



Plastik in der Umwelt – Quellen, Senken und Lösungsansätze

Mögliche Handlungsfelder für die Forschung

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Technologiezentrum



Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich



DLR Projektträger



PTKA
Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie

Impressum

Herausgeber

VDI Technologiezentrum GmbH
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf
www.vditz.de
vditz@vdi.de

Stand

Mai 2015

Druck

W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld

Gestaltung

W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld; Christiane Zay

Bildnachweis

123RF

goodluz: Titel

Fotolia

06photo: S. 8

D. Fabri: S. 22

gettyimages

ANNE-CHRISTINE POUJOLAT: S. 28

Hero Images: S. 20/21

i love images: S. 19

KidStock: S. 11

Monty Rakusen: S. 16/17; S. 33

iStock

97: S. 18

BartCo: S. 25

Catherine Lane: S. 5

erminut: S. 12

ferggregory: S. 29

FotografiaBasica: S. 3

gilaxia: S. 5

itsmejust: S. 26/27

Jodi Jacobson: S. 4

kcline: S. 24

nimis69: S. 6

mikeuk: S. 30

Frank Betker: Rheinufer, Oberkassel: S. 14;

Autoren

Christiane Ploetz, Oliver Krauß (VDI Technologiezentrum GmbH)

Frank Betker (DLR Projektträger)

Verena Höcke, Maïke Funke (Projektträger Karlsruhe)

Ulrich Wolf, Careen Krüger (Projektträger Jülich)

Die vorliegende Broschüre wurde von den vier genannten Projektträgern des Bundesministeriums für Bildung und Forschung als Hintergrundpapier zur Vorbereitung eines BMBF-Expertenworkshops „Plastik in der Umwelt“ am 27.05.2015 erstellt. Für den Inhalt zeichnen die Autoren verantwortlich.

Inhalt

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung	6
3	Kunststoff in der Wertschöpfungskette – Green Economy	8
3.1	Produktion von Kunststoffen.....	8
3.2	Einträge bei der Nutzung von Kunststoffen.....	10
3.3	Fishing for litter: Reinigung der Meere und Nutzung des Plastikmülls	11
3.4	Recycling und Entsorgung.....	14
3.5	Substitutionsstrategien in der Wirtschaft.....	15
3.6	Akteure und Aktivitäten in der Wirtschaft.....	16
3.7	Offene Fragen	17
4	Konsum, Verbraucherverhalten, Vermeidungsstrategien und Marktentwicklungen	18
4.1	Plastik in der Umwelt – die gesellschaftliche Dimension	18
4.2	Plastik im Alltagsgebrauch – Verbraucherverhalten und Problembewusstsein	20
4.3	Problemlösungsstrategien: Recycling und Verwertung.....	20
4.4	Problemlösungsstrategien: Handlungsbarrieren abbauen, Vermeidungs- und Substitutionsstrategien entwickeln.....	21
4.5	Steuerungsstrategien.....	23
4.6	Marktentwicklungen und Marktmacht der Verbraucher	23
4.7	Offene Fragen	24

5	Plastik im Süßwasserkreislauf	25
5.1	Funde.....	25
5.2	Verbreitungswege.....	26
5.3	Senken.....	26
5.4	Auswirkungen (Ökotoxizität und Humantoxizität)	26
5.5	Akteure (v. a. Wissenschaft) und Aktivitäten in der Forschung	27
5.6	Offene Fragen	28
6	Plastik im Meer.....	29
6.1	Funde.....	29
6.2	Verbreitungswege.....	30
6.3	Senken.....	30
6.4	Auswirkungen.....	31
6.5	Offene Fragen	31
6.6	Akteure	32
7	Fazit und Handlungsempfehlungen	33
	Quellenverzeichnis.....	34

1 Zusammenfassung



Kunststoffe werden global produziert und verbraucht – Tendenz steigend

Die globale Produktion von Kunststoffen betrug 2013 etwa 300 Millionen Tonnen. China hat mit 25 % den größten Anteil an der weltweiten Produktion von Kunststoffen, gefolgt von der Europäischen Union mit 20 % und den NAFTA-Ländern mit 19 %. Europa ist ein Nettoexporteur von Kunststoffen. Bei der Nachfrage nach Kunststoffprodukten in Europa ist Deutschland Spitzenreiter, gefolgt von Italien und Frankreich. Trends wie die globale Bevölkerungsentwicklung,

Urbanisierung, zunehmender Wohlstand und nachholender Konsum der Entwicklungs- und Schwellenländer werden dazu führen, dass Produktion und Verbrauch von Kunststoffen global zunehmen werden – und damit potenziell auch die Problematik des Eintrags von Plastikmüll in die Umwelt. Schätzungen gehen davon aus, dass sich bis 2025 der Eintrag von Kunststoffen in die Meere von vier bis dreizehn Millionen Tonnen auf 40 bis 130 Millionen Tonnen verzehnfachen könnte. Die Problematik der Umweltverschmutzung durch Kunststoffabfälle in allen Größen und die noch kaum untersuchte Gefahr von Plastik-

partikeln in der menschlichen Nahrung treten zunehmend ins Bewusstsein einer breiteren Öffentlichkeit und in den Fokus von Politik und Wissenschaft.

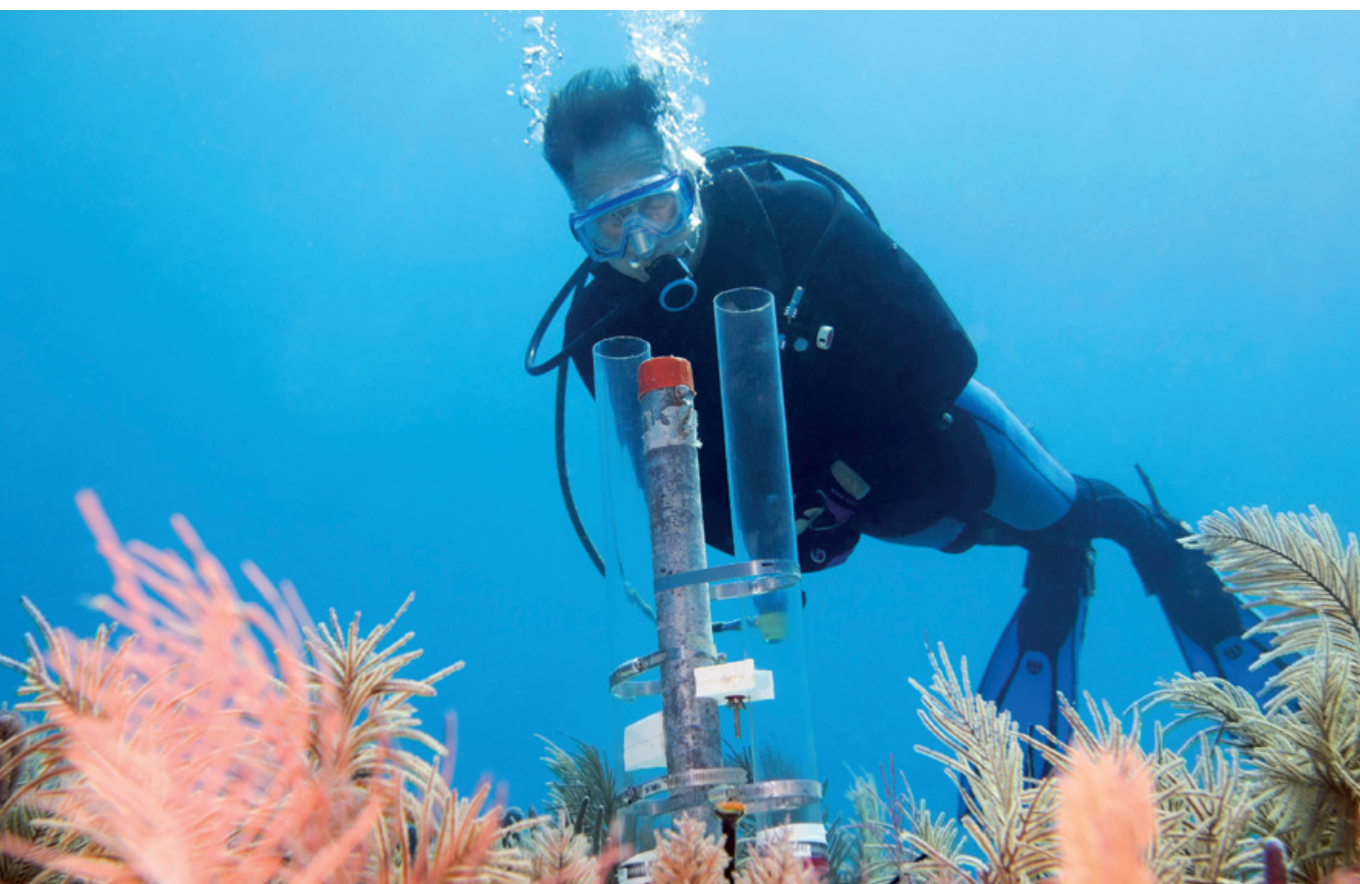
Trotz weltweiter Studien gibt es noch große Wissenslücken

Insgesamt zeigt sich, dass trotz zahlreicher Aktivitäten und Ansätze noch viele grundlegende Wissenslücken bestehen, die untersucht werden müssten, um zu einem besseren Verständnis der Eintragspfade, Verbreitungswege und der Auswirkungen von Kunststoffen in der Umwelt zu gelangen und wirksame Maßnahmen zu entwickeln.

Im Bereich der **Meeresforschung** gibt es bereits eine Vielzahl von regionalen Studien und ersten Abschätzungen. Mit der aktuellen Bekanntmachung im Rahmen von JPI Oceans sollen vor allem vergleichende Messungen zur Vereinheitlichung der Nachweismethoden sowie Untersuchungen zur Quantifizierung der Einträge und zur Toxizität von Mikroplastik im Meer gefördert werden.

Im Bereich der **Süßwasserforschung** sind der Wissensstand und die Datenlage deutlich lückenhafter. Hier gibt es nur punktuelle und vereinzelte Untersuchungen; ein gesamthafes Verständnis der Eintragswege, der Verbreitung und der Auswirkungen von Kunststoffen in aquatischen Systemen einschließlich der Risikobewertung für den Menschen ist bislang nicht vorhanden. Forschungsaktivitäten müssen vor dem Hintergrund der Europäischen Wasserrahmenstrategie konzipiert und betrachtet werden.

In der Wirtschaft gibt es eine Vielzahl von Ansätzen, im Rahmen einer **Green Economy** die Einträge von Kunststoffen in die Umwelt zu verringern. Potenziale bestehen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, vom Design der Kunststoffe und ihrer Produktion über die Nutzungsphase und Entsorgung/Recycling bis hin zur Nutzung von Meeresmüll als Rohstoff für Produkte sowie der Entwicklung von geeigneten Substitutionsmaterialien. Eine umfassende Analyse der „Lecks“, an denen Kunststoffe den Wertschöpfungskreislauf verlassen, und eine systematische Erkundung der Potenziale und Lösungsansätze mit den betroffenen Branchen ist bisher nicht vorhanden und sollte flankierend erarbeitet werden.





Aus einer sozial-ökologischen Perspektive rücken neben den Produzenten von Kunststoffen und jenen, die gewerblich mit ihnen umgehen, vor allem die **Konsumenten** in den Fokus – nicht zuletzt auch deshalb, weil gerade die Post-Consumer-Abfälle einen hohen und weiterhin stark steigenden Anteil am Plastikabfallaufkommen haben. Dabei geht es vor allem darum, den sorglosen Umgang mit Plastik zu verändern, die Akzeptanz von Substituten zu prüfen und Mikroplastik aus unverzichtbaren Verbrauchsgütern des täglichen Lebens (Zahnpasta, Duschgels etc.) zu entfernen. Auch kann der Verbraucher zu einer höheren Recyclingquote beitragen. Letztlich wäre zu prüfen, welche positiven Effekte mit einer Verminderung der Produktion und des Gebrauchs von Plastikgegenständen insgesamt einhergehen können.

Der Gesamtblick auf das Thema Plastik in der Umwelt macht deutlich, wie vielfältig die einzelnen Problemfelder sind und welche unterschiedlichen Bereiche in Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft betroffen sind. Im Rahmen von FONA³ ergeben sich verschiedene Anknüpfungspunkte, um das Thema in seiner fachlichen Breite in einem systemischen Ansatz aufzugreifen. Durch eine themenübergreifende Zusammenarbeit können die verschiedenen Teilaspekte gezielt adressiert werden. Im Rahmen der Leitinitiative „Green Economy“ werden neben verschiedenen BMBF-Abteilungen auch weitere Ressorts und Akteure aus der Wirtschaft eingebunden.

Deutschland kann als starker Partner eine wichtige Rolle im internationalen Kontext übernehmen

Viele der Lösungsansätze können nicht von Deutschland im Alleingang entwickelt werden, sondern bedürfen einer starken internationalen Vernetzung und Kooperation. Deutschland kann dabei Stärken in den folgenden Bereichen einbringen:

- international angesehene Kompetenz in der Meeres- und Wasserforschung
- wichtiger Produzent und Nutzer von Kunststoffen in vielen Branchen
- innovative Unternehmen im Bereich der Produktion und der Green Economy
- Kompetenz im Bereich der Abfall- und Kreislaufwirtschaft
- eine umweltbewusste und für Umweltthemen sensibilisierte Bevölkerung

Diese Kompetenzen sollten gezielt in internationale Partnerschaften eingebracht werden, bei denen Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Politik gemeinsam Lösungsansätze entwickeln.



2 Einleitung



Es fällt schwer, sich heute einen Alltag ohne Kunststoffprodukte vorzustellen. In allen Lebensbereichen hat Kunststoff Einzug gehalten und ist aus unserer modernen Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Obwohl das Umweltbewusstsein gerade in den westlichen Industrieländern in den vergangenen Jahrzehnten stark gestiegen ist, haben wir den Gebrauch von Kunststoff nicht grundlegend hinterfragt. Das liegt auch an der Bedeutung für ökonomische Prozesse: Kunststoff sorgt für Schlüsselinnovationen, Kunststoff schafft Arbeitsplätze, Kunststoff trägt zur wirtschaftlichen Wertschöpfung bei.

Diese Entwicklung hat jedoch auch eine Kehrseite. Plastikmüll in den Weltmeeren, Verschmutzung der Binnengewässer und Straßenränder, unsichtbares

Mikroplastik in Kosmetika, Reinigungsmitteln und letztendlich in allen aquatischen Systemen: Die Problematik der Umweltverschmutzung durch Kunststoffabfälle in allen Größen und die noch kaum untersuchte Gefahr von Plastikpartikeln in unserer Nahrung gelangen zunehmend ins Bewusstsein einer breiteren Öffentlichkeit und in den Fokus von Politik und Wissenschaft. Der öffentlich diskutierte Handlungsbedarf ist enorm. Daraus resultiert hoher Forschungsbedarf, um die vielen offenen Fragen zu klären und die angestrebten Verbesserungen wirksam gestalten zu können.

