



Kunststoffe in der Umwelt

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

Redaktion:

Lilian Busse und Bettina Rechenberg unter Mitwirkung von:
Claus-Gerhard Bannick, Camilla Beulker, Annegret Biegel-Engler, Frank Brauer, Ingrid Chorus, Ulrich Claussen, Ina Ebert, Philipp Eichler, Marcus Gast, Gunnar Gohlisch, Tamara Grummt, Joachim Heidemeier, Tim Hermann, Franziska Krüger, Marcel Langner, Lars Mönch, Volker Mohaupt, Ines Oehme, Andrea Roskosch, Ralf Schmidt, Martin Schmied, Katrin Scholz, Lars Tietjen, Volker Weiss, Stefanie Werner, Marion Wichmann-Fiebig

Satz und Layout:

Atelier Hauer+Dörfler GmbH, Berlin

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:

Titel: Fotolia.com/Image'in
shutterstock.com (S. 7–9, 15, 18–19, 21, 23–25, 27, 29–30, 32, 36, 42, 43)
unsplash.com (S. 16 Martijn Baudoin, S. 12 Ivana Cajina, S. 39 Anna Kaminova, S. 37 Serge le Strat, S. 34 Sobhith Ullas)

Stand: April 2019

ISSN 2363-832X



Kunststoffe in der Umwelt

Inhalt

Einleitung	6
Allgemeines & Grundlagen	7
1.1 Was sind Kunststoffe?	8
1.2 Methoden und Untersuchungsverfahren für Kunststoffe	10
Wo finden sich Kunststoffe in der Umwelt?	13
2.1 Wasser	14
2.1.1 Meere	14
2.1.2 Binnengewässer	18
2.1.3 Trinkwasser	19
2.2 Boden	21
2.3 Luft	22
Wie gelangen Kunststoffe in die Umwelt?	23
3.1 Quellen und Eintragspfade von Land	24
3.1.1 Abfallmanagement	24
3.1.2 Klärschlämme, Komposte und Gärrückstände	26
3.1.3 Kommunales Abwasser	27
3.1.4 Mikroplastik in Wasch- und Reinigungsmitteln und Kosmetika	31
3.1.5 Reifen- und Straßenabrieb	32
3.2 Quellen und Eintragspfade von See	35
3.2.1 Schifffahrt und Fischerei	35
Übergreifende Ansätze	37
4.1 Produktdesign	38
4.2 Kunststoffen einen Wert geben	40
Fazit und Überblick	42
Empfohlene Maßnahmen des Umweltbundesamts	44
Überblick über Forschungsaktivitäten des Umweltbundesamts zu Kunststoffen in der Umwelt	49
Glossar und Abkürzungsverzeichnis	51
Anhang 1: Überblick über den Stand von Methoden und Untersuchungsverfahren zur Erfassung des Vorkommen und der Auswirkungen von Kunststoffen in der Umwelt	52
Literatur	56

Einleitung

Kunststoffe sind wichtige und wertvolle Werkstoffe. Sie werden in vielen Produkten und Produktionsprozessen eingesetzt und sind wegen ihrer breiten Anwendungsmöglichkeiten und ihrer Materialeigenschaften (zum Beispiel sind sie leicht, flexibel formbar und hygienisch) aus Haushalt und Wirtschaft nicht mehr wegzudenken. Dabei erfüllen sie oft sinnvolle Funktionen: Kunststoffe in Form von Dämmstoffen beispielsweise helfen dabei, Energie zu sparen; in Leichtbauanwendungen in Fahrzeugen tragen sie zu geringerem Treibstoffverbrauch bei. Ständig kommen neue Produkte auf den Markt, Kunststoffbedarf und -verbrauch steigen seit Jahren stark an. In den 1950er Jahren wurden weltweit etwa 1,5 Millionen Tonnen Kunststoff im Jahr produziert – im Jahr 2016 waren es bereits 348 Millionen Tonnen jährlich (inklusive Beschichtungen, Kleber, Dichtungen, ohne PET-, PA- und Polyacryl-Fasern). Das ist mehr als die 230-fache Menge – Tendenz steigend.

Kunststoffe werden in der Natur nur sehr langsam abgebaut. Gelangen sie in die Umwelt, können sie Ökosysteme und Lebewesen deshalb massiv beeinträchtigen. Kunststoffe sind überall: Immer öfter werden sie in den Meeren und auch in vielen Meerestieren gefunden. Inzwischen finden sie sich in Flüssen, Seen und Böden. Diskutiert wird auch darüber, ob Kunststoffpartikel in der Luft vorkommen, im Trinkwasser und in anderen Lebensmitteln.

Warum überhaupt gelangen so viele Kunststoffe in die Umwelt? Eine Hauptursache weltweit ist fehlendes oder unzureichendes Abfall- und Abwassermanagement. Es gibt aber noch viele weitere Quellen. Kleinste Partikel lösen sich, während das Produkt in Gebrauch ist (sogenannter Abrieb) – zum Beispiel von Autoreifen, aus Bauprodukten und beim Sanieren und Reinigen (Sandstrahlen) von (Brücken)Bauwerken, aus in der Landwirtschaft eingesetzten Folien, aber auch von Kleidung aus Kunststofffasern. Kosmetika oder Reinigungsmitteln werden oftmals bewusst Kunststoffpartikel zugegeben, um die Reinigungswirkung zu steigern oder den ästhetischen Eindruck des Produkts zu verbessern. Einige Düngemittel werden mit Kunststoff ummantelt, um die Düngewirkung zu verlängern. Aber auch durch achtloses Liegenlassen oder Entsorgen in der Natur (sogenanntes Littering) landet immer mehr Plastik in der Umwelt. Selbst

in Ländern wie Deutschland mit fortgeschrittenem Umweltbewusstsein, einem entsprechenden Umweltrecht und entsprechenden Vorschriften sowie einer gut ausgebauten Entsorgungsinfrastruktur sind deshalb Kunststoffe in der Umwelt eine große Herausforderung für den Umweltschutz.

Wo stehen wir? Und was ist zu tun? Wo gibt es weiteren Forschungsbedarf, wo können und müssen wir heute schon handeln? Mit dem vorliegenden Papier blickt das Umweltbundesamt (UBA) – bezogen auf Deutschland – darauf, ob und in welchem Ausmaß Kunststoffe in den verschiedenen Umweltmedien Wasser, Boden, Luft und den deutschen Meeresgebieten vorkommen, analysiert, woher die Kunststoffe stammen und benennt die wichtigsten Maßnahmen, um die Einträge von Kunststoffen in Deutschland zu reduzieren und den Zustand der Umwelt zu verbessern. Der Fokus liegt auf der nationalen Ebene, es wird aber die europäische und internationale Ebene mit einbezogen, wenn Maßnahmen sinnvollerweise dort anzusiedeln sind. Ein einleitendes Kapitel definiert, was Kunststoffe überhaupt sind. Es wird erklärt, welche Untersuchungsmethoden Anwendung finden oder noch zu entwickeln sind.

Als Deutschlands zentrale Umweltbehörde kümmert sich das Umweltbundesamt darum, dass es in Deutschland intakte Ökosysteme und eine gesunde Umwelt gibt, in der Menschen so weit wie möglich vor schädlichen Umwelteinwirkungen, wie Schadstoffen in Luft oder Wasser, geschützt leben können. Das Umweltbundesamt versteht sich als ein Frühwarnsystem, das mögliche zukünftige Beeinträchtigungen des Menschen und der Umwelt rechtzeitig erkennt, bewertet und praktikable Lösungen vorschlägt. Das Problem der Kunststoffe in der Umwelt hat viele Facetten, und nicht alle können hier angesprochen werden. Zum Beispiel betreffen mögliche Auswirkungen von Kunststoffen in Lebensmitteln oder Kosmetika den Bereich der Lebensmittelsicherheit oder des gesundheitlichen Verbraucherschutzes und werden daher in diesem Papier nicht behandelt.

The background of the entire slide is a dense, textured field of small, translucent blue capsules, similar to those used in pharmaceuticals or food supplements. They are scattered across the frame, creating a complex, organic pattern.

1

Allgemeines & Grundlagen



1.1 Was sind Kunststoffe?

Umgangssprachlich werden Kunststoffe oft als Plastik bezeichnet, eine Adaptation des englischen Begriffes „plastics“.

Aus werkstoffwissenschaftlicher Sicht sind Kunststoffe eine Teilgruppe der Polymere. Polymere sind der Hauptbestandteil von Kunststoffen, neben geringen Anteilen von Additiven und/oder Füllstoffen, welche die funktionalen Eigenschaften der verschiedenen Polymere optimieren. Ein Polymer besteht aus einer sich wiederholenden Struktureinheit. In der Praxis wird erst ab Molmassen von > 10.000 Dalton von Polymeren oder auch Makromolekülen gesprochen. Die Verarbeitung und die Eigenschaften von Polymeren werden hauptsächlich durch die Verknüpfung der Polymerketten bestimmt. Deshalb erfolgt eine Differenzierung von Polymeren durch ihren Verknüfungsgrad:

- ▶ Thermoplasten (isolierte Ketten)
- ▶ Duroplasten (engmaschig verknüpftes Polymer Netzwerk)
- ▶ Elastomere (weitmaschig verknüpfte Polymerketten)

Mit dem Begriff Kunststoff werden definitionsgemäß eigentlich nur die thermoplastischen und duroplastischen Materialien erfasst. Die ebenfalls aus synthetischen Polymeren aufgebauten Elastomere (z. B. Styrol-Butadien-Kautschuk), chemisch modifizierte natürliche Polymere (z. B. Viskose, Cellophan) sowie auf synthetischen Polymeren basierende Produkte (z. B. Fasern, Lacke, Reifen) können sich in der Umwelt jedoch wie thermoplastische und duroplastische Kunststoffe verhalten und auch aus ihnen können Mikropartikel entstehen. Sie werden deshalb ebenfalls unter dem Begriff „Mikroplastik“ gefasst.

Eine weitere Differenzierung z. B. nach Herkunft der polymeren Bausteine (synthetische Polymere versus natürliche Polymere) oder der Degradierbarkeit unter definierten Bedingungen (bioabbaubare Polymere versus nicht bioabbaubare Polymere) ist ebenfalls möglich.

Die „Verordnung (EU) Nr. 10/2011 vom 14. Januar 2011 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen“ definiert in Art. 3:

(als) ein Polymer, dem möglicherweise Zusatzstoffe oder andere Stoffe zugesetzt wurden und das als Hauptstrukturbestandteil von fertigen Materialien und Gegenständen dienen kann.

Keine Kunststoffe im Sinne der Definition stellen flüssige synthetische Polymere (z. B. Silikonöl) oder wasserlösliche Polymere (z. B. Tenside) dar. Diese sind zwar Polymere, jedoch kein „Kunststoff“ im engeren Sinne, da sie weder Werkstoffe zur Herstellung von Erzeugnissen sind, noch feste Partikel bilden.

Das Umweltbundesamt versteht unter Kunststoffen feste Werkstoffe, die hauptsächlich aus synthetisch hergestellten oder chemisch bzw. biologisch modifizierten natürlichen Makromolekülen bzw. Polymeren bestehen. Sie enthalten weitere Stoffe wie Additive (z. B. Antioxidantien, Verarbeitungshilfsstoffe) oder Füllstoffe (z. B. Kalk, Glasfasern), die zugegeben werden, um die funktionalen Eigenschaften der verschiedenen Polymere zu optimieren. Flüssige Polymere fallen nicht unter diese Definition.



Größe und Form

Für die Bewertung der Umweltrelevanz sowie in der Forschung und Methodenentwicklung ist eine Klassifizierung nach Größe ein entscheidender Faktor. Kunststoffe bzw. Kunststoffpartikel können abhängig von ihrem Ursprung in unterschiedlicher Größe in der Umwelt vorhanden sein. Sie lassen sich nach ihrer Größe in Makro-, Meso- und Mikroplastik klassieren. Die Europäische Technische Arbeitsgruppe zu Müll im Meer, (EU MSFD Technical Group on Marine Litter, TG ML) hat folgende Klassifizierung der Größe vorgeschlagen, die sich allgemein durchgesetzt hat (GESAMP 2015, EC 2017):

- > 25 mm → Makroplastik
- > 5–25 mm → Mesoplastik
- > 5 mm und kleiner → Mikroplastikpartikel
(eine Untergrenze ist nicht festgelegt)

Im Bereich der internationalen Normung wird nur noch zwischen Mikro- und Makroplastik unterschieden. Bei Mikroplastik erfolgt eine Differenzierung zwischen großem (1–5 mm) und kleinem (1–1.000 µm) Mikroplastik. Zusätzlich zu diesen Größenklassen wurden noch Randbedingungen für die Form von Kunststoffen (z. B. räumliche Ausdehnung) vereinbart. In dieser Definition sind Kunststoffpartikel kleiner 1 µm nicht weiter differenziert.¹

Makroplastik fragmentiert durch mechanische, physikochemische oder biologische Prozesse auf lange Sicht zu Meso- und dann zu Mikroplastikpartikeln. Auf diese Weise entstandene Mikroplastikpartikel werden als **sekundäres Mikroplastik** bezeichnet. Als sekundäres Mikroplastik werden weiterhin Plastikpartikel bezeichnet, die während der Nutzung von Produkten entstehen (z. B. Fasern und Reifen- und Farbabrieb). Als **primäres Mikroplastik** werden dagegen Mikropartikel aus Kunststoff bezeichnet, die für ihre jeweiligen Einsatzzwecke zielgerichtet hergestellt und eingesetzt werden (z. B. in Kosmetika und Reinigungs- sowie Strahlmitteln).

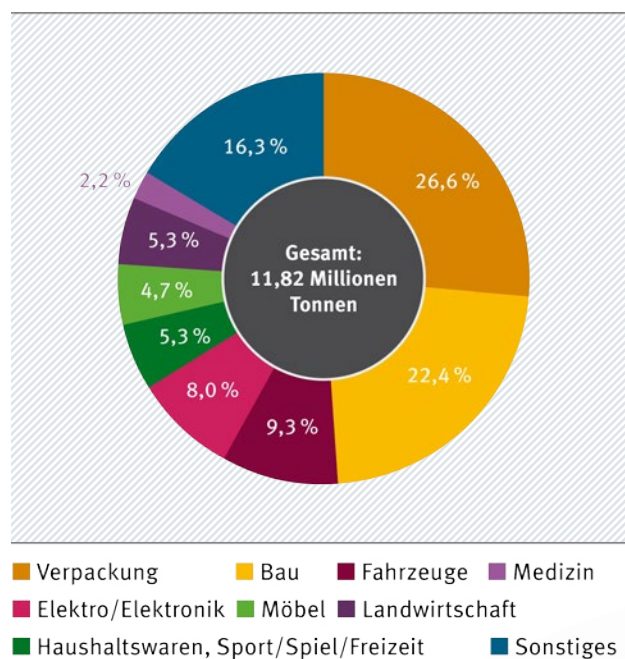
Stoffliche Eigenschaften und Anwendungsbereiche

Wichtige Merkmale von Kunststoffen sind ihre technischen Eigenschaften: Formbarkeit, Härte, Elastizität, Bruchfestigkeit, Temperatur- und Wärmeformbeständigkeit sowie chemische Beständigkeit, die sich durch die Wahl der Makromoleküle, Herstellungsverfahren und in der Regel durch Beimischung von Additiven in weiten Grenzen variieren lassen.

Kunststoffe werden aufgrund dieser Eigenschaften in zahlreichen Produkten eingesetzt. Haupteinsatzbereiche sind Verpackungen und Bauanwendungen, gefolgt – wenngleich mit einigem Abstand – von Fahrzeugen sowie Elektro-/Elektronikprodukten. Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2017 etwa zwölf Millionen Tonnen Kunststoffe in Produkten eingesetzt (Siehe Abbildung 1).

Abbildung 1

Kunststoffverbrauch nach Anwendungsbereichen in Deutschland 2017



Quelle: Umweltbundesamt, eigene Darstellung nach Conversio Market & Strategy GmbH 2018.

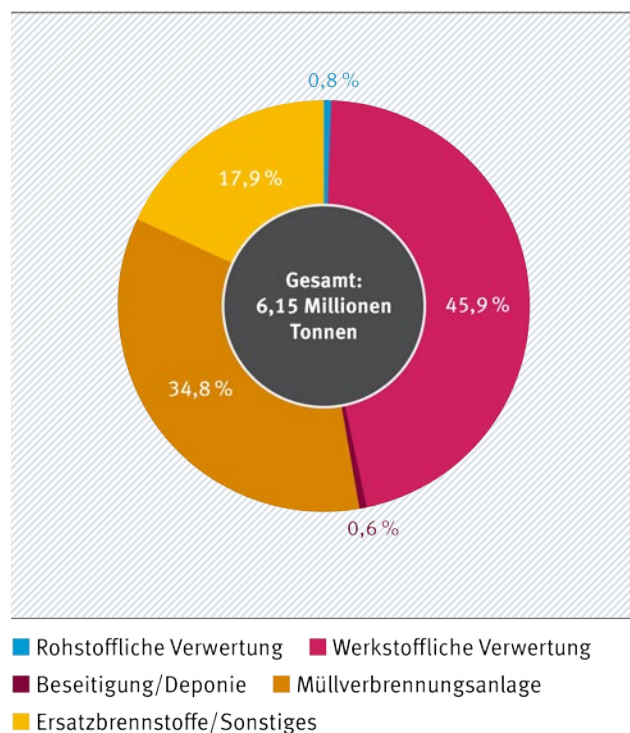
¹ Plastics in the Environment – Current state of knowledge and methodologies
SOURCE: ISO/TC 61/SC 14 – ISO/TR 21960 – DTR ballot

Je nach Anwendungsbereich unterscheiden sich Kunststoffprodukte hinsichtlich ihrer Lebens- und Nutzungsdauer. Sehr kurzlebige Kunststoffprodukte wie z. B. Verpackungen haben meist nur eine Lebensdauer von wenigen Minuten bis Monaten. Dagegen bleiben langlebige Produkte über mehrere Jahre (z. B. Fahrzeuge, Elektrogeräte) oder auch über Jahrzehnte im Einsatz (z. B. Bauprodukte), bevor sie als Abfall anfallen.

In Deutschland fielen im Jahr 2017 insgesamt etwas mehr als sechs Millionen Tonnen Kunststoffabfälle an. Davon wurden knapp 47 Prozent stofflich (im In- und Ausland) und knapp 53 Prozent energetisch verwertet² (Siehe Abbildung 2).

Abbildung 2

Verwertung von Kunststoffabfällen (inkl. Produktions- und Verarbeitungsabfällen) in Deutschland im Jahr 2017



Quelle: Umweltbundesamt eigene Darstellung nach
Conversio Market & Strategy GmbH 2018.

Im Vergleich dazu wurden in Europa insgesamt (EU 28 plus Norwegen und Schweiz) 2016 im Durchschnitt 31,1 Prozent der 27,1 Mio. t Kunststoffabfälle stofflich verwertet, 41,6 Prozent zur Energiegewinnung genutzt und 27,3 Prozent deponiert. Hierbei ist zu beachten, dass diese Zahlen sich auf Kunststoffabfälle beziehen, die beim privaten oder gewerblichen Endverbraucher angefallen sind (sog. Post-Consumer-Abfälle). Die entsprechenden Zahlen für Deutschland finden sich in Fußnote 2.



1.2 Methoden und Untersuchungsverfahren für Kunststoffe

Die große Vielfalt an Methoden und Untersuchungsansätzen in wissenschaftlichen Arbeiten führt dazu, dass übergreifende und vergleichende Aussagen aktuell nur sehr eingeschränkt möglich sind – daher ist es notwendig, einheitliche Methoden und Untersuchungsansätze zu etablieren.

Um Kunststoffe in der Umwelt, die Einträge und die Transportwege innerhalb von Umweltmedien und von einem Umweltmedium in das andere bewerten zu können, müssen Daten ermittelt werden, die miteinander vergleichbar sind. Dazu müssen sie mit **harmonisierten bzw. standardisierten und validierten Untersuchungsverfahren** erhoben werden. Grundsätzlich sind chemische, physikalische und biologische (öko- und humantoxikologische) Verfahren zu unterscheiden.

Neben analytischen Untersuchungsverfahren im Labor kommen auch Feldmethoden zum Einsatz, die wesentlich auf Basis visueller Beurteilungen erfolgen. Die Methoden variieren je nach Fragestellung, die zu beantworten ist (z. B. qualitativer Nachweis von Kunststoff in der Umwelt, Anzahl von Kunststoffpartikeln, quantitative Erfassung verschiedener Kunststoffsorten in der Umwelt, Degradationszustand der Kunststoffpartikel, ökologische und sozioökonomische Auswirkungen). Ein universelles Untersuchungsverfahren für alle Fragestellungen zu Kunststoffen in der Umwelt kann es daher nicht geben (siehe auch BMBF 2018).

² Betrachtet man nur die Kunststoffabfälle, die beim gewerblichen oder privaten Endverbraucher angefallen sind (sog. Post-Consumer-Abfälle), so waren es 2017 5,2 Millionen Tonnen. Davon wurden 38 Prozent werkstofflich, knapp 1 Prozent rohstofflich und etwa 60 Prozent energetisch verwertet. 0,7 Prozent wurden beseitigt/deponiert (etwa als nicht trennbarer Bestandteil in mineralischen Bauabfällen).

Die ermittelten Daten sind Grundlage für die adäquate Betrachtung und Beurteilung von Kunststoffen in der Umwelt, d. h. für eine regelmäßige Erfassung der Quellen, der Eintragspfade und der Eintragsmengen sowie des Vorkommens, Verhaltens und der Auswirkungen. Mit solchen Daten, die nach gleicher Methodik in unterschiedlichen Bereichen erhoben wurden, ist dann auch eine Berechnung der Stoffströme von Kunststoffen innerhalb von Umweltmedien und von einem Umweltmedium in das andere möglich (z. B. über die Flüsse ins Meer). Mit diesem Vorgehen kann außerdem die Wirksamkeit von Maßnahmen überprüft werden, die der Reduktion der Einträge von Kunststoffen dienen sollen.

Grundlage der Erarbeitung solcher Verfahren sind Daten und Informationen:

- ▶ zur Repräsentativität der Verfahren in Bezug auf das untersuchte Medium,
- ▶ zur Wiederfindung bzw. zu den Nachweis- und Bestimmungsgrenzen,
- ▶ zur Wiederholbarkeit,
- ▶ zu den Grenzen der Anwendbarkeit der Methode,
- ▶ zu den Schwankungsbreiten der Ergebnisse (z. B. aufgrund des Probenahmefehlers, interner Laborfehler oder Variationen des Untersuchungsgegenstandes).

Weitere wichtige Aspekte insbesondere im legislativen Bereich sind die Dauer der Verfahren bis zur Ergebnisvorlage, die Kosten, die Umweltverträglichkeit (z. B. Ausschluss der Anwendung bestimmter Chemikalien) und die praktische Durchführbarkeit.

Dabei ist wichtig, Verfahren für die spezifische Beprobung von Wasser, Boden, Luft und Biota zu entwickeln und die jeweils relevanten Effekte zu erfassen. Probenahme, Aufbereitung und Analytik sollten vergleichbar und qualitätsgesichert sein. Die Ergebnisse müssen statistisch gesicherte Aussagen ermöglichen. Modellierungsansätze zu Einträgen und Verteilung sowie zur Anreicherung in der Umwelt können eine sinnvolle Ergänzung sein. Analysen zur zeitlichen Veränderung der Kunststoffvorkommen in den verschiedenen Umweltmedien sind ein wichtiger Aspekt, um einschätzen zu können, wie wirksam und effizient bestimmte Maßnahmen sind.

