

**Europäisches Netzwerk der Leitungen der Umweltschutzbehörden
(EPA-Netzwerk) - Interessengruppe Kunststoffe (Interest Group Plastics)
- Arbeitspapier -**

Biologisch abbaubare Kunststoffe

Ansätze und Erfahrungswerte aus 16 Mitgliedsstaaten des EPA-Netzwerks



Biologisch abbaubare Tüten für die Sammlung von Biomüll auf einem Wochenmarkt in Italien. Quelle: Nina Maier, UBA.

Autorin: Nina Maier (Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau)

Inhalt

Liste der Abkürzungen.....	3
1. Einleitung.....	4
2. Empfehlungen der IG Plastics zu biologisch abbaubaren Kunststoffen	6
3. Antworten von 16 Mitgliedern des EPA-Netzwerks.....	9
Zusammenfassung der Antworten	20
4. Grundlagen biologisch abbaubarer Kunststoffe.....	21
4.1. Was sind biologisch abbaubare Kunststoffe? Definition und Abgrenzung gegenüber anderen Materialien	21
4.2 Aktuelle Situation auf dem europäischen Markt	22
5. Rechtliche Vorgaben zu biologisch abbaubaren Kunststoffen in der EU	23
5.1 Mögliche Entsorgungswege entlang der Abfallhierarchie	23
5.2 Aktuelle Prüfverfahren in der EU	24
5.3 Biologisch abbaubare Kunststoffe in der EU-Kunststoffstrategie	25
5.4 Biologisch abbaubare Kunststoffe im Vorschlag für eine Richtlinie zur Minderung der Umweltauswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte	26
6. Biologischer Abbau – Grundsätze	27
6.1 Biologischer Abbau von Kunststoffen unter optimalen Bedingungen in unterschiedlichen Umgebungen	27
6.1.1 Testverfahren zur Prüfung der biologischen Abbaubarkeit	28
6.1.2 Kunststoffe mit nachgewiesener biologischer Abbaubarkeit	29
6.2 Zeitraum für die biologische Zersetzung in situ in Boden, Süßwasser und Meerwasser unter realen Bedingungen	31
6.2.1 Zersetzung im Boden.....	31
6.2.2 Zersetzung in Süßwasser	32
6.2.3 Zersetzung im Meerwasser	32
7. Bibliographie.....	34
Anhang	37

Liste der Abkürzungen

µm	Mikrometer (10 ⁻⁶ m)
ASTM	Internationale Organisation für Normung
CA	Zellulose-Acetat
CEN	Europäisches Komitee für Normung
CIC	Consorzio Italiano Compostatori
CO₂	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
EUBP	Europäische Bio-Kunststoffe
ISO	International Organisation for Standardisation [Internationale Organisation für Normung]
NF	Normes Françaises
PBAT	Polybutylenadipat-Terephthalat
PBS	Polybutylensuccinat
PCL	Polycaprolacton
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PHA	Polyhydroxyalkanoat
PHB	Polyhydroxybutyrat
PLA	Polylactid
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
t/a	Tonne pro Jahr
TPS	Thermoplastische Stärke

1. Einleitung

Aktuell werden jährlich etwa 60 Millionen Tonnen Kunststoffe in Europa produziert¹. Davon sind etwa 100.000 Tonnen biologisch abbaubare Kunststoffe.² Im Vergleich zum relativ geringen Marktanteil ist die Aufmerksamkeit, die biologisch abbaubare Kunststoffe in der öffentlichen wie der politischen Diskussion erhalten, erstaunlich. Wie könnte es auch anders sein - das Versprechen der Abbaubarkeit unter biologischen Bedingungen, das das Wort *biologische Abbaubarkeit* scheinbar beinhaltet, klingt umso verlockender, je mehr wir über die zerstörerischen Auswirkungen von Kunststoffabfällen in der Umwelt wissen. Biologisch abbaubare Kunststoffe könnten nicht weniger als die Lösung eines der größten menschengemachten Umweltprobleme sein: die Vermüllung der Weltmeere.

Daher ist es verständlich, dass biologisch abbaubaren Kunststoffen ein hohes Maß an Aufmerksamkeit zugemessen wird, dass sie ein eher positives Image haben und dass die Forschung zu und die vermehrte Verwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen gefördert wird. Es gibt jedoch auch skeptische Stimmen, welche die Abbaubarkeit dieser Materialien unter natürlichen Bedingungen in anzweifeln und fragen, wie biologisch abbaubare Kunststoffe am Ende ihrer Nutzungszeit in etablierte Abfallströme und bestehende Abfallinfrastrukturen passen. Flankiert von Lobby-Aktivitäten seitens der Industrie und ohne umfassende Kenntnisse der chemischen Aspekte biologisch abbaubarer Kunststoffe kann es eine Herausforderung sein, die unterschiedlichen Kennzeichnungen in Bezug auf den biologischen Abbau sowie die Normen, auf die sich einige davon beziehen, zu verstehen.

Nicht zuletzt kommt biologisch abbaubaren Kunststoffe in der Kunststoff-Strategie der EU eine exponierte Position ein. Die Strategie wurde im Januar 2018 veröffentlicht und hat das Ziel, den gesamten Lebenszyklus von Kunststoffen zu adressieren. Sie zeigt eine Vision der Produktion, Verwendung und der Entsorgung von Kunststoffen im Jahr 2030 auf. Biologisch abbaubare Kunststoffe werden als Möglichkeit und als Risiko zugleich angesehen, insbesondere in Bezug auf eine potenzielle Zunahme der Vermüllung und ein erschwertes mechanisches Recycling. Die europäische Kommission rät deshalb dazu, biologisch abbaubare Materialien besser zu kennzeichnen, damit die Verbraucher verstehen, wie Produkte aus biologisch abbaubaren Materialien ordnungsgemäß entsorgt werden.

Der aktuelle Bericht beinhaltet sieben Empfehlungen hinsichtlich der Verwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen. Diese Empfehlungen basieren auf einer aktuellen Studie des Umweltbundesamtes³ sowie auf einem Fragebogen, der von der Interest Group Plastics (im Folgenden IG Plastics) im EPA-Netzwerk entwickelt und verteilt wurde. Insgesamt 16 Antworten aus Österreich, Zypern, Dänemark, Estland, Finnland, Frankreich, Deutschland, Island, Irland, Italien, den Niederlanden, Norwegen, Schottland, der Slowakei, Schweden und der Schweiz wurden analysiert. Sie zeigen, dass die Mehrheit der Befragten gegenüber biologisch abbaubaren Kunststoffen eine eher skeptische Haltung einnimmt. Die meisten Bedenken bestehen in Bezug auf die tatsächliche biologische Abbaubarkeit, die Kontamination der bestehenden Abfallströme und des Risikos eines gesteigerten Litterings. Vor dem Hintergrund der wissenschaftlichen Literatur und der praktischen Erfahrungen mit biologisch abbaubaren Kunststoffen hat die IG Plastics die in diesem Bericht enthaltenen Empfehlungen diskutiert und ausgearbeitet.

Der Bericht besteht aus drei Hauptteilen. Er beginnt mit den von der IG Plastics entwickelten Empfehlungen. Anschließend werden die Ergebnisse des Fragebogens vorgestellt. Für diejenigen, die mehr

¹ Daten für 2016 für EU28+NO/CH, www.plasticseurope.org/download_file/view/477/179.

² Burgstaller et al: Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe (2018), verfügbar unter www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer, S. 37.

³ Ibid.

über die Besonderheiten des biologischen Abbaus erfahren möchten, bietet der letzte Teil entsprechende Informationen.

2. Empfehlungen der IG Plastics zu biologisch abbaubaren Kunststoffen

a) Anwendung des Vorsorgeprinzips

Die IG Plastics empfiehlt dem Vorsorgeprinzip bei der Verwendung biologisch abbaubarer Kunststoffe Rechnung zu tragen. Aktuell sollten diese Materialien nicht als Lösung für das Problem der Verschmutzung durch Kunststoffe angesehen werden. Die aus Umweltperspektive bevorzugte Wahl sollte stets Vorsorge und Wiederverwendung sein, und nicht Einwegprodukte durch Einweg aus anderen Materialien ersetzen.

b) Biologisch abbaubare Kunststoffe torpedieren die Kreislaufwirtschaft

Biologisch abbaubare Kunststoffe sind nicht Teil der Kreislaufwirtschaft⁴ und widersprechen somit dem Paradigma der Zirkularität. Die Materialien sind dafür entwickelt, sich so schnell wie möglich abzubauen, was einer Mehrfachnutzung im Wege steht. Somit passen biologisch abbaubare Kunststoffe nicht zur Abfallhierarchie, in der Ressourcen sparen und eine Reduzierung negativer Umwelteinflüsse durch Wiederverwendung und Recycling von Produkten oberste Priorität hat⁵. Biologisch abbaubare Kunststoffe hingegen sind weitestgehend Einwegprodukte⁶.

c) Normen müssen natürliche Bedingungen widerspiegeln

Da Normen die wichtigste Informationsquelle hinsichtlich der biologischen Abbaubarkeit für Verbraucher sind, fordert die IG Plastics, folgende Defizite zu beheben:

Zunächst spiegeln die aktuellen Normen nicht die natürlichen Bedingungen in den unterschiedlichen Umweltkompartimenten oder die realistischen Bedingungen in den industriellen Kompost- oder Fermentationsanlagen wider. Daher fordert die IG Plastics eine Revision der relevanten Normen in CEN TC 249, die die Vielfalt der Umweltbedingungen, die in Europa von Portugal bis Island vorherrschen, reflektiert.

Darüber hinaus sollte die Norm eine Anforderung beinhalten, die besagt, dass das komplette Produkt, und nicht nur Teile bzw. Pulver, Schichten oder Flocken davon, einem Zertifizierungsverfahren unterliegen muss.

Ferner sollte das gesamte Produkt, einschließlich aller Zusatzstoffe, Farben oder Füllstoffe, sowie deren potenzielle Ökotoxizitäten, Zertifizierungsprüfungen unterliegen. Dies wird von der Tatsache unterstrichen, dass die Produkte mitunter Zusatzstoffe und Stoffwechselprodukte enthalten, die die Umwelt zusätzlich belasten können.

⁴ Siehe http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm.

⁵ Hier sei jedoch angemerkt, dass die Definition von Recycling gemäß der Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) die Wiederaufbereitung von organischem Material umfasst.

⁶ Es gibt eine Ausnahme für leichte Plastiktüten, die beim Einpacken frischer Produkte beim Verkauf verwendet werden und die auch für den Biomüll geeignet sind.

d) Bedarf nach klaren, EU-weiten Kennzeichnungen

Die Produktkennzeichnung von biologisch abbaubaren Kunststoffen muss klare Anweisungen dahingehend enthalten, wie ein Produkt nach seiner Nutzung zu entsorgen ist. Tatsächlich ist für viele Verbraucher der korrekte Entsorgungsweg derzeit unklar. Um eine Kontaminierung der Abfallströme und Littering zu vermeiden, ist eine eindeutige EU-weite Kennzeichnung erforderlich. Die Kennzeichnungen sind mit klaren Erklärungen zu versehen, wie „Nur in industriellen Kompostieranlagen abbaubar“, „Kann im Hauskompost abgebaut werden“ usw. Eine weitere Option wäre eine farbliche Kennzeichnung, um den korrekten Entsorgungsweg leicht zu identifizieren.

e) Mögliche Verwendung von biologisch abbaubaren Beuteln für die Sammlung von Biomüll

Feldstudien haben gezeigt, dass durch Verteilen biologisch abbaubarer Beutel die Sammelraten von Biomüll gesteigert werden können. Daher wird teilweise empfohlen, biologisch abbaubare Beutel für diesen Zweck zu nutzen.

Jedoch beklagen viele Betreiber von Kompostieranlagen, dass a) entweder das Material in den etablierten Rottezyklen nicht abgebaut wird oder dass b) alles Fremdmaterial aussortiert wird, um eine Kontaminierung des Komposts zu vermeiden und sich biologisch abbaubare Kunststoffe nicht von konventionellen Kunststoffen unterscheiden lassen.

Daher sollten die Vorgaben der jeweiligen öffentlichen Entsorgungsanlagen stets berücksichtigt werden, wenn die Verwendung von biologisch abbaubaren Beuteln diskutiert wird. Wenn davon abgeraten wird, biologisch abbaubare Beutel zu verwenden, sollten Alternativen, wie die direkte Entsorgung des Biomülls in die entsprechende Tonne, gewählt werden. Einige Mitglieder der IG Plastics verweisen auf weitere Alternativen, wie Papiertüten.⁷

f) Verwendung von biologisch abbaubaren Materialien für nicht einsammelbare Produkte

Aufgrund der unterschiedlichen Umweltbedingungen in den unterschiedlichen Umweltkompartimenten sowie in den verschiedenen Klimazonen in Europa sieht die IG Plastics nur wenige mögliche Anwendungsbereiche für biologisch abbaubare Kunststoffe. Grundsätzlich sollten Vorsorge, Wiederverwendung, Sammlung und Recycling stets die erste Wahl sein. Daher empfiehlt die IG Plastics, die Verwendung biologisch abbaubarer Kunststoffe auf nicht einsammelbare Produkte zu beschränken. Das beinhaltet Produkte,

- für die es aktuell keine kunststofffreie Alternative gibt und
- für die es aktuell sehr unwahrscheinlich ist, dass sie eingesammelt werden, wenn sie zu Abfall werden.

