

TEXTE

63/2015

Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz in Deutschland

TEXTE 63/2015

Gutachten

Projektnummer 31969

UBA-FB 002147

Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz in Deutschland

von

Roland Essel, Linda Engel, Michael Carus
nova-Institut GmbH, Hürth


Dr. Ralph Heinrich Ahrens
Köln

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

nova-Institut GmbH
Chemiepark Knapsack
Industriestr. 300
50354 Hürth

Abschlussdatum:

November 2014

Redaktion:

Fachgebiet II 2.3 Meeresschutz
Stefanie Werner

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/quellen-fuer-mikroplastik-relevanz-fuer-den>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Projektnummer 31969 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Zusammenfassung

Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass Kunststoffe die Abfallfunde in Ozeanen und Binnengewässern dominieren. Dabei werden neben großformatigen Abfällen wie Plastikflaschen oder -tüten auch Mikropartikel aus Kunststoffen im Wasserkörper, in Sedimenten und an Stränden der Weltmeere nachgewiesen. Von 663 Arten ist bekannt, dass sie von negativen Auswirkungen durch Abfälle in der Meeres- und Küstenumwelt betroffen sind. Mehr als die Hälfte davon nehmen Kunststoffabfälle auf oder verfangen sich in ihnen. Mikropartikel, deren Größe kleiner als fünf Millimeter ist, können dabei genauso wie größere Kunststoffteile zu mechanischen Verletzungen des Verdauungstraktes führen, die Verdauung behindern sowie die Nahrungsaufnahme blockieren. Zudem können ihre Bestandteile toxisch sein oder eine hormonelle Wirkung entfalten. Dadurch besteht die Gefahr, dass sich Schadstoffe in der Nahrungskette anreichern. Außerdem können Mikropartikel aus Kunststoff als Transportmittel dienen, an dem sich Schadstoffe, invasive Arten und Pathogene anlagern.

Aufgrund dieser alarmierenden Befunde hat das Umweltbundesamt eine Studie in Auftrag gegeben, um die Verwendungsmengen an Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten, die in Deutschland und in der Europäischen Union zum Einsatz kommen, in einer ersten Näherung zu ermitteln, weitere Anwendungsbereiche zu recherchieren, deren Einsatzmengen aufzuzeigen und weitere Quellen von Mikropartikeln aus Kunststoff ausfindig zu machen und deren Menge abzuschätzen. Auf Basis umfassender Literaturanalysen und Telefoninterviews, hat das nova-Institut entsprechende Daten erhoben. Dabei wurde zwischen primären Mikropartikeln und sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff unterschieden. Primäre Mikropartikel aus Kunststoff werden direkt in mikroskopischer Größe hergestellt. Sie kommen in kosmetischen Produkten und anderen Einsatzbereichen zur Anwendung. Sekundäre Mikropartikel sind Bruchstücke makroskopischer Kunststoffteile und entstehen zum Beispiel durch die Fragmentierung von Plastikflaschen oder den Abrieb von Autoreifen und Textilien.

Erste Schätzungen lassen vermuten, dass in Deutschland jährlich ca. 500 Tonnen primäre Mikropartikel aus Polyethylen in kosmetischen Mitteln verwendet werden. Die Einsatzmengen in Wasch- und Desinfektionsmitteln sowie Strahlmitteln in Deutschland schätzen die Autoren auf jeweils unter 100 Tonnen pro Jahr. Für die Einsatzmengen von Mikropartikeln in Kunststoffwachsen erwarten die Autoren dagegen etwa 100.000 Tonnen. Über die Einsatzmengen in den verschiedenen anderen Anwendungen liegen derzeit keine genaueren Angaben vor, sodass die gesamte Einsatzmenge von primären Mikropartikeln in Deutschland nicht beziffert werden kann.

Der Zersetzung von Kunststoffmüll ist die wichtigste Quelle für die Entstehung von Mikropartikeln. Wissenschaftliche Schätzungen gehen davon aus, dass circa sechs bis zehn Prozent der weltweiten Kunststoffproduktion ihren Weg in die Weltmeere finden. Da Deutschland über ein vergleichsweise gut entwickeltes Abfallmanagement verfügt, kann vermutet werden, dass weniger Kunststoffabfall in die Umwelt gelangt, doch belastbare Informationen dazu sind nicht vorhanden. Weitere bisher vernachlässigte und aufgrund der hohen Eintragsmengen bedeutende sekundäre Quellen für Mikropartikel aus Kunststoff sind Chemiefasern, die aus der Kleidung und sonstigen Textilien ausgewaschen werden, der Reifenabrieb im Straßenverkehr sowie der Verlust von Granulaten bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Kunststoffen.

Mikropartikel aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln leisten somit mengenmäßig nur einen geringen, aber überflüssigen Beitrag zur Umweltbelastung mit Kunststoff. Um den Eintrag von Mikropartikeln aus Kunststoff in die Umwelt und vor allem in die Weltmeere zu verringern,

genügt es daher nicht, sich auf deren direkten Einsatz in kosmetischen Mitteln und anderen Anwendungen zu fokussieren. Stattdessen braucht es zusätzliche Maßnahmen, welche die Menge an Kunststoffabfällen in der Umwelt und deren weiteren Eintrag generell drastisch verringern – und das nicht nur in Deutschland oder der EU, sondern weltweit.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungen	7
1 Einleitung.....	8
1.1 Begriffsbestimmung: Mikropartikel aus Kunststoff.....	9
1.2 Untersuchungsrahmen und Zielsetzung	10
2 Methode	12
3 Ergebnisse	13
3.1 Einsatz von primären Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten	13
3.2 Einsatz von primären Mikropartikeln aus Kunststoff in anderen Anwendungsbereichen	18
3.2.1 Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel für Böden in privaten Haushalten	18
3.2.2 Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel im Gewerbe und in der Industrie	18
3.2.3 Strahlmittel zum Entgraten von Oberflächen.....	19
3.2.4 Anwendungen in der Medizin.....	19
3.2.5 Mikronisierte Kunststoffwachse in technischen Anwendungen	20
3.3 Quellen für sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff	22
3.3.1 Fragmentierung von Kunststoffabfällen.....	22
3.3.2 Freisetzung von Chemiefasern aus Textilien	24
3.3.3 Verlust von Pellets bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Kunststoff.....	26
3.3.4 Abrieb von Reifen aus Synthetikgummi.....	27
4 Diskussion	28
4.1 Quellen für primäre Mikropartikel aus Kunststoff	28
4.2 Quellen für sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff	31
4.3 Gegenüberstellung der Quellen von primären und sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland.....	32
4.4 Substitution von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten.....	34
5 Schlussfolgerung und Ausblick	37
Literaturverzeichnis	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wert der in Deutschland 2012 hergestellten kosmetischen Produkte nach Produktgruppe (Quelle: IKW 2013).....	13
Abbildung 2:	Kunststoffproduktion, Verbrauchernachfrage, Abfallmengen und deren Behandlung in Europa 2012 (Quelle: Veränderte Darstellung nach PlasticsEurope 2013)	23
Abbildung 3:	Weltweite Produktion von Kunststoffen im Zeitraum von 1950 bis 2012 und geschätzte Einträge von Kunststoffabfällen ins Meer (Quelle: Eigene Darstellung nach PlasticsEurope 2013, UNEP 2006, Wright et al. 2013).....	24
Abbildung 4:	Unterscheidung verschiedener Fasern nach Rohstoff und Herstellungsverfahren (Quelle: Eigene Darstellung nach IVC 2012).....	25
Abbildung 5:	Biologisch abbaubare, bio-basierte Polymere in zahlreichen Umgebungen (Quelle: nova-Institut, IKT & OWS 2015).....	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassifizierung und Bezeichnung von Kunststoffabfällen im Meer auf Basis ihrer Größe im Vergleich zu typischen Dimensionen betroffener Lebewesen und industrieller Anwendungen von Kunststoff (Quelle: eigene Darstellung nach JRC 2013, STAP 2011).....	10
Tabelle 2:	Produktionsmenge kosmetischer Produkte in Deutschland 2002 (Quelle: Eigene Darstellung nach Tolls et al. 2009).....	14
Tabelle 3:	Tabellarische Darstellung der Einsatzmengen an Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln (Quelle: Eigene Darstellung).....	17
Tabelle 4:	Wichtige Anwendungen mikronisierter Kunststoffwachse in technischen Prozessen (Quelle: Eigene Darstellung)	20
Tabelle 5:	Einsatzmengen von primären Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten und anderen Anwendungen (Quelle: Eigene Darstellung).....	30
Tabelle 6:	Größenordnung der Quellen von sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland und Europa (Quelle: Eigene Darstellung).....	32
Tabelle 7:	Tabellarische Darstellung der Quellen von primären und sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland (Quelle: Eigene Darstellung).....	33

Abkürzungen

DWA	Deutscher Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
EU	Europäische Union
HELCOM	Helsinki Konvention zum Schutz der Meeresumwelt der Ostsee
IHO	Industrieverband Hygiene und Oberflächenschutz für industrielle und institutionelle Anwendung
IKW	Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V.
INCI	Internationale Nomenklatur für kosmetische Inhaltsstoffe
IVC	Industrievereinigung Chemiefaser e.V.
OSPAR	Oslo-Paris Konvention zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks
PA	Polyamide
PC	Polycarbonate
PE	Polyethylen
PEEK	Polyetheretherketon
PET	Polyethylenterephthalat
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PLA	Polylactide
PMMA	Polymethylmethacrylat
PP	Polypropylen
PU	Polyurethan
TG ML	Technical Group on Marine Litter Technische Arbeitsgruppe der Europäischen Kommission zu Abfällen im Meer
UBA	Umweltbundesamt
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
WDK	Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V.

1 Einleitung

Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass Kunststoffe die Abfallfunde in Ozeanen und auch in Binnengewässern dominieren (Barnes et al. 2009). Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen nimmt an, dass auf jedem Quadratkilometer Ozean bis zu 18.000 Kunststoffteile schwimmen (UNEP 2006). Dabei scheinen Kunststoffe, die auf der Wasseroberfläche oder in der oberen Wassersäule treiben, nur die Spitze des Eisbergs zu sein. In der Nordsee stellte dieser Anteil vor rund 20 Jahren rund 15 % des in den Meeren befindlichen Quantums dar, während 70 % auf den Boden sanken und die restlichen 15 % an die Küsten gespült wurden und sich zu den Abfällen gesellten, die Touristen und andere Erholungssuchende vielerorts am Strand hinterlassen haben (OSPAR 1995). Zwischen den Jahren 2002 und 2008 bestanden circa drei Viertel der im Zuge des regulären OSPAR Spülsaum-Monitorings an Stränden der deutschen Nordsee gefundenen Müllteile aus Kunststoffen. In der Ostsee ermittelte das Projekt MARLIN für die Jahre 2011-2013 einen Anteil von circa 62 % an städtisch geprägten Stränden und 54 % entlang peripher gelegener Strände (BML 2013).

Kunststoffe werden entweder durch die Aneinanderlagerung von niedermolekularen Molekülen, den sogenannten Monomeren, in verschiedenartigen chemische Reaktionen zu hoch molekularen Verbindungen, den sogenannten Polymeren, oder durch das Abwandeln hochmolekularer Naturstoffe hergestellt (Eyerer et al. 2005). Kunststoffe werden entsprechend ihrer Eigenschaften als Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere klassifiziert. In der Regel werden diesen Materialien zusätzliche Chemikalien, Füllstoffe oder Additive beigemischt, um die für ein Produkt gewünschten Eigenschaften und Funktionen zu erhalten. Dazu zählen unter anderem Weichmacher, Haftvermittler, Flammschutzmittel oder Farbpigmente.

Es kann Jahrhunderte dauern, bis Kunststoffe durch physikalische, chemische und biologische Prozesse in den Meeren zerkleinert werden (UBA 2010). Dabei werden neben großformatigen Abfällen wie Plastikflaschen oder -tüten auch Mikropartikel aus Kunststoffen ubiquitär in Meereswirbeln, Sedimenten und an Stränden beobachtet sowie in Meeresorganismen nachgewiesen.

Wo möglich, werden von diesen Abfällen Rückschlüsse auf deren Ursprung gezogen. So hat OSPAR 123 typische Indikatorfunde identifiziert, die sich mit potenziellen Quellen in Verbindung bringen lassen. Zum Beispiel kann es sich bei den Rückständen des Kunststoffs Polystyrol um Reste von Fischboxen handeln. Reste von Fischereitensilien lassen sich beispielsweise nach Netztypen und Netzmaterialien auswerten, die in bestimmten Fischereien verwendet werden. Aufgrund der Vielzahl an Kunststoffen und deren Anwendungen lassen sich jedoch nicht alle Abfallfunde von Kunststoffen in den Weltmeeren einer eindeutigen Ursprungsquelle zuweisen. Polyethylen wird einerseits als Mikropartikel in kosmetischen Produkten eingesetzt, andererseits handelt es sich dabei auch um den Kunststoff mit den weltweit größten Produktionsmengen. Abfallfunde davon können demnach von kosmetischen Produkten, aber auch von Fragmenten zahlreicher anderer Produkttypen stammen (Leslie 2014).

Laut Anhang 1 der 2010 in nationales Recht übersetzten Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie sollen die Eigenschaften und Mengen der Abfälle im Meer keine schädlichen Auswirkungen auf die Küsten- und Meeresumwelt haben (EPR 2008). Zum Monitoring eines guten Umweltzustands wurden deshalb mehrere Indikatoren etabliert. Unter Deskriptor 10 zu den Eigenschaften von Abfällen in der Meeres- und Küstenumwelt finden sich unter anderem die Indikatoren „Trends von Mengen, Verteilung und möglichst Zusammensetzung von Mikropartikeln (insbesondere Mikroplastik)“ sowie „Trends von Mengen und Zusammensetzung

von Müll, der von Meerestieren verschluckt wird (z.B. Magenuntersuchungen)“ (Krause et al. 2011).

Von 663 Arten ist bekannt, dass sie von negativen Auswirkungen durch Abfälle in der Meeres- und Küstenumwelt betroffen sind (CBD 2012). Mehr als die Hälfte davon nehmen Kunststoffabfälle auf oder verfangen sich in ihnen. Infolge der Größe und der ubiquitären pelagischen und benthischen Distribution sind Mikropartikel aus Kunststoff bioverfügbar für Organismen an der Basis des Nahrungsnetzes, die wahllos Nahrungsaufnahme betreiben und daher in besonderem Maße betroffen sind. Daneben weisen häufig verwendete Kunststoffe, wie Polyethylen, eine geringe Dichte auf und treiben an der Meeresoberfläche. Mikropartikel aus Kunststoff sind daher weitflächig verfügbar für Plankton, andere Meeresorganismen und kommerziell genutzte Fischarten im Larvenstadium (Ivar do Sul et al. 2014).

Mikropartikel aus Kunststoff können dabei genauso wie größere Kunststoffteile zu mechanischen Verletzungen des Verdauungstraktes führen, die Verdauung behindern sowie die Nahrungsaufnahme blockieren und infolge eines ständigen Sättigungsgefühls bis hin zum Verhungern reduzieren. Dabei gefährden Kunststoffpartikel nicht nur als solche Wasserlebewesen. Neben den genannten mechanischen Verletzungen und Behinderungen können die Bestandteile von Mikropartikeln toxisch sein oder hormonelle Wirkungen entfalten (Rochman et al. 2013). Weiterhin können persistente organische Schadstoffe, die an der Oberfläche von Mikropartikeln aus Kunststoff absorbieren, potentiell beim Verschlucken dieser Partikel in erhöhter Dosis von marinen Organismen aufgenommen werden (Teuten et al. 2007). Es besteht somit das Risiko, dass toxische Substanzen in der Nahrungskette akkumulieren und zur Schädigung verschiedener Tierarten beitragen (Cole et al. 2011).

All diese Aspekte müssen im Sinne des Vorsorgeprinzips weiter verfolgt werden. Da die Datenbasis noch dünn ist, besteht hier dringender Forschungsbedarf. Gleichzeitig ist für den Transfer von Forschungsergebnissen in die Öffentlichkeit eine Erläuterung des Fachvokabulars und seiner Bedeutung unumgänglich.