Die vorliegende Synopse wurde erstellt, um einen Überblick über das Themenfeld Plastikkreisläufe in einer ganzheitlichen Sichtweise zu erarbeiten, von den Quellen und Herstellungsprozessen über die Verbrei-

tungswege bis hin zu den Senken in der Umwelt, vor allem in marinen Systemen und in Binnengewässern.

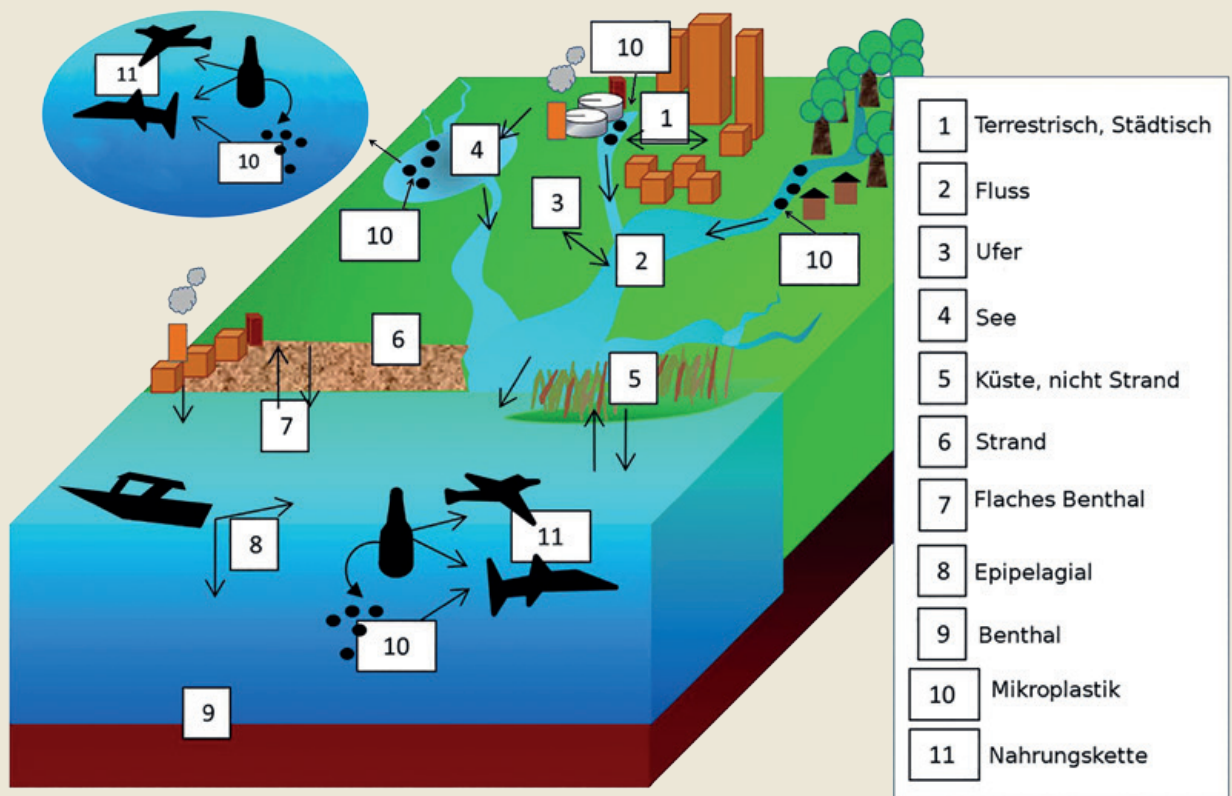
Ziel ist es, die aktuelle Faktenlage aufzubereiten, um Rückschlüsse für die Förderpolitik zu ermöglichen, Akteure zu identifizieren, mit denen an den Forschungsfragen und Lösungsansätzen gearbeitet werden kann, und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Debatte zu positionieren. Gleichzeitig wurden in Verbindung mit einem Expertenworkshop am 27.05.2015 thematische Schwerpunkte für einen möglichen „Aktionsplan“ der G7-Wissenschaftsministerkonferenz im Oktober 2015 erarbeitet. Deutschland mit seiner umfassenden Expertise in der Meeres- und Wasserforschung, seiner Wirtschaftskompetenz im Bereich der Green Econo-

my und einem stark in der Gesellschaft verankerten Umweltbewusstsein kann hier als starker Partner eine wichtige internationale Rolle spielen.

Für das vorliegende Hintergrundpapier wurden aktuelle Studien und Forschungsaktivitäten zum Thema Mikro- und Makroplastik ausgewertet, auf Wissens- und Forschungslücken hin analysiert und offene Fragen und Ansätze für eine ganzheitliche Forschung benannt.

Da für die Mikroplastikproblematik sowohl direkte Einträge von primärem Mikroplastik als auch die Zerkleinerung von großen Kunststoffpartikeln (sekundäres Mikroplastik) eine Rolle spielen, wurden beide Themen in dem Papier berücksichtigt.

Abbildung 1: Die wichtigsten Speicher und Stoffströme von anthropogenen Abfällen in terrestrischen, marinen und limnischen Ökosystemen



Quelle: Abbildung modifiziert nach T. Hoellein et al.¹

3 Kunststoff in der Wertschöpfungskette – Green Economy



Kunststoffe sind aus der modernen Welt nicht mehr wegzudenken. Sie sind in einer unüberschaubaren Vielzahl von Produkten enthalten. Entsprechend komplex und vielfältig sind die Wertschöpfungsketten der Kunststoffbranche – und entsprechend vielfältig die Stellen, an denen Kunststoffe aus dem Wirtschaftskreislauf in die Umwelt gelangen können. Die folgenden Kapitel zeigen wesentliche Stationen der Wertschöpfungskette von Kunststoffen und geben erste Hinweise auf mögliche Stellen für Verluste, aber auch Ansatzpunkte für die Schließung von „Lecks“ und andere Strategien einer Green Economy, durch die die Auswirkungen von Plastik in der Umwelt gemindert werden können. Die Green Economy Forschungsagenda des BMBF greift das Thema Mikroplastik auf: Neben den Auswirkungen in Meer und Gewässern steht dabei das Ziel im Mittelpunkt, nachhaltige Produktions- und Konsummuster in der Kunststoffproduktion auf internationaler Ebene zu

implementieren. In einem sektorübergreifenden Ansatz sollen Fragen der Auswirkungen von Schadstoffen für Ökosysteme, Nahrungsnetze und die Wirtschaft entlang der gesamten Wirkungskette bis hin zum Konsumenten begleitet werden.²

3.1 Produktion von Kunststoffen

Die globale Produktion von Kunststoffen weltweit betrug 2013 etwa 300 Millionen Tonnen (PlasticsEurope 2015).³

China hat mit 25 % den größten Anteil an der globalen Produktion von Kunststoffen, gefolgt von der Europäischen Union mit 20 % und den NAFTA-Ländern mit 19 %. Europa ist ein Nettoexporteur von Kunststoffen (alle Zahlen von 2013).⁴ Bei der Nachfrage nach Kunst-

stoffprodukten in Europa ist Deutschland Spitzenreiter, gefolgt von Italien und Frankreich.

Die wichtigsten Industrien für den Einsatz von Kunststoffen in Europa sind die Verpackungsindustrie, die Baubranche, die Automobil- und Elektronikindustrie sowie die Landwirtschaft.⁵ Insgesamt erwirtschaftet die europäische Kunststoffindustrie einen Exportüberschuss sowohl bei unverarbeitetem Plastik als auch bei Endprodukten. Gleiches gilt für die deutsche Kunststoffindustrie.

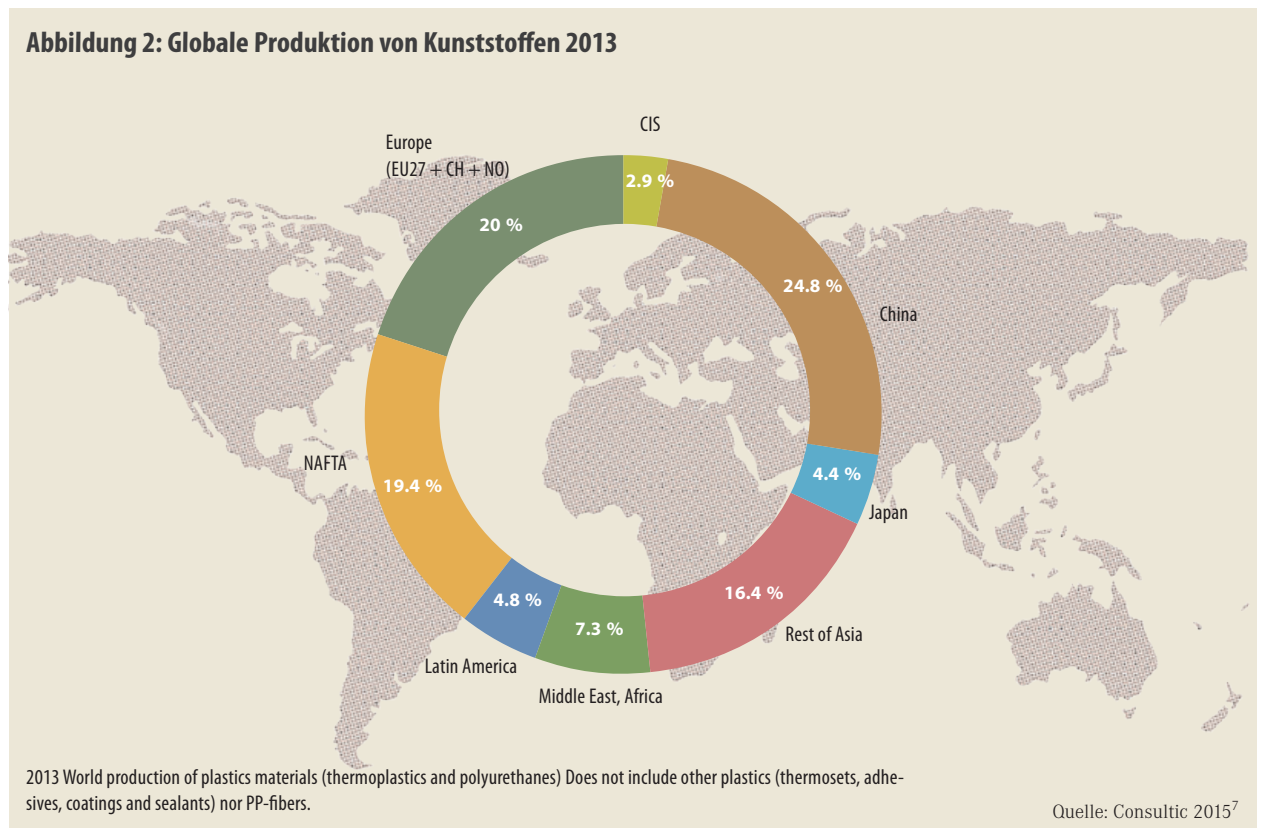
Bei der **Produktion von Kunststoffen** dienen häufig Polymergranulate (sog. Pellets) als Ausgangsmaterial für die weitere industrielle Verarbeitung. Bei der Herstellung und dem Transport kann es, z. B. beim Be- und Entladen oder auch durch Schiffsunfälle, in der Logistik oder in der Produktion zu Pelletverlusten kommen, bei denen Kunststoffteilchen in die Umwelt gelangen. Zu den Größenordnungen gibt es oft nur Berichte von Einzelbeispielen. 2012 verlor ein Frachter sechs Contai-

ner in einem Sturm bei Hongkong; 150 Tonnen Pellets gingen über Bord; 21 Tonnen wurden bei einer kurzfristigen Säuberungsaktion wieder eingesammelt.⁶

Um diese Verluste zu minimieren hat die Kunststoffindustrie 2013 im Rahmen von Responsible Care das internationale Projekt „Zero Pellet Loss“ ins Leben gerufen. Maßnahmen umfassen z. B. Aktivitäten im Bereich des Risikomanagements von Standorten (Unfallvermeidung) und die Fortbildung und Sensibilisierung der Mitarbeiter.

Das zentrale Problem von Kunststoff in der Umwelt ergibt sich aus der Langlebigkeit des Materials. Die hohe Beständigkeit wird den verschiedenen Kunststoffen durch Additive wie Antioxidantien und andere Stabilisatoren verliehen. Hier könnte ein Ansatzpunkt sein, für Anwendungsbereiche, in denen keine lange Lebensdauer des Materials benötigt wird, die Beständigkeit zu reduzieren und damit den vollständigen Abbau zu beschleunigen.

Abbildung 2: Globale Produktion von Kunststoffen 2013



Die Eigenschaften von Plastikprodukten werden auch durch die Weiterverarbeitung der Kunststoffe und das Produktdesign bestimmt. Um hier weitere Quellen für Einträge von Plastik in die Umwelt zu identifizieren, müssen diese Wertschöpfungsketten branchenspezifisch betrachtet werden.

3.2 Einträge bei der Nutzung von Kunststoffen

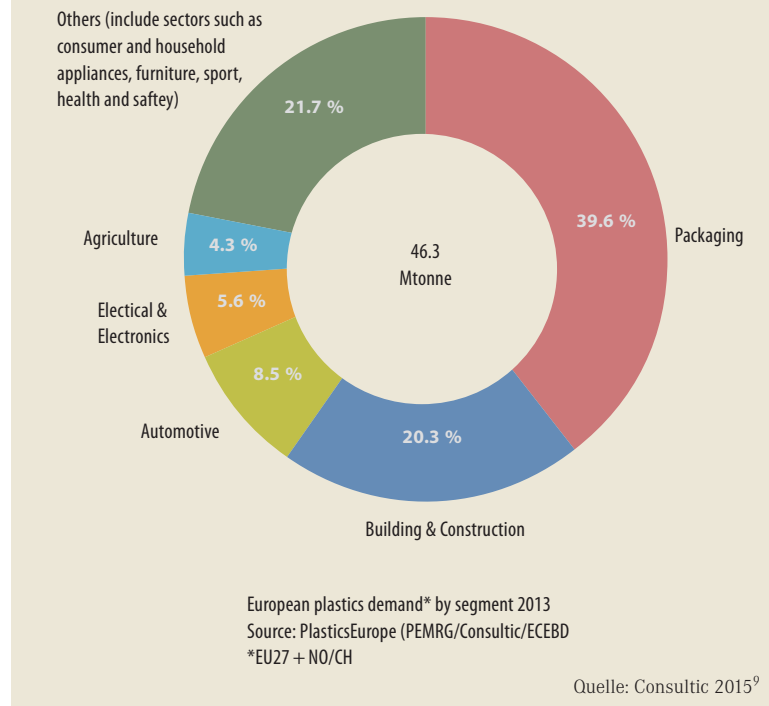
In der Nutzungsphase können an verschiedenen Stellen Kunststoffe in die Umwelt gelangen. Zahlen und Daten dazu sind schwer verfügbar, da im Rahmen der statistischen Erfassung meist nur die Produktion und die geregelten Abfallströme erfasst werden. So gibt es häufig nur Informationen zu einzelnen Kunststoffarten und Produktgruppen. Beispiele sind:

In der Fischerei gehen durch Unfälle immer wieder Netze verloren. Diese Netze treiben als sog. **Geisternetze** oft mehrere Jahre bis Jahrzehnte frei im Wasserkörper und werden zur tödlichen Falle für Lebewesen. In Europa müssen Netze aufgrund der EU-Fanggeräteverordnung mit Angaben zum Betrieb gekennzeichnet werden. Laut WWF machen die Geisternetze einen Anteil von 10 % des im Meer treibenden Plastikmülls aus, gesicherte Daten gibt es aber nicht. Forschungsfragen, die sich in diesem Zusammenhang stellen, sind:

- Woher stammen die Netze, welche Wege nehmen sie im Meer?
- Gibt es besonders risikoträchtige Fangmethoden?
- Wie lässt sich der Verlust von Netzen in der Fischereipraxis vermeiden?
- Gibt es Materialien für Netze, die biologisch abbaubar sind?
- Gibt es Verfahren, vorhandene Geisternetze aufzuspüren und aus dem Meer zu entfernen oder zu zerstören?