Die Entwicklung von Methoden, die den oben genannten Anforderungen entsprechen, wird gerade in einem

vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten **Forschungsschwerpunkt zu Plastik in der Umwelt** und im Bereich Meeresschutz innerhalb der JPI-Oceans-Initiative auf EU-Ebene, die auch vom BMBF gefördert wird, vorangetrieben. In einer weiteren Initiative wird dieses Thema vom UBA gemeinsam mit den Küstenbundesländern diskutiert.

Die große Methodenvielfalt und Verschiedenheit von Untersuchungsansätzen, die aktuell auch in wissenschaftlichen Arbeiten angewendet werden, führen dazu, dass übergreifende und vergleichende Aussagen aktuell nur sehr eingeschränkt möglich sind.

Der Stand der Methodenentwicklung sowie die Arbeiten des UBA dazu werden im Anhang 1 detaillierter dargelegt für:

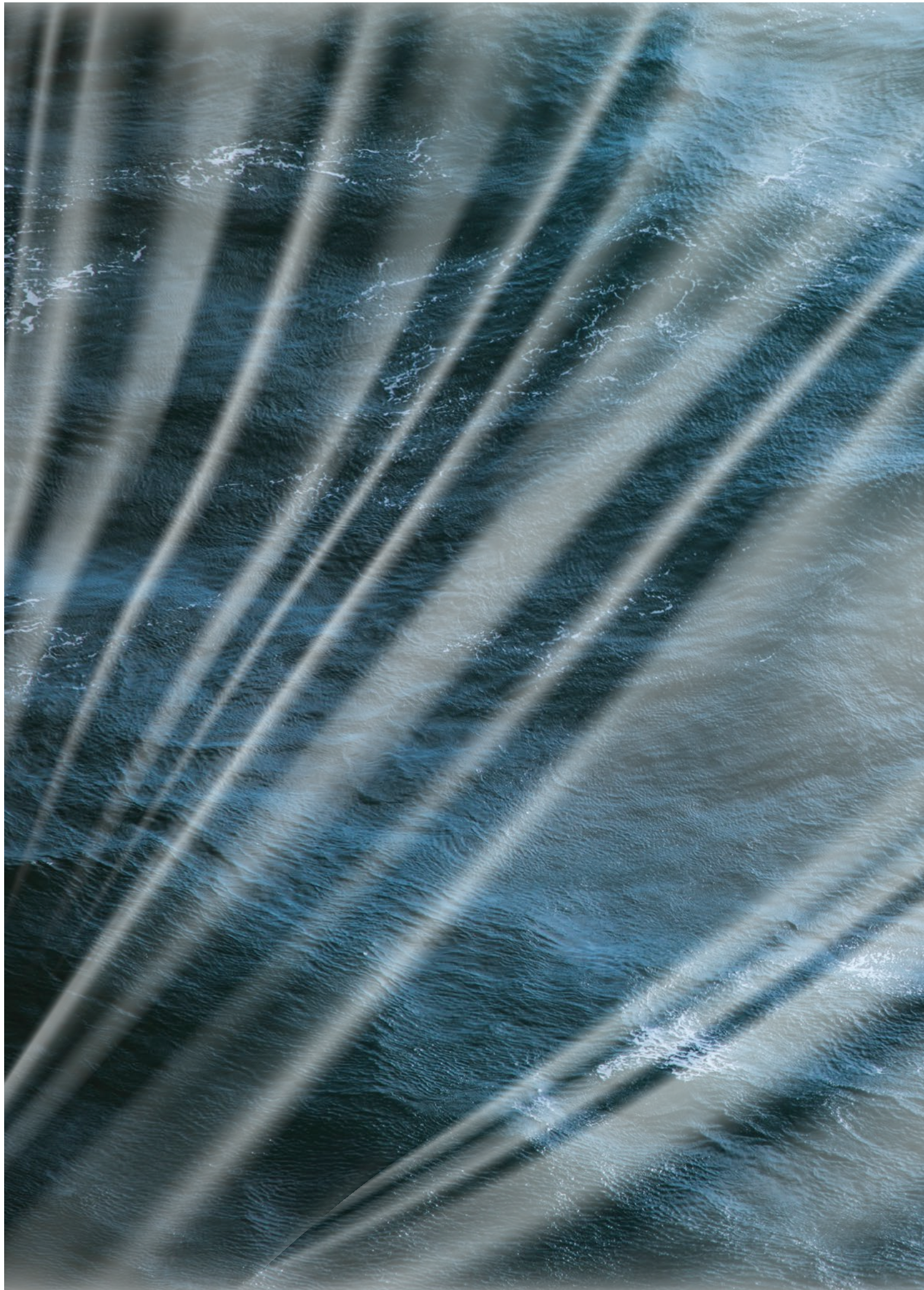
- ▶ analytische Methoden (chemische und physikalische Methoden) im Labor,
- ▶ Feldmethoden (teilweise gekoppelt mit Analyseverfahren im Labor) im Bereich Meeresschutz,
- ▶ ökotoxikologische Testverfahren und
- ▶ humantoxikologische Testverfahren.

Es ist sowohl bei den bereits bestehenden Verfahren als auch für zukünftige Empfehlungen der verschiedenen Analysenverfahren zu berücksichtigen, dass die Verfahren verschiedene Aussagen (z. B. Partikelzahl, Massenfraktionen) zum Untersuchungsgegenstand liefern als auch den Untersuchungsgegenstand unterschiedlich definieren (z. B. Größe, Wirkung). Das ist beim Vergleich und der Diskussion der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Die Etablierung harmonisierter bzw. standardisierter Untersuchungsverfahren auf allen oben genannten Gebieten ist dringend erforderlich. UBA beteiligt sich aktiv an mehreren vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben zur Erarbeitung von geeigneten Probenahmestrategien, Untersuchungsmethoden und Bewertungskonzepten und fördert selbst auch Forschungsvorhaben, die methodische Fragestellungen zur Aufgabe haben.

Da es sich beim Thema Kunststoffe in der Umwelt um ein internationales Thema mit globalen Verteilungsmustern handelt, ist die Erarbeitung von international anerkannten Verfahrensvorschriften notwendig (ISO, CEN, OECD) (siehe auch Anhang 1).



An aerial photograph of a dark blue, turbulent ocean. A large, white, stylized number '2' is superimposed on the right side of the image. The water shows significant white foam and churning, likely from a ship's wake, creating a sense of movement and depth. The lighting is dramatic, with bright highlights on the white foam and deep shadows in the blue water.

2

**Wo finden sich
Kunststoffe in der
Umwelt?**



2.1 Wasser

2.1.1 Meere

In Meeren – auch in deutschen Küstengewässern – findet sich überall zu viel Müll, vor allem Kunststoffe. Der „gute Umweltzustand“ wird nicht erreicht.

Etwa 75 Prozent des gefundenen Mülls in den Meeren und an Stränden sind Kunststoffe. Den Rest machen Materialien wie Gummi, Metalle, Stoffe und Textilien, Glas, Holz oder Papier aus. Kunststoffteile werden durch den Wind und Meeresströmungen grenzüberschreitend über lange Strecken transportiert. Neben größeren Müllteilen wie Plastiktüten oder -flaschen, Fischkisten oder verlorenen oder verlassenen Netzen (sogenannten Geisternetzen) bekommt Mikroplastik eine immer größere Umweltbedeutung und wird regelmäßig in Meeresorganismen nachgewiesen.

Die EU Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL (2008/56/EG)) verpflichtet die Mitgliedstaaten, die Belastung der Meeresgebiete durch Meeresmüll zu überwachen. Die folgende Tabelle enthält Monitoringdaten von Müll in verschiedenen Meereskompartimenten. Sie stammen aus regulären Monitoringaktivitäten an Stränden (im Spülsaum) und am Meeresboden der deutschen Nord- und Ostsee sowie der Mageninhalte von Eissturmvögeln, die die Belastungssituation mit Kunststoffteilen an der Meeresoberfläche der deutschen Nordsee abbilden.

Um Vorkommen und Auswirkungen von Kunststoffen in den Meeren zu bestimmen, werden seit einigen Jahren zusätzliche Daten durch Pilotmonitoring-Projekte erhoben. Zwar lassen sich hier infolge des kurzen Erhebungszeitraums noch keine Trends ableiten, doch

Tab. 1

Vorkommen von Müll in den verschiedenen Meereskompartimenten

Kompartiment	Müll im Spülsaum	Müll im Spülsaum	Müll an der Meeresoberfläche	Müll am Meeresboden	Müll am Meeresboden
Untersuchungszeitraum	2009–2014	2011–2015	2010–2014	2011–2016	2012–2015
Untersuchungsgebiet	Nordsee	Ostsee	Nordsee	Südliche Nordsee	Ostsee
Methodik	Guideline for Monitoring Marine Litter on the beaches on the OSPAR Maritime Area (2010)	Guideline for Monitoring Marine Litter on the beaches on the OSPAR Maritime Area (2010)	OSPAR Guidelines for monitoring of plastic particles of fulmars in North Sea Area (2015)	Erfassung im Rahmen der International Bottom Trawl Surveys (IBTS)	Erfassung im Rahmen der Baltic International Trawl Surveys (BITS)
Müll	Mittlere Anzahl von 389 Müllteilen/100 m Strandabschnitt (saisonale Erfassung)	Mittlere Anzahl von 47 Müllteilen/100 m Strandabschnitt (saisonale Erfassung)	Kunststoffteile in 94 % der Mägen von Eissturm-vögeln, im Durchschnitt 38 Kunststoffteile mit einer Masse von 0,31 g	400 Müllteile (in 339 Grundschleppnetzholts innerhalb der 12 Seemeilen-Zone) 6.35 ± 11.5 kg/km ²	200 Müllteile (in 289 Grundschleppnetzholts innerhalb der 12 Seemeilen-Zone)
Anteil von Kunststoffen an den Gesamtfundstücken	88,6 %	69 %	–	91,3 %	42,0 %

Quelle: nationale Monitoringaktivitäten

geben die Befunde zusätzliche Anhaltspunkte zur Gesamtbelastungssituation. Erste Daten aus dem Wattenmeer der Nordsee weisen darauf hin, dass Mikroplastik überall – in allen Kompartimenten – zu finden ist. Erste Untersuchungen in der Ostsee legen ebenfalls eine weite Verbreitung von Mikroplastik nahe.

In einer **UBA-Studie** (2016) wurde der Verdauungstrakt von 258 im Freiwasser lebenden und 132 am Meeresboden lebenden Fischen verschiedener Arten aus Nord- und Ostsee qualitativ und quantitativ auf Kunststoffe untersucht. In 69 Prozent der Fischproben wurde kleines Mikroplastik unter 1 Millimeter Größe nachgewiesen (Scholz-Böttcher & Gerken, in Vorbereitung). Bei anderen Untersuchungen wurden sowohl Mikro-, Meso- als auch Makropartikel in Fischmägen nachgewiesen (Werner et al. 2016).

Eine **UBA-Studie in der Basstölpelkolonie auf Helgoland** in den Jahren 2014 und 2015 zeigte, dass 97 Prozent der Nester Kunststoffe enthielten. Es handelte sich vor allem um Materialien aus der Fischerei (z. B. Netzreste, Leinen, Schnüre und Scheuerschutz von Schleppnetzen), Taue und Verpackungen (Dürselen et al., in Vorbereitung).

Wie groß ist das Problem?

Das Ziel gemäß MSRL ist der „gute Umweltzustand“ in den Meeren. Das bedeutet mit Blick auf den Deskriptor 10 (Müll im Meer), dass *„die Eigenschaften und Mengen der Abfälle im Meer ... keine schädlichen Auswirkungen auf die Küsten- und Meeresumwelt“* haben³.

Die aktuelle Lage sieht anders aus: Laut einer **aktuellen Publikation der EU Technical Group Marine Litter** sind 817 marine Arten regelmäßig von schädlichen Auswirkungen des Mülls im Meer betroffen, darunter 519 von der Verstrickung oder Strangulierung und dem Verschlucken von Müllteilen. Vor allem Verpackungsmaterialien und ring- und schnurartige Müllteile sowie Netzreste, Leine und Taue bergen ein hohes Gefährdungspotenzial für marine Lebewesen. Circa 17 Prozent dieser Arten stehen auf der Roten Liste oder sind bereits als bedroht oder gefährdet eingestuft (Werner et al. 2016).

Eissturmvögel gelten in der Nordsee als Indikatorart für die Aufnahme von Plastikpartikeln auf der Meeresoberfläche. 94 Prozent der an Stränden der deutschen Nordsee tot aufgefundenen Eissturmvögel haben Kunststoffe im Magen, 62 Prozent davon mehr als 0,1 Gramm (Untersuchungszeitraum 2010–2015). Damit wird das ökologische Qualitätsziel, welches unter OSPAR entwickelt wurde und vorsieht, dass maximal 10 Prozent der Vögel nicht mehr als 0,1 Gramm im Magen aufweisen sollen, weit verfehlt.

3 Anhang I MSRL, Deskriptor 10





Bei **Untersuchungen der Basstölpelbrutkolonie** auf Helgoland wurde ermittelt, wie viele der jungen, noch nicht geschlechtsreifen Basstölpel sich in Müll verstricken und strangulieren, der durch die Elterntiere in die Nester eingetragen wird. Dadurch starben während der Brutsaisons 2014 und 2015 zwei bis fünfmal so viele Jungvögel wie in anderen Jahren (Dürselen et al., in Vorbereitung).

Für die Ostsee konnte bislang noch keine Indikatorart identifiziert werden. Deshalb sind für die Ostsee derzeit keine vergleichbaren Aussagen möglich.

In der Gesamtbetrachtung stellt das **OSPAR Intermediate Assessment 2017** für die Nordsee fest, dass Müll an der Küste ubiquitär (d. h. überall) vorhanden und am Meeresboden weit verbreitet ist. Kunststoffe in Mägen von Eissturmvögeln liegen weit über dem ökologischen Schwellenwert für die Nordsee. Abnehmende Trends in der Müllbelastung der Strände und von Kunststoffpartikeln in Eissturmvogelmägen sind im Beobachtungszeitraum 2009 bis 2014 nicht festzustellen⁴.

Der **HELCOM State of the Baltic Sea Bericht** aus dem Jahr 2017 konstatiert, dass etwa 70 Prozent der Müllfunde an Stränden der Ostseeanrainer aus Kunststoffen bestehen. Ein zeitlicher Trend lässt sich aufgrund des kurzen Untersuchungszeitraums noch nicht ableiten. Die Belastung der deutschen Nord- und Ostseegewässer mit Meeresmüll entspricht den regionalen Befunden.

Demnach sind die deutschen Gewässer der Nord- und Ostsee auch im zweiten MSRL-Bewertungszeitraum zu stark durch Müll belastet und der „Gute Umweltzustand“ ist deshalb nicht erreicht.

Meeresmüll hat zudem soziökonomische Auswirkungen auf maritime Sektoren und insbesondere auf die Fischerei, die Schifffahrt (Navigationssicherheit) und den Tourismus sowie auf Küstengemeinden. Für Strandreinigungen können hohe Kosten entstehen, in Deutschland bis zu 65.000 €/km Strand jährlich (Holzhauer 2016). Darüber hinaus wird Müll in der Meeresumwelt als störend angesehen und kann die menschliche Gesundheit gefährden (Verletzungsgefahr).

⁴ Siehe <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017/>

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Gemeinsam mit den fachlich zuständigen Behörden in Schleswig-Holstein und Niedersachsen leitet das UBA die nationale **Bund-Länder Fach-AG „Abfälle im Meer“**. Diese AG hat die Aufgabe, die EU MSRL im Hinblick auf Meeresmüll mit wissenschaftlichem Fokus auf Monitoring- und Bewertungsaspekte umzusetzen. In diesem Zusammenhang lässt das UBA in verschiedenen Forschungsvorhaben Monitoringverfahren entwickeln und auf Praxistauglichkeit prüfen. Ziel ist, geeignete Methoden zur Langzeitüberwachung der Belastung verschiedener Meeresbereiche und Lebewesen durch Meeresmüll (einschließlich Kunststoff und Mikroplastik) vorzubereiten und zu etablieren. Zusätzlich wird die Datenlage verbessert.

Das UBA hat weiterhin eine Ko-Leitungsfunktion in der **EU Technical Group on Marine Litter**, die Empfehlungen für adäquate und harmonisierte Monitoringverfahren erarbeitet hat, um die EU Mitgliedsstaaten in der Umsetzung der MSRL für Deskriptor 10 zu unterstützen. Weiterhin wurden Berichte zu den Quellen und Auswirkungen von Meeresmüll vorgelegt; gegenwärtig liegt der Schwerpunkt der Arbeitsgruppe auf der der Ableitung ökologischer Schwellenwerte und der Aktualisierung der Monitoringprotokolle. Die Ableitung der Schwellenwerte wird durch die Vorgaben der überarbeiteten Kommissionsentscheidung (EU 2017/848) erforderlich, welche Kriterien und methodische Standards für die MSRL festlegt. Sie sollen die Grenze zwischen gutem und unbefriedigendem Umweltzustand gemäß MSRL festlegen. Monitoringprotokolle legen fest, wie das Monitoring durchzuführen und dokumentieren ist.

Das UBA war maßgeblich an der Entwicklung der **Regionalen Aktionspläne gegen Meeresmüll** für Nord- und Ostsee unter OSPAR und HELCOM beteiligt. Es wirkt aktiv und koordinierend bei deren Umsetzung mit und unterstützt das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) weiterhin fachlich in der Umsetzung der G7/G20 Aktionspläne gegen Meeresmüll. Alle genannten Aktionspläne haben das Ziel, weitere Einträge von Meeresmüll aus land- und seebasierten Quellen zu verhindern und vorhandene Mengen von Müll in den Meeren auf ökologisch vertretbare Art und Weise zu reduzieren. Die Entfernung von Abfällen aus der Meeresumwelt erfasst immer nur kleine Mengen, ist zeit- sowie kostenintensiv und birgt ökologische Risiken wie beispielsweise den Beifang von Meeresorganismen

und die Schädigung von Lebensgemeinschaften sowie Habitaten. Daher hat die Vermeidung weiterer Einträge oberste Priorität. Die Aktionspläne zielen außerdem auf Bewusstseinsbildung der allgemeinen Öffentlichkeit und verursachenden Sektoren (z. B. Fischerei, Schifffahrt, Abfall- und Abwasserwirtschaft) und Forschungsnotwendigkeiten ab.

Das UBA ist neben dem BMU und dem Umweltministerium Niedersachsens einer der Initiatoren und Schirmherrschaften des nationalen **Runden Tisches Meeresmüll**, der die entsprechenden Maßnahmen des nationalen MSRL-Maßnahmenprogramms zu Deskriptor 10 aus dem Jahr 2016 weiter vorantreiben soll. Das UBA betreut die Arbeitsgruppe, die sich mit den landbasierten Einträgen von Meeresmüll beschäftigt. Niedersachsen leitet die Arbeitsgruppe zu seebasierten Einträgen⁵.

Über **Verbändeförderungsprojekte** von BMU und UBA wurden u. a. die Fishing-for-Litter Initiative an der deutschen Nordsee- und Ostseeküste initiiert, Pilotprojekte zu kommunalen Maßnahmen gegen Meeresmüll in Küstenkommunen ins Leben gerufen und zahlreiche Bildungsmaterialien entwickelt. Zum Themenkomplex Meeresmüll sind weitere Projekte mit Verbänden geplant.

Aus UBA-Sicht besteht insbesondere Forschungsbedarf inwiefern die Aufnahme von Kunststoffpartikeln durch Meereslebewesen zusätzlich zu den bekannten negativen mechanischen Auswirkungen einen **potenziellen Transfer der darin enthaltenen chemischen Substanzen (Additive) und der Schadstoffe**, die sich aus dem Meerwasser an ihnen anreichern, innerhalb des marinen Nahrungsnetzes bewirkt. Dieser Transfer wurde in Laborexperimenten beobachtet. Ob sich dieser kausale Zusammenhang auch im Freiland herstellen lässt, wo die Exposition mit Kunststoffpartikeln deutlich geringer ist, bedarf einer wissenschaftlichen Klärung. Auch der Stellenwert dieses möglichen Pfads im Verhältnis zur Belastung aus anderen Schadstoffquellen sollte Forschungsthema sein. Des Weiteren muss geklärt werden, in welchem Ausmaß Kunststoffmüll im Meer und seine Zersetzungsprodukte die **Einwanderung, den Transport und die Ausbreitung von nicht-einheimischen Arten und Krankheitserregern** unterstützt.

⁵ siehe <https://muell-im-meer.de/meeresmuell-ueberuns-ergebnisse>

2.1.2 Binnengewässer

Wie groß das Problem der Kunststoffbelastung der Binnengewässer ist, ist derzeit nicht bekannt – es fehlt an aussagekräftigen Studien, die die Wirkung der Kunststoffe untersuchen.

Das Forschungsfeld „Kunststoff in Binnengewässern“ ist erst vor kurzem in den umweltpolitischen Fokus gerückt. Dementsprechend sind Standards und Normen für die Probenahme und die Analysemethoden noch nicht vereinbart: Bislang geben Umweltuntersuchungen lediglich Partikelanzahlen in einzelnen Gewässern wieder (UBA, 2017). Die vorhandenen Daten geben keine Massen an und decken die Flüsse und Seen nicht in ihrer Breite und Vielfalt ab. In einer der wenigen übergreifenden Untersuchungen kamen fünf Bundesländer aber 2018 zu dem Ergebnis, dass Mikroplastik an allen untersuchten Messstellen in den Einzugsgebieten von Rhein, Donau sowie der Weser nachweisbar ist (LANUV, 2018).

Neben einem fundierten räumlichen Überblick fehlen auch zeitliche Vergleiche. Die Messdaten sind in der Regel die Ergebnisse punktueller Untersuchungen. Es gibt derzeit nur wenige systematische Studien zu Eintragsquellen von Kunststoffen in den Einzugsgebieten der Flüsse und Seen. Auch die Art und Weise, wie sich Kunststoffe in Binnengewässern verhalten und wie sie zu kleineren Partikeln fragmentieren, ist bislang kaum untersucht. Ebenso fehlen gesicherte Daten über den Transport von Kunststoffen in Binnenwässern und ihre Verlagerung in Sedimente der Flüsse und Seen. Auch zu dem Eintrag von Kunststoffen aus Flüssen in die Meere gibt es bisher wenige Erkenntnisse.

Wie groß ist das Problem?

Plastik in Flüssen, Seen und an ihren Ufern sind zum einen ein ästhetisches Problem – wir meiden die verschmutzten Flächen, ihr Freizeitwert sinkt. Neben ästhetischen Problemen gibt es aber auch ökotoxikologische Risiken. Wie groß das Problem der Kunststoffbelastung der Binnengewässer ist, wissen wir zurzeit nicht. Einerseits haben Fachleute bislang nur wenige Wasserkörper gründlich auf Kunststoffe untersucht. Erschwerend kommt hinzu, dass die bislang erhobenen Daten häufig nicht vergleichbar sind.