1.1 Begriffsbestimmung: Mikropartikel aus Kunststoff

Fachleute unterscheiden primäre und sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff. Sekundäre Mikropartikel entstehen durch Zersetzung und Fragmentierung größerer Kunststoffteile und werden weiterhin unter anderem als Fasern aus Kleidung ausgewaschen oder im Straßenverkehr von Autoreifen abgerieben. Primäre Mikropartikel werden hingegen direkt in mikroskopischer Größe hergestellt und in der industriellen Produktion zahlreicher Konsumgüter eingesetzt. Dazu gehören etwa jene Partikel, die in kosmetischen Mitteln, Wasch- und Reinigungsmitteln verwendet werden oder in anderen Anwendungsbereichen, wie Reinigungsstrahlern auf Werften zur Säuberung von Schiffsrümpfen, zum Einsatz kommen.

Im internationalen Sprachgebrauch haben sich die Begriffe „Microplastic“, „Microbeads“, „Microspheres“ und „Microcapsules“ etabliert (Leslie 2014). Im deutschen Sprachgebrauch findet der Begriff „Mikroplastik“ eine weitläufige Verwendung (Focus 2013; Spiegel 2013). Darüber hinaus bestehen unzählige eingetragene Warenzeichen und individuelle Produktnamen. Für die Umweltforschung im Bereich des Meeresschutzes bezeichnen diese Begriffe jedoch Stoffe, die viel gemein haben (Leslie 2014): Es handelt sich um feste Materialien, die in wässrigen Medien nicht löslich sind. Zudem bestehen sie aus Kunststoff und haben eine charakteristische Größe, wodurch sie sich von anderen Abfällen in den Ozeanen unterscheiden.

Anwender von Mikropartikeln aus Kunststoff in der Kosmetikindustrie bezeichnen mit diesem Begriff Granulate, deren Größe meist deutlich unter einem Millimeter liegt. Im Meeresschutz

werden dagegen Kunststoffpartikel mit einem Durchmesser kleiner als fünf Millimeter als Mikroplastik bezeichnet (Arthur et al. 2009). Andererseits verwenden Browne et al. (2011) den Begriff für Kunststoffpartikel mit einem Durchmesser kleiner einem Millimeter. Beide wissenschaftlichen Referenzen geben zudem keinen unteren Wert für den Durchmesser der Partikel an, sodass unter dem Begriff Mikroplastik auch Partikel mit deutlich kleineren Dimensionen zusammengefasst werden (Leslie et al. 2011). Mikroplastik ist somit ein Sammelbegriff für verschiedene Partikel aus Kunststoff allein auf Basis ihrer Größe.

Um die Begrifflichkeit zu vereinheitlichen, sucht die Europäische Kommission nach einer klaren Definition. Die Technische Arbeitsgruppe zu Meeresabfällen (Technical Group on Marine Litter, TG ML) schlug 2013 eine Klassifizierung hinsichtlich der Größe von Kunststoffabfällen vor (JRC 2013). Die folgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über die von der TG ML vorgeschlagenen Größenordnungen und Bezeichnungen und vergleicht diese mit typischen Dimensionen betroffener Lebewesen sowie industriellen Anwendungen von Kunststoff.

Tabelle 1: Klassifizierung und Bezeichnung von Kunststoffabfällen im Meer auf Basis ihrer Größe im Vergleich zu typischen Dimensionen betroffener Lebewesen und industrieller Anwendungen von Kunststoff (Quelle: eigene Darstellung nach JRC 2013, STAP 2011)

Durchmesser der Kunststoffabfälle im Meer	Englischer Begriff	Deutsche Übersetzung	Typische Dimensionen betroffener Lebewesen	Typische Dimensionen industrieller Anwendungen von Kunststoff
> 25 mm	Macroplastic	Makrokunststoffteile	Wirbeltiere, Vögel	Halbzeuge und Endprodukte
5 – 25 mm	Mesoplastic	Mesokunststoffteile	Vögel, Fische	Halbzeuge und Granulat (Pellets)
1 – 5 mm	Large microplastic particle	Große Mikropartikel aus Kunststoff	Fische, Schalentiere	Granulat (Pellets)
< 1mm	Small microplastic particle	Kleine Mikropartikel aus Kunststoff	Muscheln, Plankton	Mikropartikel in der Kosmetikindustrie

Innerhalb der TG ML und in der biologischen Grundlagenforschung wird keine Mindestgröße für Mikropartikel formuliert, um die notwendigen Studien zu möglichen Auswirkungen nicht von vornherein einzugrenzen. Das Umweltbundesamt (UBA) entschied sich vorerst dafür, alle Kunststoffpartikel, deren Durchmesser größer als ein Mikrometer und kleiner als fünf Millimeter ist, als Mikroplastik zu bezeichnen. Dabei ließ sich das UBA von analytischen Machbarkeiten leiten: Mittels Raman-Spektroskopie lassen sich Einzelpartikel bis zu einer Größe von einem Mikrometer nachweisen. Im weiteren Textverlauf wird der Begriff „Mikropartikel aus Kunststoff“ entsprechend dieser Begriffsbestimmung verwendet.

1.2 Untersuchungsrahmen und Zielsetzung

Ein Einsatzgebiet von Mikropartikeln aus Kunststoff sind kosmetische Produkte. Daten zur konkreten Verwendungsmenge von Mikropartikeln aus Kunststoff liegen derzeit jedoch nicht vor – wie auch nicht zu anderen Einsatzbereichen und Mengenströmen. Ziel der vorliegenden Studie ist es deshalb,

- die Verwendungsmengen an primären Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten, die in Deutschland und in der EU zum Einsatz kommen, in einer ersten Näherung zu ermitteln (vgl. Kapitel 3.1),
- weitere Anwendungsbereiche primärer Mikropartikel aus Kunststoff zu recherchieren und deren Einsatzmengen aufzuzeigen (vgl. Kapitel 3.2) sowie
- Quellen von sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff ausfindig zu machen und deren Mengen abzuschätzen (vgl. Kapitel 3.3).

Die Bedeutung der Verwendung von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln wird anhand eines Vergleichs mit anderen Quellen diskutiert, im Hinblick auf die Relevanz einer Substitution, wie von vielen Kosmetikherstellern gegenwärtig angedacht, erörtert (vgl. Kapitel 4) und eine Schlussfolgerung gezogen (vgl. Kapitel 5).

2 Methode

In der vorliegenden Studie wurde eine umfangreiche Desktoprecherche eingesetzt, um die Einsatzmengen von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln und anderen Anwendungen zu bestimmen, darüber hinaus weitere Quellen für Mikropartikel aus Kunststoff zu identifizieren und wo möglich quantitativ darzustellen. In einer systematischen Literatur- und Dokumentenanalyse wurde zunächst die zur Verfügung stehende Literatur aus wissenschaftlichen Zeitschriften und Datenbanken ausgewertet und Internet-Suchmaschinen zur Erfassung von Tagungsberichten, Positionspapieren und sonstigen Veröffentlichungen eingesetzt.

Während der Recherchen wurden weitere Methoden der Marktforschung angewandt, um den Stand der Forschung mit dem Anwendungswissen aus der Industrie zu ergänzen. Neben Telefoninterviews und Expertengesprächen wurden dabei auch fachspezifische Nachrichtenportale zur Sammlung, Aufbereitung und Analyse von Informationen genutzt. Zudem wurden mehr als 30 Kosmetikhersteller und Zulieferbetriebe in Deutschland angeschrieben, um auf diese Weise reale Marktdaten über den Einsatz von Mikropartikeln aus Kunststoff und deren Produktion zu erhalten. Mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen haben auf die Anfrage geantwortet. Leider war nur eine geringe Bereitschaft seitens der Industrie zu konkreten Angaben zu Produktionsmengen und Materialarten von Mikropartikeln zu verzeichnen. Insgesamt konnten im Bearbeitungszeitraum weniger als 10 Rückmeldungen für die Auswertung der Studie herangezogen werden. Die Informationen werden mit Quellenangaben in den folgenden Kapiteln gekennzeichnet und im Literaturverzeichnis aufgeführt.

Ließen sich mit Hilfe dieser Methoden keine eindeutigen Ergebnisse hinsichtlich der Einsatzmengen von primären Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln und anderen Anwendungsbereichen sowie sekundären Mikropartikeln aus weiteren Quellen ermitteln, wurden quantitative Angaben auf Basis transparent dargestellter Annahmen und plausibler Rechenwege abgeschätzt, diskutiert und Schlussfolgerungen daraus gezogen.

3 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel sind die Ergebnisse der Studie dargestellt. Zunächst wird der Einsatz von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten abgebildet (vgl. Kapitel 3.1). Anschließend werden weitere Anwendungsbereiche für Mikropartikel aus Kunststoff aufgezeigt (vgl. Kapitel 3.2). Abschließend werden Quellen für sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff beschrieben (Kapitel 3.3).

3.1 Einsatz von primären Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten

In Deutschland sind rund 400 Unternehmen der Kosmetik- und Waschmittelindustrie im Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V. (IKW) organisiert, davon stellen mehr als 300 Firmen kosmetische Mittel her. Im Jahr 2012 wurden laut Verbandsangaben kosmetische Produkte im Wert von 12,9 Milliarden Euro in Deutschland hergestellt und abgesetzt (vgl. Abbildung 1). Die ökonomisch größten Anteile am Markt der kosmetischen Produkte haben Haarpflegemittel (3,055 Mrd. Euro, 24 %) sowie Haut- und Gesichtspflegemittel (2,810 Mrd. Euro, 22 %) gefolgt von dekorativer Kosmetik (1,439 Mrd. Euro, 11 %), Mund- und Zahnpflegemitteln (1,385 Mrd. Euro, 11 %) und Damendüften (1,055 Mrd. Euro, 8 %).

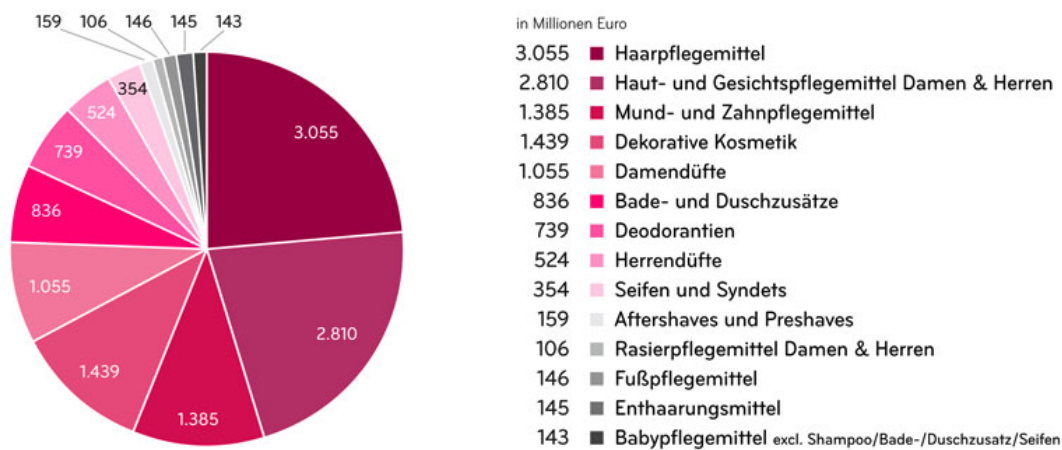


Abbildung 1: Wert der in Deutschland 2012 hergestellten kosmetischen Produkte nach Produktgruppe (Quelle: IKW 2013)

Der IKW erhebt nach eigenen Angaben nicht regelmäßig Produktionsmengen kosmetischer Produkte in Deutschland (Rettinger 2014). Einen Einblick gibt jedoch die Veröffentlichung von Tolls et al. aus dem Jahr 2009. Danach wurden in Deutschland im Jahr 2002 insgesamt 790.000 Tonnen an kosmetischen Produkten hergestellt. Nach Aussage des IKW entspricht diese Menge in etwa auch der Verbrauchsmenge, da die mengenmäßig relevanten kosmetischen Produkte meist nicht über weite Strecken transportiert werden (Rettinger 2014). Die größten Produktionsanteile der in Deutschland hergestellten kosmetischen Produkte entfielen danach auf Bad-, Duschgele und Flüssigseifen, Haarwaschmittel, Seifen und waschaktive Substanzen zur Körperpflege, Haarpflege- und Haarfärbemittel sowie Hautpflege- und Sonnenschutzmittel (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Produktionsmenge kosmetischer Produkte in Deutschland 2002 (Quelle: Eigene Darstellung nach Tolls et al. 2009)

Produktgruppe	Produktionsmenge in Tonnen	Anteil an Gesamtproduktion in Prozent
Bad-, Duschgele und Flüssigseifen	175.000	22,2
Haarwaschmittel	132.000	16,7
Seifen und waschaktive Substanzen zur Körperpflege	118.000	14,9
Haarpflege- und Haarfärbemittel	115.000	14,6
Hautpflege- und Sonnenschutzmittel	109.000	13,8
Zahnpflegeprodukte	65.000	8,2
Deodorants	32.000	4,1
Andere Körperpflegeartikel	21.000	2,7
Rasierprodukte	18.000	2,2
Parfum	5.000	0,6
Gesamt	790.000	100

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) veröffentlichte im Jahr 2014 eine Übersicht über kosmetische Produkte, die Mikroartikel aus Kunststoff enthalten (BUND 2014). Der BUND führt dabei die Hersteller, die konkreten Produktbezeichnungen und Markennamen sowie die eingesetzten Kunststoffe auf. Zu den genannten Herstellern zählen die Unternehmen Body Shop, Colgate, L'Oréal, Procter & Gamble, Rossmann, Schwarzkopf & Henkel und Yves Rocher. Die Produktbezeichnungen und Markennamen umfassen unter anderem 'Adidas Active Scrub' Gesichtsreinigung, 'Clearasil Daily Clear Refreshing' Duschgel, 'Elmex Sensitive' Zahnpasta und 'Nivea Stay Real Compact Foundation' Make-Up. Bei den hier genannten Unternehmen und Produkten handelt es sich um eine zufällig ausgesuchte Stichprobe während der Erstellung der vorliegenden Studie im Jahr 2014. Eine vollständige Liste des BUND wird laufend aktualisiert und ist online verfügbar¹.

In der Liste werden die jeweiligen Produkte den fünf Produktgruppen Dusch- und Waschgele, Peelings/Gesichtsreiniger und Duschpeelings, Kontaktlinsenreiniger, Lidschatten, Lippenstift, Puder/Make-Up sowie Zahncremes zugeordnet (BUND 2014). Die am häufigsten genannten Kunststoffe in diesen Anwendungen sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyamide (PA). Daneben werden auch Ethylen-Vinylacetat-Copolymere (EVA), Polyurethan (PUR) und Copolymere von Acrylnitril mit Ethylacrylat oder andern Acrylaten (ANM) genannt (BUND 2014). Das niederländische 'Instituut voor milieuvraagstukken' (IVM) wies in kosmetischen Produkten darüber hinaus Mikroartikel aus Polyethylenterephthalat (PET) und Polymethylmethacrylat (PMMA) nach (Leslie et al. 2012).

Der Anteil von Kunststoffen kann sich innerhalb der unterschiedlichen kosmetischen Produkte deutlich unterscheiden. In einigen Produkten werden nur Kleinstmengen dieser Stoffe benötigt, in anderen Produkten liegt der Anteil von Kunststoffen bei über 90 % (Leslie 2014). Darüber hinaus variieren die Größen und Formen der Kunststoffbestandteile in kosmetischen Produkten sowie deren spezifischen Eigenschaften und Funktionen. Einige Kunststoffe regulieren die

¹ www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/meere/131119_bund_meeresschutz_mikroplastik_produkliste.pdf

Viskosität, wirken filmbildend oder steigern die Deckkraft kosmetischer Produkte. Andere Kunststoffe dienen als Emulgatoren, Adsorptionsmittel oder Abrasiva. Polyethylen (PE) etwa besitzt nach der Internationalen Nomenklatur für kosmetische Inhaltsstoffe (INCI) filmbildende und viskositätsregelnde Eigenschaften.

Hinsichtlich der Einsatzmenge von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten lagen bis zur Fertigstellung dieser Studie keine belastbaren Informationen für Deutschland und Europa vor. Weder von Seiten der Industrie noch von Seiten der Wissenschaft oder der Behörden sind einschlägige Publikationen zu diesem Thema mit konkreten Mengenangaben veröffentlicht worden. Leslie (2014) bemerkt diesbezüglich kritisch, dass bisher keine Rezension die bestehenden Informationen zum Thema Mikropartikel in kosmetischen Produkten aufbereitet hat.