Als Quelle für Mikroplastik wird der **Abrieb von Textilien** diskutiert, z. B. von Fleece-Textilien und Mikrofasern. Der Abrieb gelangt über Staub⁸ und Abwasser (Waschmaschinen) in die Umwelt. Einer Studie zufolge

Abbildung 3: Europäische Nachfrage nach Kunststoffen in verschiedenen Branchen 2013



könnten bei jedem Waschgang bis zu 1.900 Teilchen ins Abwasser gelangen¹⁰, allerdings gibt es bisher nur wenige Untersuchungen zu dieser Frage. Bislang ist ungeklärt, in welchem Umfang diese Teilchen z. B. in Kläranlagen zurückgehalten werden können (s. Kapitel zu Süßwasser). Alternativ wird diskutiert, Filter für Waschmaschinen zu entwickeln sowie Ersatzstoffe oder leichter abbaubare Alternativen zu gängigen Kunststofffasern zu erforschen.¹¹ Der Einbau von Filtern in Waschmaschinen ist jedoch aus Sicht eines Waschmaschinenherstellers schwierig, da diese so eng sein müssten, dass sie durch typische Zusätze von Waschmitteln (Zeolithe) verstopft werden.¹²

Eine weitere diffuse Eintragsquelle für Mikroplastik in Gewässer ist der **Abrieb von Reifen**. Allein in Deutschland werden schätzungsweise 60 000 bis 100 000 Tonnen pro Jahr freigesetzt.¹³ Diskutiert wurde das Thema bislang v. a. im Kontext der Debatte um die Feinstaubbelastung in der Luft. Doch das Material wird ausge-

waschen und könnte so auch in Gewässer gelangen (z. B. über Rückhaltebecken an Straßen). Welche Mengen über welche Wege wohin gelangen, ist bislang ungeklärt.

Zum Vergleich: Das in **kosmetischen Produkten** eingesetzte Mikroplastik (Peelingpartikel in Duschgels etc.), das in den letzten Jahren intensiv diskutiert wurde, macht etwa 150 Tonnen pro Jahr aus. Für kosmetische Peelingpartikel werden Ersatzstoffe aus biologisch abbaubaren Materialien diskutiert; der Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V. (IKW) hat erklärt, dass der Einsatz von Plastikzusätzen in Wash-off-Produkten nicht mehr erwünscht ist. Die Industrie hat bereits reagiert und stellt die Produktion entsprechend um. So bietet beispielsweise Evonik seinen Kunden in der Kosmetikindustrie seit Ende 2014 neuartige Spezialkieselsäuren als umweltfreundlichere Alternativmaterialien für die Herstellung von Peelingprodukten an.¹⁴

PET-Flaschen sind weltweit verbreitet. Pro Jahr werden global etwa 500 Mrd. dieser Flaschen produziert, Tendenz steigend.¹⁵ Im Meer dauert es ca. 450 Jahre, bis sie abgebaut sind, wobei damit nicht ein vollständiger biologischer Abbau gemeint ist, sondern eine weitgehend mechanische Zerkleinerung (Fragmentierung). PET-Flaschen sind sehr gut für das Recycling geeignet und werden deshalb gerne als Ausgangsmaterial für Recyclingprodukte genutzt, z. B. als Recyclingflasche des belgischen Spülmittelherstellers Ecover (s. nächstes Kapitel) oder als Ausgangsmaterial für 3D-Drucker.



Offene Fragen:

- An welchen Stellen in den Wertschöpfungsketten von Kunststoffen entstehen Verluste und welche Bedeutung hat dabei die Produktnutzung?
- Wie lassen sich Verluste in der Nutzungsphase von Kunststoffprodukten systematisch erfassen und quantifizieren?
- Welche Stellen der Wertschöpfungskette sind am besten geeignet, um Verluste zu vermeiden und Kreisläufe zu schließen?

Als weitere Quellen von Mikroplastik kommen z. B. Einträge von Stäuben aus Städten sowie durch Abrasion von Farbpartikeln und Lacken bei der Reinigung von Schiffen, Gebäuden und Infrastrukturen infrage.

3.3 Fishing for litter: Reinigung der Meere und Nutzung des Plastikmülls

Weltweit gibt es verschiedene Initiativen, die aus verschiedenen Gründen Kunststoffabfälle aus den Gewässern sammeln. Hauptmotivation solcher Aktivitäten sind häufig Öffentlichkeitsarbeit und Verbrauchersensibilisierung, die Säuberung touristisch relevanter Orte (Strände), aber zunehmend auch die Nutzung des eingesammelten Kunststoffmülls als Rohstoff. Einige Unternehmen unterstützen oder initiieren solche Aktivitäten im Zuge von Corporate Social Responsibility, vereinzelt werden gezielt bestimmte Fraktionen des Plastikab-





falls (auch bevor er zu „marine litter“ wird) als Rohstoff für Produkte verwendet. Zumeist erfolgt lediglich ein Reinigen von Küstenbereichen. Entsprechend vielfältig sind die Akteure, die sich an solchen Aktionen beteiligen – wobei zu klären ist, inwieweit die Nutzung über energetische Verbrennung hinausgeht:

Im **kommunalen Bereich** sind v. a. Küstenorte aktiv, die regelmäßig Strandsäuberungsaktionen durchführen, um die Strände attraktiv für Besucher zu halten. Angesichts der Verteilung des Mülls in den Meeren (70 % in der Wassersäule und im Sediment) haben



Offene Fragen:

- Inwiefern können lokale, nationale und internationale Sammelaktionen genutzt werden, um Daten für Forschungsprojekte zu gewinnen?
- Gibt es auch Reinigungsaktivitäten jenseits der Strände, z. B. in der Wassersäule oder im Sediment, wo 70 % des Plastikmülls vermutet werden?
- Welches Potenzial bieten solche Aktivitäten für Citizen-Science-Projekte?
- Welche Potenziale gibt es, um Plastikmüll aus Gewässern als Ausgangsmaterial für eine wirtschaftliche Nutzung zu verwenden?

diese Aktivitäten hauptsächlich kosmetische Wirkung und müssen jedes Jahr aufs Neue wiederholt werden.

Eine Vielzahl von **Umweltverbänden** koordiniert Säuberungsaktionen an Küsten und Binnengewässern. Diese Aktivitäten sind z. T. international vernetzt und werden öffentlichkeitswirksam umgesetzt, z. B. in Form eines internationalen Clean-Up-Days:

So berichtet die international tätige NGO „The Ocean Conservancy“ von 648 015 Freiwilligen, die an einem Tag im Jahr 2013 in 92 Ländern über 12,3 Millionen Pfund Müll eingesammelt haben. Die Organisation koordiniert diese Aktionen seit 1986 und wertet die übermittelten Daten zu Müllmengen und -arten wissenschaftlich aus.¹⁶ Von zehn gesammelten „Top items“ sind danach sieben aus Kunststoff und umfassen v. a. Müllarten, die typisch für Endverbraucher sind, z. B. Zigarettenstummel, Plastiktüten und -flaschen sowie Lebensmittelverpackungen.

In Deutschland haben sich der NABU und die Natursportverbände (Kanusport, Tauchsport und Segelsport) zusammengetan und betreiben gemeinsam die Plattform www.saubere-meere.de. Müllfunde in Gewässern werden fotografiert, eingesammelt, dokumentiert und in eine Karte eingetragen. Diese Initiative ist auch im Sinne von Citizen Science interessant, da durch die

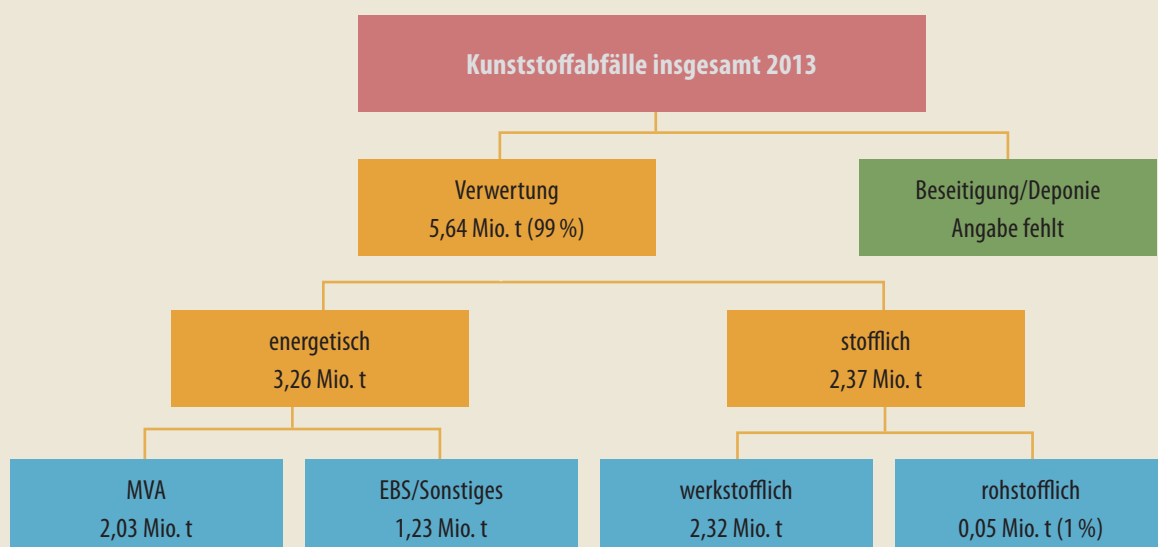
mitgliederstarken Natursportverbände viele Menschen erreicht werden.

Verschiedene **Unternehmen** verwerten Kunststoffmüllfraktionen, die als problematischer Abfall in Gewässer gelangen würden und tragen so dazu bei, dass offene Wertschöpfungskreisläufe geschlossen werden können. So produziert das Unternehmen Aquafil aus alten Fischernetzen (Polyamid) den Werkstoff ECONYL, der als Ausgangsprodukt für hochwertige Teppiche dient. Die alten Fischernetze werden dabei weltweit gewonnen, etwa aus Aquakulturbetrieben oder Sammelstellen, z. B. auf den Philippinen. Auch bereits im Meer vorhandene Netze werden verwendet. Die niederländische NGO Healthy Seas landet mithilfe von Tauchern pro Jahr ca. 30 Tonnen Netze aus Nord- und Ostsee an; diese werden von Aquafil ebenfalls als Ausgangsmaterial in der Produktion verwendet. Die belgische Firma Ecover produziert und verwendet eine Plastikflasche aus 10 % recyceltem Meeressmüll, in der Reinigungsmittel vermarktet werden.

Für viel mediale Aufmerksamkeit hat das Projekt „The Ocean Cleanup“ des 21-jährigen Niederländers

Boyan Slat gesorgt, der sich zum Ziel gesetzt hat, den Plastikmüll aus den großen Plastikwirbeln mithilfe von an der Meeresoberfläche platzierten Plattformen und Barrieren einzusammeln. Das Konzept beinhaltet auch Maßnahmen für die Aufbereitung und Wiederverwertung des Sammelguts, z. B. als Treibstoff oder für Recyclingkunststoffe. Im Juni 2014 haben Slat und sein Team eine Machbarkeitsstudie vorgestellt, die die grundsätzliche technische und finanzielle Durchführbarkeit des Ansatzes beschreibt.¹⁷ Mit einer Crowdfunding-Kampagne konnte er bis September 2014 zwei Millionen Dollar für Tests und Forschungsaktivitäten einwerben. Das Konzept ist wissenschaftlich umstritten und wird in vielen Punkten kritisiert (z. B. die Sturmfestigkeit der Barrieren, die Gefahr des „Beifangs“ von Meeresorganismen, die Konzentration und Menge des Plastikmülls an der Meeresoberfläche und die wirtschaftliche Verwertbarkeit des Sammelguts^{18, 19}), aber Slat führt weitere Versuche und Tests durch, mit denen er sein Konzept verfeinert und die Umsetzung und die Akquise von Finanzmitteln vorantreibt. Eine Modifikation besteht z. B. darin, den Plastikmüll an Flussmündungen abzufangen, da diese als wesentliche Eintragsquelle gelten.

Abb. 4: Verwertungspfade von Kunststoffabfällen in Deutschland



Quelle: Consultic 2013²⁰

3.4 Recycling und Entsorgung

Kreislaufwirtschaft und Recycling können einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass Kunststoffe nicht aus der wirtschaftlichen Wertschöpfungskette in die Umwelt und damit in die Gewässer gelangen. Der Status der Abfallwirtschaft weist dabei weltweit große Unterschiede auf – insbesondere in Ländern mit wenig geregelter Entsorgung kann dabei ein großer Anteil der Plastikabfälle direkt in die Umwelt gelangen.

In Deutschland fielen 2013 etwa 5,7 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle an. Davon werden etwa $\frac{2}{3}$ energetisch verwertet, $\frac{1}{3}$ wird stofflich verwertet und nur 1 % wird deponiert.²¹ Ca. 79 % des stofflichen Recyclings gebrauchter Produkte basiert in Deutschland auf der Verwertung von Verpackungen.

Trotz dieser im internationalen Vergleich positiven Bilanz sieht die Entsorgungswirtschaft auch in Deutschland noch Potenziale für eine Verbesserung des Kunststoffrecyclings. So plädiert die Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft für einen Paradigmenwechsel, um „das Potential für ein hochwertiges Recycling von Kunststoffen im Siedlungsabfall möglichst ökoeffizient zu erschließen“²² und befürwortet z. B. die Einführung output-orientierter Recyclingquoten, durch die der Anteil hochwertig wiederverwerteter Kunststoffe erfasst wird, anstelle der bisher üblichen Erfassung der gesammelten Wertstofffraktionen. Nicht alle Kunst-

stofffraktionen eignen sich gleichermaßen für hochwertiges stoffliches Recycling; die Verunreinigungen hochwertiger Fraktionen wie PE und PP durch schwer wiederverwertbare Kunststoffe führt dazu, dass jährlich etwa 100 000 bis 200 000 t werkstofflich verwertbarer Anteile in der energetischen Verwertung landen.²³

Das Grünbuch der Europäischen Kommission zu Kunststoffabfällen in der Umwelt gibt einen Überblick über Entsorgung und Recycling von Kunststoffabfällen in der EU.²⁴ Demnach wurden 2008 etwa 25 Mt. Kunststoffabfälle produziert. Davon wurden 12,1 Mt. (48,7 %) deponiert und 12,8 Mt. (51,3 %) einer Verwertung zugeführt, wobei nur 5,3 Mt. recycelt wurden. Die niedrigen Recyclingquoten werden z. T. mit einer unzureichenden Umsetzung bestehender abfallrechtlicher Vorgaben begründet: Das Grünbuch schätzt, dass etwa 16 Mt. Kunststoff pro Jahr recycelt werden könnten, wenn alle derzeitigen Zielvorgaben für das Recycling von festen Siedlungsabfällen, Bau- und Abbruchabfällen, Altfahrzeugen, Verpackungen, Akkumulatoren sowie Elektro- und Elektronik-Altgeräten erreicht würden.

