

Abbauverhalten und Entsorgungsoptionen biologisch abbaubarer Kunststoffe – Ergebnisse des UBA-Gutachtens

Autor (Maria Burgstaller)

Zusammenfassung

In Deutschland besteht ein kleiner, jedoch wachsender Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe (BAK). BAK, deren Entsorgung und ihr Abbauverhalten werden jedoch kontrovers diskutiert. Vor diesem Hintergrund beauftragte das Umweltbundesamt Ramboll (ehemals BiPRO – Part of Ramboll) und Fraunhofer UMSICHT damit, den derzeit praktizierten Umgang mit BAK-Abfällen vor dem Hintergrund der ökologischen Sinnhaftigkeit, der technischen Umsetzbarkeit und der Praktikabilität zu bewerten. Basierend auf der Bewertung wurden Empfehlungen für den optimalen Umgang mit BAK-Abfällen in Deutschland unter aktuellen Rahmenbedingungen entwickelt.

Folgender Beitrag stellt eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse des Gutachtens dar.

1 Einleitung

Aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften und flexibler Verarbeitbarkeit sind Kunststoffe ein wichtiger Bestandteil unseres Alltags. Biokunststoffe werden als mögliche Alternative zu konventionellen Kunststoffen betrachtet. Aktuell tragen diese mit einem Anteil von ca. 1 % zur globalen Kunststoffproduktion bei [2]. Für die Zukunft wird ein weiterer Anstieg erwartet.

Biologisch abbaubare Kunststoffe (BAK), deren Entsorgung und ihr Abbauverhalten werden jedoch kontrovers diskutiert. So gilt die biologische Abbaubarkeit sowohl als Chance im Kampf gegen die Vermüllung der Umwelt, wird aber auch als Risiko für den verstärkten Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt betrachtet. In der Folge gibt es unterschiedliche Ansichten über die ökologische Vorteilhaftigkeit der BAK und abweichende Ansätze im Umgang mit deren Abfällen. Vor diesem Hintergrund beauftragte das Umweltbundesamt Ramboll (ehemals BiPRO – Part of Ramboll) und Fraunhofer UMSICHT mit der Studie „Gutachten zur Behandlung von biologisch abbaubaren Kunststoffen“ (UBA-Texte 57/2018) [1]. Ziel war es den derzeit praktizierten Umgang mit BAK-Abfällen vor dem Hintergrund der ökologischen Sinnhaftigkeit, der technischen Umsetzbarkeit und der Praktikabilität zu bewerten. Basierend auf der Bewertung wurden Empfehlungen für den optimalen Umgang mit BAK-Abfällen besonders relevanter Produktgruppen in Deutschland unter aktuellen Rahmenbedingungen entwickelt.

Dieser Textbeitrag stellt eine Zusammenfassung des Gutachtens dar, mit dem Fokus auf dem Abbauverhalten und den Entsorgungsoptionen der BAK. Eine ausführliche Darstellung einschließlich einer Referenzliste finden Sie unter [1].

2 Spektrum biologisch abbaubarer Kunststoffe in Europa und Deutschland

Als Biokunststoff vermarktete Produkte sind entweder zum Teil oder vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigt, oder genügen Standards der biologischen Abbaubarkeit. Demnach kann ein Biokunststoff biobasiert und gleichzeitig biologisch abbaubar, biobasiert und nicht biologisch abbaubar oder aber erdölbasiert und biologisch abbaubar sein [2]. Diese Einteilung wird in nachfolgender Abb. 1 verdeutlicht.

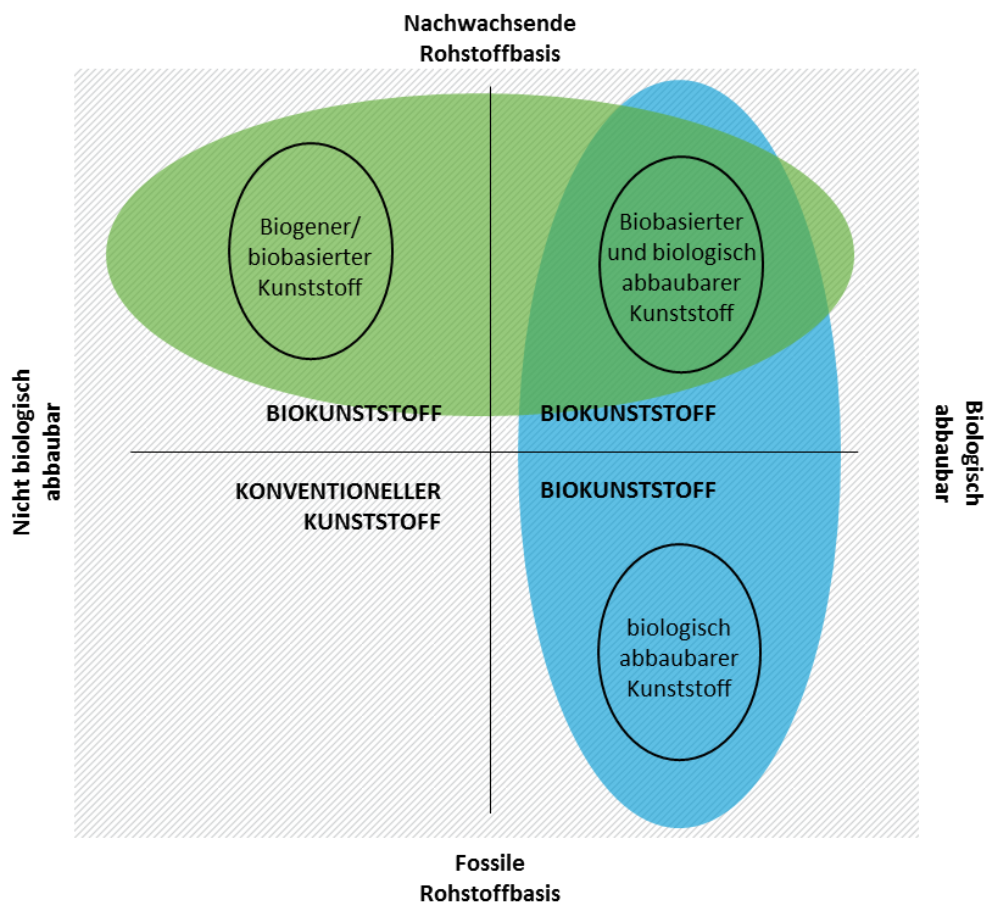


Abb. 1: Abgrenzung konventioneller Kunststoffe und Biokunststoffe, eigene Darstellung auf Grundlage von [3]