Beispiele können sein:

- Schrotbeutel
- Sprengschnüre
- Dolly Ropes

⁷ Schweden und Dänemark berichten ferner, dass in einigen Kommunen der Biomüll in konventionellen Plastiktüten gesammelt wird, die anschließend in den Kompostieranlagen aussortiert werden. Andere Länder sind gegen diese Option, aufgrund des Risikos einer gesteigerten Kontaminierung des Komposts mit Kunststoffpartikeln.

- Kartuschen für Feuerwerkskörper.



*Schrotbeutel
/ michalz86 / Fotolia*

*Kartuschen von Feuerwerkskörpern/
UBA*

*Sprengschnur
/ sergasx / Fotolia*

Diesen Produkten ist gemein, dass sie nach der Verwendung nicht an einem bestimmten Ort anfallen, sondern über ein unbestimmtes Areal hinweg verteilt werden, für das eine Sammlung nicht vorgesehen ist. Dies führt dazu, dass diese Produkte häufig in der Umwelt zu finden sind, unter anderem an Stränden.

g) Empfehlung dafür biologisch abbaubare Kunststoffe nicht für Einweg-Anwendungen zu verwenden

Im Gegensatz dazu nimmt die IG Plastics Abstand davon, biologisch abbaubare Kunststoffe für Produkte zu empfehlen, die häufig als Müll in der Umwelt landen - oftmals handelt es sich dabei um Einwegprodukte aus Kunststoff. Grund dafür ist, dass die biologische Abbaubarkeit unter den aktuellen Bedingungen nicht garantiert werden kann und dass daher gesteigerte Einträge von Kunststoffen befürchtet werden.

In keinem Fall sollten Produkte aus biologisch abbaubarem Kunststoff die etablierten Abfallströme beeinträchtigen.

3. Antworten von 16 Mitgliedern des EPA-Netzwerks

Die IG Plastics hat einen Fragebogen zu biologisch abbaubaren Kunststoffen entwickelt, der im EPA-Netzwerk verteilt wurde. Der Fragebogen beinhaltet drei Fragenblöcke:

- Erstens, die rechtlichen Anforderungen für biologisch abbaubare Kunststoffe und biologisch abbaubare Produkte, die in den entsprechenden Ländern gelten;
- Zweitens, die Erfahrungen mit biologisch abbaubaren Kunststoffen in Bezug auf das Verbraucherverhalten und die Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe; und
- Drittens, die Herausforderungen im Umgang mit biologisch abbaubaren Kunststoffen in den Phasen der Nutzung und der Abfallbehandlung.

Teil A: Biologisch abbaubare Kunststoffe - Grundlagen

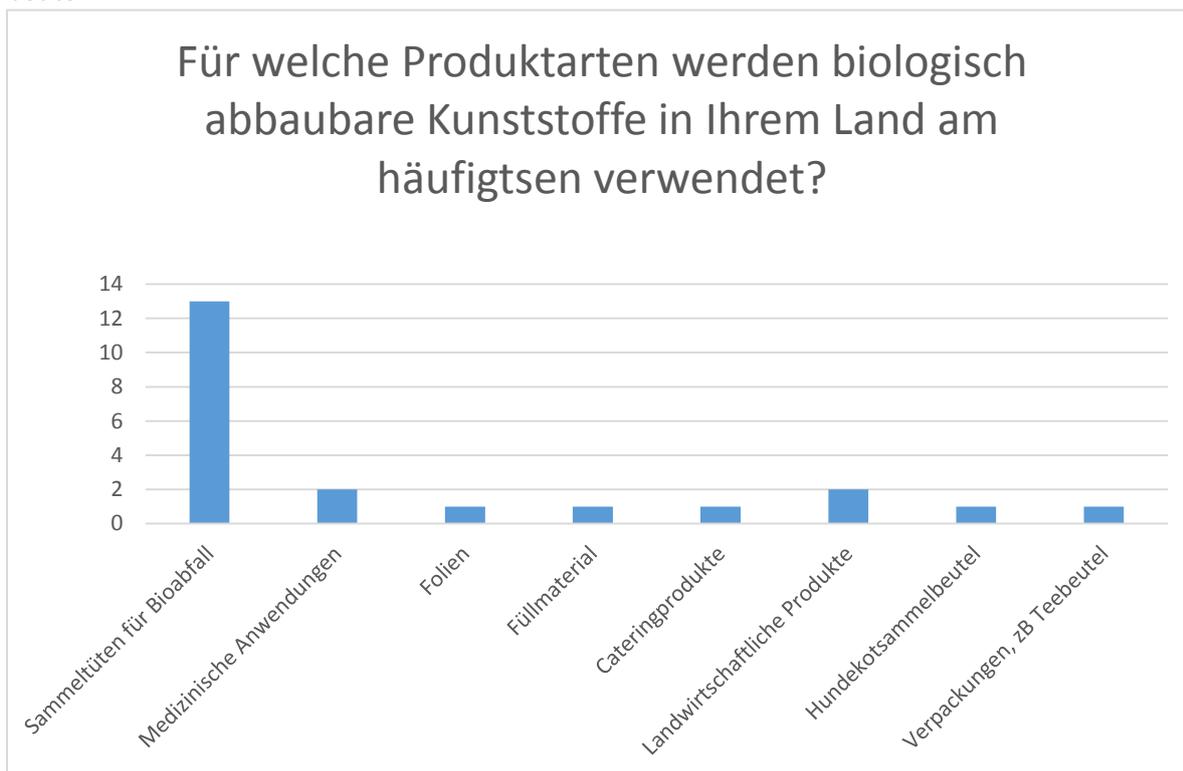
A1 - Bei der ersten Frage ging es darum, ob es rechtliche Vorgaben hinsichtlich der Verwendung biologisch abbaubarer Kunststoffe gibt. Die meisten Länder verneinten dies. Zwei Länder haben jedoch rechtliche Maßnahmen eingeführt: Italien und Frankreich.

<p>Italien </p>	<p>Italien hat es sich zum Ziel gesetzt, die Verwendung von Plastiktüten aus sehr leichtem Material, die nicht die folgenden Anforderungen erfüllen, zu reduzieren: biologisch abbaubar / kompostierbar gemäß EN 13432 und mit einem Mindestgehalt an erneuerbaren Rohstoffen.</p>
<p>Frankreich </p>	<p>In Frankreich sind Plastiktüten seit dem 1. Juli 2016 im Zuge des Energie- und Klimagesetzes aus dem Jahr 2015 verboten. Danach dürfen Plastiktüten, die dünner als 50 Mikrometer sind, nicht mehr an Kassen verteilt werden, ungeachtet des jeweiligen Volumens und ungeachtet dessen, ob der Händler einen Preis für die Tüte verlangt oder nicht. Biologisch abbaubare Tüten sind jedoch von diesem Verbot ausgenommen. Für Plastiktüten, Einwegbesteck und Magazinfolie legt Artikel 541-10-5 des französischen Umweltgesetzes fest, dass Tüten, die in Läden bereitgestellt werden, um Gemüse oder frische Lebensmittel zu verpacken, die französische Norm NF T 51-800:2015 9/2015 oder eine ähnliche ausländische Norm erfüllen müssen, beispielsweise «OK compost HOME» [für die Kompostierung zu Hause geeignet], gemäß den Spezifikationen der Norm <i>AIB-Vinçotte International</i>.</p>

Zypern berichtet, dass biologisch abbaubare Müllbeutel im Rahmen der Spezifikationen für die öffentliche Beschaffung bevorzugt werden, und die Schweiz informiert darüber, dass das Bundesamt für Umwelt zusammen mit unterschiedlichen Interessenvertretern an einer Liste mit Abfällen arbeitet, die für die Kompostierung und Fermentierung geeignet sind. Diese Liste ist jedoch nicht gesetzlich verpflichtend, sie stellt nur einen Leitfaden dar.

In Deutschland gibt es keine spezifische Rechtssetzung in Hinblick auf biologisch abbaubare Kunststoffe; es gibt jedoch zwei Ausnahmen, die biologisch abbaubare Kunststoffe adressieren: zum einen dürfen Kunststoffbeutel mit einer Zertifizierung gemäß EN 13432 für die Sammlung von Biomüll verwendet werden. Gleichmaßen sind Folien, die in der Landwirtschaft eingesetzt werden und aus biologisch abbaubaren Kunststoffen bestehen, ebenfalls basierend auf der Norm EN 13432, als Eingangsströme in Kompostierungsanlagen zulässig.

A 2- Die zweite Frage des ersten Blocks lautete: „Für welche Produktarten (z. B. (Bio-)Müllbeutel, Folien in der Landwirtschaft oder Mulche, Medizinprodukte) werden biologisch abbaubare Kunststoffe in Ihrem Land hauptsächlich verwendet (in Bezug auf die Menge)?“ Die häufigste Anwendungsform sind (Bio-)Müllbeutel, die entweder in den Läden verteilt oder rollenweise für die Verwendung zuhause verkauft werden. Weitere Anwendungsbereiche finden sich in der Medizin und in der Landwirtschaft (z. B. Mulchfolien). Einzelne Antworten umfassten Besteck und Becher, Füllmaterial sowie Hundekotbeutel.



A 3 - Die nächste Frage bezog sich auf Normen/Kennzeichnungen, die in den entsprechenden Ländern verwendet werden. Zur Beachtung: die nachstehende Tabelle eine 1:1 Wiedergabe der erhaltenen Antworten ist und zeigt, was Experten unter den Begriffen „Normen“ und „Kennzeichnungen“ verstehen. Neben der Spezifikation der Norm werden auch Beschreibungen oder ein Logo, der „Keimling“, verwendet. Die weitaus bekannteste Norm scheint die Norm EN 13432 zu sein, welche die Anforderungen für die Verwendung des „OK Compost“-Logos darstellt.



A 4 – Auf die Frage, ob finanzielle Anreize für die Verwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen gewährt werden, gab Österreich an, dass es geringere Abgaben für Verpackungsmaterial gibt, wenn dieses aus biologisch abbaubaren Kunststoffen, anstelle von herkömmlichen Kunststoffen, gefertigt wurde. Diese werden gemäß den Konformitätsplänen für Sammlung und Recycling von Biomüll gezahlt.

Zypern antwortete, dass es einen indirekten finanziellen Vorteil gibt, da biologisch abbaubare Kunststoffe im Rahmen der Vorgaben für die öffentliche Beschaffung bevorzugt werden. Der Rest der Befragten gab an, dass es keine finanziellen Anreize in ihren Ländern gibt.

Teil B: Erfahrungen mit biologisch abbaubaren Kunststoffen

B 1 - Der folgende Teil begann mit einer weit gefassten Frage über Hauptvor- und Nachteile von biologisch abbaubaren Kunststoffen.

In den Antworten werden unterschiedliche Vorteile genannt. Bitte beachten Sie, dass in keiner der Tabellen die Gültigkeit/Korrektheit der Aussagen bewertet wird; diese spiegeln lediglich die Bandbreite der Antworten wider.