Die einzige zu diesem Thema veröffentlichte Studie lieferten Gouin et al. (2011) auf Basis von Marktdaten für den Untersuchungsraum der USA. In ihrer Studie schätzten die Autoren, wie viele Mikropartikel aus Polyethylen US-Bürger im Jahr 2009 in Form flüssiger Seife und Duschgel verbrauchten. Anhand mehrerer Annahmen berechneten die Forscher, dass rund 300 Millionen US-Bürger insgesamt 261 Tonnen an solchen Mikropartikeln in kosmetischen Produkten benutzten. Das entspricht einem täglichen Verbrauch von Mikropartikeln aus Polyethylen in Höhe von 2,4 mg pro US-Bürger. Eine Beschreibung der Vorgehensweise dieser Quelle findet sich im folgenden Infokasten.

Infokasten 1: Ermittlung des Pro-Kopf-Verbrauchs nach Gouin et al. (2011)

1: Marktanalyse

Nach Angaben von Euromonitor International wurden in den USA im Jahr 2009 rund 195 Millionen Liter flüssige Seife und Duschgel hergestellt. Unternehmen, die in solchen Produkten Mikropartikel aus Polyethylen einsetzten, stellten 15 Prozent des Marktes dar. Danach könnten also bis zu 29 Millionen Liter an flüssiger Seife und Duschgel solche Mikropartikel enthalten.

2: Annahmen

Die Autoren der Studie trafen danach zwei Annahmen. Zehn Prozent der Produkte dieser Unternehmen enthalten Mikropartikel und diese Produkte enthalten im Schnitt zehn Prozent an Mikropartikeln. Die Fachleute beriefen sich dabei auch auf ein US-Patent aus dem Jahr 1972 für den Einsatz von PE-Mikropartikel mit Durchmessern von 74 bis 420 μm in Hautreinigungsmitteln. Demnach liegt der Einsatz im Bereich von 3 bis 15 % dieser Mikropartikel (Beach 1972).

3: Berechnung

Aus der Marktanalyse und den Annahmen ergibt sich, dass Hersteller von flüssiger Seife und Duschgels im Jahr 2009 in den USA 0,29 Millionen Liter an PE-Mikropartikeln einsetzten. Dieses Volumen wiederum entspricht bei einer Dichte von $0,9 \text{ g/cm}^3$ für Polyethylen einem Gewicht von 261 Tonnen Mikropartikeln. Umgerechnet auf die US-Bevölkerung von rund 300 Millionen ergibt sich ein jährlicher Verbrauch von bis zu 870 mg an PE-Mikropartikeln. Das entspricht einem täglichen Pro-Kopf-Verbrauch von 2,4 mg an PE-Mikropartikeln pro Tag.

Aufgrund der Tatsache, dass keine repräsentativen Informationen zur Produktion von Mikropartikeln aus Kunststoff und deren Einsatz in kosmetischen Produkten ermittelt werden konnten, haben die Autoren dieser Studie quantitative Angaben auf Basis transparent dargestellter Annahmen und plausibler Rechenwege abgeschätzt. Die Grundlage dabei bildet die Studie von Gouin et al. (2011). Die folgenden Annahmen wurden von den Autoren der vorliegenden Studie getroffen, um die Deutsche Situation abzubilden:

- Annahme 1:** In Deutschland setzen 15 Prozent der Unternehmen, die kosmetische Mittel in der Produktgruppe ‚Bad-, Duschgele und Flüssigseifen‘ herstellen, in zehn Prozent ihrer Produkte im Schnitt zehn Prozent Mikropartikel ein. Diese Annahme entspricht der Vorgehensweise nach Gouin et al. (2011).
- Annahme 2:** Die Produktionsmenge von Flüssigseifen sowie Bad- und Duschgelen ist seit dem Jahr 2002 konstant und beläuft sich auf 175.000 Tonnen. Davon entfallen etwa 100.000 Tonnen auf Duschgele und Flüssigseifen, die Mikropartikel aus Kunststoffen enthalten können. Die übrigen 75.000 Tonnen Badegele enthalten dagegen keine Mikropartikel. Diese Annahme basiert auf einer Studie von Tolls et al. (2009) und wurde durch Verbandsvertreter des IKW bestätigt (Rettinger 2014).
- Annahme 3:** Der Verbrauch der Deutschen Bevölkerung an Flüssigseifen sowie Bad- und Duschgelen in einem Jahr entspricht der Produktionsmenge. Diese Annahme wurde von Verbandsvertretern des IKW bestätigt (Rettinger 2014).
- Annahme 4:** Die Mikropartikel bestehen aus Polyethylen. Diese Annahme basiert auf der Studie von Gouin et al. (2011).

Die Berechnung der eingesetzten Menge an Mikropartikeln nach den Annahmen 1 und 2 erfolgt durch schrittweises Übernehmen der einzelnen Annahmen. Das folgende Lesebeispiel verdeutlicht dieses Vorgehen: *„Von 100.000 Tonnen, also der Menge der Duschgele und Flüssigseifen, berücksichtigt man erst 15 Prozent der herstellenden Unternehmen. Von diesem Zwischenergebnis – 15.000 Tonnen – nimmt man dann zehn Prozent der Mikropartikel enthaltenen Produkte – also 1.500 Tonnen. Und von diesem zweiten Zwischenergebnis berücksichtigt man schließlich zehn Prozent der Masse dieser Produkte – und man erhält so einen Wert von 150 Tonnen Mikropartikel“.*

Anhand der Liste von BUND (2014) lässt sich schließen, dass sich Mikropartikel aus Kunststoff neben der Produktgruppe der ‚Bad-, Duschgele und Flüssigseifen‘ ebenso in Erzeugnissen der Produktgruppen der ‚Seifen und waschaktive Substanzen zur Körperpflege‘, der ‚Hautpflege- und Sonnenschutzmittel‘, der ‚Zahnpflegeprodukte‘ und der Gruppe ‚Andere Körperpflegeartikel‘ finden. Für keine dieser Produktgruppen liegen repräsentative Daten über die Einsatzmenge von Mikropartikeln aus Kunststoff vor. Aus diesem Grund haben sich die Autoren dieser Studie dazu entschieden, die Annahmen 1 bis 4 auf die anderen Produktgruppen zu übertragen.

Weitet man die Annahmen 1 bis 4 gleichermaßen auf die Produktgruppe der ‚Seifen und waschaktive Substanzen zur Körperpflege‘ aus, so werden hier bei einer Produktionsmenge von 118.000 Tonnen voraussichtlich weitere 177 Tonnen Mikropartikel jedes Jahr in Deutschland eingesetzt. Bezogen auf die Produktgruppe der ‚Zahnpflegeprodukte‘ mit einer Produktionsmenge von 65.000 Tonnen entspricht das einer Menge von 98 Tonnen

Mikropartikel. In der Produktgruppe ‚Andere Körperpflegeartikel‘, deren Produktionsmenge mit 21.000 Tonnen pro Jahr beziffert wird (vgl. Tabelle 2), können weitere 32 Tonnen Mikropartikel aus Kunststoff in Deutschland eingesetzt werden.

Zur Bestimmung der Inhaltsmenge von Mikropartikeln aus Kunststoff in der Produktgruppe der ‚Hautpflege- und Sonnenschutzmittel‘ können neben dem oben beschriebenen Ansatz zwei Literaturquellen herangezogen werden. Zum einen bestimmte M. R. Gregory (1996) die Anteile von Mikropartikeln aus Polyethylen in drei Gesichtsreinigern und drei Handwaschmitteln auf dem neuseeländischen Markt. Die Gesichtsreiniger enthielten zwischen 1,62 und 3,04 % und die Handwaschmittel zwischen 0,19 % und 6,91 % Mikropartikel, bezogen auf das Gesamtgewicht der jeweiligen Produkte. Fünf US-amerikanische Umweltschutzverbände veröffentlichten 2013 die Analysen von drei Gesichtsreinigern bezogen auf Mikropartikel aus Kunststoffen. Der Anteil solcher Partikel in diesen Gesichtsreinigern auf Volumenbasis reichte von 0,94 bis 4,2 % (5 Gyres Institute et al. 2013). Der arithmetische Mittelwert der insgesamt sechs Stichproben von Gesichtsreinigungsmitteln aus diesen beiden Literaturquellen beträgt 2,4 Prozent. Berücksichtigt man die Annahme, dass kosmetische Mittel der Produktgruppe ‚Hautpflege- und Sonnenschutzmittel‘ im Schnitt 2,4 % anstatt 10 % Mikropartikel enthalten, so erhält man bei einer Produktionsmenge von 109.000 Tonnen weitere 39 Tonnen Mikropartikel aus Kunststoff pro Jahr, die in Deutschland eingesetzt werden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick, in welcher Größenordnung Mikropartikel aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln der unterschiedlichen Produktgruppen in Deutschland eingesetzt werden.

Tabelle 3: Tabellarische Darstellung der Einsatzmengen an Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln (Quelle: Eigene Darstellung)

Produktgruppe	Einsatzmenge von Mikropartikeln aus Kunststoff je Produktgruppe in Deutschland (in Tonnen pro Jahr)	Pro-Kopf-Verbrauch an Mikropartikeln aus Kunststoff je Produktgruppe in Deutschland (in Gramm pro Jahr)
‚Duschgele und Flüssigseifen‘	150	1,9
‚Seifen und waschaktive Substanzen zur Körperpflege‘	177	2,2
‚Hautpflege- und Sonnenschutzmittel‘	39	0,5
‚Zahnpflegeprodukte‘	98	1,2
‚Andere Körperpflegeartikel‘	32	0,4
Summe	496	6,2

Nach diesen ersten vorläufigen Schätzungen werden jährlich insgesamt rund 500 Tonnen Mikropartikel aus Polyethylen in den fünf Produktgruppen ‚Duschgele und Flüssigseifen‘, ‚Seifen und waschaktive Substanzen zur Körperpflege‘ sowie ‚Hautpflege- und Sonnenschutzmittel‘, ‚Zahnpflegeprodukte‘ und ‚Andere Körperpflegeartikel‘ in Deutschland eingesetzt. Das entspricht bei einer Bevölkerung von rund 80 Millionen Menschen in

Deutschland einer Menge von ca. 6,2 Gramm pro Kopf und Jahr. Legt man diesen Pro-Kopf-Wert auf die 500 Millionen Einwohner der EU um, so erhält man eine Gesamtmenge von 3.125 Tonnen Mikropartikeln aus Polyethylen, die pro Jahr in kosmetischen Produkten in Europa zum Einsatz kommen.

3.2 Einsatz von primären Mikropartikeln aus Kunststoff in anderen Anwendungsbereichen

Primäre Mikropartikel aus Kunststoffen werden auch in anderen Gebieten eingesetzt. Sie werden als abrasive Perlen in Wasch-, Säuberungs- und Pflegemitteln wie auch als Strahlmittel in der Oberflächenreinigung genutzt. Unternehmen verwenden solche Partikel auch als Gleit- oder Trennmittel in der Kunststoffverarbeitung, als Trägermaterial von Pigmenten oder als Zusatzstoff, um die Zähflüssigkeit von Heißklebern einzustellen. Ferner werden sie Beschichtungsmitteln für Hochglanzzeitschriften zugesetzt und weiterhin verwendet, um Obst vor Druckstellen zu schützen. Auch Wasserenthärter können solche Mikropartikel aus Kunststoffen enthalten. Spezielle Mikropartikel werden als Vektor für Arzneimittelwirkstoffe verwendet. Diese und weitere Einsatzbeispiele von Mikropartikeln aus Kunststoff in anderen Anwendungsbereichen werden im Folgenden beleuchtet.

3.2.1 Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel für Böden in privaten Haushalten

Im Jahr 2013 stellten in Deutschland etwa 120 Mitgliedsunternehmen des Industrieverbands Körperpflege- und Waschmittel e.V. (IKW) Wasch-, Pflege- und Reinigungsmittel her. Diese Produkte wurden vor allem in Deutschland für mehr als 4,3 Milliarden Euro an Endverbraucher verkauft. Nach Angaben des IKW setzen dessen Mitgliedsunternehmen keine Mikropartikel aus Kunststoffen in diesen Produkten ein (Rettinger 2014). Anfang 2014 gab Henkel an, dass in ihren Wasch- und Reinigungsmittel-Rezepturen, die Schleifpartikel benötigen, ausschließlich natürlich vorkommende Mineralien als Schleifpartikel Verwendung finden. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass andere Hersteller von Wasch-, Pflege- und Reinigungsmitteln Abrasiva aus Kunststoffen einsetzen, die dann als Mikrokunststoffpartikel nach der Anwendung in die Umwelt gelangen können. Über die Menge eingesetzter Mikropartikel aus Kunststoff in Wasch-, Säuberungs- und Pflegemitteln für Böden in privaten Haushalten liegen derzeit keine belastbaren Informationen vor.

3.2.2 Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel im Gewerbe und in der Industrie

Nach Aussagen des Industrieverbands Hygiene und Oberflächenschutz (IHO), der Firmen vertritt, die Reinigung- und Desinfektionsmittel für gewerbliche Zwecke herstellen, setzen IHO-Mitgliedsfirmen keine Mikropartikel aus Kunststoffen direkt ein. Mikropartikel in flüssigen und pulverförmigen Scheuermitteln können aus Calciumcarbonat, Aluminumsilikat, Tonerden oder anderen anorganischen Materialien bestehen. Einige wasserbasierte Fußbodenpflegemittel enthalten zwar Partikel aus Polyethylen-Wachsen, dabei handelt es sich nach IHO-Angaben jedoch um keine Mikropartikel (Faubel 2014). Dieser Aussage stehen allerdings wissenschaftliche Untersuchungen entgegen. Leslie (2014) beschreibt Polyethylen-Wachse als nicht-abbaubare, wasserunlösliche, feste Materialien mit einem Schmelzpunkt oberhalb der Wassertemperaturen in den Weltmeeren und ordnet sie deshalb den Mikropartikeln aus Kunststoff zu.

Nach eigenen Recherchen der Autoren verwenden IHO-Mitgliedsfirmen Druckemulsionen, in denen Mikropartikel aus Polyethylen-Wachsen enthalten sind. Von solchen Druckemulsionen

setzen die Pflegemittelhersteller etwa 10 Tonnen jährlich in Fußbodenpflegemitteln ein. Werden diese Pflegemittel auf Böden aufgebracht, kommt es zu einer Einlagerung der Partikel beim Trocknen in einer Matrix aus Polyacrylat. Bei der anschließenden Grundreinigung werden diese Partikel eingebettet in größere Matrixteile wieder entfernt. Ob diese Partikel, wenn sie einmal ihren Weg in die Kanalisation gefunden haben, in Kläranlagen aus dem Abwasser gefiltert werden können oder nicht, ist bisher unbekannt (Kapitel 4.3).

3.2.3 Strahlmittel zum Entgraten von Oberflächen

Eigene Recherchen zeigen, dass zumindest ein Unternehmen in Deutschland Mikropartikel aus Kunststoff als Strahlmittel anbietet. Es ist die Firma Arteka in Backnang-Waldrems, Baden-Württemberg. Sie vertreibt Strahlmittel aus Polyamid 6, aus Polycarbonat sowie aus einem Duroplast aus Harnstoff-Formaldehydharz. Die Korngrößen liegen zwischen 100 Mikrometer und 2,5 Millimeter. Die spezifische Dichte aller Partikel liegt oberhalb von 1. In den Jahren 2010 und 2013 wurden nach Firmenangaben jeweils etwa 15 Tonnen dieser Strahlmittel verkauft. 2013 waren rund 70 % der verkauften Menge aus Polyamid 6, 25 % aus Duroplasten und 5% aus Polycarbonat. Mit Polyamid 6-Partikeln lassen sich nach Firmenangaben die Oberflächen von Aluminium-, Zinkdruckguss- und Duroplastteilen mit Druckluft- oder Schleuderradstrahlsystemen entgraten. Mit Duroplast-Partikeln sollen sich Spritzguss- und Extruderschnecken reinigen, Kunststoff- und Leichtmetallteile entgraten sowie empfindliche Werkstücke wie pulverbeschichtete Teile, Flugzeugteile, Alu-Felgen oder Sportboote entlacken lassen. Die Polycarbonat-Partikel sind dafür gedacht, Kunststoff- oder Leichtmetallteile zu entgraten. Welche Gesamtmenge an Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland als Strahlmittel eingesetzt werden, konnte in den Recherchen zu dieser Studie nicht abschließend geklärt werden. Zumindest der Einsatz von Strahlmitteln zur Reinigung von Schiffsrümpfen in Werften ist jedoch eine wichtige Eintragsquelle, weil es sich dabei um eine umweltoffene Anwendung handelt und die Mikropartikel aus Kunststoffen unmittelbar nach der Anwendung in offene Gewässer gelangen.