Zum anderen fehlt es an aussagekräftigen Studien, die die Wirkung der Kunststoffe untersuchen. Die klassischen ökotoxikologischen Tests sind für Stoffe entwickelt worden. Deshalb sind mehrere ökotoxikologisch bedenkliche Zusatzstoffe von Kunststoffen, wie Weichmacher oder Flammschutzmittel auch bereits gut geregelt. Für Partikel sind die Tests aber nicht geeignet. Ob und wie Kunststoffpartikel in die Gewebe von Pflanzen, Amphibien oder Fischen gelangen, ob sie dort Schäden verursachen und ob sie sich anschließend in den Nahrungsnetzen der Flüsse und Seen anreichern, ist bislang kaum erforscht und die bisherigen Ergebnisse können nicht verallgemeinert werden. Eine Aufgabe der Forschung ist es nun, solche Kunststoffpartikel und Organismen zu identifizieren, die als Indikatoren für die vielfältige Kunststoffbelastung und ihre Wirkung geeignet sind – eine große Herausforderung. Erst wenn diese Frage gelöst ist, kann eine strukturierte Bewertung der Belastung erfolgen und anhand von adäquaten Toxizitätstests eine ökotoxikologische Bewertung von Kunststoffpartikeln in Binnengewässern erfolgen.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

In die Binnengewässer gelangen Kunststoffe – anders als in die Meere – in erster Linie mit dem Niederschlagsablauf aus Quellen, die mit der Verwendung oder nicht ordnungsgemäßen Entsorgung (Littering) der Kunststoffe zusammen hängen. Maßnahmen zur Minderung müssen deshalb vor allem beim **Abfallmanagement** (siehe Kapitel 3.1.1) und beim **Abwassermanagement** (siehe Kapitel 3.1.3) ansetzen.



2.1.3 Trinkwasser

Die Bund-Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) sollte daher gemeinsam mit anderen Bund-Länderarbeitsgemeinschaften wie LABO (Bodenschutz), LAGA (Abfall), dem Bund-Länder-Arbeitskreis Abwasser sowie dem Länderausschuss Immissionsschutz (LAI) daran arbeiten, die **Datenlage** in allen Bereichen zu verbessern und auf dieser Grundlage **Managementoptionen** zusammenzustellen. Auch hier sollte das Vorsorgeprinzip gelten und zum nachhaltigen Schutz der natürlichen Wasserressourcen jeder Eintrag von Kunststoffen in die Oberflächengewässer vermieden werden.

In verschiedenen Vorhaben erforscht das UBA bereits die **Plastikströme in Binnengewässern** und treibt die Entwicklung von Überwachungsmethoden und wirkungsbezogenen Bewertungsgrundlagen für Mikroplastik voran. Mit diesen Zielen beteiligt sich das UBA u. a. an dem 4. Donaumessprogramm 2019 (Joint Danube Survey).

Kunststoffpartikel im Trinkwasser sind nach aktuellem Wissenstand kein Problem für Umwelt und Gesundheit – Kunststoffbestandteile aus Rohrmaterialien und Armaturen dürfen sich aber nicht ins Trinkwasser ablösen.

Bislang gibt es **kaum mit belastbaren Methoden durchgeführte Untersuchungen** zum Vorkommen von Mikroplastik im Trinkwasser. Kleine Plastikpartikel können nur bis ins Trinkwasser gelangen, sofern sie die natürlichen und technischen Filtrationsprozesse durchbrechen (natürliche Filtration = Boden- oder Sedimentpassage, technische Filtration = Aufbereitung). Dieser Pfad ist überall dort unwahrscheinlich, wo Trinkwasser aus gut geschützten Ressourcen gewonnen wird, insbesondere aus Grundwasser, Quellwasser oder Uferfiltrat (zusammen rund 80 Prozent der Trinkwassergewinnung in Deutschland) oder aus gut geschützten Trinkwassertalsperren. An den Orten, an denen das Trinkwasser direkt aus einem Fluss oder See entnommen wird, erfolgt eine besonders umfangreiche Aufbereitung des Wassers mit mehreren Filtrationsprozessen. Ein Durchbrechen von Mikroplastik ist auch dort unwahrscheinlich.

Kunststoffe und andere organische Materialien (z. B. Elastomere, Beschichtungen) werden als Leitungsmaterialien und in Armaturen zur Verteilung von Trinkwasser verwendet. Es ist aber aus wissenschaftlicher Sicht nicht davon auszugehen, dass daraus Kunststoffpartikel ins Trinkwasser gelangen. Jedoch können sich aus für Leitungen und Armaturen ungeeigneten Materialien andere Inhaltsstoffe (Restmonomere, Additive, Reaktionsprodukte oder Verunreinigungen) im Wasser lösen und ins Trinkwasser übergehen – nicht als Partikel, sondern als im Wasser gelöste Moleküle.



Wie groß ist das Problem?

Bisher ist davon auszugehen, dass eine Exposition des Menschen mit im Wasser gelösten Additiven und Schadstoffen sowie durch Mikroplastik eher gering ist. Zu dieser Einschätzung kommt auch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority, EFSA) in ihrer aktuellen Stellungnahme (EFSA 2016).

Mikroplastik wurde bisher noch nicht im Trinkwasser nachgewiesen. Dies ist auch wenig wahrscheinlich, da in Deutschland die allermeisten als Rohwasser verwendeten Wasser-Ressourcen sehr gut vor Einträgen geschützt sind, die Mikroplastik enthalten könnten (siehe oben und Kapitel 2.1.2) und da man die hohe Wirksamkeit der in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzten Filtrationsprozesse sehr gut kennt. Denn seit Jahrzehnten überwacht man sie im Hinblick auf andere kleinste relevante Partikel (wie z. B. Bakterien). Allerdings sollte diese theoretische Ableitung durch Untersuchungen validiert werden.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Mit Blick auf die **Filtration kleinster Partikel** in der Trinkwasseraufbereitung sollten – wie oben erwähnt – weitere Untersuchungen erfolgen, insbesondere für Partikel im Nanometerbereich, um entweder eine Exposition von Menschen auf diesem Pfad sicherer ausschließen zu können oder aber die Bedingungen zu klären, unter denen Mikroplastik die Barrieren zum Schutz des Trinkwassers überwinden kann, um es in solchen Situationen besser vor partikulär, kolloidal oder gelöst im Wasser vorkommenden Verunreinigungen zu schützen. Geeignete Untersuchungsmethoden werden hierfür aktuell erarbeitet.

Derzeit beteiligt sich das Umweltbundesamt an der Entwicklung von Methoden zur Untersuchung des **Vorkommens von Mikroplastik im Wasser**, einschließlich besonders empfindlicher Methoden, die für die vermutlich sehr geringen Konzentrationen im Trinkwasser ausreichend verlässliche Ergebnisse liefern können. Ferner untersucht das UBA die **toxische Wirkung von Mikroplastik im BMBF-Verbundprojekt „Mikroplastik im Wasserkreislauf – Probenahme, Probenbehandlung, Analytik, Vorkommen, Entfernung und Bewertung („MiWa“)**“ im Rahmen der Fördermaßnahme RiSK-Wa⁶.

Seit 2012 regelt § 17 der **Trinkwasserverordnung** den **Einsatz von Materialien im Kontakt mit Trinkwasser**. Das Umweltbundesamt setzt diese Regelung kontinuierlich um, indem es für alle Gruppen von Materialien Bewertungskriterien entwickelt. Dies ist dauerhaft nötig, denn Kunststoffe zur Verwendung in Dichtungen, Beschichtungen, Zement und Schläuchen werden stetig weiterentwickelt. Diese Regelung wendet die gleichen Prinzipien an, die auch für die europäische harmonisierte Regelung der Kunststoffe im Kontakt mit Lebensmitteln gelten. Entsprechend treibt das Umweltbundesamt die **EU-weite Harmonisierung der Bewertung von Materialien im Kontakt mit Trinkwasser** voran. Nur so können wir den deutschen Markt für Armaturen, Rohrleitungen und andere Bauteile von Trinkwasserinstallationen wirksam vor Billigimporten schützen, aus deren Kunststoffbestandteilen Schadstoffe ins Trinkwasser gelangen können.

Ferner betreibt das Umweltbundesamt **Forschung zur Freisetzung auch kleiner Mengen an Kunststoffbestandteilen wie z. B. Monomere**, die frei werden und sich im Wasser lösen könnten, wenn sich Polymere langsam zersetzen oder Additive wie Weichmacher allmählich aus alterndem Material freigesetzt werden.

⁶ Siehe <https://www.fona.de/de/mikroplastik-im-wasserkreislauf-21854.html>



2.2 Boden

Vorkommen und Wirkungen von Kunststoffen in Böden sind weitgehend unbekannt.

In den Boden gelangen Kunststoffe vor allem durch Littering (z. B. Zigarettenkippen, Verpackungen), Düngemittel (Klärschlamm, Bioabfall, Gärreste, Kompost – siehe Kapitel 3.1.2), Sedimentablagerungen aus Wasser während Überschwemmungen, aus (Bau-)Produktanwendungen (z. B. Wärmedämmmaterial, Rasengittersteine, Zäune, Agrarfolien) und durch Reifenabrieb (siehe Kapitel 3.1.5) (Dümichen et al. 2017; Elert et al. 2017). Kunststoffe altern und verbleiben unterschiedlich lange im Boden. Je nach Partikelgröße und Beschaffenheit sowie in Abhängigkeit der Bodenverhältnisse können sie grundsätzlich mit dem Niederschlagswasser in das Grundwasser, Flüsse und Seen und schließlich ins Meer gelangen.

Es gibt vereinzelte Untersuchungen und Berechnungen zu den Größenordnungen derartiger Verlagerungen. Genaue Aussagen sind bisher noch nicht möglich, da weder genormte Methoden für die Probenahme noch für die Analytik (Dümichen et al. 2015) von Kunststoffen in Böden vorhanden sind.

Wie groß ist das Problem?

Die Auswirkungen von Kunststoffen in Böden sind bislang weitgehend unbekannt. Studien, die die Wirkung von Kunststoffen auf die Bodenfauna untersuchen, fehlen bisher weitestgehend. Es gibt jedoch Hinweise, dass Kunststoffpartikel durch Bodenorganismen, z. B. Regenwürmern, aufgenommen und in tiefere Bodenschichten transportiert werden (Chae & An 2018). Im Hinblick auf die Aufnahme von Mikroplastik in Pflanzen existieren derzeit noch keine Studien, es ist nur erwiesen, dass Nanopartikel von Pflanzen aufgenommen werden können. Andere Überlegungen und Untersuchungen lehnen sich an die bekannten Wirkungen in Meeren und Binnengewässern an. Dabei werden zum einen die Oberflächen- und Materialeigenschaften der Kunststoffe an sich und zum anderen die möglichen Transportmechanismen im Zusammenspiel mit den Bodeneigenschaften betrachtet. Genau wie in anderen Umweltbereichen ist zu erwarten, dass sich organische (Schad)Stoffe und Schwermetalle an der Oberfläche der Kunststoffpartikel anreichern, ebenso dass sie mit Organismen besiedelt werden.

Die Lebensgemeinschaften in Böden sind andere als in Gewässern, ob sich deshalb andere Wirkungen zeigen, muss noch untersucht werden. Dazu fehlen aussagefähige bzw. validierte ökotoxikologische Testverfahren.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Die vom UBA finanzierte **Studie „Plastik in Böden – Vorkommen, Quellen und Wirkungen“** legt im ersten Schritt einen Schwerpunkt auf die Entwicklung, Anpassung und Überprüfung von validen und genormten Methoden (siehe auch Kapitel 1.2). Mit diesen Methoden zu Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik ist ein Screening verschiedener Böden auf relevante Kunststoffe (Bestimmung der Gesamtgehalte, aber auch einzelner Verbindungen) geplant. Anschließend soll untersucht werden, über welche Eintragspfade welche Kunststoffe in welcher Menge in den Boden gelangen.

Die Ergebnisse werden in Normungsgremien (z. B. DIN/ISO) eingebracht, da Standardisierung und Harmonisierung von Methoden Grundlage für einheitliche Daten im Vorfeld einer Bewertungsstrategie sind. Liegen die Ergebnisse aus dem Projekt vor, können in einem zweiten Schritt belastbare Informationen gesammelt werden, z. B. zum quantitativen Eintrag von Kunststoff über alle Pfade in den Boden, oder zum Verbleib von Kunststoffen in Böden und deren etwaiger Abbau (Zeitdauer, notwendige Umweltbedingungen).

Auch wenn es derzeit nur wenige Studien zu Vorkommen und Wirkungen von Kunststoffen in Böden existieren, fordert das UBA, Kunstoffeinträge in Böden insbesondere dort zu reduzieren, wo es bereits möglich ist, z. B. im Agrarbereich. Beispielsweise müssen beim Sammeln von kommunalen Bioabfällen Lösungen gefunden werden, Plastiktüten zu vermeiden oder zumindest vor der Kompostierung zu entfernen (siehe auch Kapitel 3.1.2.).





2.3 Luft

Kunststoffe kommen in der Luft nur als Reifenabrieb in für den Umwelt- oder Gesundheitsschutz relevanten Konzentrationen vor.

Kunststoffe in der Luft spielen nach derzeitigem Kenntnisstand als Bestandteil von Feinstaub eine Rolle, wobei fast ausschließlich der Reifenabrieb eine relevante Quelle darstellt (siehe Kapitel 3.1.5). Als Feinstaub schädigen diese Partikel die menschliche Gesundheit, spezielle Wirkungen von luftgetragenen Kunststoff auf Ökosysteme sind bisher nicht belegt.

Wie groß ist das Problem?

In Niederschlagswasser und Lebensmitteln wurden bereits Fasern und farbige Fragmente aus synthetischen Polymeren gefunden. Allerdings kann bislang nicht abschließend geklärt werden, ob diese durch die Luft eingetragen wurden oder ob es sich um Kontaminationen während der Probenahme handelt. Routinemäßige lichtmikroskopische Untersuchungen gemäß der VDI-Richtlinie 2119, die beim Deutschen Wetterdienst an Partikeln durchgeführt werden, die zuvor auf transparenten Haftfolien gesammelt wurden, haben bislang keine nennenswerten Hinweise darauf geliefert, dass Kunststoffpartikel in der Luft vorkommen, die nicht dem Reifenabrieb zuzuordnen sind.

In Innenräumen können Fasern und polymere Teilchen vor allem aus dem Abrieb von Textilien und Kleidung in die Luft gelangen, über deren Bedeutung wird derzeit noch diskutiert. Für den Innenraum spielen wahrscheinlich die Emissionen von Additiven aus Kunststoffen (allen voran die der Weichmacher, aber auch bestimmte Flammschutzmittel) eine wichtigere Rolle bei der gesundheitlichen Beurteilung von Kunststoffen.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Derzeit sieht das UBA **keinen eigenen Forschungsbedarf** zum Vorkommen und Verhalten von Kunststoffen in der Luft, da dieser Bereich der Luftreinhaltung für das UBA aus wissenschaftlicher Sicht nicht prioritär ist. Es ist allerdings nicht mit Sicherheit auszuschließen, dass Kunststoffe doch in für den Umwelt- oder Gesundheitsschutz relevanten Konzentrationen in der Atmosphäre vorkommen. Deshalb stellt das UBA seine Expertise Dritten, insbesondere Forschungseinrichtungen und Behörden, zur Verfügung, die in diesem Bereich die **hierfür notwendige Grundlagenforschung** initiieren.

Das Umweltbundesamt würde eine Minderung der Feinstaub-Emissionen aus Reifenabrieb als einen allgemeinen Beitrag zu einer Verringerung der Feinstaubbelastung begrüßen. Es liegen jedoch keine speziellen gesundheitlichen Risiken durch Feinstaub-Emissionen aus Reifenabrieb im Vergleich zu aus anderen Quellen stammenden Feinstäuben vor. Da andere Maßnahmen zur Minderung der Feinstaub-Emissionen aus dem Straßenverkehr, insbesondere die Reduzierung des Bremsabriebs, leichter umsetzbar sind, wäre eine Minderung der Emissionen aus Reifenabrieb grundsätzlich zu begrüßen, ihr wird derzeit aber keine besondere Priorität eingeräumt.



3

**Wie gelangen
Kunststoffe in die
Umwelt?**



3.1 Quellen und Eintragspfade von Land

3.1.1 Abfallmanagement

Gutes Abfallmanagement ist die zentrale Voraussetzung, um Kunststoffabfälle in der Umwelt zu vermeiden und Stoffkreisläufe zu schließen.

Eine gut ausgebaute Sammel- und Entsorgungsinfrastruktur ist – neben dem achtsamen Umgang mit Kunststoffen – die Grundvoraussetzung, um Kunststoffeinträge in die Umwelt zu vermeiden. Wir haben in Deutschland ein gut organisiertes Abfallmanagement. Eine Deponierung von Siedlungsabfällen (Restabfällen) ist ohne Vorbehandlung durch thermische oder mechanisch-biologische Verfahren seit 2005 nicht mehr erlaubt. Kunststoffabfälle landen also in der Regel nicht auf Deponien: Annähernd 100 Prozent der erfassten Kunststoffabfälle werden stofflich oder energetisch verwertet.

Wie groß ist das Problem?

Über die Erfassung hinaus ist es aus Sicht des Umwelt- und Ressourcenschutzes wichtig, Kunststoffe möglichst lange im Kreislauf zu führen, also Kunststoffabfälle vorwiegend ökologisch sinnvoll zu recyceln. Hier gibt es in Deutschland durchaus noch

Potenzial – gerade bei Abfällen, die bei privaten oder gewerblichen Endverbrauchern anfallen. In diesem Bereich liegt die Recyclingquote aktuell bei knapp 39 Prozent (Stand 2017). Dafür müssten Kunststoffabfälle vom Restmüll getrennt erfasst werden, um unnötige Verunreinigungen zu vermeiden und sie dem Recycling zuführen zu können. Recycling ist natürlich nur dann möglich, wenn die Kunststoffabfälle auch sortierbar und recyclingfähig sind. Daher ist es wichtig, schon während der Entwicklung eines Produktes an dessen Lebensende zu denken und die Verwertungsmöglichkeiten zu berücksichtigen. Dies wird beim Produktdesign heute noch viel zu selten getan (siehe Kapitel 4.1).

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Pfand- und Rücknahmesysteme haben sich als wirksames Instrument erwiesen, um mehr Abfälle „zurückzubringen“. Mit einem solchen System können saubere und gut recycelbare Kunststoffströme generiert werden (zum Beispiel Pfandsystem für Einweggetränkeflaschen). Gleichzeitig werden so weniger Abfälle in der Umwelt entsorgt (siehe Kapitel 4.2).



Das UBA engagiert sich für die Umsetzung der Getrennthaltungspflichten, die das Kreislaufwirtschaftsgesetz u. a. für Kunststoffabfälle vorgibt (§ 14 Abs. 1). Die UBA-Forderung nach einer **besseren Getrennterfassung von Kunststoffabfällen** und deren vorrangige Zuführung zum Recycling konnte im Bereich der gewerblichen Siedlungsabfälle beispielsweise bereits erfolgreich in die novellierte Gewerbeabfallverordnung eingebracht werden. Das UBA setzt sich außerdem dafür ein, dass **mehr Elektroaltgeräte** gesammelt werden. Neben Gesprächen mit Hersteller-, Entsorger-, Handels-, Kommunal- und Umweltverbänden sowie den Bundesländern prüft das UBA, welche Maßnahmen die Rückgabe noch verbessern und weiter vereinfachen können. Hierzu ist u. a. ein Forschungsvorhaben geplant, dessen Ziel es ist, die Sammeldefizite zu identifizieren, die Entsorgungspfade der nicht ordnungsgemäß entsorgten Altgeräte aufzudecken und Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Sammelmenge zu entwickeln. Gleichzeitig erarbeitet das UBA Empfehlungen für die Entsorger. Ziel ist, möglichst viele Kunststoffe und andere Rohstoffe zurückzugewinnen, Schadstoffe aber dennoch aus den Kreisläufen auszuschleusen.

Das neue **Verpackungsgesetz**, das am 1.1.2019 in Kraft getreten ist⁷, gibt anspruchsvolle Recyclingquoten für Kunststoffverpackungsabfälle aus privaten Haushalten vor (58,5 Prozent ab 2019 und 63 Prozent ab 2022 statt 36 Prozent wie bisher) und setzt damit ein deutliches Signal für mehr Kunststoffrecycling. Erstmals wurde darin verankert, dass ein recyclingfähiges Produktdesign gefördert wird (§ 21).

In einem weiteren Forschungsvorhaben lässt das UBA derzeit die technischen Potenziale zur Steigerung des **Kunststoffrecyclings** sowie des **Rezyklateinsatzes** untersuchen.

Außerdem sollten mehr **Kunststoffrezyklate** in neuen Produkten eingesetzt werden. Es gilt, einen Markt für diese Produkte zu schaffen. Einen wesentlichen Hebel bei der Steigerung der Nachfrage nach

rezyklathaltigen Kunststoffprodukten sieht das UBA in einer nachhaltigen öffentlichen Beschaffung. Allerdings ist derzeit nicht transparent ersichtlich, wie viel Rezyklate in Produkten enthalten sind. Eine entsprechende Produktdeklaration wäre eine sinnvolle Lösung. In einem weiteren Forschungsvorhaben wird das UBA verschiedene Möglichkeiten prüfen, die den Rezyklateinsatz und die Nachfrage nach rezyklathaltigen Kunststoffprodukten erhöhen.

Voraussetzung für eine Kreislaufwirtschaft ist aus Sicht des Umweltbundesamtes, dass alle Akteure über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg miteinander kooperieren und Informationen, z. B. über Produktzusammensetzungen und Stoffinhalte, transparent zur Verfügung gestellt werden. Einen umfassenden Überblick über die nötigen Maßnahmen zur Steigerung des Kunststoffrecyclings, zur Förderung eines Marktes für Rezyklate und zur Erhöhung des Rezyklateinsatzes in Produkten findet sich in einem UBA-Positionspapier (UBA 2016)⁸. Die Kreislaufführung von Kunststoffen ist auch ein zentrales Anliegen der EU. Dies hat sie mit der Veröffentlichung der EU-Kunststoffstrategie⁹ im Januar 2018 deutlich gemacht.

⁸ UBA-Positionspapier „Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes“; Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/uba-kernelemente-zur-steigerung-des>

⁹ Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=COM%3A2018%3A28%3AFIN>; weitere Informationen unter: https://ec.europa.eu/germany/news/20180116-plastikstrategie_de

⁷ Das Verpackungsgesetz löst ab Januar 2019 die bislang geltende Verpackungsverordnung ab.



3.1.2 Klärschlämme, Komposte und Gärückstände

Die Einträge von Kunststoffen in und auf Böden über Klärschlämme und Komposte müssen verringert werden – die geltenden gesetzlichen Regelungen zur Begrenzung der Kunststoffeinträge reichen aus Sicht des UBA nicht aus.

Klärschlämme, Gärückstände und Komposte gehören in Deutschland zu den Sekundärrohstoffdüngemitteln. Mit der Düngung können Kunststoffe in die Umwelt gelangen, insbesondere in den Boden.

Klärschlämme enthalten den im Rohabwasser¹⁰ transportierten Kunststoff, der in der Kläranlage aus dem Abwasser entfernt wurde. Über die Kovergärung von Substraten im Faulturm (z. B. Lebensmittelabfälle) können auch Kunststoffe anderer Herkunft in den Klärschlamm gelangen. Auch bei Komposten und Gärresten aus getrennt gesammelten Bioabfällen gibt es teilweise starke Verunreinigungen mit Plastikpartikeln. Dies liegt zum Beispiel an der Verwendung von konventionellen Plastiktüten als Bioabfallsammelbeutel, an der Vergärung von Lebensmittelabfällen mit Verpackungsresten sowie einer nicht ausreichenden Anlagentechnik, um Kunststoffreste aus der Abfall-Biomasse zu entfernen.

Wie groß ist das Problem?