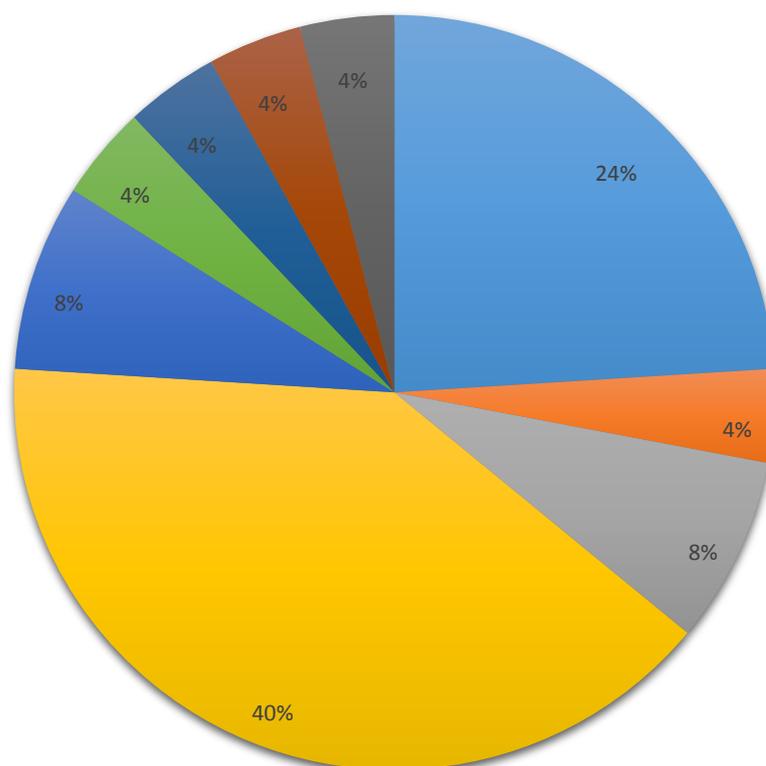
B1 Hauptvorteile von biologisch abbaubaren Kunststoffen	
Es gibt einen Vorteil, wenn keine Alternative möglich ist, die im Kreislauf geführt werden kann	1
Die Verwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen entspricht der Abfallhierarchie	1
Hilft, Abfall zu vermeiden	1
Unterstützt den Erhalt von Rohstoffen	1
Spart Energie	1
Biologisch abbaubare Kunststoffe helfen dabei, die Auswirkungen unkontrollierter Entsorgung von Kunststoffmüll an Land und im Meer zu reduzieren	1
Doppelte Nutzbarkeit: zur Verpackung von Gemüse und zur Verwendung als Biomüllbeutel	1
Helfen, das Problem Meeresmüll zu mindern	1
(Eingeschränkte) Abbaubarkeit unter bestimmten Bedingungen	1
Bestehen hauptsächlich aus erneuerbarem Material, wodurch Treibhausgasemissionen reduziert werden	1
Abbauzeit ist geringer als bei herkömmlichen Kunststoffen	1

Im Gegensatz zu den Vorteilen herrscht bei den Nachteilen größere Einigkeit. Der am häufigsten genannte Nachteil war, dass unter Verbrauchern aufgrund der unklaren Kennzeichnung von biologisch abbaubaren Produkten große Verwirrung bestehen kann.

B1 Hauptnachteile von biologisch abbaubaren Kunststoffen	
Verwirrung der Verbraucher, Bedarf nach korrekter Kennzeichnung	7
Nicht sofort abbaubar	6
Störung der etablierten Abfallströme	4
Vermehrtes Littering	4
Mangel an klaren Definitionen	2
Nicht wiederverwertbar	2
Teuer	2
Kompostieranlagen müssen das Material in Kompost umwandeln	1
Fraglicher CO ₂ -Fußabdruck bei der Herstellung	1
Fehlende Reißfestigkeit des Materials	1
Die unsachgemäße Entsorgung kann zu einer Verschmutzung von Wasser und Böden und somit zu Schäden, auch der Tierwelt, führen	1
Bei Entsorgung auf Müllhalden: potenzielle Auswirkungen in Hinblick auf die Biogasproduktion und Sickerwasser	1
Biologisch abbaubare Beutel wurden als Einwegverpackung konzipiert und der tatsächliche Umweltvorteil gegenüber anderen Verpackungsarten, insbesondere wiederverwendbaren, sollte einer tiefergehenden Bewertung unterzogen werden, beispielsweise durch eine Lebenszyklusstudie	1
Begrenzter Vorteil bei Anwendungen im geschlossenen Kreislauf	1
Keine dokumentierten Vorteile	1
Abbauprodukte unbekannt	1
Bedingungen für den vollständigen Abbau unbekannt	1
Verbleibende Mikroplastikstoffe in der Umwelt unbekannt	1
Biologisch abbaubare Kunststoffe können den Eindruck erwecken, dass Einweg-Produkte mit einer kurzen Lebensdauer einen ökologischen Vorteil bieten, was nicht der Fall ist. Stattdessen helfen Haltbarkeit, Reparaturfähigkeit und eine lange Lebensdauer der Produkte dabei, Ressourcen zu schützen und Abfall zu reduzieren	1
Die Trennung von Kunststoffen in Recyclinganlagen wird komplexer und teurer, wenn biologisch abbaubare Kunststoffe die Prozesse kontaminieren.	1

B 2a - Auf die Frage, ob das Risiko einer Verwechslung zwischen biologisch abbaubaren und konventionellen Kunststoffen besteht, die eine negative Auswirkung auf die Eingangsströme für Recycling- oder Kompostieranlagen haben könnte, antwortete ein Großteil der Befragten mit Ja, wenn auch aus unterschiedlichen Gründen. Auch hier fürchteten viele eine Verwirrung der Verbraucher, gefolgt vom Fehlen klarer Kennzeichnungen für biologisch abbaubare Kunststoffe.

B2 a - Besteht das Risiko, dass aufgrund von Verwechslung Eingangsströme in Recycling- oder Kompostierungsanlagen negativ beeinflusst werden?



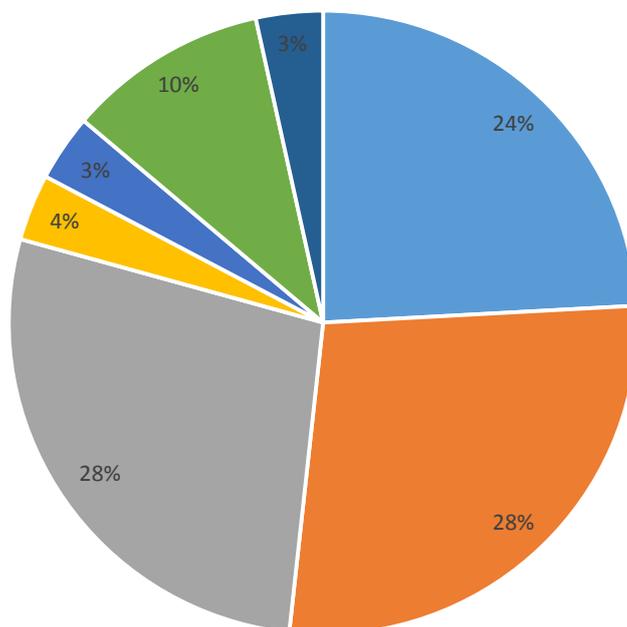
- Großes Verwechslungsrisiko
- Mangel an klaren Definitionen
- Material wird nur unter bestimmten Bedingungen abgebaut
- Negative Auswirkungen für Eingangsströme in Recycling/Kompostieranlagen
- Fehlen klarer Kennzeichnung
- Werden nicht am Anfallort getrennt
- Bislang keine Beschwerden, aber die Mengen sind gering
- Probleme entstehen wenn Kennzeichnungen und Nutzungsrichtlinien unklar sind
- Bioabbaubare könnten in Deponien landen

B2 b - Die meisten Befragten sehen das Risiko, dass Verbraucher herkömmliche und biologisch abbaubare Kunststoffe verwechseln könnten.

B2 b – Besteht Verwechslungsgefahr für den Verbraucher?	
Ja	12
Littering, auch herkömmlicher Kunststoffe	3
Aufklärungskampagnen sollten gefördert werden	2
Unterschiede zwischen verschiedenen Arten des Abbaus und den erforderlichen Bedingungen unklar	2
Unzureichendes öffentliches Bewusstsein	2
Noch keine Forschung zu möglichen Folgen	1
Wahrscheinlich	1
Die Heimkompostierung von Materialien, die für die industrielle Kompostierung gedacht sind, stellt eine potenzielle Quelle für den Eintrag von Mikroplastik dar	1
Biologisch abbaubare Kunststoffe können den Eindruck erwecken, dass die daraus gefertigten Produkte, vor allem Einwegprodukte mit kurzer Lebensdauer, einen ökologischen Vorteil bieten, was nicht der Fall ist	1
Größere Mengen konventioneller Kunststoffe könnten in Kompostieranlagen enden	1

B3 – Auf die Frage nach den erwarteten Hauptfolgen aus der Verwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen antwortete ein Großteil der Befragten, dass sie eine gesteigerte Sammlung von Bioabfall, jedoch auch eine Häufung von Problemen beim Recycling / in Kompostieranlagen erwarteten. Auch vermehrtes Littering war eine große Sorge.

B 3 - B3 Welche Hauptfolgen werden von der Nutzung biologisch abbaubarer Kunststoffe erwartet?



- Zunahme von Littering
- Problem in Recyclinganlagen
- Vermehrte Sammlung von Biomüll
- Keine starke Zunahme von bioabbaubaren Kunststoffen erwartet
- Öffentliche falsche Wahrnehmung, bioabbaubare Kunststoffe seien besser für die Umwelt
- Mehr Probleme für Kompostieranlagen
- Fehlendes Wissen zu möglicher Bildung von Mikroplastik

Teil C: Herausforderungen mit und Empfehlungen für biologisch abbaubare Kunststoffe

C1- Die erste Frage von Teil C lautete: „Haben Sie Empfehlungen in Bezug auf die Abfallwirtschaft von biologisch abbaubaren Kunststoffen?“. Hier eine Übersicht der Ergebnisse:

C1 Empfehlungen zur Abfallwirtschaft	
Klare Kommunikation mit der Öffentlichkeit und der Industrie	2
Klare Kommunikation über technische Möglichkeiten	2
Bedarf nach Vorschriften hinsichtlich der Kennzeichnung	2
Informationskampagnen zu Vor- und Nachteilen	2
Keine Empfehlungen	2
Mehr Forschung erforderlich	1
Biologisch abbaubare Materialien sollten getrennt von herkömmlichen Kunststoffen gesammelt werden	1
Sollten die Anforderungen der Heimkompostierung und darum auch der industriellen Kompostierung erfüllen	1
Die Verwendung von biologisch abbaubaren Tüten ist vorteilhafter, wo es industrielle Kompostierung gibt, die nur wenige Gemeinden haben	1
Abbauprodukte müssen gut verstanden werden	1
Littering sollte als separates Problem verstanden werden	1
Verwendung von biologisch abbaubaren Materialien empfohlen, wenn die Abbaubarkeit einen Zusatznutzen bringt	1
Verwendung von biologisch abbaubaren Materialien empfohlen, wenn ein erhöhtes Risiko der Verschmutzung der Meere besteht	1
Bessere Prüfungen der Abbaubarkeit	1
Einschränkung dahingehend, welche Produkte biologisch abbaubar sein sollten	1
Infrastruktur für das Recycling von biologisch abbaubaren Kunststoffen wäre notwendig	1
Klare Unterscheidung erforderlich zwischen biobasierten und biologisch abbaubaren Materialien	1
Deutliche Informationen dahingehend erforderlich, ob biologisch abbaubare Kunststoffe in industriellen Kompostieranlagen abgebaut werden	1
Es gibt keine offiziellen Empfehlungen, aber wenn wir gefragt werden, empfehlen wir, dass nach Dokumentierung hinsichtlich der Bildung von Mikroplastik, Abbauprodukten etc. gefragt wird.	1
Sammlung von Bioabfall kann mit zertifizierten Beuteln gesteigert werden	1
Viele Betreiber von Anlagen sind gegen biologisch abbaubare Beutel für die Sammlung von Biomüll, da diese Probleme im Prozess verursachen und den Eintrag von herkömmlichen Kunststoffen steigern	1

C2 - Auf die Frage, was die größten Herausforderungen in der Abfallwirtschaft sind, wurden die separate Sammlung und die Behandlung von biologisch abbaubaren Kunststoffen von drei Befragten als Problem angesehen.

C2 Welches sind die größten Herausforderungen hinsichtlich des Abfallmanagements von biologisch abbaubaren Kunststoffen?	
Separate Sammlung und Behandlung	3
Biologisch abbaubare Kunststoffe bauen nicht über einen Standardzeitraum in Kompostieranlagen ab, was den Eindruck eines verunreinigten Produktes erweckt (Kompost)	3
Eindruck, dass es sich dabei um umweltfreundlichere Produkte handelt, was nicht zutrifft	3
Wahrgenommene einfache biologische Abbaubarkeit und kurze Produktlebensdauer stehen im Gegensatz zu Ressourcenschutz und Abfallvermeidung	2
Die Verbraucher sind nicht in der Lage, zwischen verschiedenen Materialien zu unterscheiden	2
Geringes öffentliches Bewusstsein	2
Bauen sich unter natürlichen Bedingungen nicht ab	2
Stören Recyclingsysteme (kontaminieren PET-Recyclingströme)	2
Kommunikation mit der Industrie, Benutzern, Multiplikatoren	1
Wie verhalten sich diese Materialien in den bestehenden Vorbehandlungs- und Recyclingprozessen?	1
Bedarf nach harmonisierten Definitionen auf EU-Ebene	1
Nein	1
Kann zu gesteigerten Methanemissionen auf Mülldeponien führen	1
Unzureichende Recyclingkapazitäten	1
Sortierung	1
Fehlende Kenntnisse hinsichtlich des Potenzials für die Bildung von Mikroplastik	1

C3 – Auf die Frage nach Anwendungen, für die biologisch abbaubare Kunststoffe empfehlenswert sind, wurden in zwei Antworten Plastiktüten und in zwei weiteren Antworten die Nutzung für die Sammlung von Biomüll angegeben, wenn die Verwendung den Anforderungen der Kompostieranlagen entspricht. Es ist beachtenswert, dass auch negative Antworten gegeben wurden.

