



Ausarbeitung

**Zur Verwendung von Bioabfallbeuteln aus bioabbaubaren
Kunststoffen**
Verhalten bei der Kompostierung, Alternativen und Implikationen

Zur Verwendung von Bioabfallbeuteln aus bioabbaubaren Kunststoffen

Verhalten bei der Kompostierung, Alternativen und Implikationen

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 062/21
Abschluss der Arbeit: 30. Juni 2021
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und
Forschung

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Fragestellung	4
2.	Begriffsbestimmung „Kompost“	4
3.	Anforderungen an Kompost mit Blick auf die Kunststoffbelastung	5
4.	Verhalten DIN EN 13432 zertifizierter Kunststoffe gemäß Norm	5
5.	Umgang der Kompostierwerke mit nach DIN EN 13432 zertifizierten Bioabfallbeuteln	7
6.	Beitrag von nach DIN EN 13432 zertifizierten Kunststofftüten zum Plastik und Mikroplastik im Kompost	9
7.	Verhalten von Papierbioabfallbeuteln und Zeitungspapier in der Kompostierung	11
8.	Zusammenhang zwischen Vorsammelsystemen und Bioabfallaufkommen	13
9.	Motive der Kompostierwerkbetreiber für eine ablehnende oder zustimmende Haltung gegenüber biologisch abbaubaren Kunststoffen	14
10.	Quellen- und Literaturnachweise	16

1. Fragestellung

Bioabfälle aus Haushalten werden in Deutschland über die so genannte Biotonne erfasst und nachfolgend zu Kompost oder Biogas samt Gärresten verwertet. Einige Bürger verwenden als Inlay für einen festen Sammelbehälter sogenannte Bioabfallbeutel. Diese gibt es im Handel aus Papier, aus konventionellen Kunststoffen und aus bioabbaubaren Kunststoffen. Alternativ dazu kleiden einige Personen den Sammelbehälter mit Zeitungspapier aus.

Fraglich ist, ob insbesondere die Verwendung von bioabbaubaren Kunststoffbeuteln, die nach DIN EN 13432 zertifiziert sind, Probleme bei der nachfolgenden Kompostierung bereiten, wenn sie mit dem Bioabfall in die Biotonne gelangen. Es interessiert auch, ob diese einen Beitrag zur Mikroplastikbelastung in Komposten leisten könnten. Ferner stellt sich die Frage, ob Bioabfallbeutel aus Papier oder das Auslegen mit Zeitung sachgerechte Alternativen darstellen. Schließlich wird der Erkenntnisstand zur Frage dargelegt, ob Bioabfallbeutel das Sammelaufkommen von Bioabfällen aus Haushalten erhöhen, indem sie einen komfortableren Umgang mit den mitunter geruchsintensiven und feuchten organischen Rückständen ermöglichen.

2. Begriffsbestimmung „Kompost“

Neben dem privaten Gartenkompost werden hierzulande rund acht Millionen Tonnen organischer Abfälle über die Biotonne gesammelt und zusätzlich zu Grünabfällen aus der Garten- und Landschaftspflege in Kompostierwerken verwertet. In Summe handelt es sich dabei laut Umweltbundesamt um 15 Millionen Tonnen Bioabfälle pro Jahr. Diese werden in rund tausend Kompostieranlagen bundesweit behandelt. Alternativ dazu können sie auch in rund 100 Biogasanlagen zu Biogas vergoren werden, das als Energieträger dient, und die Gärreste als Landwirtschaftsdünger analog zu Kompost auf den Boden ausgebracht werden (Umweltbundesamt 2021).

In Kompostieranlagen entstehen jährlich rund vier Millionen Tonnen Kompost. Dabei kommen unterschiedliche Verfahren zum Zug. Die Verrottung kann in offenen, überdachten oder geschlossenen Anlagen stattfinden und auch die Prozessbedingungen können unterschiedlich sein. Vor allem die Parameter Feuchtigkeit, Wärme und Luftzufuhr, die den Verrottungsvorgang beeinflussen, können in den Kompostierwerken jeweils anders eingestellt werden. Eine industrielle Kompostierung verläuft gleichwohl immer in drei Schritten, zunächst der Aufbereitung, dann der Intensivrotte und anschließend der Nachrotte. In der Aufbereitung wird das angelieferte Biogut zerkleinert und vermischt. Während der Intensivrotte bauen natürlich vorkommende Mikroorganismen das organische Material ab, wodurch so genannter Frischkompost entsteht. In der sich anschließenden Nachrotte reift dieser zu Fertigkompost.

Die Bundesgütegemeinschaft Kompost unterscheidet zwischen Frisch- und Fertigkompost, Mulch- und Substratkompost. Die Eigenschaften unterscheiden sich je nach Rotte- und Reifestadium, in den verwendeten organischen Rohstoffe und der Art der Siebungen.

Komposte finden im Landschafts- und Gartenbau Verwendung und ersetzen dort mitunter den verbreiteten Torf, der durch den Abbau aus Mooren gewonnen wird. Kompost dient ferner als Düngematerial und Bodenverbesserer, da er vergleichsweise reich an Nährstoffen, vor allem Phosphor und Kalium, ist (Lexikon der Chemie 2021).

3. Anforderungen an Kompost mit Blick auf die Kunststoffbelastung

Komposte und Gärprodukte, die als Düngemittel in die Umwelt eingebracht werden, müssen der Düngemittelverordnung (DüMV) genügen. Diese schreibt einen Gehalt von höchstens 0,1 Gewichtsprozent bezogen auf die Trockenmasse an verformbaren Kunststoffen vor; in Bezug auf die übrigen Störstoffe gilt ein Höchstwert von 0,4 Gewichtsprozent. Allerdings werden dabei nur Störstoffe größer zwei Millimeter berücksichtigt, da diese bei der standardmäßigen Siebung erkannt werden können. Zur Belastung von Komposten mit Kunststoffteilchen kleiner zwei Millimeter gibt es keine Grenzwerte. Demzufolge wird Mikroplastik mit diesem Limit nicht vollständig erfasst, da es sich bei Mikroplastik per Definition um Teilchen aus Kunststoffen handelt, die kleiner als fünf Millimeter messen. Das Fehlen eines Grenzwertes für einen Teilchen kleiner zwei Millimeter schließt nicht aus, dass Effekte auf Umwelt oder Mensch eintreten können.

Etliche Kompostierbetriebe tragen das RAL-Gütezeichen der Bundesgütegemeinschaft Kompost. Damit sind weitergehende Qualitätsansprüche verbunden. Etwa darf die Flächensumme der auffindbaren Störstoffe größer zwei Millimeter 15 Quadratzentimeter pro Liter Kompost nicht überschreiten.