3.2.4 Anwendungen in der Medizin

Auch in der Medizin werden Mikropartikel aus Kunststoff eingesetzt. So werden Partikel, die innen hohl sind, als Vektor für Arzneimittelwirkstoffe genutzt. In die Hohlräume werden Arzneimittelwirkstoffe eingebracht, die im Körper langsam aus ihnen diffundieren. Diskutiert wird auch, Mikropartikel aus Kunststoff bei der Behandlung von Reflux, also dem Rückfluss von Magensäure in die Speiseröhre aufgrund eines schwachen Magenschließmuskels, einzusetzen. Heute werden oft Präparate mit Aluminium- und Magnesiumhydroxid-Gelen sowie Mischungen aus Calcium- und Magnesiumkarbonat oder Aluminium-Magnesium-Silicathydrat eingesetzt – diese ersetzen seit den 1970er Jahren wiederum das früher oft genutzte 'Natron' (Natriumhydrogencarbonat). Die Hydroxide, Karbonate oder Silicathydrate helfen, die Magensäure zu puffern, also ihre saure Wirkung abzumildern. Aluminiumhaltige Produkte generell und damit auch aluminiumhaltige Arzneimittel werden jedoch aufgrund möglicher toxikologischer Wirkungen von Aluminiumverbindungen zurzeit kritisch hinterfragt (Bundesinstitut für Risikoforschung 2014). Daher ist es möglich, dass in Zukunft verstärkt Mikropartikel aus Kunststoffen zur Anwendung kommen. Leider wurden bisher weder Einsatzmengen von Mikropartikeln aus Kunststoff in Arzneimittel noch mögliche Eintragspfade in die Umwelt genauer untersucht.

3.2.5 Mikronisierte Kunststoffwachse in technischen Anwendungen

Mikropartikel aus Kunststoff können auch aus mikronisierten Kunststoffwachsen bestehen. Das sind feinpulvrige, homopolymere Wachse, deren Teilchengrößen im Mikrometer- oder im niedrigen Millimeterbereich liegen. Dabei ist zu beachten, dass Mikropartikel aus Kunststoffwachsen je nachdem, wie Unternehmen sie einsetzen, ihre Mikro-Eigenschaft verlieren können, in dem sie in eine Matrix eingebunden werden.

Kunststoffwachse unterscheiden sich von 'echten' Kunststoffen durch die molare Masse der eingesetzten Polymere. Polymere in Wachsen haben laut Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry eine molekulare Masse von 2.000 bis 20.000 g/mol, das von Polymeren in echten Kunststoffen ist größer als 100.000 g/mol. Trotz dieser Unterschiede weisen wissenschaftliche Untersuchungen Kunststoffwachse als Quellen für Mikropartikel aus Kunststoff aus (Leslie 2014). Tabelle 4 gibt eine Übersicht über wichtige Anwendungen mikronisierter Kunststoffwachse als Zusatzstoff und Hilfsmittel für technische Prozesse.

Tabelle 4: Wichtige Anwendungen mikronisierter Kunststoffwachse in technischen Prozessen (Quelle: Eigene Darstellung)

Anwendungsbereich von Kunststoffwachsen	Funktion
Pigmente/Masterbatch	Bindemittel und Trägermaterial von Pigmentkonzentraten für die Einfärbung und Additivausrüstung von Kunststoffen
Kunststoffverarbeitung	Gleit- oder Trennmittel bei der formgebenden Verarbeitung von Kunststoffen wie PVC
Haftvermittler, Heißkleber (Adhesives, Hotmelts)	Zusatzstoff zur Regulierung der Viskosität
Pflege	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusatzstoff für strapazierfähige Filme in der Bodenpflege ▪ Schutz gegen Wasserflecken und Schmutz in der Autopflege ▪ Schutz der Oberfläche in der Leder- und Möbelpflege
Druckfarben	Zusatzstoff zur Erhöhung der Reibechtheit
Lacke	Zusatzstoff zum Schutz der Oberfläche oder für Mattierungseffekte
Lebensmittelbeschichtung	Zusatzstoff zum Schutz von Früchten

Werden Kunststoffwachse etwa dem Polymer Polyvinylchlorid als Gleitmittel in technischen Prozessen zugesetzt, verhindern sie, dass das Polymer beim Verarbeiten an der heißen Oberfläche der Maschine festklebt. In Pflegemitteln für Schuhe, Möbel, Autolack oder Böden

sorgen sie für mehr Glanz oder mehr Sicherheit durch erhöhte Rutschfestigkeit. Fein in Wasser verteilt, erhalten Textilien eine glattere Oberfläche, können besser vernäht werden und sind länger vor Fusselbildung geschützt. Ist Papier von Hochglanzmagazinen mit Wachs beschichtet, klebt die Farbe beim Blättern nicht an den Händen. Auf Schalen von Zitrusfrüchten schützt eine dünne Polyethylen-Wachsschicht das Obst vor dem Austrocknen und vor Druckstellen.

Das Ludwigshafener Chemieunternehmen BASF stellt Wachse aus Polyethylen her und vertreibt sie unter den Handelsnamen Luwax und Poligen. Dabei handelt es sich um Wachse und Wachsemulsionen, die laut BASF (2007) als Hilfsmittel für technische Prozesse eingesetzt werden oder als Zusatzstoff, um Produkteigenschaften zu verändern. Polyethylen-Wachse sind etwa als Pulver, Granulat oder Pastillen erhältlich. Die Konfektionierung kann bis zu 7 Millimeter variieren. Die Gesamtkapazität zur Herstellung von PE-Wachsen der BASF liegt bei bis zu 45.000 Tonnen pro Jahr. Die Produktionsanlagen stehen in Ludwigshafen. Das Unternehmen hat nach eigenen Angaben die toxikologischen Eigenschaften und das umweltbiologische Verhalten von PE-Wachsen untersucht und keine schädlichen Effekte gefunden. Den Autoren lagen zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie jedoch keine Untersuchungsergebnisse oder Publikationen dazu vor.

Auch andere Unternehmen stellen Kunststoffwachse in Mikrogröße her. Das Schweizer Unternehmen Clariant vertreibt solche Wachse unter den Markennamen Licowax, Ceridust, Licolub, Licomont und Licocene. Es gibt sie als feines Granulat mit einer durchschnittlichen Korngröße kleiner als 2 Millimeter, als Pulver mit einer Korngröße kleiner 500 Mikrometer, als feines Pulver mit einer Korngröße kleiner 125 Mikrometer und als Mikropulver mit einer Korngröße kleiner 50 Mikrometer. Angaben über Produktionsmengen und Produktionskapazitäten werden von der Firma nicht veröffentlicht.

Die Deutsche Evonik Industries AG verfügt über eine Produktionskapazität von jährlich mehr als 400.000 Tonnen an technischen Polymeren und Hochleistungspolymeren. Weniger als zehn Prozent der technischen Polymere und Hochleistungspolymere vertreibt das Unternehmen nach eigenen Angaben jährlich als Partikel, die wesentlich kleiner als 5 Millimeter sind, in Pulverform oder fein verteilt in Dispersionen. Das wären nach Firmenangaben weniger als 40.000 Tonnen. Diese Partikel werden allerdings so weiter verarbeitet, dass sie anschließend nicht mehr in kleinteiliger Form vorliegen. Der überwiegende Teil dieser Mikropartikel besteht aus den Polymeren Polyamid 12 oder aus Methacrylat-Copolymeren (insbesondere PMMA). Der weitaus größte Teil dieser Partikel wird in der Metallbeschichtung (zum Beispiel bei Drahtkörben für Spülmaschinen), als Zusatzstoff für verbesserte Eigenschaften von Lacken oder in der Herstellung von Faserverbundwerkstoffen etwa für die Autoindustrie oder den Sportbereich eingesetzt. Aus speziellen PMMA-Formmassen und aus Hochleistungspolymeren wie dem Polyetheretherketon (PEEK) werden Medizinprodukte wie Implantate für Wirbelsäulen, Knochenzemente, Kanülen und Katheter hergestellt.

Aufgrund der Recherchen nehmen die Autoren der vorliegenden Studie an, dass mikronisierte Kunststoffwachse in einer Menge von bis zu 100.000 Tonnen in Deutschland zum Einsatz kommen. Welche Mengen davon in die Umwelt eingetragen werden, ist letztendlich von der jeweiligen Anwendung abhängig. Bei der Fülle von unterschiedlichen Anwendungen und der mangelnden Datenbasis zur gesamten Produktionsmenge und den prozentualen Anteilen der Anwendungen lassen sich weder zur Eintragsmenge von Mikropartikeln aus mikronisierten Kunststoffwachsen noch zu deren Verbleib in der Umwelt genauere Angaben machen.

3.3 Quellen für sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff

Neben dem Einsatz primärer Mikropartikel aus Kunststoff, die direkt in mikroskopischer Größe hergestellt werden und in kosmetischen Mitteln und anderen Produkten zur Anwendung kommen, kann es sich bei Mikropartikeln auch um sekundäre Fragmente handeln, die durch die Zersetzung makroskopischer Kunststoffteile entstehen. Sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff können zum Beispiel von in der Umwelt entsorgten Kunststoffverpackungen wie Plastiktüten oder Plastikflaschen stammen, von Kunststofffasern aus Textilien ausgewaschen werden oder dem Reifenabrieb entstammen. Auch bei Herstellung und Recycling von Kunststoffen fallen Partikel an. Ryan et al. (2010) beschreiben zudem direkte Einträge durch Abfälle von Schiffen. Im Folgenden sind weitere Quellen für Mikropartikel aus Kunststoffen dargestellt.

3.3.1 Fragmentierung von Kunststoffabfällen

Seit den 1950er Jahren steigt die Produktion von Kunststoffen. Chemieunternehmen stellten im Jahr 2012 weltweit zirka 290 Millionen Tonnen polymere Rohstoffe in Form von Kunststoffgranulaten bzw. Pellets her (PlasticsEurope 2013). Kunststoffverarbeitende Unternehmen fertigen daraus Platten, Rohre, Folien und andere Halbwerkszeuge her, die wiederum von Fertigproduktherstellern verschiedener Anwendungsbereiche (Verpackung, Bau, Elektronik etc.) eingesetzt werden. Einige Kunststoffe werden nach Gebrauch wiederverwendet, andere werden stofflich oder energetisch verwertet oder auf Deponien abgelagert. Ein erheblicher Teil gelangt jedoch in die Umwelt und wird dort mit der Zeit durch Sonne, Wind, Gezeiten und andere Umwelteinflüsse in kleinere Teile und schließlich in Mikropartikel zerlegt.

In der EU wurden 2012 rund 57 Millionen Tonnen Kunststoffe hergestellt. Das entsprach rund 20,4 % der weltweit hergestellten Kunststoffmenge (PlasticsEurope 2013). In der EU selbst haben Unternehmen 2012 knapp 46 Millionen Tonnen an Kunststoffen weiterverarbeitet – rund 27,5 Millionen Tonnen zu langlebigen Produkten, mehr als 18 Millionen Tonnen zu kurzlebigen Produkten. Im gleichen Jahr wurden etwa 25,2 Millionen Tonnen Kunststoff nach dem Gebrauch gesammelt. Davon wurden nach Angaben von PlasticsEurope 6,6 Millionen Tonnen (26,3 %) werkstofflich oder stofflich verwertet, 8,9 Millionen Tonnen (35,6 %) energetisch verwertet und 9,6 Millionen Tonnen (38,1 %) deponiert (siehe Abbildung 2).

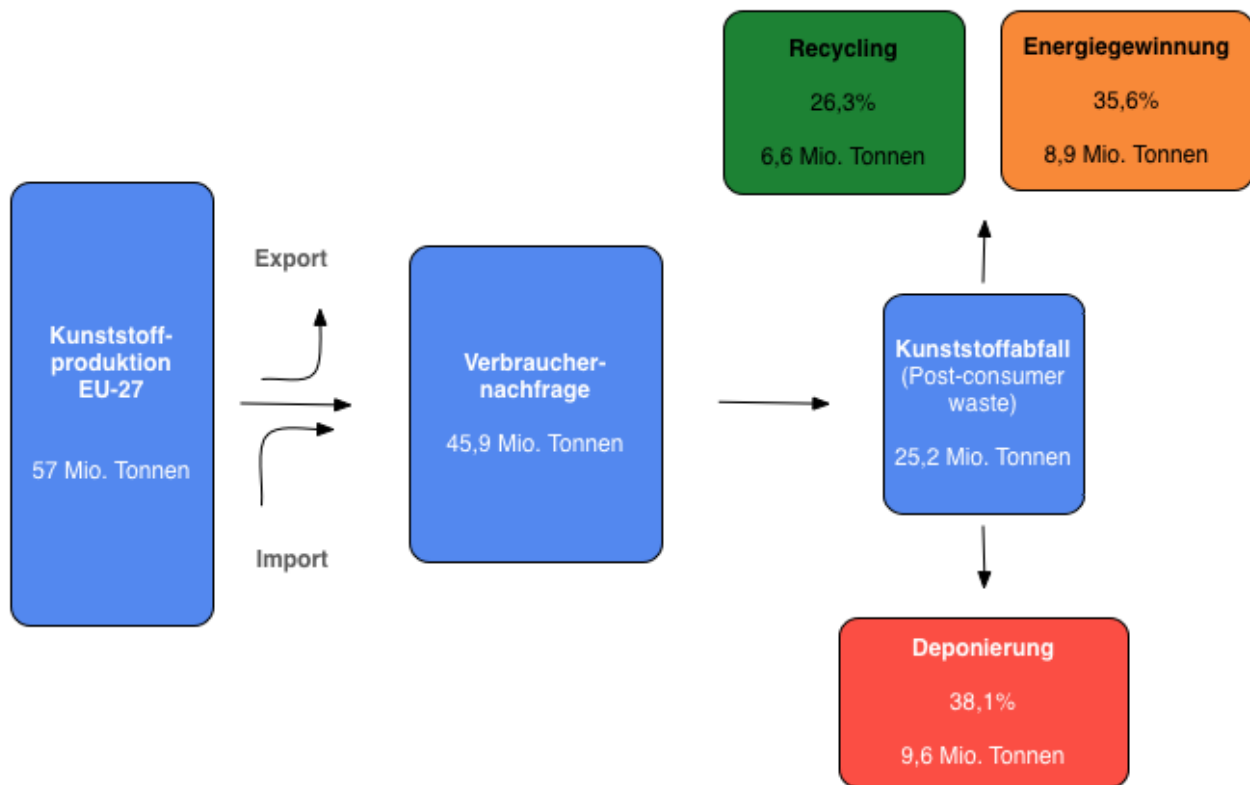


Abbildung 2: Kunststoffproduktion, Verbrauchernachfrage, Abfallmengen und deren Behandlung in Europa 2012 (Quelle: Veränderte Darstellung nach PlasticsEurope 2013)

Deutschland ist laut Gesellschaft für Außenwirtschaft und Standortmarketing der bedeutendste Kunststoffstandort in Europa (Görlitz & MacDougall 2013). Dafür sprechen unter anderem die Produktionsmenge, die Anzahl an herstellenden und verarbeitenden Betrieben sowie Umsatz- und Handelskennzahlen. In Deutschland wurden im Jahr 2011 etwa 20,7 Millionen Tonnen Kunststoffe produziert. Darüber hinaus wurden 8,4 Millionen Tonnen Kunststoffe importiert und 11,9 Millionen Tonnen Kunststoffe als Rohstoffe exportiert (Consultic 2012). Das Saldo des gesamten Kunststoffverbrauchs lag 2011 somit bei 17,2 Millionen Tonnen. Der Kunststoffverbrauch des privaten und gewerblichen Endverbrauchers wird von Consultic (2012) im gleichen Bezugsjahr auf 9,65 Millionen Tonnen beziffert. Von den 5,45 Millionen Tonnen Kunststoffabfällen, die 2011 in Deutschland anfielen, wurden 3,03 Millionen Tonnen energetisch und 2,35 Millionen Tonnen stofflich verwertet (Consultic 2012). Die Verwertungsrate von Kunststoffabfällen lag demnach 2011 in Deutschland bei 99 % des Gesamtaufkommens und nur 1% oder 0,07 Millionen Tonnen wurden deponiert.

In Europa gibt es bezüglich der Verwertungs- und Deponierungsraten jedoch große nationale Unterschiede. Lagen beispielsweise im Jahr 2010 die Verwertungsraten von Siedlungsabfällen in den Ländern Deutschland, Belgien und Schweden bei über 90 %, so betrug im Gegensatz dazu die Deponierungsraten in Bulgarien, Rumänien und Malta über 90 % (Eurostat 2010).