C3 Für welche Anwendungen würden Sie die Verwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen empfehlen?	
Separate Biomüllsammlung (wenn entsprechend der Kompostieranlage)	3
Plastiktüten	2
Medizinische Anwendungen	2
Offene Anwendungen, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft, wenn die Sammlung / Behandlung nach Nutzung unmöglich ist	1
Obst und Gemüse, wenn sie auch für die Sammlung von Lebensmittelabfällen verwendet werden	1
Aktuell keine spezifischen Empfehlungen, vielleicht nach Lebenszyklusanalyse	1
Könnte nützlich sein, wenn dadurch mehr Bioabfall gesammelt wird	1
Einige spezifische zielgerichtete Anwendungen in der Landwirtschaft oder Medizin	1
Keine umfassende Lösung	1
Abfallbeutel	1
Für die Verwendung in der Landwirtschaft nicht empfehlenswert	1
Für verderbliche Lebensmittel nicht empfehlenswert	1
Für die technische Verwendung nicht empfehlenswert	1
Wenn sie abbaubar sind, dann für Anwendungen, die leicht zu Littering führen können, wie Süßigkeitenverpackungen, Einwegverpackungen für Imbissmahlzeiten und Folien in der Landwirtschaft	1
Nicht empfehlenswert: Lebensmitteltüten / Plastiktüten	1
Nicht empfehlenswert: standardmäßiger Einsatz als Beutel für die Abfallsammlung	1
Keine aktuell, da es noch keine valide wissenschaftliche Dokumentation in Bezug auf Abbaubarkeit usw. gibt	1

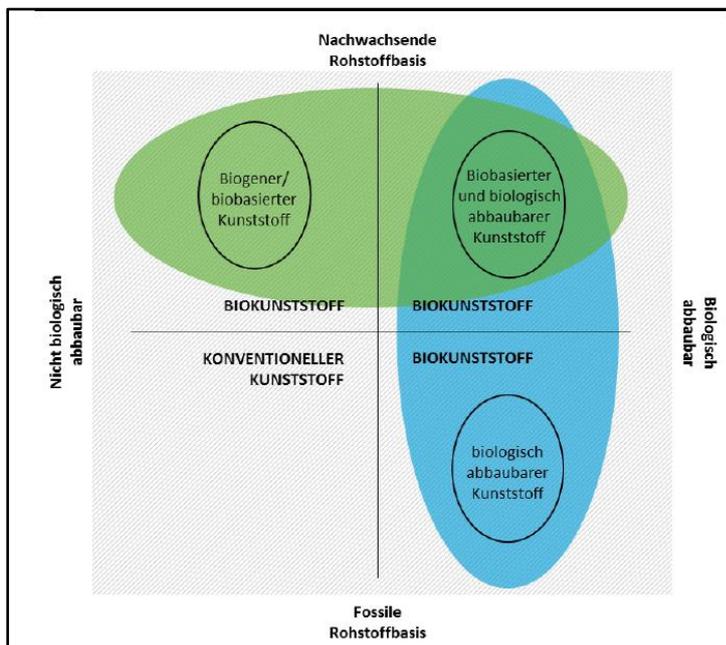
Zusammenfassung der Antworten

- Unter den Befragten gibt es kaum Länder, die rechtliche Maßnahme in Hinblick auf biologisch abbaubare Materialien vorsehen. Frankreich und Italien sind Ausnahmen.
- Ein Großteil der Befragten ist skeptisch in Hinblick auf biologisch abbaubare Kunststoffe.
- Bislang ist die Hauptanwendung für biologisch abbaubare Kunststoffe Bioabfallsammelbeutel. Wenige Befragten nannten weitere Anwendungen, wie medizinische Anwendungen und landwirtschaftliche Produkte (hauptsächlich Folien).
- Die bekannteste und von den meisten Befragten genannte Norm ist *EN 13432*. Darauf folgen, jedoch mit deutlich weniger Antworten, der Keimling und NF T 51-800:2015, die französische Norm für Heimkompostierung.
- In Hinblick auf die Vorteile von biologisch abbaubaren Kunststoffen scheint es kein einheitliches Bild zu geben.
- In Bezug auf die Nachteile stand die Verwechslungsgefahr durch die Verbraucher an erster Stelle, gefolgt von Bedenken hinsichtlich der Abbaubarkeit von biologisch abbaubaren Kunststoffen, Bedenken hinsichtlich der Funktion der etablierten Abfallströme und Prozesse in Recycling- und Kompostieranlagen sowie eine potenzielle Zunahme des Litterings.
- Die Hälfte der Befragten geht davon aus, dass die Verwendung von biologisch abbaubaren Bioabfallsammelbeuteln zu einer Steigerung der Sammelmenge von Bioabfall führt.
- Zur Verbesserung des Abfallmanagements biologisch abbaubarer Kunststoffe empfehlen Experten bessere Informationen durch eindeutige Kennzeichnung sowie eine klare Kommunikation gegenüber Öffentlichkeit und Industrie.
- Als mögliche Anwendung empfiehlt ein Teil der Befragten die Verwendung von biologisch abbaubaren Beuteln für die Sammlung von Biomüll.

4. Grundlagen biologisch abbaubarer Kunststoffe

Biologisch abbaubarer Kunststoff ist ein Begriff, der bei vielen Verbrauchern Fragen aufwirft. Für viele scheint die Vorsilbe „Bio“ einen ökologischen Vorteil im Vergleich zu herkömmlichen Kunststoffen zu implizieren, während andere *biologisch abbaubar* als Fähigkeit dieser Materialien verstehen, in der Umwelt oder im Gartenkompost abgebaut zu werden. Darüber hinaus ist es schwierig, zwischen biologisch abbaubaren Kunststoffen und biobasierten Kunststoffen zu unterscheiden. Es kann verwirrend sein, sich in der Welt dieser neuen Materialien zurecht zu finden; die schwerwiegenden Folgen können jedoch eine unsachgemäße Behandlung der Produkte sein, die aus biologisch abbaubare Kunststoffen hergestellt sind, was potenziell zu vermehrten Einträgen in die Umwelt führen kann. Um Missverständnisse zu vermeiden ist es notwendig, biologisch abbaubare Kunststoffe klar zu definieren und von anderen Materialien zu unterscheiden. Dieses Kapitel befasst sich mit dem Material, der Marktsituation und der regulatorischen Seite sowie mit den Normen, die für die Zertifizierung des biologischen Abbaus verwendet werden.

4.1. Was sind biologisch abbaubare Kunststoffe? Definition und Abgrenzung gegenüber anderen Materialien



Der Begriff biologisch abbaubare Kunststoffe bezieht sich auf Materialien, die sich durch biologische Aktivität potenziell in natürlich auftretende Stoffwechselendprodukte umwandeln lassen. Idealerweise führt dieser chemische Stoffwechselprozess zu einer Mineralisierung der Produkte in anorganische Stoffe wie Sauerstoff, Kohlenstoff und Methan. Dieser Prozess hängt stark von den Umweltbedingungen ab. Um als biologisch abbaubar gekennzeichnet zu werden muss das Material oder das daraus gefertigte Produkt entsprechend zertifiziert werden.

Abgrenzung konventionelle Kunststoffe und Biokunststoffe
Quelle: Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe

Biologisch abbaubare Kunststoffe und *Biokunststoffe* werden synonym verwendet und/oder nicht deutlich unterschieden. Der Oberbegriff *Biokunststoffe* kann sich jedoch sowohl auf biologisch abbaubare als auch auf biobasierte Kunststoffe beziehen. Die Grafik zeigt, dass es biobasierte Materialien gibt, die nicht biologisch abbaubar sind, biobasierte Materialien, die biologisch abbaubar sind, sowie Materialien fossilen Ursprungs, die entweder biologisch abbaubar oder nicht biologisch abbaubar sind.

Darüber hinaus können Endprodukte aus Materialmischungen dieser Kunststoffe bestehen; zum Beispiel kann ein Produkt, das als biologisch abbaubar klassifiziert wird, aus biologisch abbaubaren, biobasierten Materialien sowie aus biologisch abbaubaren Materialien fossilen Ursprungs gefertigt sein. Um eine Verwirrung der Verbraucher zu vermeiden, ist es daher ratsam, stets klar und deutlich zu vermitteln, welche Materialeigenschaften gemeint sind.

Manchmal werden im Zusammenhang mit Biokunststoffen auch oxo-abbaubare Kunststoffe genannt. Diese Materialien basieren entweder auf Materialien fossilen Ursprungs oder auf Biomasse und fragmentieren durch die Zugabe von bestimmten Zusatzstoffen unter Licht, Wärme, oder mechanischer Belastung. Das Material baut sich in diesem Prozess jedoch nicht vollständig ab, sondern fragmentiert nur in kleinere Teile. Es gibt keine international anerkannte Norm, die oxo-basierte Kunststoffe als biologisch abbaubare Kunststoffe anerkennt.

4.2 Aktuelle Situation auf dem europäischen Markt

Aktuell ist der globale Marktanteil von biologisch abbaubaren und biobasierten Kunststoffen eher gering; konventionelle Kunststoffe dominieren den Markt deutlich mit etwa 99%⁸. Während die geschätzte jährliche Nutzung von biologisch abbaubaren Kunststoffen bei 290.000 T liegt, belaufen sich die Produktionskapazitäten schätzungsweise auf circa 850.000 T pro Jahr⁹. In Europa liegt der Anteil an biologisch abbaubaren Kunststoffen bei circa 100.000 Tonnen pro Jahr¹⁰. Die größten Mengen in Bezug auf die Materialzusammensetzung sind PLA, PLA-Gemische sowie Stärke-Copolymer-Gemische.

Aktuell umfassen die Anwendungen hauptsächlich den Verpackungssektor, aber auch Landwirtschaft und Gartenbau. Die fünf Bestseller auf den EU-Märkten im Jahr 2015 sind Einkaufstüten, Bioabfallbeutel, feste Verpackungen, Einweggeschirr und -besteck sowie flexible Verpackungen.

Die großen Hersteller von biologisch abbaubaren Kunststoffen in Europa sind in Italien, Frankreich, Deutschland und den Niederlanden niedergelassen.

⁸ IfBB 2016; nova-Institut/EUBP 2017.

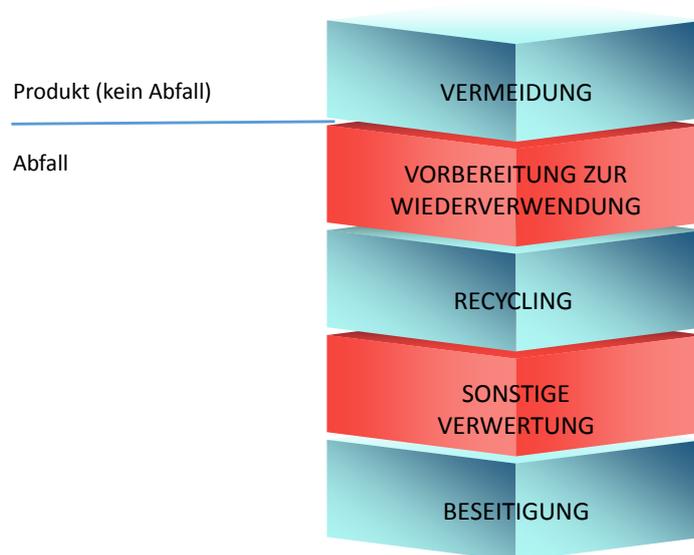
⁹ IfBB; nova-Institut/EUBP.

¹⁰ narocon/nova-Institut.

5. Rechtliche Vorgaben zu biologisch abbaubaren Kunststoffen in der EU

5.1 Mögliche Entsorgungswege entlang der Abfallhierarchie

EU-Abfallhierarchie



In der EU ist die Abfallbehandlung in der Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) geregelt, die von den Mitgliedsstaaten in nationale Gesetzgebung umgesetzt ist. Das Kernstück der Abfallrahmenrichtlinie ist die Abfallhierarchie gemäß Artikel 4. Die Abfallvermeidung ist das Schlüsselprinzip der Hierarchie; andere Behandlungsoptionen gelten als nachgeordnet.

Biologisch abbaubare Kunststoffe können theoretisch auf allen Stufen der Abfallhierarchie behandelt werden.

- Vorbereitung für die Wiederverwendung

Die Wiederverwendung von Produkten aus biologisch abbaubaren Kunststoffen ist unter bestimmten Bedingungen möglich.

- Materialrecycling

Das Materialrecycling wird aktuell nicht intensiv angewendet, ist jedoch für biologisch abbaubare Kunststoffe möglich, wie verschiedene Tests und Projekte gezeigt haben¹¹.