4. Verhalten DIN EN 13432 zertifizierter Kunststoffe gemäß Norm

Abfallbeutel zur Sammlung von Bioabfall sind in Deutschland laut Bioabfallverordnung (Bio-AbfV) für die Verwertung als Düngemittel oder zum Zweck der Aufbringung auf Böden zugelassen, sofern sie mindestens nach EN 13432 zertifiziert sind und überwiegend, das heißt zu mehr als fünfzig Prozent, aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Alternativ zur vorgenannten Norm müssen Kunststoffe, die in die Biotonne gelangen, mindestens nach DIN EN 14995 (Kunststoffe – Bewertung der Kompostierbarkeit – Prüfschema und Spezifikation) zertifiziert sein. Auf diese Norm wird im Sinne der Fragestellung (siehe Kapitel 1) nicht weiter eingegangen.

Es handelt sich bei beiden Normen um Mindestanforderungen, da der jeweilige örtlich zuständige Bioabfallbehandler – zum Beispiel mit Blick auf die technischen Gegebenheiten eines Kompostierwerkes – darüber hinausgehende oder abweichende Bestimmungen festlegen kann.

Viele Kunststoffbeutel für die Bioabfallsammlung sind nach DIN EN 13432 zertifiziert. Die Zertifizierung weckt beim Konsumenten die Erwartung, dass das Produkt unbedenklich und vollständig kompostierbar ist. DIN EN 13432 legt Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen bei Kompostierung und an den biologischen Abbau fest und definiert hierfür Prüfschema und Bewertungskriterien. Die Norm findet in der gesamten EU wie auch in Ländern darüber hinaus Verwendung.

Die Norm DIN EN 13432 fordert einen Zerfall des Kunststoffs nach höchstens sechs Monaten zu mindestens 90 Prozent in Teile kleiner als zwei Millimeter in einem Labortest. Dafür wird der Kunststoff zermahlen und der Abbau in Wasser geprüft. Nach sechs Monaten sollen 90 Prozent des Materials abgebaut sein oder der Abbau 90 Prozent im Vergleich zu einer Referenzsubstanz wie Zellulosepulver betragen. Inhaltsstoffe im Kunststoff von bis zu einem Gesamtgehalt von fünf

Prozent können von der Prüfung auf biologische Abbaubarkeit ausgeschlossen werden. Neben dem Labortest dürfen höchstens zehn Prozent des ursprünglichen Trockengewichts des Prüfmaterials nach drei Monaten der Kompostierung in einer Siebfraktion von mehr als zwei Millimetern enthalten sein.

Schon aus den Bestimmungen der Norm ergibt sich damit, dass nicht gesagt ist, dass der mit DIN EN 13232 als kompostierbar gekennzeichnete Beutel in der Kompostieranlage vollständig „zerfällt“. Es dürfen zum einen Restbestandteile des Ursprungsmaterials verbleiben - unter anderem maximal 10 Prozent größer 2 mm - zum anderen ist nicht näher bestimmt, in was der Kunststoff und die darin enthaltenen Additive denn „zerfallen“ sollen. Chemisch gesehen gibt es den Begriff des „Zerfallens“ im engen Sinne nicht und entscheidend wäre die Frage, in welche Moleküle die Kunststoffe umgewandelt werden - zu Mikroplastik, zu Kohlendioxid oder zu anderen augenscheinlich unsichtbaren Substanzen? Die Produkte des biologischen Abbaus sind in der Norm in dieser Hinsicht nicht näher chemisch charakterisiert, sodass eine Zersetzung in Mikroplastik oder zu anderen wirkungsrelevanten Substanzen über die Norm jedenfalls nicht ausgeschlossen ist. Da jedoch ein Pflanzenwuchstest gefordert ist, kann ausgeschlossen werden, dass die entstehenden Substanzen den Pflanzenwuchs offensichtlich beeinträchtigen.

Auf die ungenaue Bestimmung des biologischen Abbaus in der Norm DIN EN 13432 weist die Umweltorganisation Deutsche Umwelthilfe kritisch hin: Der Biokunststoff könne nach der Kompostierung zu zehn Prozent in großen Kunststoffteilen und zu 90 Prozent als Mikroplastik vorliegen und würde dann noch immer die Norm erfüllen. „Daraus ergibt sich die Gefahr, dass erhebliche Mengen an Mikroplastik in die Umwelt gelangen.“ (Deutsche Umwelthilfe 2018)

Relevant ist in diesem Zusammenhang auch, dass Kunststoffbeutel nach DIN EN 13432 durchschnittlich etwa fünf Prozent anderer chemischer Zusätze enthalten, damit sie die gewünschten Produkteigenschaften von Farbe bis zu Licht- und Feuchtigkeitsstabilität aufweisen und behalten. Dabei handelt sich um Stabilisatoren, Farb- und Füllstoffe, Weichmacher, immer auch unbeabsichtigte Rückstände aus der Produktion. Das Verhalten dieser Additive bei der Kompostierung ist mit der Norm nicht näher bestimmt bzw. wird gar ausgeklammert, indem fünf Gewichtsprozent des ursprünglichen Materials nicht biologisch abbaubar sein müssen.

Es sei erwähnt, dass Kunststoffe nach mehreren weiteren Normen als bioabbaubar in verschiedenen Umweltmedien zertifiziert sein können. Produkte und Verpackungen können etwa das „OK Compost INDUSTRIAL“-Logo tragen und sind nach der entsprechenden Norm dann in einer industriellen Kompostierungsanlage biologisch abbaubar. Dies gelte auch für Komponenten, Farben und andere Additive. Das Zertifizierungszeichen „DIN-Geprüft Gartenkompostierbar“ wird für Produkte vergeben, die bei niedrigen Temperaturen im Garten zerfallen würden. Die Norm DIN EN 17033 legt Anforderungen an biologisch abbaubare Mulchfolien für den Einsatz in Landwirtschaft und Gartenbau fest. Auch das Siegel „Das OK biodegradable SOIL“ bekundet eine Abbaubarkeit im Boden. Analog dazu deklariert das Logo „OK biodegradable WATER“ einen Abbau in Süßwasservorkommen. In Ergänzung dazu gibt es ein Siegel mit zugehörigen Prüfanforderungen zur Bioabbaubarkeit im Meer (Carmen e. V. 2021). Grundsätzlich ist erst nach genauer Analyse der jeweiligen Norm eine Aussage darüber möglich, welche Bedingungen der Abbau erfüllen muss und ob dieser zur Belastung mit Mikroplastik oder anderen unerwünschten Substanzen in den betrachteten Umweltmedien beitragen könnte.