Für den Eintrag von Kunststoffabfällen in die Umwelt und insbesondere in die Weltmeere gibt es entlang des Lebensweges unterschiedlicher Produkte von der Herstellung über die Nutzungsphase bis hin zur Abfallbehandlung vielfältige Möglichkeiten. Zwar können weder Haupteintragspfade noch Eintragsmengen zum derzeitigen Stand eindeutig beziffert werden, doch gibt es dafür einige Schätzungen:

- Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen nimmt an, dass in den 1990er Jahren jährlich rund 6,4 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle in die Weltmeere eingetragen wurden. Knapp 5,6 Millionen Tonnen davon stammen von Schiffen (UNEP 2006). Das sind etwa sechs Prozent der globalen Kunststoffproduktion, die im Jahr 1990 weltweit bei über 100 Millionen Tonnen lag.
- Wright et al. 2013 vermuten, dass insgesamt rund zehn Prozent der weltweit hergestellten Kunststoffe auf kurz oder lang in die Ozeane eingetragen werden. Das hieße, dass von den circa 100 Millionen Tonnen Kunststoff, die im Jahr 1990 weltweit hergestellt wurden, rund 10 Millionen Tonnen früher oder später in die Meere gelangen – und von den 2012 weltweit hergestellten 288 Millionen Tonnen knapp 30 Millionen Tonnen. Das entspräche pro Kopf der Weltbevölkerung – bei etwa sieben Milliarden Menschen im Jahr 2013 – rund 4,2 kg jährlich.

Geht man davon aus, dass circa sechs bis zehn Prozent der Kunststoffproduktion ihren Weg in die Weltmeere finden, dann entspricht das bezogen auf Europa, bei konstanter Produktionsmenge von 57 Millionen Tonnen jährlich, zwischen 3,4 Millionen und 5,7 Millionen Tonnen Kunststoffen, die als Quelle für Mikropartikel dienen. Die folgende Abbildung stellt diesen Zusammenhang für den Zeitraum von 1950 bis 2012 auf der globalen Ebene da.

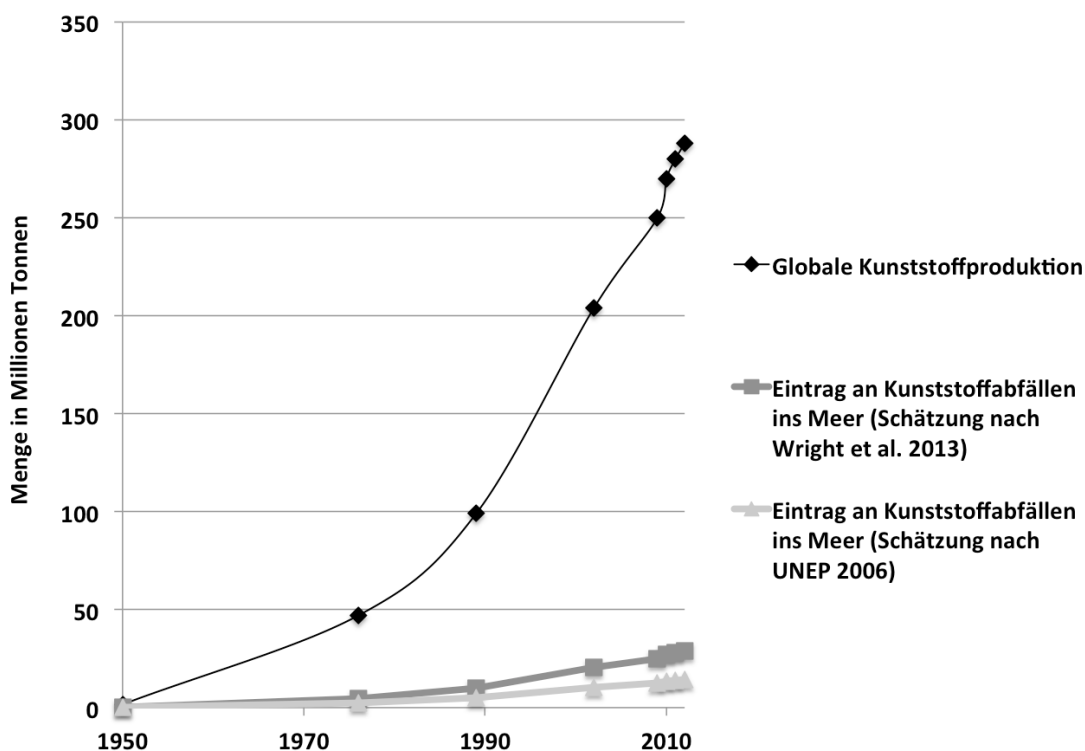


Abbildung 3: Weltweite Produktion von Kunststoffen im Zeitraum von 1950 bis 2012 und geschätzte Einträge von Kunststoffabfällen ins Meer (Quelle: Eigene Darstellung nach PlasticsEurope 2013, UNEP 2006, Wright et al. 2013)

3.3.2 Freisetzung von Chemiefasern aus Textilien

Zu den möglichen Quellen von Mikropartikeln in Gewässern zählen auch Fasern aus Kleidungsstücken und sonstigen Textilien. Von besonderer Bedeutung für die vorliegende Studie sind synthetische Chemiefasern. Sie werden durch Polymerisations-, Polykondensations-

oder Polyadditionsverfahren aus Erdöl hergestellt und bestehen ebenso wie Mikropartikel aus Kunststoff, die in der kosmetischen Industrie zur Anwendung kommen, aus synthetischen Polymeren. Zu den synthetischen Chemiefasern zählen zum Beispiel Polyester, Polyethylen und Elastan. Aus ihnen werden Haus- und Heimtextilien (u.a. Gardinen, Teppiche, Frottierware), Bekleidungstextilien (u.a. Pullover, T-Shirts, Socken) und technische Textilien für die Automobilindustrie, Medizin oder Bautechnik hergestellt. Die folgende Abbildung unterscheidet verschiedene Faserarten nach Rohstoff und Herstellungsverfahren.

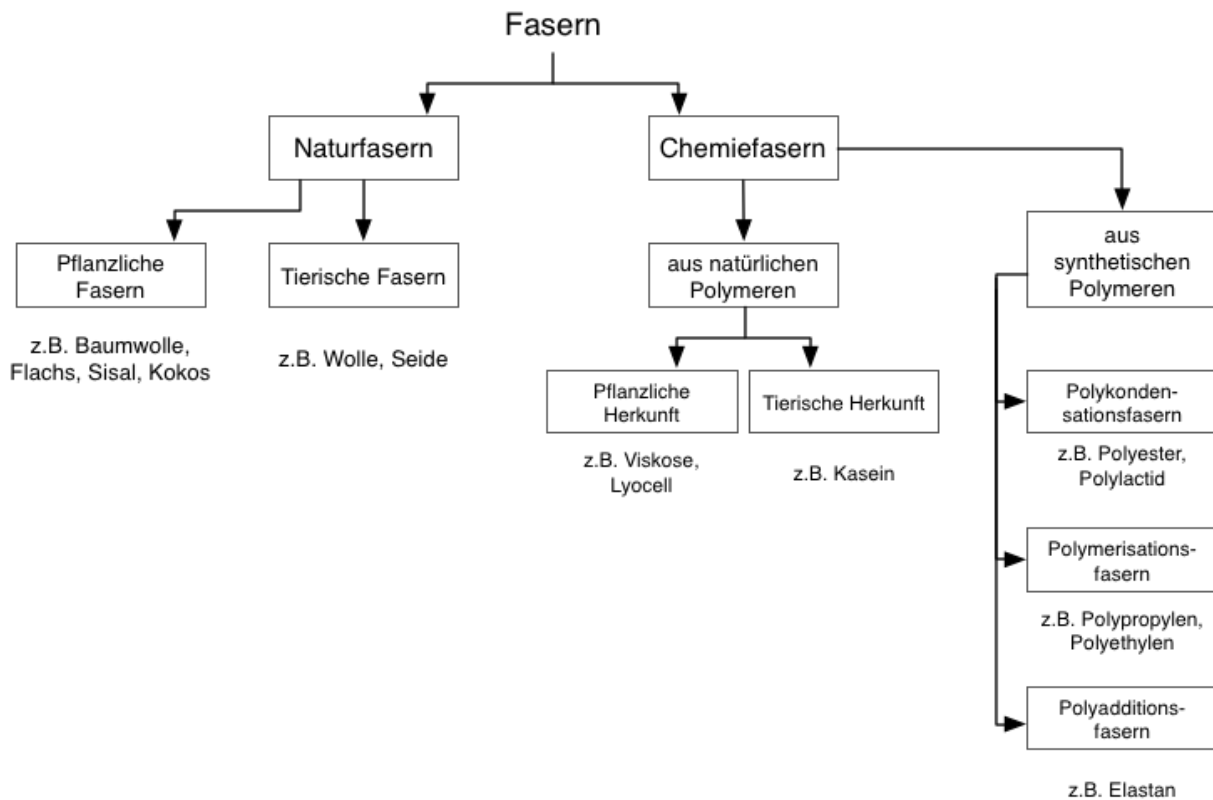


Abbildung 4: Unterscheidung verschiedener Fasern nach Rohstoff und Herstellungsverfahren (Quelle: Eigene Darstellung nach IVC 2012)

Die Gesamtproduktion an Chemiefasern stieg weltweit von circa 2,1 Millionen Tonnen im Jahr 1950 auf etwa 49,6 Millionen Tonnen im Jahr 2010 an (IVC 2012). Die Marktanteile synthetischer Chemiefasern beliefen sich dabei laut IVC (2012) im Jahr 2010 auf 59 %, gefolgt von Baumwolle mit Marktanteilen von 33 %, cellulosischen Chemiefasern mit 6 % und Wolle mit 2 %.

Hinsichtlich der Einträge von Chemiefasern aus synthetischen Polymeren in die Weltmeere gibt es bisher nur wenige belastbare Literaturquellen. Bei Betttüchern, Fleece-Jacken und Hemden, die aus synthetischen Chemiefasern bestehen und bei 40 Grad Celsius und 600 Umdrehungen in der Minute in einer Waschmaschine gewaschen wurden, fanden Forscher mehr als 100 Fasern pro Liter im Abwasser (Browne et al. 2011). Im Schnitt wurden aus einer Fleece-Jacke rund 260 Fasern frei, aus einem Hemd rund 150, aus einem Betttuch rund 130. Der Maximalwert der Untersuchung lag bei 1.900 Fasern aus einer Fleece-Jacke (Browne et al. 2011). Darüber hinaus können Textilien in ihrer Gebrauchsphase durch mechanischen Abrieb oder andere Prozesse Fasern verlieren.

Die Relevanz von Chemiefasern als Quelle für Mikropartikel macht die folgende Abschätzung der Autoren der vorliegenden Studie deutlich: Geht man davon aus, dass jede der 500 Millionen Personen in Europa mindestens einen Fleece-Pullover besitzt, dieser Fleece-Pullover im Durchschnitt 500 Gramm wiegt und entlang seiner Nutzungsphase von fünf Jahren rund 1 % bis 5 % seines Gewichts durch den Verlust von Mikropartikeln in Waschgängen verliert, dann liegt die Gesamtmenge dieser Quelle zwischen 500 und 2.500 Tonnen Mikropartikeln aus Kunststoff jährlich. Bezogen auf die deutsche Bevölkerung von 80 Millionen Personen würden dieser Rechnung zufolge jährlich etwa 80 bis 400 Tonnen Mikropartikel freigesetzt.

Bisher liegen jedoch keine verlässlichen Angaben darüber vor, wie viele Fasern auf diese Weise aus einem durchschnittlichen Haushalt freigesetzt werden. Browne (2014) erklärte auf eine persönliche Anfrage hin, dass dies umfassende Forschungsgelder erfordert, die bisher weder die Regierung noch die Industrie in Europa und den USA bereit sind, zur Verfügung zu stellen.

3.3.3 Verlust von Pellets bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Kunststoff

Als Pellets oder Granulate werden laut DIN EN ISO 472 kleine vorgeformte Körper einer Formmasse mit relativ einheitlichen Abmessungen bezeichnet, die häufig bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Kunststoffen zum Einsatz kommen und zum Beispiel beim Spritzgießen und Extrudieren verwendet werden (DIN 2013). Bei diesen Verfahren können Abfälle entstehen oder Pellets verloren gehen. Kunststoffhersteller und -verarbeiter versuchen weltweit, den Verlust von Kunststoffpellets bei Herstellung, Verarbeitung, Transport und Recycling zu minimieren. Das ist inzwischen ein erklärtes Ziel vieler Unternehmen und Industrieverbände. So rief die Kunststoffabteilung des Amerikanischen Chemieverbands ACC (American Chemistry Council) in den USA gemeinsam mit der dortigen Gesellschaft der Kunststoffindustrie SPI (Society of the Plastics Industry) die Initiative „Operation Clean Sweep“ ins Leben. Diese hat zum Ziel, Kunststoffabfälle zu minimieren, damit Geld zu sparen und die Menge von Abfalleinträgen aus Kunststoffen in die Umwelt zu senken. In Europa hat der europäische Verband der Kunststoffhersteller PlasticsEurope das Projekt „Null Pelletverlust“ für seine Mitgliedsfirmen entwickelt. Es hat zum Ziel, Aufklärung innerhalb der Chemieunternehmen zu betreiben und das betriebliche Management zu optimieren.

Bisher wurden jedoch weder auf europäischer noch auf internationaler Ebene quantitative Erfolgsmessungen der Projekte „Null Pelletverlust“ und „Operation Clean Sweep“ veröffentlicht. Auf internationaler Ebene wurden im aktuellen Fortschrittsbericht beispielsweise Verpflichtungen und Projekte aufgezählt, jedoch keine Mengen an Mikropartikeln bekannt gegeben, die aufgrund dieser Maßnahmen nicht in die Umwelt gelangt sind (GPA 2014). Hinzu kommt, dass individuelle Unternehmen über die Produktionsmengen und Verluste von Pellets mit Hinweis auf Firmengeheimnisse keine Angaben machen. Über die Menge an Pellets, die direkt aus der Kunststoffproduktion und den nachgelagerten Verarbeitungsschritten in die Umwelt gelangen, kann deshalb keine eindeutige Aussage getroffen werden.

Eine Studie der Beteiligungs- und Kunststoffverwertungsgesellschaft weist jedoch darauf hin, dass die Ressourceneffizienz bei der Herstellung von Kunststoffen in den letzten 50 Jahren deutlich gestiegen ist. Demnach benötigten die Kunststoffhersteller 1964 zur Herstellung von 1.000 Kilogramm Polypropylen durchschnittlich 1.185 Kilogramm Roh- und Hilfsstoffe. Diese Menge ist bis zum Jahr 1999 auf eine Menge auf 1.009 Kilogramm Roh- und Hilfsstoffe gesunken (BKV 2010). Aktuelle Werte bei der Herstellung von Polypropylen weisen eine Ausbeute von mehr als 99,7 % aus (Sartorius 2012).

Zur Quantifizierung dieser Quelle für sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff haben die Autoren der vorliegenden Studie daher die Annahme getroffen, dass der Pelletverlust in Europa

im niedrigen Prozentbereich der gesamten europäischen Kunststoffproduktion liegt. Geht man davon aus, dass der Pelletverlust in Europa nur etwa 0,1 bis 1,0 Prozent der gesamten europäischen Kunststoffproduktion in Höhe von 57 Millionen Tonnen beträgt, kann diese Quelle mit Werten zwischen 57.000 und 570.000 Tonnen Mikropartikeln pro Jahr beziffert werden. Bezogen auf die Kunststoffindustrie in Deutschland, die etwa 21 Millionen Tonnen Kunststoffe produziert (vgl. Kapitel 3.1), bedeutet dies eine Menge zwischen 21.000 und 210.000 Tonnen Mikropartikel pro Jahr.

3.3.4 Abrieb von Reifen aus Synthetikgummi

Synthetikgummi unterscheidet sich von typischen Kunststoffen. Es ist ein synthetisches Polymer, das durch die Vernetzung der Polymerketten über Schwefelbrücken zu einem Elastomer wird. Die meisten der eingesetzten Gummielemente sind eine Mischung aus Natur- und Synthetikgummi. Rund zwei Drittel der hergestellten Menge an Synthetikgummi wird zu Reifen verarbeitet. Reifen können während ihrer Nutzungsphase Abrieb produzieren, der entsprechend der zugrunde liegenden Definition als Mikropartikel aus Kunststoff klassifiziert werden kann (vgl. Kapitel 1).