In Artikel 4 Nr. 4 der Düngemittelverordnung sind Grenzwerte für Fremdstoffe für Sekundärrohstoffdüngemittel festgelegt. Zu den Fremdstoffen gehört auch Kunststoff. Diese Grenzwerte unterscheiden zwischen harten und weichen Kunststoffen und betragen für Partikel (> 2 mm aufgrund der visuellen Erkennbarkeit) in der Summe 0,4 Gewichtsprozent bezogen auf die Trockenmasse für harte Kunststoffe und andere Fremdstoffe (Papier, Glas, Metalle) sowie 0,1 Prozent für weiche Kunststoffe wie Folien. Diese rechtlichen Vorgaben zur Begrenzung der Kunststoffeinträge in den Boden reichen aus Sicht des UBA nicht aus. Im aktuellen Entwurf zur Änderung der Düngemittelverordnung werden bereits Aspekte der aktuellen Kunststoffdiskussion aufgegriffen.

Hochgerechnet erlauben die Grenzwerte bei den aktuell stofflich in Deutschland verwerteten Mengen von 560.000 Tonnen Klärschlamm und circa acht Millionen Tonnen Kompost und Gärresten

jährlich den Eintrag von bis zu 20.000 Tonnen Kunststoff über Komposte und Gärreste und 4.000 Tonnen über Klärschlämme in die Umwelt. Aktuelle Schätzungen aufgrund von Durchschnittswerten der Gütesicherung bei Komposten und Gärresten ergeben Kunststoffeinträge aus der Bioabfallverwertung im Bereich von ca. 1000 und 3.400 Tonnen pro Jahr.¹¹

Neue Untersuchungen, die hohe Partikelzahlen in Komposten nachweisen, bestätigen das Vorkommen von Kunststoffen in Sekundärrohstoffdüngern, erlauben jedoch keinen Vergleich mit den aktuellen Grenzwerten, da nur die Partikelzahl und nicht die Masse bestimmt wurde (Weithmann et al. 2018).

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Das UBA empfiehlt, einen **gemeinsamen Grenzwert für sämtliche Kunststoffverunreinigungen** unabhängig von der Teilchengröße und der Kunststoffart einzuführen.

Um die Kunststoffgehalte überprüfen zu können, braucht es ein geeignetes **Messverfahren**. Dazu wird das UBA Untersuchungen von Komposten, Gärückständen und Klärschlämmen mit dem thermoanalytischen Verfahren TED-GCMS beginnen. Dabei sollen auch Methodenvergleiche insbesondere mit den bislang angewandten optischen und gravimetrischen Verfahren erfolgen. Aus Sicht des UBA sollte sich Deutschland außerdem auch auf europäischer Ebene für einheitliche, anspruchsvolle Grenzwerte einsetzen.

Unabhängig von Grenzwerten können Kunststoffe in Bioabfällen bereits jetzt durch zwei Ansätze reduziert werden:

- ▶ Senkung des Fehlwurfanteils im Bioabfall durch Information und Aufklärung der Bevölkerung sowie verbesserte Kontrolle des Bioabfalls bereits bei der Sammlung;
- ▶ Reduzierung der Kunststoffpartikel im fertigen Kompost durch verbesserte Techniken zur Abtrennung von Fremdstoffen aus dem Bioabfall in den Abfallbehandlungsanlagen.

¹⁰ Kunststoffe, die mechanisch durch Rechen entfernt wurden, werden anderweitig entsorgt.

¹¹ Vorläufige Ergebnisse des UFOPLAN-Vorhabens: Kunststoffe in der Umwelt – Erarbeitung einer Systematik für erste Schätzungen zum Verbleib von Abfällen und anderen Produkten aus Kunststoffen in verschiedenen Umweltmedien (FKZ 3716 34 326 0), bisher unveröffentlicht.

Damit mehr Menschen Bioabfall getrennt sammeln, werden inzwischen häufig spezielle Papiertüten (z. B. mit Wachsbeschichtung) sowie biologisch abbaubare Kunststoffbeutel empfohlen. Es ist darauf zu achten, dass diese Beutel nach den entsprechenden Normen (EN 13432 oder EN 14995) zertifiziert sind, aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen bestehen und in den vor Ort vorhandenen Kompostierungs- und Vergärungsanlagen nahezu vollständig abgebaut werden. Der in den genannten Normen geforderte Abbau kann jedoch nur unter den Bedingungen einer industriellen Kompostierung sichergestellt werden. Die abbaubaren Beutel sollten daher nicht in die Umwelt gelangen und sind auch nicht für den heimischen Komposthaufen geeignet.

Wenn sich eine Stadt oder ein Landkreis wegen der Vorteile bei der Sammlung für den Einsatz von Sammelbeuteln aus biologisch abbaubarem Kunststoff entscheidet, empfiehlt das UBA die Ausgabe von entsprechend gekennzeichneten, abbaubaren Bioabfallsammelbeuteln durch das jeweilige Entsorgungsunternehmen. So kann sichergestellt werden, dass nur geeignete Beutel verwendet werden und keine konventionellen Kunststofftüten im Bioabfall landen. Dadurch kann der Eintrag von langlebigen Kunststoffteilen in den Boden verringert werden.



3.1.3 Kommunales Abwasser

Die Entfernung von Kunststoff einschließlich Mikroplastik aus Abwasser durch Kläranlagen mit biologischer Reinigungsstufe ist sehr erfolgreich – bei Mischwasserabschlägen und Abwasser aus der Trennkanalisation muss die Behandlung verbessert werden.

Kunststoffe können aus verschiedenen Quellen in das kommunale Abwasser gelangen:

- ▶ aus dem Abwasser aus dem **häuslichen oder gewerblichen Bereich** (z. B. über Hygieneprodukte, Mikroplastik aus Wasch- und Reinigungsmitteln, Abrasion von Abwasserrohren, Faserbrüche bei Textilien während Waschvorgängen, Produktionsrückstände),
- ▶ durch **Abflüsse** von befestigten Flächen und Gebäuden (z. B. Reifenabrieb, Verwitterung von Oberflächen, Kunstrasenflächen, Bauprodukten im Außenbereich).

Abwasserbehandlung in Deutschland

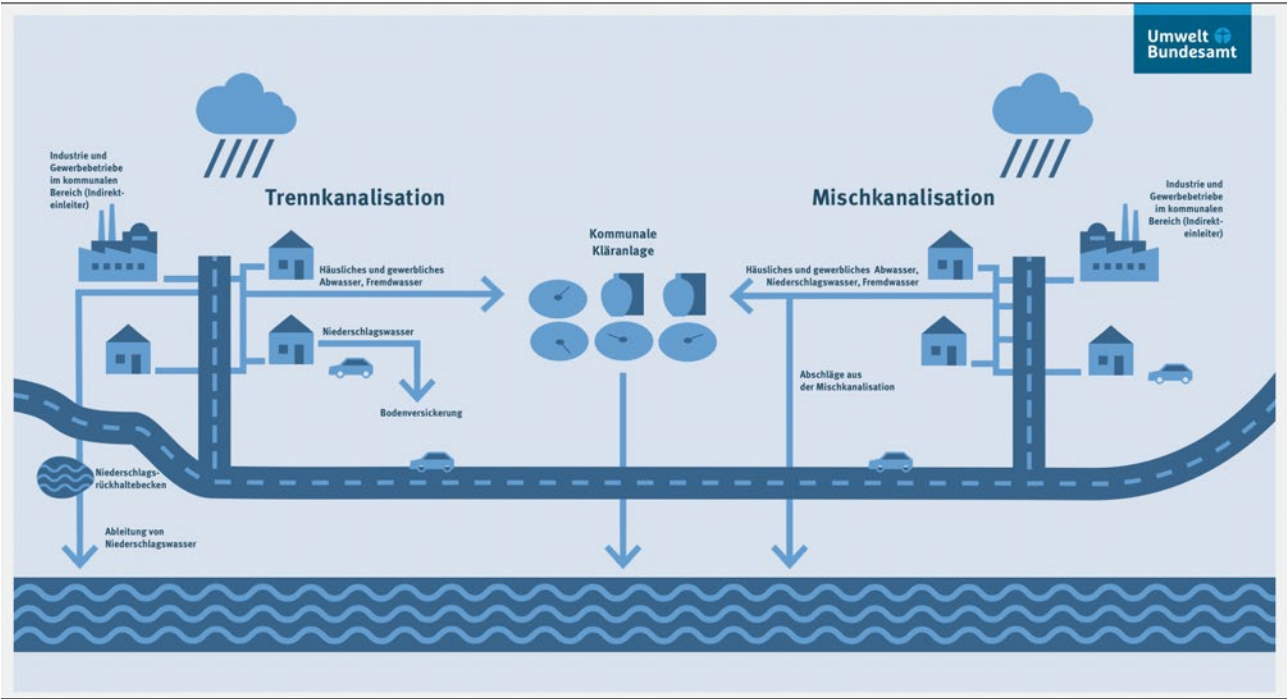
Kommunales Abwasser, also häusliches und gewerbliches Abwasser (Schmutzwasser) und Fremdwasser (in das Kanalnetz eingeströmtes Grundwasser), sowie Wasser, das von befestigten Flächen im innerörtlichen Bereich abfließt, wird in der Kanalisation gesammelt. Bei der Kanalisation muss zwischen Trenn- und Mischkanalisation unterschieden werden¹². Beide Systeme finden sich in Deutschland etwa jeweils zu gleichgroßen Anteilen. In Deutschland werden in den kommunalen Kläranlagen jährlich etwa fünf Milliarden Kubikmeter häusliches Abwasser behandelt. Hinzu kommen etwa zwei Milliarden Kubikmeter Niederschlagswasser sowie die gleiche Menge an Fremdwasser¹³. Über 96 Prozent der Haushalte in Deutschland sind an die öffentliche Abwasserentsorgung angeschlossen.

¹² Bei der Trennkanalisation wird das von befestigten Flächen abfließende Niederschlagswasser separat, ggf. nach einer einfachen mechanischen Klärung, in Oberflächengewässer geleitet, während bei der Mischkanalisation das Niederschlagswasser gemeinsam mit dem Abwasser und dem Fremdwasser über die Kläranlage geleitet wird. Bei Starkregen wird das Abwasser bei der Mischkanalisation teilweise nach mechanischer Klärung aus dem Kanalsystem an der Kläranlage vorbei abgeleitet, um Schäden an den Kläranlagen zu vermeiden. Dies geschieht in einem Jahr in weniger als 1 Prozent der Zeit und betrifft aber schätzungsweise 10 bis 15 Prozent der gesamten Abwassermenge.

¹³ Eigene Schätzung

Abbildung 3

Schematische Übersicht über das kommunale Abwassersystem (eigene Darstellung)



Quelle: Umweltbundesamt

Tab. 2

Abwasserströme in Deutschland

Abwasserstrom	Art der Behandlung	Volumen in Mio. m³
Schmutzwasser (häuslich/gewerblich)	in Kläranlagen behandelt	5080 ^a
Fremdwasser		2240 ^b
Niederschlagswasser		2570 ^b
Gesamtabwassermenge		9890
Abschläge aus der Mischkanalisation	nicht in Kläranlagen behandelt, teilw. mechanische Behandlung	1310 ^b
Einleitung von Niederschlagswasser	nicht in Kläranlagen behandelt, teilw. mechanische Behandlung oder natürliche Prozesse ^c	3960 ^b

a Destatis Fachserie 19 Reihe 2.1.2, Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung – Öffentliche Abwasser-behandlung und -entsorgung, 2013, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2015

b Eigene Schätzung

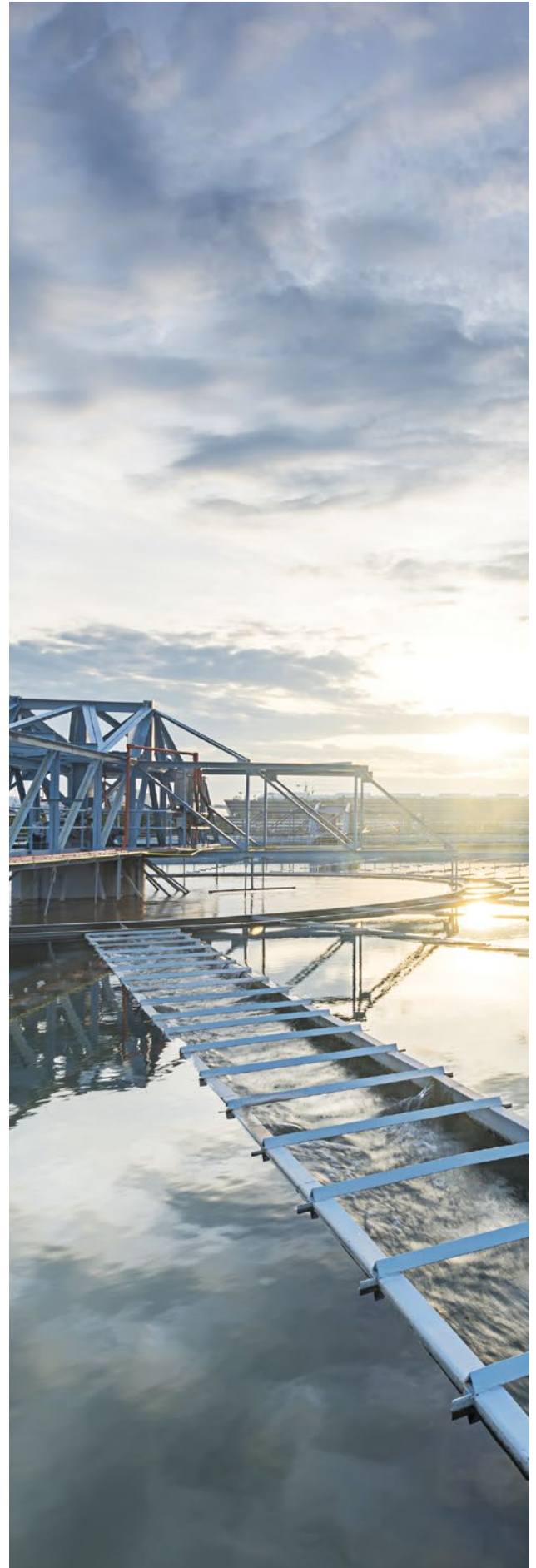
c Rigolen, Regenrückhaltebecken

Quelle: Umweltbundesamt

Aus den **kommunalen Abwassersystemen** können Kunststoffe somit auf vier verschiedenen Wegen in die Umwelt gelangen:

- ▶ über den **Ablauf der Kläranlage**, wenn behandeltes Abwasser aus Kläranlagen in die Gewässer eingeleitet oder zur Bewässerung eingesetzt wird. Der überwiegende Teil des im Rohabwasser vorhandenen Kunststoffes wird allerdings vorher entfernt und befindet sich im Klärschlamm;
- ▶ über **Mischwasserabschläge**, wenn bei starken Niederschlägen Mischwasser aus den Kläranlagen in Oberflächengewässer geleitet wird, um Schäden an der Infrastruktur (Kanäle, Pumpen, Kläranlage) zu verhindern;
- ▶ über die **Niederschlagswassereinleitungen**, wenn Niederschlagswasser aus der Trennkanalisation – dabei meist ohne effektive Reinigung – in die Gewässer gelangt;
- ▶ über den **Klärschlamm**, wenn dieser in Landwirtschaft, Landschaftsbau und zur Rekultivierung verwendet wird, gelangen Kunststoffe, die in der Kläranlage aus dem Abwasser oder über Kovergärung eingetragen werden, auf und in die Böden (siehe Kapitel 2.2 und 3.1.2).

Geeignete und belastbare Messverfahren, mit denen Gesamtgehalte ermittelt werden können, gibt es für alle vier Eintragspfade erst seit kurzem (siehe auch Kapitel 1.2). Deshalb erlauben die bis jetzt vorhandenen Messdaten nur Aussagen, die durch Plausibilitätsüberlegungen getroffen werden müssen. Aktuell laufen im Umweltbundesamt verschiedene Forschungsvorhaben, um die Datenlage zu verbessern und darauf gestützte Aussagen treffen zu können.



Wie groß ist das Problem?

Aktuell kann davon ausgegangen werden, dass den gesetzlichen Anforderungen entsprechende Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5¹⁴ über 90 Prozent der Eingangsgehalte an Feststoffen (abfiltrierbare Stoffe (AFS)) entfernen. Nach der mechanischen Reinigung, bei der durch Siebung grobe Partikel (darunter auch Mikro- und Makroplastik) entfernt werden, verbleiben im Abwasser je nach Region bzw. Einzugsgebiet zwischen 600 und 1.000 mg Feststoffe je Liter im Abwasser. Die Gehalte im **Ablauf der Kläranlage** liegen überwiegend im einstelligen Milligrammbereich an Feststoffen je Liter¹⁵. Innerhalb dieser Feststoffe im Ablauf der Kläranlagen nimmt Kunststoff nur einen sehr kleinen Teil ein. Erste eigene Untersuchungen des Umweltbundesamtes auf Kläranlagen deuten auf Gehalte deutlich unter ein Prozent Kunststoffe bezogen auf die Feststoffe im Ablauf hin. Diese Befunde werden grundsätzlich durch andere Untersuchungen bestätigt. Die Behandlung in den Kläranlagen funktioniert also effektiv, die Einträge von Kunststoff in die Umwelt sind im Vergleich zu anderen Quellen eher gering – behandelte Abwässer sollten also zunächst hinsichtlich weitergehender Maßnahmen nachrangig betrachtet werden.

Im Gegensatz dazu sind **Mischwasserüberläufe** in die Umwelt durchaus problematisch. Hier gelangen ungereinigte Abwässer bei starken Niederschlägen direkt in die Gewässer, da die Aufnahmekapazität von Kanalsystem und Kläranlagen nicht ausreicht. Auch die Einleitung von **Niederschlagswasser aus der Trennkanalisation** ist nicht unbedenklich, da kritische Stoffe (u. a. Reifenabrieb) nur sehr unzureichend entfernt werden. Mit voranschreitendem Klimawandel ist davon auszugehen, dass Starkregenereignisse und damit auch das Überlaufen von Mischwasser weiter zunehmen.

Zudem gelangen Kunststoffe durch **Klärschlämme** in die Umwelt. Sie werden in der Landwirtschaft, dem Landschaftsbau und bei der Rekultivierung eingesetzt, gehören in Deutschland zu den Sekundärrohstoffdüngern und unterliegen dem Düngemittelrecht, das zu Kunststoffen auch einen Grenzwert vorsieht (s. Kapitel 3.1.2). In den letzten Jahren nimmt der Anteil der Klärschlämme, die als Düngemittel eingesetzt werden, deutlich ab. Dieser positive Trend wird sich durch die 2017 erfolgte Novelle der Klärschlammverordnung¹⁶ fortsetzen.

Was tut bzw. fordert das UBA?

Um einzelne Kläranlagen untersuchen und vergleichen zu können, müssen **Untersuchungskonzepte** entwickelt werden – insbesondere hinsichtlich einer repräsentativen Probenahme. Nur so können valide Aussagen getroffen werden, wieviel Kunststoffe über die einzelnen Eintragspfade in die Umwelt gelangen, was wiederum die Basis für Minderungsmaßnahmen ist. Darüber hinaus erfolgen Forschungsarbeiten, die sich mit dem Verbleib von Kunststoffen in der Kläranlage und auch bei Mischwasserüberläufen befassen und wie sich diese Forschungsergebnisse in Recht und Praxis umsetzen lassen. Das UBA hat dazu Forschungsvorhaben vergeben, beteiligt sich aber auch selber aktiv an mehreren Forschungsprojekten innerhalb des **BMBF-Forschungsschwerpunktes „Plastik in der Umwelt“** dazu (RUSEKU¹⁷, ENSURE¹⁸, SUBμTRACK¹⁹).

Um Kunststoffeinträge und Einträge von Schadstoffen wie Schwermetalle aus Misch- und Niederschlagswasser in die Gewässer zu reduzieren, werden derzeit **neue Anlagen (Regenüberlaufbecken) zur Speicherung und Behandlung** dieses Wassers gebaut. Das UBA setzt sich für einen weiteren Ausbau solcher Speicherbecken ein.

14 256 Abwasserbehandlungsanlagen der Größenklasse 5, also mit einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 Einwohnerwerten (EW) reinigen nahezu die Hälfte des kommunalen Abwassers. Kläranlagen der Größenklasse 4 mit einer Ausbaugröße von 10.000 bis unter 100.000 EW behandeln dann weitere 41 Prozent (4.100 Millionen Kubikmeter). Insofern werden durch Anlagen der Größe 4 und 5 etwa 90 Prozent des anfallenden Abwassers behandelt. Diese Anlagen haben eine gute technische Ausstattung einschließlich biologischer Reinigung.

15 Barjenbruch, Matthias 2018: „Mikroplastik in der Siedlungswasserwirtschaft“ Vortrag DWA-Seminar in Bad Hersfeld am 14.11.2019

16 Siehe <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klaerschlammmentsorgung-in-der-bundesrepublik>

17 Siehe <https://bmbf-plastik.de/verbundprojekt/subtrack>

18 Siehe <https://bmbf-plastik.de/verbundprojekt/ruseku>

19 Siehe <https://bmbf-plastik.de/verbundprojekt/ensure>



3.1.4 Mikroplastik in Wasch- und Reinigungsmitteln und Kosmetika

Primäres Mikroplastik in Wasch- und Reinigungsmitteln und Kosmetika sollte gesetzlich verboten werden, da es technisch nicht notwendig ist bzw. einfach ersetzt werden kann.

Primäres Mikroplastik wird kosmetischen Mitteln oder Wasch- und Reinigungsmitteln (Detergenzien) als Schleif- sowie als Trübungsmittel zugesetzt. Schleifmittel finden u. a. in Zahnpasta und Peelings Anwendung, Trübungsmittel geben Kosmetika ihre Farbe und sorgen dafür, dass beispielsweise Duschgels nicht durchsichtig sind.

Was ist kein Mikroplastik?

In kosmetischen Mitteln und Wasch- und Reinigungsmitteln werden zusätzlich weitere, im Gegensatz zu Mikroplastik jedoch wasserlösliche synthetische Polymere zu unterschiedlichen technischen Zwecken eingesetzt. So werden in Duschgelen z. B. Acrylsäure-Copolymere als Filmbildner eingesetzt. Verschiedene Verbände betrachten auch diese wasserlöslichen Polymere zusätzlich als Mikroplastik. Diese wasserlöslichen Polymere liegen jedoch nicht als feste Partikel in den Produkten vor. Lösliche Stoffe wie z. B. Acrylsäure-Copolymere sind daher kein Mikroplastik im Sinne der o. g. Definitionen.

Anders als bei festen wasserunlöslichen Mikroplastik-Partikeln kann bei wasserlöslichen synthetischen Polymeren für jedes Polymer individuell eine Bewertung etwaiger Gefahren nach Vorgabe des Chemikalienrechts erfolgen, da für diese die in REACH und in der CLP-Verordnung vorgesehenen Tests mit Fischen, Daphnien und Algen zur Bestimmung der Ökotoxizität durchgeführt werden können, wodurch eine Bewertung des

Verhaltens in der Umwelt möglich ist. Weiterhin sind hier physikalische Schäden des Magen-Darm-Traktes sowie die Verdrängung von Nahrung nicht zu befürchten, da hier keine Feststoffe vorliegen. Für jedes wasserlösliche synthetische Polymer ist daher eine eigene Gefährdungsbeurteilung auf Basis der Ökotox-Daten, der Abbau-Daten und der Expositionsseiten des Herstellers des Polymers möglich. Da Polymere jedoch nicht der Registrierungspflicht nach der REACH-Verordnung unterliegen, sind fast keine Daten verfügbar.

Ungeachtet dieser Unterscheidung in der Definition sollten kosmetische Mittel und Wasch- und Reinigungsmittel möglichst keine oder so wenig wie möglich schwer abbaubare Stoffe enthalten. Verbraucherinnen und Verbraucher sollten daher bevorzugt zu Produkten greifen, die solche Stoffe nicht oder nur in geringen Mengen enthalten. Eine gute Hilfestellung bei der Auswahl bieten der Blaue Engel, das EU-Ecolabel oder auch andere vertrauenswürdige Label/Siegel.