International ist die Verfügbarkeit von Daten zu Aufkommen und Entsorgung von Abfällen deutlich schlechter. Eine 2015 publizierte Studie zur Gesamteinschätzung von Plastikeinträgen im Meer²⁵ geht davon aus, dass weltweit 2010 etwa 275 Millionen Tonnen Plastikmüll in 192 Küstenanrainerstaaten produziert wurden, von denen potenziell etwa 4,8 bis 12,7 Millionen Tonnen ins



Meer eingetragen werden. Dabei wurden die Qualität der Abfallentsorgung (geregelt vs. unkontrollierte Entsorgung) und die Bevölkerungsdichte in Küstennähe berücksichtigt. Spitzenreiter beim Eintrag ist damit China, gefolgt von Indonesien, den Philippinen und Vietnam. Die 23 Küstenanrainerstaaten Europas liegen bei diesem Ranking gemeinsam auf Platz 18, die USA auf Platz 20. Die Autoren schätzen, dass sich die Einträge bis 2025 verzehnfachen könnten und folgern, dass vor allem Maßnahmen im Bereich der Entsorgungswirtschaft und des Abfallmanagements in diesen Schwellenländern zur Verringerung der Einträge von Plastikabfällen beitragen können. In industrialisierten Ländern mit besserer Entsorgungsinfrastruktur wäre eine Reduktion des Gesamtabfallaufkommens eine wirksame Strategie.

Fazit: Sowohl in Deutschland als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern bestehen noch große Potenziale für eine Verbesserung und Intensivierung der Kreislaufwirtschaft im Kunststoffsektor. Offene Fragen sind hier u. a.:

- Quantifizierung der nicht erfassten Stoffströme: An welchen Stellen entweichen Kunststoffe aus der wirtschaftlichen Wertschöpfungskette?
- Potenziale zur Steigerung des Anteils hochwertig verwertbarer Abfall-Fractionen durch neue Technologien, verbesserte Logistik etc.

3.5 Substitutionsstrategien in der Wirtschaft

Der Ersatz von Kunststoffen durch andere Materialien, die die Umwelt weniger belasten und biologisch abbaubar sind, wird von vielen Seiten als Möglichkeit diskutiert, um die Gesamtmenge an Kunststoffen und damit auch potenziell die Abfallmenge zu reduzieren.

Als Substitute für Kunststoffe werden insbesondere Biokunststoffe diskutiert. Es gibt Schätzungen, nach denen bis zu 90 % der konventionellen Polymere durch biobasierte Rohstoffe ersetzbar sind.²⁶ Die Biokunststoffbranche wies 2013 Produktionskapazitäten von

1,62 Mt. auf; 50 % davon in Asien, 17 % in Europa.²⁷ Dem Markt werden hohe Wachstumspotenziale in den nächsten Jahren bescheinigt.

Dabei ist es wichtig zu beachten, dass Biokunststoffe nicht automatisch biologisch abbaubar sind, sondern biobasierte Ausgangsstoffe häufig als Ersatz für ölbasierte Monomere in den konventionellen Produktionsprozess eingebracht werden (drop-in polymers). Die Übergänge zwischen fossilen und biologischen Ausgangsstoffen sind dabei fließend, beide Fraktionen können gemischt werden. Es gibt Kunststoffe aus fossilen Ausgangsmaterialien, die biologisch abbaubar sind (z. B. Polyvinylalkohole, Polycaprolactone oder bestimmte Copolyester), aber auch Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, die nicht biologisch abbaubar sind (z. B. biobasiertes Polypropylen, Polyethylen oder viele Holzverbundwerkstoffe).

Für die Problematik des Plastikmülls in Gewässern ist jedoch nicht das Ausgangsprodukt, sondern die Frage der biologischen Abbaubarkeit der Kunststoffe zentral. Die biologische Abbaubarkeit von Kunststoffen ist durch verschiedene DIN-Normen festgelegt; entsprechende Herstellerangaben müssen durch Tests nachgewiesen werden. Dabei ist deutlich zu unterscheiden zwischen einer rein mechanischen Zerkleinerung von Kunststoffen und einem echten biologischen Abbau, d. h. einer vollständigen Remineralisierung in CO₂ und andere Ausgangsstoffe. In vielen Fällen ist das Abbauverhalten der verschiedenen Kunststoffe einschließlich der nach DIN-Verfahren abbaubaren Kunststoffe in Süß- und Salzwasser noch ungeklärt. Denn eine entscheidende Rolle für die biologische Abbaubarkeit spielen die äußeren Bedingungen, unter denen der Zersetzungsprozess abläuft. Die europäische Norm für Kompostierbarkeit basiert z. B. auf einer industriellen Kompostierung bei 65°C und sehr hoher Luftfeuchtigkeit. In der freien Natur können auch als kompostierbar zertifizierte Materialien über Jahre erhalten bleiben. Ungeklärt ist auch die Frage, ob Produkthinweise zur biologischen Abbaubarkeit von Produkten bei Verbrauchern zu einem sorgloseren Umgang mit Kunststoffen führen und die Problematik von Plastikmüll in der Umwelt noch

vergrößern: Durch den verstärkten Eintrag von Makroplastik, das sich schnell mechanisch in Mikroplastik zersetzt, würde das Problem eher noch verschärft werden.

Offene Fragen bei der Entwicklung von Substitutionsstrategien sind deshalb:

- Wie verändert sich die biologische Abbaubarkeit von als biologisch abbaubar klassifizierten Kunststoffen unter Umweltbedingungen an Land, im Meer und im Süßwasser?
- Für welche Produktgruppen und Einsatzzwecke ist die Entwicklung von im Meer und in Gewässern abbaubaren Kunststoffen besonders wichtig – etwa, weil ihr Eintrag auch durch andere Maßnahmen nur schwer vermeidbar ist?
- Wie wirken sich biologisch abbaubare Kunststoffe auf die sonstigen Eigenschaften von Produkten aus?

3.6 Akteure und Aktivitäten in der Wirtschaft

Viele Branchen sind von der Plastikmüllproblematik und der verstärkten Diskussion um Mikroplastik in der Umwelt betroffen – entweder, weil sie als Teil der Wertschöpfung Kunststoffprodukte herstellen, transportieren, nutzen oder entsorgen, weil ihr Geschäftsfeld von einer verstärkten Sensibilisierung der Verbraucher betroffen sein könnte (z. B. Fischerei, Aquakulturen) oder weil sie Technologien und Konzepte vermarkten, die zur Problemlösung beitragen. Viele beginnen damit, sich mit der Thematik auseinanderzusetzen, für manche ist das Thema jedoch noch Neuland.

Die Kunststoffindustrie hat 2011 eine globale Erklärung zur Meeresvermüllung veröffentlicht, an der sich weltweit über 60 Verbände der Kunststoffindustrie beteiligt haben, und ein umfassendes Maßnahmenpaket verabschiedet. Dieses Maßnahmenpaket enthält eine Sechs-Punkte-Strategie zu folgenden Themen²⁸:

- Zusammenarbeit im Rahmen öffentlich-privater Partnerschaften zur Vermeidung von Meeresabfällen.



- Zusammenarbeit mit der Wissenschaft, um zu einem besseren Verständnis von Tragweite, Herkunft und Auswirkungen von Abfällen im Meer und zu Lösungen zu gelangen.
- Förderung von umfassenden, auf wissenschaftlichen Erkenntnissen fußenden politischen Vorgehensweisen sowie der Durchsetzung bestehender Gesetze, um Meeresabfälle zu vermeiden.
- Verbreitung des Best-Practice-Ansatzes in der Abfallwirtschaft insgesamt und insbesondere in Küstenregionen.
- Verbesserung der Möglichkeiten zur Verwertung von Kunststoffabfällen.
- Begleitung von Transport und Vertrieb von Kunststoffgranulaten und Erzeugnissen an die Kunden der Kunststoffindustrie sowie zur Förderung dieser Praxis in der gesamten Lieferkette.

Im Rahmen der globalen Partnerschaft werden weltweit Projekte zu diesen Themen initiiert und durchgeführt; regionale Schwerpunkte sind Europa, Afrika (Südafrika) und Amerika.

Weitere betroffene Branchen sind z. B.:

- Fischerei und Aquakultur
- Landwirtschaft
- Chemische Industrie (z. B. Lacke, Farben)
- Baubranche (z. B. Anstriche)
- Schifffahrt und Logistikbranche (z. B. Hafenbetreiber)
- Automobilbranche (z. B. Reifenhersteller)



- Elektronikbranche (z. B. Waschmaschinenhersteller)
- Textilbranche (z. B. Kleidung, Möbel)
- Spielzeughersteller
- Tabakindustrie
- Kosmetikindustrie
- Pharmazeutische Industrie
- Nahrungsmittel (z. B. Getränkeindustrie)
- Groß- und Einzelhandel
- Verpackungsindustrie
- Wasser- und Abwasserbranche
- Abfallwirtschaft, Recyclingbranche

3.7 Offene Fragen

In der Wirtschaft gibt es eine Vielzahl von Ansätzen, im Rahmen einer Green Economy die Einträge von Kunststoffen in die Umwelt zu verringern. Potenziale bestehen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, vom Design der Kunststoffe und ihrer Produktion über die Nutzungsphase und der Entsorgung/des Recyclings bis hin zur Sammlung und Nutzung von Meeresmüll als Rohstoff für neue Produkte. Eine umfassende, auch quantitative Analyse der „Leaks“, an denen Kunststoffe den Wertschöpfungskreislauf verlassen, sowie eine systematische Erkundung der Lösungsansätze zu deren Schließung ist bisher nicht vorhanden und sollte gemeinsam mit den betroffenen Branchen erarbeitet werden. In den verschiedenen Bereichen sind dabei folgende Fragestellungen zu betrachten:

Produktion und Logistik:

- Welche Einträge in die Umwelt entstehen bei Produktion, Transport von Zwischenprodukten und Weiterverarbeitung (Stichwort: Pelletverluste) und wie können diese vermieden werden?

Herstellung und Nutzung von Produkten aus Kunststoffen:

- An welchen Stellen in den Wertschöpfungsketten von Kunststoffen entstehen Verluste (z. B. Abrieb von Textilien, Reifenabrieb, PET-Flaschen)?
- Welche Stellen der Wertschöpfungskette sind am besten geeignet, um Verluste zu vermeiden und Kreisläufe zu schließen (z. B. Kläranlagen, Sammelsysteme)?
- Fischereindustrie: Verluste von Fanggeräten (z. B. Netze): Gibt es besonders risikoträchtige Fischereiverfahren?

Substitution:

- Wie ist die biologische Abbaubarkeit von als biologisch abbaubar klassifizierten Kunststoffen unter Umweltbedingungen an Land, im Süßwasser und im Meer?
- Für welche Anwendungsbereiche sind im Meer und in Gewässern abbaubare Kunststoffe oder alternative Produkte besonders wichtig?

Fishing for Litter:

- Welche Potenziale gibt es, um Plastikmüll aus Gewässern zu entfernen und ggf. als Ausgangsmaterial für eine wirtschaftliche Nutzung zu verwenden?
- Inwiefern können Sammelaktionen genutzt werden, um Daten für Forschungsprojekte zu gewinnen (auch Citizen Science)?

Recycling und Entsorgung:

- Welche Stoffströme werden nicht erfasst (in Deutschland, in Entwicklungs- und Schwellenländern) und wie kann man diese Datenlücken schließen?
- Wie kann der Anteil hochwertiger stofflicher Verwertung von Kunststoffen gesteigert werden (z. B. durch neue Technologien, verbesserte Logistik)?

4 Konsum, Verbraucherverhalten, Vermeidungsstrategien und Marktentwicklungen



4.1 Plastik in der Umwelt – die gesellschaftliche Dimension

Während mit der naturwissenschaftlichen Forschung über Plastik in der Umwelt bereits begonnen wurde, ist eine inter- und transdisziplinäre Forschung, die die gesellschaftliche Dimension des Themas ausleuchtet, noch nicht konzipiert: Damit rücken das Konsumverhalten von Verbrauchern, individuelle und gesellschaftlich akzeptierte Vermeidungsstrategien, angebots- wie nachfragegetriebene Marktentwicklungen u. v. m. ins Blickfeld. Die sozial-ökologische Forschung kann wertvolle Beiträge dazu liefern, denn bei der Plastikproblematik geht es ähnlich wie etwa bei der Energiewende um

grundlegende Transformationen hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft. Wissenschaft kann im Dialog mit Bürgern, Zivilgesellschaft, Unternehmen, Kommunen u. a. an Lösungen arbeiten, die wirksamer werden, weil sie nicht nur naturwissenschaftliche und technische Aspekte berücksichtigen.

Im Folgenden sollen einige thematische Eckpunkte für eine sozial-ökologische Forschung zum Thema Plastik-Kreisläufe und Mikroplastik umrissen werden:

Aus einer sozial-ökologischen Perspektive rückt neben der Produktion von und dem gewerblichen Umgang mit Plastikartikeln vor allem der Konsum in den Fokus – nicht zuletzt auch deshalb, weil gerade die Post-Consum-

mer-Abfälle einen hohen und weiterhin stark steigenden Anteil am Plastikabfallaufkommen haben.²⁹ Dabei geht es unter anderem darum, den sorglosen Umgang mit Plastik zu verändern, die Akzeptanz von Substituten zu prüfen und Mikroplastik aus unverzichtbaren Verbrauchsgütern des täglichen Lebens (Zahnpasta, Duschgels etc.) zu entfernen. Auch kann der Verbraucher zu einer höheren Recyclingquote beitragen. Letztlich wäre zu prüfen, welche positiven Effekte mit einer Verminderung der Produktion und des Gebrauchs von Plastikgegenständen insgesamt einhergehen können.