5. Umgang der Kompostierwerke mit nach DIN EN 13432 zertifizierten Bioabfallbeuteln

Obwohl nach DIN EN 13432 zertifizierte Kunststoffe auf ihre Kompostierbarkeit geprüft sind, akzeptieren nicht alle Betreiber von Kompostieranlagen zertifizierte Beutel aus biologisch abbaubarem Kunststoff. Das spiegelt sich in den Auflagen wider, die von Kommune zu Kommune, von Kompostierwerk zu Kompostierwerk abweichen. „Biobasierte und zertifiziert bioabbaubare Kunststoffbeutel, die bei der Erfassung organischer Küchenabfälle (...) verwendet werden (...), können nur dann verwendet werden, wenn sie in Anhang 1 der Bioabfallverordnung gelistet sind und von den vor Ort zuständigen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern in Abstimmung mit den Bioabfallbehandlern zugelassen sind“, schreiben die branchenrelevanten Verbände in einem gemeinsamen Positionspapier (Bundesgütegemeinschaft Kompost et al. 2019).

Die lokal abweichende Entsorgungspraxis findet ihren Niederschlag darin, dass je nach Wohnort und damit je nach Bioabfallbehandler nach DIN EN 13432 zertifizierte Biobeutel in der Biotonne zulässig sind oder einen Fehlwurf darstellen können. Eine pauschale Aussage für ein Bundesland oder gar das ganze Bundesgebiet ist nicht möglich.

Nach Erhebungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost lehnen 45 Prozent der Gebietskörperschaften die Verwendung von Sammelbeuteln aus biologisch abbaubaren Kunststoffen ab und haben dies in den für die Biotonne geltenden Vorgaben auch so bestimmt. In 26 Prozent der Gebietskörperschaften ist die Verwendung von Beuteln aus biologisch abbaubaren Kunststoffen zulässig. Bei 29 Prozent der Gebietskörperschaften gibt es keine Vorgaben, ob Beutel zur Sammlung von Bioabfällen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen verwendet werden dürfen oder nicht (Auskunft vom 23. Juni 2021, Bundesgütegemeinschaft Kompost).

Eine Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes von 2018 beleuchtete den Umgang der Kompostierwerke mit biologisch abbaubaren Kunststoffbeuteln. Bei 65 bis 70 Prozent der Anlagen finde eine Vorsortierung des Bioabfalls statt. Dabei werden Störstoffe etwa durch Siebe, manuell mittels Rechen und/oder durch Windsichtung abgetrennt. Es ist keine Technik im Einsatz, mit der biologisch abbaubare Kunststoffe von konventionellen Kunststoffen abgetrennt werden können. Dies wäre zwar theoretisch technisch möglich, faktisch aber mit solch immensem finanziellem und prozesstechnischem Aufwand verbunden, dass die bloße Möglichkeit durch die Rahmenbedingungen ad absurdum geführt wird (Burgstaller et al. 2018: 59). Ergänzend hierzu bestätigt die Bundesgütegemeinschaft Kompost: Aufgrund der Konsistenz und Materialeigenschaften von frischem Biogut können optische Sortiersysteme, die konventionelle von biologisch abbaubaren Kunststoffen trennen, nicht angewendet werden (Auskunft vom 23. Juni 2021, Bundesgütegemeinschaft Kompost). Da Komposte aber regelhaft sowohl Polyethylenbeutel als Fehlwürfe und abbaubare Biobeutel entweder als Fehlwurf oder als zulässiger Wurf enthalten, diese bei der Vorsortierung aber nicht unterschieden werden können, werden sämtliche Kunststoffbeutel meist als Störstoffe abgetrennt. Die abgetrennten Stoffe werden thermisch verwertet (Burgstaller et al. 2018: 59). Die Bundesgütegemeinschaft bestätigt diese Vorgehensweise (Auskunft vom 23. Juni 2021, Bundesgütegemeinschaft Kompost).

Gemäß der Studie des Umweltbundesamtes kompostieren folglich rund ein Drittel der Kompostierwerke biologisch abbaubare nach DIN EN 13432 zertifizierte Beutel mit. Wenn diese tatsächlich in der Weise zerfallen, dass sie keine Störstoffe bilden, sind sie Bestandteil des Kompostes. Bleibt ein Teil des biologisch abbaubaren Kunststoffs nach der Kompostierung als Störstoff zurück, wird er aber als Störstoff abgetrennt. Diese werden thermisch verwertet.

Ein ähnliches Bild zeichnet eine Umfrage der Deutschen Umwelthilfe, die diese in den Jahren 2015 bis 2016 bei etwa 1.000 Kompostieranlagenbetreibern durchführte. Mit der Umfrage wollte die Deutsche Umwelthilfe klären, ob und welche Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen Störstoffe bei der Kompostierung darstellen und ob eine Kompostierung tatsächlich entsprechend der DIN EN 13432 erfolgt. 488 Betreiber antworteten. 80 Prozent gaben an, dass alle Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen Störstoffe bei der Kompostierung darstellen. 13 Prozent der Betreiber betonten, dass biologisch abbaubare Kunststoffe keine Störstoffe seien. Auf die Frage „Werden in Ihrer Kompostierungsanlage Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen nach der DIN EN 13432 kompostiert?“ antworteten 95 Prozent der Anlagenbetreiber mit „Nein“. Drei Prozent gaben an, alle biologisch abbaubaren Kunststoffe nach der DIN EN 13432 zu kompostieren. 215 Landkreise und kreisfreie Städte und damit 54 Prozent der befragten Kommunen lehnten biologisch abbaubare Abfallbeutel und Bioplastikeinkaufstüten ab, informierten Verbraucher aktiv darüber, diese nicht in die getrennte Bioabfallsammlung zu geben oder wiesen auf Sanktionsmaßnahmen bei einem Fehlverhalten hin (Deutsche Umwelthilfe 2018).

Der Anteil der Kompostierwerke, die Bioabfallbeutel nach DIN EN 13432 zunächst als Wurf in die Biotonne akzeptieren, liegt in der Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes höher als in der Befragung der Deutschen Umwelthilfe. Es ist nicht klar, ob dies Ausdruck eines allmählichen Anpassungsprozesses der Kompostierwerke an die Anwesenheit von biologisch abbaubaren Kunststoffen ist.

Festzuhalten ist, dass die Mehrzahl der Kompostierwerke heutzutage zertifizierte biologisch abbaubare Bioabfallbeutel als Störstoff behandelt und aus dem Kompost entfernt. Dies gilt teilweise auch, wenn der Wurf in die Biotonne zulässig war. Im Umkehrschluss bedeutet das für die Verbraucher: Wenn bioabbaubare Bioabfallbeutel in der Biotonne erlaubt sind, besagt das nicht, dass diese tatsächlich auch kompostiert werden.