➤ Materialrecycling - industrielle Kompostierung

Die industrielle Kompostierung umfasst in der Regel drei Schritte: Vorbereitung, intensive Rotte und Nachrotte. Das Material wird während der Vorbereitungsphase geschreddert und homogenisiert; anschließend wird der Bioabfall unter der kontrollierten Zugabe von Sauerstoff und Feuchtigkeit abgebaut. Während der Nachrotte wird der frische Kompost stabilisiert und in fertigen Kompost umgewandelt. In den Mitgliedsstaaten gibt es unterschiedliche Richtlinien zur Behandlung von biologisch abbaubaren Kunststoffen in Bezug auf die Kompostierung.

➤ Materialrecycling - Gartenkompostierung

Die Gartenkompostierung von biologisch abbaubaren Kunststoffen sollte nur dann durchgeführt werden, wenn die Produkte als „heimkompostierbar“ gekennzeichnet sind.

Materialrecycling - weitere Nutzung / Fermentierung

Theoretisch ist die Fermentierung von biologisch abbaubaren Materialien möglich. Diese wird zurzeit in der Abfallaufbereitung jedoch nicht angewendet.

➤ Andere Formen der Rückgewinnung - Energierückgewinnung

Die Energierückgewinnung von biologisch abbaubaren Kunststoffen in Mitverbrennungsanlagen und Verbrennungsanlagen, welche das Kriterium R1 von Anhang II der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG erfüllen, wird derzeit intensiv und ohne Einschränkungen durchgeführt.

➤ Entsorgung - auf Müllhalten und Verbrennung ohne Energierückgewinnung

Im Anhang zur Abfallrahmenrichtlinie gibt es eine nicht umfassende Liste der Entsorgungsmöglichkeiten für Abfälle, die kein qualitativ hochwertiges Recycling darstellen. Dennoch spiegelt dies die Realität der Abfallbehandlung in zahlreichen Mitgliedsstaaten wider - unter anderem möglicherweise auch für biologisch abbaubare Kunststoffe.

5.2 Aktuelle Prüfverfahren in der EU

In der EU gibt es verschiedene Normen zu biologisch abbaubaren Kunststoffen. Diese Normen werden von Zertifizierungsunternehmen geprüft und getestet. Wenn alle Anforderungen der Norm erfüllt werden, dürfen die Produkte entsprechend gekennzeichnet werden. Die anerkannten Zertifizierungsunternehmen umfassen:

- ▶ DIN CERTCO - Deutschland
 - AfOR – Großbritannien; arbeitet mit DIN CERTCO zusammen
 - Keurmerkinstytut – Niederlande, arbeitet mit DIN CERTCO bei der Vergabe des Keimlings (von EUBP entwickelte Kennzeichnung für die Zertifizierung gemäß EN 13432) zusammen

¹¹ Castro-Aguirre et al. 2016; Kreindl 2013.

- COBRO – Polen, arbeitet mit DIN CERTCO bei der Vergabe des Keimlings (von EUBP entwickelte Kennzeichnung für die Zertifizierung gemäß EN 13432) zusammen
- ▶ Vinçotte – Belgien, seit Dezember 2017 Teil der TÜV Austria Gruppe (OK Compost Labels)
- ▶ Certiquality/Italienischer Verband für die Kompostierung, CIC – Italien.

Nach heutigem Stand kann der biologische Abbau für die folgenden Prozesse/Bedingungen zertifiziert werden:

- ▶ Industrielle Kompostierung
- ▶ Gartenkompostierung
- ▶ Biologisch abbaubar bei Raumtemperatur
- ▶ Biologisch abbaubar im Boden
- ▶ Biologisch abbaubar in mariner Umwelt
- ▶ Biologisch abbaubar unter Süßwasserbedingungen.

Sowohl Produkte als auch Werkstoffe können zertifiziert werden. Die Anforderungen zum biologischen Abbau sowie der Desintegration sind in dieser Hinsicht wichtig. *Biologischer Abbau* steht für die Umwandlung der organischen Verbindungen in Kohlendioxid, Wasser und mineralischer Salze (Mineralisierung) sowie neue Biomasse. *Desintegration* steht für die Zersetzung von Kunststoffen, definiert durch eine quantifizierte Desintegrationsprüfungen via Masseverlust des Kunststoffs.

Während die Beurteilung der biologischen Abbaubarkeit eines Materials nur unter kontrollierten Laborbedingungen durchgeführt werden kann, wird die Beurteilung der Zersetzung gemäß semi-industriellen bis umfangreichen industriellen Kriterien unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt.

5.3 Biologisch abbaubare Kunststoffe in der EU-Kunststoffstrategie

In der EU-Kunststoffstrategie, die im Januar 2018 veröffentlicht wurde, werden die biologisch abbaubaren Kunststoffe prominent adressiert. Sie werden darin als Chance und Risiko zugleich beschrieben, da sie einerseits eine Rolle in bestimmten Anwendungen spielen könnten, andererseits aber auch das mechanische Recycling erschweren könnten.

Die Kommission verdeutlicht, dass Kunststoffe, die als „biologisch abbaubar“ gekennzeichnet sind, häufig nur unter sehr spezifischen Bedingungen abbaubar sind, die in einer natürlichen Umgebung, insbesondere in der Meeresumwelt, nicht erfüllt werden. Darüber hinaus eignen sich Kunststoffprodukte, die als „kompostierbar“ gekennzeichnet sind, laut der Kommission nicht notwendigerweise für die Heimkompostierung geeignet. Eine Vermischung von kompostierbaren und konventionellen Materialien könnte auch die Qualität der Recyclingprodukte beeinträchtigen. Die Strategie sieht daher vor, einen klaren regulatorischen Rahmen für biologisch abbaubare Kunststoffe aufzustellen.

Ein Element dieses Rahmens, den die Kommission für erforderlich erachtet, ist das Vorhandensein eindeutiger und klaren Informationen für den Verbraucher. Darüber hinaus sollte der Eindruck, dass biologisch abbaubare Kunststoffe eine Lösung für das Problem des Litterings sein könnten, vermieden werden. Aus diesem Grund ist eine klare Regulierung dahingehend, welche Kunststoffe als „kompostierbar“ und „biologisch abbaubar“ gekennzeichnet sein dürfen, vorgesehen und es soll festgelegt werden, wie diese nach der Nutzung zu behandeln sind. Es sollen die Anwendungen mit deutlichen Vorteilen für die Umwelt identifiziert werden, für die die Kommission dann geeignete Maßnahmen entwickeln wird, um Innovation sowie Marktentwicklungen in die richtige Richtung zu stimulieren.

Um eine Trennung zu ermöglichen und falsche umweltbezogene Aussagen zu verhindern, hat es sich die Kommission zum Ziel gesetzt, harmonisierte Vorgaben für die Charakterisierung und Kennzeichnung von kompostierbaren und biologisch abbaubaren Kunststoffen zu entwickeln. Darüber hinaus ist eine Lebenszyklusanalyse angekündigt, in der die Kommission die Bedingungen, unter denen die Verwendung von biologisch abbaubaren und kompostierbaren Kunststoffen einen Vorteil darstellt, bewertet und Kriterien für solche Anwendungen darlegen wird.

5.4 Biologisch abbaubare Kunststoffe im Vorschlag für eine Richtlinie zur Minderung der Umweltauswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte

Am 28. Mai 2018 veröffentlichte die Europäische Kommission einen Legislativvorschlag für eine „Richtlinie zur Verringerung der Auswirkungen von bestimmten Kunststoffprodukten für die Umwelt“ (COM(2018) 340 final). Der Vorschlag ist das erste Dokument, das im Rahmen der EU-Kunststoffstrategie ausgearbeitet wurde. Bei den darin adressierten Produkten handelt es sich größtenteils um Einwegprodukte, die zu den 10 Produkten zählen, die am häufigsten an europäischen Stränden gefunden werden („Top Litter Items“). Der Vorschlag umfasst Maßnahmen, um die negativen Auswirkungen dieser Produkte auf die Umwelt zu begrenzen. In diesem Vorschlag werden biologisch abbaubare Kunststoffe an unterschiedlichen Stellen genannt. Der Vorschlag besagt in Erwägungsgrund 22:

„Bei der Evaluierung sollte auch berücksichtigt werden, ob zwischenzeitlich stattgefundenene wissenschaftliche und technologische Entwicklungen, einschließlich der Entwicklung von biologisch abbaubaren Werkstoffen und von Kriterien oder einer Norm für die biologische Abbaubarkeit von Kunststoffen im Meeresmilieu, wie in der Europäischen Kunststoffstrategie vorgesehen, die Festsetzung einer Norm für den biologischen Abbau bestimmter Einwegkunststoffartikel im Meeresmilieu ermöglichen. Diese Norm würde eine Norm für Untersuchungen beinhalten, ob Kunststoffe aufgrund ihrer physikalischen und biologischen Zersetzung im Meeresmilieu innerhalb so kurzer Zeit vollständig in Kohlendioxid (CO₂), Biomasse und Wasser zerfallen würden, dass sie der marinen Tier- und Pflanzenwelt nicht schaden und nicht zur einer Anreicherung von Plastik in der Umwelt führen. Wäre dies der Fall, könnten Einwegkunststoffartikel, die diese Norm erfüllen, vom Vermarktungsverbot ausgenommen werden.“¹²

Diese Formulierung lässt eine Hintertür für biologisch abbaubare Kunststoffe offen, um herkömmliche Kunststoffe in Einweganwendungen zu ersetzen. Es wird jedoch auch hervorgehoben, dass die Berücksichtigung der unterschiedlichen Bedingungen in der Meeresumwelt eine Herausforderung darstellt. Bis heute gibt es keine Hinweise darauf, dass die Kommission die Verwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen fördern wird.

¹² Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt, COM(2018) 340 final, S. 28.

6. Biologischer Abbau – Grundsätze¹³

In natürlichen Umgebungen spielen Mikroorganismen eine essentielle Rolle bei der Zersetzung organischer Stoffe. Sie sind für die Zersetzung von Biomasse verantwortlich. Dieser Prozess ist Teil des Energiestoffwechsels, mit dem die Mikroorganismen Energie für die Produktion und Synthese neuer Biomasse erzeugen.

Unter aeroben Bedingungen kann bis zu 40% des organischen Substrates in neue Biomasse umgewandelt werden. Unter aeroben Bedingungen geht die Zersetzung schrittweise voran, entlang einer Nahrungsmittelkette, mit einer Kombination aus Fermentierung und der Entwicklung von Methan und Kohlendioxid als Endprodukte. Im Vergleich zu aeroben Stoffwechselreaktionen führt eine anaerobe Respiration zu geringerer Energieerzeugung und daher auch zu geringerer Produktion von Biomasse. Nur ca. 10-20% werden in Biomasse umgewandelt, der Großteil wird mineralisiert. Die unterschiedlichen Reaktionen in Bezug auf Zersetzung und Biomasseproduktion unter aeroben / anaeroben Bedingungen beeinflussen die Zersetzungskriterien von Tests des biologischen Abbaus.

Die folgenden Faktoren bestimmen größtenteils den biologischen Abbau:

- ▶ Die Anzahl an Mikroorganismen und die Zusammensetzung der mikrobiellen Population;
- ▶ Umweltbedingungen, die die Reproduktion beeinflussen, wie Feuchtigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Nährstoffgehalt;
- ▶ Bioverfügbarkeit des organischen Substrates; bei festen Stoffen insbesondere Wasserlöslichkeit und Hydrolysierbarkeit.

Der biologische Abbau der Polymere folgt einem zweistufigen Verfahren. Zunächst wird die Polymerkette in kleinere Fragmente hydrolysiert. Diese sind oftmals wasserlöslich und können von den Zellen aufgenommen werden. Enzyme spielen bei der Hydrolyse ebenfalls eine Rolle; chemisch-physikalische Prozesse sind bei einigen Polymeren, wie PLA, ebenfalls relevant. Die Fragmente werden in den Zellen weiter zersetzt, bis zu ihrer Mineralisierung / Umwandlung in Biomasse.

6.1 Biologischer Abbau von Kunststoffen unter optimalen Bedingungen in unterschiedlichen Umgebungen

Im Allgemeinen wird die Analyse der biologischen Abbaubarkeit unter Laborbedingungen durchgeführt. Dies bedeutet, dass die volle Kontrolle von Parametern wie Temperatur, Feuchtigkeit und Belüftung jederzeit gegeben ist. Darüber hinaus kann die Beurteilung des biologischen Abbaus durch die Beurteilung der biologischen Endprodukte (Kohlendioxid, Methan) oder durch Messung der Sauerstoffaufnahme unter Laborbedingungen sowie durch Ausgleich der Kohlenstoffverbindungen durchgeführt werden. Es ist nicht davon auszugehen, dass diese kontrollierten Bedingungen die Bedingungen in allen Klimazonen und natürlichen Lebensräumen oder Aufbereitungsanlagen widerspiegeln.

Da die Beurteilung des biologischen Abbaus von Kunststoffen durch die Verwendung natürlich auftretender Mikroorganismen erfolgt, kann keine abschließende allgemeine Aussage zur biologischen Abbaubarkeit in allen natürlich auftretenden Lebensräumen oder Aufbereitungsanlagen gemacht werden.

¹³ Dieses Kapitel basiert größtenteils auf der „Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe“, verfügbar unter www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer.

den. Dies ist auf die Tatsachen zurückzuführen, dass die Abbaubarkeit immer stark von den spezifischen Umweltbedingungen sowie vom Ursprung der verwendeten Mikroorganismen abhängt und dass die Laborbedingungen die Natur nicht reproduzieren können.

6.1.1 Testverfahren zur Prüfung der biologischen Abbaubarkeit

Labormethoden bewerten den allgemeinen biologischen Abbau der Materialien. Wenn der Abbauprozess erfolgreich ist, kann ein natürlich auftretendes, enzymatisches System das Testmaterial unter spezifischen, künstlichen Bedingungen mineralisieren. Diese Labortests ermöglichen keine abschließenden Aussagen hinsichtlich des Verhaltens des Materials unter realen Bedingungen.

Für die Beurteilung des biologischen Abbaus von Feststoffen unter aeroben Bedingungen und unter standardisierten Laborbedingungen ist die Produktion von Kohlendioxid als Endprodukt der Mineralisierung eine anerkannte Methode. Unter aeroben Bedingungen korreliert die CO₂-Produktion dem Sauerstoffverbrauch, der in einigen Testverfahren als Parameter verwendet wird. Die primäre Zersetzung, die mit spezifischen Analysen des Masseverlusts gemessen wird, ist kein klarer Nachweis für einen kompletten biologischen Abbau, sondern lediglich ein Parameter für die Beurteilung der Fragmentierung des Testmaterials.

Da die Zersetzung von unterschiedlichen Umweltbedingungen abhängig ist, wurden angepasste Prüfmethoden für unterschiedliche Lebensräume entwickelt, wie Kompostierung, Boden und aquatische Milieus. Diese sind auch als standardisierte Prüfmethoden verfügbar. Diese Methoden unterscheiden sich insbesondere angesichts der Matrix und Inkubationstemperatur. Bei den Abbautests handelt es sich normalerweise um zwei parallel durchgeführte Tests: einer mit dem Testmaterial selbst sowie ein Referenzansatz mit einem Polymer, das bekanntermaßen gut biologisch abbaubar ist. Dies ermöglicht eine Beurteilung des Abbaus und ferner auch die Funktion des Prüfsystems.

Für Labormethoden unter anaeroben Bedingungen handelt es sich bei der Produktion von Biogas (CO₂ und CH₄) um den anerkannten Indikator für einen kompletten biologischen Abbau.

Die für den Abbau von biologisch abbaubaren Kunststoffen erforderlichen Kriterien, d.h. der minimale Abbau in einem definierten Zeitraum, ist in Prüfprogrammen festgelegt. Sie beschreiben die Anforderungen für bestimmte Prüfziele und werden auch als Normen veröffentlicht. Der Abbaugrad von 90% in allen Prüfprogrammen kann als einigermaßen restriktives Kriterium verstanden werden. Bis zu 40% des Testmaterials wird in neue Biomasse umgewandelt. Ein Abbaugrad von 90% kann nur erreicht werden, wenn ein Teil der neu aufgebauten Biomasse wieder mineralisiert wird. Es ist zu beachten, dass ein absoluter Abbau von 90% für gewöhnlich nur nach einer sehr langen Dauer der Tests erreicht werden kann - auch für das abbaubare Referenzmaterial. Daher ist ein alternatives Beurteilungskriterium der Abbaugrad des Testmaterials im Verhältnis zum Abbaugrad des Referenzmaterials. Hier muss ein Abbaugrad von mindestens 90% des maximalen Werts des Referenzmaterials erreicht werden.

Testmethoden für die biologische Abbaubarkeit

	Milieu	Temperatur	Messparameter	Masseverhältnis Prüfsubstanz / Inokulum	Relevante Normen
Aerob	Kompost	57 ± 2 °C	CO ₂ -Produktion	14 % (TM)	ISO 14855-1
	Kompost	25 ± 5 °C	CO ₂ -Produktion	14 % (TM)	ISO 14855-1 bei 25 ± 5 °C
	Süßwasser	20 – 25 °C ¹⁴	O ₂ -Nutzung CO ₂ -Produktion	min. 100 mg/L	ISO 14851 ISO 14852
	Boden	20 – 28 °C	O ₂ - Nutzung oder CO ₂ -Produktion	0,1 %	ISO 17556
	Meerwasser ¹⁵	30 ± 2 °C	CO ₂ -Produktion	min. 267 mg/L	ASTM D6691
Anaerob	Faulschlamm	35 °C	Produktion von CO ₂ und CH ₄ (Biogas)	200 mg/L 100 mg OC/g TM	ISO 14853
	High-Solid Gärrest	52 ± 2 °C	Produktion von CO ₂ und CH ₄ (Biogas)	1,5 – 2,0% 7,5 – 10 % (TM)	ISO 15985

In Testprogrammen für die Kompostierung ist der anaerobe Abbau nur optional erforderlich (EN 13432, EN 14995, AS 4736). Nach maximal zwei Monaten ist ein Abbaugrad von mindestens 50% des theoretischen Werts erforderlich. Weitere Normen für die Bewertung des anaeroben Abbaus von Kunststoffen sind aktuell in Vorbereitung.

Neben dem biologischen Abbau sind Zersetzungstests für die Zertifizierung von biologisch abbaubaren Kunststoffen erforderlich. Die Zersetzung dieser Kunststoffe wird unter realitätsnahen Bedingungen getestet. Für die Beurteilung der Zersetzung ist die Deklaration der Schichtstärke, unter der das Material beurteilt wird, erforderlich.

6.1.2 Kunststoffe mit nachgewiesener biologischer Abbaubarkeit

Bitte beachten Sie, dass in diesem Paragraph nur auf die Ergebnisse von Tests, in denen der Abbau durch Mineralisierung beurteilt wurde, Bezug genommen wird.

Die Literatur bezieht sich lediglich auf Abbauergebnisse unter thermophilen Kompostierungsbedingungen. Diese sind für das Testziel „industrielle Kompostierung“ relevant. Die Testeinrichtung ermöglichte es nicht in allen Fällen, dass eine Plateauphase erreicht wurde, sondern endete relativ schnell. Jedoch konnte auch in diesen Fällen der Abbau des entsprechenden Polymers beurteilt werden. Im Fall von TPS, PHA, PLA, PBAT, PBST und PBS liegt die maximale Abbauzeit deutlich unter dem Grenzwert von sechs Monaten. In Bezug auf den zeitlichen Rahmen des biologischen Abbaus zeigten TPS und PHA die schnellsten Ergebnisse (ca. 30-45 Tage), gefolgt von PLA und PBAT / PBST (60-80 Tage). PBS benötigt

¹⁴ Hier sei angemerkt, dass die in der Norm angegebenen Temperaturen kaum die realen Bedingungen widerspiegeln, insbesondere nicht im breiteren Rahmen über ganz Europa hinweg.

¹⁵ Ibid.

die längste Zeit, um vollständig abgebaut zu werden, nämlich 160 Tage. Dies liegt vor allem an seinem hohen Anteil an kristalliner Struktur.

Eine Übersicht über den biologischen Abbau von biologisch abbaubaren Kunststoffen im Boden befindet sich im Anhang (Tabelle 2).

Es gibt in der Literatur fast keine Ergebnisse hinsichtlich des biologischen Abbaus für die Heimkompostierung, d.h. bei Temperaturen von bis zu 30 Grad Celsius. Unter Kompostierbedingungen bei Temperaturen zwischen 50 und 60 Grad Celsius baut sich PLA innerhalb weniger Wochen komplett ab. In Kompost und Boden unter Umweltbedingungen, also weniger als 30 Grad Celsius, schreitet der Abbau nur langsam voran. Dies lässt sich auf die Tatsache zurückführen, dass die Hydrolyse des Polymers, die für den Abbau erforderlich ist, unter den physikalisch-chemischen Bedingungen bei erhöhten Temperaturen stattfindet, abhängig von der Kristallinität des Materials. Wenn diese nicht in Kompostieranlagen, sondern unter natürlichen Bedingungen im Boden und im Wasser abgebaut werden, können die erforderlichen Temperaturen nicht erreicht werden.

Eine Übersicht über den biologischen Abbau von biologisch abbaubaren Kunststoffen unter Kompostierbedingungen befindet sich im Anhang (Tabelle 3).

Im Vergleich zum Referenzmaterial Zellulose wird deutlich, dass die Geschwindigkeit des Abbaus im Boden bei Raumtemperatur weitaus langsamer ist als unter Heißrottebedingungen. Darüber hinaus spielt die Stärke des Materials eine entscheidende Rolle für die Geschwindigkeit des Abbaus. Polymerfolien mit weniger als 100 µm werden beispielsweise viel schneller mineralisiert als Folien mit >500 µm.

Die nachstehende Tabelle zeigt eine Übersicht über die Materialien und deren entsprechenden Stärken, die durch Vinçotte zertifiziert sind.

Zertifizierte Materialien und Stärken

Stärke [µm]				
Markenname	Polymer	OK Compost	OK Compost HOME	OK biodegradable MARINE
Ecovio FT 2341	PBAT/PLA	249 µm	53 µm	
BIOPLAST 505	Stärkegemisch	250 µm	37 µm	
BIOPLAST 500	Stärkegemisch	172 µm	65 µm	
Mater-Bi NF 01U	Stärkegemisch	100 µm	67 µm	
Mater-Bi EF 01A	Stärkegemisch	100 µm	16 µm	
AONILEX X151A	PHA	130 µm	130 µm	47 µm
MIREL M2100	PHA	690 µm	1000 µm	45 µm
RWDC PHA Copolymer	PHA	390 µm	85 µm	85 µm
DaniMer 12291	PHA	90 µm	90 µm	
Meridian	PHA	430 µm	430 µm	19 µm
BioPBS FD 92	PBS	87 µm	85 µm	
GS Pla FD92	PBS	87 µm	85 µm	
BIONOLLE 5001 MD	PBS	126 µm	126 µm	
BIONOLLE STARCLA 1XIn	PBS	129 µm	79 µm	

Quelle: eigene nach Vincotte 2017b, 2017c, 2017a

In aquatischen Milieus weisen einige Polymere schnellere Abbauraten auf als im Boden. Hier ist anzumerken, dass die Temperaturen für diese Tests am unteren Ende bei 20 Grad Celsius und am oberen Ende bei bis zu 60 Grad Celsius liegen. Unter diesen Bedingungen werden die thermoplastische Stärke sowie PHA und PLC innerhalb von vier bis acht Wochen mineralisiert. Andere Materialien, wie PLA und PBAT, werden weitaus langsamer abgebaut. Im Meerwasser weisen stärkebasierte Materialien sowie PHA und PCL gute Abbauraten auf und lassen sich in manchen Fällen binnen 28 Tagen komplett abbauen. PLA, PBS und PBAT werden nur langsam abgebaut. Hier werden Temperaturen von mindestens 20 Grad Celsius bis zu maximal 28 Grad Celsius angewendet. Tabelle 5 im Anhang bietet eine Übersicht über die verschiedenen Versuche.

Die Abbaueigenschaften der unterschiedlichen Polymere spielen eine wichtige Rolle in Bezug auf die Zertifizierung im entsprechenden Anwendungsbereich. Die Zertifizierung für die Kompostierung zuhause und im Garten umfasst keine PLA-basierten Materialien oder Gemische mit nur einem geringen PLA-Gehalt. Stärkebasierte Materialien dominieren auf diesem Gebiet, da sie unter bestimmten Umweltbedingungen gut abgebaut werden können, beispielsweise PHA und PBS. Zertifikate für Materialien, die in aquatischen Milieus angewendet werden sollen, wurden bisher für PHA-basierte Materialien ausgestellt. Neben den Materialien spielt auch die Stärke der Folien eine wichtige Rolle für die einzelnen Anwendungen.

6.2 Zeitraum für die biologische Zersetzung in situ in Boden, Süßwasser und Meerwasser unter realen Bedingungen

Es gibt eine Reihe von Publikationen zum Abbau biologisch abbaubarer Kunststoffen in Süßwasser, Meerwasser und im Boden, wobei das Hauptaugenmerk auf dem Boden liegt. Hier sei angemerkt, dass für den biologischen Abbau unter natürlichen Bedingungen die Testverfahren von denen, die unter Laborbedingungen ausgeführt werden, abweichen. Dies beruht auf der Tatsache, dass natürliche Umgebungen offene Systeme sind, in denen es unmöglich ist, den biologischen Abbau durch die Bewertung des Kohlenstoffgehalts des Endprodukts in verschiedenen Umweltkompartimenten zu beurteilen. Daher ist der wichtigste Parameter die Beurteilung des Abbaus der Kunststoffmaterialien, überwiegend über den Gewichtsverlust und/oder über eine Analyse der Oberfläche oder eine visuelle Beurteilung.