Wie groß ist das Problem?

Das den Kosmetika und Wasch- und Reinigungsmitteln zugesetzte Mikroplastik kann nach Gebrauch über das Abwasser in die Umwelt gelangen und z. B. Wasserorganismen schädigen. Allerdings ist der Eintrag von Mikroplastik aus Detergenzien und aus kosmetischen Mitteln über das Abwasser in die Gewässer vergleichsweise gering. Ein großer Teil des im Abwasser enthaltenen Mikroplastiks wird im Klärschlamm gebunden, wenn das Abwasser in einer Kläranlage gereinigt wird (siehe Kapitel 3.1.3). Auch wenn gemäß eines Gutachtens (Essel et al. 2015) im

Auftrag des Umweltbundesamtes bekannt ist, dass über andere Quellen wie zum Beispiel Reifenabrieb deutlich größere Mengen Mikroplastik in die Umwelt gelangen, hält das UBA die Eliminierung von Mikroplastik aus Detergenzien und Kosmetika für notwendig, da auch diese Form des Mikroplastik zur Belastung der Umwelt beiträgt und in den Produkten nicht technisch notwendig ist oder durch andere Stoffe mit besseren Umwelteigenschaften ersetzt werden kann.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Die Hersteller von Wasch- und Reinigungsmitteln und Kosmetika können zu einer Reduktion des Eintrags von Mikroplastik in die Umwelt beitragen, indem sie – wie bereits teilweise erfolgt – auf das darin enthaltene primäre Mikroplastik verzichten. Bei vielen Produkten kann es durch geeignete **Ersatzstoffe** mit vergleichsweise besseren Umwelteigenschaften ersetzt werden. So werden als Ersatzstoffe beispielsweise Naturstoffe wie Kleie oder Nussschalengranulate, welche biologisch abbaubar sind, eingesetzt. Weiterhin werden auch Mineralstoffe wie Sand verwendet.

In einem ersten Schritt haben BMU und UBA mit der Kosmetikbranche einen **freiwilligen Ausstieg** bei abrasiven Produkten wie Peelings und Zahnpasta vereinbart. Zahnpasten sind bereits mikroplastikfrei. Bei anderen Produkten wurde der Einsatz von Mikroplastik in den Jahren 2012 bis 2015 in der EU bereits von 4.360 Tonnen auf 700 Tonnen gesenkt. Der freiwillige Ansatz zeigt somit signifikante Wirkung, es bedarf jedoch weiterer Reduzierung. In einem zweiten Schritt sollen deshalb weitere Produkte einbezogen werden, Haarfestiger, Shampoos oder Rasierschaum zum Beispiel. Das UBA empfiehlt, auch Wasch- und Reinigungsmittel in den Blick zu nehmen, wo Mikroplastik häufig als Trübungsmittel verwendet wird.

Nach Auffassung des UBA ist ein generelles **Verbot von absichtlich zugesetztem Mikroplastik** bei diesen Produktgruppen der effektivste Weg zur Reduktion des Eintrags in die Umwelt.

Ein Ausstieg sollte grundsätzlich EU-weit durch harmonisierte Regelungen zum Verbot der Verwendung von Mikroplastik in kosmetischen Mitteln und in Wasch- und Reinigungsmitteln erfolgen. Damit würde eine EU-weit verbindliche Regelung geschaffen, die Klarheit für die herstellende Industrie und Verbraucherinnen sowie Verbraucher schafft. Daher hat die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) im Rahmen der EU-Kunststoffstrategie im Auftrag der EU-Kommission die Möglichkeit eines Verbots von absichtlich zugesetztem Mikroplastik in Produkten aller Art sowie von sog. „Oxodegradative Plastics“ im Rahmen der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 über Registrierung, Bewertung und Zulassung von Stoffen (REACH) geprüft und ihr

Dossier dazu mit dem Beschränkungs-vorschlag am 30.01.2019 veröffentlicht²⁰. Diese Beschränkung unter REACH würde u. a. auch den Bereich Kosmetika und Wasch- und Reinigungsmittel abdecken.

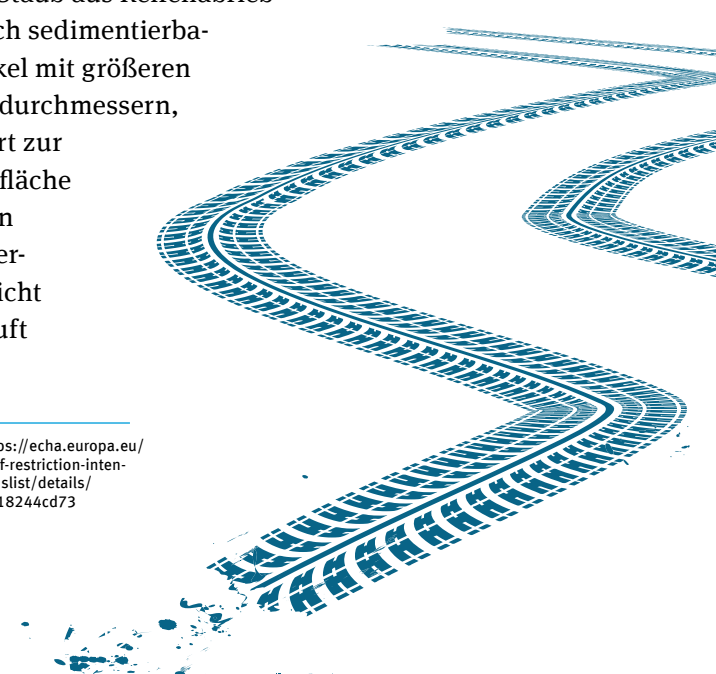
3.1.5 Reifen- und Straßenabrieb

Straßen- und Reifenabrieb sind eine relevante Quelle von Kunststoffen in der Umwelt. Genaue Verbreitungswege und Gegenmaßnahmen sind jedoch noch unbekannt.

Reifenabrieb entsteht durch die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahnbelag, wobei sich häufig aus beidem Partikel ablösen. Es handelt sich somit meist um Reifen- und Straßenabrieb. Ersteres ist die größte Staubemissionsquelle beim Betrieb von modernen Fahrzeugen. Diese Staubemissionen aus Reifenabrieb bestehen zu einem großen Teil (ca. 40 Prozent) aus Kunststoffen. Als Feinstaub schädigen diese Partikel die menschliche Gesundheit, spezielle Wirkungen von luftgetragenen Kunststoff auf Ökosysteme sind bisher nicht belegt (siehe auch Kapitel 2.3). Insgesamt beträgt der Anteil von Reifenabrieb an den nationalen Feinstaubemissionen gemäß einer aktuellen UBA-Untersuchung drei bis vier Prozent.

Die Schwebstaubfraktion (TSP, total suspended particles) des Reifenabriebs mit Partikeldurchmessern kleiner ca. 30 Mikrometer verbleibt zunächst vollständig in der Luft, kann über weite Strecken transportiert sowie durch Niederschläge ausgewaschen werden und somit indirekt auf die Gewässer und den Boden einwirken. Im Gegensatz zu Schadstoffemissionen aus dem Auspuff enthält Staub aus Reifenabrieb aber auch sedimentierbare Partikel mit größeren Partikeldurchmessern, die sofort zur Erdoberfläche absinken oder überhaupt nicht in die Luft

²⁰ Siehe <https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18244cd73>



gelangen. Insgesamt ist von rund 100 Kilotonnen totaler Reifenabriebsmasse im Jahr auszugehen, davon rund 10 Prozent Schwebstaub (TSP).

Die direkte Wirkung des sedimentierbaren Staubanteils auf **Wasser und Boden** ist von der **Straßenentwässerung** abhängig. Die meisten Straßen in Deutschland werden am Straßenrand mittels Bankettstreifen durch Versickerung entwässert.

Bei durch Kanalisation entwässerten Straßen hingegen (hauptsächlich innerorts), hängt die Rückhaltungswirkung wiederum sehr stark von den jeweiligen Behandlungsanlagen für das Niederschlagswasser ab. So sind Systeme der Trenn- und Mischkanalisation zu unterscheiden (siehe Kapitel 3.1.3). Bei der Trennkanalisation kommen in der Regel nur sehr einfache mechanische Behandlungsverfahren zum Einsatz (z. B. Filterkörbe, Sickergruben etc.). In wie weit hier eine Rückhaltung erfolgt, ist bislang nur unzureichend untersucht.

Wie groß ist das Problem?

Nach einer Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen aus dem Jahr 2010 beträgt die Gesamtreifenabriebsmenge in Deutschland etwa 111.420 Tonnen im Jahr. Den größten Anteil machen die **Gummi- und Polymeranteile mit etwa 43.000 Tonnen** und Ruß mit etwa 38.000 Tonnen aus. Die emittierte Metallmenge von 1.375 Tonnen im Jahr besteht hauptsächlich aus Zink.

Diese Zahlen beziffern die Primäremission durch Reifenabrieb. Aufgrund des hohen sedimentierbaren Anteils des Reifenabriebs wird ein großer Masseanteil des gesamten Abriebs wie oben beschrieben bereits nah an der Quelle zurückgehalten. Abrieb von Reifen sammelt sich u. a. direkt neben den Straßen.

Er führt hier dazu, dass Wasser langsamer von den Straßen abfließen kann, was zur Gefahr im Verkehr werden kann. Deshalb wird dieser Randbereich von Straßen regelmäßig entfernt, quasi „abgeschält“. Es entsteht das sogenannte Bankettschälgut.

Das abgeschälte Material wird dabei entweder direkt neben dem Bankettstreifen abgelegt oder in Einzelfällen auch entsorgt. Es wird

davon ausgegangen, dass sich große Teile des Reifenabriebs im Bankettschälgut befinden, das regelmäßig abgetragen wird und die große Masse des Reifenabriebs somit gar nicht erst in die **Luft** bzw. die **Böden und Gewässer** gelangt.

Es ist damit zu rechnen, dass der sedimentierbare Anteil des Reifenabriebs, der nicht über das Bankettschälgut entsorgt wird, in Böden und über Niederschlagswasser auch direkt in Gewässer oder in die Kanalisation eingetragen wird. Besonders kritisch ist hier das Abwasser der Trennkanalisation zu bewerten – auf diesem Wege können Kunststoffe aus Reifenabrieb direkt in die Umwelt gelangen. Einträge aus Mischabwasser aus innerörtlichen Entwässerungsanlagen führen über die Behandlung in Kläranlagen zu Anreicherungen von Reifenabrieb im Klärschlamm. Dies ist für einige der Stoffe schon nachgewiesen (siehe 3.1.2).

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Es gibt kaum kurzfristig wirkende Maßnahmen zur Reduzierung des Feinstaubes durch Reifenabrieb. Eine direkte Minderung wäre möglich, wenn mehr Straßen nass gereinigt werden, um das Aufwirbeln von Feinstaub zu reduzieren. Das kann von den Kommunen unmittelbar durchgeführt werden.

Weniger Verkehr generell würde natürlich auch die direkten Feinstaubemissionen verringern, derartige Forderungen sind bisher jedoch ohne jeglichen Erfolg. Deshalb gilt es **gesetzliche Maßnahmen zur Begrenzung der Feinstaubemission durch Reifenabrieb** einzuführen. Hierzu ist zunächst ein standardisiertes Messverfahren notwendig. Daran arbeitet man auf EU-Ebene bereits. Sinnvoll ist eine Begrenzung der Emission bezüglich der Partikelanzahl und der Partikelmasse. Außerdem ist es zwingend notwendig, dass man durch eine gesetzliche Regelung keine Reboundeffekte erzeugt. In erster Linie gilt es, die Lärmemission und die Sicherheit der Fahrzeuge durch die Einführung einer solchen Gesetzgebung nicht negativ zu beeinflussen. Hintergrund ist z. B. dass tendenziell die Lärmemission steigt, wenn der Abrieb gemindert wird. Außerdem ist die Partikelanzahl über den gesamten Größenbereich zu limitieren, damit kein Ausweichen auf andere Partikelgrößen hinsichtlich der Limitierung erfolgt, weil sie nicht geregelt sind.



Für die Emissionen von Feinstaub aus Reifenabrieb, und damit auch Plastikpartikeln, gibt es derzeit seitens der Reifenhersteller oder der Automobilindustrie keine erkennbaren technischen Bestrebungen, Minderungstechnologien am Fahrzeug selbst zu entwickeln. Verwiesen wird in diesem Zusammenhang auf das BMBF-Projekt RAU²¹, an dem sich auf das Unternehmen Continental beteiligt, was aber nicht als aktiver Beitrag zur Emissionsminderung anzusehen ist. Gesetzliche Vorschriften fehlen bisher, die Entwicklung entsprechender Technologien ist technisch anspruchsvoll und teuer. Denkbar wäre beispielsweise der Einsatz **veränderter Kunststoffmischungen**. Verwiesen wird auf das thematisch verwandte BMBF-Projekt RAU²², an dem sich auch das Unternehmen Continental beteiligt und das sich mit dem im Straßenraum vorhandenen Reifenabrieb befasst.

Das Umweltbundesamt hat sich aktiv an einem vom Bundesbildungsministerium (BMBF) geförderten Forschungsvorhaben (Optimierte Materialien und Verfahren zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf – OEMP;) beteiligt, in dem spezielle Filtersysteme untersucht wurden, die das Straßenablaufwasser bereits im Gullischacht filtern.

Forschungsbedarf sieht das Umweltbundesamt insbesondere im Bereich der Partikelanzahl und -masse durch Reifenabrieb. Diese Forschungstätigkeiten wären auf Fahrzeugprüfständen durchzuführen. Um valide Aussagen zu Einträgen und dem Vorkommen von Reifenabrieb zu machen, sind verlässliche Analyseverfahren notwendig. An deren Erarbeitung ist das UBA beteiligt (siehe Kapitel 1.2).

²¹ Siehe <https://bmbf-plastik.de/verbundprojekt/rau>

²² Siehe <https://bmbf-plastik.de/verbundprojekt/rau>



3.2 Quellen und Eintragspfade von See

3.2.1 Schifffahrt und Fischerei

Kunststoffmüll im Meer stammt aus vielen verschiedenen land- und seebasierten Quellen – regionale Unterschiede müssen berücksichtigt werden, um die richtigen Maßnahmen zu ergreifen.

Die UNEP definiert Meeresmüll als „Elemente, die vom Menschen hergestellt oder verarbeitet wurden“ (UNEP 2005). Global gesehen stammt Meeresmüll zu einem Großteil aus landbasierten und der Rest aus seebasierten Quellen. Je nach geografischer Lage variieren die Quellen. Mengen und Zusammensetzung des Meeresmülls können auch sehr unterschiedlich sein, sie werden beispielsweise durch städtische und industrielle Gebiete, Häfen, Schifffahrtsstraßen oder Fischereigebiete beeinflusst (Galgani et al. 2015). Obwohl sich die Müllfunde im Meer aus vielen Materialien inklusive Metall, Holz, Gummi, Glas und

marinen Lebewesen nachgewiesen. Diese entstehen durch die Zersetzung oder Abnutzung großer Teile, werden Produkten aber auch direkt beigegeben. In der folgenden Tabelle sind die Quellen von Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland aufgeführt, durch die ein potenzieller Eintrag in die (Meeres) umwelt erfolgen kann (Essel et al. 2015)

Wie groß ist das Problem?

An den deutschen Stränden der **Nordsee** stammen 51 Prozent der Müllfunde aus seebasierten Quellen, hierbei vor allem Schifffahrt und Fischerei (Scherneweski et al. 2018). Im Gesamtbetrachtungsgebiet Nordost-Atlantik (inklusive Nordsee), werden weitere ca. 40 Prozent des Mülls aus Freizeit- und Tourismusaktivitäten und aus dem kommunalen Raum eingetragen. Dabei handelt es sich um Müll (vor allem Kunststoffe), der achtlos weggeworfen durch Flüsse und Kanäle sowie über Industrie- und Kläranlagen in die Meere gelangt (OSPAR Intermediate Assessment 2017).

Tab. 3*

Potenzielle Quellen für den Eintrag von Mikroplastikpartikeln in die Meeresumwelt

Quellen von Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland	Quantifizierung der Quellen in Tonnen Mikropartikel pro Jahr
Primäre Mikropartikel	
Kosmetische Produkte	500
Wasch, Reinigungs- und Pflegemittel im Gewerbe und der Industrie	< 100
Strahlmittel zum Entgraten von Oberflächen	< 100
Mikronisierte Kunststoffwachse in technischen Anwendungen	100.000
Sekundäre Mikroaprtikel	
Fragmentierung von Kunststoffabfällen	unbekannt
Synthetische Chemiefasern aus Kleidungsstücken und sonstigen Textilien	80 bis 400
Verlust von Pellets in der Herstellung und Weiterverarbeitung von Kunststoffen	21.000 bis 210.000
Reifenabrieb	60.000 bis 111.000

* Mikronisierte Kunststoffe sind feinpulvrige, homopolymere Wachse, die in vielfältigen Anwendungen eingesetzt werden. Durch die Fülle von unterschiedlichen Anwendungen, der mangelnden Datenbasis zur gesamten Produktionsmenge und den prozentualen Anteilen der Anwendungen lassen sich keine genaueren Angaben zur Eintragsmenge und deren Verbleib in der Umwelt und damit zur Umweltrelevanz machen.

Papier zusammensetzen, ist das Material, was sich mit ca. 75 Prozent bei weitem am häufigsten findet, Kunststoff. Neben großen Müllteilen wie Plastiktüten oder -flaschen, werden auch regelmäßig Mikroplastikteilchen in Wasserkörpern, Sedimenten und

An der **Ostsee** ist die Lage etwas anders: An den deutschen Ostseestränden stammt der meiste Müll aus Tourismus- und Freizeitaktivitäten (50 Prozent), gefolgt von Einleitungen durch Abwässer (25 Prozent), Schifffahrt (zehn Prozent),

Offshore-Installationen von z. B. Windkraftanlagen (acht Prozent) und Fischerei (sieben Prozent) (Schernewski et al. 2018).

Grundsätzlich stammt circa zehn Prozent des Meeresmülls von verloren gegangenen oder bewusst zurückgelassenen Fischereigeräte (v. a. Netze, aber auch Dolly Ropes (Scheuerschutz von Schleppnetzen), Taue, Seile, Reusen etc.). Nach einer Schätzung des WWF gingen allein im Jahr 2011 in der Ostsee 5.500 bis 10.000 Stellnetze verloren. Diese sogenannten Geisternetze sind über Jahrzehnte hinweg eine tödliche Gefahr insbesondere für Meeressäuger, Seevögel und Fische. Zwar sinken die meisten Netze auf den Meeresgrund, können dort aber aufgerichtet bleiben und für teilweise lange Zeiträume weiter „fischen“. Untersuchungen lassen darauf schließen, dass die verbleibende Fischereikapazität herrenloser Netze bei sechs bis 20 Prozent dessen liegt, was sie im aktiven Einsatz fangen (WWF Polen 2011).

Daten aus der **Fishing for Litter-Initiative** bestätigen die Relevanz des Eintragspfades Fischerei. An der Initiative nehmen aktuell etwa 150 Fischer aus 15 deutschen Häfen an Nord- und Ostsee teil. Der als Beifang anfallende Meeresmüll wird an Bord der Kutter in sogenannten Big Bags gesammelt und kann in Containern im Hafen für die Fischer gebührenfrei entsorgt werden. Mehr als 75 Prozent der „gefischten“ Abfälle sind Produkte aus Kunststoffen. Es dominieren Folien, Verpackungen, Netzreste sowie Tauwerk (Gerke et al. 2017).

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Das UBA arbeitet im Rahmen der **EU Technical Group on Marine Litter** (siehe auch Veiga et al. 2015), der **Regionalen Meeresschutzübereinkommen HELCOM und OSPAR** (siehe auch Verschoor et

al. 2017), der nationalen **MSRL Fach-AG Abfälle im Meer** sowie über die Durchführung eigener F&E-Vorhaben intensiv an der Bestimmung und Konkretisierung der wesentlichen land- und seebasierten Eintragsquellen von Meeresmüll mit. Auf Basis verfügbarer Befunde sind aus Sicht des UBA folgende Maßnahmen nötig, um Einträge aus seebasierten Einträgen zu reduzieren (Maßnahmen hinsichtlich der landbasierten Einträge finden sich in anderen Kapiteln, insbesondere in Kapitel 3.1):

- ▶ Im Rahmen der überarbeiteten Richtlinie zu Hafenauffangseinrichtungen (2000/59/EC) sollte die bereits vorgesehene hundertprozentige **Einpreisung der Abfallentsorgungsgebühren in die zu entrichtenden Hafengebühren** fest verankert werden, in der Ostsee ist dieses No-Special-Fee-System in vielen Häfen bereits gute Praxis;
- ▶ Um die illegale Müllentsorgung ins Meer einzudämmen, müssen **Inspektionen und Kontrollen auf See** intensiviert und entsprechende Sanktionen bei Verstößen verschärft werden;
- ▶ Um verloren gegangene und verlassene Fischereinetze wieder zu finden und bergen zu können, sollten **digitale Markierungen und andere technische Maßnahmen** eingesetzt werden, die Wiederfindung und -verwertung von Fischereigeräten sollten generell ökonomisch und organisatorisch gefördert werden;
- ▶ Das Thema Meeresmüll sollte fest in der professionellen **Ausbildung in Schifffahrt und Fischerei** verankert werden.



A photograph of a vegetable display in a grocery store. The display consists of several wooden crates and baskets filled with various fresh vegetables. From top to bottom, the items include: white asparagus, red and green bell peppers, yellow and orange bell peppers, green cucumbers, green bell peppers, yellow bell peppers, green cucumbers, green beans, red tomatoes, green apples, and red tomatoes. The display is set on a dark wooden floor. A large white number '4' is overlaid on the right side of the image.

4

Übergreifende Ansätze



4.1 Produktdesign

Bereits mit dem Design eines Produktes können Kunststoffeinträge in die Umwelt vermieden werden.

Produkte verursachen Umweltauswirkungen über den gesamten Lebensweg – etwa 80 Prozent dieser Auswirkungen werden bereits während der Designphase bestimmt. Derzeit wird der potenzielle Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt beim Design eines Produktes zumeist nicht beachtet. Hier ergeben sich große Chancen, entscheidende Weichen zur Vermeidung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt zu stellen, aber auch um mehr zu recyceln und Stoffkreisläufe zu schließen.

Wie groß ist das Problem?