Biobasierter/ Biogener Kunststoff

Ein biobasiertes/biogenes Produkt besteht laut EN 16575 (Biobasierte Produkte – Terminologie) vollständig oder teilweise aus Biomasse. Die Feststellung des biobasierten Anteils erfolgt meist über die Ermittlung des biobasierten Kohlenstoffs

(Radiocarbonmethode), z. B. gemäß EN 16785-1:2015 (Biobasierte Produkte - biobasierter Gehalt) oder anderen Verfahren nach CEN/TR 16721:2014 (Biobasierte Produkte – Überblick über Verfahren zur Bestimmung des biobasierten Gehalts) [4].

Biologisch abbaubarer Kunststoff

Als biologisch abbaubar wird ein Kunststoff bezeichnet, sofern er durch Mikroorganismen unter Sauerstoffzufuhr in Kohlenstoffdioxid, Wasser, mineralische Salze und Biomasse bzw. ohne Sauerstoffzufuhr in Kohlenstoffdioxid, Methan, mineralische Salze und Biomasse umgewandelt werden kann [3]. Die Geschwindigkeit dieses Vorgangs hängt stark von dem Umgebungsmilieu ab. Um als biologisch abbaubar zu gelten, muss der Kunststoff/das Kunststoffprodukt entsprechend geprüft und zertifiziert werden. Kompostierbar sind biologisch abbaubare Produkte, wenn der vollständige Abbau im Kompost in vergleichsweise kurzer Zeit stattfindet [3]. Biologisch abbaubarer Kunststoff kann eine biogene Rohstoffbasis oder aber eine erdölbasierte Rohstoffbasis besitzen.

Marktaspekte

Eingesetzt werden BAK weltweit vor allem als Abfallbeutel für die Sammlung von Bioabfällen, in der Landwirtschaft, im Gartenbau, in Textilien, in Verpackungen, in der Automobilbranche oder in kurzlebigen Konsumgütern. Als Rohstoffe finden vor allem Stärke, Polymilchsäure/Poly lactid (PLA), Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT), Polybutylensuccinat (PBS) und Polyhydroxyalkanoate (PHA) Verwendung [2].

Im Jahr 2017 lag die globale Produktionskapazität von BAK nach Herstellerinformationen bei ca. 880.000 t/a (zum Vergleich: Produktionskapazität aller Biokunststoffe 2,05 Millionen t/a) [2]. Da laut [5] bei der Erhebung von Produktionskapazitäten zum einen Blends doppelt erfasst und zum anderen nur ca. 50 % der Kapazitäten tatsächlich genutzt werden, liegen die tatsächlichen Produktionsmengen deutlich unter den Angaben zur Produktionskapazität.

Da BAK vorrangig für Verpackungsprodukte mit einer geringen Lebensdauer eingesetzt werden, (fast 93 % der verbrauchten Kunststoffverpackungen werden noch im gleichen Jahr zu Abfall [6]) wird das Abfallaufkommen der verbrauchten Mengen als nur geringfügig geringer eingeschätzt.

Verwertung

BAK können theoretisch allen Stufen der Abfallhierarchie entsprechend entsorgt werden. Für einige dieser Verwertungsoptionen ist die Erfüllung bestimmter Standards notwendig (siehe unten). Die möglichen Verwertungsstufen werden in Abb. 2 dargestellt.

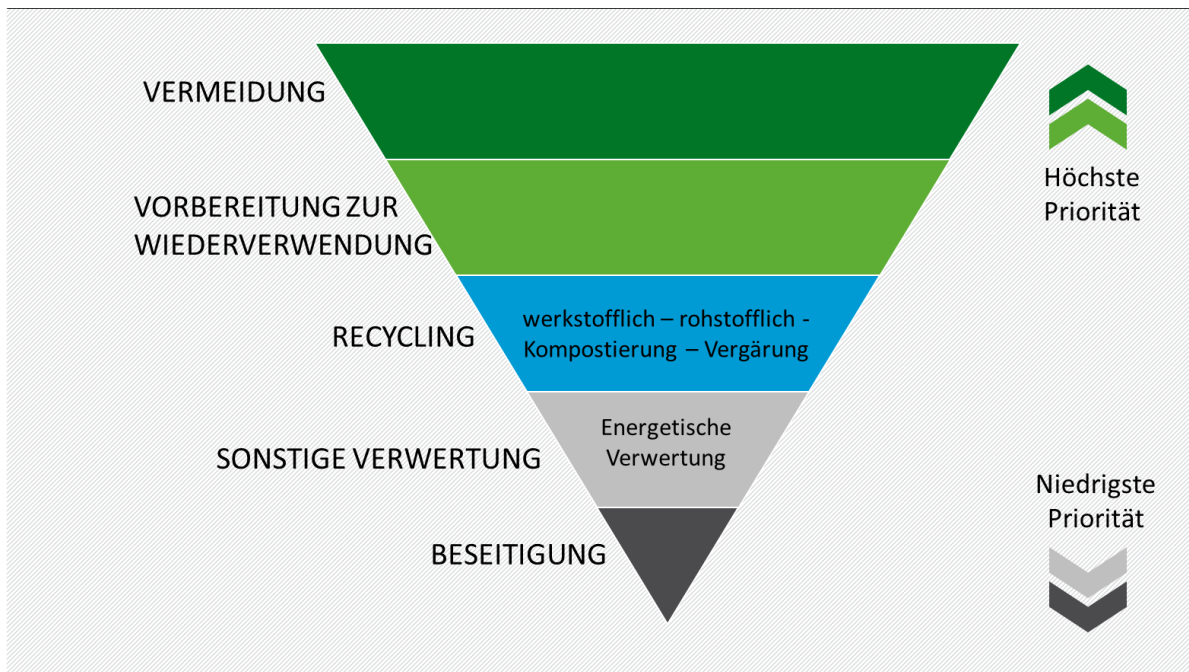


Abb. 2: Abfallhierarchie nach der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG

Eine ausführliche Analyse der Verwertungswege finden Sie in Kapitel 5.