Zentrale Fragen sind:

1. Analyse des Problems:

- Welche Bedürfnisse werden mit Plastikartikeln in Haushalten befriedigt? Was sind kaum vermeidbare Anwendungen, wo sind Möglichkeiten, den Kunststoffverbrauch zu reduzieren? Welche Einschränkungen muss der Verbraucher ggf. tragen bzw. zu tragen bereit sein?
- Wie lässt sich das Verbraucherverhalten (in Deutschland, in Europa und in außereuropäischen Kulturkreisen) im Umgang mit Plastik generell einschätzen? Welches Verhalten führt zum Eintrag in die Umwelt und welche Motive lenken dieses Verhalten? Welche Blockaden hemmen einen nachhaltigeren Umgang oder gar den Verzicht auf Plastik? Können Handlungsmuster je nach Lebensstil, Einkommensgruppe, sozialer und kultureller Zugehörigkeit oder je nach Region unterschieden werden?
- Wie ist das Problembewusstsein in der jeweiligen Bevölkerung einzuschätzen?
- Erhöht sich durch Recycling von Kunststoff insgesamt die erzeugte und verbrauchte Kunststoffmenge (Reboundeffekte)? Gibt es durch verstärktes Recycling nicht-nachhaltige Effekte? Welche Ambivalenzen der Kreislaufwirtschaft von Plastik gibt es?

2. Ansätze zur Problemlösung:

- Wo können Vermeidungs- und Substitutionsstrategien ansetzen? Was eignet sich zur Substitution, was nicht? Wie kann in der Bevölkerung eine höhere Akzeptanz für Substitute hergestellt werden?

- Wie kann mittels Verbraucherverhalten zu einer höheren Recyclingquote beigetragen werden?
- Wie sollte die Politik reagieren? Wie können marktorientierte Anreize gesetzt, wo muss mit Auflagen gearbeitet werden? Wo sind ggf. welche Kennzeichnungspflichten sinnvoll? Welche Erfahrungen mit Regulierung und Anreizen gibt es in anderen Ländern (Europa und weltweit), die in Deutschland aufgegriffen werden können? Welche Lösungen aus Deutschland können für andere Länder interessant werden?
- Welche innovativen Ansätze (Modellversuche, Geschäftsmodelle etc.) gibt es (z. B. Verpackungsfreie Läden)? Können diese von der Nische in die Breite der gesellschaftlichen Anwendung gebracht werden? Welche Marktentwicklungen haben Einfluss auf das Verbraucherverhalten bzw. können



potenziell zur Eindämmung oder Ausweitung der Verwendung von Plastik beitragen?

- Welche Marktentwicklungen sind absehbar, die den künftigen Plastikkonsum positiv oder negativ beeinflussen können? Inwieweit können Verbraucher Einfluss auf die Produzenten ausüben?

4.2 Plastik im Alltagsgebrauch – Verbraucherverhalten und Problembewusstsein

Erst seit wenigen Jahrzehnten gehören Plastikgegenstände zu den Gebrauchs- und Investitionsgütern in den westlichen Industriegesellschaften. In kurzer Zeit haben sie alle Lebensbereiche durchdrungen. Plastik spielt eine Rolle in den Haushalten, bei der Mobilität, in der Freizeit und am Arbeitsplatz. Plastik ist nicht nur ein unverzichtbarer Bestandteil in den Gebrauchsgegenständen des täglichen Lebens, dient der Unterhaltung und Dekoration, es hat auch eine hohe kulturelle Bedeutung. Um den Plastikkonsum deutlich reduzieren zu können, ist es daher notwendig, die Einflussfaktoren für das Verhalten der Verbraucher in Hinsicht auf Plastikprodukte umfassend zu verstehen. Welche Motivationen, welche Wertvorstellungen, welche Hemmnisse führen einerseits zu hohem und wachsendem Verbrauch von Kunststoffen im Konsumbereich, andererseits besonders zur „sorglosen“ Entsorgung in die Umwelt, insbesondere in Wasser und schließlich in das Meer? Es ist auch noch nicht geklärt, inwieweit überhaupt ein Problembewusstsein in der Bevölkerung existiert und wie das Problembewusstsein geschärft werden könnte.

Der Verbraucher hat zu Kunststoffen je nach Einsatz- und Verwendungsbereich vermutlich ein sehr unterschiedliches Verhältnis. Die Analyse von Verbraucherverhalten ist möglicherweise in unterschiedliche Anwendungsgebiete von Kunststoffen zu differenzieren: Verpackungsmaterialien, Hygieneprodukte, hochwertige und langlebige kunststoffhaltige Geräte und Möbel etc. Gesellschaftswissenschaften sollten beschreiben und analysieren, welche unterschiedlichen Bereiche zu welchem Umgang mit Kunststoffen in Haushalten (und

Unternehmen) führen. Auf Basis der Erkenntnisse zu kulturellen Aspekten, Routinen, dem Alltagskontext und der sozialen Einbettung von Konsumentenscheidungen können Abhängigkeiten und Transformationsblockaden aufgezeigt und wirksame Nachhaltigkeitsstrategien bezüglich des Verbraucherverhaltens entwickelt werden.

Die Vermüllung der Umwelt mit Kunststoffen ist vermutlich auch sehr stark von kulturellen Faktoren abhängig. Verschiedene Regionen der Welt sollten untersucht und jeweils angepasste Lösungsstrategien entwickelt werden.

4.3 Problemlösungsstrategien: Recycling und Verwertung

Überall dort, wo Menschen mit Plastikgegenständen umgehen, entsteht auch Plastikmüll, der möglicherweise gerade im Bereich Freizeit und Mobilität am wenigsten umweltgerecht entsorgt, also weder recycelt noch ver-



wertet wird, und so zu einer sichtbaren Vermüllung der Umwelt beiträgt. Wie hoch der Anteil der Plastikabfälle ist, der direkt in die Umwelt gelangt, kann nur grob geschätzt werden. Auf welche Weise dies geschieht und ob bestimmte Gruppen der Bevölkerung als Verursacher identifiziert werden können, ist erst ansatzweise untersucht.³⁰

Sobald Plastikabfälle allerdings eingesammelt sind, greift eine in Deutschland bereits vergleichsweise gut ausgebaute Verwertungsinfrastruktur. Immerhin werden 99 % aller eingesammelten Kunststoffabfälle (es handelt sich neben dem oben erwähnten sichtbaren Müll (littering) auch um Abrieb, Versprödung und Verwitterung (Reifen, Plastikrohre, Kunststoffputze, Beschichtungen), Textilfasern, nichtabbaubare Anteile an Reinigungsmitteln und manches mehr) auch verwertet. Mit einem Anteil von etwa 43 % an dieser Menge erreicht Deutschland eine relativ hohe Recyclingquote. Diese könnte allerdings noch deutlich höher sein, denn etwa 56 % der Kunststoffabfälle werden in Müllverbrennungsanlagen energetisch verbrannt.³¹ Die Wirkungen

der ökonomischen Anreize für die Verwertung von Plastikmüll sind ein mögliches Thema für die Forschung.

Aus der Verbraucherperspektive ist das Recycling positiv konnotiert. Allerdings hat die bisherige Forschung zu Mikroplastik schon gezeigt, dass das Recycling differenziert betrachtet werden sollte. Es kann im schlimmsten Fall langfristig sogar zur Problemverschärfung beitragen, wenn etwa aus Plastikabfällen Fleece-Textilien hergestellt werden, die mit jedem Waschgang Mikrofasern verlieren. Diese können in Kläranlagen nicht vollständig ausgefiltert werden und gelangen letztlich in Binnengewässer und Meere.³²

Die NGO PLASTICCONTROL hat auf der Grundlage dieser Zahlen überschlägig errechnet, dass allein in Deutschland jährlich eine Wassermenge betroffen ist, die über 60.000 Schwimmbäder in der Größe des Münchner Olympiastadions füllen würde.³³

Wissenschaft kann dazu beitragen, bewusst zu machen, wie weitverbreitet industriell erzeugte Plastikgegenstände mit ihren je unterschiedlichen Gefährdungs- und Nützlichkeitsgraden sind. Dabei können etwa die positiven Aspekte verschiedener Arten des Plastikrecyclings gegen die dadurch möglicherweise verursachte Verschärfung der Mikroplastikproblematik sowie gegen die Vor- und Nachteile der energetischen Verbrennung von Plastik abgewogen werden.

4.4 Problemlösungsstrategien: Handlungsbarrieren abbauen, Vermeidungs- und Substitutions- strategien entwickeln

Zweifellos liegt im Verbraucherverhalten ein wichtiger Teil des Problems begründet. Deswegen muss jeder Beitrag zu dessen Lösung das Verbraucherverhalten in Rechnung stellen. Der bewusste Umgang mit Plastikabfällen kann zur Problemschärfung beitragen. Es gibt eine Vielzahl von „Handlungsbarrieren“ für einen bewussteren Umgang mit Plastik: Unkenntnis,



Gewohnheit, Bequemlichkeit und bestimmte Verhaltensnormen müssen empirisch beleuchtet werden, um Ansätze für Verbesserungen aufseiten der Verbraucher wirksam werden zu lassen.³⁴ Auch die Bedeutung von äußeren Rahmenbedingungen wie fehlenden Abfallkörben oder kostenlosen Plastiktüten sind zu quantifizieren. Konkret wäre etwa zu prüfen, inwieweit eine geeignete Kennzeichnung Verbraucher nicht nur mit Orientierungs- und Handlungswissen ausstattet, sondern auch effektiv zur Änderung ihrer Konsumgewohnheiten veranlassen kann. Eine Änderung von Konsumgewohnheiten ist dann besonders schwierig, wenn sie sich auf Alltagsgegenstände und Gebrauchsartikel bezieht, die Teil des alltäglichen Lebens sind. Dies wird oftmals als Konsumverzicht verstanden, der die Lebensqualität spürbar einschränken kann. Die Bereitschaft, Nachhaltigkeit als relevante Kategorie für die Kaufentscheidung anzuerkennen, ist in den verschiedenen sozialen und Einkommensgruppen unterschiedlich ausgeprägt. Zudem reagieren Märkte auf soziale, kulturelle und demographische Entwicklungen. Die steigende Zahl von Single-Haushalten bevorzugt eher kleine Packungsgrößen mit einem vergleichsweise größeren Verpackungsaufwand und konsumiert häufig in Plastik verpackte Tiefkühlkost. Der stark wachsende Markt der Convenience- und Take-away-

Produkte für unterwegs (Snacks, Coffee to go u. ä.) basiert vor allem auf Plastikverpackungen und spricht vermutlich vor allem den jungen urbanen Städter an.³⁵ Preisgünstige Produkte sind meist in Plastik verpackt und sprechen vor allem untere Einkommensgruppen an. Es stellt sich daher die Frage, ob sich solche Befunde wissenschaftlich zur These einer lebensstil- und milieuspezifischen Verwendung von Plastikgegenständen verdichten lassen. Gibt es darüber hinaus auch regionale oder Stadt-Land-Unterschiede? Wissenschaft kann hier differenziert Verzichtspotenziale ermitteln und diese ins Verhältnis mit zu den zu erwartenden Wirkungen setzen. Sie könnte herausarbeiten, inwieweit ein verändertes Verbraucherverhalten auch zu einer Verbesserung der Lebensqualität beitragen kann. Auf einer solchen Grundlage kann analysiert werden, was den „Mainstream“ der Konsumenten ausmacht und wie dieser durch Maßnahmen zum nachhaltigen Konsum erreicht werden kann.

Bei unverzichtbaren Gegenständen des alltäglichen Lebens und Produzierens könnten Substitutionsstrategien greifen. Wie können Plastikprodukte, die eine potenzielle Umweltgefährdung durch Gebrauch und Entsorgung in sich bergen, auf die aber im Alltag nicht verzichtet werden kann, durch alternative Produkte



oder Dienstleistungen ersetzt werden, die von den Verbrauchern akzeptiert werden? Häufig stellt sich die Akzeptanzfrage aber gar nicht, wenn etwa das zu substituierende Mikroplastik einen Bestandteil in Lippenstift und Zahnpasta darstellt, der weder sichtbar noch fühlbar ist. Hier kann Wissenschaft Vorschläge zu sinnvollen Kennzeichnungspflichten erarbeiten. Nachhaltigeres Verbraucherverhalten liegt nicht nur in der Hand der Verbraucher, sondern auch Industrie und Handel sind verantwortlich, dies zu unterstützen.

Die Untersuchung von neuen Ansätzen, Geschäftsmodellen und Modellversuchen zur Vermeidung von Kunststoffabfällen in der Umwelt ist ein weiteres Thema der Gesellschaftswissenschaften. Insbesondere sollte das Potenzial zur Verbreitung dieser neuen Ansätze bewertet werden. Eine besonders Erfolg versprechende Vermeidungsstrategie wird derzeit im Einzelhandel erprobt: Auf Basis der Vermutung, dass vor allem die lediglich einmal verwendeten Verpackungen am ehesten verzichtbar sind, haben in einigen wenigen Städten (u. a. Kiel, Berlin, Bonn) verpackungsfreie Läden geöffnet. Die Tatsache, dass bereits über Supermarktketten-Konzepte nachgedacht wird und dass per Crowdfunding erfolgreich Gründungskapital eingesammelt wurde (in Berlin), zeigt, dass verpackungsfreie Läden auf eine größere Nachfrage stoßen. Forschung könnte dazu beitragen, herauszufinden, ob das Potenzial und die Entwicklungsmöglichkeiten von verpackungsfreien Läden so groß sind, dass das Konzept auf den traditionellen Handel ausstrahlt.

4.5 Steuerungsstrategien

Eine zentrale Herausforderung für die Politik ist es, Vermeidungs- und Substitutionsstrategien erfolgreich umzusetzen. Wissenschaft kann dies dadurch unterstützen, dass sie die Effektivität und Effizienz verschiedener Steuerungsinstrumente analysiert. Diese reichen von „weichen“ Formen der Anreizsetzung, etwa dem sogenannten Nudging³⁶, über finanzielle Anreize bis hin zu harten Auflagen. Die Plastiktüte ist ein klassisches Beispiel für Vermeidungs- und Substitutionsstrategien.

Dazu gibt es nicht nur in Deutschland, sondern bereits in vielen anderen Ländern Erfahrungen mit unterschiedlichen Formen der Regulierung und des Setzens von Anreizen, die wissenschaftlich auszuwerten wären.

Am 28.4.2015 hat das Europäische Parlament für eine novellierte Richtlinie zur Reduktion von Plastik bei Verpackungen und Verpackungsabfällen gestimmt. Der jährliche europäische Pro-Kopf-Verbrauch soll von aktuell etwa 200 dünnen Kunststofftüten bis 2025 auf durchschnittlich 40 Tüten sinken. Die EU-Mitgliedstaaten können dabei selbst entscheiden, wie sie das Ziel erreichen möchten. Auch ein Verbot ist möglich.³⁷

Die Grundfrage lautet: Was kann mit dem gezielten Setzen von Anreizen zu einem bewussteren und sorgsameren Umgang mit Plastik erreicht werden, wo müssen Regulierungen klare Grenzen setzen, Verantwortlichkeiten definieren und notfalls Sanktionen verhängen?

In Entwicklungs- und Schwellenländern mit nachholenden Modernisierungsprozessen nimmt die Verwendung von Plastikgegenständen weiter zu und ersetzt traditionelle Verfahren und Materialien. Angesichts der schon heute überragenden und weiter zunehmenden Rolle von Plastik in Produktion und Nutzung muss für diese Gesellschaften spezifisch geklärt werden, welche ökonomischen Motive, welche sozialen und kulturellen Bedeutungen von Kunststoffen zu dieser Dynamik beitragen, um daraus Schlussfolgerungen für Gegenmaßnahmen zu ziehen.

