 2 Jahre bei 20–28 °C (<math>\pm 2</math> °C; möglichst 25 °C)</li> </ul> </li> <li>• Kein Desintegrationstest notwendig</li> </ul>	  
<b>Abbau in Gewässern</b>	EN 13432 und EN 14995 Adapted for degradation in fresh water	TÜV Austria: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) <ul style="list-style-type: none"> <li>-&gt; max. 56 Tage bei 20–25 °C</li> </ul> </li> <li>• Kein Desintegrationstest notwendig</li> </ul>	 
<b>Biologischer Abbau im Meer</b>	ASTM D7081 – 05 Standard Specification for Non-Floating Biodegradable Plastics in the Marine Environment (Zurückgezogen – Testmethoden jedoch in Anwendung) <sup>7</sup>	TÜV Austria: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) <ul style="list-style-type: none"> <li>-&gt; max. 6 Monate</li> </ul> </li> <li>• Desintegrationstest beschrieben unter TS-OK-23</li> </ul>	 

<sup>7</sup> Der Standard ASTM D 7081-05 wurde 2014 zurückgezogen, TÜV Austria zertifiziert dennoch aufbauend auf diesen Standard. Ehemals wurde das Label durch Vinçotte vergeben (UNEP 2018, S. 70).

**lichen Komposthaufen nicht entsprechend abgebaut** werden können. Dort werden die für den Abbau der meisten "Bio"-Kunststoffe notwendigen hohen Temperaturen über entsprechend lange Zeiträume nicht erreicht (siehe Tabelle 2).

In der Praxis hat der Müll in den meisten industriellen Kompostieranlagen nur wenige Wochen Zeit zu verrotten, so dass **bioabbaubare Kunststoffe** (wie z. B. bioabbaubare Plastik-Abfallbeutel) trotz entsprechender Zertifizierung **nicht ausreichend zersetzt** werden (Burgstaller et al. 2018). Eine Verlängerung der Kompostierung ist in der Regel wirtschaftlich nicht sinnvoll und ist deshalb nicht absehbar. Entsprechend werden die in Deutschland verwendeten bioabbaubaren Kunststoffe von der Mehrzahl der Kompostwerke aussortiert und landen derzeit fast ausschließlich in der **Müllverbrennung**, da sie sich nicht so einfach von herkömmlichen Kunststoffen und anderen „Störstoffen“ unterscheiden lassen. Ein kleinerer Teil der Kompostieranlagen kompostiert nach DIN EN 13432 zertifizierte Abfallbeutel mit, dabei bleibt unklar, in welchem Umfang die so mitkompostierten zertifizierten Bioabfallbeutel in der Nachsortierung nicht doch als Störstoffe ausgelesen werden und somit ebenso in der Verbrennung landen (Wiss. Dienste Dt. Bundestag, 2021).

Für biologisch abbaubare **Kunststoffverpackungen** gilt in Deutschland auch mit einer Zertifizierung nach DIN EN 13432 zudem explizit, dass sie **nicht zur industriellen Kompostierung oder Vergärung zugelassen** sind. Stattdessen sind sie laut Verpackungsgesetz ebenso wie andere Verpackungen von den Dualen Systemen zu verwerten. Gesetzlich sind lediglich die DIN zertifizierten biologisch abbaubaren Müllbeutel für die Industriekompostierung zugelassen. Die meisten deutschen Kommunen verbieten jedoch aus oben genannten Gründen diese Müllbeutel für die Biotonne.

Nicht zuletzt entstehen bei der Zersetzung biologisch abbaubarer Kunststoffe keine humusbildenden Stoffe. Um neue bioabbaubare Produkte herzustellen, muss also wieder Energie von außen zugeführt werden.

Damit ist der Vorgang in der industriellen Kompostierungsanlage genau genommen keine Kompostierung, sondern eine **reine Entsorgung** (Heinrich Böll Stiftung/BUND 2019).

Wie oben erwähnt, erlaubt die DIN EN 13432 einen 10 %igen Anteil von Resten aus der Siebfraction < 2mm (es können somit auch dünne und deutlich längere Bruchstücke verbleiben). Prinzipiell ist davon auszugehen, dass auch dieses Material sich über einen längeren Zeitraum zersetzt. Der frische Kompost jedoch beinhaltet diese Reste, die als Verunreinigung zu betrachten sind. Accinelli et al. (2020) untersuchten die Bildung von Mikroplastik von kompostierbaren Abfallbeuteln und vermuten, dass die Bodenqualität infolge der Verschiebung der Mikrobenflora im Boden zeitweilig negativ beeinflusst werden könnte.

Bei Produkten wie Mulchfolien ist in der Diskussion, ob das Belassen entsprechend zertifizierter Folien im Boden in begrenztem Umfang toleriert werden kann (UBA 2018). Denn aufgrund der bisweilen hohen Verschmutzung ist dies bisher mit einem hohen technischen Aufwand verbunden und wird derzeit kaum praktiziert. Seit 2018 existiert hier eine Norm, die über die oben genannten allgemeinen Standards hinausgeht. In der EN 17033 zu biologisch abbaubaren Mulchfolien sind bessere ökotoxikologische Tests (Pflanzen-, Wurm- und Mikroorganismen tests) und weitere Einschränkungen der Inhaltsstoffe (Metalle, Substances of very high concern) implementiert (European Bioplastics 2018).

Mulchfolien werden einerseits für die Saisonverlängerung verwendet, sind andererseits aber auch sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Anbau ein wichtiges Mittel zum Schutz der Kulturen vor Schädlingsbefall. Ohne ihren Einsatz ist eine Reduzierung von Pestiziden im Gemüsebau und bei Sonderkulturen bedeutend schwieriger. Zum Teil existieren zudem bereits Rückgabe- und Recycling-Systeme von gebrauchten Folien. Aktuelle Entwicklungen hinsichtlich Recycling und biologischer Abbaubarkeit der Mulchfolien bleiben hier abzuwarten.

#### **Exkurs: Oxo-abbaubare Kunststoffe**

Oxo-abbaubare Kunststoffe können eine fossile oder biologische Rohstoffbasis besitzen. Ihnen werden bestimmte Additive zugesetzt, welche den Zerfallsprozess in der Umwelt durch Licht, Wärme oder mechanische Belastung beschleunigen. Sie werden dabei jedoch nicht vollständig abgebaut, sondern zerfallen in kleine Fragmente, also Mikroplastik (Burgstaller et al. 2018). Im Juni 2019 wurde in der EU als Teil der Einwegplastikrichtlinie (Umsetzung in Deutschland durch die Einwegkunststoffverbotsverordnung) ein Verbot von oxo-abbaubaren Kunststoffen beschlossen, das im Juli 2021 in Kraft getreten ist.

### 3. Recycling von „Bio“-Kunststoffen

Nach der europäischen Abfallhierarchie stehen die Vermeidung und Wiederverwertung für die Realisierung einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft an erster und zweiter Stelle. Diesen folgt das Recycling (auch stoffliche Verwertung) an dritter Stelle. Das **Recycling von Kunststoffen** (und entsprechend auch „Bio“-Kunststoffen) ist damit ebenfalls **ein wichtiger Baustein für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft, jedoch mitnichten die Lösung für die Plastikkrise.**

Viele „Bio“-Kunststoffe (d. h. die für Verpackungen verwendeten und deshalb in diesem Papier hauptsächlich adressierten) sind thermoplastisch<sup>8</sup> und **können somit grundsätzlich recycelt werden. Drop-in-Polymere** wie Bio-PE, Bio-PET können mit den entsprechenden fossilen Kunststoffen gemeinsam verwertet werden, da sie, wie bereits erläutert, chemisch mit diesen identisch sind. Entsprechend **findet ein Recycling** für diese „Bio“-Kunststoffe heute schon **statt**. Was **neue Biopolymere** (wie PLA) angeht, sind deren Anteile am Verpackungsaufkommen bisher so gering, dass sie im Rahmen des dualen Systems **nicht erfasst** werden, **weil es sich wirtschaftlich nicht lohnt**. Sie werden in der Regel in Sortieranlagen ausgeschleust und landen in der Müllverbrennungsanlage (Burgstaller et al. 2018).