6.2.1 Zersetzung im Boden

Für den Abbau im Boden sind die Umweltbedingungen im Vergleich zu anderen Umweltkompartimenten relativ gut. Der Hauptgrund dafür ist, dass im Boden und im Kompost über 90 unterschiedliche Sorten an Mikroorganismen identifiziert wurden, die in der Lage sind, biologisch abbaubare Kunststoffe zu verwerten (Emadian et al. 2017). Sie setzen sich aus unterschiedlichen Bakterien zusammen, hauptsächlich jedoch aus Pilzen. Insbesondere in Böden kann eine größere Vielfalt an Mikroorganismen gefunden werden als in der aquatischen Umwelt.

Für den Abbau im Boden reichen die ersten Untersuchungen bis in die 90er Jahre zurück. Tests in Frankreich haben ergeben, dass PHB, PCL, PCL/TPS und Zellophan nach 24 Monaten voll abgebaut waren (Calmon et al. 1999). Für PLA waren die Ergebnisse deutlich weniger klar - ein Abbau zwischen 0

und 100% wurde festgestellt. Ähnlich der Tests, die unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt wurden, gab es eine deutliche Verbindung zwischen der Stärke des Materials und der Abbaurate - je stärker das Material, desto geringer der Abbau. Im Vergleich dazu wurde PE überhaupt nicht abgebaut.

In Italien wurde der Abbau von stärkebasierten Polymeren geprüft (Mater-Bi®). Innerhalb von drei Monaten im Sommer wurde weniger als 5% des Materials abgebaut. Dasselbe Material wurde auch in Portugal geprüft, wo es als Mulchfolie verwendet wurde (Costa et al. 2014). Innerhalb von fünf Monaten konnte kein Abbau der Folie festgestellt werden.

Tests in Griechenland mit PLA-Folien ergaben, dass während eines Zeitraums von elf Monaten, wenn überhaupt, nur ein geringer Abbau stattfand. PLA-Fasern wurden überhaupt nicht abgebaut (Rudnik und Briassoulis 2011).

Ähnliche Tests wurden in asiatischen Ländern, in den USA und in Australien durchgeführt. Alle Ergebnisse zeigten, dass der Abbau von biologisch abbaubaren Kunststoffen im Boden stark von den Umweltbedingungen abhängt, d.h. vor allem der Temperatur, Feuchtigkeit und pH-Wert. Stärkebasierte Polymere werden nach etwa 12 Monaten unter günstigen Bedingungen abgebaut. Bei PLA-basierten Materialien variieren die Abbaugrade erheblich: von überhaupt nicht bis komplett abgebaut nach 24 Monaten. Dies passt auch zu den Testergebnissen von PLA unter Laborbedingungen bei Raumtemperatur.

6.2.2 Zersetzung in Süßwasser

In Süßwasser sowie in Meerwasser treten geringere Konzentrationen von Mikroorganismen auf, als im Boden oder im Kompost. In den meisten Fällen umfasst die Mikroflora Bakterien, keine Pilze, die offenbar für einen Großteil des Abbauprozesses zuständig sind.

Es gibt nur eine geringe Anzahl an Publikationen zu biologisch abbaubare Kunststoffe unter realistischen Süßwasserbedingungen (Brandl und Püchner 1992; Gilmore et al. 1993; Volova et al. 2007; Showa Denko K.K. 2015; Accinelli et al. 2012). Es sei ferner angemerkt, dass die Versuchsanordnungen stark voneinander abweichen. Daher wird hier eine Übersicht dargestellt.

Die Ergebnisse der Tests zeigen, dass die entscheidenden Parameter für den Abbau in Süßwasser hauptsächlich Temperatur und Sauerstoffgehalt sind. Selbst nach einigen Monaten erreichten die Abbauraten in einigen Fällen nur 1,5 %, in einem Fall bis zu 90 % nach 200 Tagen. Da die Fallzahlen gering sind und die Ergebnisse so stark voneinander abweichen, scheint eine Einzelfallbeurteilung hier noch dringender angebracht zu sein als für den Abbau im Boden.

6.2.3 Zersetzung im Meerwasser

Tests mit verschiedenen biologisch abbaubaren Kunststoffen in Meerwasser haben ergeben, dass Materialien wie PHA, PCL und stärkebasierte Materialien unter natürlichen Bedingungen ein unterschiedliches Abbauverhalten aufweisen. Synthetische Polyester wie PBS und PBAT lassen sich augenscheinlich ebenfalls abbauen, wenn auch weitaus langsamer, innerhalb eines Zeitraums von mehreren Jahren. Neben der mikrobiellen Zusammensetzung des Habitats spielen auch die physikalisch-chemischen Bedingungen eine wichtige Rolle. Darüber hinaus beeinflussen die Temperatur sowie die Wassertiefe bei den durchgeführten Tests die Ergebnisse.

Im marinen Ökosystem wird zwischen sechs Habitaten unterschieden:

- ▶ Supralitoral: Spritzwasserzone, Salzwiesen und hochgelegene Strände
- ▶ Eulitoral: Bereich der Gezeiten (Watt)
- ▶ Sublitoral: ständig unter Wasser stehender Küstenbereich; Meeresboden, Priele
- ▶ Tiefseezone
- ▶ Sediment: sublitoral und Tiefseezone
- ▶ Pelagial: Wasserkörper

Für Tests in Meerwasser gibt es eine Norm für den Nachweis des Abbaus im Wasserkörper (Pelagial). Für andere Meerwasserhabitats sind noch keine standardisierten Methoden entwickelt worden.

Insgesamt ergibt die Prüfung der Literatur, dass der tatsächliche Abbau von biologisch abbaubaren Kunststoffen von verschiedenen Faktoren abhängt, wie Temperatur, Licht und mikrobieller Zusammensetzung.

7. Bibliographie

- Accinelli, Cesare; Saccà, Maria Ludovica; Mencarelli, Mariangela; Vicari, Alberto (2012): Deterioration of bio-plastic carrier bags in the environment and assessment of a new recycling alternative. In: *Chemosphere* 89 (2), S. 136-143. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.05.028.
- Adhikari, Dinesh; Mukai, Masaki; Kubota, Kenzo; Kai, Takamitsu; Kaneko, Nobuyuki; Araki, Kiwako S.; Kubo, Motoki (2016): Degradation of Bioplastics in Soil and Their Degradation Effects on Environmental Microorganisms. In: *JACEN* 05 (01), S. 23-34. DOI: 10.4236/jacen.2016.51003.
- Ahn, H. K.; Huda, M. S.; Smith, M. C.; Mulbry, W.; Schmidt, W. F.; Reeves, J. B. (2011): Biodegradability of injection molded bioplastic pots containing polylactic acid and poultry feather fiber. In: *Bioresource technology* 102 (7), S. 4930-4933. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.01.042.
- Anstey, Andrew; Muniyasamy, Sudhakar; Reddy, Murali M.; Misra, Manjusri; Mohanty, Amar (2014): Processability and Biodegradability Evaluation of Composites from Poly(butylene succinate) (PBS) Bioplastic and Biofuel Co-products from Ontario. In: *J Polym Environ* 22 (2), S. 209-218. DOI: 10.1007/s10924-013-0633-8.
- Arcos-Hernandez, Monica V.; Laycock, Bronwyn; Pratt, Steven; Donose, Bogdan C.; Nikolić, Melissa A.L.; Luckman, Paul et al. (2012): Biodegradation in a soil environment of activated sludge derived polyhydroxyalkanoate (PHBV). In: *Polymer Degradation and Stability* 97 (11), S. 2301-2312. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.07.035.
- Brandl, Helmut; Püchner, Petra (1992): Biodegradation of plastic bottles made from 'Biopol' in an aquatic eco-system under in situ conditions. In: *Biodegradation* 2 (4), S. 237-242.
- Burgstaller, Maria; Potrykus, Alexander; Weißenbacher, Jakob; Kabasci, Stephan; Merrettig-Bruns, Ute; Sayder, Bettina: Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. UBA Texte, verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer>.
- Castro-Aguirre, E.; Iñiguez-Franco, F.; Samsudinb, H.; Fang, X.; Auras, R. (2016): Poly(lactic acid)—Mass production, processing, industrial applications, and end of life. In: *Advanced Drug Delivery Reviews*. 107, S. 333-366.
- Catia Bastioli (1998): Properties and applications of Mater-Bi starch-based materials. In: *Polymer Degradation and Stability* 59, S. 263-272.
- Costa, Raquel; Saraiva, Artur; Carvalho, Lopo; Duarte, Elizabeth (2014): The use of biodegradable mulch films on strawberry crop in Portugal. In: *Scientia Horticulturae* 173, S. 65-70. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.04.020.
- Di Franco, C. R.; Cyras, V. P.; Busalmen, J. P.; Ruseckaite, R. A.; Vázquez, A. (2004): Degradation of polycaprolactone/starch blends and composites with sisal fibre. In: *Polymer Degradation and Stability* 86 (1), S. 95-103. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.02.009.
- Du, Yan-Li; Cao, Yu; Lu, Fang; Li, Fang; Cao, Yi; Wang, Xiu-Li; Wang, Yu-Zhong (2008): Biodegradation behaviors of thermoplastic starch (TPS) and thermoplastic dialdehyde starch (TPDAS) under controlled composting conditions. In: *Polymer Testing* 27 (8), S. 924-930. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2008.08.002.

- Emadian, S. Mehdi; Onay, Turgut T.; Demirel, Burak (2017): Biodegradation of bioplastics in natural environments. In: Waste management (New York, N.Y.) 59, S. 526-536. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.006.
- Eubeler, Jan P. (2010): Biodegradation of Synthetic Polymers in the Aquatic Environment. Dissertation. Universität Bremen.
- European Bioplastics (Hg.) (2017): Bioplastics. Facts and Figures. Data for the year 2016. Berlin.
- Gilmore, D. F.; Antoun, S.; Lenz, R. W.; Fuller, R. C. (1993): Degradation of Poly([-Hydroxyalkanoates) and Poly-olefin Blends in a Municipal Wastewater Treatment Facility. In: Journal of Environmental Polymer Degradation 1 (4), S. 269-274.
- Gómez, Eddie F.; Michel, Frederick C. (2013): Biodegradability of conventional and bio-based plastics and natural fiber composites during composting, anaerobic digestion and long-term soil incubation. In: Polymer Degradation and Stability 98 (12), S. 2583-2591. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.018.
- Gu, Ji-Dong; Eberiel, D.; McCarthy, S. P.; Gross, R. A. (1993): Degradation and mineralization of cellulose acetate in simulated thermophilic compost environments. In: J Environ Polym Degr 1 (4), S. 281-291. DOI: 10.1007/BF01458295.
- IfBB (Institute for Bioplastics and Biocomposites) (Hg.) (2016): Biopolymers facts and statistics. Hochschule Hannover - University of Applied Science and Arts. Hannover.
- Itävaara, Merja; Karjomaa, Sari; Selin, Johan-Fredrik (2002): Biodegradation of polylactide in aerobic and anaerobic thermophilic conditions. In: Chemosphere 46 (6), S. 879-885. DOI: 10.1016/S0045-6535(01)00163-1.
- Jayasekara, R.; Sheridan, S.; Lourbakos, E.; Beh, H.; Christie, G.B.Y; Jenkins, M. et al. (2003): Biodegradation and ecotoxicity evaluation of a bionolle and starch blend and its degradation products in compost. In: International Biodeterioration & Biodegradation 51 (1), S. 77-81. DOI: 10.1016/S0964-8305(02)00090-2.
- Kale, Gaurav; Auras, Rafael; Singh, Sher Paul; Narayan, Ramani (2007b): Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions. In: Polymer Testing 26 (8), S. 1049-1061. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2007.07.006.
- KANEKA Corporation (2014): Aonilex Bio-based biodegradable polymer. Online verfügbar unter: www.ka-neka.co.jp.
- Kijchavengkul, Thitisilp; Auras, Rafael; Rubino, Maria; Selke, Susan; Ngouajio, Mathieu; Fernandez, R. Thomas (2010): Biodegradation and hydrolysis rate of aliphatic aromatic polyester. In: Polymer Degradation and Stability 95 (12), S. 2641-2647. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2010.07.018.
- Kreindl, Gernot (2013): Einsatz von Biokunststoffverpackungen aus Sicht der Abfallwirtschaft. In: Thomé-Kozmi-ensky, Goldmann (Hg.) (2013): Recycling und Rohstoffe. S. 262-291
- Künkel, Andreas (2017): Biodegradable mulch film -clarification of polymer fate in soil. Biopolymers Research BASF SE. 12th European Bioplastics Conference, 28&29 November 2017, Berlin, 2017.
- Lepoudre, Erwin (2017): Development of PHBH™based Marine Biodegradable Applications. KANEKA Belgium N.V. 12th European Bioplastics Conference, 28&29 November 2017, Berlin, 2017.
- Massardier-Nageotte, V.; Pestre, C.; Cruard-Pradet, T.; Bayard, R. (2006): Aerobic and anaerobic biodegradability of polymer films and physico-chemical characterization. In: Polymer Degradation and Stability 91 (3), S. 620-627. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.02.029.
- Narocon (Kaeb, Harald) und nova-Institut (Aeschelmann, Florence; Dammer, Lara; Carus, Michael) (2016): Consumption of biodegradable and compostable plastic products in Europe. Veröffentlicht am 28.04.2016.

