

Kunststoffe in Kompost und Gärprodukten

Herkunft - Bedeutung - Vermeidung

Zusammenfassung

Die breite Diskussion über Ursachen und Folgen der Meeresverschmutzung mit Kunststoffen hat auch landbasierte Einträge von Kunststoffen in den Fokus der Wissenschaft sowie des öffentlichen Interesses gerückt. Der Beitrag Deutschlands an der Verschmutzung der Weltmeere ist aufgrund einer geordneten und weithin gut funktionierenden Entsorgungsinfrastruktur relativ unbedeutend, dennoch beläuft sich die Menge an Kunststoffeinträgen in die Umwelt in Deutschland auf schätzungsweise jährlich bis zu 450.000 t [28].

Gegenstand dieses Themenpapiers sind Kunststoffe, die aufgrund von Verunreinigungen von Bioabfällen über Kompost und Gärprodukte in die Umwelt bzw. auf Böden gelangen können, deren Bedeutung sowie Möglichkeiten der Vermeidung. Das Thema biologisch abbaubare Kunststoffe ist nicht Gegenstand dieses Papiers.

RAL-gütesicherte Komposte und Gärprodukte enthalten im Mittel etwa 0,01 Gew.-% Folienkunststoffe. Einzelproben können in einem breiten Spektrum variieren. In den Prüfzeugnissen der RAL-Gütesicherung sind die Gehalte an folienartigen Kunststoffen sowie an sonstigen Fremdstoffen inkl. Hartkunststoffen jeweils ausgewiesen [16]. Der Anteil der mit Kompost und Gärprodukten in die Umwelt eingetragenen Mengen an Kunststoffen wird von der BGK derzeit auf ca. 0,2 % der Gesamtkunststoffeinträge geschätzt.

Der im Zusammenhang mit Kunststoffeinträgen in die Umwelt häufig verwendete Begriff 'Mikroplastik' ist missverständlich. Vielfach wird angenommen, dass es sich um Partikel < 1 mm handelt, die praktisch nicht erkennbar sind. Tatsächlich sind aber alle Partikel bis zu einer Größe von 5 mm gemeint. Bei den Auswertungen der BGK sind aber auch Partikel einbezogen, die größer als 5 mm sind.

Bürger und Kunden erwarten, dass aus Bioabfällen hergestellte Komposte und Gärprodukte

frei oder weitgehend frei von Fremdstoffen und insbesondere von Kunststoffen sind. Sind sie es nicht, werden sie vom Markt nicht akzeptiert und das Recycling von Bioabfällen damit im Kern gefährdet.

Ursache von Verunreinigungen mit Kunststoffen sind v.a. Fehlwürfe von Bürgern bei der getrennten Sammlung von Bioabfällen. Der Vermeidung von Kunststoffeinträgen an der Quelle kommt daher eine besondere Bedeutung zu.

Der Anteil an Verunreinigungen in Bioabfällen aus Haushaltungen hat in den vergangenen Jahren zugenommen. Die BGK führt dies auf eine über die Jahre nachlassende Öffentlichkeitsarbeit bei den Getrenntsammlensystemen zurück und darauf, dass punktuelle Eintragsquellen an Fremdstoffen nicht konsequent genug identifiziert und abgestellt werden.

Beim Thema Vermeidung von Fremdstoffen und Kunststoffen besteht deutlicher Handlungsbedarf. Auf konkrete Möglichkeiten hat die BGK in einem Positionspapier 'Sortenreinheit von Bioabfällen gewährleisten' hingewiesen [12].

In der Prozesskette der Bioabfallbehandlung können Kunststoffe zwar weitgehend, aber nicht vollständig abgetrennt werden. Aus diesem Grund kann nicht ausgeschlossen werden, dass aus Bioabfällen hergestellte Komposte oder Gärprodukte einzelne Partikel von Kunststoffen enthalten. In den RAL-Gütesicherungen der BGK werden Kunststoffe allerdings stärker begrenzt als in den geltenden Rechtsbestimmungen.

Der vielfältige Nachweis von 'Mikroplastik' in der Umwelt und deren mögliche Folgen für Menschen, Tiere und Ökosysteme verunsichert Bürger und Verbraucher in hohem Maße. Die BGK nimmt dieses Thema sehr ernst und verfolgt in ihrem Tätigkeitsbereich geeignete Lösungsansätze.



Einleitung

In Deutschland ist das Recycling von Bioabfällen seit drei Jahrzehnten gelebte und funktionierende Praxis. Mit der Nutzung von Bioabfällen werden v.a. folgende Ziele verfolgt:

- Bereitstellung von organischen Düngern zur Humusversorgung des Bodens
- Rückführung von Pflanzennährstoffen
- Substitution von Torf bei der Herstellung von Blumenerden und anderen Substraten
- Erzeugung von Biogas.

Durch die Getrenntsammlung der Bioabfälle trägt jeder Abfallerzeuger seinen Teil dazu bei, dass dieser Rohstoff nutzbringend recycelt wird. Die getrennte Sammlung ist fester Bestandteil der modernen Kreislaufwirtschaft und nach § 11 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) seit 2015 allgemeine Pflicht [5]. Die Nutzbarmachung der Bioabfälle dient dem langfristigen Ressourcen-, Klima- und Bodenschutz.

Bei der Verwertung von Bioabfällen sind enthaltene Fremdstoffe und insbesondere Kunststoffe ein zentrales Thema. Berichte über inakzeptable Einträge von Kunststoffen bei der Verwertung von Bioabfällen sind zwar Einzelfälle [40]. Sie haben den Beitrag der Bioabfallverwertung bezüglich Kunststoffeinträgen in die Umwelt aber weiter in den Vordergrund gerückt [24].

Das Thema 'Mikroplastik' hat sowohl in der Fachwelt als auch in der Öffentlichkeit einen hohen Grad an Sensibilität erreicht. Davon zeugen auch die vielen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die in jüngster Zeit dazu angestoßen wurden [23, 29, 38].

In diesem Themenpapier wird versucht, Kunststoffe und 'Mikroplastik' in Kompost und Gärprodukten sachlich einzuordnen. Neben Forschungsergebnissen werden dazu auch Daten aus den RAL-Gütesicherungen der BGK herangezogen.

Begriffe und Definitionen

Die Begrifflichkeiten 'Plastik' und 'Mikroplastik' sind umgangssprachliche Begriffe für Kunststoff oder Mikrokunststoff. Sie adaptieren den englischen Begriff 'plastics'.

Der Begriff 'Mikroplastik' bezeichnet kleinste Kunststoffteilchen, welche in der Umwelt identifiziert werden. In der Normung wird aktuell bei Kunststoffteilen zwischen 1 und 1000 μm von 'Mikroplastik' gesprochen (1 mm = 1.000 μm), bei Partikeln von 1 - 5 mm von 'großem Mikroplastik'.