Ein kleinerer Teil der Kompostierwerke kompostiert indes biologisch abbaubare Kunststoffe mit. Unklar bleibt, in welchem Umfang die so mitkompostierten zertifizierten Bioabfallbeutel in der Nachsortierung nicht doch als Störstoffe teilweise ausgelesen werden. Beide Studien weisen jedenfalls darauf hin, dass die Kompostierung in den Anlagen regelhaft in kürzeren Zeiten als 12 Wochen wie in der Norm vorgesehen erfolgt. Die Durchlaufzeit kann auch bei sechs bis acht Wochen liegen. Es ist zu erwarten, dass biologisch abbaubare Kunststoffe dann weniger stark degradiert sind.

Auf die real viel kürzeren Rottezeiten weisen Experten in der wissenschaftlichen Literatur immer wieder hin. Die Norm bilde damit die Realität nicht geeignet ab. In Reaktion auf diese Fachdebatte ist das Zertifizierungsprogramm „DINplus Bioabfall-Beutel“ entstanden, in dem anders als in der DIN EN 13432 oder DIN EN 14995 eine Rottezeit von max. sechs Wochen veranschlagt wird (Carmen e.V. 2021).

Schließlich sei noch erwähnt, dass Bioabfälle in Deutschland nicht nur kompostiert, sondern in geringerem Umfang auch zu Biogas vergoren werden. In diesem Gutachten wird nicht auf diesen Verwertungsweg eingegangen.

6. Beitrag von nach DIN EN 13432 zertifizierten Kunststofftüten zum Plastik und Mikroplastik im Kompost

Derzeit gibt es noch keine konsolidierte Methode Mikroplastik, also Kunststoffteilchen kleiner fünf Millimeter, gesamthaft, verlässlich und reproduzierbar in Bodenproben, so auch im Kompost, zu erfassen. Es dominieren Analysemethoden, die die Probe sieben und dann augenscheinlich erkennbare Kunststoffteile mit bloßem Auge oder mithilfe optischer Verfahren aussortieren. Auf Basis des Standes der Forschung zum Vorkommen von Mikroplastik in den Umweltmedien Wasser und Luft lässt sich ableiten, dass bei solchen Nachweismethoden nur ein Bruchteil des ubiquitär vorhandenen Mikroplastiks erkannt wird. Mikroplastik kommt regelhaft und in großer Zahl im Mikrometer- und auch im Nanometermaßstab in der gesamten Umwelt vor.

Im Rahmen der Qualitätssicherung von Komposten erfolgt eine Siebung und Entfernung von Störstoffen, zu denen auch Kunststoffteile jeder Art, größer zwei Millimeter, gehören.

Diese kommen aufgrund des Eintrags von Kunststoffbeuteln aller Art durch die Verbraucher im Bioabfall permanent vor. Erhellend sind in dieser Hinsicht die Analysen des Kreises Ludwigsburg und des Kreises Schwarzwald-Baar, die ihre Bioabfälle auf Störstoffe untersucht haben. In beiden Kreisen sind Kunststoffbeutel aus biologisch abbaubaren Werkstoffen nicht zulässig, auch nicht solche, die nach DIN EN 13432 zertifiziert sind. Sie werden als Störstoff gewertet und behandelt. Der Anteil an Fremdstoffen lag im Jahresdurchschnitt bei 2,05 Gewichtsprozent im Kreis Ludwigsburg und bei 2,6 Gewichtsprozent im Kreis Schwarzwald-Baar. Dabei handelte es sich neben Kunststoffen um Metalle, Glas und andere Störstoffe; da Glas und Metall erheblich schwerer sind, dominierten diese auch bei der gewichtsmäßigen Erfassung und Analyse. In 325 im Kreis Ludwigsburg untersuchten Biotonnenfüllungen fanden sich insgesamt 1.090 Kunststoffbeutel, davon 685 aus Polyethylen und 405 aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. Im Schwarzwald-Baar-Kreis wurden in 579 untersuchten Biotonnen 1.409 Kunststoffbeutel gezählt, davon 702 aus Polyethylen und 707 aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. Fast die Hälfte der verwendeten Beutel basierte also auf biologisch abbaubaren Kunststoffen, obwohl diese von den Kompostierwerken genauso wie Polyethylenbeutel als Fehlwurf beurteilt werden. Die Bundesgütegemeinschaft Kompost glaubt, dass der Ausschluss der Verwendung solcher Beutel gegenüber den Bürgern nicht ausreichend kommuniziert ist oder die Bürger ihr Komfortbedürfnis über die Sortiervorgaben der Kommunen stellen (Bundesgütegemeinschaft Kompost 2018).

Es gibt eine kleine Zahl an Studien, die zeigen, dass Mikroplastik im Kompost vorkommt. Dazu zählt die Arbeit von Watteau et al. von 2018, die in Böden, die mit Kompost behandelt worden waren, Mikroplastik mit neuen chemisch-physikalischen Verfahren nachweisen konnte, hingegen nicht in Böden, die nicht mit Kompost behandelt worden waren. Sie konnte Mikroplastik ebenso in der groben Siebfraction größer 5 Millimeter als auch in der feinen Siebfraction kleiner 50 Mikrometer nachweisen, beobachtete jedoch abnehmende Gehalte in den feineren Siebfractionen (Watteau 2018).

Ebenfalls 2018 berichteten deutsche Forscher um Weithmann et al. von der Universität Bayreuth über das Vorkommen von Mikroplastik in Kompost. Sie entdeckten im Fertigkompost einer Anlage 20 Stücke Plastik größer acht Millimeter und 24 Stücke Plastik größer 15 Millimeter je Kilogramm Trockengewicht. Die Arbeit beruht also auf Siebung und optischer Auslese der Störstoffe. Bei dieser Messmethode ergeben sich naturgemäß andere Ergebnisse als nach dem physikalisch-

chemischen Analyseverfahren nach Watteau. Generell führen divergente Untersuchungsmethoden in dem jungen Forschungsfeld zu unterschiedlichen, eben methodenabhängigen Ergebnissen. Weithmann et al. untersuchten im Übrigen die Zusammensetzung der gefundenen Objekte. Es handelte sich vielfach um Kunststoffstücke von Lebensmittelverpackungen, befanden sie (Weithmann et al. 2018).