Der jährliche Reifenabrieb lag im Jahr 2005 bundesweit bei etwa 111.000 Tonnen und rund 12.000 Tonnen Abrieb von Bremsbelägen. Diese Zahlen gehen auf Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) zurück (Hillenbrand et al 2005; Fuchs et al. 2010). Die Experten kommen dabei zu dem Schluss, dass der Reifenabrieb von PKW-Reifen jährlich etwa 46.000 Tonnen beträgt und der von Bussen, LKW und Sattelzügen etwa 62.570 Tonnen.

Der Wirtschaftsverband der Deutschen Gummifabrikation (WDK) geht für das Jahr 2005 hingegen nur von 60.000 Tonnen Reifenabrieb aus. Der Unterschied liegt im Reifenabrieb von Bussen, LKW und Sattelzügen. WDK nimmt an, dass von diesen Fahrzeugen jährlich 17.000 Tonnen der Reifenmasse abgerieben wird.

Insgesamt können in Deutschland somit jährlich zwischen 60.000 und 111.000 Tonnen Mikropartikel aus Kunststoff aufgrund des Reifenabriebs entstehen. Bei einer Bevölkerung von 80 Millionen Menschen entspricht das einem Pro-Kopf-Wert von 0,75 bis 1,38 Kilogramm pro Jahr. Bezogen auf die 500 Millionen Bürger der EU entspricht die Quelle des Reifenabriebs einer Gesamtmenge zwischen 375.000 und 693.750 Tonnen Mikropartikel. Über den genauen Verbleib der Mikropartikel in der Umwelt und insbesondere die Einträge in die Weltmeere gibt es bislang jedoch keine belastbaren Informationen, in der Ostsee gehört Reifenabrieb aber beispielsweise zu den Hauptbefunden (Noren und Magnuson 2010).

4 Diskussion

Es gibt viele Quellen für primäre Mikropartikel aus Kunststoffen (vgl. Kapitel 3), doch fehlen bisher belastbare Daten darüber, welche Mengen an primären Mikropartikeln in kosmetischen Produkten oder anderen Anwendungen eingesetzt werden und nach ihrem Gebrauch in die Umwelt und insbesondere in die Weltmeere gelangen. Ebenso defizitär gestaltet sich die Datenlage hinsichtlich der Quantifizierung sekundärer Mikropartikel in marinen Ökosystemen, die aus der Zersetzung von Kunststoffabfällen stammen. In der vorliegenden Studie wurden Recherchen und Berechnungen angestellt, um diese Wissenslücke zu schließen. Die Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

4.1 Quellen für primäre Mikropartikel aus Kunststoff

Eine wesentliche Quelle für primäre Mikropartikel aus Kunststoff sind kosmetische Produkte. Die Einsatzmengen an Mikropartikeln aus Kunststoffen in kosmetischen Produkten in Deutschland und Europa lassen sich auf mehreren Wegen abschätzen. Wie in Kapitel 3.1 gezeigt, nutzten Gouin et al. (2011) in einer Studie Marktdaten, um annäherungsweise zu beziffern, welche Mengen an Mikropartikeln aus Polyethylen im Jahr 2009 im US-amerikanischen Markt in Duschgels und Flüssigseifen eingesetzt wurden. Diese Vorgehensweise lässt sich auf Deutschland übertragen. Geht man davon aus, dass der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch laut Gouin et al. (2011) in Höhe von 2,4 mg PE-Mikropartikel in flüssiger Seife und Duschgelen auch auf die deutsche Bevölkerung zutrifft, dann würden alle Deutschen jährlich bei einer Einwohnerzahl von 81,8 Millionen Bürgern etwa 71,5 Tonnen Mikropartikel aus Polyethylen in flüssiger Seife und Duschgel nutzen.

Diese Abschätzung hat allerdings den Nachteil, dass sie von der Bevölkerungsanzahl und damit von den unterschiedlichen persönlichen Reinigungsvorlieben des durchschnittlichen Bürgers in den USA oder Deutschland abhängig ist. So verwenden Deutsche im Schnitt fast doppelt so viel Flüssigseife und Duschgel wie Amerikaner: Laut Gouin et al. (2011) werden in den USA 195 Millionen Liter Duschgel und flüssige Seifen produziert. Bei einer Bevölkerung von 300 Millionen Personen entspricht das bei einer Dichte von 1 g/cm^3 einem Pro-Kopf-Verbrauch von 0,65 Kilogramm flüssiger Seifen und Duschgele pro Jahr. In Deutschland werden dagegen ca. 100.000 Tonnen Duschgele und flüssige Seifen produziert und angewendet (vgl. Kapitel 3.1), was bei einer Bevölkerung von rund 80 Millionen Einwohnern einem Pro-Kopf-Verbrauch von 1,25 Kilogramm pro Jahr entspricht. Der Im- und Export kann dabei vernachlässigt werden, weil Duschgele und flüssige Seifen aufgrund der geringen Transportwürdigkeit in der Regel dort konsumiert werden, wo sie auch hergestellt werden (Rettinger 2014).

Die Autoren der vorliegenden Studie haben sich deshalb für eine Vorgehensweise entschieden, die unabhängig von der Bevölkerungszahl und damit unabhängig von den unterschiedlichen persönlichen Reinigungsvorlieben und Konsumgewohnheiten des durchschnittlichen Bürgers ist. Dabei zeigt sich, dass in Seifen, Flüssigseifen, Duschgelen, waschaktiven Substanzen sowie in Hautpflege- und Sonnenschutzmitteln, Zahncremes und anderen Körperpflegeprodukten in Deutschland jährlich bis zu 500 Tonnen Mikropartikel aus Polyethylen eingesetzt werden. Bezogen auf die deutsche Bevölkerung entspricht dies einem Pro-Kopf-Verbrauch von 6,2 Gramm pro Jahr. Bezogen auf die 500 Millionen Einwohnern in der EU entspricht das einer Gesamtmenge von 3.125 Tonnen Mikropartikeln aus Kunststoff, die jedes Jahr in kosmetischen Mitteln eingesetzt werden.

Die in Kapitel 3.1 zugrunde gelegten Annahmen zur Berechnung der Einsatzmenge von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten beeinflussen das Ergebnis der vorliegenden Studie maßgeblich:

- Zum einen ist der Transfer der Produktionsstatistiken der Hersteller von kosmetischen Produkten aus den USA auf den deutschen Markt mit Fehlern behaftet. Ob in Deutschland auch 15 Prozent der Unternehmen in zehn Prozent ihrer Produkte Mikropartikel aus Kunststoff einsetzen, ist fraglich. Leider sind dazu keine Marktinformationen vorhanden, die als Korrektur für diesen Fehleranteil herangezogen werden können. Ob diese Informationen mit Hilfe einer aufwändigen Marktanalyse erhoben werden können, ist mit Verweis auf die Auskunftsbereitschaft und Firmengeheimnisse der Unternehmen fraglich.
- Zudem ist die Einsatzmenge von Mikropartikeln aus Kunststoff in den unterschiedlichen kosmetischen Produkten in Deutschland und Europa unbekannt. Der Transfer eines Mengenanteils von 10 Prozent birgt die Gefahr einer Unter- oder Überschätzung der Einsatzmenge von Mikropartikeln – sowohl innerhalb einer Produktgruppe als auch zwischen den einzelnen Produktgruppen. Bis auf die Produktgruppe der ‚Hautpflege- und Sonnenschutzmittel‘ konnten jedoch keine belastbaren Informationen über den Anteil von Mikropartikeln recherchiert werden. Hier wäre ein Screening der Inhaltsstoffe repräsentativer Produkte aus den jeweiligen Produktgruppen hilfreich. Allerdings wäre ein repräsentatives Monitoring aufgrund der vielen Einzelprodukte in den jeweiligen Produktgruppen sowie der wechselnden Produktpalette und Produktinhaltsstoffe aufwändig und kostenintensiv.
- Weiterhin wird die Produktionsmenge von kosmetischen Produkten aus dem Jahr 2002 herangezogen, um Aussagen über heutige Einsatzmengen von Mikropartikeln aus Kunststoff zu treffen. Diese Menge ist laut Angaben des IKW zwar bis heute relativ konstant, doch ist die Literaturquelle von Tolls et al. (2009) die einzige belastbare Quelle, die derzeit für den Markt der Körperpflegeprodukte erhältlich ist. Weder die Hersteller noch der Industrieverband IKW geben über jährliche Produktionsmengen in Deutschland Auskunft. Die einzigen regelmäßig publizierten Daten beziehen sich auf die Werte der in Deutschland hergestellten kosmetischen Produkte je Produktgruppe in Euro. Eine Abschätzung der Produktionsmengen anhand der Produktionswerte ist jedoch aufgrund der Preise und Produktionsvolumen unterschiedlicher Produkte (kleine Produktionsvolumen erzielen oft höhere Erlöse als große Produktionsvolumen), Preisschwankungen im Markt und steigender Effizienz im Produktionsprozess mit weiteren Fehlern behaftet. Hier wären für zukünftige Abschätzungen der Eintragungsmengen transparente und aktuelle Marktdaten sehr hilfreich, da sie den Grundstein aller Berechnungen bilden.
- Außerdem beziehen sich alle Berechnungen und Annahmen auf nur einen Kunststoff: Polyethylen. Zahlreiche Literaturquellen zeigen, dass neben Polyethylen weitere Kunststoffe eingesetzt werden (BUND 2014; Leslie et al. 2012, Leslie 2014). Diese erfüllen nicht nur die Funktion von Abrasiva. Einige Polymere helfen, wasser- oder öllösliche Substanzen fein zu verteilen, andere tragen dazu bei, dass kosmetische Produkte beim Auftragen auf Haut, Haar oder Nagel einen zusammenhängenden Film bilden. Weder die Einsatzmengen noch Anteile der jeweiligen Kunststoffe und Polymere sind bis heute bekannt. Gleiches gilt auch für die Gefahr, die durch den Eintrag dieser Stoffe in die Umwelt – sei es als Mikropartikel oder in anderer Form - ausgehen kann.

- Hinzu kommt, dass bereits heute schon Naturstoffe eingesetzt werden, die als Ersatz für herkömmliche Kunststoffe in kosmetischen Produkten dienen können. Eine aktuelle Ausgabe des Öko-Test listet unter anderem Aprikosenkernpulver, Bambusholzpulver, Reispulver und die mineralischen Stoffe Quarz und Kieselsäure (Markert 2014). Ihr Anteil in den Produkten der jeweiligen Produktgruppen ist jedoch zum derzeitigen Zeitpunkt nicht bekannt. Ob es sich bei den Mikropartikeln um herkömmliche Partikel aus Kunststoff oder Naturprodukte handelt, ist jedoch für eine genauere Bestimmung der Eintragsmengen in aquatische Ökosysteme von großer Bedeutung. Hier bestehen für die Industrie große Chancen, die Verbraucher über die Eigenschaften ihrer Produkte und enthaltener Einsatzstoffe aufzuklären und den Verzicht von herkömmlichen Kunststoffen mit Blick auf das umweltgefährdende Potential zu begründen.
- Alle Berechnungen beziehen sich auf die fünf Produktgruppen ‚Duschgele und Flüssigseifen‘, ‚Seifen und waschaktive Substanzen zur Körperpflege‘ sowie ‚Hautpflege- und Sonnenschutzmittel‘, ‚Zahnpflegeprodukte‘ und ‚Andere Körperpflegeartikel‘. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass auch in Gütern anderer Produktgruppen der kosmetischen Industrie Mikropartikel enthalten sind. Klarheit könnte hier ebenfalls ein breit angelegtes Screening aller kosmetischen Produktgruppen schaffen.

Hinsichtlich der Einsatzmenge von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln gibt es folglich noch erhebliche Unsicherheiten. Die Menge von 500 Tonnen Mikropartikeln aus Polyethylen ist in Anbetracht der möglichen Fehlergrößen eher als Größenordnung, als eine bis auf die Nachkommastelle genaue Mengenangabe zu verstehen. In Deutschland werden demnach Tonnagen an Mikropartikeln in dreistelliger Höhe für kosmetische Produkte eingesetzt. Um die Größenordnung der Einsatzmenge zu verifizieren, könnten zukünftige Forschungsvorhaben wie ein breit angelegtes Screening und Monitoring der Inhaltsstoffe repräsentativer Produkte aller Produktgruppen der kosmetischen Industrie sowie eine Marktanalyse der Herstellung und des Einsatzes von Mikropartikeln von Seiten der Hersteller und Verbände durchgeführt werden. Auf europäischer Ebene wurde dies durch den Verband Cosmetics Europe bereits durchgeführt. Ergebnisse dieser Marktstudie lagen zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Studie jedoch noch nicht vor.

Neben dem Einsatz in kosmetischen Produkten gibt es zahlreiche andere Anwendungen für primäre Mikropartikel aus Kunststoff (vgl. Kapitel 3.2). In geringen Mengen – mit deutlich weniger als 100 Tonnen jährlich – werden solche Partikel nach eigenen Recherchen in gewerblichen Reinigungsmitteln und als Strahlmittel eingesetzt. Die Gesamtmenge aller produzierten mikronisierten Kunststoffwachse in Deutschland liegt wahrscheinlich im sechststelligen Bereich. Über die Einsatzmengen in Reinigungsmitteln im privaten Bereich sowie der Medizin liegen bisher keine quantitativen Angaben vor. In der folgenden Tabelle sind die von den Autoren geschätzten Einsatzmengen von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln und anderen Anwendungen zusammengefasst.

Tabelle 5: Einsatzmengen von primären Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten und anderen Anwendungen (Quelle: Eigene Darstellung)

Anwendungsbereiche von primären Mikropartikeln aus Kunststoff	Einsatzmengen von primären Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland in Tonnen pro Jahr
Kosmetische Produkte	500
Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel in privaten Haushalten	Keine Angaben

Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel im Gewerbe und der Industrie	< 100
Strahlmittel zum Entgraten von Oberflächen	< 100
Anwendungen in der Medizin	Keine Angaben
Mikronisierte Kunststoffwachse in technischen Anwendungen	100.000

Anhand der Tabelle wird deutlich, dass der Einsatz von Mikropartikeln aus Kunststoff als mikronisierte Kunststoffwachse in technischen Anwendungen überwiegt. Allerdings besteht hier auch die größte Unsicherheit hinsichtlich der Frage, bei welchen Anwendungen von Kunststoffwachsen eine Freisetzung von Mikropartikel in die Umwelt erfolgt (Kapitel 3.2.3).

4.2 Quellen für sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff

Quellen für sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff sind die Fragmentierung von Kunststoffabfällen, synthetische Chemiefasern aus Kleidungsstücken und sonstigen Textilien, der Verlust von Pellets in der Produktion, dem Transport und der Weiterverarbeitung von Kunststoffen sowie Reifenabrieb im Verkehr (vgl. Kapitel 3.3).

Die Fragmentierung von Kunststoffabfällen ist die bedeutendste Quelle für die Entstehung sekundärer Mikropartikel. Zwar fehlen auch hier genaue Informationen darüber, welche Mengen an Kunststoffteilen europaweit in die Umwelt gelangen und wie schnell daraus sekundäre Mikropartikel entstehen, doch liefern grobe Schätzungen von Wissenschaftlern und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen Hinweise auf die besondere Bedeutsamkeit der Entstehung von Mikropartikeln aus diesen Degradationsprozessen. Nach verfügbaren Schätzungen gelangt jährlich zwischen sechs und zehn Prozent der globalen Kunststoffproduktion als Abfall in die Weltmeere. Bezogen auf Europa ist das eine Größenordnung von 3,4 bis 5,7 Millionen Tonnen.

Ein beispielgebender und in der Öffentlichkeit oft diskutierter Eintrag von Kunststoffabfall in die Umwelt entsteht durch die unsachgemäße Entsorgung von Einwegtragetaschen. Jedes Jahr gelangen zirka 100 Milliarden solcher Tragetaschen in die Hände der Bürger der Europäischen Union – und damit rund 600.000 Tonnen Kunststoff bei einem Durchschnittsgewicht von 6 Gramm pro Tüte. Das bedeutet, jeder Bewohner in der EU nutzt davon im Schnitt 200 Stück pro Jahr – beziehungsweise 1,2 Kilogramm Kunststoff. Etwa 89 % dieser Kunststofftaschen werden lediglich einmalig gebraucht. Die EU-Kommission nimmt an, dass circa acht Milliarden Kunststofftaschen jährlich in die Umwelt gelangen (The Greens/EFA 2014). Bei einem Gewicht von sechs Gramm pro Kunststofftüte entspricht dies einer Gesamtmenge von 48.000 Tonnen, die darüber allein in der EU in die Umwelt gelangen.