Von Nanopartikeln spricht man bei Partikeln im Bereich von 1 bis 100 Nanometer (1 μm = 1.000 nm).

In der Forschungswelt besteht Konsens, dass unterhalb von 1 mm eine weitere Klassifizierung von Mikroplastik sinnvoll ist (1.000 - 500 μm , 500 - 100 μm , 100 - 50 μm , 50 - 10 μm , 10 - 5 μm , 5 - 1 μm). Dies erlaubt eine bessere Bewertung von möglichen Wirkungen auf die Umwelt, eine Vereinfachung bei der analytischen Nachweisbarkeit sowie eine angemessene Einteilung des erwarteten Aufkommens [19].

Der Werkstoff Kunststoff besteht in der Regel überwiegend aus synthetischen Polymeren und zu geringen Anteilen aus Additiven, die funktionale Eigenschaften der verschiedenen Polymere optimieren. Mit dem Begriff 'Kunststoff' werden definitionsgemäß nur die auf thermoplastischen und duroplastischen Polymeren basierenden Materialien gefasst.

Die aus synthetischen Polymeren aufgebauten Elastomere (z.B. Styrol, Butadien, Kautschuk), chemisch modifizierte natürlichen Polymere (z.B. Viskose, Cellophan) sowie auf synthetischen Polymeren basierende Produkte (z.B. Fasen, Lacke, Reifen) werden, auch wenn sie keine Kunststoffe im engeren Sinne sind, in den derzeitigen Diskussionen und Forschungsaktivitäten mit betrachtet [19]. Auch aus ihnen können Mikropartikel entstehen, die als synthetische Polymere identifiziert werden.

Als 'primäres Mikroplastik' werden Teilchen bezeichnet, die für bestimmte Verwendungen gezielt hergestellt und eingesetzt werden (z.B. in Kosmetikartikeln mit Peeling-Effekten).

Von 'sekundärem Mikroplastik' spricht man, wenn größere Kunststoffteile durch Außeneinwirkungen wie mechanische Zerkleinerung, Wärme oder UV-Strahlung zerfallen. Nach heutigem Kenntnisstand stellt sekundäres Mikroplastik die Haupteintragsquelle in die Umwelt dar.

Einträge und Verhalten in der Umwelt

Im Gegensatz zu den Bereichen Gewässer und Ozeane ist der Wissensstand zum Vorkommen von Kunststoffen in der terrestrischen Umwelt deutlich geringer.

Bislang gibt es nur wenige Untersuchungen oder Aussagen, die Einträge von Kunststoffen aus unterschiedlichen Quellen in die terrestrische Umwelt quantifizieren bzw. abschätzen.



Als Eintragspfade diskutiert werden u.a.

- Littering, d.h. unregelmäßige Entsorgung von Kunststoffen in die Umwelt, z.B. an Straßenrändern, Parkplätzen, öffentlichen Grünanlagen, Baustellen, Industrieanlagen usw.
- Abrieb von Reifen, Fahrbahnmarkierungen, Kunstrasen, Besen und Kehrmaschinen, Schuhsohlen, Farben und Lacke
- Agrarkunststoffe wie Mulchfolien
- Dünge- und Bodenverbesserungsmittel aus der Bioabfallverwertung, Mineraldünger (z.B. kunststoffumhüllte Langzeitdünger)
- Einträge über Klärschlamm und Partikeltransport aus aquatischen Systemen (Überflutungsgebiete).

Schätzungen über Gesamteinträge von Kunststoffen in die Umwelt belaufen sich auf 450.000 t p.a. [28].

Kunststoffe gelten als abbaustabil. In der Umwelt werden sie nur über lange Zeiträume abgebaut. Das gilt für Kunststoffe in Gewässern und Meeren ebenso wie in Böden.

Kunststoffe wie Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) unterliegen langfristig Oxidationsprozessen, die zu einem Kettenabbau führen. Unter Einwirkung von UV-Strahlen und Wärme wird der Abbau beschleunigt. Kleine Partikel werden aufgrund der geringeren Diffusionslimitierung für Sauerstoff im Partikel schneller abgebaut als große Partikel. Andere Kunststoffe wie etwa Polyester (PET-Flaschen) können sich auch durch hydrolytische Effekte zersetzen.

Die Desintegration und der Abbau von Kunststoffen verlaufen in Umweltmedien wie Wasser und Böden sehr langsam. Annahmen über die Länge der Zeiträume variieren in einem weiteren Bereich (wenige Jahrzehnte bis hunderte von Jahren).

Unabhängig davon, ob und wenn ja in welchen Zeiträumen Kunststoffe in Böden abgebaut werden können, muss es das oberste Ziel sein, den Eintrag dieser Stoffe, die nicht natürliche Bestandteile von Böden sind, grundsätzlich zu vermeiden oder so weit als möglich zu begrenzen.

Einträge aus der Bioabfallverwertung

Nach Angabe des Statistischen Bundesamtes werden in biologischen Behandlungsanlagen (Kompostierung, Vergärung, kombinierte Anlagen) 14,2 Mio. t Inputmaterialien verarbeitet [42].

Die Bioabfälle stammen hauptsächlich aus der getrennten Sammlung aus privaten Haus-

haltungen, der separaten Sammlung von Garten- und Parkabfällen sowie aus dem Gewerbe.

Für die Analyse von Fremdstoffen und Kunststoffen in Bioabfällen hat die BGK zwei standardisierte Untersuchungsmethoden veröffentlicht. Die Methode der 'Gebietsanalyse' bezieht sich auf die Feststellung von Fremdstoffen in Bioabfällen eines gesamten Entsorgungsgebietes [8a]. Die Methode der Chargeanalyse bezieht sich auf die Feststellung von Fremdstoffen in einer Fahrzeugladung von Biogut (Anlieferungen von Biogut an der Behandlungsanlage) [8b].

Biotonne: Nach den Vorschriften des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sind Bioabfälle aus privaten Haushalten getrennt zu sammeln.

Die Pflicht gilt für die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE), die entsprechende Getrenntsammlungssysteme für Bioabfälle einzurichten haben (§ 11 Absatz 1 KrWG i.V.m. § 17 Absatz 1 Satz 1 (Überlassungspflicht) und § 20 Absatz 1 KrWG (Entsorgungspflicht) [5].

I.d.R. erfolgt die Erfassung über die Biotonne. Erfasst werden organische Küchen- und Gartenabfälle. Das Aufkommen beträgt 4,35 Mio. Tonnen [44]. Inhalte der Biotonne werden auch als 'Biogut' bezeichnet.

Kunststoffe und andere Fremdstoffe werden i.d.R. durch 'Fehlwürfe', d.h. durch fehlerhafte Nutzung der Biotonne eingetragen. Verursacher ist damit der einzelne Bürger.