3 Prüfung der biologischen Abbaubarkeit und Desintegration unter Laborbedingungen

3.1 Grundlagen des biologischen Abbaus

Das geeignete Verwertungsverfahren ist stark vom speziellen BAK-Produkt bzw. -Material abhängig. Vor allem die Dauer des vollständigen Abbaus sowie der Desintegration und die dafür notwendigen Gegebenheiten sind dafür von großer Bedeutung.

Der biologische Abbau erfolgt bei Polymeren zweistufig. Der erste und geschwindigkeitslimitierende Schritt ist eine Hydrolyse der Polymerketten in kleinere Fragmente, die oftmals wasserlöslich sind und von den Zellen aufgenommen und weiter abgebaut werden können.

Die Untersuchung der biologischen Abbaubarkeit von organischen Materialien erfolgt in der Regel im Labormaßstab. Die optimalen Bedingungen für den biologischen Abbau lassen sich unter Laborbedingungen definiert einstellen. Parameter wie Temperatur, Feuchtigkeit und Belüftung können geregelt und kontrolliert werden. Die Erfassung der Mineralisierung ist praktisch nur im Labormaßstab möglich, ebenso eine Bilanzierung der Kohlenstoffverbindungen. In der Regel ist auch die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen unter Laborbedingungen höher als bei Versuchen unter Freilandbedingungen.

Allgemein anerkannte Messgröße in standardisierten Laborverfahren zur Erfassung der vollständigen biologischen Abbaubarkeit von Feststoffen im aeroben Milieu ist die Produktion von Kohlendioxid als Endprodukt der Mineralisierung. Unter aeroben Bedingungen korreliert die CO₂-Produktion eng mit dem Sauerstoffverbrauch, welcher bei einigen Testverfahren als Messgröße erfasst wird. Der mittels spezifischer Analyse oder Masseverlust erfasste Primärabbau ist kein eindeutiger Nachweis für einen vollständigen biologischen Abbau, sondern lediglich ein Parameter zur Erfassung der Zersetzung des Prüfmaterials.

Bei den Labortests werden optimale und konstante Umgebungsbedingungen eingestellt. Andererseits wird ein nicht an das Prüfmaterial adaptiertes Inokulum und ein hohes Prüfmaterial/Inokulum-Verhältnis verwendet, das in der Natur in aller Regel so nicht zu erwarten ist. Somit handelt es sich bei diesen Tests trotz der optimalen Umgebungsbedingungen um stringente Tests, die sichere Aussagen zur prinzipiellen Abbaubarkeit von Materialien liefern. Dennoch können aus diesen Labortests keine Schlussfolgerungen zur Abbaukinetik in natürlicher Umwelt unter realen Bedingungen gezogen werden.

Da Abbaubarkeit und -geschwindigkeit von den verschiedenen Umweltbedingungen abhängen, sind für die verschiedenen Habitate wie Kompost(ierung), Boden und wässriges Milieu entsprechend angepasste Prüfverfahren entwickelt worden und als standardisierte Verfahren verfügbar (vgl. Tab. 1).

3.2 Nachweis der Desintegration

Zusätzlich zur biologischen Abbaubarkeit wird für eine Zertifizierung u.a. das Bestehen eines Desintegrationstests gefordert, in dem die Zersetzung von BAK-Produkten mit definierter Geometrie (z. B. Schichtdicke) über den Masseverlust unter praxisähnlichen Bedingungen geprüft wird. Auch diese Desintegrationstests finden in der Regel unter kontrollierten, an die Abfallverwertungsverfahren angepassten Bedingungen in Testapparaturen statt.

Bei Untersuchungen des Umweltverhaltens von BAK unter realen Bedingungen wurde aus methodischen Gründen die Zersetzung in der Regel über Masseverlust oder quantitative Bildanalyse bestimmt.

3.3 Normen für biologisch abbaubare Kunststoffe

Die Prüfung der Einhaltung der Normen wird von Zertifizierungsgesellschaften durchgeführt. Werden alle Vorgaben erfüllt, dürfen die Produkte einen entsprechenden Nachweis führen (Label). Die gängigsten Normen und die entsprechenden Abbau- und Desintegrationskriterien (Auswahl der Prüfkriterien) sind in Tab. 1 gelistet.

Tab. 1: Normen zum Abbauverhalten biologisch abbaubarer Kunststoffe

Habitat	Norm	Abbau- und Desintegrationskriterien
Industrielle Kompostierung	EN 13232 - Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau - Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen Vergleichbar u.a. mit: EN 14995	<ul style="list-style-type: none"> • Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) ➔ Max. 6 Monate bei 58 ± 2 °C • Desintegrationstest: max. 10 % des ursprünglichen Trockengewichts des Prüfmaterials dürfen in einer Siebfraktion > 2 mm enthalten sein ➔ Max. 3 Monate
Heim- und Gartenkompostierung	AS 5810 - Biodegradable plastics—Biodegradable plastics suitable for home composting NF T 51-800 Plastics — Specifications for plastics suitable for home composting	<ul style="list-style-type: none"> • Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) ➔ Max. 12 Monate bei 30 °C • Desintegrationstest: max. 10 % des ursprünglichen Trockengewichts des Prüfmaterials dürfen in einer Siebfraktion > 2 mm enthalten sein ➔ Max. 6 Monate bei 25 ± 5 °C
Biologischer Abbau im Boden (Mulchfolien)	EN 17033 "Biologisch abbaubare Mulchfolien für den Einsatz in Landwirtschaft und Gartenbau - Anforderungen und Prüfverfahren" (veröffentlicht 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) ➔ Max. 2 Jahre bei 20 - 28 °C (± 2°C) (möglichst 25 °C) • Kein Desintegrationstest notwendig
Biologischer Abbau im Meer	ASTM D7081 Standard Specification for Non-Floating Biodegradable Plastics in the Marine Environment (zurückgezogen – Testmethoden jedoch noch in Anwendung)	TÜV Austria: <ul style="list-style-type: none"> • Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) ➔ Max. 6 Monate • Desintegrationstest beschrieben unter TS-OK-23
Abbau in Gewässern	EN 13432 und EN 14995 Adapted for degradation in fresh water	TÜV Austria: <ul style="list-style-type: none"> • Vollständige biologische Abbaubarkeit (90 % absolut oder 90 % bezogen auf ein geeignetes Referenzsubstrat) ➔ Max. 56 Tage bei 20-25 °C • Kein Desintegrationstest notwendig