Vor diesem Hintergrund wäre es sinnvoll, die Zahl der verschiedenen in Produkten eingesetzten „neuen“ Biopolymere zu begrenzen, um für diese Stoffströmen zu erreichen, die es erlauben, das Recycling wirtschaftlich zu betreiben.

<sup>8</sup> Thermoplastische Kunststoffe lassen sich (ohne größere Materialveränderung) aufschmelzen.

## 4. Additive in „Bio“-Kunststoffen und human- und ökotoxikologische Auswirkungen

„Bio“-Kunststoffe enthalten, wie andere Kunststoffe, verschiedene Additive: also Zusatzstoffe, die für die jeweilig gewünschten Eigenschaften sorgen (Weichmacher, Flammschutzmittel, Antioxidantien und UV-Stabilisatoren, Gleitmittel, Farbstoffe, Antistatika, Biozide, Füllstoffe sowie Verstärkungsmaterial). Zu unterscheiden ist zwischen diesen absichtlich und weiteren, nicht-absichtlich zugesetzten Substanzen (intentionally added substances „IAS“ und non intentionally added substances „NIAS“).

Erstere sind den Herstellern bekannt, sie machen diese aber oft nicht transparent. NIAS haben keine bestimmte Funktion und sind ohne Absicht in das Produkt gelangt. Sie können durch Verunreinigungen, Reaktions- und Abbauprodukte bei der Herstellung und Verwendung entstanden sein. Als NIAS findet man z. B. kurzkettige niedermolekulare Kunststoff-Anteile, Abbauprodukte von Additiven oder Kontaminationen durch den Recyclingprozess (Koster et al., 2016; Geueke, 2018).

**Da „Bio“-Kunststoffe in Zukunft durch erwartete Produktionssteigerungen sowie falsche Entsorgung vermehrt in die Umwelt gelangen werden, ist eine Bewertung hinsichtlich der Human- aber auch der Ökotoxizität sowie der Persistenz in der Umwelt von großer Bedeutung.**

Beispielsweise enthalten nach DIN EN 13432 zertifizierte Abfallbeutel durchschnittlich etwa fünf Prozent Additive (Wiss. Dienste Dt. Bundestag, 2021). Laut Norm sind nur Substanzen mit einem Gewichtsanteil höher 1% auf Bioabbaubarkeit zu untersuchen; gleichzeitig toleriert die Norm insgesamt bis zu fünf Gewichtsprozent nicht biologisch abbaubarer Bestandteile.

In den zertifizierenden Normen biologisch abbaubarer Kunststoffe DIN EN 13432 und DIN EN 14995 sind **Höchstgrenzen für Schwermetalle und andere toxische Substanzen** festgelegt, und es wird eine Bestimmung der ökotoxischen Wirkung der resultierenden

Komposte auf höhere Pflanzen gefordert. Dies reicht allerdings nicht aus, da so **keine Aussage über eine mögliche Anreicherung in der Umwelt und negative Folgen für andere Lebewesen** getroffen wird. **Insbesondere für die „NIAS“ sind (Öko-) Toxizitätsuntersuchungen notwendig.**

In mehreren jüngeren Publikationen wurden in Kunststoffen, darunter auch „Bio“-Kunststoffe und solche für den Lebensmittelkontakt, zahlreiche Substanzen mit Gefährdungspotenzial gefunden. Zwei aktuelle Studien untersuchten Alltagsprodukte aus konventionellen Kunststoffen sowie aus „Bio“-Kunststoffen in Form von Kunststoff-Rohmaterialien (Pellets) sowie Produkten auf ihre chemische Zusammensetzung und Toxizität (Zimmermann et al., 2019, 2020). Sie wurden auf akute Toxizität an Leuchtbakterien, eine mögliche Initiierung mutagener bzw. karzinogener Wirkungen („oxidativer Stress“) sowie mittels Zelltests auf endokrine Wirkungen untersucht. Der größte Teil der untersuchten Kunststoffe – sowohl herkömmliche als auch „Bio“-Kunststoffe – enthielt toxische Chemikalien. In beiden Gruppen zeigte ein Viertel bzw. ein Drittel keine toxische Wirkung der Extrakte.

Eine Folgestudie hat gezeigt, dass auch unter realen Bedingungen (herauslösen der Chemikalien mit Wasser anstelle von Methanol) tausende Chemikalien aus den Kunststoffen austreten und somit in die Lebensmittel und die Umwelt übergehen können (Zimmerman et al. 2021).

Verschiedene Forscher\*innengruppen haben sogenannte Biotestbatterien entwickelt, mit deren Hilfe die Human-, terrestrische und aquatische Toxizität bewertet werden kann (Koster et al. 2012; EFSA, 2019; Koster et al. 2016; Neale et al. 2017; Schmidt et al. 2017; Brack et al. 2019; DiPaolo et al. 2016; Braun et al. 2021). Aus der Vielzahl an Prüfmethode und Test-Batterien sollte eine geeignete Kombination für alle „Bio“-Kunststoffe, insbesondere für bioabbaubare, entwickelt werden, die dann verpflichtend aufgrund des Vorsorge-Prinzips angewendet werden muss.



Immerhin fanden Zimmermann et al. (2019, 2020) mit ihrer Test-Kombination in etwa einem Viertel der Proben nur eine geringe inhärente Toxizität der Proben. Diese Auswahl könnte wegweisend sein für die zukünftige Entwicklung einer neuen Generation gering toxischer und umweltfreundlicher Kunststoffe.

# 5. Kritische Aspekte von „Bio“-Kunststoffen in der Übersicht

Zusammengefasst lassen sich über „Bio“-Kunststoffe folgende Aussagen treffen:

- Es handelt sich bei biobasierten "Bio"-Kunststoffen zum allergrößten Teil nicht um Produkte, die aus ökologischer Landwirtschaft stammen. Zudem beinhalten sie häufig auch fossile Anteile.
- In praktisch allen „Bio“-Kunststoffen sind zusätzliche Additive enthalten. An vielen von diesen sind toxische Wirkungen nachgewiesen worden; das toxische Potenzial unterscheidet sich nicht wesentlich von dem fossil basierter Kunststoffe (Zimmermann et al. 2020).
- Ein Teil der „Bio“-Kunststoffe ist biologisch abbaubar und auch entsprechend zertifiziert. Da die Verrotungszeiten laut gängiger Norm jedoch deutlich über der Kompostierdauer in Industrieanlagen liegen, ist eine normgerechte Zersetzung nicht gewährleistet. Zudem sind die von der Norm tolerierten Restpartikel kritisch zu bewerten.
- Für die „neuen“ Biopolymere, die nicht chemisch identisch mit etablierten Kunststoffen (PE, PET etc.) sind, gibt es derzeit wegen der geringen Mengen keine Recyclingmöglichkeiten im Rahmen bestehender Recycling-Anlagen.
- Etwa die Hälfte der „Bio“-Kunststoffe entfällt auf Verpackungen. Hier existiert ein enormes Vermeidungspotenzial, d. h. bei nachhaltigem Wirtschaften sind viele dieser Kunststoffanwendungen nicht erforderlich.
- Die Normen für alle „Bio“-Kunststoffe, insbesondere aber für jene für bioabbaubar zertifizierte, enthalten weder für „IAS“ noch für „NIAS“ die human- und ökotoxikologisch notwendigen Tests.

## 6. BUND-Forderungen und Leitsätze zu „Bio“-Kunststoffen

In Anbetracht der heutigen Rahmenbedingungen sind **„Bio“-Kunststoffe derzeit eine Scheinlösung** für die Plastikkrise.

**Erstes Ziel als Antwort auf die Plastikkrise** ist und bleibt die **Vermeidung überflüssiger Kunststoffanwendungen**, insbesondere im Verpackungs- und Einwegsektor. Aus Sicht des BUND lenkt die oft heiß geführte Debatte um den Einsatz und die potentiellen Vorteile von „Bio“-Plastik hauptsächlich vom eigentlich notwendigen Umbau im Verpackungs- und im Kunststoffsektor allgemein ab. Hier müssen Konsistenz (z. B. Mehrweg statt Einweg) und Suffizienz (geringere Mengen) stärker in den Fokus rücken. Nötige, verbindliche Vermeidungsziele müssen zudem mit Zielzahlen und Maßnahmen unterlegt werden, sonst bleibt es bei symbolischen Zielsetzungen.

Die Industrie wirbt bezüglich „Bioplastik“ zum Beispiel mit dem Argument, dass dieses ein guter CO<sub>2</sub>-Speicher sei. Tatsächlich ähnelt diese Argumentation anderen End-Of-Pipe-Lösungen gegen den Klimawandel, die nur Symptombekämpfung sind. Solche Argumente führen zu einem möglichst langen Erhalt des Status-Quo und schwächen Forderungen nach den notwendigen, systemischen Änderungen. Die großen Mengen von Einweg-Verpackungen – egal ob aus Plastik oder „Bio“-Plastik – und die niedrigen Recyclingmengen bestehender Plastikabfälle sind das Problem, welches primär im Vordergrund stehen sollte. Eine Diskussion über „Bio“-Plastik als CO<sub>2</sub>-Speicher kann davon ablenken.

Im zweiten Schritt muss das bereits im System befindliche **Plastik tatsächlich hochwertig im Kreislauf geführt** werden – dies schließt die **prioritäre Wiederverwendung durch den breiten Einsatz von Mehrwegsystemen** ein. Außerdem müssen **alle produzierten Kunststoffprodukte** nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch **recyclingfähig** sein. Hierzu ist weiter ein recyclinggerechtes Produktdesign anzustre-

ben (Monomaterial, geeignete Farben, Demontierbarkeit etc.), um eine größtmögliche Rezyklatqualität zu gewährleisten.

Die Zentrale Stelle Verpackungsregister sollte entsprechend **„Bio“-Kunststoffe aus der Zulassung** nehmen, solange sie **im aktuellen Markt nicht recycelt** werden können. Das bedeutet für das Recycling von „Bio“-Kunststoffen, dass neben Drop-in-Polymeren, die mit den chemisch identischen Fraktionen herkömmlicher Kunststoffe recycelt werden können, eine **Beschränkung auf wenige neue „Bio“-Kunststoffe**<sup>9</sup> angeraten ist, um deren Anteil zu erhöhen und so werkstoffliches Recycling wirtschaftlich zu ermöglichen. Zentral dafür sind auch entsprechende politische Anreize – insbesondere vor dem Hintergrund der Notwendigkeit einer sozial-ökologischen Transformation, in der Wirtschaftlichkeit nach heutigen Maßstäben nicht mehr das zentrale Kriterium für oder gegen eine Maßnahme sein kann.

Erst danach geht es darum zu entscheiden, ob und wo biobasierte Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen sinnvoll ersetzen können.

Es ist fraglich, ob Bioabbaubarkeit durch die Funktion bedingt tatsächliche Vorteile, z. B. in bodennahen landwirtschaftlichen Anwendungen, mit sich bringen kann. Dies ist von zentraler Bedeutung, weil es sich bei der **Kompostierung von bioabbaubaren Kunststoffen um eine reine Entsorgung** handelt, die wiederum dem Gedanken der Kreislaufwirtschaft widerspricht.

Zudem können Bezeichnungen wie „kompostierbar“ oder „biologisch abbaubar“ dazu führen, dass die Produkte vermehrt in der Umwelt landen, was äußerst kritisch zu bewerten ist.

Die Normen für alle „Bio“-Kunststoffe, insbesondere aber für jene für bioabbaubar zertifizierte, sollten zusätzlich um **human- und ökotoxikologisch notwendige Tests** ergänzt werden, insbesondere für „NIAS“ sind (Öko-)Toxizitätsuntersuchungen not-

<sup>9</sup> Nach aktuellem Entwicklungsstand handelt es sich dabei vorrangig um PLA und PHAs, wenn die Mengenentwicklung hier wie in den letzten Jahren voranschreitet.

wendig. Zudem ist eine **Harmonisierung der Normen bezüglich des Referenzmaterials** erforderlich.

Der BUND erhebt folgende **Forderungen** für den **Einsatz biobasierter Kunststoffe**:

- Der BUND lehnt die Produktion von Rohstoffen für biobasierte Kunststoffe auf nicht-nachhaltigen, eigens dafür zur Verfügung gestellten Flächen (u. a. durch Rodungen, Umwandlung extensiv in intensiv genutzte Flächen oder Verdrängung von Nahrungsmittelproduktion) ab.
- Eine nachhaltige Produktion biobasierter Kunststoffe kann nur durch den Einsatz von Rohstoffen erfolgen, die regional als Reste biogener Produkte (wie der Holzindustrie, Weinanbau, Speiseölrreste) anfallen. Für die Herkunft der Rohstoffe sollte es eine entsprechende Zertifizierung geben. Für die Bodengesundheit und CO<sub>2</sub>-Speicherung auf dem Acker nutzbare landwirtschaftliche „Reststoffe“ sollen für die „Bio“-Kunststoff-Produktion nicht genutzt werden.
- Der Einsatz biobasierter Kunststoffe darf nicht dazu führen, dass herkömmliche Kunststoffe in vermeidbaren Anwendungen ein besseres Image bekommen (Greenwashing). Dies gilt insbesondere bei Kunststoffprodukten, die zu einem geringen Anteil aus biobasierten Rohstoffen hergestellt werden.
- Eine Verbraucher\*innen-freundliche, leicht verständliche Kommunikation zu den tatsächlich biobasierten Anteilen von Produkten ist nötig. Dafür sollten unabhängige Normen /Zertifizierung erarbeitet werden.

Folgende **Forderungen** stellt der BUND für den **Einsatz bioabbaubarer Kunststoffe**:

- Grundsätzlicher Verzicht auf den Einsatz bioabbaubarer Kunststoffe für Verpackungen.
- Sollten nachweislich sinnvolle Einsatzgebiete für bioabbaubare Kunststoffe etabliert werden, sollten in diesen Fällen herkömmliche Kunststoffe nicht mehr verwendet werden dürfen.
- Bioabbaubare Kunststoffe dürfen rechtlich verbindlich keine oder nur unproblematische Additive enthalten, dafür ist eine komplette Transparenz über alle Inhaltsstoffe Voraussetzung sowie Toxizitätsprüfungen für nicht absichtlich zugefügte Substanzen (NIAS).
- Sie müssen zudem außerhalb industrieller Kompostierungsanlagen vollständig biologisch abbaubar sein.
- Keine Zulassung von bioabbaubaren Kunststoffprodukten für die Entsorgung über Kompostierungsanlagen.
- Der Einsatz von Produkten wie Mulchfolien sollte soweit möglich minimiert werden.
- Der Einsatz von Produkten wie Mulchfolien ist u. a. ein wichtiger nicht-chemischer Schädlingsschutz. Er sollte zukünftig entweder auf tatsächlich bioabbaubare Kunststoffe oder besser auf stabile Folien, die zurückgegeben werden, beschränkt werden.
- Für die Rückgabe von in der Landwirtschaft eingesetzten Folien sind Rückgabe- und Recyclingsysteme, am besten auf Pfandbasis, einzurichten.