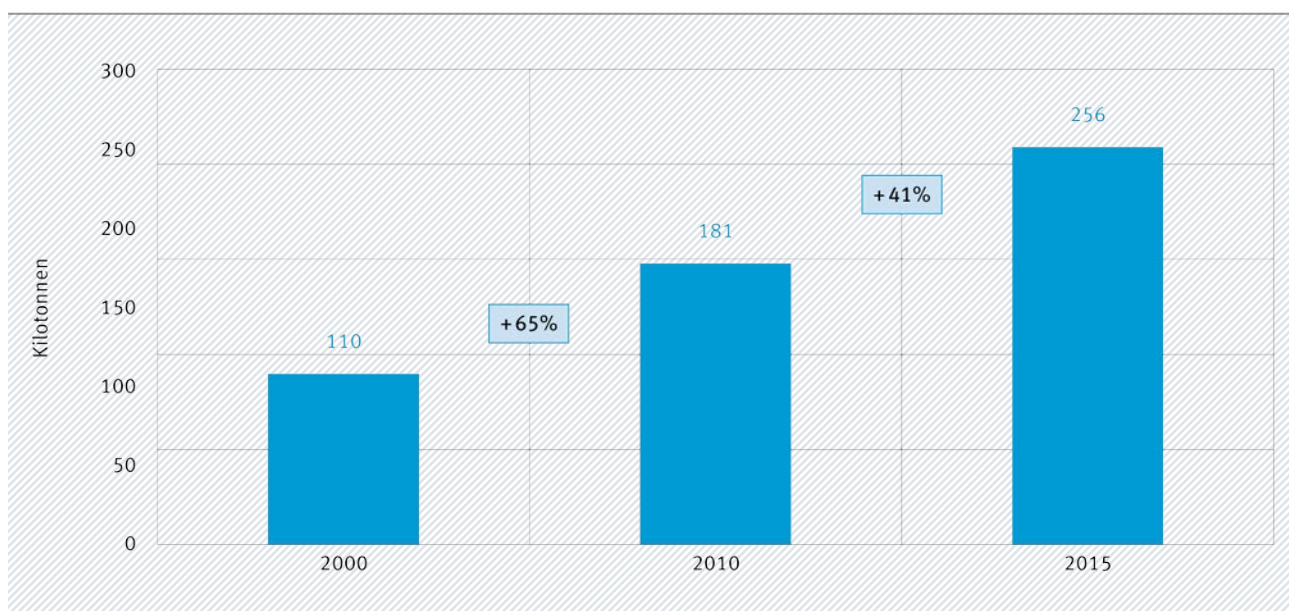
Das Design einiger Produkte erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass sie oder ihre Bestandteile infolge von Littering in der Umwelt landen (siehe Kapitel 4.2). Dazu zählen beispielsweise **Verpackungen, bei deren Gebrauch kleinteilige Abfälle** entstehen – zum Beispiel Abreißbecken bei Süßwarentüten, lose Flaschenverschlüsse oder Trinkhalme, die in Folien eingepackt sind. Die Kleinteiligkeit solcher Abfälle führt häufig dazu, dass diese auch durch Reinigungsmaßnahmen nicht erfasst werden und dann dauerhaft in der Umwelt verbleiben.

Des Weiteren geht der Trend zu **immer kleineren Portionierungen und Verpackungsgrößen**, um dem steigenden Anteil von Single-Haushalten entgegenzukommen und einen besonders bequemen Verzehr zu ermöglichen. Dies führt letztlich zu mehr Materialeinsatz und damit auch mehr Abfall. Außerdem steigt der Außer-Haus-Verzehr und damit die Masse an To-go-Verpackungen, bei denen die Wahrscheinlichkeit eines Eintrags in die Umwelt erhöht ist. Weiterhin zu beobachten ist ein Trend zu überdimensionierten (z. B. bei Elektronikprodukten) und überflüssigen Verpackungen (z. B. bei durch die Schale ausreichend geschützten Früchten). Als Gründe hierfür werden zum Beispiel ein verbesserter Diebstahlschutz oder die längere Haltbarkeit von Lebensmitteln genannt.

Ein weiteres Beispiel für die Auswirkungen des Produktdesigns ist der Einsatz von Mikrokunststoffen in Kosmetika sowie Wasch- und Reinigungsmitteln, die über den Abwasserpfad in die Umwelt gelangen können (siehe UBA 2016a) (siehe Kapitel 3.1.4).

Abbildung 4

Verbrauch von Serviceverpackungen in der Gastronomie



Quelle: Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Abfälle, die nicht entstehen, können auch nicht in die Umwelt eingetragen werden. Das UBA fordert daher ein möglichst **abfallarmes Produktdesign**, dies verhindert nicht nur den Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt, sondern schont auch Ressourcen. Aspekte wie Langlebigkeit, Wiederverwendbarkeit und Reparierbarkeit sind daher wichtige Eigenschaften, über die in der Designphase entschieden wird.

Indirekt führt die Förderung der Kreislaufschließung dazu, den Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt zu verringern. Als Basis für eine hochwertige werkstoffliche Verwertung sollte die **Recyclingfähigkeit** eines Produktes daher durch das Design unterstützt werden. Einen Anreiz hierzu bietet der § 21 des Verpackungsgesetzes, der vorsieht, dass die Beteiligungsentgelte bei den dualen Systemen an die Recyclingfähigkeit einer Verpackung gekoppelt werden. Das heißt, Hersteller sollen für recyclingfähige Verpackungen geringere Entgelte zahlen als für nicht recyclingfähige Verpackungen.

Derzeit laufen zudem Aktivitäten auf EU-Ebene, um im Rahmen der Ökodesignrichtlinie Anforderungen an die Recyclingfähigkeit von Produkten stellen zu können. Auch die **EU-Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft** (siehe EU-Kommission 2018) zielt darauf ab, beim Design von Kunststoffprodukten auf eine längere Haltbarkeit, eine bessere Wiederverwendbarkeit und die Möglichkeit eines hochwertigen Recyclings zu achten. Dies erfordert auch ein möglichst **schadstofffreies Produktdesign**. Darüber hinaus sollte der Einsatz von **Kunststoffrezyklaten** in der Phase des Produktdesigns berücksichtigt werden. Entsprechend der EU-Kunststoffstrategie sollen auf dem EU-Markt bis 2025 zehn Millionen Tonnen Kunststoffrezyklate in neuen Produkten eingesetzt werden – dies ist eine Steigerung um mehr als das Dreifache gegenüber heute und entspricht rund 20 Prozent der derzeitigen Kunststoffnachfrage.

Das UBA fördert ein umweltfreundliches Produktdesign – zum Beispiel mit dem **Bundespreis Ecodesign** (UBA 2016b) – und erarbeitet die Vergabegrundlagen für das Umweltzeichen *Blauer*

Engel, das besonders umweltfreundliche Produkte auszeichnet. Es bietet Konsumentinnen und Konsumenten somit eine wertvolle Hilfestellung für bewusste Kaufentscheidungen, z. B. für Büroartikel aus Recyclingkunststoffen²³.

Die Verwendung von kompostierbaren und biologisch abbaubaren Kunststoffen stellt übrigens keine umweltverträgliche Lösung für das Problem der Kunststoffeinträge in die Umwelt dar. Ein schneller Abbau setzt definierte Bedingungen voraus. In der Natur herrschen diese jedoch nicht oder nicht konstant vor. Was in einer industriellen Kompostierungsanlage funktionieren kann, kann im Wald oder im Meer nicht gewährleistet werden (UBA 2017). Weitere Informationen sind in dem kürzlich vom UBA veröffentlichten Forschungsprojekt zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe enthalten.²⁴



²³ Weitere Informationen finden Sie hier: <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/alltag-wohnen/recyclingkunststoffe-abfallsaecke-muelltonnen-bueroartikel/products-from-recycled-plastic-edition-march-2016>.

²⁴ Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer>



4.2 Kunststoffen einen Wert geben

Ein bewusster Umgang mit Kunststoffen verringert den Verbrauch und den potenziellen Eintrag in die Umwelt.

Wir schätzen Kunststoffe oft weniger wert als andere Materialien. Kunststoffprodukte sind häufig preiswerter als ihre Pendanten aus Holz oder Metall. Hinzu kommt, dass Kunststoffe oft für Einwegprodukte verwendet werden, die nach kurzem Gebrauch direkt im Abfall landen. Bei Konsumentinnen und Konsumenten entsteht daher der Eindruck, dass das Material Kunststoff und daraus bestehende Produkte von geringerem Wert sind. Dies gilt insbesondere für alltägliche Konsumartikel, speziell wenn sie sich noch durch geringe Haltbarkeit auszeichnen, oder für kostenlose Produkte wie z. B. Werbeartikel (Give aways). Dabei ist Kunststoff ein **hochkomplexes und unter hohem Aufwand produziertes Material**. Es gibt zahlreiche sinnvolle Kunststoffprodukte, die langlebig und strapazierfähig sind und während ihrer Nutzungsphase u. a. zur Einsparung von Material, Energie und CO₂-Emissionen beitragen (z. B. Dämmstoffe, Leichtbauanwendungen).

Wie groß ist das Problem?

Die Neigung, Produkte nur kurzzeitig zu nutzen und anschließend durch neue zu ersetzen („Wegwerfmentalität“), wird durch die geringere Wertschätzung besonders begünstigt. Ein weiterer Effekt ist ein unachtsamer Umgang mit Kunststoffabfällen. Trotz der vorhandenen Entsorgungsinfrastruktur sind Kunststoffabfälle in der Umwelt ein häufiges und sichtbares Problem. Es sind vor allem Dinge mit einer sehr kurzen Nutzungsphase, die durch achtloses Wegwerfen oder Liegenlassen (Littering) in der Umwelt landen: Studien zu Abfällen im öffentlichen Raum (siehe z. B. Heeb et al. 2004 und Breitbarth und Urban 2014) sowie das Spülsaummonitoring an Nord- und Ostsee zeigen, dass neben Zigarettenkippen vor allem Verpackungen, wie z. B. Getränke- und Süßigkeitenverpackungen oder solche für den Außer-Haus-Verzehr, in der Umwelt zurückgelassen werden. Kunststoffabfälle dominieren die Funde. Ein Teil dieser Abfälle wird durch kommunale Reinigungsmaßnahmen erfasst und ordnungsgemäß entsorgt, ein anderer Teil verbleibt dagegen in der Umwelt, insbesondere in Gegenden, wo keine regulären Reinigungsmaßnahmen greifen (z. B. an Stränden, die nicht zum Baden genutzt werden). Wie groß die Menge des in Deutschland in der Umwelt verbleibenden Kunststoffabfalls ist, ist derzeit nicht bekannt.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Eine UBA-Studie geht aktuell der Frage nach, wie groß die **Mengen an Kunststoffabfällen in etwa sind, die auch nach der Reinigung in der Umwelt verbleiben**. Auf Basis dieser ersten fundierteren Abschätzungen sollen Empfehlungen für mögliche Minderungsmaßnahmen abgeleitet werden.

Grundsätzlich sollte ein bewusster Umgang mit Kunststoffprodukten gefördert werden. Das UBA engagiert sich hier um verbesserte Information der Öffentlichkeit – für den Erwerb hochwertiger Kunststoffprodukte und für die Vermeidung von Einwegprodukten. Kunststoffprodukte sollten möglichst lange und häufig genutzt werden und natürlich am Ende ihres Lebens ordnungsgemäß entsorgt werden, damit sie bestenfalls recycelt werden und für eine neue Nutzung zu Verfügung stehen können²⁵.

Konkret setzt sich das UBA für die Stärkung eines nachhaltigen Konsums ein sowie für die **Wiederverwendbarkeit und Reparierbarkeit von Produkten**. In einem Forschungsvorhaben des UBA wird aktuell untersucht, wie den steigenden Abfallmengen an Coffee-to-go-Bchern entgegengewirkt werden kann. In einem weiteren UBA-Forschungsprojekt werden basierend auf einer Ermittlung der Ist-Situation Maßnahmen und Ansätze zur Reduzierung des Litterings verschiedener Produkte im öffentlichen Raum erarbeitet. Das nationale Maßnahmenprogramm für den Aspekt Meeresmüll im Rahmen der Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie sieht die Entwicklung kommunaler Vorgaben zur Vermeidung oder Beschränkung von Einwegprodukten in Küstengemeinden vor. Die Federführung liegt bei der Hansestadt Bremen.

Die Verwendung von Produkten aus **Recycling-kunststoffen** leistet ebenfalls einen wertvollen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen. Um die Transparenz des Einsatzes von

²⁵ Diese Maßnahmen stehen im Einklang mit dem kürzlich veröffentlichten Legislativvorschlag der EU-Kommission zur Reduktion der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt. Dieser sieht u. a. die Förderung von Maßnahmen zur besseren Information im Umgang mit Einwegkunststoffprodukten vor sowie Verbote für Einwegkunststoffprodukte, die besonders häufig an europäischen Stränden zu finden sind (z. B. Strohhalme oder Rührstäbchen). Weiterhin setzt die Kommission auf eine stärkere Verantwortung der Hersteller, die sich z. B. um eine bessere Entsorgung kümmern müssen oder darum, dass sie auf ihren Produkten auf die schädlichen Umweltauswirkungen bei deren falscher Entsorgung hinweisen. Außerdem sollen Konsumentinnen und Konsumenten über vorhandene Mehrwegsysteme informiert werden mit dem Ziel, diese bevorzugt zu nutzen. Weitere Informationen zum Legislativvorschlag finden Sie unter http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3927_de.htm.

Kunststoffrezyklaten zu fördern, zeichnet das Umweltzeichen der Blaue Engel Produkte aus, die aus mindestens 80 Prozent Kunststoffrezyklat im Fertigerzeugnis bestehen (RAL UZ 30a)²⁶.

Das nationale MSRL Maßnahmenprogramm für den Aspekt Meeresmüll sieht eine Verankerung des **Themas Meeresmüll in Lehrzielen, Lehrplänen und -material** vor. Insbesondere die Bewusstseinsbildung bei Kindern und Jugendlichen ist ein wichtiger Schritt zu einer nachhaltig aufgeklärten Gesellschaft in Bezug auf Müllvermeidung und die Verhinderung von Mülleinträgen in die Umwelt. Aber auch Bildungsmaßnahmen innerhalb relevanter Sektoren wie der Kunststoffproduktion, -verarbeitung und -verwertung oder der Fischerei und Schifffahrt sind unabdingbar. Bildungsmaterialien und -module sind zu diesem Zweck schon teilweise entwickelt, weitere in Planung.

Im Gegensatz dazu stellt die Verwendung von kompostierbaren und biologisch abbaubaren Kunststoffen keine umweltverträgliche Lösung für das Problem der Kunststoffeinträge in die Umwelt dar. Derartige Kunststoffe können bei entsprechender Zertifizierung unter definierten Bedingungen in industriellen Kompostierungsanlagen zersetzt werden. Diese Bedingungen herrschen in der Natur jedoch nicht oder nicht konstant vor, weshalb dort ein vollständiger Abbau nicht gewährleistet ist (UBA 2017). Das UBA hat kürzlich ein Forschungsprojekt zur Behandlung von biologisch abbaubaren Kunststoffen veröffentlicht²⁷.

Zur Förderung eines bewussten Umgangs mit Kunststoffen und der Vermeidung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt schlägt das UBA folgende Maßnahmen vor:

- ▶ Öffentlichkeitsarbeit, wie z. B. Informationskampagnen und die Bereitstellung von Bildungsmaterialien zur **Förderung eines bewussten Umgangs mit Kunststoffprodukten und Kunststoffabfällen**. Hierunter fallen insbesondere die Sensibilisierung bezüglich

möglicher Mehrwegalternativen für (Kunststoff-)Einwegprodukte (Abfallvermeidung), der ordnungsgemäßen Entsorgung von Kunststoffabfällen und der Folgen von Kunststoffabfällen in der Umwelt sowie die Aufklärung über biologisch abbaubare Kunststoffe;

- ▶ **Einführung von Pfand- und Rücknahmesystemen zur Förderung von Abfallvermeidung und einem geringeren Littering.** Gleichzeitig können hierdurch saubere und gut recycelbare Kunststoffströme generiert werden (Bsp. Pfandsystem für Einweggetränkeflaschen). Auf Großveranstaltungen oder bei regional erhöhtem Einsatz von Einweggeschirr im Außer-Haus-Bereich (z. B. in touristisch genutzten Gebieten) sollte dieses – sofern es nicht durch Mehrwegalternativen ersetzt werden kann – ausschließlich gegen Pfand ausgegeben werden. Weiterhin ist ein Pfandsystem für Fischboxen aus Kunststoff denkbar;
- ▶ Abbau von Barrieren (z. B. Hygienevorgaben) durch den Gesetzgeber zur Stärkung der **Verwendung von eigenen Behältnissen** im Rahmen der Kaufprozesse für Getränke und Essen als sehr effektive Vermeidungsmaßnahme;
- ▶ **Vermeidung des Einsatzes von Einweg-Portionsverpackungen** in gastronomischen Einrichtungen, speziell im Außenbereich, durch Selbstverpflichtungen oder gesetzliche Vorgaben;
- ▶ Stärkung der Verwendung von **Produkten aus Recyclingkunststoffen** als wertvollen Beitrag zur Kreislaufführung von Kunststoffen und damit zur Schonung wertvoller Ressourcen.

Einige dieser Maßnahmen könnten im Rahmen der EU-Richtlinie zur Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt (sog. Richtlinie für Einwegkunststoffprodukte)²⁸ umgesetzt werden.

²⁶ Weitere Informationen finden Sie hier: <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/alltag-wohnen/recyclingkunststoffe-abfallsaecke-muelltonnen-bueroartikel/products-from-recycled-plastic-edition-march-2016>.

²⁷ Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer>

²⁸ Mehr Informationen unter: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6867_de.htm



5

Fazit und Überblick

Die meisten Daten zu Kunststoffen in der Umwelt gibt es aktuell aus dem marinen Bereich. Ihr Vorkommen in Küstengewässern ist seit Anfang der 1970iger Jahre bekannt und beschrieben. Einige Befunde gibt es inzwischen auch aus Flüssen, Seen und Böden.

Maßnahmen zur Reduzierung des Einsatzes von Kunststoffen und zur Vermeidung des Eintrages von Kunststoffen in die Umwelt in Deutschland können und müssen – auch vorsorgend – bereits jetzt getroffen werden. Diese müssen teilweise über die nationale Ebene hinausgehen und auch auf europäischer Ebene und in einigen Fällen auf internationaler Ebene ansetzen.

Eine große Herausforderung für die Bewertung ist die aktuell nicht ausreichend vorhandene und harmonisierte Untersuchungsmethodik (Probenahme, Probenaufbereitung, Detektion) und die damit fehlenden einheitlichen Daten. Mit thermoanalytischen Verfahren können Massengehalte der vorkommenden Kunststoffe ermittelt werden, mit spektroskopischen Verfahren Partikelzahlen und Partikelgrößen. Allerdings liegen nicht für alle Umweltmedien Bewertungskonzepte vor. Daher sind bei der Bewertung der Relevanz der Kunststoffbefunde für die Umwelt und die menschliche Gesundheit und beim Wissensstand über das Verhalten von Kunststoffen in der Umwelt Fragen offen. Hier besteht weiterhin Untersuchungs- und Forschungsbedarf.



Bezogen auf einheitliche Untersuchungsverfahren für Monitoring, Stoffstrombilanzen, Umweltbewertungsverfahren, materielle Anforderungen in Richtlinien oder Verordnungen sowie die Ableitung und Erfolgskontrolle von umweltpolitischen Maßnahmen sind übergeordnete Anforderungen zu stellen. Dazu zählen:

- ▶ Erarbeitung von geeigneten Probenahmestrategien und –verfahren sowie übergreifenden chemischen Untersuchungsmethoden für die verschiedenen Umweltmedien und potentiellen Eintragspfaden mit klarer Eingrenzung der Aussagekraft der verwendeten Methodik (u. a. analytisches Ergebnis, Untersuchungsgegenstand)
- ▶ Erarbeitung von international anerkannten Monitoringvorschriften und Untersuchungsverfahren, da es sich beim Thema Kunststoffe in der Umwelt um ein internationales Thema mit globalen Verteilungsmustern handelt durch internationale Normungsgremien (ISO) oder andere geeignete global agierende Institutionen und Expertengruppen
- ▶ Entwicklung von Bewertungsmethoden durch Behörden für die Einschätzung der Belastungssituation der Umwelt durch Kunststoffe
- ▶ Erarbeitung von ökotoxikologischen Teststrategien für Mikroplastik durch die OECD zur Erfassung der Gesamtwirkung und möglicher Gefährdungspotenziale
- ▶ Erarbeitung von humantoxikologischen Teststrategien für Mikroplastik durch Behörden und Forschung zur Erfassung der Gesamtwirkung und möglicher Gefährdungspotenziale

Im Folgenden wird ein Überblick über die vom Umweltbundesamt in den verschiedenen Bereichen empfohlenen Maßnahmen gegeben.

Empfohlene Maßnahmen des Umweltbundesamts

BEREICH

Vorkommen und Wirkungen von Kunststoffen – gelöste wie auch Partikel – im Trinkwasser

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Entwicklung von Methoden zur Untersuchung des Vorkommens von Mikroplastik im Trinkwasser durch Behörden, unterstützt durch Forschung
- ▶ Untersuchung des Verbleibs und Rückhalts von sehr kleinen Kunststoffpartikeln und des Risikos ihres Durchbrechens der Barrieren in der Trinkwassergewinnung und -aufbereitung
- ▶ Untersuchungen seitens Hersteller, UBA und weiterer Behörden (z. B. EFSA) zur Freisetzung gelöster Kunststoffbestandteile aus Materialien im Kontakt mit Trinkwasser, insbesondere Monomere aus der Zersetzung von Polymeren sowie Additive
- ▶ Durchsetzen wirksamer Regelungen für Kunststoffe im Kontakt mit Trinkwasser im Rahmen der aktuellen Revision der EU Trinkwasserrichtlinie

BEREICH

Vorkommen und Wirkungen von Kunststoffen in Binnengewässern

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Erarbeitung von standardisierten Überwachungsmethoden und wirkungsbezogenen Bewertungsgrundlagen für Kunststoffe in Binnengewässern
- ▶ Erarbeitung eines Monitoringverfahrens zur Bilanzierung großer Fließgewässer (z. B. Rhein/Donau)
- ▶ Verbesserung der Datenlage durch gemeinsame Aktivitäten der Bund-Länderarbeitsgemeinschaften Wasser (LAWA), Bodenschutz (LABO), Abfall (LAGA), des Bund-Länder-Arbeitskreises Abwasser sowie dem Länderausschuss Immissionsschutz (LAI)

BEREICH

Vorkommen und Wirkungen von Kunststoffen in Meeresgewässern

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Entwicklung von Monitoringverfahren zur Langzeitüberwachung der Belastung verschiedener Meereskompartimente und Lebewesen durch Meeresmüll (einschließlich Monitoringverfahren für Kunststoffe/ Mikroplastik) im Rahmen der Umsetzung der EU Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie
- ▶ Festlegung von Baselines und Ableitung ökologischer Schwellenwerte zur Bewertung des Meereszustandes durch die EU Technical Group on Marine Litter
- ▶ Untersuchung des potenziellen Transfers der in Kunststoffen enthaltenen chemischen Substanzen (Additive) und der Schadstoffe, die sich aus dem Meerwasser an ihnen anreichern, innerhalb des marinen Nahrungsnetzes durch die Forschung
- ▶ Unterstützung einer anspruchsvollen Umsetzung der Aktionspläne gegen Meeresmüll durch den Runden Tisch Meeresmüll in Deutschland, OSPAR, HELCOM, G7 und G20

BEREICH

Vorkommen und Wirkungen von Kunststoffen in Böden

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Entwicklung von Methoden zur Untersuchung des Vorkommens von Kunststoffen in Böden
- ▶ Untersuchung der relevanten Eintragspfade von Kunststofffraktionen in Böden
- ▶ Quantifizierung der resultierenden Stoffströme
- ▶ Entwicklung von Bewertungsverfahren in Bezug auf mögliche ökologische Wirkungen im Boden selbst und für die Pfade Boden-Grundwasser und – wenn möglich – Boden-Bodenorganismen

BEREICH

Vorkommen und Wirkungen von Kunststoffen in der Atmosphäre

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Minderung der Feinstaub-Emissionen aus Reifenabrieb als einen allgemeinen Beitrag zu einer Verringerung der Feinstaubbelastung durch technologische Weiterentwicklungen

BEREICH

Einträge von Kunststoffen über Abwasser

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Entwicklung von Monitoringverfahren zur verlässlichen Modellierung der Kunststoffeinträge über Abwasser-, Misch- und Einleitungen von Abwasser aus der Trennkanalisation
- ▶ Reduzierung der Einträge von Kunststoffen in Gewässer aus Misch- und Niederschlagswassereinleitungen durch Errichtung von Speicherbauwerken und verbesserten Behandlungseinrichtungen durch Länder und Kommunen