3.4 Testergebnisse der biologischen Abbaubarkeit

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden Ergebnisse von biologischen Abbauprüfungen der verschiedenen Werkstoffe zusammengestellt. Dabei wurden nur Ergebnisse berücksichtigt, bei denen der Abbaugrad mittels Mineralisierung bestimmt wurde. Die ermittelten Ergebnisse zeigten, dass die Geschwindigkeit des biologischen Abbaus stark von den Umgebungsbedingungen abhängt. In Tab. 2 wird eine vereinfachte Zusammenfassung der Ergebnisse geboten (vollständige Darstellung der Ergebnisse und der zugrundeliegenden Literatur in [1]):

Tab. 2: Zusammenfassung der Testergebnisse der biologischen Abbaubarkeit

Biologischer Abbau unter Bedingung der Prüfung zur „Industriellen Kompostierbarkeit“ (Abbauzeit zum Bestehen des Tests: max. 6 Monate):	
<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Material Abbau zwischen 4 und 21 Wochen 	
Biologischer Abbau bei der Vergärung (kein Standard verfügbar, optional Abbauzeit in DIN EN 13432 enthalten: max. 2 Monate):	
<ul style="list-style-type: none"> • Ein biologischer Abbau unter anaeroben Bedingungen wird für eine Zertifizierung bisher nicht gefordert, kann aber optional festgestellt werden. • TPS, PCL und PHA sind unter anaerob Bedingungen abbaubar; PLA nur bei Temperaturen >50 °C. • Co-Polyester wie PBS, PBAT und PBST sind nicht anaerob abbaubar. 	
Biologischer Abbau unter Bedingungen der Prüfung zur „Abbaubarkeit im Boden“ (Abbauzeit zum Bestehen des Tests: max. 2 Jahre)	
<ul style="list-style-type: none"> • TPS¹, PHA, PBSe³, PBSeT⁴, PBAT, PCL² • PLA: 	<ul style="list-style-type: none"> ca. 7-12 Monate kein Abbau nach einem Jahr
Biologischer Abbau unter Bedingungen der Prüfung zur „Gartenkompostierung“ (Abbauzeit zum Bestehen des Tests: max. 12 Monate)	
<ul style="list-style-type: none"> • In der Literatur sind kaum Ergebnisse zum biologischen Abbau von Kunststoffen unter Bedingungen der „Gartenkompostierung“ zu finden. • Einige Testergebnisse zeigen jedoch, dass grundsätzlich nur wenige PLA-Produkte, im Gegensatz zu Stärke-, PHA- und PBS-Produkten als „gartenkompostierbar“ zertifiziert sind. 	
Biologisch abbaubar in Süßwasser (Abbauzeit zum Bestehen des Tests: max. 56 Tage)	
<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Material Abbau unter 56 Tage bis über 1,5 Jahre 	
Biologisch abbaubar in Meerwasser (Abbauzeit zum Bestehen des Tests: max. 6 Monate)	
<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Material Abbau unter 6 Monate bis über 1,5 Jahre 	

¹ TPS: Thermoplastische Stärke; ² PCL: Polycaprolacton; ³ PBSe: Polybutylen-Sebacat; ⁴ PBSeT: Polybutylen Sebacat-cobutylenterephthalat.

4 Prüfung der Desintegration in realen Umweltkompartimenten

In realen Umweltkompartimenten ist es aufgrund der offenen Systeme nicht möglich, gezielt den biologischen Abbau über die Erfassung des entstehenden Endproduktes Kohlendioxid zu bestimmen. Wichtigster Parameter ist daher die Betrachtung der Zersetzung des Kunststoffes, meist über den Masseverlust und/oder eine Oberflächenbestimmung oder eine visuelle Beurteilung.

Die Recherche zur Desintegration von Kunststoffen unter naturnahen, realen Bedingungen erfolgte für die Umweltkompartimente Süßwasser, Meerwasser und Boden. Die Desintegration unter realen Bedingungen wird stark von den Umgebungsbedingungen, vor allem Temperatur, Feuchtigkeit und pH-Wert beeinflusst.

Es folgt eine Zusammenfassung der Rechercheergebnisse in Tab. 3 (vollständige Darstellung der Ergebnisse und der zugrundeliegenden Literatur in [1]):

Tab. 3: Zusammenfassung der Testergebnisse Desintegration in realer Umwelt

<p>Desintegration im Boden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kunststoffe, die als "biologisch abbaubar im Boden" zertifiziert sind, werden auch unter realen Bedingungen zersetzt. • Stärkebasierte Polymere, PHA, PCL, PBAT, PBS und PBSA sind nach 12 Monaten vollständig abgebaut (unter guten Bedingungen). • PLA zeigt sehr schwankende Ergebnisse (teilweise nicht vollständig nach 24 Monaten aufgelöst). • Mulchfolien (z. B. Stärkebasis, PBAT) sind nach einem Jahr vollständig zerfallen (ansonsten ist der Abbau/Zerfall nach dem Unterpflügen möglich). • Generell zerfallen die Kunststoffe unter trockenen Bedingungen sehr langsam.
<p>Desintegration in Süßwasser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wenige Publikationen vorhanden; hauptsächlich für PHA untersucht. • Unter realen Bedingungen dauert der Zerfall mehrere Monate (sehr unterschiedliche Ergebnisse).
<p>Desintegration in Meerwasser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vollständige Zersetzung von PHA, PCL und stärkebasierten Materialien nach ca. einem Jahr. • Zersetzung synthetischer Polyester wie PBS und PBAT sehr langsam.

Es wird deutlich, dass zwar einige BAK in der definierten Zeitspanne des entsprechenden Standards in natürlicher Umgebung abbauen bzw. desintegrieren, dies ist jedoch nicht bei allen BAK gegeben.