Bei den in Biogut gefundenen Kunststoffen handelt es sich v.a. um

- Kunststoffbeutel, die zur Auskleidung von Vorsortierbehältern verwendet und zusammen mit den darin befindlichen Bioabfällen in die Biotonne geworfen werden
- Kunststoffverpackungen (mit Resten von Lebensmitteln)
- Weitere Kunststoffprodukte wie Kaffeekapseln, Milchküchlein, Blumentöpfe u.a..

Garten- und Parkabfälle: Mit 4,79 Mio. t sind separat erfasste Garten- und Parkabfälle ein weiterer relevanter Stoffstrom [43]. Es handelt sich v.a. um Abfälle aus der öffentlichen Grünflächenpflege, der Pflege privater Gärten (soweit diese Abfälle nicht Inhalte der Biotonne sind, sondern zusätzlich erfasst werden, etwa durch Bündelsammlung oder Bringsysteme) sowie pflanzliche Abfälle aus dem Garten- und Landschaftsbau, die im Grundsatz meist als gewerbliche Abfälle einzustufen sind. Separat erfasste Garten- und Parkabfälle werden auch als 'Grüngut' bezeichnet.



Bei den in Grüngut gefundenen Kunststoffen handelt es sich v.a. um

- Kunststoffsäcke, in denen die Pflanzenabfälle transportiert werden (soweit die Säcke nicht entleert wurden)
- Pflanztöpfe sowie Materialien wie Schnüre, Klammern, Bindedrähte u.a. aus Kunststoff, die in Gärten verwendet werden.

Grüngut enthält aufgrund seiner Herkunft weniger Kunststoffe als Biogut. Es ist aber, entgegen häufiger Annahmen, nicht immer frei von Kunststoffen.

Gewerbliche Bioabfälle: Im Gegensatz zu Bioabfällen aus Privathaushalten unterliegen aus dem Einzelhandel oder der Nahrungsmittelverarbeitung stammende Bioabfälle nicht der Überlassungspflicht an die zuständigen Gebietskörperschaften. Gewerbliche Erzeuger von Bioabfällen sind vielmehr selbst für die Entsorgung ihrer Abfälle verantwortlich. Bezüglich der Bioabfälle gilt aber auch hier eine entsprechende Getrennsammelpflicht (§ 3 Abs. 1 Satz 1 Nr. 7 GewAbfV) [3].

Bei den gewerblichen Bioabfällen handelt es sich v.a. um

- Speisereste aus der Gastronomie sowie Kantinen und Großküchen
- überlagerte oder verdorbene Lebensmittel aus dem Handel (i.d.R. verpackt)
- Rückstände aus der Herstellung von Lebensmitteln

Allein aus dem Handel kommen so mehr als 730.000 t meist in Kunststoff verpackte Lebensmittelabfälle zusammen [33]. Diese werden über die Gewerbeabfallsammlung getrennt erfasst und in der Regel in Biogasanlagen verwertet. Aus Branchensicht wird vermutet, dass die Mengen deutlich höher sind. Verlässliche statistische Zahlen sind dazu aber nicht verfügbar.

Kunststoffe gelangen in diesem Bereich v.a. über Kunststoffverpackungen in das System. Vor einer Verwertung muss eine Entpackung sowie Abtrennung der Verpackungsmaterialien erfolgen.

Grenzwerte

Für Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsstoffe - darunter auch Komposte und Gärprodukte - gelten die in nachfolgender Tabelle angegebenen Grenzwerte der Düngemittelverordnung (DüMV) [6].

Werden diese Grenzwerte überschritten, sind die Erzeugnisse nach den düngerechtlichen Bestimmungen nicht verkehrsfähig. Sie dürfen weder abgegeben noch angewendet werden.

Fremdstoff	Grenzwert DüMV
verformbare Kunststoffe > 2 mm Siebdurchgang*	maximal 0,1 % i.d.TM
sonstige Fremdstoffe > 2 mm Siebdurchgang*	maximal 0,4 % i.d.TM

* ab 1.1.2021: > 1 mm Siebdurchgang [6, 13, 39]

Die Grenzwerte der Düngemittelverordnung haben den Zweck Vorsorge zu treffen, dass bei sachgerechter Anwendung von Düngemitteln die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen nicht geschädigt und der Naturhaushalt nicht gefährdet wird (§ 3 Nr. 1 DüMV). Die Grenzwerte berücksichtigen damit auch, dass in diesem Rahmen unvermeidbare Fremdbestandteile enthalten sein können und dürfen.

In den RAL-Gütesicherungen der BGK gilt neben den gravimetrischen Grenzwerten der Rechtsbestimmungen ein weitergehender Grenzwert für die Flächensumme (Aufsichtsfläche) der ausgelesenen Fremdstoffe in Höhe von maximal 15 cm²/l Prüfsubstrat. Der Parameter ist in der Wirkung strenger als die Rechtsbestimmungen. Wird dieser Grenzwert überschritten, darf das Erzeugnis nicht mehr mit dem RAL-Gütezeichen abgegeben werden.

Untersuchungsverfahren

Die Untersuchung von Fremdstoffen und damit auch von Kunststoffen in Kompost und Gärprodukten richtet sich nach der Methodenvorschrift der BGK [10]. Auch die abfall- und düngerechtlichen Bestimmungen verweisen auf diese Methodenvorschrift. Untersucht wird der gravimetrische Gesamtgehalt an Fremdstoffen > 2 mm (ab 1.1.2021 > 1 mm). Partikel dieser Größenklasse sind mit dem bloßen Auge noch erkennbar. Fremdstoffe wie Glas, Metalle oder Kunststoffe werden aus der Originalprobe händisch ausgelesen und verwogen. Das Ergebnis wird in Gew.-% der Trockenmasse des Prüfsubstrates angegeben.

Die Ergebnisse für verformbare (folienartige) Kunststoffe werden separat angegeben, da in der Düngemittelverordnung hierfür ein separater Grenzwert besteht. Eine Unterscheidung von Größenklassen (z.B. kleines/großes Mikroplastik) erfolgt nicht.

Die Zuverlässigkeit der Prüflabore wird in länderübergreifenden Ringversuchen Bioabfall, an denen auch die BGK beteiligt ist, regelmäßig festgestellt [35]. Bei diesen Ringversuchen müssen die Labore eine zudotierte Masse an Fremdstoffen wiederfinden. Weicht das Ergebnis um mehr als +/- 10 % ab, wird das Labor

für diesen Parameter nicht anerkannt bzw. verliert eine bestehende Anerkennung. Die Ringversuche sind sowohl Grundlage der Laboranerkennungen nach der Bioabfallverordnung als auch den RAL-Gütesicherungen der BGK [15].