In dieselbe Richtung deutet eine Studie von Freitag et al., ebenfalls von der Universität Bayreuth, die Mikroplastik grundsätzlich in Komposten nachweisen konnte. Sie untersuchte Teilchen bis 0,5 Millimetern Größe und nutzte dafür nach Siebung optische Verfahren. Freitag et al. sehen einen deutlichen Unterschied zwischen RAL-zertifizierten und nicht-zertifizierten Kompostieranlagen. In einem gütegesicherten Kompost wiesen sie nach einer 8 mm-Siebung 20 Mikroplastikpartikeln zwischen 0,5 und 5,0 Millimeter pro Kilogramm Trockenmasse nach. Bei Komposten aus Anlagen ohne Gütesicherung waren es fast 1000 Teile. Es habe sich überwiegend um Polyethylen- und Polypropylenfragmente, aber auch um Polystyrolstücke gehandelt. Es wurden auch Teile von bioabbaubaren Materialien gefunden (Freitag et al. 2019).

Beide genannten Studien stehen im Zusammenhang mit dem BMBF-Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“ und dort dem Verbundvorhaben „Mikrokunststoffe in Komposten und Gärprodukten aus Bioabfallverwertungsanlagen und deren Eintrag in landwirtschaftlich genutzte Böden - Erfassen, Bewerten, Vermeiden“, kurz: „MiKoBo“, an dem die Universitäten Bayreuth, Hohenheim und Stuttgart sowie das Fraunhofer-Institut für chemische Technologie beteiligt sind.

Bei normgerechneter Kompostierung dürfen nach DIN EN 13432 zertifizierte Bioabfallbeutel zu maximal zwei Millimeter großen Stücken zerfallen (siehe Kapitel 3). Aus diesem Grund interessierten sich Agrarwissenschaftler um Cesare Accinelli für das Verhalten von zweimal zwei Millimeter großen nach DIN EN 13432 zertifizierten Plastikteilchen. In einem Laborexperiment befrachteten sie so zurechtgeschnittene Kunststofffilmstücke jeweils mit drei verschiedenen Bodenproben bei einer Außenumgebungstemperatur von 24 Grad Celsius und einer definierten Feuchtigkeit. Es ging also darum, den Verbleib möglicher Bioplastikteile kleiner zwei Millimeter aus dem Kompost im Boden zu erforschen. Accinelli et al. beobachteten den Verbleib der Kunststoffstücke über ein Jahr und stellten fest, dass der Anteil an Mikroplastik aus den Plastikresten stetig zunahm, vor allem in der Größenordnung von weniger als 0,05 Millimeter, entsprechend < 50 Mikrometer, die mit bloßem Auge nicht detektiert werden - und im Übrigen in vielen bisherigen Studien am Kompost nicht erfasst wurden (siehe oben). Mit dem steigenden Gehalt an Mikroplastik wiesen Accinelli et al. nach, dass der im Boden vorkommende Schimmelpilz *Aspergillus flavus* sich besser vermehrte und mehr der von ihm produzierten Schimmelpilzgifte, der Aflatoxine, nachweisbar waren. Die Forscher folgerten daraus, dass kompostierte und für die Kompostierung zertifizierte Kunststoffe nach der Kompostierung im terrestrischen Ökosystem zur Mikroplastikbelastung beitragen können und die Bodenqualität infolge der Verschiebung der Mikrobenflora im Boden negativ beeinflussen könnten.

Diese Studie und die daraus abgeleitete Schlussfolgerung bioabbaubare Kunststoffe trügen zur Mikroplastikbelastung in Komposten und möglicherweise zur Verschlechterung der Bodenqualität bei, wurde von Seiten der Biokunststoffbranche kritisiert. Accinelli hätte keine standardisierte Kompostierungsversuche gemacht, das Fazit sei unzulässig, so ein Argumentationsstrang (Novamont 2020).

Gleichwohl sind keine entlastenden Studien bekannt, die belegen, dass infolge standardisierter Kompostierungsversuche aus bioabbaubaren Kunststoffbeuteln nach DIN EN 13432 kein Mikroplastik entsteht. Oben beschriebene Norm klammert die Problematik einer theoretisch denkbaren Mikroplastikbildung aus (siehe Kapitel 3).

Aus chemischer Sicht ist es schlüssig und Stand des Wissens, dass der Abbau eines Kunststoffs, der ein langkettiges Molekül aus identischen Gliedern, sprich Molekülen, darstellt, so von stattem geht, dass nach und nach mehr Verknüpfungen zwischen den Gliedern brechen. Sodann würde der Abbau über kleinere Fragmente und Mikroplastik als Zwischenstation ablaufen. Sofern diese dann in kurzer Zeit weiter zu vollständig schadlosen Stoffen zersetzt würden, würde dies auch keine Belastung der Umwelt nach sich ziehen. Letzteres ist aber vor allem insofern fraglich, da biologisch abbaubare Kunststoffe zum ersten mitunter für Umwelt und Mensch relevante Zutaten enthalten (Stabilisatoren etc.) bzw. zur Erhöhung der Reiß- und Wasserfestigkeit bioabbaubare Kunststoffe auch mit anderen Kunststoffen geblendet, vereinfacht gesprochen: vermengt, sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Die bisherigen Daten zeigen, dass Mikroplastik in Komposten vorkommt. Durchschnittliche Gehalte lassen sich aufgrund nur weniger Daten und unterschiedlicher Messmethodik an dieser Stelle nicht beziffern.

Die Anwesenheit von Mikroplastik in Komposten lässt keinen Rückschluss darüber zu, ob und in welchen Anteilen dieses aus bioabbaubaren nach DIN EN 13432 Beuteln stammt. Die Analyse der Biotonneninhalte in den Kreisen Ludwigsburg und Schwarzwald-Bahr legt nahe, dass diese eine Quelle sein könnten, dazumal eben nicht alle Kompostierwerke die Beutel im Rahmen einer Vorsortierung entfernen, sondern ein kleiner Teil diese mitkompostiert (siehe Kapitel 5). Auch Studien, die den Abbau von bioabbaubaren Kunststoffen im Umweltmedium Boden untersuchen und dabei einen Zerfall zu Mikroplastik aufzeigen (Shruti et al. 2019, Napper 2019), werfen die Frage auf, wie sich unterschiedliche bioabbaubare Kunststoffe hinsichtlich der Mikroplastikbildung in Kompostieranlagen verhalten. Weitere Studien legen gleichwohl nachdrücklich nahe, dass mindestens auch andere Kunststoffe zur Mikroplastikbelastung beitragen und verschiedene Eintragspfade relevant sind: Es wurden überwiegend Stücke von Lebensmittelverpackungen nachgewiesen. Es ist insoweit nach bisherigem Stand der Erkenntnisse auszuschließen, dass das im Kompost auffindbare Mikroplastik ausschließlich von bioabbaubaren Kunststoffen stammt. Hinsichtlich möglicher Eintragswege ist weiterhin bedeutsam, dass neuere Untersuchungen von Conti et al. auf einen hohen Anteil von Mikro- und Nanoplastik in Obst und Gemüse in der Größenordnung von 52.050 bis 233.000 Teilchen kleiner zehn Mikrometer je Gramm Lebensmittel hinweisen (Conti et al. 2020). So kann auch das Biogut selbst aufgrund der ubiquitären Belastung mit Mikroplastik ein Eintragspfad sein.

7. Verhalten von Papierbioabfallbeuteln und Zeitungspapier in der Kompostierung

Es wurden keine einschlägigen Studien gefunden, die das Verhalten von papierbasierten Kompostbeuteln in Kompostierungsanlagen untersuchen. Die Verwendung von Papier-Sammelbeuteln ist laut Bundesgütegemeinschaft Kompost in allen Gebietskörperschaften zulässig.

So können an dieser Stelle lediglich allgemeine wissenschaftliche Überlegungen angestrengt und Erkenntnisse aus anderen Zusammenhängen eingebracht werden. Grundsätzlich entsteht Papier

aus Zellstoff, einem Naturmaterial, das als solches in Böden oder Komposten am Ende zur Kohlendioxid und Wasser oder auch Humus und anderen niedermolekularen Bestandteilen abgebaut wird.

In der Papierherstellung werden aber auch eine Reihe von Chemikalien eingesetzt, die mitunter auch im Endprodukt verbleiben bzw. verbleiben sollen. Dazu gehören Farb- und Füllstoffe wie auch Zusätze zur Erhöhung der Reißfestigkeit des Papiers, was gerade für Bioabfallbeutel von Relevanz ist. Beschichtungen wie Polyethylen, einem konventionellen Kunststoff, führen zu wasserabweisenden Qualitäten. Verbreitet in der Papierindustrie ist auch die Verwendung perfluorierter Chemikalien (PFC), die Papiererzeugnisse gegen Wasser und Fett schützen. Weiterhin können schwermetallhaltige Druckfarben enthalten sein oder mit den Druckfarben andere relevante Schadstoffe in das Papier eingebracht werden. Im Einzelnen handelt es sich um branchen- und produktionspezifisches Wissen, welche Chemikalien für die gewünschte Güte des Papiers vonnöten sind. Zur Zusammensetzung von papierbasierten Bioabfallbeuteln wurden keine näheren Angaben gefunden. Es kann mangels unabhängig publizierter wissenschaftlicher Studien keine Aussage getroffen werden, in welcher Weise - positiv, negativ, neutral - papierbasierte Bioabfallbeutel auf die Kompostqualität einwirken.

Es sei angemerkt, dass Papier als solches grundsätzlich in den Haushalten nicht in den Bioabfall gehört und dort einen Fehlwurf darstellen würden, obschon es verrottet. Zur Untermauerung der Relevanz dieser Vorgabe sei ein konkreter Fall angefügt: Im Raum Rastatt und benachbarten Gemeinden wurden bedenkliche Gehalte an perfluorierten Chemikalien im Grundwasser nachgewiesen, das für die Trinkwasserversorgung verwendet wird. Dies hatte dort die Schließung von Trinkwasserbrunnen zur Folge. Als Ursache wird das jahrelange Aufbringen von Kompost, der illegal mit Abfällen aus der Papierindustrie versetzt wurde, diskutiert (Biegel-Engler et al. 2017).

Erwähnt sei auch, dass recyceltes Papier in den vergangenen Jahren sukzessive in Lebensmittelverpackungen zurückgedrängt wurde. Ursache hierfür ist die hohe Belastung des recycelten Papiers mit Rückständen aus Druckfarben, den so genannten MOSH, gesättigte Mineralölkohlenwasserstoffe (MOSH für das Englische „mineral oil saturated hydrocarbons“) und MOAH für aromatische Mineralölkohlenwasserstoffen (MOAH für das Englische „mineral oil aromatic hydrocarbons“). Beide Schadstoffgruppen reichern sich im menschlichen Gewebe nach Aufnahme an und stehen im Verdacht, krebserzeugend und erbgutschädigend zu sein. Insbesondere Druckfarben aus Zeitungen enthalten beide Schadstoffkategorien. MOSH und MOAH wurden in erheblichen Mengen von etlichen Milligramm je Kilogramm Lebensmittel nachgewiesen, die unmittelbaren Kontakt mit Verpackungen aus recyceltem Papier hatten, etwas Grieß, Reis, Schokolade etc. In der Folge hat die Lebensmittelindustrie Recyclingpapier im Direktkontakt mit Lebensmitteln durch Frischpapier ersetzt oder verwendet mittlerweile eine weitere Umverpackung etwa durch Kunststoffbeutel. Da MOSH und MOAH sich nicht abbauen, würden sie bei einem Übergang aus Papier in den Kompost über die Zeit die Gehalte dieser persistenten Schadstoffe in der Umwelt erhöhen. Je nach Verhalten im Boden können sie von dort wiederum in das Wasser oder in die Nahrung übergehen, was bis dato nicht wissenschaftlich untersucht ist.

Die Bundesgütegemeinschaft Kompost teilt mit, dass orientierende Stichprobenuntersuchungen mit Papierbeuteln aus Frischfaser und Recyclingpapier die Grenzwerte der hier anzuwendenden Bioabfallverordnung (BioAbfV) einhalten würden (was im Licht des geringen Anteils von Papier zu Biogut allerdings auch wissenschaftlich zu erwarten wäre). Für MOSH und MOAH bestehen

keine Grenzwerte, wohl aber für Schwermetalle. Auch Zeitungspapier wies keine Überschreitungen dieser Grenzwerte auf. Die Bundesgütegemeinschaft Kompost betont ebenfalls, dass die systematische Entledigung von größeren Mengen an Zeitungspapier über die Biotonne nicht zulässig ist. Die Organisation führe derzeit zu MOSH und MOAH in Komposten und Gärprodukten (Überrest von Biogasanlagen) Untersuchungen durch. Ergebnisse lägen noch nicht vor (Auskunft vom 23. Juni 2021, Bundesgütegemeinschaft Kompost).

Aus wissenschaftlicher Sicht kann hinsichtlich des Schadstoffkreislaufs festgehalten werden: Sollten Bioabfallbeutel persistente umwelt- und gesundheitsrelevante Substanzen enthalten, gelangen diese nur dann garantiert nicht in den Kompost, wenn sie nicht in die Biotonne entsorgt werden, sondern beispielsweise nach Entleerung in den Restmüll. Oder es wird ganz auf ein Wegwerfbehälter für die Bioabfallsammlung verzichtet, wie dies eine Vielzahl von Bürgern praktiziert (siehe Kapitel 8). Dies ist nicht nur, aber auch deshalb relevant, weil gerade Komposte aus urbanen Bioabfällen nach neueren Untersuchungen grundsätzlich für die Düngung im ökologischen Landbau geeignet sein können. Ihre Schwermetallbelastung ist geringer als bei Komposten, die aus Grüngut entstehen, da dieses in erheblichem Teil von Straßenböschungen stammt, die höher mit Schwermetallen belastet sind (Universität Hohenheim 2016).