5 Chancen und Herausforderungen potenzieller Verwertungswege

Um Empfehlungen für eine optimale Verwertung der BAK-Abfälle auszusprechen, müssen die verschiedenen Verwertungswege auf ihre ökologische Vorteilhaftigkeit, technische Umsetzbarkeit und Praktikabilität geprüft werden. In einem ersten Schritt wurde dabei unter Einbezug vorangegangener Ergebnisse eine Gegenüberstellung von Chancen und Herausforderungen der potenziellen Verwertungswege erarbeitet. Eine detaillierte Auflistung ist im ausführlichen Gutachten enthalten [1].

Aus ökobilanzieller Sicht ist im Einklang mit der Gesetzgebung stets eine Wiederverwendung oder ein Recycling (werkstofflich, rohstofflich) von Kunststoffen anzustreben. Grundsätzlich ist der biologische Abbau von Kunststoffen erst dann vorteilhaft, wenn durch die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit ein Zusatznutzen entsteht. Dies ist nur bei bestimmten Produktanwendungen gegeben.

5.1 Werkstoffliches und rohstoffliches Recycling

Testverfahren sowie Projekte haben die Durchführbarkeit von werkstofflichem wie auch rohstofflichem Recycling von bestimmten Biokunststoffen und BAK bewiesen. Aufgrund der geringen Mengen an BAK wird die separate Erfassung und ein

anschließendes Recycling der Post-Consumer BAK-Abfälle aus wirtschaftlichen Aspekten, trotz technischer Machbarkeit [13], zum jetzigen Zeitpunkt in Deutschland nicht verfolgt [7].

So werden BAK, welche in Recyclingströme konventioneller Kunststoffe gelangen, mittels Nahinfrarot-Hohlkörpersortieranlagen vor dem Recyclingprozess aussortiert. Eine zu 100 Prozent sortenreine Abtrennung ist jedoch nicht immer möglich. Kommt es zum Eintrag auch nur geringer Mengen an BAK in Produktströme, können deren geringen Schmelztemperaturen (z.B. Polyethylenterephthalat - PET: ca. 250 °C; PLA ca. 180 °C) zu Prozessstörungen, Verfärbungen, Stabilitätsverlust und Qualitätseinbußen des Recyclingprozesses für die konventionellen Kunststoffe führen [7] [12].

Jedoch weisen BAK nicht immer geringere Schmelztemperaturen als die Standardpolymere auf. So liegt der Schmelzbereich für Polystyrol (PS) wie auch für PLA bei ca. 180 °C [12]. Weiter zeigen Studien [14], dass bei weniger als 3 Massenprozent im Recycling-Polypropylen sowie bei weniger als 10 % in PS-Regranulaten keine Störungen auftreten. Auch laut [14] treten bis zu einem Anteil von 10 % Stärke-Blends und bis zu 10 % PLA keine negativen Effekte auf die mechanischen Eigenschaften von sortenreinem konventionellen Kunststoff ein. Da die Mengen an BAK in Deutschland bislang sehr gering sind, ist eine Überschreitung dieser Werte zum aktuellen Zeitpunkt kaum möglich. Bei steigenden Mengen könnten die Sortierprozesse jedoch entsprechend angepasst werden.

5.2 Industrielle Kompostierung

Eine industrielle Kompostierung verläuft grundsätzlich in drei Schritten: der Aufbereitung, der Intensivrotte sowie der Nachrotte. In der Aufbereitung wird das Input-Material zerkleinert und homogenisiert. Daraufhin folgt die Intensivrotte. Unter geregelter Sauerstoff- und Feuchtigkeitzufuhr werden die Bio- und Grünabfälle abgebaut, wodurch Frischkompost entsteht. In der sich anschließenden Nachrotte wird der Frischkompost stabilisiert und zu Fertigungskompost umgewandelt [8].

Abfallbeutel zur Sammlung von Bioabfall sind in Deutschland laut Bioabfallverordnung (BioAbfV) für die Verwertung als Düngemittel oder zum Zweck der Aufbringung zugelassen, sofern diese nach EN 13432 zertifiziert sind und aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Gleiches gilt für BAK-Abfälle der Landwirtschaft, des Gartenbaus, der Teichwirtschaft, der Forstwirtschaft, der Jagd und der Fischerei, wie bspw. Mulchfolien. Für biologisch abbaubare Mulchfolien ist jedoch vor allem der Abbau im Boden relevant. Verpackungen gehören hingegen laut BioAbfV nicht zu den Abfällen, welche zur Verwertung in einer industriellen Kompostier- bzw. Vergärungsanlage zugelassen sind - auch nicht, wenn deren Abbau nach EN 13432 nachgewiesen und zertifiziert wurde.

Rahmenbedingungen zur Sammlung und Aufbereitung haushaltsnaher Abfälle können durch kommunale Satzungen definiert bzw. eingegrenzt werden. So besteht die

Möglichkeit, dass Bioabfallbeutel aus BAK zwar laut BioAbfV zur industriellen Kompostierung zugelassen sind, nach kommunaler Abfallsatzung dies jedoch untersagt wird.

Die Zertifizierung nach EN 13432 unterliegt anspruchsvollen Prüfungen. So ist neben dem vollständigen biologischen Abbau und dem erfolgreichen Desintegrationstest auch die Einhaltung bestimmter chemischer Grenzwerte und ein Ökotoxizitätstest mit Pflanzen gefordert. Der größte Vorteil der Nutzung von entsprechend zertifizierten Bioabfallbeuteln aus BAK wird in einer gesteigerten Menge an Bioabfall gesehen und damit einer Reduktion des Bioabfalls im Restmüll. Dieser ergibt sich durch einen erhöhten Komfort für Verbraucher durch sauberere Sammlung und Transport des Bioabfalls im BAK-Beutel. Studien zeigen dabei eine Steigerung der Bioabfallmengen um bis zu 50 % [15] [16] [17].

Ein direkter Zusatznutzen für das Endprodukt Kompost entsteht durch die Kompostierung des BAK-Beutels an sich allerdings nicht. Denn BAK enthalten keine Nährstoffe, wie bspw. Phosphor und Stickstoff und tragen folglich nach ihrem Abbau zu keiner Nährstoffanreicherung des Kompostes bei [18] [19].

Zudem herrschen Diskrepanzen zwischen den Forderungen der Norm und den realen Kompostierpraktiken. Eine Zertifizierung nach DIN EN 13432 setzt die 90-prozentige Desintegration innerhalb von drei Monaten und einen 90-prozentigen Abbau innerhalb sechs Monate voraus. Die Verweilzeiten in deutschen Anlagen betragen oft nur wenige Wochen. Diese Zeit reicht nicht immer aus, um zertifizierte BAK vollständig abzubauen. In einer Nachsortierung werden mögliche Reste zusammen mit anderen Störstoffen aussortiert und energetisch verwertet, was zusätzliche Entsorgungskosten bedeuten kann.

In ca. 65-70 % der deutschen Kompostierungsanlagen findet eine Aussortierung aller Kunststofffolien bereits vor dem Kompostierungsvorgang statt [20]. In diesem Fall, werden BAK bereits vor der eigentlichen Verwertung mit der Störstofffraktion aussortiert und energetisch verwertet.

Jedoch gibt es auch Praxistests, die den einwandfreien Abbau der Bioabfallbeutel aus BAK in industriellen Kompostierungsanlagen bestätigen (siehe [21] [22] [18] [1] und weiter oben).

Doch selbst 10 % BAK Rückstände kleiner 2 mm im Kompost (welche laut EN 13432 nach dreimonatiger Kompostierung akzeptiert werden) gelten für die Bewertung des Fremdstoffgehalts im Prüflabor als problematisch, um bspw. entsprechende Qualitätssiegel zu erhalten. Grundsätzlich gilt jedoch, je kleiner die Partikel von BAK, desto besser sind die Voraussetzungen für einen weiteren biologischen Abbau. Folglich wird davon ausgegangen, dass sich diese Partikel weiter im Kompost oder Boden abbauen, im Gegensatz zu konventionellen Kunststoffen.

Aus ökobilanzieller Sicht ist die Wahl der industriellen Kompostierung für BAK nicht zu favorisieren, wenn alleine die verschiedenen End-of-Life-Optionen des Kunststoffs betrachtet werden. Das liegt unter anderem an der ungenutzten Produktion von

Kohlenstoffdioxid und Methan ([23] geprüft für PLA und Thermoplastische Stärke). Die Ökobilanz eines Produktes muss jedoch auch der Ökobilanz eines gesamten Abfallsystems gegenübergestellt werden. So können durch gesteigerte Sammlung an Bioabfällen Treibhausgase vermieden und die Kreislaufführung von Düngematerialien gefördert werden.

5.3 Vergärung

Durch die Vergärung von Bio- und Grünabfällen entsteht im Gegensatz zur industriellen Kompostierung neben Kompost auch Biogas. Auch hier werden die Abfälle vor der biologischen Behandlung aufbereitet. Der tatsächliche Abbauprozess findet im Gegensatz zur belüfteten Kompostierung unter Sauerstoffausschluss in einem geschlossenen Behälter statt, bei entweder mesophilen (35-40 °C) oder thermophilen (50-55 °C) Temperaturen [9] [10]. Dabei bilden sich Gase, wie Methan und CO₂, welche als Biogas zur Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung verwendet werden. Die verbleibenden Gärreste werden meist erst nach einer nachgeschalteten aeroben Behandlung als Dünger verwertet. Das Endprodukt hierbei ist Kompost [7] [10].

Die meisten BAK bauen erst unter aeroben Bedingungen ab. Eine aerobe Nachrotte ist laut [21] bei nur ca. der Hälfte der untersuchten Vergärungsanlagen Bestandteil der Verwertung. Sollten folglich BAK in eine Vergärungsanlage ohne Nachrotte gelangen, in welcher typischerweise mesophile Bedingungen vorherrschen, sind Abbau und Desintegration in geforderter Zeit nicht gesichert.

Verschiedene Projekte und Studien präsentieren hierzu sehr unterschiedliche Ergebnisse, weshalb allgemeingültige Aussagen zum Abbau von BAK in Vergärungsanlagen kaum möglich sind (siehe [24] [25] [1]). Zudem gibt es bislang keine entsprechende Norm und kein entsprechendes Zertifizierungsprogramm für den Nachweis des Abbaus unter anaeroben Bedingungen.

5.4 Gartenkompostierung

Die Kompostierung von BAK auf dem eigenen Kompost im Garten ist grundsätzlich möglich, sofern die Produkte als „home compostable“ bzw. „gartenkompostierbar“ zertifiziert sind (nach AS 5810; NF T 51-800) und BAK laut der entsprechenden kommunalen Abfallsatzung zur Eigenkompostierung erlaubt sind.

Denn die Überlassungspflicht von Erzeugern/Besitzern von Abfällen aus privaten Haushaltungen an öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (öRE) besteht entsprechend § 17 Abs. 1 KrWG nur, soweit diese zu einer Verwertung auf den von ihnen im Rahmen ihrer privaten Lebensführung genutzten Grundstücken nicht in der Lage sind oder diese nicht beabsichtigen. Der wichtigste Anwendungsfall ist die Eigenkompostierung von Küchen-, Speise- und anderen organischen Abfällen, deren Rahmenbedingungen durch kommunale Satzung definiert bzw. eingegrenzt werden können. Hier gilt es in

jedem Fall zu prüfen, ob BAK-Abfälle laut der entsprechenden Abfallsatzung zur Eigenkompostierung erlaubt sind.

Bei nicht sachgerechter Handhabung der Eigenkompostierung besteht das Risiko der Entweichung von Treibhausgasen oder des Eintrags von Stickstoff in Boden oder Grundwasser [26]. Auf der anderen Seite kann die Einsparung an Transportemissionen sowie Energiebedarf im Gegensatz zur Verwertung in einer industriellen Anlage als ökologischer Vorteil betrachtet werden [27]. Weiter kann eine vermehrte Gartenkompostierung Kosten für die öRE (Verringerung der Sammlung und Verwertung) sowie für Bürger (Verringerung der Gebühren) einsparen [26].