Bezüglich Partikelgrößen < 1 mm (kleines Mikroplastik) werden Untersuchungen von Kunststoffen in Matrices wie organische Düngemittel und Böden derzeit nur im wissenschaftlichen Bereich durchgeführt bzw. getestet. Zum Einsatz kommen u.a. spektroskopische Methoden, die eine Identifizierung von verschiedenen Kunststoff-Typen erlauben. Die Methoden befinden sich noch in der Entwicklung [29, 38, 48]. Sie sind nicht validiert.

Standardisierte Methoden der Probenahme für kleines Mikroplastik in Feststoffen wie Böden oder Düngemitteln werden gerade erarbeitet [21].

Gehalte in Kompost und Gärprodukten

Wie bereits erläutert, werden bei der vorgeschriebenen Untersuchungsmethode auf Fremdstoffe bzw. Kunststoffe auch solche erfasst, die > 5 mm und damit kein 'Mikrokunststoff' sind.

Gehalte

Die gravimetrischen Gehalte an Kunststoffen sind in Tabelle 1 dokumentiert. Die Daten stammen aus Regeluntersuchungen der RAL-Gütesicherungen der BGK.

Bei Kompost sind sowohl die Angaben über alle Komposte dargestellt, als auch differen-

ziert nach Komposten aus Biogut (Biotonneninhalte, gemischte organische Küchen- und Gartenabfälle) und Grüngut (ausschließlich Garten- und Parkabfälle, ohne Biotonne).

Bei den Gärprodukten sind die Ergebnisse für flüssige Gärprodukte aus der Bioabfallverwertung dokumentiert. Feste Gärprodukte sind nicht angeführt, weil diese i.d.R. nachkompostiert werden und bei der BGK dann in die Statistik für Kompost eingehen. Reine NawaRo-Gärprodukte (aus nachwachsenden Rohstoffen) werden nicht betrachtet, da eine Relevanz von Kunststoffen nicht anzunehmen ist.

Anzahl an Partikeln

Die Anzahl an Kunststoffpartikeln kann bestimmt werden [47, 49]. Bei Produktuntersuchungen im Rahmen der RAL-Gütesicherungen der BGK werden ausgelesene Partikel von Fremdstoffen und Kunststoffen regelmäßig auch bildlich dokumentiert.

Zur Bewertung von Gehalten wird die Anzahl an Partikeln bislang aber nicht herangezogen. Dies erscheint auch wenig sinnvoll, da zur Bewertung von Umweltwirkungen üblicherweise die Konzentrationen eines Stoffes zugrunde gelegt (z.B. in Gew.-%) oder Frachten berechnet werden (z.B. in g/ha*a), die bei bestimmungsgemäßer Anwendung in die Umwelt bzw. in Böden eingetragen werden können. Für beides ist die Anzahl an Partikeln kein geeigneter Maßstab. Die bloße Anzahl hat auch keinen Bezug zur Größe der einzelnen Partikel, für deren Bewertung v.a. die Korngrößenverteilung von Bedeutung wäre.

Tabelle 1: Gehalte an Fremdstoffen und Kunststoffen > 2 mm in Kompost und in Gärprodukten (arithmetische Mittelwerte, Ergebnisse der RAL-Gütesicherungen 2018)

Analysen ⁵⁾	Trocken-	Folien-	Hart-	Kunststoffe gesamt
	masse	kunststoffe	kunststoffe ⁶⁾	
	%	Gew.-% TM	Gew.-% TM	Gew.-% TM
Kompost gesamt ¹⁾	63,2	0,008	0,020	0,028
Kompost aus Biogut ²⁾	64,0	0,011	0,024	0,035
Kompost aus Grüngut ³⁾	62,2	0,005	0,015	0,020
Gärprodukt flüssig ⁴⁾	6,8	0,009	0,010	0,019

¹⁾ Kompost aus Behandlungsanlagen, die Biogut und Grüngut behandeln (n=3.536)

²⁾ Kompost aus Behandlungsanlagen, die sowohl Inhalte der Biotonne als auch separat erfasstes Grüngut behandeln (n=1.900)

³⁾ Kompost aus Behandlungsanlagen, die ausschließlich separat erfasstes Grüngut behandeln (ohne Biotonne) (n=1.636)

⁴⁾ Gärprodukt aus der Behandlung von Bioabfällen (hier nicht enthalten: reine NawaRo-Gärprodukte) (n=1.047)

⁵⁾ Regeluntersuchungen der RAL-Gütesicherung 2018

⁶⁾ Hartkunststoffe rechnerisch geschätzt (Hartkunststoffe = Fremdstoffe gesamt abzgl. Glas abzgl. Folienkunststoffe)

Bei der Messung realer Proben unter Verwendung von rein bildgebenden Verfahren (z.B. Licht- und Elektronenmikroskop) und Partikelzählverfahren besteht zudem eine gewisse Gefahr der Fehlinterpretation [19].

Frachten

Bei der Berechnung von Kunststofffrachten aus Komposten und Gärprodukten wird von den in Deutschland erzeugten Mengen an Komposten (3,870 Mio. t p.a.) und Gärprodukten (3,352 Mio. t p.a.) ausgegangen, die aus Bioabfällen hergestellt werden und beim statistischen Bundesamt dokumentiert sind [41].

Bezüglich der Gehalte an Kunststoffen werden die in Tabelle 1 genannten arithmetischen Mittelwerte zugrunde gelegt. Dort sind auch die zur Berechnung erforderlichen Trockenmassegehalte der Substrate angegeben.

Daraus ergibt sich, dass die durch Kompost und Gärprodukte bundesweit verursachten Einträge an Gesamtkunststoffen in Böden derzeit im Bereich von jährlich 715 t liegen.

Angaben von 12.000 t, wie sie 2018 von [28] publiziert und an anderen Stellen vielfach zitiert wurden, sind unzutreffend.

In den Berechnungen der BGK sind im Übrigen nicht nur 'Mikroplastik', sondern auch Kunststoffe der Größenklasse > 5 mm enthalten. Die Berücksichtigung auch der größeren Partikel ergibt ein realistisches Bild der quellenbezogenen Einträge.

Je nachdem, welche Annahmen über Gesamteinträge an Kunststoffen in die Umwelt zugrunde gelegt werden (180.000 - 450.000 t) [27, 28] bewegt sich der über Kompost und Gärprodukte verursachte Anteil in einem Bereich von etwa 0,2 bis 0,4 % der Gesamteinträge in Deutschland.

Einordnung

Zur Einordnung der Gehalte an Fremdstoffen und Kunststoffen in Kompost und Gärprodukten kann festgestellt werden, dass die Gehalte an folienartigen Kunststoffen im Mittel bei etwa 1/10 des düngerechtlichen Grenzwertes liegen. Für Gehalte an Gesamtfremdstoffen trifft dies in der Größenordnung ebenfalls zu.