In Deutschland können jährlich zwischen 60.000 und 111.000 Tonnen Mikropartikel aus Kunststoff aufgrund von Reifenabrieb entstehen. Die Mengen für den Betrachtungsraum Europa liegen im Bereich zwischen 375.000 und 693.750 Tonnen. Somit handelt es sich auch bei dem Thema Reifenabrieb um eine nicht zu vernachlässigende Quelle in der Mikropartikel-Diskussion.

Auf den Verlust von Basispellets bei der Produktion von Kunststoffen entfallen nach eigenen Schätzungen zirka 57.000 bis 570.000 Tonnen pro Jahr auf das Gebiet von Europa und 21.000 bis 210.000 Tonnen auf das Gebiet von Deutschland. Diese Menge wird in Zukunft

voraussichtlich durch das Eigeninteresse der Industrie, möglichst effizient zu produzieren, geringer werden. Allerdings gibt es auch hier bis heute keine belastbaren Zahlen oder Veröffentlichungen der Hersteller und Verbände. Diese Quelle sollte daher bei zukünftigen Arbeiten nicht unberücksichtigt bleiben.

Chemiefasern aus Kleidung und anderen Textilien sind bereits seit einiger Zeit im Blickpunkt wissenschaftlicher Untersuchungen. Leider fehlen auch hier quantitative Angaben über die Größenordnung dieser Quelle für Mikropartikel. Nach eigenen Schätzungen belaufen sich die freigesetzten Mengen in Deutschland auf jährlich etwa 80 bis 400 Tonnen und in Europa auf jährlich zwischen 500 und 2.500 Tonnen an synthetischen Mikrofasern.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Größenordnung der Quellen für sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff.

Tabelle 6: Größenordnung der Quellen von sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland und Europa (Quelle: Eigene Darstellung)

Quellen von sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff	in Deutschland*	in Europa*
Fragmentierung von Kunststoffabfällen	unbekannt	3.400.000 bis 5.700.000
Reifenabrieb	60.000 bis 111.000	375.000 bis 693.750
Verlust von Pellets	21.000 bis 210.000	57.000 bis 570.000
Freisetzung von Chemiefasern	80 bis 400	500 bis 2.500

* Alle Angaben in Tonnen pro Jahr

Anhand der Tabelle lässt sich schlussfolgern, dass die Fragmentierung von Kunststoffabfällen die mengenmäßig größte Quelle für Mikropartikel aus Kunststoff ist und der Reifenabrieb ebenfalls eine wichtige Rolle spielt. Hinsichtlich der Verluste von Pellets und der Freisetzung von Chemiefasern gibt es noch erhebliche Unsicherheiten. Die realen Mengen dieser beiden Quellen können deutlich über den konservativen Schätzungen der Autoren der vorliegenden Studie liegen. Insbesondere hinsichtlich der Freisetzung von Chemiefasern besteht noch großer Forschungsbedarf.

4.3 Gegenüberstellung der Quellen von primären und sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland

Belastbare Zahlen für die Verschmutzung und Fragmentierung von Kunststoffabfällen sind in Deutschland nicht vorhanden. Legt man die globalen und europäischen Schätzungen zugrunde und berücksichtigt weiterhin den Verlust von Pellets bei der Herstellung, dem Transport und der Weiterverarbeitung von Kunststoffen sowie den Reifenabrieb aus dem Straßenverkehr, so kann man davon ausgehen, dass sekundäre Mikropartikel aus Kunststoff die gravierendste Rolle hinsichtlich der Vermüllung der Meere spielen. Allerdings sind weder genaue Angaben über Eintragspfade noch über Akkumulation, Fragmentierung oder den Abbau dieser Stoffe in der

Umwelt bekannt. Berücksichtigt man die Quelle der synthetischen Chemiefasern in Höhe von mehreren Hundert Tonnen pro Jahr, so kann man mengenmäßig von einer tickenden Zeitbombe sprechen, denn früher oder später werden durch den Einfluss von chemischen und physikalischen Prozessen auch aus diesen Quellen Mikropartikel entstehen.

Mikropartikel aus Kunststoff in kosmetischen Produkten spielen eine wichtige, aber in der Gesamtbetrachtung der Umweltbelastung mit Kunststoffabfällen eher untergeordnete Rolle. Im schlimmsten Fall können aus dieser Quelle in Deutschland etwa 500 Tonnen Mikropartikel aus Polyethylen pro Jahr in die marine Umwelt eingetragen werden. Allerdings werden primäre Mikropartikel, die u.a. aus Wasch-, Reinigungs- und Pflegemitteln sowie Strahlmitteln Einsatz finden, unmittelbar in mikroskopischer Größe in die Umwelt eingetragen.

In der folgenden Tabelle sind für Deutschland die Quellen von primären und sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff gegenübergestellt.

Tabelle 7: Tabellarische Darstellung der Quellen von primären und sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland (Quelle: Eigene Darstellung)

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 Mikropartikel	
▪ 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

Mikropartikel aus kosmetischen Produkten werden sich mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Großteil in den Siedlungsabwässern wiederfinden. An das Abwasserkanalnetz sind in Deutschland mehr als 90 % der Haushalte angeschlossen. Erste, nicht repräsentative Studien weisen darauf hin, dass mehr als 90 % der in den Abwässern enthaltenen Mikropartikel aus Kunststoff in den Kläranlagen zurückgehalten werden können (HELCOM 2014). Somit kann die

Eintragsmenge von Mikropartikeln in die Ozeane aus kosmetischen Produkten in Ländern mit ausreichender Infrastruktur deutlich verringert werden. Allerdings stellten Mintening et al. (2014) fest, dass trotz zum Teil hoher Rückhaltungsmengen in Kläranlagen zwischen 86 und 8.851 Mikropartikel aus Kunststoff je Kubikmeter gereinigtem Wasser nachweisbar sind. Für Fasern kleiner 500 Mikrometer wurden darüber hinaus Werte zwischen 33 und 9.923 pro Kubikmeter ermittelt. Je nach Ausbaugröße der Kläranlage rechnen Mintening et al. (2014) jährlich mit 93 Millionen bis 8,2 Milliarden Mikropartikeln und Fasern aus Kunststoff, die in die Vorfluter in Deutschland abgegeben werden.

Über den Verbleib von primären Mikropartikeln in der Umwelt aus Wasch-, Reinigungs- und Pflegemitteln im Gewerbe und der Industrie sowie aus Strahlmitteln zum Entgraten von Oberflächen und mikronisierten Kunststoffwachsen fehlen bisher jegliche belastbare Informationen. Zumindest von den umweltoffenen Anwendungen geht jedoch potenziell eine hohe Belastung aus, wenn die Mikropartikel zum Beispiel als Strahlmitteln in Werften direkt in das Meerwasser eingetragen werden.

4.4 Substitution von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten

Mikropartikel aus Kunststoff scheinen in kosmetischen Produkten ersetzbar oder vermeidbar zu sein. Die öffentliche Diskussion um die Problematik von Mikropartikeln in Gewässern zeigt vor allem in den USA und in EU-Mitgliedsländern Wirkung. Einige Unternehmen haben bereits darauf reagiert: Unilever kündigte im Dezember 2012 an, auf Mikropartikel aus Kunststoffen in kosmetischen Produkten zu verzichten². Im Frühling 2013 folgten die Unternehmen Beiersdorf, Colgate-Palmolive und L'Oréal, im Juli 2013 Johnson & Johnson, Procter & Gamble und The Body Shop. L'Oréal konkretisierte Anfang 2014 seine Verzichtserklärung und kündigte an, ab 2017 keine Produkte mit Mikrokunststoffpartikel mehr anbieten zu wollen (Süddeutsche Zeitung 2014). Dass viele weitere Kosmetikunternehmen auf den Einsatz dieser Partikel bereits verzichten oder nach Ersatzprodukten suchen, wird durch die Recherchen der vorliegenden Studie belegt. Es lässt sich allerdings nicht sagen, um welchen Anteil der Einsatz von Mikropartikeln aus Kunststoff in kosmetischen Produkten gesunken ist oder sinken wird. Letztendlich handelt es sich um freiwillige, nicht von unabhängigen Institutionen geprüfte Selbstverpflichtungen, die jederzeit einseitig und ohne rechtliche Konsequenzen wieder zurückgenommen werden können.

Mehrere Chemiefirmen und Chemikalienhändler hatten in Hamburg im April 2014 auf der 'in-cosmetics', der Rohstoffmesse für kosmetische Produkte, Ersatzprodukte im Sortiment. Die Chemiefirma Evonik bietet Peeling-Körper aus 'künstlichem' Sand an. Dazu zerreibt sie keinen Meeressand, sondern stellt die kleinen Partikel aus hygienischen Gründen auf Basis synthetischer Kieselsäure her. Die amerikanische Firma MicroPowders wiederum verkauft Partikel aus Polymilchsäure, einem Polymer, das Firmen aus Maisstärke herstellen. Der Schweizer Chemikalienhändler Permcos verkauft Peeling-Körper aus gehärtetem Palm- oder Rhizinusöl. Mikropartikel aus dem Holzbestandteil Zellulose haben sowohl die Schweizer Chemiefirma Induchem als auch die Firma J. Rettenmaier & Söhne aus dem baden-württembergischen Rosenberg im Angebot. Nach Aussage von Armin Ungerer, Forschungsleiter der Rosenberger Firma, tauschen einige kleinere und mittelständische Kosmetikfirmen bereits Mikropartikel aus Polyethylen gegen Partikel aus natürlicheren Materialien aus. Nach Angaben von Ungerer zeigen aber auch große Kosmetikkonzerne inzwischen Interesse an Ersatzprodukten (Deutschlandfunk 2014, Ungerer 2014).

² <http://www.unilever.com/sustainable-living/Respondingto stakeholderconcerns/microplastics/index.aspx>

Neben Naturprodukten wie Aprikosenkernen oder Bienenwachs sind dabei auch bio-basierte und biologisch abbaubare Polymere in der Diskussion. Potenzielle Kandidaten sind Polyhydroxyfettsäuren (Polyhydroxyalkanoate, PHA), Polymilchsäure (PLA) und Polybutylensuccinat (PBS), allesamt von Bakterien produziert sowie Chitosan aus Chitin und Kasein aus tierischen Proteinen. Aktuelle Studien zeigen, dass Polymilchsäure wahrscheinlich keine Lösung darstellt, während Polyhydroxyfettsäuren eine Zukunftsoption sein könnten (CalRecycle 2012). Die größten Herausforderungen liegen jedoch in der technischen Machbarkeit, um sicherzustellen, dass ein vollständiger biologischer Abbau der Polymere auch in der marinen Umwelt garantiert ist und zudem in der Realisierung mengenmäßig relevanter Produktionsvolumen und Marktanteile dieser Polymere.

So genannte 'oxo-biologisch' abbaubare Kunststoffe sind dagegen keine Lösung, sondern eine weitere Quelle für Mikropartikel. Zwar behaupten einige ihrer Hersteller, dass solche Kunststoffe aufgrund biotischer Prozesse zu großen Anteilen abgebaut werden oder aufgrund abiotischer Prozesse in ihre Bestandteile zerfallen. Diese Aussagen sind meist nicht mit wissenschaftlichen Erkenntnissen unterlegt und unterschlagen, dass bis zu 80 Prozent der Bestandteile, bezogen auf das ursprüngliche Gewicht der Produkte, durch diese Prozesse in der Umwelt verbleiben und dort toxische Wirkungen entfalten können (Narayan 2009).

Die folgende Abbildung zeigt die biologische Abbaubarkeit von unterschiedlichen Polymeren in unterschiedlichen Umgebungen.

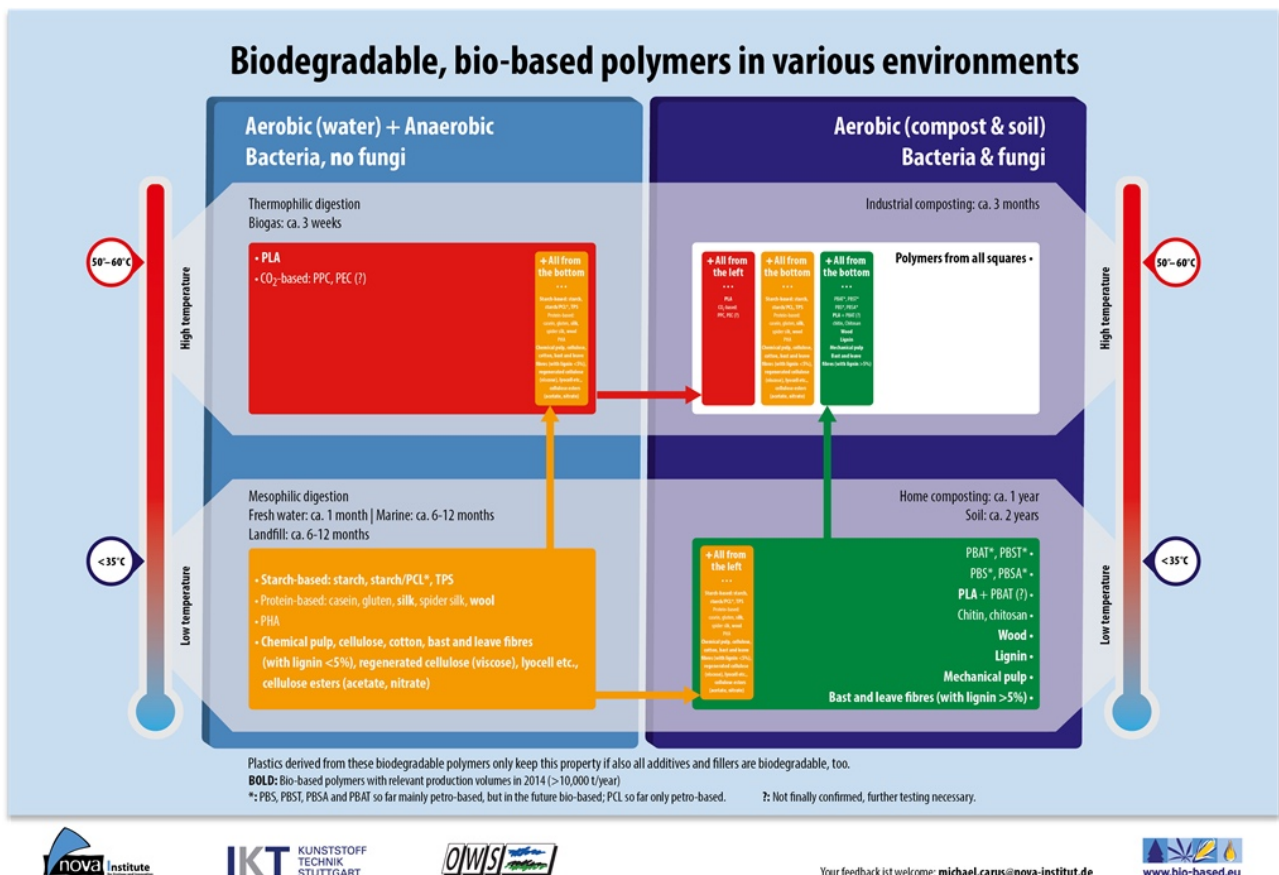


Abbildung 5: Biologisch abbaubare, bio-basierte Polymere in zahlreichen Umgebungen (Quelle: nova-Institut, IKT & OWS 2015)

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Als ‘Mikropartikel aus Kunststoff’, die in der öffentlichen Debatte auch unter dem Begriff ‘Mikroplastik’ bekannt sind, werden in der vorliegenden Studie Mikropartikel aus Kunststoff bezeichnet, deren Durchmesser größer als ein Mikrometer und kleiner als fünf Millimeter ist. Die in dieser Studie vorgenommenen ersten vorläufigen Schätzungen lassen vermuten, dass in Deutschland in den letzten Jahren jährlich zirka ca. 500 Tonnen Mikropartikel aus Polyethylen in kosmetischen Produkten verwendet wurden (vgl. Kapitel 3.1). Die Hauptanwendungsgebiete liegen in den Produktgruppen ‘Seifen und waschaktive Substanzen zur Körperpflege’ (177 Tonnen), ‘Duschgele und Flüssigseifen’ (150 Tonnen) sowie ‘Hautpflege- und Sonnenschutzmittel’ (39 Tonnen). Darüber hinaus wird angenommen, dass andere Produktgruppen der Kosmetikindustrie weitere 34 Tonnen Mikropartikel aus Kunststoff enthalten. Die jährliche Gesamtmenge aller in der Europäischen Union verwendeten Mikropartikel aus Kunststoff in kosmetischen Produkten beläuft sich nach ersten vorläufigen Schätzungen auf etwa 3.125 Tonnen.