Eine großflächige Verwertung auf dem eigenen Kompost ist in Deutschland jedoch nicht durchführbar. Besonders in städtischen Regionen, welche den Wohnort von ca. 77 % der deutschen Bevölkerung darstellen [28], findet diese Art der Verwertung von biologisch abbaubaren Abfällen kaum statt. Auch gibt es unter DIN CERTCO aktuell nur eine geringe Auswahl an als „gartenkompostierbar“ zertifizierten Produkte [31].

Um als „gartenkompostierbar“ zertifiziert zu werden, müssen Produkte hohe Anforderungen (v.a. Abbau unter geringen Temperaturen) erfüllen. Aus diesem Grund wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass diese Produkte auch die Anforderungen an eine industrielle Kompostierung erfüllen. Hierzu gibt es jedoch kaum verfügbare Ergebnisse.

5.5 Biologischer Abbau im Boden

Eine Zertifizierung als „biologisch abbaubar im Boden“ nach EN 17033 richtet sich nur an Produkte, wo dieser Vorgang als sinnvoll/angemessen erachtet wird. Aufgrund ihrer Anwendung in der Landwirtschaft bzw. im Gartenbau ist der biologische Abbau im Boden besonders für Mulchfolien relevant. Das Konzept der Bodenkompostierung kann auch für biologisch abbaubare Pflanzen- und Anzuchtöpfe, Bindegarne, -bänder und Clips angewendet werden [29]. Der Zusatznutzen im biologischen Abbau im Boden wird in der Arbeits- und Kostenersparnis gesehen, da keine aufwendige Entfernung der Materialien nötig ist.

Der Abbau im Boden ist jedoch stark von den Umgebungsbedingungen abhängig, welche von Region zu Region stark variieren. Ein Zertifizierungsprogramm kann diese Vielfalt nicht abdecken. So zeigen verschiedene Testergebnisse und Studien, dass die Desintegration im Boden in der geforderten Zeit unter realen Bedingungen stattfinden kann, andere jedoch, dass die Anforderungen des Standards unter realen Bedingungen nicht erfüllt werden können (siehe Ergebnisse oben und [1]).

5.6 Energetische Verwertung

Grundsätzlich wird die Verwertung von BAK-Abfällen in Mitverbrennungs- oder Müllverbrennungsanlagen entweder in einem Abfallgemisch oder über eine gezielte Herstellung von Ersatzbrennstoffen mit hohem Kunststoffanteil, großflächig und ohne Einschränkungen praktiziert [7].

Die energetische Verwertung ist besonders für stark verschmutzte Stoffe sinnvoll, die keinem Recycling mehr zugeführt werden können. Besitzen die BAK eine biologische Rohstoffbasis kann man dies als Gewinnung erneuerbarer Energien ansehen. Durch die Verwendung der aus nachwachsenden Ressourcen gewonnenen Energie kann der Einsatz fossiler Rohstoffe verringert werden [30]. Die Nutzung als sogenannte „Direct Fuel Substitution“ (Ersatzbrennstoffe) stellt auch aus ökobilanzieller Sicht und aus Gründen der Ressourcenschonung für BAK eine favorisierte Verwertungsoption dar ([24] geprüft für PLA und Thermoplastische Stärke).

Dennoch besitzen BAK grundsätzlich einen geringeren Heizwert im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen, Heizöl und Kohle [12]. Zusätzlich können nasse Abfälle (wie bspw. ein Bioabfallbeutel mit Resthaftungen) die Energieeffizienz des Prozesses herabsetzen [30].

5.7 Beseitigung

Anhang 1 der Abfallrahmenrichtlinie enthält eine nicht abschließende Liste von Beseitigungsverfahren für Abfälle, welche jedoch nach dem Prinzip der hochwertigen Verwertung nicht beschränkt werden sollten. In Deutschland gilt seit 2005 ein Ablagerungsverbot für nicht vorbehandelte organisch abbaubare Siedlungsabfällen [11].

6 Empfehlungen unter aktuellen Rahmenbedingungen in Deutschland für spezifische Produktgruppen

Unter Anbetracht der Diskussion in Kapitel 5 werden folgende Empfehlungen für die in Deutschland relevanten Produktgruppen ausgesprochen:

1. Empfehlung zum Umgang mit Bioabfallbeuteln aus biologisch abbaubaren Kunststoffen in Deutschland unter aktuellen Rahmenbedingungen:

Bioabfallbeutel aus BAK können die Bioabfallsammlung sinnvoll unterstützen. Zum jetzigen Zeitpunkt führt dies zur industriellen Kompostierung der mit Bioabfall gefüllten Kunststoffbeutel oder auch zur energetischen Verwertung, sofern eine Kunststoffseparation erfolgt.

In jedem Fall sollten Sammlung und Verwertung von Bioabfällen aufeinander abgestimmt sein, sodass Kommunen und Anlagenbetreibern ein Ermessensspielraum hinsichtlich des Beuteleinsatzes offenbleibt. Falls eine Umstellung auf Bioabfallbeutel aus

BAK erwogen wird, sollte dies Bürgerinnen und Bürgern klar und nachvollziehbar mitgeteilt werden. Es empfiehlt sich dabei, Hinweise auf geeignete Bioabfallbeutel zu geben oder geeignete Beutel bereitzustellen.

2. Empfehlung zum Umgang mit Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen in Deutschland unter aktuellen Rahmenbedingungen:

Da für Verpackungen die erweiterte Herstellerverantwortung gilt, muss in Deutschland eine Verwertung entsprechend der Verpackungsverordnung und zukünftig entsprechend des Verpackungsgesetzes erfolgen.

Unter aktueller Gesetzgebung kann somit kein Zusatznutzen in einem biologischen Abbau von Kunststoffverpackungen gesehen werden. BAK-Verpackungen werden folglich der energetischen Verwertung zugeführt.

3. Empfehlung zum Umgang mit Mulchfolien aus biologisch abbaubaren Kunststoffen in Deutschland unter aktuellen Rahmenbedingungen

Sofern der biologische Abbau der Mulchfolien aus BAK im gewünschten Zeitraum eintritt, kann das Belassen entsprechend zertifizierter Folien im Boden in begrenztem Umfang toleriert werden.