4.6 Marktentwicklungen und Marktmacht der Verbraucher

Wichtig ist es auch für die Wissenschaft, Trends in Produktion und Konsum aufzuspüren, die potenziell problemverschärfend wirken können. Dies betrifft zum Beispiel den oben beschriebenen Trend zu Convenience- und Take-away-Produkten, kann aber auch noch im Anfang befindliche Entwicklungen wie den 3D-Drucker in den Blick nehmen.

Wie beim nachhaltigen Konsum generell, so stellt sich auch hier die Frage, inwieweit Verbraucher aufgrund ihres Einkaufsverhaltens Einfluss auf die Produzenten von Plastikartikeln nehmen können. Substitutions- und Verzichtsstrategien müssen reflektieren, dass der Kunststoff in Deutschland vor allem für die Chemie- und Mineralölindustrie ein Wirtschaftsfaktor ist. Auch sind der Recyclingmarkt und der Markt der „energetischen Verbrennung“ in Müllverbrennungsanlagen für Verbraucher nicht gerade transparent. Das Wissen darum (umweltgerechte Entsorgung, Recycling) kann aber Konsumententscheidungen beeinflussen. Die BMBF-geförderte Forschung zum nachhaltigen Konsum hat Wege „vom Wissen zum Handeln“ breit diskutiert.³⁸ Wissenschaft, insbesondere die inter- und transdisziplinäre Forschung, kann dazu beitragen, den Wissensstand zu erhöhen, Folgen des Handelns und



Gewohnheiten auch im Umgang mit Plastik bewusst zu machen und Verhaltensänderungen vorzuschlagen.

4.7 Offene Fragen

- Welche Bedürfnisse werden mit Plastikartikeln in Haushalten befriedigt?
- Wie lässt sich das Verbraucherverhalten im Umgang mit Plastik generell einschätzen? Wie weit ist das Problembewusstsein in der Bevölkerung entwickelt?
- Welche Blockaden hemmen einen nachhaltigeren Umgang mit Plastik?
- Wie kann das Verbraucherverhalten zu einer höheren Recyclingquote beitragen? Welchen Einfluss kann verändertes Verbraucherverhalten auf Produktion, Einsatz und Handel von Plastikartikeln haben?
- Können Handlungsmuster je nach Lebensstil, Einkommensgruppe, sozialer und kultureller Zugehörigkeit oder je nach Region unterschieden werden?
- Ambivalenzen von Plastikkreisläufen und Recycling: Welche nicht-nachhaltigen Effekte gibt es?
- Wo können Vermeidungs- und Substitutionsstrategien ansetzen?
- Welche marktorientierten Anreize oder regulatorischen Maßnahmen sind hilfreich?
- Welche innovativen Ansätze in Handel und Produktion gibt es schon? Wie können gute Ansätze in die Breite getragen werden?
- Welche internationalen Erfahrungen liegen vor?
- Welche künftigen Marktentwicklungen haben Einfluss auf das Verbraucherverhalten?

5 Plastik im Süßwasserkreislauf



In der Vergangenheit wurde Plastik hauptsächlich im Meer untersucht. Ein Teil des Plastiks im Meer gelangt jedoch durch Flüsse dorthin. Studien zum Vorkommen von Plastik im Süßwasser werden erst seit ca. vier Jahren durchgeführt (hier ohne Flussmündungsgebiete; erste Studie in den Great Lakes).³⁹

5.1 Funde

Bislang liegen sehr wenige Daten vor. In den bisher veröffentlichten Studien im Süßwasserbereich wurden einige wenige Seen untersucht (vorwiegend Great Lakes in den USA/Kanada).⁴⁰ In Europa wurden bisher

nur der Genfersee und der Gardasee untersucht. Alle untersuchten Seen weisen besondere Merkmale auf, die eine Übertragbarkeit auf andere Seen erschweren. Neben der geringen Übertragbarkeit der Studien auf andere Seen zeigt schon die geringe Anzahl der Veröffentlichungen (insgesamt 12 bei der Recherche gefunden) den dringenden Bedarf an weiterer Forschung.

Weiterhin gibt es auch bereits einige wenige Studien in Flüssen (vorwiegend in Europa). Bisher wurden Ergebnisse aus den deutschen Flüssen Elbe, Mosel, Rhein und Neckar veröffentlicht. In der Recherche konnten 20 Veröffentlichungen ermittelt werden.⁴¹ Innerhalb der Studien wurden auch die Sedimente betrachtet.

Dabei stellte sich heraus, dass diese ebenso stark mit Plastik belastet waren wie die schmutzigsten Sedimente im Meer.⁴² Allgemein war der Konzentrationsbereich vergleichbar mit dem im Meer.⁴³ Eine detaillierte Betrachtung von technischen Systemen (hier: Kläranlage und Wasserwerke) wurde bisher nicht veröffentlicht.

Die Zusammensetzung der Plastikfunde im Süßwasser ist ähnlich der im Meer. Auch hier ist zu beachten, dass es zu einer Differenzierung zwischen Makroplastik (> 5 mm) und Mikroplastik (> 5 mm) und einer weiteren Unterscheidung zwischen primären und sekundärem Mikroplastik kommen muss. Je nach Größe und Art sind unterschiedliche Quellen zu sehen: Es wurden große Plastikteile von Verpackungen⁴⁴ gefunden, Plastikpellets aus der Produktion⁴⁵, Fasern aus Kleidung, Mikroperlen aus Kosmetika und weitere Plastikteile, auch aus Zerrieb von größeren Teilen.⁴⁶

Die dargestellten Plastikbefunde hängen stark von der Art der Beprobung (z. B. Sedimente vs. wässrige Phase, Netz vs. Filter), der Detektionsmethode (z. B. visuelle vs. Infrarot-Spektrometrie) und des Ortes (z. B. Hovskol vs. Great Lakes) ab.

Allgemein gilt für den nicht marinen Bereich, dass, um detaillierte Abschätzungen zu Plastikbefunden im spezi-fischen Gewässern machen zu können, insgesamt noch zu wenige Daten vorliegen.

5.2 Verbreitungswege

Als Quellen für das Plastik werden Kläranlagen, Mischwasserentlastungen und Regenwasserüberläufe genannt.⁴⁷ Unfälle (z. B. in der chem. Industrie)⁴⁸ und Katastrophen (Überflutungen) sind auch eine denkbare Quelle. Bei der Nennung von Kläranlagen als Quellen ist zu beachten, dass diese ebenfalls als Senken betrachtet werden können. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil des primären Mikroplastiks, das über Kosmetika eingetragen oder als Fasern aus Kleidung ausgewaschen wird, im Klärschlamm verbleibt. Kläranlagen selbst sollten daher nicht als Eintragsquelle betrachtet werden,



da sie eine Sammelstelle für sämtliche Plastikmaterialien aus den Haushalten und Straßenverschmutzungen über Mischwasserkanalisationen sind.

5.3 Senken

Bisher liegen kaum Erkenntnisse zu den Senken im Süßwasserbereich vor. Wie jedoch bereits erwähnt, sind auch im Süßwasserbereich Sedimente wie etwa Klärschlamm eine mögliche Senke für Mikroplastikpartikel.

5.4 Auswirkungen (Ökotoxizität und Humantoxizität)

Zur Aufnahme von Mikroplastik durch Süßwasserorganismen sind bisher nur relativ wenige Studien veröffentlicht worden: eine zum Gründling⁴⁹ in Frankreich, eine weitere zu Fischen im Genfer See⁵⁰, und Imhof et al.⁵¹ betrachten in ihrer Studie zum Gardasee auch Invertebraten. Es handelt sich hierbei um Laboruntersuchungen bzw. um eine Momentaufnahme auf Basis



von Stichproben aus dem Freiland. Zu den Auswirkungen von Mikroplastik auf Süßwasserorganismen liegt bisher erst eine Studie vor.⁵² Weitere Forschung zu den Auswirkungen auf Organismen, einer Anreicherung in der Nahrungskette und einer möglichen Aufnahme durch den Menschen ist hier dringend notwendig.⁵³ Untersuchungen zur Wirkung von Mikroplastik auf die menschliche Gesundheit sind bisher ebenfalls noch nicht vorgenommen worden.

Im Zusammenhang mit Plastik im Wasser müssen ebenfalls Transportmechanismen betrachtet werden. Hierbei könnten Biofilme, die sich auf Plastikoberflächen bilden, eine Rolle spielen. So können sich dort potenziell Pathogene einnisten und besser transportiert werden als planktonische Zellen.⁵⁴ Auf Seiten des Schadstofftransports sind zwei wesentliche Aspekte zu nennen: zum einen das Freisetzen von Schadstoffen wie beispielsweise Weichmacher, die kanzerogene, endokrine und/oder teratogene Effekte haben können⁵⁵ und zum anderen die Resorption/Desorption von (Schad-) Stoffen, die bereits im Wasser vorliegen.⁵⁶

Bisher liegen keine Untersuchungen zu Mikroplastik im Trinkwasser vor. Hier ist zu klären, ob die vorhandenen Barrieren greifen und ausreichend Schutz für das Trinkwasser bieten.

5.5 Akteure (v. a. Wissenschaft) und Aktivitäten in der Forschung

In einigen Ländern (Bayern, Baden-Württemberg) sind inzwischen Studien beauftragt worden, um die Datenlage zu verbessern und einen ggf. notwendigen Handlungsbedarf abzuleiten. Nordrhein-Westfalen erwägt ebenfalls, Forschung hierzu zu veranlassen.⁵⁷ Rheinland-Pfalz sieht das Thema eher bei den Länderarbeitsgemeinschaften Wasser⁵⁸, die es besser koordinieren und gezielter behandeln können.

Insgesamt wird das Thema in Wissenschaft und Öffentlichkeit mit stetig wachsender Aufmerksamkeit nun auch im Bereich Süßwasser betrachtet und ein dringlicher Forschungsbedarf gesehen.⁵⁹

Zu dem Thema Plastik sind im Süßwasserbereich vor allem Akteure aus der Wissenschaft aktiv. Hier sind neben einigen Universitäten (u. a. Hochschule Fresenius, Universität Frankfurt, Universität Bayreuth, TU und LMU München) und Forschungsinstituten (u. a. Fraunhofer UMSICHT) nun seit einiger Zeit auch Interessenverbände aktiv. So hat beispielsweise die Wasserchemische Gesellschaft der GDCh eine Fachgruppe zu diesem Thema gegründet.

Das Umweltbundesamt und die Bundesanstalt für Gewässerkunde haben ebenfalls mit Untersuchungen begonnen, die über die jeweils übergeordneten Ministerien finanziert werden.



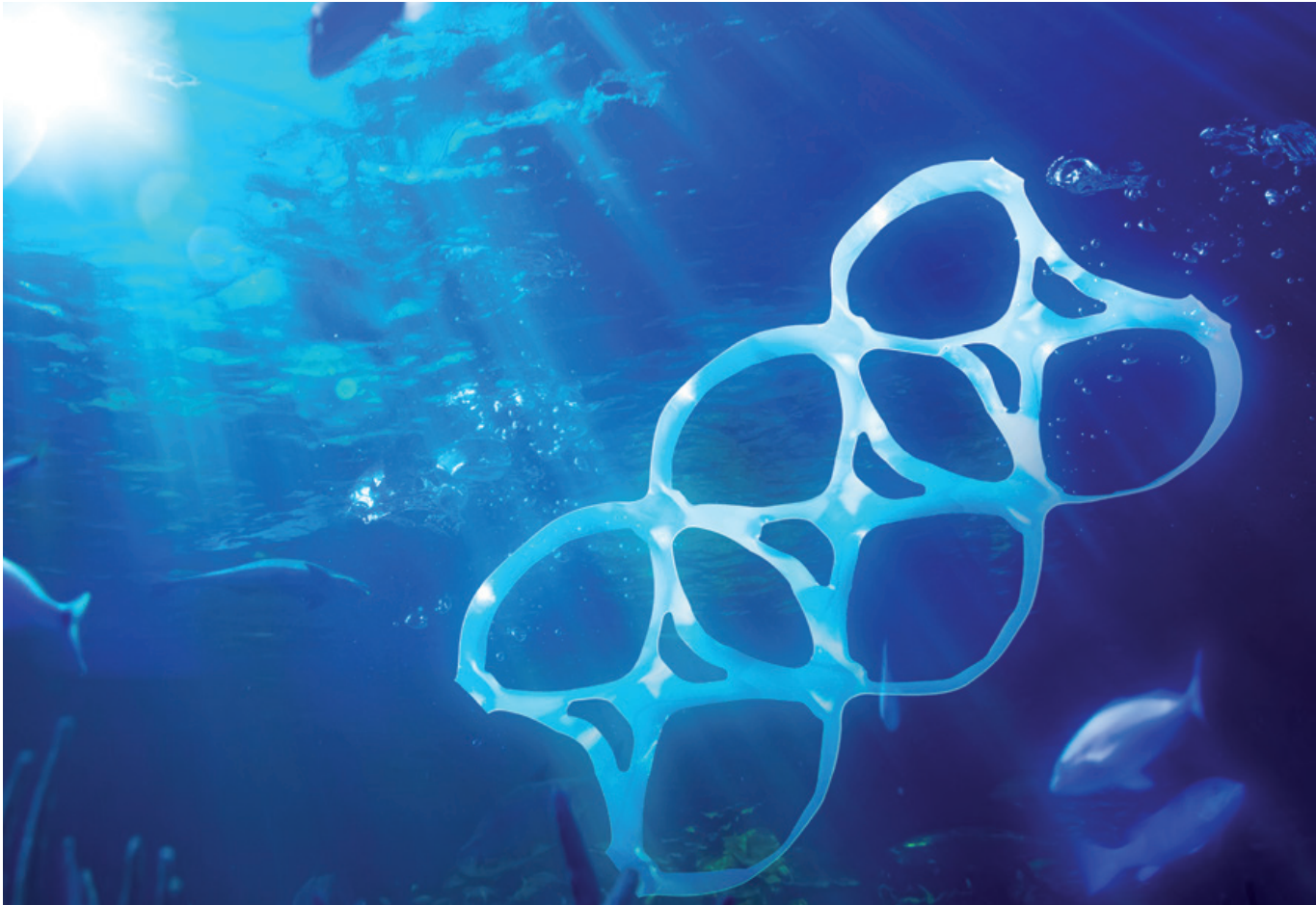
Durch das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT wurde die „Initiative Mikroplastik“ als eine Internetplattform gegründet, die u. a. dem Wissensaustausch zum Thema Mikroplastik dienen soll.