Mikropartikel aus Kunststoff werden daneben auch in Wasch-, Reinigungs- und Pflegemitteln, in Strahlmitteln, in Druckfarben und Lacken, zur Lebensmittelbeschichtung, in der Medizin und in einer Vielzahl technischer Anwendungen eingesetzt. Nach Schätzungen der Autoren belaufen sich die Einsatzmengen von Mikropartikeln aus Wasch-, Reinigungs- und Pflegemitteln im Gewerbe und der Industrie sowie von Strahlmitteln zum Entgraten von Oberflächen in Deutschland auf jeweils unter 100 Tonnen pro Jahr. Bei der Anwendung von Mikropartikeln aus Kunststoffwachsen in Deutschland erwarten die Autoren dagegen Einsatzmengen in Höhe von etwa 100.000 Tonnen. Über die Einsatzmengen in den verschiedenen anderen Anwendungen, wie beispielsweise der Medizin, liegen derzeit leider keine genaueren Angaben vor, sodass die gesamte Einsatzmenge von Mikropartikeln aus Kunststoff nicht beziffert werden kann.

Es besteht eine große Wissenslücke, welche Anteile der Einsatzmengen von primären Mikropartikeln aus Kunststoff in die Kanalisation oder in die Oberflächengewässer Europas und damit letztlich in die Weltmeere gelangen und welche Anteile von Kläranlagen aus den Abwässern herausgefiltert werden. Hinzu kommt, dass Mikropartikel aus Kunststoff die Umwelt infolge der Ausbringung von Klärschlamm oder durch die Freisetzung in anderen Anwendungen zusätzlich belasten können. Hinsichtlich einer konsistenten Stoffstrombilanzierung, dem Verbleib der Mikropartikel in der Umwelt sowie deren Umweltwirkungen gibt es somit weitreichenden Forschungsbedarf.

Wahrscheinlich sind die Einsatzmengen von Mikropartikeln aus Kunststoff in Seifen, Duschgels und anderen kosmetischen Produkten in Deutschland rückläufig. Ausgelöst durch öffentliche Kritik geben viele kleine, mittlere und große Hersteller kosmetischer Produkte inzwischen an, auf diese Zusätze in Zukunft verzichten zu wollen. Dies trifft auf andere Anwendungsbereiche, Märkte und Regionen jedoch nicht zu. So sind bislang keine freiwilligen Selbstverpflichtungen von Herstellern von Säuberungs- und Pflegemitteln, Wasch- und Strahlmitteln oder Arzneien veröffentlicht worden. Ob sich der Trend sinkender Einsätze von Mikropartikeln aus Kunststoff in der Zukunft bestätigen wird, kann deshalb zu diesem Zeitpunkt nicht geklärt werden. Freiwillige Selbstverpflichtungen können jederzeit zurückgenommen werden und eine globale Institution, die Mikropartikel und andere Abfälle aus Kunststoff als Umweltproblem dokumentiert und geeignete Maßnahmen zur Vermeidung koordiniert, wird es in naher Zukunft nicht geben.

Neben dem Verzicht auf den Einsatz von Mikropartikeln aus Kunststoff werden derzeit weitere Lösungswege diskutiert und alternative Materialien als Substitute für herkömmliche

Mikropartikel aus Kunststoff erforscht. Dazu zählen je nach Anwendung neben Naturprodukten wie Bienenwachs, Cellulose, Kasein oder Mineralien auch neuartige Werkstoffe wie die biobasierten Kunststoffe Polybutylensuccinat (PBS) und Polyhydroxyalkanoate (PHA). Über die natürliche Abbaubarkeit und mögliche Umweltwirkungen der Mikropartikel aus Kunststoff sowie deren Substitute fehlen jedoch in großem Umfang belastbare Informationen.

Die jährliche Einsatzmenge von 500 Tonnen Mikropartikel aus Polyethylen in kosmetischen Produkten entspricht einem Bruchteil der deutschen Kunststoffproduktion in Höhe von 20,7 Millionen Tonnen. Weitere aufgrund der hohen Eintragsmenge bedeutende Quellen für Mikropartikel aus Kunststoff sind Chemiefasern, die aus der Kleidung und sonstigen Textilien ausgewaschen werden, der Reifenabrieb im Straßenverkehr, der Verlust von Granulaten bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Kunststoffen sowie die Fragmentierung von Kunststoffabfällen in der Umwelt. Selbst wenn man davon ausginge, dass die gesamte Menge von 500 Tonnen Mikropartikeln aus Polyethylen aus kosmetischen Produkten in die Meere entlang der Küsten Deutschlands gelangt, würde dies bezogen auf die Gesamtmenge an sekundären Mikropartikel aus Kunststoffabfällen nur einen kleinen Anteil ausmachen.

Mikropartikel aus Kunststoff in kosmetischen Mitteln leisten somit mengenmäßig nur einen geringen, aber überflüssigen Beitrag zur Umweltbelastung mit Kunststoff. Um den Eintrag von Mikropartikeln aus Kunststoff in die Umwelt und vor allem in die Weltmeere zu verringern, genügt es daher nicht, sich auf deren direkten Einsatz in kosmetischen Mitteln und anderen Anwendungen zu fokussieren. Stattdessen braucht es zusätzliche Maßnahmen, welche die Menge an Kunststoffabfällen in der Umwelt und deren weiteren Eintrag generell drastisch verringern – und das nicht nur in Deutschland oder der EU, sondern weltweit.

Literaturverzeichnis

- Arthur, C.; Baker, J. & H. Bamford (2009): Proceedings of the international Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. Sept 9-11, 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-QR&R-30.
- Barnes, D.K.A.; Galgani, F.; Thompson, R. C. & M. Barlaz (2009): Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environment. In: Philosophical Transaction of the Royal Society B (biological sciences) 364: 1985-1998
- BASF (2007): Luwax[®], Poligen[®] – Waxes and wax emulsions for industrial applications. <http://biokhim.com/data2/basf/BASF%20Waxes.pdf>
- Beach, Willis J. (1972): US Patent 3,645,904 Skin Cleaner
- BKV – Beteiligungs- und Kunststoffverwertungsgesellschaft (2010): Kunststoff – Werkstoff der Ressourceneffizienz. Von der Herstellung bis zur Verwertung. BKV, Frankfurt am Main
- BML – BALTIC MARINE LITTER (2013): Final report of Baltic marine litter project MARLIN – Litter Monitoring and raising awareness 2011-2013. Available at: <http://www.hsr.se/sites/default/files/marlin-baltic-marine-litter-report.pdf>
- Browne, M.A.; Crump, P.; Niven, S.J.; Teuten, E.; Tonkin, A.; Galloway, T. & R. Thompson (2011): Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. In: Environmental Science & Technology 45: 9175-9179
- Browne, M.A. (2014): Persönliche Kommunikation.
- BUND (2014): Stoppt Mikroplastik in Alltagsprodukten – umweltbewusst einkaufen! Produktliste von Kosmetika und Reinigungsmitteln, die Mikroplastik enthalten. Datei ist online verfügbar: http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/meere/131119_bund_meeresschutz_mikroplastik_produkliste.pdf
- Bundesinstitut für Risikoforschung (2014). Aluminiumhaltige Antitranspirantien tragen zur Aufnahme von Aluminium bei. In: Stellungnahme 007/2014 des Bundesinstituts für Risikoforschung vom 26. Februar 2014, <http://www.bfr.bund.de/cm/343/aluminiumhaltige-antitranspirantien-tragen-zur-aufnahme-von-aluminium-bei.pdf>
- CalRecycle – California Department of Resources Recycling and Recovery (2012): PLA and PHA Biodegradation in the Marine Environment. State of California, Department of Resources Recycling and Recovery, Sacramento, California
- CBD – Secretariat of the Convention on Biological Diversity and the Scientific and Technical Advisory Panel – GEF (2012): Impacts of Marine Debris on Biodiversity: Current Status and Potential Solutions. In: CBD Technical Series No. 67, 61 pages.
- Cole, M.; Lindeque, P.; Halsband, C. & T.S. Galloway (2011): Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. In: Marine Pollution Bulletin 62: 2588-2597
- Consultic (2012): Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011 – Kurzfassung. Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH, Alzenau
- DIN - Deutsches Institut für Normung e.V. (2013): DIN EN ISO 472 – Kunststoffe – Fachwörterverzeichnis (ISO:472:2013); Dreisprachige Fassung EN ISO 472:2013. Beuth Verlag GmbH, Berlin

- Deutschlandfunk (2014): Mikropartikel in Kosmetika: Warum die Kleinstteile für Mensch und Umwelt gefährlich sind. Sendung am 16. Mai 2014.
http://www.deutschlandfunk.de/mikropartikel-in-kosmetika-warum-die-kleinstteile-fuer.697.de.html?dram:article_id=285581
- EPR – Europäisches Parlament und Rat (2008): Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie). Amtsblatt der Europäischen Union L164/40
- Eurostat (2010): Environmental statistics and accounts in Europe. Eurostat statistical books. Publications Office of the European Union, Luxembourg
- Eyerer, P.; Elsner, P. & T. Hirth (2005): Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften. Springer Verlag, Berlin
- Faubel, H., IHO (2014): Persönliche Kommunikation
- Focus (2013): Winzige Plastikkekeln verunreinigen Trinkwasser. 17.11.2013.
http://www.focus.de/gesundheits/news/peeling-produkte-unter-verdacht-winzige-plastikkugeln-verunreinigen-trinkwasser_aid_1161140.html
- Fuchs, S., Scherer, U., Wander, R., Behrendt, H., Venohr M., Opitz D., Hillenbrand T., Marscheider-Weidemann, F & T. Götz (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell Moneris. UBA 45/2010
- Gouin, T. (2014): The challenge: Plastics in the marine Environment. Environmental Toxicology and Chemistry 33: 5-6
- Gouin, T.; Roche, N.; Lohmann, R. & G. Hodges (2011): A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic. In: Environmental Science & Technology 45: 1466-1472
- GPA – The Declaration of the Global Plastics Associations for Solutions on Marine Litter (2014): Progress Report – 2014. Available at: <http://www.marinelittersolutions.com>
- Gregory, M.R. (1996): Plastic ‘Scrubbers’ in Hand Cleansers: a Further (and Minor) Source for Marine Pollution Identified. In: Marine Pollution Bulletin, Vol. 32, No.12, pp: 867 - 871
- HELCOM – Baltic Marine Environment Protection Commission (2014): BASE project 2012-2014: Preliminary study on synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment plant
- Hillenbrand, T., Toussaint, D., Böhm, E., Fuchs, S., Scherer, U., Rudolphi, A. & F. Hoffmann (2005): Einträge von Kupfer, Blei und Zink in Gewässer und Böden. UBA-Texte 19/05, Dessau
- IKW – Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V. (2013): Entwicklung der Märkte Schönheitspflegemittel und Haushaltspflegemittel in Deutschland zu Endverbraucherpreisen. IKW Pressemitteilung, Stand 3.12.2013
- Ivar do Sul, J.A. & M. F. Costa (2014): The present and future of microplastic pollution in the marine environment. In: Environmental Pollution 185: 352-364
- IVC – Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (2012): Chemiefasern – Herstellung, Einsatzgebiete und Ökologie. IVC, Frankfurt am Main
- JRC – Joint Research Centre (2013): Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas – A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine

- Strategy Framework Directive. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter. European Union, 2013
- Krause, J.; Narberhaus, I.; Kniefelkamp, B. & U. Claussen (2011): Die Vorbereitung der deutschen Meeresstrategien – Leitfaden zur Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL-2008/56/EG) für die Anfangsbewertung, die Beschreibung des guten Umweltzustands und die Festlegung der Umweltziele in der deutschen Nord- und Ostsee. Verabschiedet durch die 16. Arbeitsgemeinschaft Bund-Länder Messprogramm am 24.03.2011. Online abrufbar unter: <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/meeresundkuestenschutz/downloads/Berichte-und-Positionspapiere/Umsetzung-der-MSRL-Leitfaden.pdf>
- Leslie, H.A. (2014): Review of Microplastics in Cosmetics – Scientific background on a potential source of plastic particulate marine litter to support decision-making. IVM – Institute for Environmental Studies, Amsterdam
- Leslie, H.A.; van Velzen, M.J.M et al. (2013): Microplastic Survey of the Dutch Environment. Novel Data Set of Microplastics in North Sea Sediments, Treated Wastewater Effluents and Marine Biota. Institute for Environmental Studies, Amsterdam
- Leslie, H.; Miriam M.; de Kreuk, M. & D. Vethaak (2012): Verkennende studie naar lozing van microplastics door rwzi's. *H₂O* 14/15: 45-47
- Leslie, H.; van der Meulen, M. D.; Kleissen, F. M. & A. D. Vethaak (2011): Microplastic Litter in the Dutch Marine Environment – Providing facts and analysis for Dutch policymakers concerned with marine microplastic litter. Deltares, the Netherlands
- Markert, S. (2014): (P)last minute. In: *Öko-Test* Vol. 6 (2014): 103-107
- Mintenig, S.; Int-Veen, I.; Löder, M. & G. Gerdt (2014): Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch- Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen. Abschlussbericht des Alfred-Wegener-Instituts (AWI) im Auftrag des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) und des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
- Narayan, R. (2009): Biodegradability... In: *bioplastics MAGAZINE* [01/09] Vol. 4: 28-31
- Noren, F. & K. Magnusson (2010). Osynligt avfallsproblem i havet. In: *HavsUtsikt* 1/2010: 8-9. Available at: <http://www.havet.nu/dokument/HU20101avfall.pdf>
- OSPAR Commission (1995): Summary record of the Meeting in Stockholm of the 3rd Working Group on Impacts of the Marine Environment. October 1995
- PlasticsEurope – Association of Plastics Manufacturers (2013): *Plastics – the Facts 2013*. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. PlasticsEurope, Brussels
- Rettinger, K. - Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V. (2014): Persönliche Kommunikation.
- Rochman, C.M.; Hoh, E.; Kurobe, T. & S.j. Teh (2013): Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. In: *Nature Scientific Reports* 3:3263. DOI: 10.1038/srep03263
- Ryan, P.G.; Moore, C.J.; van Franeker, J.A. & C.L. Moloney (2010): Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364, pp: 1999 - 2012

- Sartorius, I. (2012): Kunststoffe und Ressourceneffizienz. Präsentation auf dem Ressourceneffizienzkonferenz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 28. September 2012. Abrufbar unter: http://www.ressourceneffizienzkonferenz.de/files/f_15_sartorius.pdf
- Spiegel (2013): Unterschätzte Gefahr – Plastikteilchen verunreinigen Lebensmittel. In: Spiegel, Ausgabe 17. November 2013 (<http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/winzige-plastikteile-verunreinigen-lebensmittel-a-934057.html>)
- STAP – Scientific and Technical Advisory Panel (2011): Marine Debris as a Global Environmental Problem: Introducing a solutions based framework focused on plastics. Global Environment Facility, Washington, DC.
- Süddeutsche Zeitung (2014): New York will Peelings verbannen. <http://www.sueddeutsche.de/panorama/mikrokugeln-new-york-will-peelings-verbannen-1.1890673>
- Teuten, E.L., Rowland, S.J., Galloway, T.S. & Richard C. Thompson (2007): Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. In *Environmental Science and Technology* 41, 7759-7764
- The Greens / EFA – European Free Alliance in the European Parliament (2014): Taking ambitious EU-wide action to reduce the use of plastic bags. Let`s Bag it! – Conference on plastic bags, 19 February 2014, Brussels
- Tolls, J.; Berger, H.; Klenk, A.; Meyberg, M.; Müller, R.; Rettinger K. & J. Steber (2009): Environmental Safety Aspects of Personal Care Products – a European Perspective. In: *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 28, No. 12: 2485-2489
- UBA - Umweltbundesamt (2010): Abfälle im Meer – ein gravierendes ökologisches, ökonomisches und ästhetisches Problem. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- UBA – Umweltbundesamt (2013): Plastiktüten. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- UNEP – United Nations Environment Programme (2006): Ecosystems and Biodiversity in Deep Waters and High Seas. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 178. UNEP /IUCN, Switzerland
- Ungerer, A. (2014): persönliche Kommunikation
- Wright, S. L.; Thompson, R. & T. S. Galloway (2013): The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. In: *Environmental Pollution* 177: 483-492
- 5 Gyres Institute, Plastics Soup Foundation, Surfrider Foundation, Plastics Free Seas, Clean Seas Coalition (2013): Microplastics in consumer products and in the marine environment. Position Paper – 2013