Als Alternative wäre zunächst das Recycling anzustreben, was aufgrund der bisweilen hohen Verschmutzung und geringer Mengen der Mulchfolien aus BAK jedoch mit einem hohen technischen Aufwand verbunden ist und somit derzeit kaum praktiziert wird. Folglich kann als weitere Alternative die energetische Verwertung in Betracht gezogen werden, da das Material in der industriellen Kompostierung keinen zusätzlichen Nutzen bringt.

Referenzen

[1] Umweltbundesamt, 2018, Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/18-07-25_abschlussbericht_bak_final_pb2.pdf.

[2] European Bioplastics, 2018, Bioplastics Facts and Figures. https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf.

[3] European Bioplastics, no year, What are bioplastics. <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>.

[4] Thielen, Michael, 2012, Biokunststoffe. Grundlagen, Anwendungen, Märkte. 1. Auflage. Polymedia Publ. Mönchengladbach.

[5] Narocon (Kaeb, H.) und nova-Institut (Aeschelmann, F.; Dammer, L.; Carus, M.), 2016, Consumption of biodegradable and compostable plastic products in Europe.

[6] Consultic Marketing und Industrieberatung, 2016, Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015. Kurzfassung.

[7] Kreindl, G., 2013, Einsatz von Biokunststoffverpackungen aus Sicht der Abfallwirtschaft. In: Thomé-Kozmiensky, Goldmann (Hg.), 2013, Recycling und Rohstoffe. S. 262-291

[8] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, ohne Jahr, Kompostierung von Bio- und Grünabfälle. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/abfall-und-kreislaufwirtschaft/kompostierung-von-bio-und-grungut>.

[9] European Bioplastics, 2015, Anaerobic Digestion. Factsheet. https://docs.european-bioplastics.org/publications/bp/EUBP_BP_Anaerobic_digestion.pdf.

[10] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, ohne Jahr, Vergärung von Bio- und Grüngut. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/abfall-und-kreislaufwirtschaft/vergarung-von-bio-und-grungut>.

[11] Umweltbundesamt, 2013, Klimaverträgliche Abfallwirtschaft. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/klimavertraegliche-abfallwirtschaft#textpart-2>.

[12] Endres, H.-J.; Siebert-Raths, A., 2009, Technische Biopolymere. Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften. Carl Hanser Verlag. München.

[13] Partnern des BMEL-Verbundvorhabens „Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen“, 2018, PLA-Abfälle im Abfallstrom. In: Müll und Abfall. 04-2018. S. 200-202.

[14] Wageningen Food & Biobased Research, 2017, Bio-based and biodegradable plastics - Facts and Figures- Focus on food packaging in the Netherlands. Wageningen.

[15] Öko-Institut, FH Mainz, IGW, 2008, Optimierung der Abfallwirtschaft in Hamburg unter dem besonderen Aspekt des Klimaschutzes. Freiburg. <https://www.hamburg.de/content-blob/2986416/7fdd8a1834412e62c11ce03cc3300930/data/gutachten-klima.pdf;jsessionid=BCD7E4D809F1F821315225620D5168D2.liveWorker2>.

[16] Kanthak, M.; Söling, F., 2012, Bewertung des Einsatzes von kompostierbaren Sammelbeuteln aus ecovio®-Material. In: Müll und Abfall. 44 (8), S. 402-404.

[17] Schmidt, H., 2016, Praxisversuch zur Steigerung der Bioabfallerefassung in München. „Neuhau-sens wertvollste Sammlung“. Abfallwirtschaftsbetriebe München. Präsentation.

[18] Detzel, A.; Kauertz, B.; Derreza-Greeven, C., 2012, Endbericht Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. Erstellt für das Umweltbundesamt. Herausgeber: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU). Heidelberg.

[19] Assoziation ökologischer Lebensmittelhersteller e.V., 2015, Biokunststoff-Tool. <http://biokunststofftool.aoel.org/index.php?id=23>.

[20] Umweltbundesamt, 2012, Handbuch Bioabfallbehandlung. Erfassung des Anlagenbestands Bioabfallbehandlung. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4324.pdf>.

- [21] BASF, ohne Jahr, Wissenswertes über kompostierbare Biobeutel aus ecovio. https://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~de_DE/function/conversions:/publish/common/upload/biodegradable_plastics/Wissenswertes_ueber_kompostierbare_Biobeutel_aus_ecovio_WEB.pdf.
- [22] Kosak, G., 2013, Stabile Tüten zur Sammlung von mehr Bioabfall. Müll und Abfall (5) 2013, s. 258-262
- [23] Rossi, V.; Cleeve-Edwards, N.; Lundquist, L.; Schenker, U.; Dubois, C.; Humbert, S.; Jolliet, O., 2015, Life cycle assessment of end-of-life options for two biodegradable packaging materials: sound application of the European waste hierarchy. In: Journal of Cleaner Production. 86, S. 132-145.
- [24] Bauhaus Universität Weimar, 2013, Anaerobe Testverfahren zur Zertifizierung von Biologisch Abbaubaren Werkstoffen. Abschlussbericht. Weimar.
- [25] Kern, M.; Turk, T.; Hüttner, A.; Kohl, U., 2017, BAW-Beuteleinsatz in Biogutvergärungsanlagen - Praxisversuch in vier Anlagen. Müll und Abfall, 2-17, S. 64-69.
- [26] European Bioplastics, 2015, Home Composting. Factsheet. https://docs.european-bioplastics.org/publications/bp/EUBP_BP_Home_composting.pdf.
- [27] Umweltbundesamt, 2016, Kompost, Eigenkompostierung. <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/garten-freizeit/kompost-eigenkompostierung#textpart-2>.
- [28] Eurostat, 2015, Knapp über 40% der EU-Bevölkerung leben in Städten. Pressemitteilung. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7020156/3-05102015-BP-DE.pdf/14498442-8e3a-4817-809e-1b632159bb4c>.
- [29] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2013, Biokunststoffe - Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Gülzow-Prüzen.
- [30] European Bioplastics, 2015, Energy Recovery. Factsheet. https://docs.european-bioplastics.org/publications/bp/EUBP_BP_Energy_recovery.pdf.
- [31] TÜV Rheinland, Die DIN CERTCO Datenbank. https://www.dincertco.de/de/dincertco/zertifikate_registrierungen/din_certco_datenbank/din_certco_datenbank.html.