- Ohtaki, Akihito; Sato, Noriaki; Nakasaki, Kiyohiko (1998): Biodegradation of poly-ε-caprolactone under controlled composting conditions. In: *Polymer Degradation and Stability* 61, S. 499-505.
- Rudnik, E.; Briassoulis, D. (2011): Degradation behaviour of poly(lactic acid) films and fibres in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. In: *Industrial Crops and Products* 33 (3), S. 648-658. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.12.031.
- Shin, Boo-Young; Lee, Sang-Il; Shin, Young-Sub; Balakrishnan, Sunder; Narayan, Ramani (2004): Rheological, mechanical and biodegradation studies on blends of thermoplastic starch and polycaprolactone. In: *Polym Eng Sci* 44 (8), S. 1429-1438. DOI: 10.1002/pen.20139.
- Showa Denko K.K. (2015): Bionolle™ aliphatic polyester.
- Solaro, R.; Corti, A.; Chiellini, E. (1998): A New Respirometric Test Simulating Soil Burial Conditions for the Evaluation of Polymer Biodegradation. In: *Journal of Environmental Polymer Degradation* 6 (4), S. 203-208.
- Tabasi, Ramin Yousefzadeh; Aji, Abdellah (2015): Selective degradation of biodegradable blends in simulated laboratory composting. In: *Polymer Degradation and Stability* 120, S. 435-442. DOI: 10.1016/j.polymdegrad-stab.2015.07.020.
- Tachibana, Koichiro; Urano, Yuichi; Numata, Keiji (2013): Biodegradability of nylon 4 film in a marine environment. In: *Polymer Degradation and Stability* 98 (9), S. 1847-1851. DOI: 10.1016/j.polymdegrad-stab.2013.05.007.
- Tosin, M.; Pognani, M.; Degli Innocenti, F.; Lott, C.; Weber, M.; Makarow, D. et al. (2016a): Marine degradation test lab assessment: Marine degradation test of bio-based materials at laboratory and mesocosm scale assessed. Deliverable N° 5.7 (Open-BIO: Opening bio-based markets via standards, labelling and procurement; Work package 5, In situ biodegradation). Online verfügbar unter www.biobasedeconomy.eu/projects/o-pen-bio/, 25.01.2018.
- Tosin, Maurizio; Weber, Miriam; Siotto, Michela; Lott, Christian; Degli Innocenti, Francesco (2012): Laboratory test methods to determine the degradation of plastics in marine environmental conditions. In: *Frontiers in microbiology* 3, S. 225. DOI: 10.3389/fmicb.2012.00225.
- Volova, T. G.; Gladyshev, M. I.; Trusova, M. Y.; Zhila, N. O. (2007): Degradation of polyhydroxyalkanoates in eutrophic reservoir. In: *Polymer Degradation and Stability* 92 (4), S. 580-586. DOI: 10.1016/j.polymdegrad-stab.2007.01.011.
- Weng, Yun-Xuan; Wang, Xiu-Li; Wang, Yu-Zhong (2011): Biodegradation behavior of PHAs with different chemical structures under controlled composting conditions. In: *Polymer Testing* 30 (4), S. 372-380. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2011.02.001.
- Wilde, B. De; Mortier, N.; Tosin, M.; Pognani, M.; Degli Innocenti, F. (2016a): Environmental safety of biodegradation residuals of polymers (Open-BIO: Opening bio-based markets via standards, labelling and procurement; TEXTE Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe, 140, Work package 5, In situ biodegradation). Online verfügbar unter www.biobasedeconomy.eu/projects/o-pen-bio/, 25.01.2018.

Anhang

Bitte beachten Sie: Alle Tabellen basieren auf dem „Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe“¹⁶. Jedwede Fehler sind Fehler der Autorin.

Biologische Abbaubarkeit (Mineralisierung) von biologisch abbaubaren Kunststoffen im Boden

Material	Temperatur	Grad des Abbaus	Zeit	Quelle
PBAT/PLA (Ecovio® M2351; PLA 9 %)	max. 28 °C	94 %	181 Tage	(Künkel 2017)
PHB (Mirel™ P5001, 85 µm Folie)	25 °C	90,2 %	120 Tage	(Wilde et al. 2016a)
PBSe* (25 µm Folie)		91,7 %	120 Tage	
PBSeT** (25 µm Folie)		76,7 %	318 Tage	
Zellulosepapier		92,5 %	318 Tage	
PHB (Mirel™ P5001, 85 µm Folie)	28 °C	82,6 %	210 Tage	Novamont (Wilde et al. 2016a)
PBSe* (25 µm Folie)		87,4 %		
PBSeT** (25 µm Folie)		90,5 %		
Zellulosepapier		83,5 %		
PHBV (60 µm Folie)	25 °C	65 – 90 %	23,4 Wochen	(Arcos-Hernandez et al. 2012)
Stärke (Pulver 20 µm)		>70 %	8,4 Wochen	
Zellulose (Pulver 20 µm)		>70 %	13,8 Wochen	
PHA (620 µm Folie)	20 °C	69,2 %	660 Tage	(Gómez und Michel 2013)
Copolyester/Stärke (Ecobras™, 720 µm Folie)		55,1 %		
Zellulosepapier (350 µm)		74,2 %		
PLA (Pulver 500 µm)	20 °C	<1 %	186 Tage	Fraunhofer UMSICHT
Zellulose (Pulver 20 µm)		76 %		
Als Pulver: PBS PBS/TPS PLA	25 °C	15 % 25 % 12 %	28 Tage	(Adhikari et al. 2016)
PHB/HV PCL Mater-Bi Folie Zellulose	20 – 25 °C	ca. 35 % ca. 20 % ca. 18 % ca. 48 %	125 Tage	(Solaro et al. 1998)
PLA (30 µm Folie) PLA (75 µm Folie) Filterpapier PE	20 – 25 °C	Masseverlust: 0 %	11 Monate	(Rudnik und Briassoulis 2011)
		0 %	11 Monate	
		0 %	3 Monate	
		100 %		
Testmaterial für den Vergleich der 3mm-Stärke: PCL/TPS (75/16), 9 % Zusatzstoffe	20 °C	Masseverlust: ca. 37 %	9 Monate	(Di Franco et al. 2004)

¹⁶ www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer

Biologische Abbaubarkeit (Mineralisierung) von biologisch abbaubaren Kunststoffen unter Kompostierungsbedingungen

Material	Temp.	Grad des Abbaus	Zeit	Quelle
Thermoplastische Stärke (TPS) TPS/PCL (Mater-Bi Klasse Z)	55 °C	>80% >90 % basierend auf Referenz	30 Tage	(Catia Bastioli 1998)
TPS (Pulver)	58 °C	73 % 99 % basierend auf Referenz	56 Tage	(Du et al. 2008)
TPS	58 °C	80 %	45 Tage	(Shin et al. 2004)
PLA (extrudiert) PLA/PFF/Stärke 80/5/15	58 °C	13 % 53 %	60 Tage	(Ahn et al. 2011)
PLA-Flasche	58 °C	84 % 98 % basierend auf Referenz	58 Tage	(Kale et al. 2007b)
PLA (amorph) PLA/PBAT (35 µm Folie)	55 °C	ca. 70 % ca. 40 %	28 Tage	(Tabasi und Ajji 2015)
PHA (Folie)	58 °C	79,7 – 90,5 % 95,9 – 108,9 % basierend auf Referenz	70 Tage	(Weng et al. 2011)
PHA (AONILEX)	58 °C	>80 % ca. 60 % Referenzmaterial	28 Tage	(KANEKA Corporation 2014)
PHA PHA/PBAT PBAT (35 µm Folie)	55 °C	ca. 80 % ca. 45 % ca. 35 % ca. 90 % Referenzmaterial	28 Tage	(Tabasi und Ajji 2015)
PBS PBS 75 % Verbund Pulver 100 µm	58 °C	90 % 90 %	160 Tage 140 Tage	(Anstey et al. 2014)
PBS (Bionolle 1001 MD, 70 µm Folie) PBSA (Bionolle 3001 MD, 70 µm Folie)	58 °C	ca. 90 % ca. 90 %	150 Tage 50 Tage	(Showa Denko K.K. 2015)
PBS/Stärke (Folie)	58 °C	100 %	45 Tage	(Jayasekara et al. 2003)
PBAT (Pulver 500 µm)	58 °C	83 % >90 % basierend auf Referenz	74 Tage 64 Tage	Fraunhofer UM-SICHT
PBST (Pulver 500 µm)	58 °C	88,5 % >90 % basierend auf Referenz	74 Tage 64 Tage	Fraunhofer UM-SICHT
PBAT (Folie)	58 °C	60 %	45 Tage	(Kijchavengkul et al. 2010)
PCL (Pulver 63 – 250 µm)	50 °C	59 %	11 Tage	(Ohtaki et al. 1998)
PCL (500 µm Folie)	58 °C	40 %	45 Tage	(Shin et al. 2004)
Zellulose-Acetat (CA)				(Gu et al. 1993)

Material	Temp.	Grad des Abbaus	Zeit	Quelle
CA-1,7 CA-2,5 (Pulver: 300 – 400 µm)	53 °C	72 % 78 %	24 Tage 60 Tage	

Biologische Abbaubarkeit (Mineralisierung) von biologisch abbaubaren Kunststoffen im wässrigen Milieu

Material	Temperatur	Grad des Abbaus	Zeit	Quelle
Süßwassermilieu				
TPS/PCL TPS/Zellulose >85 % TPS	20 – 25 °C	ca. 90 % ca. 80 % ca. 95 %	55 Tage	(Catia Bastioli 1998)
PBS (Bionolle 1001 MD, 70 µm Folie) PBSA (Bionolle 3001 MD, 70 µm Folie)	25° C	60 % >70 % (60% Referenzmaterial)	90 Tage 50 Tage	(Showa Denko K.K. 2015)
PHA (AONILEX)	25 °C	>80 % (ca. 75% Referenzmaterial)	28 Tage	(KANEKA Corporation 2014)
PLLA (PLA bestehend aus L-Lactid) (Gewebe, 45-50 % kristallin; Folie, 30-35 % kristallin)	25 °C 37 °C 55 °C 60 °C	<10 % 10 % 80 % 90 %	180 Tage 180 Tage 210 Tage 120 Tage	(Itävaara et al. 2002)
PCL (Pulver) PLA (20 µm Folie) TPS/PCL (Mater-Bi, 20 µm Folie) PBAT (20 µm Folie)	30 °C	37,7 % 3,7 % 42,8 % 15,1 % (17,3 % Referenzmaterial)	28 Tage	(Massardier-Nageotte et al. 2006)
PLA (Pulver 500 µm) Zellulose (Pulver 20 µm)	20 °C	<10 % >70 %	118 Tage 28 Tage	Fraunhofer UMSICHT
Ecoflex® PBAT	20 °C	<10 %	500 Tage	(Eubeler 2010)
Ecovio® 55 %PBAT/45 %PLA Ecovio® 20 %PBAT/70 %PLA/10 %Citrofol	20 °C	ca. 35 % <10 %	350 Tage	(Eubeler 2010)

Material	Temperatur	Grad des Abbaus	Zeit	Quelle
Meerwasser				
PHBH (Pulver) PHBH (Folie) PCL (Folie) PBSA, PBAT, PBS, PLA (Folie) (100 µm Folie)	27 °C	ca. 52 % ca. 23 % ca. 14 % < 4 %	28 Tage	(Lepoudre 2017)
Mater-Bi® (22 µm Folie) Zellulosepapier	20–25 °C sublitoral	68,9 % 76 %	236 Tage	(Tosin et al. 2012)
PCL (Pulver 500 µm)	20 °C	>90 %	28 Tage	Fraunhofer UMSICHT
Nylon 4 (25 µm Folie) PHB	25 °C	ca. 80 % ca. 80 %	25 Tage 14 Tage	(Tachibana et al. 2013)
Ecoflex® PBAT	20 °C	<10 %	500 Tage	(Eubeler 2010)
Ecovio® 55 %PBAT/45 %PLA Ecovio® 20 %PBAT/70 %PLA/10 %Citrofol	20 °C	ca. 30 % <15%	500 Tage	(Eubeler 2010)
PHB PBSe PBSeT* LDPE	25–28 °C	69 – 97 % 64 - 100 % 18 – 92 % <10 %	120–180 Tage	(Tosin et al. 2016a)