Die Gehalte an Fremdstoffen und Kunststoffen in Kompost und Gärprodukten aus der getrennten Sammlung von Bioabfällen können jedoch in einem breiten Spektrum variieren. In den Prüfzeugnissen der RAL-Gütesicherung sind die Gehalte an folienartigen Kunststoffen sowie an sonstigen Fremdstoffen inkl. Hartkunststoffen jeweils angegeben [16].

Potenzielle Schadstoffe

Kunststoffe in Kompost und Gärprodukten werden als 'Fremdstoffe' und nicht als 'Schadstoffe' gewertet.

Allerdings liegen Kunststoffe meist nicht als reine Polymere vor. Zur Modifikation von Eigenschaften werden auch Additive in der Größenordnung von 0,1 bis 4 % zugemischt [18, 28, 37]. Bei einigen Additiven kann es sich auch um Schadstoffe, d.h. gefährliche Stoffe, handeln. Gängige Additive sind z.B. Weichmacher, Verarbeitungshilfsmittel, Stabilisatoren, Füllstoffe, Flammenschutzmittel und Farbstoffe.

Bezogen auf Polymertypen wird der mengenmäßig größte Anteil an Additiven zur Modifikation von PVC (73 %), gefolgt von Polyolefinen (10%) und Polystyrol (5 %) eingesetzt. Bei in Bioabfällen enthaltenen Kunststoffverunreinigungen handelt es sich meist um Polyolefine wie Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), aus denen Kunststoffbeutel, -säcke sowie Kunststoffverpackungen hergestellt werden. Weichmacher sind - entgegen häufiger Annahmen - in diesen Arten von Kunststoffen z.B. nicht enthalten [18].

Kunststoffe, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen unterliegen den Anforderungen des Lebensmittelrechts, das gefährliche Stoffe weitgehend ausschließt [2].

Bei der Bewertung potenzieller Schadstoffeinträge in die Umwelt werden i.d.R. folgende Kriterien herangezogen:

- die gemessenen Gehalte des jeweiligen Stoffes (Konzentration)
- die mit bestimmten Eintragspfaden verbundenen Frachten des Stoffes
- die bestehenden ubiquitären Hintergrundgehalte des Stoffes sowie
- Fragen des Stoffabbaus im Boden (Halbwertszeiten).

Weiter wird diskutiert, inwiefern sich ein Gefährdungspotenzial aufgrund der Anlagerung von Umweltschadstoffen an Kunststoffpartikel ergeben könnte. Solche Anlagerungen an gealterte, aufgeraute, poröse Oberflächen von Kunststoffpartikeln sind etwa in aquatischen Systemen beschrieben [46]. Ob solche Anlagerungen auch in terrestrischen Systemen relevant sein können, ist derzeit nicht bekannt. Wegen der geringen Beweglichkeit von Kunststoffpartikeln in Böden erscheint dies aber eher unwahrscheinlich.

Diskutiert werden auch potenzielle Wirkungen auf die menschliche Gesundheit im Zusammenhang mit einer möglichen Aufnahme von



Kunststoffpartikeln über die Pflanzenwurzel und die Nahrungskette. Aufgrund des Fehlens belastbarer Daten von Mikroplastik in Lebensmitteln ist eine gesundheitliche Bewertung für Verbraucher bei der oralen Aufnahme von in Lebensmitteln ggf. enthaltenem Mikroplastik derzeit aber nicht möglich [20].

Aufgrund des ubiquitären Vorkommens von Mikrokunststoffen in der Umwelt ist allerdings davon auszugehen, dass kleinste Kunststoffpartikel mit der Nahrung aufgenommen werden. Studien haben Mikrokunststoffe im menschlichen Stuhl nachgewiesen [37a]. Nach Untersuchungen des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) ist die Resorption von Partikeln bis 4 µm über die Darmwand vereinzelt möglich. Hinweise auf Schädigungen ergaben sich bislang nicht [20a]. Ein Zusammenhang mit Mikrokunststoffen in Kompost und Gärprodukten besteht nicht.

Akzeptanz des Marktes

Abnehmer von Komposten und Gärprodukten aus der Verarbeitung von Bioabfällen erwarten, dass die Produkte frei oder weitgehend frei von Fremdstoffen sind. Für optisch auffällige Folienkunststoffe gilt dies in besonderem Maße.

Aufgrund des hohen spezifischen Gewichtes von Kompost und Gärprodukten und damit verbundenen Transportkosten ist der Hersteller beim Absatz der Erzeugnisse i.d.R. auf lokale Märkte angewiesen. Diese Märkte müssen mit Qualitäten bedient werden, die eine dauerhafte Zufriedenheit der Kunden sicherstellen. Dies bedeutet vor allem, dass Fremdstoffe und Kunststoffe nicht oder nur selten in geringem Umfang enthalten sein dürfen.

Vorfälle mit stark verunreinigten Komposten oder Gärprodukten, wie sie vereinzelt vorgekommen sind, sind 'ohne Wenn und Aber' zu verurteilen und vom Inverkehrbringer zu verantworten. Sie finden in der Presse einen breiteren Niederschlag und diskreditieren - zu Unrecht - die ganze Produktgruppe. Damit kann das gut funktionierende und erfolgreiche Recycling von Bioabfällen in Misskredit gebracht und insgesamt gefährdet werden.

Vermeidung von Kunststoffeinträgen

Um Risiken der Vermarktung aufgrund von Fremdstoffen und insbesondere Kunststoffen zu begrenzen oder erst gar nicht entstehen zu lassen, muss es in erster Linie darum gehen, solche Einträge in die Bioabfallverwertung am Ort ihrer Entstehung zu vermeiden.

Wie bereits beschrieben, werden Kunststoffe

und andere Fremdstoffe vor allem über Fehlwürfe in die Biotonne eingetragen. Verursacher ist in erster Linie der einzelne Bürger bzw. Abfallerzeuger.

Aufgrund von Kontrollen von Biotonnen ist bekannt, dass die große Mehrheit der Bürger die Getrennsammlung nach wie vor sehr gut durchführt.

Es gibt überall aber auch Gebiete oder einzelne Haushalte, wo dies nicht so ist [14]. Dort sind in den Biotonnen auch viele Fremdstoffe zu finden, die - weil alles zusammen in einem Fahrzeug gesammelt wird - das gesamte Material verunreinigen können.

Getrennsammelsysteme bedürfen einer kontinuierlichen Öffentlichkeitsarbeit und Einbindung der Bürger. Sinn und Konsequenzen der Kreislaufwirtschaft von Wertstoffen müssen regelmäßig erklärt werden. Im Fall von Bioabfällen ist dies von besonderer Bedeutung, weil die Wahrnehmung dieser Abfälle als Wertstoffe weniger ausgeprägt ist, als dies bei Papier oder anderen Wertstofffraktionen der Fall ist. Oft ist noch nicht einmal bekannt, dass es sich bei den Bioabfällen um die größte Wertstofffraktion der Haushaltsabfälle handelt.