5.6 Offene Fragen

Die bisherigen Arbeiten zu dem Thema (Mikro-)Plastik im Süßwasser sind insbesondere auf folgenden Themengebieten noch lückenhaft:

- Entwicklung und Vereinheitlichung von Detektionsmethoden
- Monitoring-Daten zu (Mikro-)Plastik in der aquatischen Umwelt
- Monitoring-Daten zu (Mikro-)Plastik in der terrestrischen Umwelt
- Monitoring-Daten zu (Mikro-)Plastik in technischen Systemen (Abwasserreinigung und Trinkwasseraufbereitung)
- Ermittlung der wesentlichen Eintragswege (z. B. Kläranlagen, Haushalte, Niederschlagswasser, Hochwasser, Unfälle, Entlastungen, falsche Entsorgung, Landwirtschaft)
- Umweltchemie von (Mikro-)Plastik (z. B. Sorption/Desorption von Schadstoffen in der wässrigen Phase und in Sedimenten, Transportverhalten)
- Mikrobiologie auf (Mikro-)Plastik (z. B. Bildung von Biofilmen, Transport von Mikroorganismen, einschließlich Pathogene)
- Expositionsdaten für Süßwasserspezies
- Biomagnifikation und Übergang in Nahrungsmittel
- Toxizität von Mikroplastik (hier: Flora und Fauna, aber auch der Mensch)
- Risikobewertung von (Mikro-)Plastik
- Strategien zur Verminderung von (Mikro-)Plastik-Emissionen
- Mikroplastik in Bezug auf die Europäische Wasserstrategie

6 Plastik im Meer



Das Meer ist eine stetige und zentrale Senke des Plastikreislaufs. Schätzungen gehen davon aus, dass jährlich 5 bis 13 Millionen Tonnen Plastikmüll in den Meeren landen.⁶⁰ Obwohl bereits in den 70er Jahren auf das Problem der Vermüllung der Meere aufmerksam gemacht wurde, existieren bis heute kaum verlässliche Daten zur Menge, geografischen Verbreitung und zu Auswirkungen von Plastikteilchen in den Ozeanen.

6.1 Funde

Aktuelle Zahlen und quantitative Erhebungen zu den Einträgen von Mikroplastik in Küstengewässer und Meere liegen nur vereinzelt vor und beruhen auf Schätzungen (z. B. in Publikationen von PLOS ONE und SCIENCE). Grundlage dieser Erhebungen sind zumeist die Produk-

tionszahlen an Kunststoffen. Seit den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts ist die Weltproduktion an Kunststoffen von 0,5 Millionen Tonnen pro Jahr auf heutzutage ca. 300 Millionen Tonnen pro Jahr angestiegen (Association of Plastics Manufacturers in Europe). Damit einhergehend stieg auch die Menge an Plastikmüll in den Weltmeeren kontinuierlich an. Momentan geht man davon aus, dass 2–5 % der Jahresproduktion als Makroplastik direkt oder indirekt ins Meer gelangen. Hinzu kommen die unbekannteren fluvialen Einträge von Mikroplastik in die Küstengebiete.

Die schwimmenden Anteile sammeln sich verstärkt in den ozeanischen Wirbeln, bevor sie u. a. nach Anheften von Seepocken oder Entenmuscheln in die Tiefsee absinken oder schon in Oberflächennähe in Mikroplastik zersetzt werden. Im Nordpazifik und Nordatlantik

haben sich zwei große „Müllstrudel“ ausgebildet. Der Strudel im Nordpazifik (Great Pacific Garbage Patch), der 1997 entdeckt wurde, hat etwa die Größe von Mitteleuropa und enthält schätzungsweise 1 Million Plastikteile pro Quadratkilometer.

Neben den Nachweisen von Plastikmüll in den ozeanischen Strudeln wurde auch in den arktischen Gewässern ein Anstieg von Plastikmüll nachgewiesen. So konnte das Alfred-Wegener-Institut bei seinen Untersuchungen im „Hausgarten“ (Untersuchungsgebiet zwischen Grönland und der norwegischen Insel Spitzbergen) von 2002 bis 2011 eine Verdoppelung des Plastikmülls auf dem Meeresgrund dokumentieren.

Neben den Meeresgebieten betrifft das Problem Plastikmüll insbesondere die Küstengewässer und somit Küstengebiete. Hier werden im Spülsaum und am Strand zunehmend Kunststoffpartikel vorgefunden. Diese Funde spiegeln die verstärkten Einträge sowohl von Land- als auch von Meerseite wider. Die OSPAR-Kommission ist Vorreiterin beim Monitoring von Meeresmüll an den Küsten des Nordost-Atlantiks und hat 2014 einen regionalen Aktionsplan zu Vermeidung und Management von Meeresmüll vorgelegt.⁶¹ Bereits seit 2001 wird der Müll an ausgesuchten Strandabschnitten in 15 Nordseeanrainern untersucht. Dabei kommen auf 100 m Küstenlinie etwa 712 Müllteile. Doch die Zahlen variieren stark: So wurden an der deutschen und niederländischen Wattenmeerküste zwischen 2002–2008 durchschnittlich 236 Müllteile auf 100 m gefunden. 75 % davon waren aus Plastik oder Polystyrol.⁶²

6.2 Verbreitungswege

Die Nutzung der Meere ist vielseitig, sodass auch die Eintragungspfade (Quellen) und Verbreitungswege im Meer sehr unterschiedlich sind. Während vor einigen Jahrzehnten der Haupteintrag des Meeresmülls über Schiffsabfälle, Fischerei und Schiffsunfälle generiert wurde, geht man heute davon aus, dass bis zu 80 % des Meeresmülls vom Land stammt.⁶³



Der Eintrag ins Meer kann vom Land aus z. B. durch vom Wind weggetragenen Abfall (z. B. leichte Plastiktüten), Flüsse und Abwasserkanäle oder durch Wegwerfen von Müll im Strandbereich erfolgen.

Auf dem Meer kann Abfall durch kommerzielles Fischen (z. B. Verlust der Fischernetze), illegale Entsorgung von Abfall, Verlust von Materialien an Bord von Schiffen, durch Schiffsunfälle oder durch Materialverlust auf Offshore-Plattformen eingetragen werden.

6.3 Senken

Makro- und Mikroplastikpartikel „verschwinden“ nicht wieder aus dem Meer, sondern bleiben bis zur vollständigen Zersetzung in der Wassersäule, werden durch aquatische Organismen aufgenommen (gefressen), an den Strand gespült und mit dem Sand vermischt oder am Meeresgrund abgelagert. Durch UV-Strahlung, Wellenbewegungen, aber auch mikrobiellen Abbau werden die Plastikteile in kleinste Partikel zerlegt. Abhängig von der Größe, Sonnenlicht, Temperatur und Material kann es bis zu 600 Jahre dauern, bis sich Kunststoffteile im Meer zersetzt haben. Dadurch kommt es jedes Jahr zu einer größeren Akkumulation von Plastikpartikeln in den Küstengewässern und Meeren. Ein Großteil der zunächst zumeist schwimmenden Plastikteilchen im Meer sinkt infolge von Biofouling (z. B. das Anheften von Seepocken und Entenmuscheln) auf den Meeresboden. Erste Schätzungen des Umweltbundesamtes gehen davon aus, dass bis zu 70 % der großen Kunststoffpartikel auf den Meeresgrund sinken. Der verbleibende Rest wird zu etwa gleichen Teilen an Stränden angespült bzw. treibt weiterhin, z. B. als Mikroplastik, in Oberflächennähe.⁶⁴

6.4 Auswirkungen

Infolge der zunehmenden Belastung der Meeresumwelt mit Plastikpartikeln können diese in das marine Nahrungsnetz gelangen. Die Auswirkungen auf einzelne Tiere sind erheblich, wahrscheinlich jedoch auch auf die gesamte marine Lebensgemeinschaft. Neben den direkten Auswirkungen (Verhungern) der Aufnahme von Plastikpartikeln auf individuelle Tiere, z. B. bei Vögeln, muss auch davon ausgegangen werden, dass an Plastik adsorbierte Schadstoffe in das Nahrungsnetz gelangen. Während einige Organismen die Mikroplastikpartikel einfach wieder ausscheiden (z. B. Meeresasseln oder Seegurken), lagern andere diese Partikel in ihrem Gewebe ab, was bei sehr hohen Konzentrationen zu Entzündungen führen kann, wie in einer Laborstudie mit Miesmuscheln gezeigt wurde.

Die bisher vorliegenden Untersuchungen konzentrierten sich auf den Nachweis von Plastikpartikeln in marinen Organismen. So wurden u. a. bei einer über mehrere Jahre dauernden Analyse von Mägen toter Eissturmvögel bei etwa 97 % dieser Vögel Plastikteilchen nachgewiesen.⁶⁵ Während dieser Nachweis bei Makroplastikpartikeln schon ausreichend gegeben ist, fehlen noch zuverlässige und vergleichbare Methoden für den Nachweis von Mikroplastik-Partikeln in marinen Organismen. Außerdem fehlen Studien zu den Auswirkungen der Mikroplastikpartikel, in denen Schwellenwerte ermittelt werden (d. h. die niedrigsten Mikroplastikkonzentrationen, die Effekte auf marine Arten haben). Solche Untersuchungen sind notwendig, um mögliche Auswirkungen auf die marine Lebensgemeinschaft abschätzen zu können. Gerade von diesen Mikroplastikpartikeln wird ein höheres Gefährdungspotenzial vermutet, da diese aufgrund ihrer Partikelgröße besser aufgenommen und auch im Gewebe der Tiere abgelagert werden können.

Mit der Anreicherung der Mikroplastikpartikel in marinen Organismen ist auch eine erhöhte Aufnahme dieser Partikel durch den Menschen gegeben. So konnten belgische Wissenschaftler bis zu 90 Mikroplastikpartikel in einer Portion Miesmuscheln und 50 Mikroplastik-

partikel in einer Portion Austern nachweisen.⁶⁶ Welche Auswirkungen diese Aufnahme von Plastikpartikeln beim Verzehr von marinen Organismen auf die menschliche Gesundheit hat, ist bislang vollkommen unbekannt. Auch liegen bislang keine ausreichenden Untersuchungen vor, ob die stoffliche Zusammensetzung der Mikroplastikpartikel (Kunstfasern, Reifenabrieb, PE, PET usw.) unterschiedliche Auswirkungen auf die marinen Organismen hat.

6.5 Offene Fragen

Auch wenn im Vergleich zum Süßwasser bereits eine deutlich höhere Anzahl an Untersuchungen zu (Mikro-)Plastik in marinen Systemen vorliegt, sind die Kenntnisse auch im Meeresbereich noch sehr lückenhaft. Daher sind u. a. folgende Aufgabenstellungen/Fragen gegeben:

- Entwicklung, Vereinheitlichung und Standardisierung der analytischen Methoden
- Entwicklung von Monitoringstrategien zur Überwachung der Meere
- Bessere Quantifizierung der Einträge und Ermittlung der wesentlichen Eintragswege
- Untersuchung des Abbaus und Transports von (Mikro-)Plastik in marinen Systemen
- Untersuchung zur Mobilisierung von Schadstoffen aus Sedimenten und zum Transport von Schadstoffen (Sorptions) an (Mikro-)Plastik-Partikeln
- Mikrobielle Besiedlung der (Mikro-)Plastik-Partikel – Transport von pathogenen Keimen
- Toxizität von Mikroplastik für die marine Fauna, insbesondere auch für die kommerziell genutzten Arten
- Risikobewertung von (Mikro-)Plastik, Definition von Grenzwerten zur Überwachung
- Strategien zur Verminderung von (Mikro-)Plastik-Emissionen – Nutzungskonzepte (Küstenzonenmanagement)
- Mikroplastik bei der Umsetzung der europäischen Meeresstrategie richtlinie sowie bei internationalen Vereinbarungen zum Küsten- und Meeresschutz (OSPAR, HELCOM)

6.6 Akteure

Alle bekannten wissenschaftlichen Einrichtungen der Meeresforschung in Deutschland beschäftigen sich auch mit dem Thema Plastikmüll in den Meeren. Weiterhin sind verschiedene Bundesbehörden und Nichtregierungsorganisationen aktiv.

Wissenschaftliche Einrichtungen:

- Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (www.awi.de)
- Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (www.io-warnemuende.de)
- Deutsches Meeresmuseum Stralsund (www.deutsches-meeresmuseum.de)
- GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (www.geomar.de)
- Helmholtz-Zentrum Geesthacht - Zentrum für Material- und Küstenforschung - HZG (www.hzg.de)
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ (www.ufz.de)
- Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (www.umsicht.fraunhofer.de)
- Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (www.uni-kiel.de)
- Universität Oldenburg/Wilhelmshaven (www.uni-oldenburg.de)
- Universität Osnabrück (www.uni-osnabrueck.de)
- Universität Trier (www.uni-trier.de)
- Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (www.tiho-hannover.de)
- Universität Kassel (www.uni-kassel.de)
- Universität Bayreuth (www.uni-bayreuth.de)

Oberverwaltungsbehörden:

- Bundesanstalt für Gewässerkunde - BfG (www.bafg.de)
- Bundesamt für Naturschutz - BfN (www.bfn.de)
- Bundesinstitut für Risikobewertung - BfR (www.bfr.bund.de)
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie - BSH (www.bsh.de)
- Umweltbundesamt - UBA (www.umweltbundesamt.de)
- Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel - MRI (www.mri.bund.de)
- Thünen-Institut für Agrartechnologie (www.ti.bund.de/de/at/)
- Thünen-Institut für Fischereiökologie (www.ti.bund.de/de/fi/)
- Nationalparkamt Niedersächsisches Wattenmeer (<http://www.nationalpark-wattenmeer.de/>)

Nichtregierungsorganisationen (NGOs):

- BUND (www.bund.net)
- NABU (www.nabu.de)
- Greenpeace (www.greenpeace.org)
- WWF Deutschland (www.wwf.de)
- Küsten Union Deutschland e.V. - EUCC (www.eucc-d.de)
- Oecolog e.V. (www.oecolog.net)
- Nova Institut (www.nova-institut.de)
- Ecologic Institute gGmbH (www.ecologic.eu/de)

7 Fazit und Handlungsempfehlungen



Insgesamt hat die Analyse gezeigt, dass trotz zahlreicher Aktivitäten und Ansätze noch viele grundlegende Wissenslücken bestehen, die untersucht werden müssten, um zu einem besseren Verständnis der Eintragspfade, Verbreitungswege und der Auswirkungen von Kunststoffen in der Umwelt zu gelangen und wirksame Maßnahmen zu entwickeln.

Der Gesamtblick auf das Thema Plastik in der Umwelt macht deutlich, wie vielfältig die einzelnen Problemfelder sind und welche unterschiedlichen Bereiche in Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft betroffen sind. Im Rahmen des neuen BMBF-Rahmenprogramms FONA³ ergeben sich verschiedene Anknüpfungspunkte, um das Thema in seiner fachlichen Breite in einem systemischen Ansatz aufzugreifen. Durch eine referatsübergreifende Zusammenarbeit können die verschiedenen Teilaspekte gezielt adressiert werden. Darüber hinaus können im Rahmen der Leitinitiative Green Economy auch andere BMBF-Abteilungen, Ressorts und Akteure aus der Wirtschaft eingebunden werden.