8. Zusammenhang zwischen Vorsammelsystemen und Bioabfallaufkommen

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich die Argumentation, dass ein Vorsammelsystem wie sie Biobeutel aus bioabbaubaren Kunststoffen, aber auch aus konventionellen Kunststoffen und Papier darstellen, die Menge an gesammeltem Bioabfall erhöht. Der Umgang mit Lebensmittel- und Speiseabfällen ist wegen des Flüssigkeitsgehalts, der Gerüche und der potenziellen Schimmelbildung mitunter unangenehm. „Daher werden diese Bioabfälle in vielen Haushalten über den Restmüll entsorgt, sie bilden einen großen Teil der bisher noch nicht erfassten Bioabfälle, also des zusätzlichen Potentials“ (Reske 2015: 126). Auch die Bundesgütegemeinschaft Kompost weist darauf hin, dass eine vollständige Abkehr von Bioabfallbeuteln der Kompostierung nicht dienlich und unrealistisch wäre, da eine zunehmende Nutzung von Plastikbeuteln beobachtet werde. Beutel böten den Bürgern mehr Komfort bei der Sammlung und damit würde mehr Biogut erfasst (Auskunft vom 23. Juni 2021, Bundesgütegemeinschaft Kompost).

Dass die Sammelmenge infolge der Vorsammelsysteme steigen würde, ist in erster Linie eine qualitative Beobachtung aus Expertenkreisen. Da Bioabfallbeutel heute im Handel allgegenwärtig erhältlich sind, lässt sich keine Untersuchung durchführen, die den Effekt der Einführung der verschiedenen Sammelbeutel auf die Bioabfallsammlung untersucht und damit evidenzbasiert belegen könnte, wie sich diese auf Sammelvolumen und -qualität auswirken.

In der Literatur finden sich dagegen immer wieder Studien, etwa von Herstellern von Abfallbeuteln aus bioabbaubaren Kunststoffen, die zeigen, dass sich das Sammelvolumen erhöht, nachdem die Beutel kostenlos als Postwurfsendung samt Informationsschreiben an Haushalte ausgegeben wurde (z. B. Kanthak 2012). Bei einem solchen Studiendesign lässt sich allerdings nicht sagen, ob der Zuwachs des Sammelvolumens wirklich mit den Beuteln oder deren Material zusammenhängt oder nicht vielmehr eine Verhaltenssteuerung der angeschriebenen Verbraucher stattfand,

die sich mit der Postsendung samt Sammelbeutel dazu aufgerufen sahen, ihre Bioabfälle sorgsamer abzutrennen. Vereinfacht gesagt könnte derselbe Effekt eintreten, wenn lediglich ein Sammelbehälter samt Informationsschreiben – ohne Inlay – ausgegeben worden wäre.

Wie vielfältig die Sammelpraxis der Bürger ist und dass Vorsammelsysteme nicht unbedingt ausschlaggebend sein müssen, zeigt eine jüngere Erhebung aus dem Großraum Graz mit einer Umfrage von 303 Teilnehmern: Aufgrund der flächendeckenden Verwendung der Vorsammelsäcke aus bioabbaubaren Kunststoffen in allen Untersuchungsgemeinden konnte in dieser Studie kein Zusammenhang mit der Bioabfallqualität festgestellt werden. 61 Prozent der befragten Personen gaben an, einen Kübel für die Vorsammlung ihrer Bioabfälle zu benutzen. Biologisch abbaubare Beutel verwendeten 14 Prozent der Haushalte, wohingegen 11 Prozent sonstige Vorsammeleinrichtungen wie Dosen, Geschirr oder andere Behältnisse einsetzten. Auf einen Beutel aus konventionellem Kunststoff griffen sieben Prozent zurück. Nicht in allen Fällen wurde der Inhalt dieses Beutels in die Biotonne geleert und der Beutel selbst korrekt in den Restmüll entsorgt (Bauer 2017: 107).

Festzuhalten ist, dass die Annahme, Vorsammelsysteme würden das Sammelvolumen von Bioabfällen erhöhen, in der wissenschaftlichen Literatur theoretisch begründet werden kann. Wissenschaftlich beleg- oder widerlegbar ist diese These aufgrund der allgegenwärtigen Verbreitung der verschiedenen Vorsammelsysteme de facto kaum.

9. Motive der Kompostierwerkbetreiber für eine ablehnende oder zustimmende Haltung gegenüber biologisch abbaubaren Kunststoffen

Bezüglich der Motive für eine ablehnende oder zustimmende Haltung der Kompostierwerke in Bezug auf zertifizierte biologisch abbaubare Beutel zur Sammlung von Bioabfall, teilt die Bundesgütegemeinschaft Kompost folgende Erwägungsgründe mit:

Es bestünden Bedenken, dass der Abbau biologisch abbaubarer Kunststoffe in der Behandlungsanlage nicht vollständig erfolgt. Diese können in der kürzeren Behandlungsdauer verglichen mit der Norm DIN EN 13432 begründet liegen. Auch im Fall ungünstiger Prozessbedingungen (niedrigere Temperatur, geringere Feuchte, geringerer Sauerstoffeintrag etc.), kann der Abbau eingeschränkt sein (Auskunft vom 23. Juni 2021, Bundesgütegemeinschaft Kompost).

Außerdem befürchteten Anlagenbetreiber laut Bundesgütegemeinschaft Kompost, dass die Sammelbeutel aus biologisch abbaubaren Kunststoffen ein Einfallstor für die weitergehende Entsorgung von anderen biologisch abbaubaren Kunststoffherzeugnissen (Einweg-Geschirr usw.) im Allgemeinen darstellen. Dies sei einer der wichtigsten Gründe für eine ablehnende Haltung. Optisch seien etwa andere biologisch abbaubare Tüten nicht vom Sammelbeutel aus biologisch abbaubarem Kunststoff zu unterscheiden. „Dass entsprechende Sammelbeutel für die Biotonne zulässig sein sollen, nicht aber Kaffeepads, Cateringmaterialien oder Verpackungen, die mit Verweis auf dieselben Normen als biologisch abbaubar beworben werden, ist in der breiten Bevölkerung nicht vermittelbar.“ (Auskunft vom 23. Juni 2021, Bundesgütegemeinschaft Kompost).