# Anhang A: Additive in „Bio“-Kunststoffen und human- und ökotoxikologische Auswirkungen

„Bio“-Kunststoffe enthalten, wie andere Kunststoffe, verschiedene Additive: also Zusatzstoffe, die für die jeweilig gewünschten Eigenschaften sorgen. Mehr als 10.000 verschiedene Chemikalien wurden mit Kunststoffen in Verbindung gebracht (Wiesinger et al. 2021). Durch fehlende Transparenz ist allerdings unklar, welche und wie viele dieser Chemikalien in einem Kunststoff enthalten sind.

Hier bei lässt sich zwischen absichtlich und nicht-absichtlich zugesetzten Substanzen (intentionally added substances „IAS“ und non intentionally added substances „NIAS“) unterscheiden. Erstere sind den Herstellern bekannt, sie machen diese aber oft nicht transparent. Letztere sind selbst dem Hersteller meist unbekannt, und sind unbeabsichtigt im Endprodukt vorhanden. Diese umfassen beispielsweise, Nebenprodukte (z. B. kurzkettige Kunststoff-Anteile (Oligomere)) sowie Reaktions- und Abbauprodukte des Herstellungsprozesses (z. B. Nonylphenol aus Antioxidantien) und Verunreinigungen (z. B. Mineralöl und Stoffe resultierend aus dem Recyclingprozess) (Koster et al., 2016; Geueke, 2018). Diese können durch Verunreinigungen, Reaktions- und Abbauprodukte bei der Herstellung und Verwendung entstanden sein und können bisher größtenteils mangels Daten nicht hinsichtlich ihres Risikopotentials bewertet werden.

**Da „Bio“-Kunststoffe in Zukunft durch erwartete Produktionssteigerungen sowie falsche Entsorgung vermehrt in die Umwelt gelangen werden, ist eine Bewertung hinsichtlich der Human- aber auch der Ökotoxizität sowie der Persistenz in der Umwelt von großer Bedeutung.**

Die absichtlich für bestimmte Funktionen zugesetzten Stoffe (Weichmacher, Flammschutzmittel, Antioxidantien und UV-Stabilisatoren, Gleitmittel, Farbstoffe, Antistatika, Biozide, Füllstoffe, Verstärker) lassen sich grob gliedern in Additive, die für Kunststoffe mit Lebensmittel- oder Haut-Kontakt vorgesehen sind, und Additive für technische Anwendungen im Innen- und Außenbereich. Da viele „Bio“-Kunststoffe für Lebens-

mittelverpackungen eingesetzt werden, können die enthaltenen Additive und NIAS auf Lebensmittel (und somit allgemein in die Nahrungskette) übergehen. Solche Kunststoffe und auch ihre Inhaltsstoffe stehen unter besonderer Beobachtung. Eine Positivliste der EU (EU, 2020) mit mehr als 1000 Einzelstoffen wird seit 2011 laufend aktualisiert („Unionsliste der zugelassenen Monomere, sonstigen Ausgangsstoffe, durch mikrobielle Fermentation gewonnenen Makromoleküle, Zusatzstoffe und Hilfsstoffe bei der Herstellung von Kunststoffen“). Einige Einzelstoffe wurden von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bewertet. Jeder in den Verkehr gebrachte Stoff mit einer Produktionsmenge von mehr als einer Tonne pro Jahr sollte zudem in der EU registriert sein. Zu diesem gibt es in der Regel ein Dossier mit seinen (öko)toxikologischen und anderen umweltrelevanten Eigenschaften.

Groh et al. (2021) untersuchten Kunststoffe mit Lebensmittelkontakt und identifizierten in einer aufwendigen Zusammenstellung ca. 4700 Substanzen (IAS), die weltweit als Ausgangs- oder Zusatzstoffe in Kunststoffen mit Lebensmittelkontakt genutzt werden. Sie fanden in den untersuchten Kunststoffen ca. 600 in Listen prioritär eingestufte Chemikalien, die als gesundheits- und/oder umweltgefährdend (ECHA/Japan), endokrin wirksam, persistent + bioakkumulierend + toxisch (PBT), sehr persistent + sehr bioakkumulierend (vPvB) oder als persistenter organischer Schadstoff (POP) gelten oder darüber hinaus in Prioritätslisten der EU oder USA (Kalifornien) genannt sind. Die Identifizierung solcher bekannten und unbekanntem Stoffe und Stoffgruppen ist ein erster Schritt, um kritische Substanzen an Hand der Strukturen zu erkennen, für eine Bewertung sind jedoch weitere Schritte nötig. **In „Bio“-Kunststoffen wurden mittels chemischer Analyseverfahren über 40.000 Substanzen<sup>10</sup> gefunden, von denen viele NIAS sind (Zimmermann et al., 2020).**

Nach mehr oder weniger langem Gebrauch unterliegen „Bio“-Kunststoffe – wie auch aus Erdöl hergestellte

<sup>10</sup> Die Anzahl an Substanzen/Chemikalien sind Näherungen und keine akkuraten Zahlen. Diese Näherung unterschätzt allerdings wahrscheinlicher eher die Chemikalien/Substanzen die in den Produkten enthalten sind bzw. daraus austreten können sogar eher noch.

Kunststoffe – einer stofflichen Wiederverwertung, der Verbrennung oder einer Deponierung (Hahladakis et al., 2018). Ein Teil landet allerdings in der Umwelt (engl. „litter“); **für alle „Bio“-Kunststoffe ist der Weg in die terrestrische und eventuell aquatische Umwelt besonders wahrscheinlich.** Im Idealfall werden die Kunststoffe dann vollständig zu CO<sub>2</sub> und Wasser mineralisiert, allerdings nur unter den günstigen Labor-Bedingungen, selten aber in der realen Umwelt (Haider et al., 2019).

**Der Verbleib der in den Produkten enthaltenen IAS und NIAS ist weitgehend ungeklärt.** Beispielsweise enthalten nach DIN EN 13432 zertifizierte Abfallbeutel durchschnittlich etwa fünf Prozent Additive; weder diese und ihr Abbauverhalten, noch ihre Ökotoxizität, werden hinreichend von der Norm reguliert (Wiss. Dienste Dt. Bundestag, 2021). **Die Norm schließt demnach eine ökotoxische Wirkung der Zusatzstoffe nicht aus.** Bei 1–5% IAS- + NIAS-Anteil errechnen sich aus den 2017 global produzierten 870.000 t/a abbaubaren Kunststoffen (Haider et al., 2019) **ca. 9.000 bis 40.000 t kaum bekannter Chemikalien, die zum Teil unkontrolliert jährlich in die Umwelt gelangen.**

In den zertifizierenden Normen biologisch abbaubarer Kunststoffe DIN EN 13432 und DIN EN 14995 sind Höchstgrenzen für Schwermetalle und andere toxische Substanzen festgelegt und es wird eine Bestimmung der ökotoxischen Wirkung der resultierenden Komposte auf höhere Pflanzen gefordert. Dies reicht allerdings nicht aus, da so keine Aussage über eine mögliche Anreicherung in der Umwelt und negative Folgen für aquatische oder terrestrische Lebewesen getroffen wird. Insbesondere für die „NIAS“ sind (Öko-)Toxizitätsuntersuchungen notwendig.

Wenn die zugesetzten IAS bekannt und registriert sind, erleichtern die Basisdaten eine Bewertung des humantoxischen und umweltrelevanten Gefährdungspotenzials (EFSA, 2020; Hahladakis et al., 2018)

**und Erkennung besonders kritischer Substanzen mit Prioritätensetzung** (Groh et al. 2021). **Die Erkennung kritischer IAS und NIAS ohne Datensätze erfordert jedoch weitergehende Anstrengungen.** Einige Veröffentlichungen der letzten Jahre bieten dazu Ansatzpunkte.

Zwei aktuelle Studien untersuchten Alltagsprodukte aus verschiedenen konventionellen (Erdöl-basierten) Kunststoffen (z. B. Polyethylen, Polystyrol, Polyvinylchlorid) sowie aus „Bio“-Kunststoffen (viele davon für den Lebensmittelkontakt vorgesehen) auf ihre chemische Zusammensetzung und Toxizität (Zimmermann et al., 2019, 2020). Dabei wurden mittels Methanol-Extraktion die in den Produkten enthaltenen Chemikalien herausgelöst und die erhaltene Chemikalienmischung mittels Zelltests untersucht. **Der größte Teil der untersuchten Kunststoffprodukte – zwei Drittel der herkömmlichen und drei Viertel der „Bio“-Kunststoffe – enthielt schädliche Chemikalien, darunter solche die toxisch auf Zellen wirken oder endokrine Effekte hervorrufen. Die Produkte, die auf Zellulose oder Stärke basierten enthielten die meisten Chemikalien und waren am toxischsten (d. h. hatten negative Auswirkungen in Zelltests).**<sup>11</sup> In beiden Gruppen zeigte ein Viertel bzw. ein Drittel keine toxische Wirkung der Extrakte.

Eine Folgestudie hat gezeigt, dass auch unter realen Bedingungen (herauslösen der Chemikalien mit Wasser anstelle von Methanol) tausende Chemikalien aus den Kunststoffen austreten und somit in die Lebensmittel und die Umwelt übergehen können (Zimmerman et al. 2021). Um Schlussfolgerungen hinsichtlich der Auswirkung auf den Menschen und andere Organismen zu treffen, braucht es eine Übertragung der Ergebnisse von den Zelltests auf den lebenden Organismus sowie eine Abschätzung der tatsächlichen Exposition. Bei Verpackungen muss das Ausmaß einer Migration in Lebensmittel oder der Auslaugung beim Verbleib in der Umwelt ermittelt und an Hand von Wirkungsdaten bewertet werden.

<sup>11</sup> Bei den konventionellen Kunststoffen waren es Polyvinylchlorid und Polyurethan.

Um mögliche Wirkungen von Kunststoff-Inhaltsstoffen auf den Menschen (über Lebensmittel oder die Haut) oder auf die Umwelt mit einiger Wahrscheinlichkeit zu erkennen, gibt es zum einen die herkömmliche Einzelstoffbewertung. Sie erfordert vorab die chemisch-analytische Aufklärung der NIAS (Koster et al., 2012: 10 µg/kg als untere analytische Grenze), dann die Erfassung von Substanzen mit besonderer toxikologisch relevanter Struktur (Nitrosamine, stark genotoxische, dioxinähnliche, Azoxyverbindungen, Steroide, aflatoxinähnliche, Organophosphate, metallorganische), Angaben zur möglichen Migration mit Expositionsabschätzung und schließlich die Bewertung jeder Substanz, entweder mittels substanzbezogener Tests oder grob nach dem TTC-Konzept („Thresholds of Toxicological Concern“) (Koster et al, 2012; EFSA, 2019). Als TTC-Obergrenze würde eine Exposition von maximal 90 µg je Person und Tag resultieren (Kroes et al., 2004).

Zum anderen – und einfacher – könnten mittels einer **geeigneten Kombination von Prüfverfahren die Extrakte der Kunststoffe integrierend auf mögliche toxische Eigenschaften** geprüft werden. Koster et al. (2016) verweisen für Kunststoffe im Kontakt mit Lebensmitteln die Anwendung der in der EU-Verordnung 10/2011 (Anhang III und V) beschriebenen Migrations-/Extraktionsverfahren. Sie schlagen anschließende in-vitro-Bioassays auf endokrine Aktivität, Zytotoxizität und Genotoxizität/potenzielle Karzinogenität vor. Eine Vielzahl von Prüfmethoden zur Ermittlung der Human- und aquatischen Toxizität wurde von Neale et al. (2017) und Schmidt et al. (2017) zusammengestellt. Schmidt et al. (2017) arbeiteten mit insgesamt 12 Tests zu unterschiedlichen Endpunkten (hormonartige, mutagene/genotoxische und neurotoxische Wirkungen, Immuntoxizität und oxidativer Stress, metabolische Enzyme und Rezeptoren, phytotoxische sowie sonstige spezifische Effekte). Innerhalb des EU-Projektes SOLUTIONS und dem NORMAN-Netzwerk wurde eine abgestimmte Biotestbatterie entwickelt, die drei organismische in vivo Biotests verwendet und Zellkulturbasierte in vitro-Verfahren für

den Nachweis spezifischer Wirkungen wie endokriner Aktivität, Genotoxizität und reaktiver Toxizität (Brack et al. 2019, DiPaolo et al. 2016). Diese Biotestbatterie wurde durch eine Arbeitsgruppe für Effekt-basierte Methoden der EU für die Implementierung in die Wasserrahmenrichtlinie vorgeschlagen. Diese Biotestbatterie erweitert um terrestrische Biotest wird zum Beispiel innerhalb des EFRE-Projektes iMULCH eingesetzt oder beim UBA-Projekt „Plastik in Böden – Vorkommen, Quellen, Wirkungen“ (Braun et al. 2021). **Aus dieser Vielzahl an Prüfmethode und Test-Batterien sollte eine geeignete Kombination für alle „Bio“-Kunststoffe entwickelt werden, die dann verpflichtend aufgrund des Vorsorge-Prinzips angewendet werden muss.**

Sehr zielführend ist auch bei der Entwicklung neuer biobasierter Kunststoffe das Konzept der „Green Toxicology“, welches bereits in einem frühen Stadium der Produktentwicklung eine umfassende Batterie ökotoxikologische und toxikologische Tests einsetzt, um direkt eine nachteilige Wirkung auf Mensch und Umwelt auszuschließen und über ein direktes Feedback beim Design der umweltfreundlichsten Produkte zu unterstützen (Crawford et al. 2016, Johann et al. 2021). Im Idealfall werden die Produkte als unbedenklich eingestuft oder es müssen weitere Untersuchungen folgen, auch mit Analytik und Einzelstoffbewertung. **Immerhin fanden Zimmermann et al. (2019, 2020) mit ihrer Test-Kombination in etwa einem Viertel der Proben nur eine geringe inhärente Toxizität der Proben.** Diese Auswahl könnte wegweisend sein für die zukünftige Entwicklung einer neuen Generation gering toxischer und umweltfreundlicher Kunststoffe. Welches Extraktionsmittel geeignet ist und welche der vorhandenen Testmethoden sich in der Praxis als schnelle Hochdurchsatz-Frühwarnverfahren zur Erkennung toxischer Zusatzstoffe eignen, muss in Forschungsvorhaben noch geklärt werden. Dabei müssen sowohl der Schutz des Menschen bei der Verwendung der Kunststoffe (z. B. Migration in Lebensmittel aus Verpackungen, Hautkontakt) als auch mögliche Wirkungen bei unkontrolliertem Eintrag in die Umwelt betrachtet werden.

Die in DIN EN 13432 und DIN EN 14995 festgelegten Höchstgrenzen für Schwermetalle und andere toxische Substanzen Grenzwerte sowie die Prüfung zur Bestimmung der ökotoxischen Wirkung auf höhere Pflanzen genügen nicht, um eine ausreichende Aussage über eine mögliche Anreicherung in der Umwelt und negative Folgen für andere Lebewesen zu treffen. Die Normen für alle „Bio“-Kunststoffe, insbesondere aber für jene für bioabbaubar zertifizierte, sollten zusätzlich um human- und ökotoxikologisch notwendige Tests ergänzt werden, insbesondere für „NIAS“ sind (Öko-)Toxizitätsuntersuchungen notwendig.

Für biobasierte Kunststoffe soll mithilfe bestehender Konzepte wie „Green Toxicology“ und der Zimmermann et al. (2019, 2020) – Publikationen eine geeignete Kombination von Prüfverfahren entwickelt werden. Diese sollen möglichst umfassend, aber auch kosten- und aufwandseffizient, mögliche toxische und ökotoxische Eigenschaften von Produkten bewerten, beginnend bereits im Produktentwicklungsprozess.



**Accinelli et al. (2020)**, Persistence in soil of microplastic films from ultra-thin compostable plastic bags and implications on soil *Aspergillus flavus* population. In: Waste Management, Band 113, S. 312–318.

**Biobasedcontent 2021**, Biobased-content Zertifizierung. Abrufbar online: URL: <https://www.biobasedcontent.eu/> (zuletzt zugegriffen: 26.03.2021).

**Brack et al. 2019**, Brack W.; S.A. Aissa, T. Backhaus, V. Dulio, B.I. Escher, M. Faust, K. Hilscherova, J. Hollender, H. Hollert, Müller C. [...] Altenburger R.: Effect-based methods are key. The european collaborative project SOLUTIONS recommends integrating effect-based methods for diagnosis and monitoring of water quality. *Environ. Sci. Eur.*, 31 (2019).

**Braun et al. 2021**, Braun, U; Müller, A; Kittner, M; Altmann, K; Meierdierks, J; Grathwohl, P; Lackmann, C; Šimić, A.; Weltmeyer, A; Schmitz, M; Tofan, S; Roß-Nickoll, M.; Velki, M; Hollert, H (2021), Umweltbundesamt Texte 11, Forschungskennzahl 3717 72 232 0.

**BUND 2021a**, Nachhaltige Entwicklung – generationengerecht und umweltfreundlich. Abrufbar online: URL: <https://www.bund.net/ueberuns/nachhaltigkeit/> (zuletzt zugegriffen: 26.02.2021).

**BUND 2021b**, Plastikvermeidungsstrategie des BUND

**BUND 2021c**, Bioökonomie – wirklich nachhaltig oder nur eine Scheinlösung? Abrufbar online: URL: <https://www.bund.net/ressourcetechnik/biooekonomie/> (zuletzt zugegriffen: 21.11.2021).

**BUND 2019**, Herausforderungen für eine nachhaltige Stoffpolitik. Notwendigkeit einer Transformation im globalen Kontext. Abrufbar online: URL: [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/bund/position/position\\_stoffpolitik.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/position/position_stoffpolitik.pdf) (zuletzt zugegriffen: 26.02.2021).

**BUND 2010**, Wege zu einer nachhaltigen Abfallwirtschaft. BUND Position 49. Abrufbar online: URL: [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/bund/position/ressourcen\\_abfallwirtschaft\\_position.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/position/ressourcen_abfallwirtschaft_position.pdf) (zuletzt zugegriffen: 26.02.2021).

**Burgstaller et al. 2018**, Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. UBA-Texte 57/2018. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Abrufbar online: URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/18-07-25\\_abschlussbericht\\_bak\\_final\\_pb2.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/18-07-25_abschlussbericht_bak_final_pb2.pdf) (zuletzt zugegriffen: 28.02.2021).

**Crawford et al. 2017**, Crawford S.E., T. Hartung, H. Hollert, B. Mathes, B. van Ravenzwaay, T. Steger-Hartmann, C. Studer, H.F. Krug: Green toxicology: a strategy for sustainable chemical and material development. *Environ. Sci. Eur.*, 29 (2017).

**Denkhaus Bremen 2021**, Bioplastik – Nachhaltige Alternative oder nur eine weitere Bio-Lüge? Abrufbar online: URL: <https://denkhausbremen.de/bioplastik-nachhaltige-alternative-oder-nur-eine-weitere-bio-luege/> (zuletzt zugegriffen: 22.11.2021).

**Detzel et al. 2019**, Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engel. Teil 2: PROSA – Biobasierte Kunststoffe Abschlussbericht. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Abrufbar online: URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-19\\_texte\\_88-2019\\_be\\_biomassenutzung\\_kunststoffe.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-19_texte_88-2019_be_biomassenutzung_kunststoffe.pdf) (zuletzt zugegriffen: 01.03.2021)

**Deutscher Bundestag (2016)**, Biologisch abbaubare Kunststoffe, Ausarbeitung WD 8-028-15. Abrufbar online: URL: <https://www.bundestag.de/resource/blob/410104/34eca17202ee9d7380e1df34946335c8/WD-8-028-15-pdf-data.pdf> (zuletzt zugegriffen 28.02.2021).

**DIN CERTCO 2017**, Merkblatt biobasierte Produkte und die 14C-Methode. Abrufbar online: URL: [https://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente\\_1/merkblaetter/biobasierte\\_produkte\\_merkblatt.pdf](https://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente_1/merkblaetter/biobasierte_produkte_merkblatt.pdf) (zuletzt zugegriffen: 8.3.2021)

**DIN CERTCO 2021a**, Zertifizierungsprogramm biobasierte Produkte ,TÜV Rheinland/DIN CERTCO. Abrufbar online: URL: <https://www.dincertco.de/din-certco/de/main-navigation/products-and-services/certification-of-products/environmental-field/biobased-products/> (zuletzt zugegriffen: 8.3.2021)

**DIN CERTCO 2021b**, Zertifizierungsprogramm kompostierbare Produkte ,TÜV Rheinland/DIN CERTCO. Abrufbar online: URL:<https://www.dincertco.de/din-certco/de/main-navigation/products-and-services/certification-of-products/environmental-field/industrial-compostable-products/> (zuletzt zugegriffen: 22.11.2021)

**Di Paolo et al. 2016**, Di Paolo, C.; Ottermanns, R.; Keiter, S.; Ait-Aïssa, S.; Bluhm, K.; Brack, W.; Breitholtz, M.; Buchinger, S.; Carere, M.; Chalou, C.; Cousin, X.; Dulio, V.; Escher, B.I.; Hamers, T.; Hilscherová, K.; Jarque, S.; Jonas, A.; Maillot-Marechal, E.; Marneffe, Y.; Nguyen, M.T.; Pandard, P.; Schifferli, A.; Schulze, T.; Seidensticker, S.; Seiler, T.-B.; Tang, J.; van der Oost, R.; Vermeirssen, E.; Zounková, R.; Zwart, N.; Hollert, H.: Bioassay battery interlaboratory investigation of emerging contaminants in spiked water extracts – towards the implementation of bioanalytical monitoring tools in water quality assessment and monitoring. *Water Res.*, 104 (2016), pp. 473–484, 10.1016/j.watres.2016.08.018

**EFSA 2019**, EFSA Scientific Committee: Guidance on the use of the Threshold of Toxicological Concern approach in food safety assessment. *EFSA J.* 17 (2019) 5708

**EFSA 2020**, EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids (CEP): Review and priority setting for substances that are listed without a specific migration limit in Table 1 of Annex 1 of Regulation 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food. 104 Seiten. *EFSA J.* 18 (2020) 6124. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2020.6124>

**Ekardt et al. 2019**, Kunststoffe im internationalen, europäischen und nationalen Umweltrecht, Gutachten im Auftrag des UBA

**EU 2020**, Verordnung (EU) Nr. 10/2011 der Kommission über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Amtsblatt der Europäischen Union vom 15.01.2011, L 12/1 – L 12/89. konsolidierte Fassung vom 23.09.2020. Abrufbar online: URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32011R0010>

**European bioplastics 2018**, New EU standard for biodegradable mulch films in agriculture published, european bioplastics 2018. Abrufbar online: URL: <https://www.european-bioplastics.org/new-eu-standard-for-biodegradable-mulch-films-in-agriculture-published/> (zuletzt zugegriffen 02.03.2022).

**european bioplastics 2020**, Bioplastics market data. Abrufbar online: URL: <https://www.european-bioplastics.org/market/> (zuletzt zugegriffen 26.02.2021).

**Fatheuer 2020**, Zuckerträume – Ethanol aus Brasilien in der globalen Klimapolitik. Forschungs- und Dokumentationszentrum Chile-Lateinamerika e. V. – FDCL: [https://www.fdcl.org/wp-content/uploads/2020/03/FDCL\\_Zuckertra%CC%88ume\\_web.pdf](https://www.fdcl.org/wp-content/uploads/2020/03/FDCL_Zuckertra%CC%88ume_web.pdf)

**Fischer 2021**, Logo.Abrufbar online: URL: <https://fischerpaperproducts.com/fischertrunkraft/compostable-commercially-logo/> (zuletzt zugegriffen: 22.11.2021).

**FNR 2021**, Klassifizierung. <https://biowerkstoffe.fnr.de/biokunststoffe/klassifizierung> (zuletzt zugegriffen: 22.11.2021).

**Fraunhofer UMSICHT/plastice.org**, Karte der in Europa vorhandenen Zertifizierungslogos für kompostierbare Kunststoffe. Abrufbar online: URL: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/ueber-fraunhofer-umsicht/nachhaltigkeit/nationale-informationsstelle-nachhaltige-kunststoffe/zertifizierung/kompostierbare-kunststoffe.html> (zuletzt zugegriffen: 26.02.2021).

**Geueke 2018**, Geueke, B.: Dossier – Non-intentionally added substances (NIAS). [https://www.foodpackagingforum.org/fpf-2016/wp-content/uploads/2018/06/FPF\\_Dossier03\\_NIAS\\_German.pdf](https://www.foodpackagingforum.org/fpf-2016/wp-content/uploads/2018/06/FPF_Dossier03_NIAS_German.pdf)

**Groh et al. 2021**, Groh, K.J.; Geueke, B.; Martin, O.; Maffini, M.; Muncke, J.: Overview of intentionally used food contact chemicals and their hazards. *Environ. Int.* 150 (2021) 106225; doi: 10.1016/j.envint.2020.106225

**Hahladakis 2018**, Hahladakis, J.N.; Velis, C.A.; Weber, R.; Iacovidou, E.; Purnell, P.: An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *J. Hazard Mater.* 344 (2018) 179–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>

**Haider 2019**, Haider, T.; Voelker, C.; Kramm, J.; Landfester, K.; Wurm, F.: Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society. *Angew. Chem. Int. Ed.* 58 (2019) 50–62. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/anie.201805766>

**Heinrich Böll Stiftung/BUND 2019**, PlastikAtlas 2019. Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff. Berlin. Abrufbar online: URL: [https://www.boell.de/sites/default/files/2019-11/Plastikatlas\\_2019\\_3\\_Auflage.pdf](https://www.boell.de/sites/default/files/2019-11/Plastikatlas_2019_3_Auflage.pdf) (zuletzt zugegriffen: 26.02.2021).

**IfBB 2021**, Institut für Biokunststoffe und Bioverbundkunststoffe. Abrufbar online: URL: <https://www.hs-hannover.de/forschung/forschungsaktivitaeten/forschungscluster/biokunststoffe/> (zuletzt zugegriffen: 8.3.2021)

**Johann 2021**, Johann, J.; Weichert F. Schröder, L.; Stratemann, L.; Kämpfer, C.; Seiler T-B, Heger S, Töpel A, Sassmann T, Pich A, Jakob F, Schwaneberg, U; Stoffels, P; Philipp, M; Terfrüchte, M; Loeschcke, A; Schipper K, Feldbrügge, M; Ihling, N; Büchs, J; Bator, I; Tiso, T; Blank, LM; Roß-Nickoll, M, Hollert H.: A plea for the integration of Green Toxicology in sustainable bioeconomy strategies – Biosurfactants and microgel-based pesticide release systems as examples', *Journal of Hazardous Materials* (2021): 127800.

**Koster 2012**, Koster, 2012: Safety evaluation strategy of non-intentionally added substances (NIAS). Posterpräsentation; ca. 2012

**Koster 2016**, Koster, 2016: Koster, S.; Bani-Estivals, M.-H., Bonuomo, M.;Bradley, E.; Chagnon, M.-C.; García, M.L.; Godts, F.; Gude, T.; Helling, R.; Paseiro-Losada, P.; Pieper, G.; Rennen, M.; Simat, T.; Lionel, S.: Guidance on best practices on the risk assessment of non-intentionally added substances (NIAS) in food contact materials and articles. ILSI Europe Report Series. 2016. 70 Seiten. <https://ilsi.eu/publication/guidance-on-best-practices-on-the-risk-assessment-of-non-intentionally-added-substances-nias-in-food-contact-materials-and-articles/>

**Kreutzbruck et al. 2021**, Kreutzbruck, M.; Resch, J.; Kabasci, S.; Ivleva, N.P.; Philipp, B.; Jongmsa, R.; Maga, D. (2021): Sachstandspapier zur Bioabbaubarkeit von Kunststoffen. URL: <https://bmbf-plastik.de/de/publikation/qst7-sachstandspapier> (zuletzt zugegriffen: 15.1.2022)

**Kramm et al. 2020**, Kramm, Johanna; Völker, Carolin; Haider, Tobias; Kerber, Heide; Sattlegger, Lukas; Zimmermann, Lisa (2020): Sozial-ökologische Forschung zu Plastik in der Umwelt. Ergebnisse der Forschungsgruppe PlastX. Frankfurt am Main: ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung. Abrufbar online: URL: [https://www.isoie.de/fileadmin/Edit/PDF/Pr/PlastX/PlastX-Kernbotschaften-2020\\_Ergebnisstand20-11.pdf](https://www.isoie.de/fileadmin/Edit/PDF/Pr/PlastX/PlastX-Kernbotschaften-2020_Ergebnisstand20-11.pdf) (zuletzt zugegriffen: 01.03.2021).

**Kroes et al. 2004**, Kroes, A.; Renwick, M.; Cheeseman; Kleiner, J; Mangelsdorf, I.; Piersma, A.; Schilter, B.; Schlatter, J.; van Schothorst, F.; Vos, J.G.; Würtzen, G. (2004): Structure-based thresholds of toxicological concern (TTC): guidance for application to substances present at low levels in the diet. *Food Chem Toxicol* 42(1):65–83. doi: 10.1016/j.fct.2003.08.006.

**Neale et al. 2017**, Neale, P.A.; Altenburger, R.; Ait-Aïssa, S.; Brion, F.; Busch, W.; de Aragão Umbuzeiro, G.; Denison, M.S.; Du Pasquier, D.; Hilscherová, K.; Hollert, H.; Morales, D.A.; Novák, J.; Schlichting, R.; Seiler, T.-B.; Serra, H.; Shao, Y.; Tindall, A.J.; Tollefsen, K.E.; Williams, T.D.; Escher, B.L.: Development of a bioanalytical test battery for water quality monitoring: Fingerprinting identified micropollutants and their contribution to effects in surface water. *Water Res.* 123 (2017) 734–750

**Nova-Institut 2018**, Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities and Trends 2017–2022. <http://bio-based.eu/downloads/bio-based-building-blocks-and-polymers-global-capacities-and-trends-2017-2022/> (zuletzt zugegriffen: 27.02.2021).

**Renewable carbon publications 2021**, Biobased building blocks and polymers. Abrufbar online: URL: <https://renewable-carbon.eu/publications/product/bio-based-building-blocks-and-polymers-global-capacities-production-and-trends-2020-2025-short-version/> (zuletzt zugegriffen: 8.3.2021)

**Röchling Stiftung/Wider Sense 2020**, Der Abfall der Anderen. Über die Verantwortung für die Plastikflut in Asien | Konzepte, Initiativen, Akteure. c <http://polyproblem.org/wp-content/uploads/2020/04/Polyproblem-%E2%80%93-Der-Abfall-der-Anderen.pdf> (zuletzt zugegriffen: 26.02.2021).

**Schmidt 2017**, Schmidt, S.; Busch, W.; Altenburger, R.: Biotestverfahren zur Abschätzung von Wirkpotenzialen in der aquatischen Umwelt Vorschlag einer modularen Biotestbatterie für das aquatische Umweltmonitoring als Ergebnis einer systematischen Literaturrecherche und Bewertung. Bericht des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ), Abteilung Bioanalytische Ökotoxikologie. 107 Seiten. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). 107 Seiten. Karlsruhe: 2017

**TÜV AUSTRIA 2018**, Expansion in die Zertifizierung biologisch abbaubarer Produkte. Abrufbar online: URL: [https://www.tuv.at/fileadmin/user\\_upload/tuvaustriatimes/2018/TUV-AUSTRIA-TIMES\\_2018\\_02\\_Biodegradable\\_Brescia\\_WEB.pdf](https://www.tuv.at/fileadmin/user_upload/tuvaustriatimes/2018/TUV-AUSTRIA-TIMES_2018_02_Biodegradable_Brescia_WEB.pdf) (zuletzt zugegriffen: 22.11.2021).

**UBA 2012**, Glossar zum Ressourcenschutz, Abrufbar online: URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/n/long/4242.pdf> (zuletzt zugegriffen: 28.02.2021).

**UBA 2014**, Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse, Umweltbundesamt 2014. Abrufbar online: URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_02\\_2014\\_kf\\_deutsch\\_druckfassung\\_23.1.2014.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_02_2014_kf_deutsch_druckfassung_23.1.2014.pdf) (zuletzt zugegriffen: 28.02.2021).

**UBA 2017**, Biomassekaskaden: Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis, Umweltbundesamt 2017. Abrufbar online: URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-06-13\\_texte\\_53-2017\\_biokaskaden\\_kurzfassung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-06-13_texte_53-2017_biokaskaden_kurzfassung.pdf) (zuletzt zugegriffen: 28.02.2021).

**UBA 2018**, Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe, Umweltbundesamt 2018. Abrufbar online: URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/18-07-25\\_abschlussbericht\\_bak\\_final\\_pb2.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/18-07-25_abschlussbericht_bak_final_pb2.pdf) (zuletzt zugegriffen: 28.02.2021).

**UNEP 2018**, Exploring the potential for adopting alternative materials to reduce marine plastic litter, United Nations Environment Programme, 2018. Abrufbar online: URL: <https://www.unep.org/resources/report/exploring-potential-adopting-alternative-materials-reduce-marine-plastic-litter> (zuletzt zugegriffen: 03.02.2022).

**VCi 2017**, Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie unter der Anwendung von Massenbilanzansätzen, Verband der Chemischen Industrie e.V. 2017.

**Wiesinger et al. 2021**, Wiesinger, H.; Wang, Z.; Hellweg, S.: Deep Dive into Plastic Monomers, Additives, and Processing Aids, *Environ. Sci. Technol.* 2021, 55, 13, 9339–9351. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00976> zuletzt zugegriffen: 15.01.2022).

**Wiss. Dienste Dt. Bundestag, 2021**, Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages: Zur Verwendung von Bioabfallbeuteln aus bioabbaubaren Kunststoffen. Verhalten bei der Kompostierung, Alternativen und Implikationen. WD8 – 3000 – 062/21.

**Zimmermann et al. 2019**, Zimmermann, L.; Dierkes, G.; Ternes, T.A.; Völker, C.; Wagner, M.: Benchmarking the in vitro toxicity and chemical composition of plastic consumer products. *Environ. Sci. Technol.* 53 (2019) 11467–11477. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02293>

**Zimmermann et al. 2020**, Zimmermann, L.; Dombrowski, A.; Völker, C.; Wagner, M.: Are bioplastics and plant-based materials safer than conventional plastics? In vitro toxicity and chemical composition. *Environment International*, Volume 145. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106066> (zuletzt zugegriffen: 28.08.2021).

**Zimmermann et al. 2021**, Zimmermann, L.; Bartosova, Z.; Braun, K.; Oehlmann, J.; Völker, C.; Wagner, M.: Plastic Products Leach Chemicals That Induce In Vitro Toxicity under Realistic Use Conditions, *Environ. Sci. Technol.* (2021), 55, 17, 11814–11823, <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01103>

# Normen

DIN EN 13432	Verpackung – Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau – Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen; 2000
DIN EN 14995	Kunststoffe – Bewertung der Kompostierbarkeit; 2007
DIN EN 17228	Kunststoffe – Biobasierte Polymere, Kunststoffe und Kunststoffprodukte – Begriffe, Merkmale und Kommunikation; 2019
DIN CEN/TR 16208	Biobasierte Produkte – Übersicht über Normen; 2011
ISO 16620	Kunststoffe – Bestimmung des biobasierten Anteils – Teil 1: Allgemeine Verfahren; 2015
AS 5810	Biodegradable plastics – Biodegradable plastics suitable for home composting, australische Norm; 2010
ASTM D 6400	Standard Specification for Compostable Plastics, US-Norm; 2019
ASTM D 6886	Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis, US-Norm; 2018



## **Impressum**

**Herausgeber:**

*Bund für Umwelt  
und Naturschutz  
Deutschland e. V. (BUND),  
Friends of the Earth Germany,  
Kaiserin-Augusta-Allee 5,  
10553 Berlin*

**Telefon:** 0 30/2 75 86-40

**Telefax:** 0 30/2 75 86-440

**Mail:** [info@bund.net](mailto:info@bund.net)  
[www.bund.net](http://www.bund.net)

**Autor\*innen:**

*BUND-Arbeitskreis Abfall &  
Rohstoffe*

**V. i. S. d. P.:**

*Petra Kirberger*

**Produktion:**

*Natur & Umwelt GmbH*

*Mai 2022*