Viele der Lösungsansätze können nicht von Deutschland im Alleingang entwickelt werden, sondern bedürfen einer starken internationalen Vernetzung und Kooperation. Deutschland kann dabei Stärken in den folgenden Bereichen einbringen:

- International angesehene Kompetenz in der Meeres- und Wasserforschung
- Wichtiger Produzent und Nutzer von Kunststoffen in vielen Branchen
- Innovative Unternehmen im Bereich der Produktion und der Green Economy
- Kompetenz im Bereich der Abfall- und Kreislaufwirtschaft
- Eine umweltbewusste und für Umweltthemen sensibilisierte Bevölkerung

Diese Kompetenzen sollten gezielt in internationale Partnerschaften eingebracht werden, bei denen Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Politik gemeinsam Lösungsansätze entwickeln.

Quellenverzeichnis

- ¹ Hoellein T, Rojas M, Pink A, Gasior J, Kelly J (2014) Anthropogenic Litter in Urban Freshwater Ecosystems: Distribution and Microbial Interactions. PLoS ONE 9(6): e98485. doi:10.1371/journal.pone.0098485
- ² BMBF: „Forschungsagenda Green Economy“, November 2014, URL: www.bmbf.de
- ^{3,4,5,6} PlasticsEurope: „Plastics – the Facts 2014/2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data“, Januar 2015, URL: <http://www.plasticseurope.org>
- ⁶ Environment News Service: „Typhoon Dumps Tons of Plastic Pellets on Hong Kong Beaches“, August 2012, URL: <http://ens-newswire.com>
- ⁷ PlasticsEurope: „Plastics – the Facts 2014/2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data“ Januar 2015, URL: <http://www.plasticseurope.org>
- ⁸ P. Sundt et al.: „Sources of microplastics-pollution to the marine environment“, Dezember 2014 URL: <http://www.miljodirektoratet.no>
- ⁹ PlasticsEurope: „Plastics – the Facts 2014/2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data“,
- ¹⁰ M.A. Browne et al.: „Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks“, Environmental Science & Technology, September 2011
- ¹¹ Plasticcontrol e.V.: „Fleece und Mikrofaser“, URL: <http://plasticcontrol.de>
- ¹² M. Schnarr, Miele & Cie. KG, European Bioplastics e.V.: Persönl. Mitteilung, 22.04.2015.
- ¹³ J. Rosenow: „Reifenabrieb vergeht nicht“, April 2008, URL: <http://www.kfz-betrieb.vogel.de>
- Januar 2015, URL: <http://www.plasticseurope.org>
- ¹⁴ Econsense: „Evonik bietet umweltfreundlichen Ersatz für Mikroplastik in Peelings“, November 2014 URL: <http://www.econsense.de>
- ¹⁵ LMV-Online: „Trends bei PET-Herstellung und Flaschen-design“, Juli 2013, URL: <http://www.lebensmittelverarbeitung-online.de>
- ¹⁶ Ocean Conservancy: „Report 2014: Turning the Tide on Trash“, 2014, URL: <http://www.oceanconservancy.org>
- ¹⁷ B. Slat: „How the Oceans Can Clean Themselves. A feasibility study“, 2014, URL: <http://www.theoceancleanup.com>
- ¹⁸ MDI – MarineDebris.Info: „An online community for sharing knowledge on research, management, and prevention of ocean litter“, URL: <http://marinedebris.info/>
- ¹⁹ S. Zierul: „Forscher warnen vor Ozean-Filtern“, Süddeutsche Zeitung, August 2014, URL: <http://www.sueddeutsche.de>
- ^{20,21} Consultic: „Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2013, – Kurzfassung –“, 2013, URL: <http://www.kunststoffverpackungen.de>
- ^{22,23} DGAW – Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft e.V.: „Position der DGAW zur Reform der Entsorgung von wertstoffhaltigen Abfällen in Deutschland“, März 2013, URL: <http://www.dgaw.de>
- ²⁴ Europäische Kommission: „Grünbuch zu einer europäischen Strategie für Kunststoffabfälle in der Umwelt“, März 2013, URL: <http://eur-lex.europa.eu>
- ²⁵ J.R. Jambeck et al.: „Plastic waste inputs from land into the ocean“, Science Vol. 347, Februar 2015
- ²⁶ M. Carus: „Vermeidung, Management und Substitution schwer abbaubarer Kunststoffpartikel – Option Biokunststoffe?“ – Vortrag, Kongress Mikroplastik in der Umwelt, Juli 2014
- ²⁷ European Bioplastics: „Bioplastics: facts and figures“, 2013, URL: <http://www.european-bioplastics.org>
- ²⁸ PlasticsEurope: „Marine Litter“, URL: <http://www.plasticseurope.de>
- ²⁹ Consultic: „Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2013 – Kurzfassung –“, 2013, URL: <http://www.kunststoffverpackungen.de/>. Siehe zum sozial-ökologischen Zugriff auf das Thema auch: F. Betker: Risiken durch Mikroplastik und die Ambivalenz von Plastikkreisläufen. Ein sozial-ökologischer Aufriss, in: GAIA. Ökologische Perspektiven für Wissenschaft und Gesellschaft (SÖF-Mitteilungen), Heft 2/2015, S. 130-131.
- ³⁰ Das Öko-Institut beschreibt, dass sich häufig gerade Fußgänger sowie Autofahrer ihres Mülls im Freien entledigen. Vgl. G. Mehlhart, M. Blepp: „Study on Land-Sourced Litter (LSL) in the marine environment. Review of sources and literature“, 2012, S. 53, URL: <http://www.oeko.de/>.
- ³¹ Alle Daten von 2011: Umweltbundesamt nach Zahlen von CONSULTIC Marketing und Industrieberatung GmbH, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/>; Consultic: „Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2013, – Kurzfassung –“, 2013, URL: <http://www.kunststoffverpackungen.de/>.
- ³² Browne et al. haben errechnet, dass es sich dabei um bis zu 1900 Fasern pro Waschgang handeln kann. M.A. Browne, P. Crump, et al.: „Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks“, in: Environmental Science & Technology, September 45(21), 2011: 9175–9179, zitiert nach: Alfred-Wegener-Institut (AWI) Biologische Anstalt Helgoland (2014): Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes, Abschlussbericht, Helgoland, 8.10.2014, S. 1.
- ³³ Artikel „Fleece und Mikrofaser“, URL: <http://plasticcontrol.de/>
- ³⁴ L. Reisch: „Land Sourced Litter – wie kann man Verbraucherverhalten ändern?“ Keynote beim Workshop „Land-Sourced-Litter“ des Öko-Instituts, 6./7. März 2013, Berlin (unveröff. Foliendruck, Folie 6).
- ³⁵ G. Mehlhart, M. Blepp: „Study on Land-Sourced Litter (LSL) in the marine environment. Review of sources and literature“, 2012, S. 56 f., URL: <http://www.oeko.de/>.
- ³⁶ G. Mehlhart, M. Blepp: „Study on Land-Sourced Litter (LSL) in the marine environment. Review of sources and literature“, 2012, S. 56 f., URL: <http://www.oeko.de/>; L. Reisch et al.: „Nudging in der Verbraucherpolitik. Ansätze verhaltensbasierter Regulierung“, 2015, Nomos Baden-Baden.

- ³⁷ <http://www.zeit.de/>
- ³⁸ R. Defila et al.: „Wesen und Wege nachhaltigen Konsums. Ergebnisse aus dem Themenschwerpunkt Vom Wissen zum Handeln – Neue Wege zum Nachhaltigen Konsum, Oekom München 2011; Blättel-Mink, Birgit: Active Consumership as a Driver towards Sustainability, in: GAiA S1/2014 Special issue: Sustainable Consumption.
- ³⁹ M. Zbyszewski et al.: „Distribution and degradation of fresh water plastic particles along the beaches of Lake Huron, Canada“, *Water, Air, and Soil Pollution*, 2011, 220(1-4), S. 365-372.
- ⁴⁰ Consultic: „Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2013, – Kurzfassung –“, 2013, M.C. Biesinger et al.: „Developing ToF-SIMS methods for investigating the degradation of plastic debris on beaches“, *Surface and Interface Analysis*, 2011, 43(1-2), S. 443-445, M. Zbyszewski et al.: „Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America“, *Journal of Great Lakes Research*, 2014, 40(2), S. 288-299, M. Eriksen et al.: „Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes“, *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 77(1-2), S. 177-182, C.M. Free et al.: „High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake“, *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 85(1), S. 156-163, R.A. Castañeda et al.: „Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments“, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2014, 71(12), S. 1767-1771, H.K. Imhof et al.: „Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles“, *Current Biology*, 2013, 23(19), S. R867-R868, F. Faure et al.: „Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean sea“, *Archives des Sciences*, 2012, 65(1-2), S. 157-164, L.R. Stout et al.: „Microplastic load in Lake Washington and surrounding watershed“, *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, 2012.
- ⁴¹ T. Hoellein et al.: „Anthropogenic Litter in Urban Freshwater Ecosystems: Distribution and Microbial Interactions“, *Plos One*, 2014, 9(6), H.K. Imhof et al.: „Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles“, *Current Biology*, 2013, 23(19), S. R867-R868, J. Gasperi et al.: „Assessment of floating plastic debris in surface water along the Seine River“, *Environmental Pollution*, 2014, 195, S. 163-166, A. Lechner et al.: „The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe’s second largest river“, *Environmental Pollution*, 2014, 188, S. 177-181, M. Wagner et al.: „Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know“, *Environmental Sciences Europe*, 2014, 26, C.J. Moore et al.: „Working Our Way Upstream: A Snapshot of Land-based Contributions of Plastic and other Trash to Coastal Waters and Beaches of Southern California“, *Algalita Marine Research and Education*, 2005, McGill University: „Microplastic pollution discovered in St. Lawrence River sediments“, *Marine pollution bulletin*, 2014, 88(1-2), S. 5-6, A. McCormick et al.: „Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river“, *Environmental Science and Technology*, 2014, 48(20), S. 11863-11871, D. Morrith et al.: „Plastic in the Thames: A river runs through it“, *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 78(1-2), S. 196-200, S. Rech et al.: „Rivers as a source of marine litter – A study from the SE Pacific“, *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 82(1-2), S. 66-75.
- ⁴² J. Gasperi et al.: „Assessment of floating plastic debris in surface water along the Seine River“, *Environmental Pollution*, 2014, 195, S. 163-166.
- ⁴³ A. Lechner et al.: „The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe’s second largest river“, *Environmental Pollution*, 2014, 188, S. 177-181.
- ⁴⁴ F. Faure et al.: „Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean sea“, *Archives des Sciences*, 2012, 65(1-2), S. 157-164.
- ⁴⁵ L.R. Stout et al.: „Microplastic load in Lake Washington and surrounding watershed“, *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, 2012.
- ⁴⁶ T. Hoellein et al.: „Anthropogenic Litter in Urban Freshwater Ecosystems: Distribution and Microbial Interactions“, *Plos One*, 2014, 9(6), A. Lechner et al.: „The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe’s second largest river“, *Environmental Pollution*, 2014, 188, S. 177-181.
- ⁴⁷ F. Faure et al.: „Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean sea“, *Archives des Sciences*, 2012, 65(1-2), S. 157-164, T. Hoellein et al.: „Anthropogenic Litter in Urban Freshwater Ecosystems: Distribution and Microbial Interactions“, *Plos One*, 2014, 9(6), A. Lechner et al.: „The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe’s second largest river“, *Environmental Pollution*, 2014, 188, S. 177-181.
- ⁴⁸ L.R. Stout et al.: „Microplastic load in Lake Washington and surrounding watershed“, *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, 2012.
- ⁴⁹ W. Sanchez et al.: „Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence“, *Environmental Research*, 2014, 128, S. 98-100.
- ⁵⁰ M. Eriksen et al.: „Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes“, *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 77(1-2), S. 177-182.

- ⁵¹ M. Zbyszewski et al.: „Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America“, *Journal of Great Lakes Research*, 2014, 40(2), S. 288-299.
- ⁵² C.M. Rochman et al.: „Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress“, *Scientific Reports*, 2013, 3, Artikel: 3263,
C.M. Rochman, et al.: „Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment“, *Science of the Total Environment*, 2014, 493, S. 656-661.
- ⁵³ M. Zbyszewski et al.: „Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America“ *Journal of Great Lakes Research*, 2014, 40(2), S. 288-299,
L.R. Stout et al.: „Microplastic load in Lake Washington and surrounding watershed“, *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, 2012,
K.L. Law et al.: „Microplastics in the seas“, *Science*, 2014, 345(6193), S. 144-145.
- ⁵⁴ T. Hoellein et al.: „Anthropogenic Litter in Urban Freshwater Ecosystems: Distribution and Microbial Interactions“, *Plos One*, 2014, 9(6),
A. Lechner et al.: „The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river“, *Environmental Pollution*, 2014, 188, S. 177-181,
W. Sanchez et al.: „Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence“, *Environmental Research*, 2014, 128, S. 98-100.
- ⁵⁵ T. Hoellein et al.: „Anthropogenic Litter in Urban Freshwater Ecosystems: Distribution and Microbial Interactions“, *Plos One*, 2014, 9(6),
A. Lechner et al.: „The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river“, *Environmental Pollution*, 2014, 188, S. 177-181,
W. Sanchez et al.: „Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence“, *Environmental Research*, 2014, 128, S. 98-100,
M. Wagner et al.: „Endocrine disruptors in bottled mineral water: Total estrogenic burden and migration from plastic bottles“, *Environmental Science and Pollution Research*, 2009, 16(3), S. 278-286.
- ⁵⁶ T. Hoellein et al.: „Anthropogenic Litter in Urban Freshwater Ecosystems: Distribution and Microbial Interactions“, *Plos One*, 2014, 9(6),
A. Lechner et al.: „The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river“, *Environmental Pollution*, 2014, 188, S. 177-181,
W. Sanchez et al.: „Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence“, *Environmental Research*, 2014, 128, S. 98-100,
C.M. Rochman et al.: „Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress“, *Scientific Reports*, 2013, 3, Artikel: 3263.
- ⁵⁷ Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf: „Umweltfolgen von Mikropartikeln: Ein Sachstandsbericht für den Umweltausschuss“, 2014.
- ⁵⁸ Staatskanzlei Rheinland-Pfalz, „Mikroplastik vermeiden“, 2014, <https://www.rlp.de>
- ⁵⁹ W. Sanchez et al.: „Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence“, *Environmental Research*, 2014, 128, S. 98-100.
- ⁶⁰ J.R. Jambeck et al.: „Plastic waste inputs from land into the ocean“, *Science* Vol. 347, Februar 2015.
- ⁶¹ OSPAR: „Regional Action Plan for Prevention and Management of Marine Litter in the North-East Atlantic“, 2014.
- ⁶² NABU-Broschüre: „Müllkippe Meer - Plastik und seine tödlichen Folgen“, 2012.
- ^{63,64} J.R. Jambeck et al.: „Plastic waste inputs from land into the ocean“, *Science* Vol. 347, Februar 2015,
Umweltbundesamt: „Aktueller Sachstandsbericht zu Mikroplastik“, 2014, S. 17.
- ⁶⁵ N. Guse et al.: „Studie für das BfN: OSPAR Fulmar Litter EcoQO - Masse von Plastikmüllteilen in Eissturmvogelmägen“, 2012.
- ⁶⁶ L. van Cauwenberghe et al.: „Microplastics in bivalves cultured for human consumption“, in: *Environmental Pollution* 193 (2014), p. 65-70, 2014.