Eine Zustimmung zu Sammelbeuteln aus zertifiziert biologisch abbaubaren Kunststoffen bei 26 Prozent der Gebietskörperschaften habe nach Darstellung der Bundesgütegemeinschaft Kompost folgende Hintergründe:

Diese ermöglichen eine komfortable und rückstandslose Entleerung des Vorsortierbehälters in die Biotonne, was mit der Erwartung einer höheren Erfassungsmenge an Biogut aus Haushalten verbunden wird. Von der Auseinandersetzung mit biologisch abbaubaren Materialien verspricht man sich mehr Aufmerksamkeit und Verständnis der Bürger für die jeweils geltende Sortierbestimmungen und daraus resultierend eine größere Akzeptanz dieser Regeln (Auskunft vom 23. Juni 2021, Bundesgütegemeinschaft Kompost).

* * *

10. Quellen- und Literaturnachweise

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

Biegel-Engler, Annegret et al. (2017) Mitteilungen des Umweltbundesamtes zu per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) in Trinkwasser. In: *Bundesgesundheitsblatt*, 2017, Band 60, S. 341–346. Online abrufbar unter: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00103-016-2507-4.pdf> (Stand: 22. Juni 2021)

Bauer, Eva-Maria (2017). Die Qualität der Bioabfallsammlung in Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur und dem Sammelsystem im Bezirk Graz-Umgebung. Februar 2017, Graz. Online abrufbar unter: [DieQualitaetderBioabfallsammlunginAbaehngigkeitvonderSiedlungsstrukturunddemSammelsystem.pdf \(vaboe.at\)](#) (Stand: 28. Juni 2021)

Burgstaller, Maria et al. (2018). Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. UBA- Texte 57/2018. Online abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer> (Stand: 22. Juni 2021)

Bundesgütegemeinschaft Kompost et al. (2019). Position zur Entsorgung von biologisch abbaubaren Kunststoffen über die Bioabfallbehandlung/ Kompostierung. 17. Juni 2019. Online abrufbar unter: <https://www.vku.de/vku-positionen/kommunale-abfallwirtschaft/position-zur-entsorgung-von-biologisch-abbaubaren-kunststoffen-ueber-die-bioabfallbehandlungkompostierung/> (Stand: 22. Juni 2021)

Carmen e. V. (2021). Biologische Abbaubarkeit und Kompostierung von Kunststoffen, 23. März 2021. Online abrufbar unter: <https://www.carmen-ev.de/2021/03/23/biologische-abbaubarkeit-und-kompostierung-von-kunststoffen/> (Stand: 23. Juni 2021)

Conti, Gea Olivery et al. (2020). Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risk assessment for the general population. In: *Environmental Research*, Band 187, 109677 Online abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120305703> (Stand: 22. Juni 2021).

Deutsche Umwelthilfe (2018). Bioplastik in der Kompostierung. Ergebnisbericht – Umfrage. 20. September 2018. Online abrufbar unter: https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Verpackungen/180920_DUH_Ergebnisbericht_Kompostierungsumfrage.pdf (Stand: 22. Juni 2021)

Freitag, Ruth et al. (2019). Mikroplastik im Kompost. Trägt die Biotonne zur Belastung unserer Umwelt mit Plastik bei? In: *Analytical Science*, 3. Juni 2019. Online abrufbar unter: <https://analyticalscience.wiley.com/do/10.1002/gitfach.18246> (Stand: 22. Juni 2021).

Kanthak, Manfred et al. (2012). Bewertung des Einsatzes von kompostierbaren Sammelbeuteln aus Ecovio-Material. In: Müll und Abfall, Band 8, Nr. 12, 402-404. Online abrufbar unter: <https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiMytnv8rnxAhVGPOwKHXuaBmMQFnoE-CAUQA&url=https%3A%2F%2Fdocuments.basf.com%2F887971ff498aa56e0192e3c3b0742359e2d742e7&usg=AOvVaw38UjBzu3jZqcIwusKSzJb8> (Stand: 28. Juni 2021).

Lexikon der Chemie (2021). Kompostierung. Online abrufbar unter: <https://www.chemie.de/lexikon/Kompostierung.html> (Stand: 28. Juni 2021)

Napper, Imogen et al. (2019). Environmental Deterioration of Biodegradable, Oxo-biodegradable, Compostable, and Conventional Plastic Carrier Bags in the Sea, Soil, and Open-Air Over a 3-Year Period. In: Environmental Science and Technology, Band 53, Nr. 9, S. 4775-4783. Online abrufbar unter: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.8b06984> (Stand: 22. Juni 2021).

Novamont (2020). Conclusions of a study on compostable plastics and microplastics unsupported by data, 26. Januar 2020, Online abrufbar unter: https://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/20200626_compostable-vs-microplastic.php (Stand: 22. Juni 2021).

Reske, Jöran (2015). Erfassung von Bioabfällen in kompostierbaren Sammelbeuteln: ein Beitrag zur Akzeptanz der Biogut-Sammlung? In: Müll und Abfall 3, 126-129. Online abrufbar unter: <https://www.muellundabfall.de/ce/erfassung-von-bioabfaellen-in-kompostierbaren-sammelbeuteln-ein-beitrag-zur-akzeptanz-der-biogut-sammlung/detail.html> (Stand: 28. Juni 2021)

Shruti, V. C. et al. (2019). Bioplastics: Missing link in the era of Microplastics. In: Science of The Total Environment. Band 697. Online abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719341166> (Stand: 22. Juni 2021).

Umweltbundesamt (2021). Bioabfälle, 17. Februar 2021. Online abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bioabfaelle#bioabfaelle-gute-qualitat-ist-voraussetzung-fur-eine-hochwertige-verwertung> (Stand: 22. Juni 2021).

Universität Hohenheim (2016). Compost and Digestates from Urban Organic Wastes. Fact Sheet. Online abrufbar unter: https://improve-p.uni-hohenheim.de/fileadmin/migrated/content/uploads/moeller2016-Factsheet_compost_and_digestates.pdf (Stand: 29. Juni 2021)

Watteau, Françoise et al. (2018). Microplastic Detection in Soil Amended With Municipal Solid Waste Composts as Revealed by Transmission Electronic Microscopy and Pyrolysis/GC/MS. In: Frontiers in Sustainable Food Systems. Band 2, Artikel 81. Online abrufbar unter: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2018.00081/full> (Stand: 21. Juni 2021).

Weithmann, Nicolas et al. (2018). Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. In: Science Advances, Band 4, Nr. 4. Online abrufbar unter: <https://advances.sciencemag.org/content/advances/4/4/eaap8060.full.pdf> (Stand: 21. Juni 2021)