Für die langfristige Wirksamkeit der Fremdstoffvermeidung ist neben der Öffentlichkeitsarbeit v.a. die Ahndung von Verstößen gegen die Getrennsammelpflicht von Bedeutung.

Ohne Kontrollen der Sortenreinheit der Bioabfälle können Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit wirkungslos bleiben. Wiederholte Stichproben von Biotonnen in wechselnden Sammelgebieten oder zur Feststellung von Punktquellen sind in der Regel ausreichend [31, 36]. Punktquellen von Fremdstoffeinträgen müssen von der Sammlung der Bioabfälle ausgeschlossen werden. Im Zweifel gilt Qualität vor Quantität.

Die BGK hat in ihrem Positionspapier zum Thema "Sortenreinheit von Bioabfällen gewährleisten" eindringlich darauf hingewiesen, dass hochwertige Recyclingprodukte nur aus hochwertigen Ausgangsstoffen hergestellt werden können. In dem Papier werden auch Ansatzpunkte aufgezeigt, wie dies erreicht werden kann [12]. Von einer vertieften Darstellung kann hier daher abgesehen werden.

Kunststoffe in der Bioabfallbehandlung

Soweit der Eintrag von Kunststoffen bei der Getrennsammlung von Biogut (Biotonneninhalte) nicht vermieden wird, gelangen diese in die Bioabfallbehandlung. Mit Abscheidern von deutlich über 90 % können sie zwar



weitgehend abgetrennt werden. Aber selbst bei einer Abscheiderate von 99 % verbleiben - in Abhängigkeit von den gegebenen Inputqualitäten - Partikel von Fremdstoffen in den Endprodukten. Eine vollständige Abtrennung ist praktisch nicht möglich. Zur Vermeidung von Kunststoffen an der Quelle gibt es daher keine Alternative.

Biotonneninhalte weisen in der Praxis Fremdstoffanteile in einer Spannweite von weniger als 1 Gew.-% bis etwa 3 Gew.-% auf. Die Höhe der Anteile wird v.a. von der Siedlungsstruktur des Erfassungsgebietes, dem Vegetationszeitraum (Anteil Gartenabfälle) sowie den Maßnahmen des Entsorgungsträgers für eine sortenreine Getrenntsammlung beeinflusst [14]. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müssen standardisierte Untersuchungsmethoden eingesetzt werden [8a, 8b].

Aus Biogut mit Fremdstoffanteilen von über 3 % können Komposte, die frei oder weitgehend frei von Fremdstoffen sind, nach Auffassung der BGK auch mit hohem technischem Aufwand kaum noch hergestellt werden. Alle Beteiligten sollen daher darauf hinwirken, dass getrennt erfasste Bioabfälle (Biotonne) weniger als 1 % Fremdstoffe aufweisen [1].

Das bei der Behandlung von Biogut vorherrschende Verfahren ist die Kompostierung. In den vergangenen Jahren hat auch die Vergärung an Bedeutung zugenommen. Bei der Vergärung wird Biogas gewonnen, das der energetischen Nutzung zur Erzeugung von Strom und Wärme zugeführt wird. Die verbleibenden flüssigen Gärrückstände (in der RAL-Gütesicherung als Gärprodukte bezeichnet) werden als Dünge- und Bodenverbesserungsmittel eingesetzt. Feste Gärrückstände werden meist kompostiert und dann als Kompost verwertet.

Bei der Kompostierung erfolgt zunächst eine Voraufbereitung der Biotonneninhalte. Dabei wird ein großer Teil an Kunststoffen und anderen Fremdstoffen abgetrennt. Die Abtrennung erfolgt v.a. über Siebung. Der Siebdurchgang wird dem Rotteprozess zugeführt. Der Siebüberlauf, in dem Kunststoffe angereichert sind, wird entweder entsorgt oder so aufbereitet, dass Teile davon der weiteren Behandlung ebenfalls zugeführt werden können. Nach der Behandlung (Kompostierung) erfolgt eine Nachaufbereitung des Rottegutes. Dabei werden neben Sieben häufig auch weitere Abscheidetechniken wie Windsichter, Hartstoffabscheider oder Magnetabscheider eingesetzt. Am Ende steht die Konfektionierung des Fertigproduktes auf die für die Vermarktung

vorgesehene Körnung (Siebmaschenweite).

Bei der Vergärung werden Biotonneninhalte im Zuge der Voraufbereitung i.d.R. intensiver aufgeschlossen als für die Kompostierung. Enthaltene Fremdstoffe werden dabei stärker zerkleinert. Im Fall intensiver Zerkleinerungsprozesse sollten Fremdstoffe daher bereits vor diesem Behandlungsschritt weitgehend abgetrennt werden.

Nach Abschluss der anaeroben Behandlung (Vergärung) fallen in Abhängigkeit von den Verfahren entweder feste oder flüssige Gärrückstände an, oder beides.

Feste Gärrückstände werden i.d.R. kompostiert. Flüssige Gärrückstände werden einer Nachaufbereitung zugeführt, in der Restverunreinigungen abgetrennt werden.

Verpackte Lebensmittelabfälle aus dem Gewerbe müssen vor der Behandlung (Vergärung) in jedem Fall entpackt und die Verpackungen abgetrennt werden.

Sowohl bei der Kompostierung als auch bei der Vergärung gehört eine Warenausgangskontrolle, d.h. die Sichtung der Komposte oder Gärprodukte vor deren Abgabe, zum festen Bestandteil der internen Qualitätssicherung. Die Abgabe von Chargen, die den festgelegten Qualitätsanforderungen nicht entsprechen, kann so vermieden werden.

Quellen

[1] Abfalltechnikausschuss (ATA) (2017): Beschlussfassung der Sitzung des Abfalltechnikausschuss der Bund/Ländergemeinschaft Abfall (LAGA) vom 24./25.01.2017, wonach von allen beteiligten Akteuren darauf hingewirkt werden soll, soweit erforderlich geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um den Fremdstoffeintrag (Fehlwürfe) bei der getrennten Bioabfallsammlung auf eine Zielgröße von maximal 1 Gew.% zu minimieren. Unveröffentlicht.

[2] Anonym (2005): Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) vom 1. September 2005 (BGBl. I S. 2618, 3007), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 30. Juni 2017 (BGBl. I S. 2147). Der Geltungsbereich des LFGB umfasst neben Lebensmitteln auch Gegenstände, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen.

[3] Anonym (2017): Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen ([Gewerbeabfallverordnung - GewAbfV](#)) vom 18.04.2017 (BGBl. I S. 896), die durch Artikel 2 Absatz 3 des Gesetzes vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2234) geändert worden ist.

[4] Anonym (1998): "Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forst-

wirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden" vom 21.09.1998, neugefasst durch Bekanntgabe vom 04.04.2013, zuletzt geändert am 27.09.2017. ([Bioabfallverordnung - BioAbfV](#))

[5] Anonym (2012): "Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen" vom 24.02.2012, zuletzt geändert 20.07.2017. ([Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG](#))

[6] Anonym (2012): "Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln" vom 05.12.2012, zuletzt geändert am 02.10.2019 ([Düngemittelverordnung - DüMV](#)).

[7] Anonym (2017): "Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost" vom 27.09.2017. ([Klärschlammverordnung - AbfKlärV](#))

[8a] BGK (2018): Methodenvorschrift Gebietsanalyse - Methode zur Bestimmung der Sortenreinheit von Biogut eines Entsorgungsgebietes. Hrsg.: BGK, Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln. Bezug der [Methodenvorschrift](#) ausschließlich über www.kompost.de.

[8b] BGK (2017): Methodenvorschrift Chargenanalyse - Methode zur Bestimmung der Sortenreinheit einer Fahrzeugladung von Biogut. Hrsg.: BGK, Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln. Bezug der [Methodenvorschrift](#) ausschließlich über www.kompost.de.

[9] BGK (2014): Kompostierung von ‚Biokunststoffen‘ ist ein Irrweg. [Positionspapier](#) der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) vom 21.03.2014.

[10] BGK (2015): "Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel und Substrate." Methodenbuch Kapitel II C 1 'Fremdstoffgehalt'. Loseblattsammlung, 4. Ergänzungslieferung 12/2015.

[11] BGK (2016): "Organische Düngung - Kompost für die Landwirtschaft". Informationsschrift der BGK-Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln, zur guten fachlichen Praxis der Anwendung von Kompost in der Landwirtschaft. 5. überarbeitete Auflage, November 2016. [BGK Informationsschrift](#).

[12] BGK (2016): "Sortenreinheit von Bioabfällen gewährleisten". Positionspapier der BGK-Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln, vom 31.05.2016. [BGK-Positionspapier](#).

[13] BGK (2018): "Bedeutung von Fremdstoffen der Partikelgröße 1-2 mm für den Gesamtgehalt an Fremdstoffen sowie an Kunststoffen in Kompost und in Gärprodukten". Ergebnisse einer Untersuchungsreihe der BGK-Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln, unveröffentlicht.

[14] BGK (2018): "Ergebnisse zweier Gebietsanalysen". Erhebung von Daten zur Sortenreinheit von Bioabfällen am Beispiel von zwei öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern in Baden-Württemberg. Studie des Witzenhäuser-Institut im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt Baden-

Württemberg (LUBW) und der BGK-Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln. [Zusammenfassung](#) der Ergebnisse in H&K, Q2-2018. [Ergebnisbericht](#) des LUBW (Hrsg.), April 2018.

[15] BGK (2018): "Verzeichnis anerkannter Prüflabore der BGK". Die jeweils aktuell anerkannten [Prüflabore](#) sind auf der Internetseite der BGK angegeben. Für Untersuchungen im abfallrechtlich geregelten Umweltbereich müssen Labore darüber hinaus in einem Bundesland notifiziert sein. Einen Überblick zu aktuellen Notifizierungen der Labore findet sich auf der Internetseite <https://www.resymesa.de/resymesa/Allgemein/Home>.

[16] BGK (2020): Musterprüfzeugnis der RAL-Gütesicherung der BGK-Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln. [Musterprüfzeugnis](#) Kompost mit [Erläuterungen](#).

[17] BKV - Kunststoff, Konzepte, Verwertung (2020): "Vom Land ins Meer - Modell zur Erfassung landbasierter Kunststoffabfälle". [Studie](#) der Conversio im Auftrag der BKV GmbH, Frankfurt. Vierte überarbeitete Version, April 2020.

[18] Braun, Dr. Ulrike (2018): Mündl. Mitteilung

[19] Braun, Dr. Ulrike et al. (2018): Mikroplastik-Analytik Probenahme, Probenaufbereitung und Detektionsverfahren. [Diskussionspapier](#) im Rahmen des Forschungsschwerpunktes 'Plastik in der Umwelt - Quellen, Senken, Lösungsansätze', Oktober 2018.

[20] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (2015): "Mikroplastik in Lebensmitteln". Stellungnahme des Bundesinstituts vom 30.04.2015. Weitere Information: [Stellungnahme des BfR Nr. 013/2015](#).

[20a] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (2018): Gibt es ein Gesundheitsrisiko für den Menschen durch Mikroplastik?, Mitteilung des Bundesinstituts vom 29.10.2018. Weitere Information: [Mitteilung des BfR Nr. 33/2018](#).

[21] Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) (2017): "Repräsentative Untersuchungsstrategien für ein integratives Systemverständnis von spezifischen Einträgen von Kunststoffen in die Umwelt" (RUSEKU). BMBF-Verbundprojekt, Laufzeit 4/2017 bis 4/2021. Weitere Information: <https://netzwerke.bam.de/ruseku>

[22] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2018): "Plastik in der Umwelt - Quellen, Senken, Lösungsansätze". BMBF-Forschungsförderung. In 18 Verbundprojekten mit etwa 100 beteiligten Institutionen und einem Gesamtbudget von 35 Mi. € ist dies eine der umfangreichsten Forschungsaktivitäten in diesem Bereich. Weitere Information: <https://bmbf-plastik.de/home>

[23] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2017): "Plastik in Böden - Vorkommen, Quellen, Wirkungen". Ressortforschungsplan 2017 des Bundesumweltminis-

teriums (BMU), UFOPLAN 2017, Projektnummer 3717722320.

[24] Bundesrat (2018): Entschließung des Bundesrates zur Vermeidung von Kunststoff-Verunreinigungen in der Umwelt bei der Entsorgung verpackter Lebensmittel. [Drucksache DS 303/18 \(B\)](#) vom 21.09.2018.

[25] Bundesregierung (2018): Antwort der Bundesregierung vom 04.06.2018 auf eine kleine Anfrage zu "Mikroplastik - Gefahr für Umwelt und Gesundheit". [Drucksache DS 19/2451](#)

[26] Bundesverband der Deutschen Sportartikel-Industrie e.V. (2017): "Mikroplastik textilen Ursprungs - Eine ganzheitliche Betrachtung: Optimierte Verfahren und Materialien, Stoffströme und Umweltverhalten" (Tex-tileMission). BMBF-Verbundprojekt. Weitere Information: <https://bmbf-plastik.de/verbundprojekt/textilemission>

[27] Essel, R. et al. (2015): Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany. Zitiert in [14].

[28] Fraunhofer-Institut UMSICHT (2018): "Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik". [Studie](#) des Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT), Oberhausen, vom 21.06.2018.

[29] Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, 2018: "Mikrokunststoffe in Komposten und Gärprodukten aus Bioabfallverwertungsanlagen und deren Eintrag in Böden - Erfassen, Bewerten, Vermeiden" (MIKOBO). [Verbundforschungsprojekt](#) im Förderprogramm BWPLUS (Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung, Förderkennzeichen BWMK18001-18007). Laufzeit: 2018 bis 2021.

[30] Kehres, Dr. Bertram (2018): "Problem Kunststoffe/Fremdstoffe in Bioabfall und Kompost - Aktuelle Situation und Lösungsansätze in Deutschland". Tagungsband Bioabfall und stoffspezifische Verwertung 2018 des Witzenhausen-Institut S. 247-261. Tagungsbeitrag.

[31] Kern, Dr. Michael; Siepenkoothen, Jörg; Neumann, Falk (2017): "BiogutRADAR - Bonitierung von Biotonnen zur Prognose von Fremdstoffgehalten im Biogut". Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Witzenhausen. Kasseler Abfallforum 2017, Tagungsbeitrag.

[32] Kern, Michael; Knappe, Florian et al. (2018): Hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung des Anlagenbestandes. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) Förderkennzeichen 3715 34 3140. Ergebnisse veröffentlicht im Tagungsband 'Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung', 2018, S.185-198. Hrsg.: Witzenhausen-Institut, Witzenhausen.

[33] Kranert, Prof. Dr. Martin et al. (2012): Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland. [Studie](#) im Auftrag

der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen: 2810HS033, März 2012.

[34] Kranert, Prof. Dr. Martin ; Gottschall, Ralf (2016): Einflussgrößen auf die separate Bioguterfassung unter besonderer Berücksichtigung der Qualität. Studie im Auftrag der EdDE-Entsorgergemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V., Köln, Februar 2016. Hrsg.: Ed-DE, Köln.

[35] Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Universität Hohenheim sowie Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft des Freistaat Sachsen und Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2018): Länderübergreifender Ringversuch Bioabfall für das Fachmodul Abfall. [Ergebnisbericht Teil 1](#), Ergebnisbericht [Teil 2](#).

[36] Landkreis Kitzingen (2017): Behälterkontrollen im Landkreis Kitzingen. Kontrollen von Biotonnen zur Feststellung der Sortenreinheit der Bioabfälle. Ergebnisbericht der Fabion GbR, Würzburg, im Auftrag des Landratsamtes Kitzingen.

[37] Liebermann, Bettina (2015): Mikroplastik in der Umwelt - Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf. Hrsg.: Österreichisches Umweltbundesamt, 2015, ISBN 978-3-99004-362-2.

[37a] Liebermann, B.; Schwabl, P. (2018): Erstmals Mikroplastik im Menschen nachgewiesen. Pilotstudie des österreichischen Umweltbundesamtes und der Medizinischen Universität Wien. [Pressemitteilung](#) vom 23.10.2018.

[38] PlastikNet (Hrsg.) (2018): PlastikNet begleitet die achtzehn Verbundprojekte des BMBF-Forschungsschwerpunkts „Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze“ wissenschaftlich. Weitere Information: [PlastikNet](#).

[39] Schleiß, Konrad (2018): Problem Kunststoffe/Fremdstoffe in Bioabfall und Kompost - Aktuelle Situation und Lösungsansätze in der Schweiz. Tagungsband Bioabfall und stoffspezifische Verwertung 2018 des Witzenhausen-Institut, S.229-246.

[40] Spiegel, 2018: "Unser täglich Plastik". Zeitschrift 'Der Spiegel', Nr. 23, 02.06.2018, S. 42-43.

[41] Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Reihe 1, 2017. Abfallentsorgung, 7.3 Abgesetzter Kompost, abgesetzte Gärrückstände nach Verwendungszweck. Summe der abgesetzten Mengen aus Bioabfall- und Grünabfallkompostierungsanlagen, kombinierten Kompostierungs- und Vergärungsanlagen sowie Biogas-/Vergärungsanlagen, ohne Klärschlammkompostierungsanlagen und sonstige biologische Behandlungsanlagen. Absatz in die Bereiche Land- und Forstwirtschaft, Landschaftsbau und Rekultivierung sowie in private Haushaltungen und andere Zwecke. Summe Kompost 3,870 Mio. t, Summe Gärrückstände 3.352 Mio. t p.a.

[42] Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Reihe 1, Abfallentsorgung 2017, 7. Biologische Behand-



lungsanlagen, 7.1 Input nach Art der Anlage, Abfallarten und Jahren. Biologische Behandlungsanlagen insgesamt (ohne Klärschlammkompostierungsanlagen und sonstige biologische Behandlungsanlagen), gesamt 14,2 Mio. t.

[43] Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Reihe 1, Abfallentsorgung 2017, 7. Biologische Behandlungsanlagen, 7.1 Input nach Art der Anlage, Abfallarten und Jahren. Hier: EAV 20 02 01 (biologisch abbaubare Abfälle), 4,787 Mio. t.

[44] Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Reihe 1, Abfallentsorgung 2017, 7. Biologische Behandlungsanlagen, 7.1 Input nach Art der Anlage, Abfallarten und Jahren. Hier: EAV 20 03 01 04 (Abfälle aus der Biotonne), 4,346 Mio. t.

[45] Technische Universität Berlin (2017): "Reifenabrieb in der Umwelt" (RAU). BMBF-Verbundprojekt, Laufzeit 8/2017 bis 7/2020. Weitere Information: <https://bmbf-plastik.de/verbundprojekt/rau>

[46] UBA (2013): Ist Mikroplastik Problematisch? Serviceseiten des Umweltbundesamtes (UBA), aufgerufen am 30.10.2018. [Link](#)

[47] Universität Bayreuth (2018): "Kunststoffe in Bioabfällen: Eine Herausforderung für die ökologische Kreislaufwirtschaft". [Pressemitteilung](#) der Universität Bayreuth vom 05.04.2018.

[48] Universität Stuttgart (2017): Entwicklung neuer Kunststoffe für eine Saubere Umwelt unter Bestimmung relevanter Eintragspfade (ENSURE). BMBF-Verbundprojekt, Laufzeit 4/2017 bis 4/2021.

[49] Weithmann, Nicolas et al. (2018): Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. Science Advances, April 2018.

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesgütegemeinschaft
Kompost e.V.

Bearbeitung

Dr. Bertram Kehres
(v.i.S.d.P.)

Anschrift

Bundesgütegemeinschaft
Kompost e.V.
Von-der-Wetteren-Straße 25
51149 Köln-Gremberghoven
Tel.: 02203/35837-0
Fax: 02203/35837-12
Email: info@kompost.de
Internet: www.kompost.de

Datum

09.06.2020