BEREICH

Einträge von Kunststoffen über Klärschlämme und Komposte

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Einführung eines gemeinsamen Grenzwertes für sämtliche Kunststoffverunreinigungen unabhängig von der Teilchengröße und der Kunststoffart durch den Gesetzgeber
- ▶ Entwicklung eines geeigneten Messverfahrens zur Überprüfung der Kunststoffgehalte durch Wissenschaft und Behörden
- ▶ Reduzierung des Eintrages von Kunststoffen in Böden über Klärschlämme durch weitere Reduzierung der Verwertung von Klärschlämmen in Landwirtschaft, Landschaftsbau und Rekultivierung
- ▶ Reduzierung der Kunststoff-Verunreinigungen in Bioabfällen z. B. durch verstärkte Öffentlichkeitsarbeit oder die Einführung von zertifizierten und gekennzeichneten biologisch abbaubaren Bioabfallsammeltüten sowie anderer geeigneter Sammelbehältnisse (z. B. wachsbeschichtete Papiertüten) durch die jeweiligen Entsorgungsträger
- ▶ Weiterentwicklung von Techniken zur Abtrennung von Fremdstoffen aus dem Bioabfall durch die Abfallbranche

BEREICH

Einträge von Kunststoffen über Reifenabrieb

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Entwicklung geeigneter Untersuchungsverfahren
- ▶ Verabschiedung von Maßnahmen zur Begrenzung der Feinstaubemission durch Reifenabrieb durch den Gesetzgeber
- ▶ Minderung des Reifenabriebs durch technologische Weiterentwicklungen, z. B. veränderte Kunststoffmischungen für Reifen, durch die Produzenten
- ▶ Vorgabe bundesweit einheitlicher Standards für die Entsorgung von Bankettschälgut durch den Gesetzgeber

BEREICH

Einträge von Kunststoffen über seebasierte Quellen

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Einpreisung/Integration der Abfallentsorgungsgebühren in die zu entrichtenden Hafengebühren (No-special-fee) im Rahmen der Überarbeitung der europäischen Richtlinie zu Hafenauffangeinrichtungen (2000/59/EC)
- ▶ Intensivierung von Inspektionen/Kontrollen auf See und Verschärfung entsprechender Sanktionen durch die Überwachungsbehörden zur Reduzierung der illegalen Müllentsorgung ins Meer
- ▶ Organisatorische und ökonomische Förderung digitaler Markierungen und anderer technischer Maßnahmen zum Wiederauffinden und Bergen verloren gegangener und verlassener Fischereinetze durch zuständige Maßnahmen-träger (Bundes- und Länderbehörden)
- ▶ durch Bundes- und Landesbehörden Verankerung des Themas Meeresmüll als fester Bestandteil in der professionellen Ausbildung verursachender Sektoren wie Schifffahrt und Fischerei

BEREICH

Einträge von primären Mikroplastik über Kosmetika sowie Wasch- und Reinigungsmittel

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Durchsetzung eines generellen Verbot von Mikroplastik bei diesen Produktgruppen durch EU-weit harmonisierte gesetzliche Regelungen zum Verbot der Verwendung von Mikroplastik in kosmetischen Mitteln im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 und in Wasch- und Reinigungsmitteln im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 648/2004 oder über Beschränkung von primärem Mikroplastik unter der REACH-Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

BEREICH

Gutes Abfallmanagement für die Vermeidung von Kunststoffabfalleinträgen in die Umwelt und die Schließung von Stoffkreisläufen

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Sensibilisierung im Umgang mit Kunststoffabfällen
- ▶ Steigerung des Kunststoffrecyclings
- ▶ Steigerung des Rezyklateinsatzes durch Stärkung der Nachfrage, insbesondere durch die öffentliche Beschaffung
- ▶ Anspruchsvolle Umsetzung des am 01.01.2019 in Kraft getretenen Verpackungsgesetzes durch die Vollzugsbehörden
- ▶ Steigerung der Rücknahme von Abfällen durch die weitere Etablierung von Pfand- und Rücknahmesystemen

BEREICH

Produktdesign zur Vermeidung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt und zur Förderung von Stoffkreisläufen

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Förderung eines möglichst abfallarmen Produktdesigns durch Berücksichtigung von Aspekten wie Langlebigkeit, Wiederverwendbarkeit in vergleichbarer Qualität und Reparierbarkeit durch entsprechende Anforderungen in der EU-Ökodesign-Richtlinie sowie entsprechende Kriterien in geeigneten Vergabegrundlagen für das Umweltzeichen „Blauer Engel“
- ▶ Produktdesign, das dem Litteringpotenzial entgegenwirkt (z. B. Vermeiden von losen Flaschenverschlüssen oder Abreißecken an Süßwaren-Tüten), durch technologische Weiterentwicklungen

BEREICH

Stärkung des bewussten Umgangs mit Kunststoffprodukten

MASSNAHMENEMPFEHLUNGEN

- ▶ Öffentlichkeitsarbeit, z. B. durch Informationskampagnen und die Bereitstellung von Bildungsmaterialien zur Förderung eines bewussteren Umgangs mit Kunststoffprodukten und Kunststoffabfällen, insbesondere Information bzgl. Mehrwegalternativen für Einwegprodukte, ordnungsgemäßer Entsorgung von Kunststoffabfällen und der Folgen von Kunststoffabfällen in der Umwelt durch Maßnahmenträger in Bund und Ländern
- ▶ Einführung von weiteren Pfand- und Rücknahmesystemen zur Förderung von Abfallvermeidung und zur Reduzierung des Littering (als Folge der Wahrnehmung als werthaltigen Abfall) durch den Gesetzgeber
- ▶ Abbau von Barrieren (z. B. Prüfung von Hygienevorgaben) zur Stärkung der Verwendung von eigenen Behältnissen beim Lebensmittel- und Getränkekauf durch den Gesetzgeber
- ▶ Vermeidung des Einsatzes von Einweg-Portionsverpackungen in gastronomischen Einrichtungen, speziell im Außenbereich durch Selbstverpflichtungen oder gesetzgeberische Maßnahmen
- ▶ Stärkung des Einsatzes von Rezyklaten in Kunststoffprodukten und der Verwendung von Produkten aus Recyclingkunststoffen durch den Konsumenten und die öffentliche Beschaffung des Bundes, der Länder und Kommunen
- ▶ Öffentlichkeitsarbeit zur Senkung des Fehlwurfanteils im Bioabfall und verbesserte Kontrolle des Eingangsstromes bei der Sammlung der Bioabfälle durch die Entsorgungsträger

Die Empfehlungen zeigen die nächsten Schritte auf, die aus Sicht des Umweltbundesamtes für **die Erkennung, die Vermeidung und die Reduzierung von Kunststoffen** in der Umwelt konkret angegangen werden sollten.

Wichtig für den Erfolg einer derartigen Vermeidungs- und Reduzierungsstrategie ist auch die Verfügbarkeit von **Daten** über die Eigenschaften der Kunststoffe und ihre Wirkungen in der Umwelt sowie die

Verfügbarkeit von **Monitoringverfahren**. Hier werden deutlich mehr Informationen als bisher vorliegend benötigt, auch um den Erfolg der Minderungsmaßnahmen überprüfen und berichten zu können.

Um für entsprechende Maßnahmen Verständnis bei Entscheidungsträgern und Bevölkerung zu wecken und sie etablieren zu können, ist es wichtig, weiter für das Thema Kunststoffe in der Umwelt zu **sensibilisieren** und gute Ansätze offensiv zu **kommunizieren**.

Tab. 4

Überblick über Forschungsaktivitäten des Umweltbundesamts zu Kunststoffen in der Umwelt

Themenfeld	Forschungsaktivitäten	Forschung im UBA (Drittmittelprojekte und Eigenforschung)	Forschung im Auftrag des UBA	Ergebnisse erwartet im Jahr
Methodenentwicklung	Erarbeitung von geeigneten Probenahmestrategien und chemischen Untersuchungsmethoden (Ermittlung von Gesamtgehalten) für Kunststoffe und Mikroplastik in Wasser und Abwasser sowie für Kläranlagen	×	×	2021
	Erarbeitung von geeigneten Probenahmestrategien und chemischen Untersuchungsmethoden (Ermittlung von Gesamtgehalten) für Kunststoffe und Mikroplastik im Boden	×	×	2020
	Erarbeitung von geeigneten Probenahmestrategien und chemischen Untersuchungsmethoden (Ermittlung von Gesamtgehalten) für Kunststoffe und Mikroplastik in organischen Abfällen sowie für Kompostanlagen und Vergärungsanlagen	×	×	2021
	Folgebewertung und Etablierung einer Langzeitüberwachung der Belastung verschiedener Meeresbereiche und Biota durch Meeresmüll (einschließlich Kunststoff)		×	2020
	Erfassung der humantoxikologischen Gesamtwirkung und die Erfassung der möglichen Gefährdungspotenziale von Mikroplastik im Wasserkreislauf einschließlich Klärung der Adsorption von Schadstoffen an Mikroplastik	×		2019
Vorkommen, Verhalten und Auswirkungen von Kunststoffen in der Umwelt	Untersuchung der Mikroplastikvorkommen im Modellsystem Weser – Nationalpark Wattenmeer	×		
	Untersuchungen zur Quantifizierung des Vorkommens von Kunststoffen und Mikroplastik in Rhein und Donau	×	×	2019/2022
	Monitoring der Belastungen deutscher Meeres- und Küstengewässer mit Abfällen und der ökologischen Konsequenzen		×	2018
	Bewertung und Quantifizierung von Kunststofffunden in Fischen in Nord- und Ostsee		×	2018

Themenfeld	Forschungsaktivitäten	Forschung im UBA (Drittmittelprojekte und Eigenforschung)	Forschung im Auftrag des UBA	Ergebnisse erwartet im Jahr
Vorkommen, Verhalten und Auswirkungen von Kunststoffen in der Umwelt	Screening verschiedener Böden auf relevante Kunststoffe und Mikroplastik (Bestimmung der Gesamtgehalte sowie einzelner Verbindungen)		×	2020
	Untersuchungen zur Verlagerung von Mikroplastik aus dem Boden in das Grundwasser	×		2021
	Untersuchungen zum Degradationsverhalten verschiedener Kunststoffe in Anlagen der Abwasser- und Abfallbehandlung	×		2021
Eintragsquellen von Kunststoffen in die Umwelt	Ermittlung der Mengen an Kunststoffabfällen, die auch nach der Reinigung in der Umwelt verbleiben		×	2019
	Handlungsansätze und Maßnahmen zur Reduzierung des Litterings		×	2019
	Ökologische Bedeutung von Einweggetränkebechern und Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs		×	2019
	Nutzung von Kunststoffprodukten in der Umwelt und Ermittlung der damit verbundenen Einträge (u. a. Rohre, Geotextilien, Landwirtschaftsfolien, Feuerwerkskörper)		×	2019
	Erforschung der Defizite bei der Sammlung von (kunststoffhaltigen) Elektro- und Elektronikaltgeräten und der Entsorgungspfade von nicht ordnungsgemäß entsorgten Elektro- und Elektronikaltgeräten		×	2021
	Quantifizierung des Vorkommens von Kunststoffen und Mikroplastik in Abwasser, Wasser aus der Trennkanalisation sowie in Mischwasserüberläufen	×	×	2021
	Untersuchung spezieller Filtersysteme zur Entfernung von Mikroplastik im urbanen Wasserkreislauf (z. B. aus Gullischächten für Straßenablaufwasser, Mischwasserabschlägen und behandeltem Wasser aus Kläranlagen)	×		2018
	Untersuchungen von Komposten, Gärrückständen und Klärschlämmen auf Kunststoffgehalte einschließlich Mikroplastik	×	×	2021
	Ermittlung der technischen Potenziale zur Steigerung des Kunststoffrecyclings sowie des Rezyklateinsatzes, Ansätze zur Erhöhung des Rezyklateinsatzes und der Nachfrage nach rezyklathaltigen Produkten		×	2019, 2021

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

Abrasion	Materialverlust aus der Oberfläche und Abnutzung eines festen Körpers durch mechanische Belastungen.
Bankett	Das Bankett einer Straße ist im Straßenquerschnitt der sich neben der Fahrbahn befindende Teil. Bankette erhöhen sich selbstständig durch Straßenschmutz und Vegetationsrückstände und werden deshalb üblicherweise alle 3 bis 6 Jahre abgefräst.
Dalton	Dalton bezeichnet die atomare Masseneinheit, eine Maßeinheit der Masse. Ihr Wert ist auf 1/12 der Masse eines Atoms des Kohlenstoff-Isotops ¹² C festgelegt. Sie wird bei der Angabe nicht nur von Atom-, sondern auch von Molekülmassen verwendet.
Fremdwasser	Fremdwasser bezeichnet Wasser, das ungewollt in die Kanalisation eindringt (z. B. aus dem Grundwasser über undichte Kanäle), sich mit dem Schmutzwasser vermischt und gemeinsam mit diesem zur Kläranlage abfließt.
HELCOM	HELCOM ist eine zwischenstaatliche Kommission der Ostseeanrainerstaaten auf der Grundlage der Helsinki-Konvention von 1992 für den Schutz der Meeresumwelt im Ostseeraum.
Klarlauf	Als Klarlauf bezeichnet man behandeltes Abwasser.
Littering	Littering bezeichnet das achtlose Liegenlassen oder Entsorgen von Abfällen in der Natur und dem urbanen Raum.
MSRL	Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/56/EG vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt)
OSPAR	OSPAR ist nach den beiden Vorläufern Oslo-Konvention und Paris-Konvention benannt und ist ein völkerrechtlicher Vertrag zum Schutz der Nordsee und des Nordostatlantiks.
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PU	Polyurethan
Rezyklat	Produkt des Recyclings von Kunststoffabfällen (Sekundärrohstoffe), das wieder zur Herstellung von Neuprodukten eingesetzt werden kann und dadurch Primärrohstoffe ersetzt.
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuk (Styrene Butadiene Rubber)
TED GC MS	Thermoextraktion-Desorption-Gaschromatografie-Massenspektroskopie
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik)

Anhang 1: Überblick über den Stand von Methoden und Untersuchungsverfahren zur Erfassung des Vorkommen und der Auswirkungen von Kunststoffen in der Umwelt

Monitoring mittels analytischer Untersuchungsverfahren

Wie groß ist das Problem?

Validierte Aussagen zur quantitativen Beschreibung möglicher Belastungen der Umwelt mit Kunststoffen sind aufgrund fehlender harmonisierter bzw. standardisierter Untersuchungsverfahren derzeit nur unzureichend möglich.

Vor Beginn der Untersuchungen ist zu klären, welcher Parameter für welche Fragestellung erhoben bzw. ermittelt werden soll. Danach ist ein geeignetes Detektionsverfahren auszuwählen bzw. zu entwickeln. Notwendig ist dann eine gesamtheitliche Betrachtung der drei Bereiche Probenahme, Probenaufbereitung und Detektion, die miteinander spezifisch (mit Bezug auf das Detektionsverfahren) gekoppelt sind. Die Probenahme ist wesentlicher Bestandteil des Untersuchungsverfahrens, da hier in Bezug auf das Gesamtergebnis große Fehlerpotenziale liegen können. Mit der Beprobung ist die repräsentative Entnahme von Untersuchungsmaterial in Bezug auf das jeweilige Medium sicherzustellen. Gleiche Anforderungen lassen sich für die Probenaufbereitung ableiten. Hier ist sicherzustellen, dass während der Aufbereitung keine Beeinträchtigung des zu untersuchenden Kunststoffes erfolgt.

Hinsichtlich der Detektion werden aktuell sowohl Verfahren zur Bestimmung von Gesamtgehalten (thermoanalytisch) als auch hinsichtlich der Partikelanzahl und -größe (spektroskopisch) eingesetzt. Für spezielle Fragestellungen können zusätzlich Angaben zu Volumen bzw. Gewicht der Funde erforderlich sein.

Tabelle 5 zeigt einen Vergleich wichtiger Eckpunkte der unterschiedlichen Detektionsverfahren:

Im ersten Schritt ist es zielführend, einen Überblick über die Gesamtgehalte der Massenkunststoffe (PE, PS, PET, PA, PU, PP, SBR) in den verschiedenen Umweltmedien bzw. Eintragströmen (z. B. Wasser, Boden, Luft, Abfälle, Klärschlämme) zu erhalten (z. B. mg Kunststoff pro Liter oder pro Kilo des untersuchten Mediums). Dabei sollten alle Größenklassen an Kunststoffen untersucht werden. Eine rein visuelle Bestimmung von Kunststoffen ist nur bei größerem Makroplastik möglich.

Neben den Gesamtgehalten der verschiedenen Kunststoffe sind auch weitere Aspekte zur Beurteilung wichtig. Dazu gehören Größenklassen, Formen, Alterung und zur Beurteilung des Schadstofftransfers in die Umwelt auch in den Kunststoffen ggf. enthaltene Zusatzstoffe (Additive) oder an die Kunststoffe sorbierte Schadstoffe. Ebenso sind zur Einordnung Kenntnisse zum Vorkommen natürlicher Partikel

Tab. 5

Wichtige Eckpunkte unterschiedlicher Detektionsverfahren

Parameters	Raman scanning	FTIR imaging	TED-GC-MS	Chemical extraction
Sample amount ^b	1 µg	1 mg	20 mg	500 mg
Measurement time for the present sample amount	– 40 min	3–6 h	3 h	2 h
Result information				
Identification	PE, PP, PS, PET	PE, PP, PS, PET	PE, PP, PS, PET	PS, PET
Quantification	No	No	Yes ^c	Yes
Particle size distribution/Visual Image	Yes	Yes	No	No
Aging Status	Yes	Yes/No ^a	No	Yes ^c

^a Depending on the method used, transmissio/ or ATR.

^b Amount of sample used in these experiments.

^c No measurements to support this statement are presented in this investigation.

Quelle: Elert et al. 2017

notwendig. Für die Bestimmung von Partikelanzahl und -größe kommen spektroskopische Untersuchungsverfahren (vorzugsweise IR – Mikroskop und Ramanspektroskopie) in Frage.

Bisher fehlen für Behörden harmonisierte oder standardisierte Überwachungsmethoden für Kunststoffe in Gewässern, Böden und Luft oder Materialien (z. B. in Sekundärrohstoffdüngern – vgl. These 8). Einheitliche, validierte und vom Aufwand her im Vollzug realisierbare Methoden sind mit dem Ziel, die Voraussetzungen für ein zukünftiges Monitoring von Kunststoffen in der Umwelt nach einheitlichen Qualitätskriterien zu schaffen, zu entwickeln oder etablieren. Als Basis für eine weitergehende Risikoabschätzung der Belastung mit Mikroplastik sind darüber hinaus dringend wirkungsbezogene Bewertungskonzepte und entsprechende methodische Ansätze zu erarbeiten.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Die Etablierung harmonisierter bzw. standardisierter Untersuchungsverfahren zur quantitativen Beschreibung möglicher Belastungen der Umwelt mit Kunststoffen ist dringend erforderlich. UBA beteiligt sich aktiv an mehreren vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben zur Erarbeitung von geeigneten Probenahmestrategien und chemischen Untersuchungsmethoden und fördert auch Forschungsvorhaben, die methodische Fragestellungen zur Aufgabe haben. In diesen wird versucht, die im Bereich Wasser gewonnenen Erkenntnisse auf den Bereich Boden zu übertragen.

Da es sich beim Thema Kunststoffe in der Umwelt um ein internationales Thema mit globalen Verteilungsmustern handelt, ist die Erarbeitung von international anerkannten Verfahrensvorschriften angezeigt. ISO eignet sich hierzu als Plattform Erkenntnisse entsprechend zu bündeln. Die enge Verknüpfung mit dem Europäischen Normungsgremium CEN sorgt für ein harmonisiertes Vorgehen in Europa. Das UBA unterstützt DIN bei der Erarbeitung von Verfahrensvorschriften auf europäischer (CEN) und internationaler (ISO) Ebene.

Monitoring durch Feldmethoden im Bereich Meeresschutz

Wie groß ist das Problem?

Die EU Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL (2008/56/EG)) fordert von den Mitgliedstaaten die Überwachung der Belastung der Meeresgebiete durch Meeresmüll. Die Anforderungen des Beschlusses

2017/848/EU der Kommission geben dabei die Elemente, Kriterien/Indikatoren und methodischen Standards vor. Als primäre Kriterien/Indikatoren sind Abfälle an den Küsten, auf dem Meeresboden und in der Oberflächenschicht der Wassersäule und Mikroabfälle zu betrachten. Für die ersten beiden Aspekte besteht eine Langzeitüberwachung für Nord- und Ostsee im Rahmen der OSPAR-Strandmüllerfassungen und der ICES-Erfassung von Müll am Meeresboden. Dabei wird die Anzahl der mit bloßem Auge erkennbaren Kunststoffteile erhoben. Für den dritten Aspekt ist bislang eine Langzeitüberwachung des Mülls in Mägen von Eissturmvögeln für die Nordsee etabliert, die Aufschluss über die Belastung der Meeresoberfläche mit Kunststoffmüll gibt, da sich die Tiere ausschließlich auf hoher See ernähren. Diese Kriterien/Indikatoren werden auch im Rahmen von OSPAR und HELCOM zur Erfassung von Müll in den Meeresgebieten des Nordost-Atlantiks und der Ostsee genutzt, sie sind zwischen den Mitgliedstaaten abgestimmt und damit vergleichbar. Verfahren zur Überwachung von Mikroabfällen werden momentan entwickelt.

Im Sinne der MSRL sind weiterhin zwei sekundäre Kriterien zu betrachten, die insbesondere in der regionalen Zusammenarbeit entwickelt und angewendet werden sollen. Diese betreffen die Aufnahme von Müll durch Meerestiere und andere relevante Auswirkungen, wie das Verstricken/Strangulieren von Meereslebewesen in Müllteilen. Für erstgenannten Aspekt müssen aber neben dem Eissturmvogel, der nur in der Nordsee vorkommt, weitere Indikatorarten festgelegt werden. Auch für das Verstricken fehlt es noch an entsprechenden Indikatorarten.

Die EU Task Group on Marine Litter hat 2013 eine Monitoring Leitlinie entwickelt, die von den Mitgliedstaaten angewandt und derzeit überarbeitet wird (<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC83985>). Detaillierte Angaben zu den nationalen Monitoringaktivitäten zu Müll im Meer sind unter www.meeresschutz.info einzusehen.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Mit Unterstützung zweier UBA Forschungsvorhaben wurden bestehende und neue Monitoringansätze für Müll in allen Meeresbereichen überprüft. Statistische Analysen von Strandmülldaten dienen der Quellenanalyse und der Interkalibrierung verschiedener Monitoringmethoden. Für das Monitoring von Mesomüll (Abfallteile zwischen 0,5 cm und 2,5 cm) an Stränden

wurden zwei geeignete Methoden in der Ostsee erprobt. Diese werden nun auch in der Nordsee angewendet. Ein Screening von Monitoringprogrammen identifizierte solche, die für ein Langzeitmonitoring von Müll am Meeresboden geeignet sind. Dabei wurde die Eignung von geostatistischen Daten, die im Zuge von fischereibiologischen Untersuchungen mit erhoben werden, auf Effektivität und Plausibilität überprüft. Räumlich verteilte Daten (2010–2012) von Fernerkundungen von Flugzeugen aus wurden auf jährliche und saisonale Trends hin untersucht und mit Dichten von Müll am Meeresboden korreliert. Weiterhin wurden die Mägen bzw. Magen- und Darmtrakte von 258 pelagischen und 132 demersalen Fischen verschiedener Arten aus Nord- und Ostsee auf neun verschiedene Kunststoffe untersucht, die über 80 Prozent der aktuellen Kunststoffproduktion repräsentieren.

Ziel der weiteren F&E-Vorhabens ist es nun, für diese und künftige Folgebewertungen langfristige und verlässliche Monitoringverfahren für alle erforderlichen Indikatoren zur Bewertung der Kriterien des Beschlusses 2017/848/EU der Kommission zu etablieren und bestehende Bewertungsansätze in ein akzeptiertes Bewertungssystem zu überführen. Dafür werden Methoden, die sich bei dem vorgeschalteten Pilotmonitoring bewährt haben, nun für eine Langzeitüberwachung vorbereitet und einige neue Methoden angewandt und erprobt, um diejenigen zu ersetzen, die sich als ungeeignet erwiesen haben. So werden z. B. die Untersuchungen in der Basstölpelbrutkolonie auf Helgoland fortgesetzt. Damit ist eine Indikatorart für das Verstricken sowie Strangulieren in Meeresmüll für das deutsche Nordseegebiet etabliert. Damit soll in Zukunft eine umfassende Einschätzung der Belastung der deutschen Meeresumwelt mit Müll ermöglicht werden.

Ermittlung des Ausmaßes möglicher Wirkungen von Mikroplastik auf Organismen in der Umwelt durch ökotoxikologische Testverfahren

Wie groß ist das Problem?

Mikroplastik kann in Organismen sowohl mechanische als auch chemische Effekte hervorrufen. Durch die Interaktion von Mikroplastik mit anderen Umweltchemikalien ist eine zusätzliche Belastung möglich. Zudem enthält Mikroplastik meist Additive, die ebenfalls schädliche Effekte auf Organismen haben können. Mikroplastik-Partikel werden biologisch nur schwer abgebaut und beeinflussen möglicherweise die Nahrungsaufnahme, deshalb müssen

längerfristige ökotoxikologische Tests mit relevanten Organismen durchgeführt werden, z. B. mit Filtrierern wie Daphnien oder Muscheln.

Für die ökotoxikologische Testung von Mikroplastik müssen die klassischen ökotoxikologischen Testverfahren weiterentwickelt werden. So ist die genaue Charakterisierung der Mikroplastik-Partikel essentiell, denn abhängig vom Testorganismus können z. B. unterschiedliche Partikelgrößen relevant sein. Neben der Größenverteilung sollten auch Polymertyp und Form sowie die Wirkungen der Oberflächenbeschaffenheit (z. B. gealterter Oberflächen) erforscht werden. Abhängig von der Fragestellung ist auch wichtig zu wissen, welche weiteren Bestandteile enthalten sind, z. B. Additive. Als Einheit sollte die Partikelanzahl pro Liter verwendet werden, gegebenenfalls durch Modellrechnung unter Berücksichtigung von Form und Größenverteilung. Neben der Angabe der Konzentration in Masse/L sollte auch die Angabe als Partikelzahl erfolgen. Jede Testkonzentration sollte durch Einwaage der jeweiligen Menge direkt hergestellt werden. Eine Herstellung einer Stammsuspension mit anschließender Verdünnung sollte vermieden werden, da es dabei zu Fehlern kommen kann, wenn keine homogene Suspension vorliegt. Während des Versuchszeitraumes sollte eine möglichst homogene Verteilung der Mikroplastik-Partikel eingehalten werden, damit die Organismen gleichmäßig exponiert sind. Dies ist durch eine entsprechende Analytik (z. B. Raman Spektroskopie) zu dokumentieren. Auch bei der Mediumerneuerung muss auf eine homogene Vermischung und einen korrekten Mediumwechsel geachtet werden. Dabei sollten vor allem die durch den Wechsel des Mediums bedingten Verluste oder eine Anreicherung von Partikeln in den Expositionsgefäßen vermieden werden. Alle anderen Testbedingungen und Validitätskriterien gemäß der Testguidelines für ökotoxikologische Tests sind einzuhalten.

Je nach Dichte, Größe, Oberflächenbeschaffenheit und Wasserturbulenz neigen die Partikel dazu, im Wasser aufzusteigen oder abzusinken. Die Teststrategie sollte daran angepasst werden, z. B. durch Testung von Sedimentorganismen bei absinkenden Partikeln.

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Es gibt kaum Erfahrungen bei der Testung mit Mikroplastik, deshalb ist weitere Forschung notwendig, um eine angepasste Teststrategie zu erarbeiten. Als

die hierfür wichtigsten nächsten Schritte sieht das UBA die Etablierung verlässlicher, standardisierter Methoden zur Analytik; weitere Forschung zur technischen Umsetzung von Labortests und Identifizierung geeigneter, sensitiver Testspezies. Das UBA ist seit mehreren Jahren führend an der Entwicklung von OECD Prüfrichtlinien und Leitfäden für die Untersuchung von Nanomaterialien beteiligt. Des Weiteren betreut das UBA und beteiligt sich an zahlreichen Forschungsprojekten zum Umweltverhalten und zu Effekten von Nanomaterialien. Erfahrungen aus diesen Untersuchungen und der Auswertung von Studien zum Umweltverhalten und -wirkung von Nanomaterialien können bei der Etablierung von standardisierten Tests und Untersuchungsstrategien zu Mikroplastik unterstützen.

Ermittlung des Ausmaßes möglicher Wirkungen von Mikroplastik auf Menschen durch humantoxikologische Untersuchungen

Wie groß ist das Problem?

In der Presse wurde von Mikroplastikfunden u. a. in Honig, Bier und Trinkwasser berichtet (NDR 2014). Doch die verwendete Messmethode mit Hilfe von Lichtmikroskopie ist umstritten und die Ergebnisse konnten bisher nicht überprüft werden, da geeignete Methoden erst entwickelt werden müssen – insbesondere zur zuverlässigen Bestimmung geringer Konzentrationen, wie sie in Trinkwasser oder Lebensmitteln zu erwarten sind. Zur Beurteilung, wie groß das Problem ist, sind jedoch zum einen Konzentrationsdaten eine unerlässliche Voraussetzung (siehe dazu auch unten unter 2.1.3 das Kapitel über Trinkwasser). Zum anderen bedarf es wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Auswirkungen von Mikroplastik auf die menschliche Gesundheit. Diese sind derzeit kaum existent.

Für die Bewertung der Wirkung von Mikroplastik auf Menschen müssen im Wesentlichen zwei Formen der Toxizität unterschieden werden. Zum einen Effekte, die sich aus der Partikelgröße ergeben und zum anderen Effekte, die sich aus der Freisetzung von Schadstoffen aus den Partikeln bzw. die Adsorption an die Partikel und deren nachfolgender Freisetzung im Körper ergeben. In der wissenschaftlichen Literatur finden sich keine Hinweise über die Aufnahmepfade

von Mikroplastik beim Menschen in die Zellen. Im Falle von Trinkwasser sind Haut/Schleimhäute und Darm/Blutstrom denkbare Wege. Zur Klärung möglicher Aufnahmepfade werden organspezifische/humanrelevante Zellkulturen eingesetzt und entsprechende Parameter, wie entzündliche Prozesse, gemessen. Über die Wirkung der Zusatzstoffe und der Monomere liegen bereits umfangreiche Daten aus der Zulassung von Kunststoffmaterialien im Kontakt zu Trinkwasser vor.

Ähnlich wie in der Ökotoxikologie ist auch in der Humantoxikologie die Entwicklung und Etablierung einer Teststrategie erforderlich. Dabei kann auf die im Verbundprojekt Tox-Box entwickelten Verfahren zur Bewertung der relevanten Parameter Gentoxizität, Neurotoxizität und endokrine Wirkungen zurückgegriffen werden

(<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/trinkwasserqualitaet/toxikologie-des-trinkwassers/projekt-tox-box>) Da in Tox-Box jedoch Einzelsubstanzen und nicht Partikel bewertet wurden, ist für Mikroplastik eine Modifikation der Teststrategie erforderlich. Hierbei wird sich auch an den für Nanopartikel festgelegten OECD-Guidelines orientiert (www.oecd.org/env/ehs/nanosafety). Es muss in diesem Zusammenhang sowohl mit einer Beeinträchtigung der Zellkultur als auch der empfindlichen Messtechnik durch die Mikropartikel gerechnet werden

Was tut bzw. fordert das Umweltbundesamt?

Das Umweltbundesamt ist seit 2016 am BMBF-Verbundprojekt „Mikroplastik im Wasserkreislauf – Probenahme, Probenbehandlung, Analytik, Vorkommen, Entfernung und Bewertung („MiWa“)“ im Rahmen der Fördermaßnahme RiSKWa beteiligt (<https://www.fona.de/de/mikroplastik-im-wasserkreislauf-21854.html>). Ziel des Projekts MiWa ist die Erfassung der Gesamtwirkung und die Erfassung der möglichen Gefährdungspotenziale. Dazu zählt auch die Klärung der Adsorption von Schadstoffen an Mikroplastik, deren Untersuchung sich allerdings als methodisch sehr schwierig erweist, denn man muss sicher sein, dass der Schadstoff wirklich am Mikroplastik adsorbiert war, wenn man ihn nachweist.

Literatur

Einleitung

EC (2011): Verordnung (EU) Nr. 10/2011 vom 14. Januar 2011 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0010&from=DE>

EC (2017): Intentionally added microplastics in products. Final report. <http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/pdf/39168%20Intentionally%20added%20microplastics%20-%20Final%20report%2020171020.pdf>

GESAMP (2015): "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment" (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p

Conversio Market & Strategy GmbH (2018): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017. Download der Kurzfassung unter: https://www.bkv-gmbh.de/fileadmin/documents/Studien/Kurzfassung_Stoffstrombild_2017_190918.pdf

1.1 Was sind Kunststoffe?

keine Literaturquellen

1.2 Methoden und Untersuchungsverfahren für Kunststoffe

BMBF (2018): „Diskussionspapier – Mikroplastik-Analytik“, <https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2018-10/Diskussionspapier%20Mikroplastik-Analytik.pdf>

Horton, AA; Walton, A.; Spurgeon, DJ; Lahive, E and Svendsen, C (2017): Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of The Total Environment* 586 (Supplement C): S. 127–141.

Karami, A (2017): Gaps in aquatic toxicological studies of microplastics. *Chemosphere* 184 (Supplement C): S. 841–848

Mikroplastik: Entwicklung eines Umweltbewertungskonzepts; <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/mikroplastik-entwicklung-eines>

2.1.1 Meere

ARCADIS (2012): Pilot project „4 Seas – plastic recycling cycle and marine environment impact. Case study on the plastic cycle and its loopholes in the four European regional seas areas“. European Commission, Projectnr. BE011102328, Final Report

Cózar, A; Echevarría, F; González-Gordillo, JJ; Irigoien, X; Úbeda, B; Hernández-León, S; Palma ÁT; Navarro, S; García-de-Lomas, J; Ruiz, A; Fernández-de-Puelles, ML; Duarte, CM (2014). Plastic debris in the open ocean. *PNAS* 111, pp. 10239–10244.

CBD – Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2016): Marine Debris: Understanding, Preventing and Mitigating the Significant Adverse Impacts on Marine and Coastal Biodiversity, Montreal, Technical Series No. 83, 78 pages.

Dürselen et al. (in Vorbereitung): Endbericht zum F&E-Vorhaben „Kohärentes Monitoring der Belastungen deutscher Meeres- und Küstengewässer mit menschlichen Abfälle und der ökologischen Konsequenzen mit weiterem Fokus auf eingehende Identifizierung der Quellen“

Gall, SC; Thompson, RC (2015): The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin* 92, pp. S 170–S 179.

Galgani, F; Werner, S; Hanke, G; de Vrees, L (2015): Marine Litter within the European Marine Strategy Framework Directive. Pp. 1–8.

ICES 2012: Download unter: [https://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/ICES%20Survey%20Protocols%20\(SISP\)/SISP1-IBTSVIII.pdf](https://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/ICES%20Survey%20Protocols%20(SISP)/SISP1-IBTSVIII.pdf)

Holzhauser, A (2016): Sozioökonomische Auswirkungen von Meeresmüll auf Küstengemeinden an der deutschen Nord- und Ostsee. Bachelorarbeit

Jambeck, JR; Geyer, R; Wilcox, C; Siegler, TR; Perryman, M; Andrady, A; Narayan, R and Law, KL (2015): Plastic waste inputs from land into the ocean. *Marine Pollution Bulletin* 347, pp. 768–771.

Lebreton, LCM; van der Zwet, J; Damsteeg, J-W; Slat, B; Andrady, A; Reiser, J (2017): River plastic emissions to the world oceans. *Nature Communications* 8: 15611 (2017) doi: 10.1038/ncomms15611.

Schulz-Böttcher et al. (in Vorbereitung): Endbericht zum F&E-Vorhaben „Bewertung und Quantifizierung von Kunststoffeffunden in pelagischen und demersalen Fischen in Nordsee (Niedersächsisches Wattenmeer) und Ostsee (Wismar-Bucht/nördlich Rügen).“

Sutherland, W; Clout, M; Cote, I; Depledge, M; Fellman, L; Watkinson, A (2010): A horizon scan of global conservation issues for 2010. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 1–7.

Ten Brink, P.; Lutchman, I.; Bassi, S.; Speck, S.; Sheavly, S.; Register, K.; Woolaway, C. (2009): Guidelines on the use of market-based instruments to address the problem of marine litter. Institute for European Environmental Policy (IEEP), Brussels, Belgium, and Sheavly Consultants, Virginia Beach, Virginia, USA, 1–60.

UNEP (2005). Marine Litter, An analytical overview. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, 47 p.

Werner, S; Budziak, A; van Franeker, J; Galgani, F; Hanke, G; Maes, T; Matiddi, M; Nilsson, P; Oosterbaan, L; Priestland, E; Thompson, R; Veiga, J; Vlachogianni, T (2016): Harm caused by marine litter. MSFD GES TG Marine Litter – Thematic Report; JRC Technical report; EUR 28317 EN; doi: 10.2788/690366.

Werner, S; Dau, K; Neumann, J; Stöfen O'Brien, A unter Mitwirkung der Beteiligten des Runden Tisches Meeresmüll (2017): Ein Jahr Runder Tisch Meeresmüll. www.muell-im-meer.de

WWF Polen (2011). Ecological effects of ghost net retrieval in the Baltic Sea. Pilot Project: collecting ghost nets. Final report. ISBN: 978-83-60757-49-9

2.1.2 Binnengewässer

UBA – Umweltbundesamt (2017): Conference on Plastics in Freshwater Environments. Bänsch-Baltruschat, B; Brennholt, N; Kochleus, C; Reifferscheid, G; Koschorreck, J Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/conference-on-plastics-in-freshwater-environments>

LANUV (2018): Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands – Bundesländerübergreifende Untersuchungen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Download unter: https://lfu.rlp.de/fileadmin/lfu/Startseitenbeitraege/Laenderbericht_Mikroplastik_in_Binnengewassern.pdf

2.1.3 Trinkwasser

Barboza LGA, Gimenez BCG (2015): Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. Marine Pollution Bulletin

BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung (2015): Mikroplastikpartikel in Lebensmitteln: Stellungnahme Nr. 013/2015

Bouwmeester H, Hollmann PCH, Peters RJB: Potential health impact of environmentally released micro- and nanoplastics in the human food production chain (2015): experiences from Nanotoxicology. Environmental Science Technology 49 (2015) 8932-8947.

EC – European Commission(2014): Plastic waste: Ecological and human health impacts. DG Environment News Alert Service, In-depth report

EFSA – European Food Safety Authority (2016): Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA Journal 14, 6 (2016) 4501.

Galloway TS (2015): Micro- and nano-plastics and human health. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M (Eds.): Marine Anthropogenic Litter. Springer Open

Hollman PCH, Bouwmeester H, Peters RJB (2013): Microplastics in the aquatic food chain. RIKILT report 2013.003 Wageningen, Niederlande

Liebmann B (2015): Mikroplastik in der Umwelt, Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf, Umweltbundesamt, Wien, Österreich

2.2 Boden

Chae, Y; An Y.-J (2018): Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. Environmental Pollution 240, S. 387-395

Dümichen, E; Eisentraut, P; Bannick, CG; Barthel, AK; Senz, R; Braun, U (2017): Fast identification of microplastics in complex environmental samples by a thermal degradation method. Chemosphere 174, S. 572–584

Eiert, AM; Becker, R; Dümichen, E; Eisentraut, P; Falkenhagen, J; Stunn, H; Braun, U (2017): Comparison of different methods for microplastic detection: what can we learn from them, and why asking the right question before measurements matters? Environmental Pollution;231:S. 1256–1264.

Dümichen, E; Barthel, AK; Bannick,CG; Brand, K; Jekel, M; Senz, R.; Braun, U (2015): Analysis of polyethylene microplastics in environmental samples, using a thermal decomposition method. Water Research 85, S. 451–457

2.3 Luft

VDI-Richtlinie 2119: Messen von Immissionen; Probenahme von atmosphärischen Partikeln > 2,5 µm auf einer Akzeptorfläche mit dem Passivsammler Sigma-2; Lichtmikroskopische Charakterisierung sowie Berechnung der Anzahl/sedimentationsrate und der Massenkonzentration; Ausgabedatum: 06/2013

3.1.1 Abfallmanagement

Conversio Market & Strategy GmbH (2018): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017. Download der Kurzfassung unter: https://www.bkv-gmbh.de/fileadmin/documents/Studien/Kurzfassung_Stoffstrombild_2017_190918.pdf

UBA – Umweltbundesamt (in Vorbereitung): Technische Potenzialanalyse zur Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes. REFOPLAN-Vorhaben, FKZ 3716 33 325 0, Auftragnehmer: ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, u. e. c. Umwelt- und Energie-Consult GmbH, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, MAKSC GmbH Magdeburger Kunststoff-Service Center

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016): Steigung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes. Position. Dessau-Roßlau Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/uba-kernelemente-zur-steigerung-des>

UBA –Umweltbundesamt (in Vorbereitung): Prüfung konkreter Maßnahmen zur Steigerung der Nachfrage nach Kunststoffrezyklaten und rezyklathaltigen Kunststoffprodukten. Refoplan-Vorhaben, FKZ 3719 34 306 0.

3.1.2 Klärschlämme, Komposte

Weithmann, N; Möller, JN; Löder, MGJ; Piehl, S; Laforsch, C; Freitag, R (2018): Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment, Science Advances (2018), DOI 10.1126/sciadv.aap8060

3.1.3 Abwasser

Destatis Fachserie 19 Reihe 2.1.2, Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung – Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung, 2013, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2015

3.1.4 Mikroplastik in Wasch- und Reinigungsmitteln und Kosmetika

Essel, R; Engel, L; Carus, M (2015): Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz in Deutschland. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 63/2015. Dessau-Roßlau.

3.1.5 Reifen- und Straßenabrieb

BAST (Hrsg.) (2010): Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Heft V 188.

UBA – Umweltbundesamt (2018): Emissionen von Luftschadstoffen. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen>

3.2.1 Schifffahrt und Fischerei

Essel, R; Engel, L; Carus, M (2015): Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz in Deutschland. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 63/2015. Dessau-Roßlau.

Galgani, F; Werner, S; Hanke, G; de Vrees, L (2015). Marine Litter within the European Marine Strategy Framework Directive. pp. 1–8.

Gerke, G; Tegtmeier, L; Detloff, K; Möllmann, N (2017): „Fishing for Litter“ – Sortieranalyse und werkstoffliche Prüfung von Kunststoffabfällen aus dem Meer. In: recovery 5/2017: S. 50–62.

Schernewsk, G; Balciunas, A; Gräwe, D; Gräwe, U; Klesse, K; Schulz, M; Wesnigk, S; Fleet, D; Haseler, M; Möllmann, N; Werner, S (2018): Beach macro-litter monitoring on southern Baltic beaches: results, experiences and recommendations. *Journal of Coastal Conservation*, Volume 22: pp. 5–25.

UNEP (2005). Marine Litter, An analytical overview. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, p. 47

Veiga, JM; Fleet, D; Kinsey, S; Nilsson, P; Vlachogianni, T; Werner, S; Galgani, F; Thompson, RC; Dagevos, J; Gago, J; Sobral, P; Cronin, R (2016): Identifying Sources of Marine Litter. MSFD GES

TG Marine Litter Thematic Report; JRC Technical Report; EUR 28309; doi:10.2788/018068

Verschoor, A; van Herwinjen, R; Posthuma, C; Klesse, K; Werner, S (2017): Assessment document of land-based inputs of microplastics in the marine environment: <https://www.ospar.org/documents?v=38018>

WWF Polen (2011). Ecological effects of ghost net retrieval in the Baltic Sea. Pilot Project: collecting ghost nets. Final report. ISBN: 978-83-60757-49-9

4.1 Produktdesign

UBA – Umweltbundesamt (2016a): Mikroplastik in Kosmetika – Was ist das?: Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/mikroplastik-in-kosmetika-was-ist-das>

EU-Kommission – Vertretung in Deutschland (2018): Kommission legt europäische Plastikstrategie vor. Download unter: https://ec.europa.eu/germany/news/20180116-plastikstrategie_de

UBA – Umweltbundesamt (2016b): Bundespreis Ecodesign: Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekodesign/bundespreis-ecodesign>

UBA – Umweltbundesamt (2018): Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. Sachverständigengutachten, Projektnummer 93711, Auftragnehmer Bipro, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer>

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg) (2017): Kurzposition zu Biokunststoffen: Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/uba_kurzposition_biokunststoffe.pdf

4.2 Kunststoffen einen Wert geben

Heeb, J; Ableidinger, M; Berger, T; Hoffelner, W (2004): Littering – ein Schweizer Problem? Eine Vergleichsstudie Schweiz – Europa. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz (BUWAL).

Breitbarth, M; Urban, AI (2014): Littering im öffentlichen Raum – ein altbekanntes und doch brandaktuelles Problem. In: Müll und Abfall, 11/2014.

UBA – Umweltbundesamt (in Vorbereitung a): Kunststoffe in der Umwelt – Erarbeitung einer Systematik für erste Schätzungen zum Verbleib von Abfällen und anderen Produkten aus Kunststoffen in verschiedenen Umweltmedien. REFOPLAN-Vorhaben, FKZ 3716 34 3260, Auftragnehmer: Ökopool, Intecus, Consultic

UBA – Umweltbundesamt (in Vorbereitung b): Untersuchung der ökologischen Bedeutung von Einweggetränkebechern im Außer-Haus-Verzehr und mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs. REFOPLAN-Vorhaben, FKZ 3717 34 339 0, Auftragnehmer: ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, IÖW Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung und Klimaschutz+

UBA – Umweltbundesamt (in Vorbereitung c): Status Quo, Handlungspotentiale, Instrumente und Maßnahmen zur Reduzierung des Litterings. REFOPLAN-Vorhaben, FKZ 3717 34 338 0, Auftragnehmer: Zeus GmbH, Öko-Institut, in Bearbeitung.

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg) (2017): Kurzposition zu Biokunststoffen: Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/uba_kurzposition_biokunststoffe.pdf

UBA – Umweltbundesamt (2018): Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. Sachverständigengutachten, Projektnummer 93711, Auftragnehmer Bipro, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer>

Anhang 1

Elert, AM; Becker, R; Duemichen, E; Eisentraut, P; Falkenhagen, J; Sturm, H; Braun, U (2017): Comparison of different methods for MP detection: What can we learn from them, and why asking the right question before measurements matters? In: *Environmental Pollution*, Volume 231, Part 2, DOI: 10.1016/j.envpol.2017.08.074.



► **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt/