

Mikro-Kunststoffe: Grundlagen und Sachstand



Mikro-Kunststoffe: Grundlagen und Sachstand



HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 76231 Karlsruhe, Postfach 100163 www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Gerhard Ott Ulrich Wurster Dr. Jürgen Zipperle [Eine DHBW-Studienarbeit von Robin Sieb war Grundlage der vorliegenden Zusammenstellung]
REDAKTION	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Arbeitsgemeinschaft Nanomaterialien (ARGE Nano), Leitung Ulrich Wurster
BEZUG	Download unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de
STAND	Oktober 2015
BILDNACHWEIS TITELBILD	Nano-Zinkoxid (Quelle: BASF)

	ZUSAMMENFASSUNG	7
1	EINLEITUNG	8
2	DEFINITION MIKROPLASTIK	11
3	HERKUNFT VON MIKROPLASTIK	12
4	VERBREITUNG	14
5	RISIKEN UND WIRKUNGEN	17
6	VERFAHREN ZUR CHARAKTERISIERUNG UND MESSUNG	20
7	FAZIT	23
8	LITERATUR UND QUELLEN	25

Zusammenfassung

Kunststoffe – umgangssprachlich auch Plastik genannt – sind aufgrund ihrer vielseitigen Eigenschaften aus einer modernen Industriegesellschaft nicht mehr wegzudenken. Ihr Einsatz ist mit vielen Vorteilen verbunden und sie haben daher nahezu alle Lebensbereiche des Menschen erobert. Das Ausgangsmaterial für Kunststoffe ist in der Regel Rohöl.

Die weltweit stetig steigende Produktion und weitreichende Verwendung von Kunststoffen führt in Verbindung mit unzureichender Entsorgung und Persistenz zu einer globalen Akkumulation von Plastikmaterialien in der Umwelt. Insbesondere der Eintrag in Gewässer ist mit gravierenden Folgen für Mensch und Umwelt verbunden, Schätzungen zufolge treiben ca. 100 Mio. Tonnen Müll in den Weltmeeren. Etwa Dreiviertel davon bestehen aus Kunststoffen und jährlich kommen bis zu 6,4 Mio. Tonnen hinzu. Etwa 70 % der Abfälle sinken hinab auf den Meeresgrund, der Rest wird entweder an Strände gespült oder treibt im offenen Meer. Durchschnittlich 13.000 Plastikmüllpartikel treiben mittlerweile auf jedem Quadratkilometer Meeresoberfläche.

Neben den marinen Ökosystemen sind auch limnische Gewässer (Binnengewässer) zunehmend mit Plastik belastet. Außer dem Makroplastik ist auch die Anreicherung von Mikroplastik in Ökosystemen und Organismen problema-

tisch. Daher rücken die Funde von Mikroplastik in den Gewässern immer mehr in den Fokus des Umweltschutzes.

Bei Makroplastik handelt es sich meist um Plastikmüll, der durch Sonnenstrahlung und mechanische Einflüsse zerkleinert wird. Als Mikroplastik werden Kunststoffpartikel mit einem Durchmesser von weniger als 5 Millimeter bezeichnet. Einerseits fallen darunter Kunststoffpartikel, die in mikroskopischer Größe hergestellt werden (primäres Mikroplastik) und in Kosmetika und Reinigungsmitteln zum Einsatz kommen, andererseits entsteht sekundäres Mikroplastik in der Umwelt durch die Zersetzung von größeren Plastikteilen (Makroplastik). Mikrofasern werden ebenfalls zum sekundären Mikroplastik gezählt, diese werden überwiegend beim Waschen aus synthetischen Kleidungsstücken (z. B. Fleece-Kleidung) freigesetzt. Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass Mikroplastik in den üblichen Abwasserbehandlungsanlagen nicht vollständig zurückgehalten wird und so in die Oberflächengewässer gelangt.

Die vorliegende Zusammenstellung gibt einen Überblick über den derzeitigen Kenntnisstand zu Herkunft, Zusammensetzung und Auswirkungen von Kunststoff-Abfällen auf die Umwelt. Außerdem werden erste Ansätze zur reproduzierbaren Bestimmung und Identifizierung von Mikrokunststoffen dargestellt. Obwohl die Problematik der globalen Überfrachtung mit Kunststoff-Abfällen, insbesondere in Gewässern, inzwischen hinreichend bekannt ist, ist davon auszugehen, dass dem Problem „Mikro-Kunststoffe“ nur langfristig wirkungsvoll begegnet werden kann.



Abb. 1: Mikrokunststoffe aus Kosmetika, Fragmente aus Kunststoffabfällen, Mikrofasern aus Fleece-Kleidung [1]

1 Einleitung

Kunststoffe, umgangssprachlich als Plastik bezeichnet, werden in der Regel aus Rohöl hergestellt. Sie bieten aufgrund ihrer Flexibilität und Langlebigkeit vielfältige Einsatzmöglichkeiten und sind Bestandteil zahlloser Produkte des Alltags.

Weltweit werden etwa 300 Millionen Tonnen Kunststoff pro Jahr produziert, ihre weite Verbreitung und Persistenz in Kombination mit unkontrollierten Abfallströmen machen die synthetischen Materialien jedoch zu einem gravierenden ökologischen Problem. Fleecepullover, Wurstverpackung, Plastiktüte, Peeling mit Polyethylenkügelchen, ohne Kunststoff kommt heute kaum ein Mensch durch den Alltag. Ein zunehmender Anteil der Kunststoffe gelangt zwar zum Recycling, aber weltweit landet immer noch sehr viel Plastik in den Flüssen, Seen und Meeren. Laut einer Studie des Umweltbundesamtes ist davon auszugehen, dass bis zu 10 % der jährlichen Produktion in den Weltmeeren landen, in Europa allein zwischen 3,4 und 5,7 Millionen Tonnen pro Jahr [44].

China entsorgt jedes Jahr 1,3 bis 3,5 Millionen Tonnen Kunststoff im Pazifik, gefolgt von Indonesien, Philippinen und Sri Lanka. In diesen Ländern wird der Müll direkt ins Meer gekippt oder auf Deponien gelagert, von wo der Wind die Plastiktüten, Plastikfolien und Plastikfetzen in die Flüsse und das Meer weht. Eine andere Eintragsquelle von Plastik in die Meere ist die Schifffahrt. Für Schiffsbesatzungen ist es billiger ihren Müll ins Meer zu werfen als ihn



Abb. 2: „Modernes Strandgut“ (mit erheblichen Plastikanteilen) [3]

an Land zu entsorgen. Der größte Teil des Mülls, der an den Stränden der Nordsee gefunden wird, stammt vermutlich von Schiffen [2].

Große und kleine Plastikteile belasten die Umwelt. Kunststoffe tragen durchschnittlich 75 % zur Gesamtmenge der an Europas Stränden festgestellten Müllfunde bei. Die „Vermüllung“ der Meere stellt inzwischen eine Gefährdung für Meeressäuger, Seevögel, Fische und Schildkröten dar, welche Plastikteile verschlucken oder sich darin ver-



Abb. 3: Im Wasser treibender Plastikmüll unterschiedlicher Größe [7]

heddern können und verenden. Weltweit treiben in den fünf großen Strömungswirbeln der Ozeane riesige Plastikmengen (Nordpazifikwirbel = „Great Pacific Garbage Patch“). Dennoch steht insbesondere Mikroplastik in der aquatischen Umwelt noch nicht allzu lange im Fokus des Umweltschutzes. Der steigende Plastikkonsum auf der Welt wird dieses Umweltproblem noch verschärfen.

Die Abfallmengen in den Meeren werden derzeit auf 100 Mio. Tonnen geschätzt. Allein in der Nordsee sollen sich etwa 600 000 Kubikmeter Abfälle befinden. Etwa Dreiviertel davon bestehen aus Kunststoffen und jährlich kommen weltweit bis zu 6,4 Mio. Tonnen hinzu. Etwa 70 % der Abfälle sinken zu Boden, der Rest wird entweder an Strände gespült oder treibt im Meer. Durchschnittlich 13.000 Plastikmüllpartikel treiben mittlerweile auf jedem Quadratmeter Meeresoberfläche [4].

Umhertreibendes Plastik versprödet durch die UV-Strahlung der Sonne und zerfällt in kleinere Teile. Kunststofffasern aus modernen Textilien, Plastikkügelchen aus Kosmetika bzw. Scheuermitteln gelangen über das Abwasser in Gewässer und tragen somit zur Verbreitung von Plastik in der Umwelt bei [5, 6]. Dieses „Mikroplastik“ (Größe bis zu 5 mm) kann über die Nahrungskette letztendlich auf unseren Tellern landen.

Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass Mikroplastik durch die Abwasserbehandlung nicht vollständig zurückgehalten wird und so in Gewässer gelangt. Mikroplastik wurde neben den bekannten Fundorten wie Meeren und Ozeanen auch in Oberflächengewässern nachgewiesen. Im Jahr 2013 wurde ausführlich über Vorkommen von Mikroplastik in Binnengewässern (Abb. 4) wie Spree, Havel, Elbe, Weser sowie im Gardasee und in der Donau berichtet [8, 9, 10].

Im Jahr 2014 berichteten die Medien über Mikroplastik in Bier, Mineralwasser und Honig. Doch die hierfür angewendeten Nachweismethoden sind in der Fachwelt umstritten und wissenschaftlich nicht bestätigt. Eine Kontamination aus der Umgebungsluft konnte nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Theoretisch können auch menschliche Zellen Mikroplastik aufnehmen und ins Gewebe einlagern. Da Kunststoffe üblicherweise chemische Additive enthalten und sie zudem Schadstoffe aus ihrer Umgebung aufnehmen können, ist

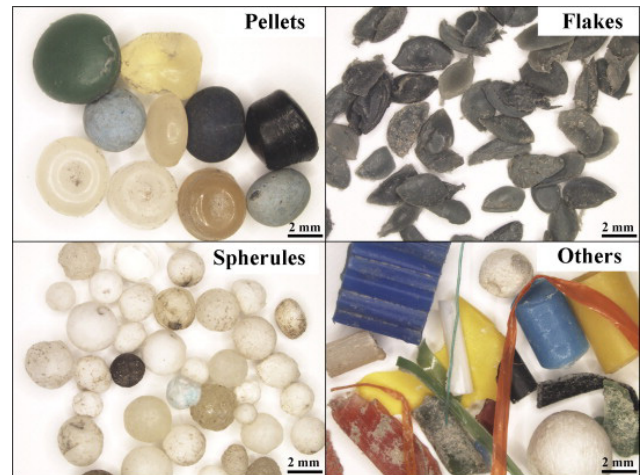


Abb. 4: Verschiedenartige Plastik-Teilchen aus der Donau [10]

nicht auszuschließen, dass manche Plastikpartikel im Organismus gesundheitsschädliche oder hormonelle Wirkungen entfalten. Möglicherweise bildet sich auch ein Biofilm um die Partikel, auf dem sich Krankheitserreger wie Bakterien und Viren ansiedeln (Abb. 5). Für belastbare Aussagen hierzu fehlen noch die Daten, ebenso für eine mögliche Belastung aus der Luft [5].

Aufgrund ihrer meist sehr langen Verweildauer in der Umwelt ist eine deutliche Akkumulation von Kunststoffteilchen in sämtlichen Umweltmedien feststellbar. Insgesamt ist jedoch wegen der noch wenigen Studien sowie nicht standardisierten Untersuchungsmethoden die Informationslage mangelhaft, so dass eine verlässliche Bewertung der aktuellen Situation nur unzureichend möglich ist.

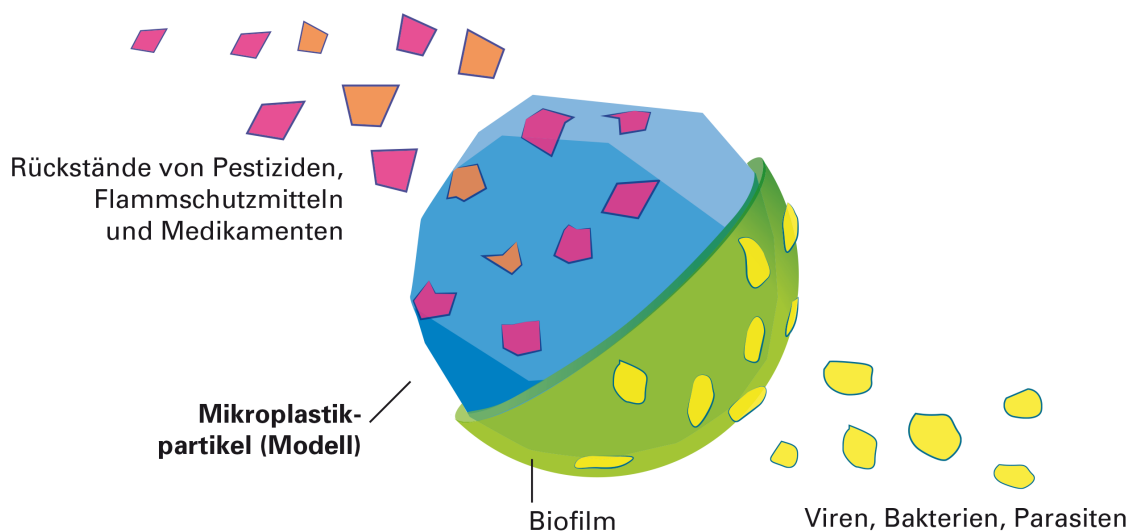
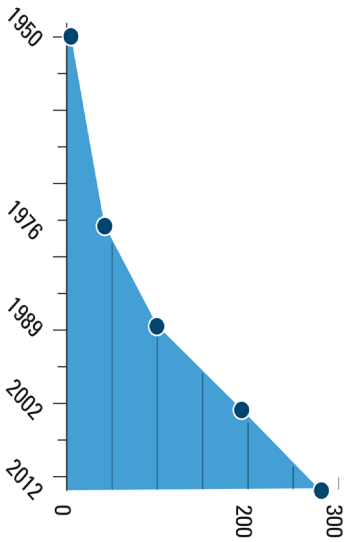
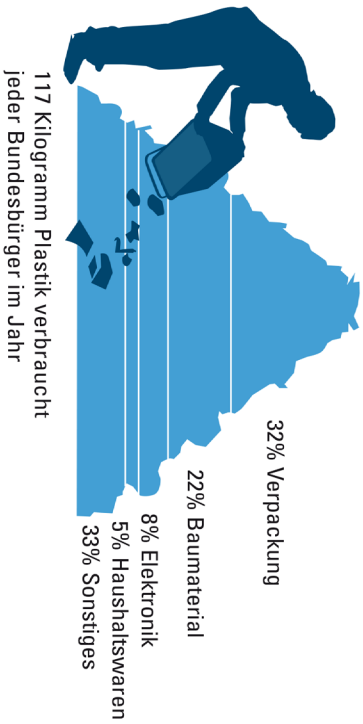


Abb. 5: Mögliche Anlagerung von Schadstoffen und Mikroorganismen an Mikroplastik © Stiftung Warentest / E. Tuckow [30]

So viel Kunststoff wird weltweit produziert (in Millionen Tonnen)



Dafür brauchen die Bundesbürger Kunststoff



Solange verrotten Gegenstände in der Natur

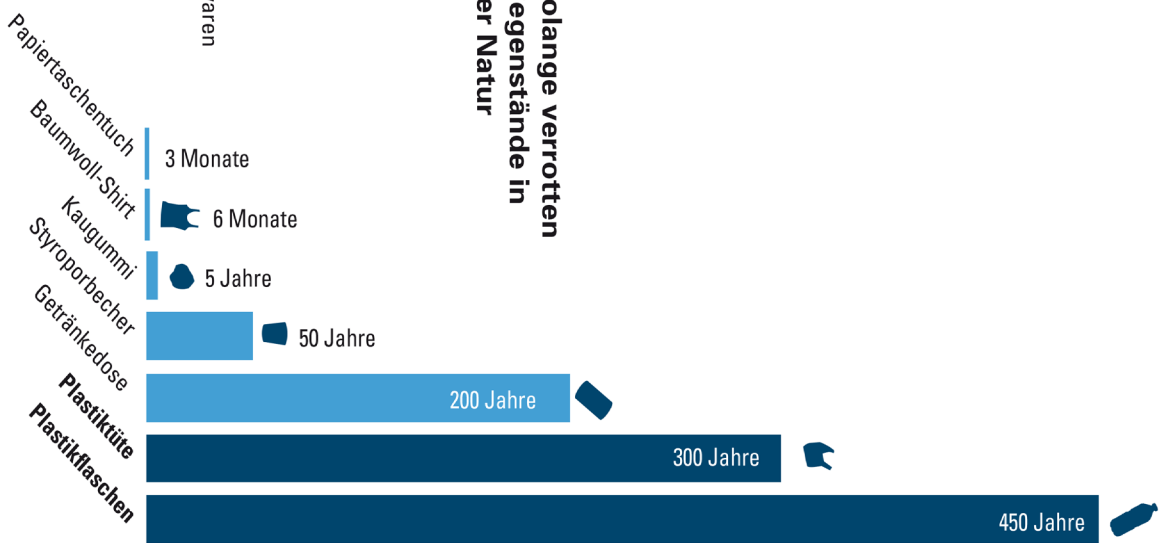


Abb. 6: Zahlen und Fakten © Stiftung Warentest / E. Tuckow [30]

2 Definition Mikroplastik

Nach der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) sind Plastikteile oder -fasern, die kleiner als 5 mm sind, als Mikroplastik zu bezeichnen [12]. Darüber hinaus wurde von der „Technical Subgroup Marine Litter“ eine weitergehende Definition zur europaweiten Standardisierung vorgeschlagen [13]:

- Plastik-Partikel > 25 mm: Makroplastik
- Plastik-Partikel 5-25 mm: Mesoplastik
- Plastik-Partikel 1-5 mm: Large Microplastic-Particle (L-MPP)
- Plastik-Partikel < 1 mm: Small Microplastic Particle (S-MPP)

Weiterhin wird zwischen Mikroplastik erster und zweiter Ordnung bzw. „primärem“ und „sekundärem“ Mikroplastik unterschieden [12].

Primäres Mikroplastik (Microbeads) wird schon als solches gezielt für den jeweiligen Zweck (z. B.: Peeling in Kosmetika, Plastikgranulat bzw. industrielles Nutzplastik) hergestellt.

Sekundäres Mikroplastik entsteht durch den Zerfall bzw. die Zerkleinerung größerer Plastikteile in der Umwelt, im Wesentlichen durch mechanische Einwirkung, UV-Strahlung und Salzwasser. Mikrofasern werden ebenfalls zum sekundären Mikroplastik gezählt. Sie werden überwiegend beim Waschen aus synthetischen Kleidungsstücken (z. B. Fleece-Kleidung) freigesetzt.

Es ist nicht auszuschließen, dass im Rahmen der Kunststoffherstellung/Verarbeitung oder durch weitere Zerkleinerung von Mikroplastik auch nanoskalige Partikel (kleiner als $0,1 \mu\text{m}$ bzw. 100 nm) entstehen und freigesetzt werden. Auf Basis der oben angeführten Definitionsvorschläge sind nanoskalige Plastikpartikel zur Gruppe der S-MPP („Kleine Mikroplastikpartikel“) zugehörig und damit eine Teilmenge der Mikrokunststoffe (Mikroplastik). Sie werden nachfolgend nicht näher beschrieben, da hierzu insgesamt noch weniger Informationen vorliegen als zu Plastikpartikeln im μm -Bereich.



Abb. 7: Plastikpellets, Mikrofasern und Mikroplastik eines Peelings [13]

3 Herkunft von Mikroplastik

Primäres Mikroplastik

Eine Hauptquelle für primäres Mikroplastik ist die Kosmetikindustrie. Laut einer Studie für das Umweltbundesamtes (UBA) werden pro Jahr bundesweit etwa 500 Tonnen Mikroplastik, sog. „Microbeads“, in Kosmetika eingesetzt. Nach der Anwendung gelangt das in den Produkten enthaltene Mikroplastik in das Haushaltsabwasser. Weiterhin können Plastikgranulate für die Plastikherstellung durch Verschütten / Transport in das Abwasser der Produktionsanlagen gelangen.

Neben Polyetylen-Mikrobeads in Kosmetikartikeln gibt es weitere, weniger bekannte Anwendungsgebiete für primäres Mikroplastik. Für Wasch- und Reinigungsmittel sowie Strahlmittel in Deutschland liegt das geschätzte Aufkommen bei jeweils weniger als 100 Tonnen pro Jahr, bei Kunststoffwachsen dagegen bei ca. 100.000 Tonnen pro Jahr. Hierbei handelt es sich um wachsartige Dispersionen von Kunststoffpartikeln, die als Trennmittel und zur Oberflächenbeschichtung verwendet werden [44].

Da ein Großteil des Mikroplastiks im Abwasser von den üblichen Kläranlagen nicht wirkungsvoll zurückgehalten wird, gelangen diese auch in die Oberflächengewässer [14].

Sekundäres Mikroplastik

Ausgangspunkt für die Entstehung von sekundärem Mikroplastik in der Umwelt sind größere Plastikteile. Dieses sog. „Makroplastik“ (Kunststoffteile größer 25 mm) kann durch Sonnenstrahlung, aber auch durch mechanische Einflüsse, fragmentiert werden. Diesen Einflüssen kann das Makroplastik z. B. an Land, an Küsten oder auf dem offenen Meer ausgesetzt sein. Durch Kollisionen und Reibung von Plastik an anderem Treibgut können sich Teile des Plastiks (auch Mikroplastik) lösen. Ständiger Wellengang verstärkt die Reibung zwischen Plastik, Treibgut und Küstenhindernissen. Durch die unterschiedliche Ausprägung dieser Einflüsse in verschiedenen Gebieten ergeben sich Unterschiede bei der Verwitterung des dort vorkommenden Plastikmülls. So ist Plastik an vielen Stränden, vor allem im Sommer relativ hohen Temperaturen von etwa

40° C ausgesetzt. Durch die Sonneneinstrahlung wird sowohl der Strand als auch das Plastik aufgeheizt, wobei sich dunkleres Plastik aufgrund der Wärmeabsorption noch stärker aufwärmen kann. Plastik zersetzt sich unter Einwirkung der Sonnenstrahlen oxidativ, dieser Prozess wird durch höhere Temperaturen begünstigt. Durch die Einwirkung von UV-Strahlung wird die obere Schicht des Plastiks matt und spröde und weist viele Mikrorisse auf. Dadurch ist die Oberfläche anfälliger für äußere Belastungen, wie z. B. Feuchtigkeit, Temperaturschwankungen oder Reibung (z. B. an Sand/Kieselsteinen), wodurch Bruchstücke bzw. Mikroplastik leichter entstehen. Diese Art der Zersetzung findet bei schwimmendem Plastikmüll nur in geringfügigem Umfang statt, da das Wasser die Plastikteile kühlt, die UV-Strahlung vom Wasser stark abgeschwächt wird und auch weniger Sauerstoff für die oxidative Zersetzung zur Verfügung steht. Das gleiche gilt auch für abgesunkenen Plastikmüll. Es wird daher angenommen, dass Strände der wahrscheinlichste Entstehungsort für den Großteil an sekundärem Mikroplastik sind [14].

Auch Mikrofasern zählen zu den Quellen von sekundärem Mikroplastik. Ausgangspunkt für deren Freisetzung ist moderne Kunstfaser-Kleidung, die beim Waschen Kunstfasern in das Waschwasser abgeben kann. Bei einem Waschlösung lösen sich mindestens 100 Fasern pro Liter Abwasser und da viele Kleidungsstücke teilweise oder ganz aus Kunststoff-Fasern bestehen, gelangen auf diese Weise auch Mikrofasern in das Abwasser [15]. Die Gesamtmenge an jährlich in Deutschland freigesetzten Fasern wird auf 80-400 Tonnen geschätzt [44].

Weitere Quellen für sekundäre Mikroartikel aus Kunststoff sind u. a. Reifenabrieb aus dem Straßenverkehr (60.000-111.000 t/a) und der Verlust von Rohpellets für die weitere Verarbeitung zu Kunststoffzeugnissen während Produktion und Transport (21.000-210.000 t/a) [44].

Plastik kann theoretisch von Mikroorganismen abgebaut werden und als Nahrungsquelle dienen; dieser Vorgang wird auch als Biodegradation bezeichnet. Um einen Stoff

abbauen zu können, müssen sich die Organismen zuerst auf diesem anlagern können. Das Ausmaß der Biodegradation ist hauptsächlich von der Art der vorhandenen Organismen und den Polymereigenschaften abhängig:

- Hydrophobizität
- Polymergröße, molekulares Gewicht und Dichte
- Amorphe oder kristalline Strukturen
- strukturelle Komplexität, wie z. B. Verzweigungen
- Vorhandensein leicht zu brechender Bindungen
- Molekulare Zusammensetzung
- Physikalische Form (z. B. Fragment, Pulver, Faser)

Synthetische Polymere können in der Umwelt i. d. R. nur schwer mikrobiologisch abgebaut werden, da sie meistens lange, lineare Grundkettenstrukturen, ein hohes Moleku-

largewicht sowie eine hohe Packungsdichte besitzen. Darüber hinaus enthalten diese oftmals Antioxidantien bzw. Stabilisatoren, so dass der mikrobielle Abbau zu sekundärem Mikroplastik nur einen eher geringen Anteil darstellt. Insgesamt ist der Zerfall von Plastik in der Umwelt überwiegend auf das Zusammenwirken verschiedener physikalisch-chemischer Faktoren (Reibung, UV-Licht, Luftoxidation u. a.) zurückzuführen und dürfte bei unterschiedlichen Kunststoffarten verschieden stark ausgeprägt sein.

Die Entstehung von sekundärem Mikroplastik aus größeren Kunststoffteilen in der Umwelt kann nicht verhindert werden. Um die Menge des entstehenden sekundären Mikroplastiks zu verringern, müssen generell die Emission von Plastik in die Umwelt verringert und Strand-Reinigungsmaßnahmen konsequent durchgeführt werden.

4 Verbreitung

Eine Vielzahl von Quellen und Prozessen kann Ausgangspunkt zur Freisetzung oder Bildung von Mikroplastik sein. Verschiedene Untersuchungen haben Mikroplastik in allen Weltmeeren bis hin zur arktischen Tiefsee, aber auch in Binnengewässern (Große Seen von Nordamerika, Alpenseen, Genfer See, Gardasee u. a.) sowie in Strandsedimenten (Meeres- und Binnenstrände) nachgewiesen [14, 15, 16, 17]. In der Nähe dicht besiedelter Gebiete wurden höhere Konzentrationen von Mikroplastik beobachtet, was auf eine Korrelation der Mikroplastikkonzentration zur Besiedlungsdichte schließen lässt [15]. Darüber hinaus ist die Konzentration von Mikroplastik an Küsten wahrscheinlich auch von der lokalen Industrie abhängig. Darauf weisen erhöhte Konzentrationen hin, die in der Nähe von plastikproduzierenden Unternehmen und Häfen beobachtet wurden [18, 19].

Die Dichte ist ein wichtiger Faktor in Bezug auf die Verbreitung von Plastik in Gewässern, da von ihr im Wesentlichen die Schwimmfähigkeit des Plastiks abhängt. An der Wasseroberfläche bzw. in oberen Wasserschichten sollten daher eher Mikroplastikpartikel geringer Dichte, wie z. B. Polyethylen (Dichte $0,91-0,94 \text{ g/cm}^3$) und im Sediment sowie den unteren Wasserschichten eher Mikroplastikpartikel höherer Dichte wie z. B. Polyvinylchlorid (Dichte $1,20-1,40 \text{ g/cm}^3$) zu finden sein. Außer der Dichte des Materials kann auch die Besiedlung der Oberfläche des Mikro-

plastiks durch Mikroorganismen die Schwimmfähigkeit beeinflussen. Der von den Mikroorganismen gebildete Biofilm macht das Plastikteilchen insgesamt schwerer, wodurch es in tiefere Wasserschichten absinkt. Der Biofilm kann aber von anderen Organismen wieder abgebaut werden, wodurch das Plastikteilchen wieder in höhere Wasserschichten aufsteigt. Auf diese Weise entsteht ein Kreislauf von mikrobieller Besiedelung, Absinken, Abbau des Biofilms und Aufsteigen (Abb. 8). Somit können Mikroplastikpartikel prinzipiell in allen Wasserschichten vorkommen [19].

Schwimmfähige Mikroplastikpartikel werden von der Gewässerströmung mitgenommen. Auf diese Weise gelangt Mikroplastik über die Flüsse schließlich ins Meer. Hier verteilen Meeresströmungen das Mikroplastik weiter. In bestimmten Meeresgebieten, wie z. B. dem sogenannten Great Pacific Garbage Patch, kann es sich auch anhäufen [20]. Für diese Art der Akkumulation sind die fünf großen Strömungswirbel in den Weltmeeren verantwortlich (Abb. 9), in denen treibendes Plastik und Mikroplastik aufgrund der kreisenden Strömung zu großen Teilen gefangen bleibt und sich dadurch immer mehr treibender Müll in diesen Wirbeln sammelt [21].

Wind kann ebenso wie Strömung einen wesentlichen Einfluss auf die Verteilung von Mikroplastik in Gewässern haben. Dies kann z. B. am Gardasee deutlich beobachtet wer-

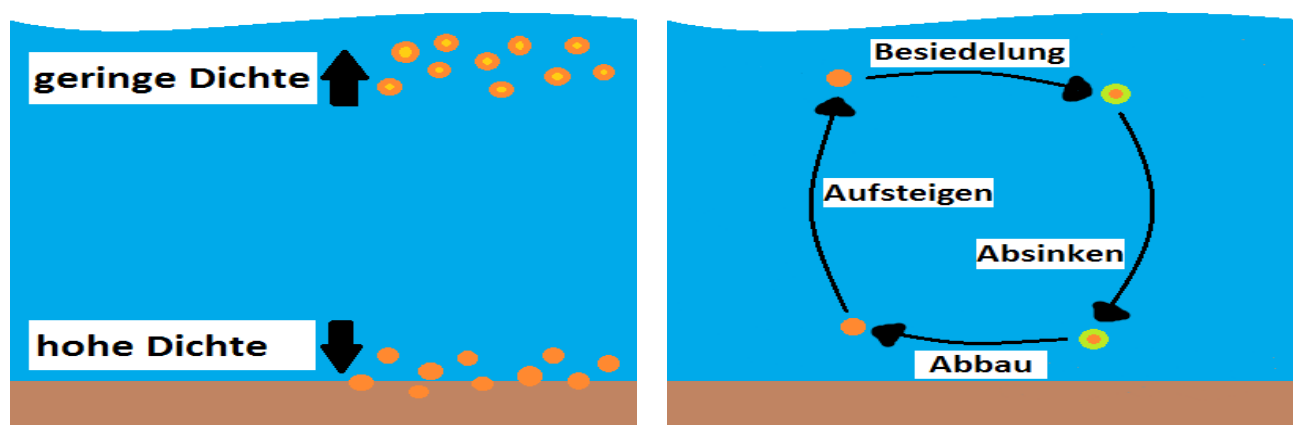


Abb. 8: Beeinflussung der Schwimmfähigkeiten von Mikroplastik durch Besiedelung mit Mikroorganismen

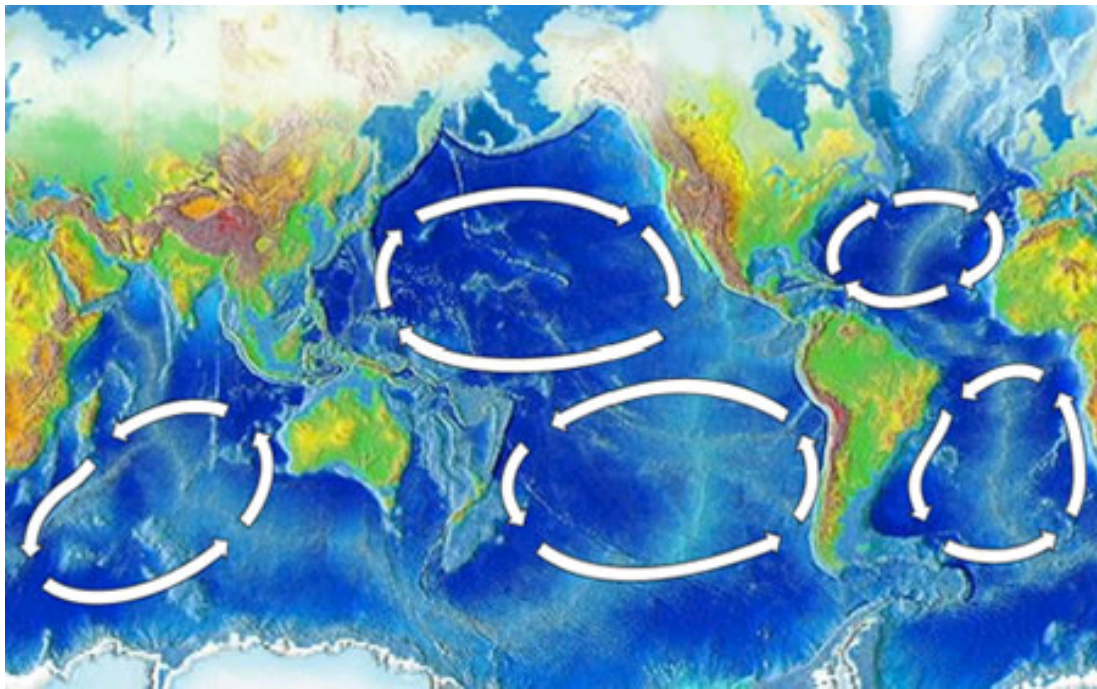


Abb. 9: Die fünf großen Strömungswirbel in den Weltmeeren [20]

den. Am Gardasee wurden sowohl an den Stränden der Nordseite als auch an den Stränden der Südseite Sedimentproben untersucht. Die Strandsedimente wiesen an der Nordseite eine etwa zehnmal größere Konzentration an Mikroplastik (1108 ± 983 Partikel/m²) auf als an der Südseite des Gardasees (108 ± 55 Partikel/m²) auf. Die Anzahl an Mikroplastikpartikeln bewegte sich in etwa demselben Bereich wie an Meeresstränden. Die gefundenen Mikroplastikpartikel waren hauptsächlich Fragmente größerer Teile, also sekundäres Mikroplastik, und bestanden zum größten Teil aus Polymeren geringer Dichte. Die Fragmente hatten sehr ähnliche Zerfallsspuren wie Partikel, die in marinen Umgebungen gefunden wurden. Dieses Phänomen wurde

auf den relativ starken Südwind „Ora“ am Gardasee zurückgeführt, der eine starke Oberflächenzirkulation und eine rotierende Strömung am Nordende des Sees verursacht [22]. Eine ähnliche Beobachtung wurde auch an den Großen Seen in den USA gemacht [23].

Im Rahmen des von der Tokyo University of Agriculture and Technology (Prof. Hideshige Takada) initiierten Beobachtungsprogramms „International Pellet Watch“ werden Mikroplastikteile von Freiwilligen an Stränden auf der ganzen Welt gesammelt und zentral in Tokyo unter die Lupe genommen. Dort werden die Partikel auf langlebige organische Schadstoffe (Persistent Organic Pollutants, POP)



Abb. 10: Mikroplastik-Anteile an Stränden – weltweit [Partikelanzahl pro 250 ml Sediment [15]

	Mean microplastics		References
	particles/m ³	mg/m ³	
USA north east (coastal waters)	0.01–2.6		Carpenter et al. (1972)
North Pacific Gyre study	2.23	34	Moore et al. (2001)
San Gabriel River Study // Southern California's coastal waters	7.25	2	Moore et al. (2002)
Southern California – Santa Monica Bay	3.92	3	Lattin et al. (2004)
North Pacific offshore, surface	0.43–2.23		Moore et al. (2005)
North Pacific, inshore, surface	5.0–7.25		Moore et al. (2005)
North Pacific, offshore, subsurface	0.017	–	Moore et al. (2005)
Northeast Pacific ocean	0.004–0.19	0.024–0.202	Doyle et al. (2011)
Atlantic	<0.1	–	Doyle et al. (2011)
North Pacific Central Gyre	0.334	5 11	Moore et al. (2001)
Atlantic	0.020	–	Law et al. (2010)
Caraibes	0.001	–	Law et al. (2010)
Golf of Maine	0.001	–	Law et al. (2010)
San Gabriel River	0.002	–	Moore et al. (2002)
NW Mediterranean	0.116	0.202	This study

Mittlere Mikroplastikkonzentrationen in Strandsedimenten – weltweit [25]

untersucht. Das Beobachtungsprogramm belegt, dass Mikroplastik inzwischen eine globale Verbreitung erfahren hat [24, 25]. Der Nachweis von Mikroplastik in Binnengewässern steht noch am Anfang. Erst in jüngerer Vergangenheit wurden erste Untersuchungen in Seen und Seesystemen durchgeführt (Gardasee, Genfer See, Große Seen in den USA) [17, 22, 23]. Auch am Bodensee wurde mit Untersuchungen zum Vorkommen von Mikroplastik begonnen [26].

Die bisher vorliegenden Erkenntnisse über die Belastung von Binnengewässern waren auch Anlass für die LUBW, im Auftrag des Umweltministeriums in Baden-Württemberg Mikroplastikuntersuchungen in Rhein, Neckar und Bodensee durchzuführen. Ergebnisse orientierender Untersuchungen sollen bis Herbst 2015 vorliegen.

Das Schweizer Umweltministerium führt für alle größeren Seen und Flüsse der Schweiz entsprechende Untersuchungen durch. Flüsse und Seen werden als eine mögliche Hauptquelle für Mikroplastik in marinen Gewässern gesehen, denn nur etwa 20 % des ozeanischen Mikroplastiks werden direkt in das Meer eingebracht, wohingegen davon ausgegangen wird, dass die restlichen 80 % vom Festland stammen (Mülldeponien, Abwasser, Flüsse) [17].

Bei der Trinkwasserentnahme aus Binnengewässern (der Bodensee ist beispielsweise ein bedeutendes Trinkwasser-

Reservoir) ist es denkbar, dass Mikroplastik auch ins Trinkwasser gelangt. Um die Qualität des Trinkwassers zu sichern, wird das Rohwasser durch Mikrofiltration (Porengröße ca. 0,075-3,0 µm) aufbereitet, so dass lediglich sehr kleine Mikroplastikpartikel ins Trinkwasser gelangen können [27, 28]. Vorliegende Untersuchungsergebnisse zu Mikroplastikpartikeln in Trinkwässern sind aber umstritten, weitergehende Untersuchungen sind hierzu erforderlich.

Mikroplastik wird mit der derzeitigen Kläranlagen-Technologie bei der Abwasserreinigung nicht vollständig zurückgehalten. Eine Untersuchung des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI) ergab, dass in geklärten Abwässern noch bis zu 714 Mikroplastikpartikel pro Kubikmeter enthalten sein können. Im Klärschlamm sind es zwischen 1000 und 24.000 Plastikteilchen je kg Trockensubstanz. Wird der Klärschlamm zur Düngung auf die Felder ausgebracht, gelangen auch die Plastikpartikel auf die Felder. Von dort könnten sie bei trockener Witterung durch Aufwirbelung über die Luft weiter in der Umwelt verbreitet werden. Hierin wird eine Erklärung dafür gesehen, dass Mikroplastikpartikel selbst in Honig nachgewiesen wurden [29].

Allerdings kann nachzeitigem Kenntnisstand festgehalten werden, dass Mikroplastikpartikel überwiegend in Gewässern (Meere, Seen, Flüsse) und Gewässersedimenten (Strand- und Grundsedimente) anzutreffen sind.

5 Risiken und Wirkungen

Der Einfluss von Mikroplastik auf die Umwelt und auf den Menschen wird langfristig von immer größerer Bedeutung sein. Insbesondere die aquatischen Lebensräume werden zunehmend belastet. Dort können sie von Gewässerorganismen aufgenommen und auf diese Weise über die Nahrungskette weiter verbreitet werden. Letztendlich kann auch eine Aufnahme von Mikroplastik durch den Menschen nicht ausgeschlossen werden [1].

Das Risikopotenzial von Plastikmaterialien basiert darauf, dass diese:

- Additive enthalten, wie z. B. Nonylphenole, Bisphenol A, Phthalate, bromierte Flammschutzmittel, die bei der Plastikproduktion zur Erzeugung von bestimmten Eigenschaften zugegeben wurden und die wieder an die Umwelt abgegeben werden. Je nach Stoffeigenschaft können diese Additive toxisch, hormonell wirksam, karzinogen, persistent oder bioakkumulativ sein.
- gefährliche Stoffe wie z. B. Polychlorierte Biphenyle (PCB), Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und Lindan (HCH) aus ihrer Umgebung akkumulieren und diese unter geänderten Milieubedingungen wieder an die Umwelt abgeben.
- von Mikroorganismen besiedelt werden (Biofilme) und somit als Vektor für pathogene Keime dienen.
- Organismen z. B. durch innere Verletzungen, Blockaden des Verdauungstrakts, Blockaden von Gliedmaßen, Übergang in Kreislaufsysteme mechanisch schädigen.

Von 663 Arten ist bekannt, dass sie durch Kunststoffabfälle negativ beeinflusst werden. Mehr als die Hälfte dieser Arten verfängt sich darin oder nimmt sie auf [44].

Verschiedene Arten von Zooplankton können unter Laborbedingungen auch Mikroplastik (hier: Polystyrol mit Durchmessern von 1,4 µm bis 30,6 µm) aufnehmen. Dabei gibt es Unterschiede zwischen den verschiedenen Spezies, ihren Entwicklungsstadien und der Größe des aufgenommenen Mikroplastiks. So nehmen filtrierende Plankton-

arten wahllos Mikroplastikpartikel durch den jeweiligen Filtermechanismus auf und scheiden diese auch wieder über Fäkalien aus; allerdings wurden auch Anhäufungen von Mikroplastikpartikeln im Verdauungstrakt beobachtet. Darüber hinaus haftet sich Mikroplastik oftmals von außen an Zooplankton an, wobei es sich an den Extremitäten konzentriert. Um tote Planktonorganismen bildet sich eine Schicht aus Mikroplastik. Wahrscheinlich geschieht dies durch die statischen Anziehungen zwischen dem Plastik und dem organischen Plankton [25].

In einer anderen Laborstudie zur Aufnahme von Mikroplastikpartikeln aus Polystyrol durch Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) wurde gezeigt, dass sich diese in der Verdauungshöhle der Muscheln ansammeln. Innerhalb von 3 Tagen gelangten die Mikroplastikpartikel vom Darm in das Kreislaufsystem der Muscheln und verblieben dort über 48 Tage. Die lange Verweildauer in der Muschel legt den Schluss nahe, dass das Mikroplastik von der Muschel in die Nahrungskette übergeht. In erster Linie dürften filtrierende marine Lebensformen durch die Aufnahme von Mikroplastik betroffen sein [31]. In wieweit sich diese Befunde aus dem Labor auf die Umwelt übertragen lassen ist allerdings noch offen.

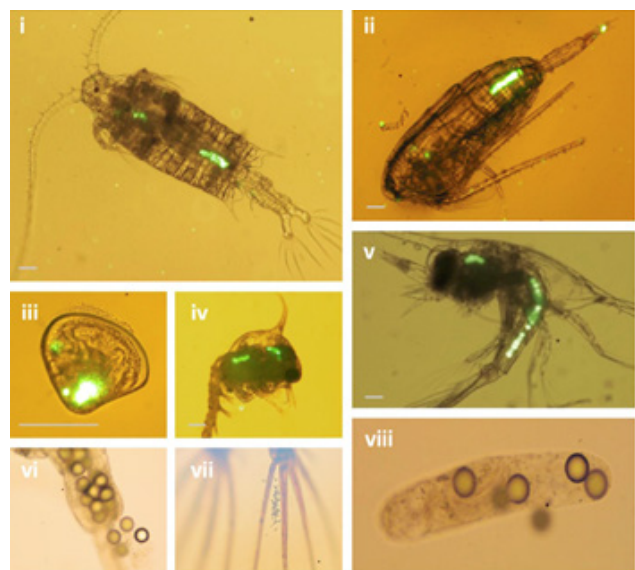


Abb. 11: Durch Fluoreszenzmikroskopie sichtbares Mikroplastik in / an verschiedenen Arten von Zooplankton [30]

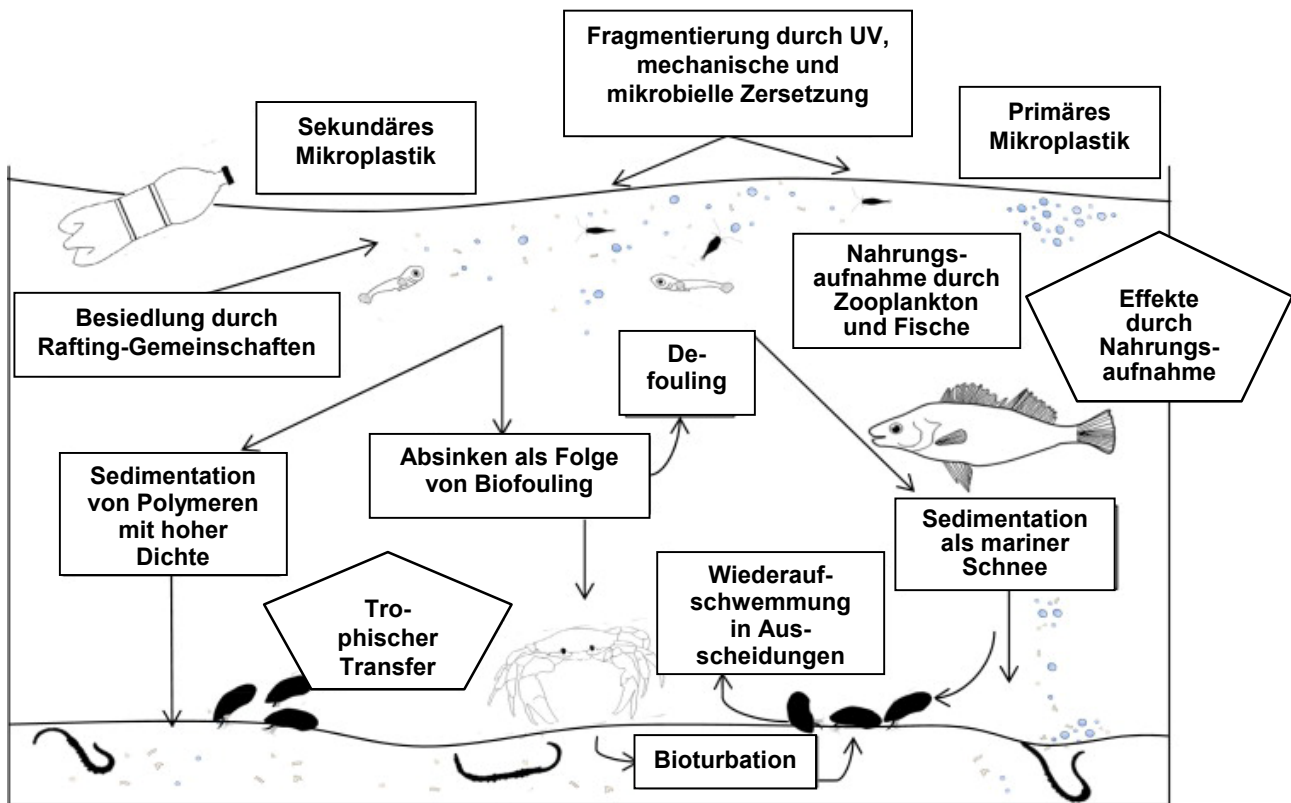


Abb. 12: Mikroplastik in der aquatischen Umwelt – schematische Darstellung nach [19]

Mikroplastik kann auch von Lebewesen am Gewässergrund, wie z. B. Wattwürmern, aufgenommen werden. Wattwürmer sind darüber hinaus Bioturbatoren, d. h. sie durchwühlen und durchmischen Sedimente, wodurch Mikroplastik auf dem Gewässergrund in das Sediment eingemischt werden kann. Andere ebenfalls am Gewässergrund lebende Tiere können Mikroplastik in ihren Körper aufnehmen, hier sind Seegurken, Seesterne, Seeigel und Schlangensterne als Beispiele zu nennen. In Fischen und in den Fäkalien von Seelöwen wurde bereits Mikroplastik gefunden, was für eine Weitergabe der Partikel innerhalb der Nahrungskette des Meeres spricht [19].

Mikroplastik im Gewässer ist für manche Organismen ein treibender Lebensraum. Die Besiedelung von Mikroplastik mit Mikroalgen wurde bereits festgestellt, ebenso die Eiablage auf Mikroplastikpartikeln durch einen Meerwasserläufer (*Halobates sericeus*). Mikroplastik wird hier sogar als wichtiges Substrat für die Eiablage genannt. Als Folge könnte sich die Population der Wasserläufer aufgrund dieser neuen Möglichkeit der Eiablage vergrößern. Allgemein betrachtet könnte das Mikroplastik bestimmten Organismenarten als Vehikel dienen, um in andere Lebensräume zu gelangen, was zur Beeinflussung des dortigen Ökosystems führen kann [19].

Plastik wird häufig mit verschiedenen Zusätzen (Additiven) versehen, um es mit bestimmten Eigenschaften zu versehen. Einige dieser Additive (z. B. Phthalate, Nonylphenol, Bisphenol A, bromierte Flammschutzmittel) haben für die Umwelt nachteilige Wirkungen. Diese Stoffe können sich mit der Zeit wieder aus dem Plastik lösen und gelangen so in die Umwelt [32].

Phthalate werden als Weichmacher in Polyvinylchlorid (PVC) verwendet. Einige Vertreter dieser Stoffe stehen im Verdacht hormonartige Wirkungen zu haben. Sie sind u. a. fortpflanzungs- und umweltgefährdend. Verschiedene Phthalate sind bioakkumulativ und teilweise persistent. Phthalate sind nur schlecht wasserlöslich (hydrophob) und können sich deshalb an der Wasseroberfläche bzw. in den Gewässersedimenten ansammeln.

Nonylphenol ist ein Abbauprodukt von Nonylphenoethoxylaten, welche als Antioxidationsmittel zum Schutz von Plastikmaterialien verwendet werden. Nonylphenol ist für Säugetiere giftig und für im Wasser lebende Tiere sogar sehr giftig, wirkt vermutlich hormonartig und kann über Monate in der Umwelt bestehen.

Bisphenol A (BPA) wird in Polycarbonaten und Epoxidharzen und in der inneren Beschichtung von Konservendosen verwendet. BPA zeigt hormonelle Wirkungen und bewirkt beim Menschen eine Verstärkung weiblicher Sexualhormone bzw. eine Hemmung von männlichen Sexualhormonen sowie Schilddrüsenhormonen. Der Stoff hat lediglich ein geringes Potenzial zur Bioakkumulation, kann sich jedoch in Fischen anlagern. BPA-haltiges Plastikmaterial könnte die Hauptquelle für die BPA-Gehalte in Speisefischen / Meeresfrüchten sein.

Bromierte Flammschutzmittel (BFR) werden entweder mit dem Gebrauchsplastik vermischt oder mit diesem in einer Polymerstruktur verbunden um deren Entflammbarkeit zu senken. Unter BFR werden verschiedene bromierte Chemikalien verstanden (polybromierte Diphenylether, Tetrabrombisphenol A, Hexabromcyclododecan) mit persistenten, bioakkumulativen und toxischen Eigenschaften.

Die o. g. Additive werden zu den sog. PBT-Stoffen (persistent, bioakkumulierbar, toxisch) gezählt. Diese PBT-Stoffe halten sich aufgrund ihrer Persistenz für lange Zeit in der Umwelt und sind für den Menschen und die Umwelt schädlich. Durch Bioakkumulation in der Nahrungskette können Konsumenten (Tiere) höherer Trophieebenen stärker durch Schadstoffe belastet werden [33]. Selbst wenn die Konzentrationen dieser Zusatzstoffe in Gewässern sehr gering oder nur lokal begrenzt sind, besteht das Risiko, dass diese Stoffe aus verschlucktem Mikroplastik direkt in den Körper von Wassertieren abgeben werden können (Abb. 13). Derzeit ist jedoch noch nicht geklärt, in welchem Ausmaß die Additive aus Mikroplastik zur Gesamtexposition von Lebewesen beitragen [32].

Für primäre Mikroplastikpartikel, welche in Kosmetika bzw. in Reinigungsmitteln zugesetzt werden, ist nach Einschätzung des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) ein gesundheitliches Risiko für Verbraucher unwahrscheinlich. Da die originär verwendeten Mikroplastikpartikel größer als 0,001 mm sind, werden diese von gesunder Haut nicht aufgenommen [35].

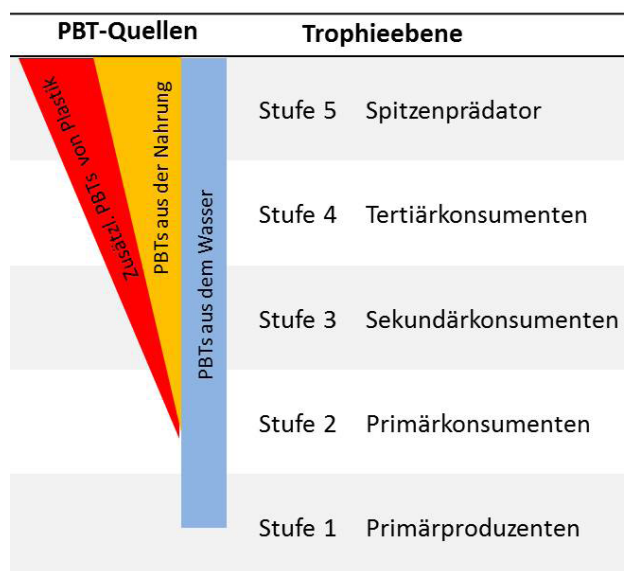


Abb. 13: Schema der Bioakkumulation von PBT-Stoffen [nach 34]

Über Mikroplastik in Lebensmitteln liegen kaum Studien vor. Mikroplastik kann über Muscheln und kleine Meerestiere auf die Teller kommen, ebenso über kleine Fische (Sprotten), die oft samt Magen und Darm gegessen werden. Größere Fische gelten als unkritisch, da diese meist ohne Magen und Darm verspeist werden.

Für Meerestiere kann Mikroplastik/Makroplastik jedoch problematisch sein. Auf der Plastikoberfläche reichern sich im Wasser vorkommenden Schadstoffe an. So können gefährliche Stoffe wie z. B. PCB, DDT, HCH an den Plastikteilchen akkumulieren. Nimmt ein Meerestier diese Partikel auf, gelangen außer dem Plastik auch die Schadstoffe in die Nahrungskette. Darüber hinaus kann aufgenommenes Makroplastik im Magen von Meerestieren das Hungergefühl aussetzen, so dass diese letztendlich verhungern.

In geklärtem Abwasser wurden geringe Mengen an Mikroplastikteilchen festgestellt – diese gelangen über die Kläranlagenabläufe in die Oberflächengewässer. Für Trinkwasser kann jedoch derzeit keine ernstzunehmende Belastung mit Mikroplastik abgeleitet werden. Hierbei dürften Kunststoffleitungen Ursache für vereinzelt aufgefundene Mikroplastikteilchen in Trinkwasser sein.

6 Verfahren zur Charakterisierung und Messung

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es keine allgemein anerkannten und geprüften Methoden zur Identifizierung und quantitativen Analyse von Mikroplastik. Zur reproduzierbaren Abtrennung und Identifizierung von Mikroplastikteilchen sind derzeit wohl auch enzymatische Verfahren in der Erprobung. Zur Orientierung werden nachfolgend verschiedene Verfahren zur Proben-Entnahme, Proben-Vorbereitung und Analyse von Mikroplastikteilchen aus Gewässern und Gewässersedimenten dargestellt.

Grundsätzlich können drei Arten der Proben-Entnahme von Mikroplastik unterschieden werden [28]:

- **Selektive Proben:** Bei dieser Art der Probenahme werden nur bestimmte Objekte als Probe direkt aus der Umwelt entnommen. Dabei werden die gewünschten Objekte mit dem bloßen Auge identifiziert.
- **Massenproben:** Bei dieser Methode wird das gesamte Probenvolumen (z. B. Bodenprobe) entnommen, ohne das Volumen zu verändern. Aufgrund dessen ist eine Probenvorbereitung für die Analyse notwendig (z. B. Trennung von Mikroplastik und Sedimentbestandteilen).
- **Volumenreduzierte Proben:** Diese Proben sind Massenproben, bei denen das Volumen, meistens während der Probenahme, lediglich auf die für die weitere Analyse interessante Menge verringert wird (Sieben / Filtern). Auch für diese Proben ist eine Probenvorbereitung vor der Analyse nötig.

Gewässerproben aus den verschiedenen Gewässerschichten werden hauptsächlich mit feinmaschigen Schleppnetzen mit Maschengröße ca. $0,05 \mu\text{m} - 3 \text{mm}$ entnommen. Dabei werden für die jeweilige Wasserschicht spezielle Netze verwendet:

- „Manta-Netze“ für die Wasseroberfläche (Abb. 14)
- „Bongo-Netze“ für mittlere Wasserschichten
- „Grundslepp-Netze“ für bodennahe Wasserschichten

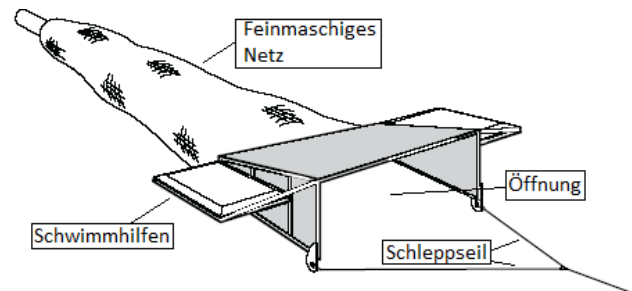


Abb. 14: Schematischer Aufbau eines Manta-Netzes [37]

Auf diese Weise können relativ schnell volumenreduzierte Proben durch die Filtrierung großer Wassermengen entnommen werden [21, 36].

Zur Entnahme von Sedimentproben existieren im Gegensatz zur Gewässerprobe-Entnahme keine einheitlichen Methoden. So werden in der Regel Strände mit Pinzetten, Löffeln oder von Hand hinsichtlich Mikroplastik selektiv beprobt [36]. Diese Art der Probenahme ist relativ einfach mit geringem logistischem Aufwand durchzuführen. Sie birgt allerdings die Gefahr Partikel zu übersehen oder sie zu verwechseln, was eine gewisse Ungenauigkeit der Ergebnisse verursacht [21]. Andere Methoden sind z. B. die Einteilung des Strandes in quadratische Abschnitte, die dann untersucht werden (Abb. 15) oder die Entnahme von Bodenproben mit einem Kernprobennehmer aus verschiedenen Tiefen [36]. Zur Proben-Vorbereitung kommen folgende Methoden zum Einsatz [36]:

- Dichte-Separation
- Filtration
- Sieben
- Visuelles Sortieren



Abb. 15: Probenahme mit einer Einteilungsmethode [38]

Bei der Dichte-Separation wird der Dichteunterschied zwischen verschiedenen Stoffen genutzt, um diese voneinander zu trennen. Dazu wird die Sedimentprobe mit einer Flüssigkeit vermischt und für eine bestimmte Zeit geschüttelt. Nach dem Schütteln sinken die Bestandteile hoher Dichte an den Boden des Gefäßes und die Partikel geringer Dichte schwimmen in der Lösung bzw. befinden sich auf der Flüssigkeitsoberfläche. Mikroplastik kann auf diese Weise vom Sediment getrennt werden, da die Dichte von Plastik in den meisten Fällen zwischen $0,8 \text{ g/cm}^3$ und $1,4 \text{ g/cm}^3$ liegt und Sedimentbestandteile wie Sand eine höhere Dichte von etwa $2,65 \text{ g/cm}^3$ aufweisen. Zur Auftrennung wird die Probe meistens in einer Kochsalzlösung (Dichte $\approx 1,2 \text{ g/cm}^3$) vermischt und geschüttelt. Danach wird die obenstehende Lösung mit dem Mikroplastik extrahiert. Die extrahierte Lösung wird anschließend häufig durch einen Filter (Porengröße ca. $1\text{-}2 \mu\text{m}$) gesaugt, wobei auch ein vorheriges Durchsieben (Maschengröße ca. $500 \mu\text{m}$) zum Entfernen von größeren Partikeln möglich sein kann. Die Trennung von Lösung und Partikeln kann auch mit Sieben (Maschengröße ca. $0,04\text{ - }4,75 \text{ mm}$) durchgeführt werden. Hierbei können die Partikel durch die Verwendung von Sieben unterschiedlicher Maschengröße in verschiedene Größenkategorien sortiert werden. In der Regel werden nur die in den Sieben verbliebenen Partikel analysiert, wohingegen die Partikel, die mit der Flüssigkeit das Sieb passiert haben, verworfen werden.

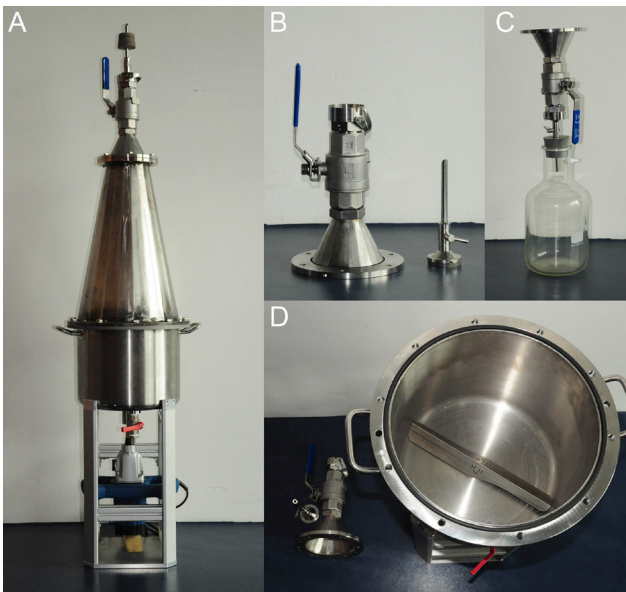


Abb. 16: Munich Plastic Sediment Separator (MPSS): [39]
 A: Komplet montierter MPSS (inklusive Gestell mit Elektromotor)
 B: Trennkammer mit abmontiertem Filterhalter
 C: Trennkammer in Filtrierkonfiguration auf Filterflasche
 D: Inneres des Sedimentgefäßes mit Rührer

Der Munich Plastic Sediment Separator (MPSS) ist eine neue Entwicklung zur Separierung von Plastikpartikeln in aquatischen Sedimenten. Dieses Gerät stellt eine Weiterentwicklung der Methode der Dichteseparation dar und kann Mikroplastik-Partikel von Sedimenten für die Analyse verlässlich trennen. Der MPSS besteht aus drei Hauptbestandteilen, dem Sedimentgefäß, dem Steigrohr und der Trennkammer mit Kugelventil, welche aus Edelstahl gefertigt sind (Abb. 16, 17).

Am Boden des Gefäßes befindet sich ein elektrisch angetriebener Rotor, um ein konstantes Rühren des Sediments zu gewährleisten. Das Gefäß verfügt ebenfalls über ein Bodenventil, um die Separationslösung ein- und ablassen zu können. Das Steigrohr ist konisch verjüngt (bis auf 120 mm), so dass die aufsteigenden Mikropartikel im dortigen Probenvolumen angereichert werden. Die Trennkammer (68 ml) wird anschließend mit dem Kugelventil verschlossen und vom MPSS getrennt. Der Trennkammer-Behälter verfügt über einen integrierten Filterhalter (47 mm) mit dem direkt nach dem Separationsvorgang eine Vakuumfiltration durchgeführt werden kann. Dazu muss die Trennkammer lediglich mit einem geeigneten Filter versehen, umgedreht und an eine Vakuumpumpe angeschlossen werden. Die auf dem Filtermaterial aufkonzentrierte Probe kann nach dem

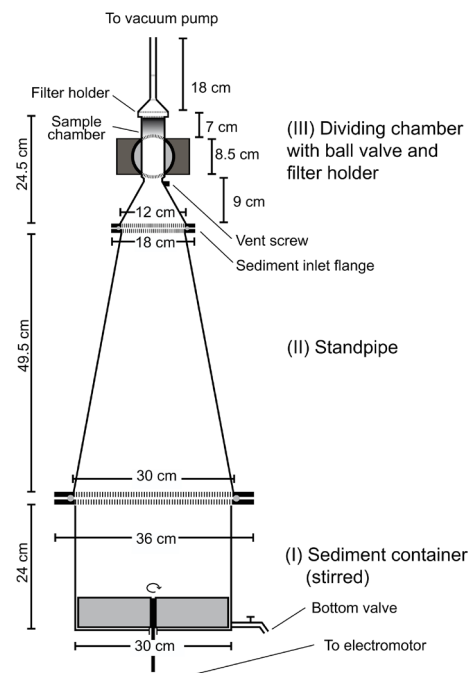


Abb. 17: Schematische Darstellung des MPSS [39]:
 (I) Sedimentgefäß mit Rührer, (II) Steigrohr, (III) Trennkammer mit Kugelventil und Filterhalter
 - Extraktionseinstellung – Kugelventil geschlossen
 - Filtriereinstellung – Kugelventil geöffnet

Trocknen direkt mit spektroskopischen Untersuchungsmethoden (FTIR- bzw. Raman-Spektroskopie) analysiert werden [39].

Die Analyse von Mikroplastik erfolgt derzeit i. d. R. erst nach dem visuellen bzw. mikroskopischen Sortieren der zu untersuchenden Teilchen. Hierbei wird Mikroplastik zunächst von anderen Partikeln wie Muschelsplintern, getrockneten Algenbestandteilen, Glas, Lacksplintern usw. getrennt. Auf diese Weise können die Partikel auch gezählt und somit quantifiziert werden. Allerdings birgt die Identifikation mit dem Auge ein nicht zu unterschätzendes Risiko, da Verwechslungen oder das Übersehen von Partikeln nicht ausgeschlossen werden können. Das Untersuchungsergebnis kann folglich eine mehr oder weniger ausgeprägte Abhängigkeit von der bearbeitenden Person aufweisen [36].

Mit spektroskopischen Untersuchungsmethoden wie der Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FTIR-Spektroskopie) sowie der Raman-Spektroskopie kann die elementare Zusammensetzung der Mikroplastikpartikel und somit die Art des Kunststoffs bestimmt werden. Hierzu werden die mittels Vakuum-Filtration aufkonzentrierten Filterproben (siehe Proben-Vorbereitung) mit spektroskopischen Methoden analysiert. Die durch diese Untersuchungsmethoden gewonnenen Spektren werden mit Referenzspektren von bekannten Plastikarten abgeglichen, so dass meist halbquantitativ bereits zweifelsfrei festgestellt werden kann, welche Arten von Kunststoffen in den Mikropartikeln enthalten sind [36, 37].

Beim FTIR-Spektrometer (Abb. 18) wird die erforderliche Infrarotstrahlung durch Erhitzen eines schwarzen Körpers

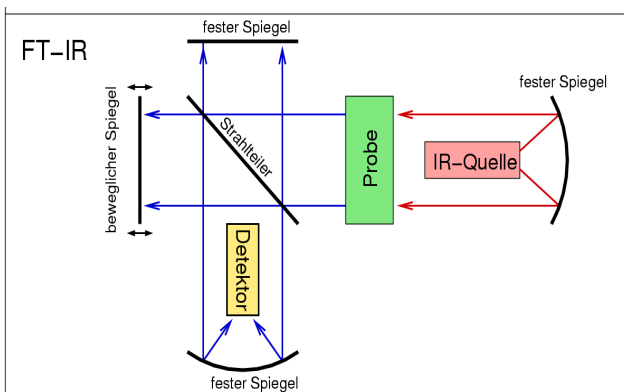


Abb. 18: Schematischer Aufbau eines FTIR-Spektrometers [42]

erzeugt und gebündelt in ein Interferometer geleitet. Dort wird der Strahl mit einem Strahlteiler in zwei Einzelstrahlen aufgespalten, von denen einer auf einen festen und der andere auf einen beweglichen Spiegel trifft. Die Strahlen werden an den Spiegeln reflektiert und wieder zusammengeführt, damit sie abhängig von den Frequenzen im Infrarotstrahl und dem Spiegelweg interferieren. Der zusammengeführte Strahl wird dann über die Probe zum Detektor geleitet, wo das entstehende Interferogramm durch die Lichtstrahl-Schwingung erfasst wird. Aus diesem kann mittels Fourier-Transformation ein stoffspezifisches Spektrum erstellt werden. Durch Vergleich mit definierten Kunststoff-Referenzproben kann letztendlich eine Aussage über die Zusammensetzung der Mikroplastik-Probe getroffen werden [40].

Bei Anwendung der Raman-Spektroskopie (Abb. 19) wird die mittels Filtration aufkonzentrierte Probe mit monochromatischem Licht (Laserlicht) bestrahlt. Dabei tritt ein sogenannter „Raman-Effekt“ auf, welcher dazu führt, dass durch Wechselwirkung zerstreutes Licht mit einer höheren oder niedrigeren Frequenz als das eingestrahlt und elastisch gestreute Licht entsteht. Dieses Streulicht ist für das zu bestimmende Element (Atome, Moleküle) spezifisch, so dass mithilfe eines Detektors das Spektrum (Frequenz mit Intensität) des gestreuten Lichts erfasst werden kann. Aufgrund der molekül- bzw. atomspezifischen Raman-Streuung kann anhand von Referenzspektren die Zusammensetzung der Probe festgestellt werden. Darüber hinaus können mittels Raman-Spektroskopie auch Aussagen über die Materialeigenschaften (z. B. Kristallstruktur, Kristallorientierung, Verspannung, Temperatur, Dotierung und Relaxation) getroffen werden [41].

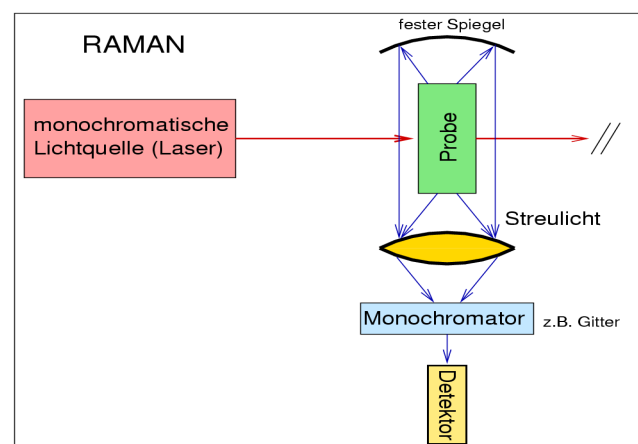


Abb. 19: Schematischer Aufbau eines Raman-Spektroskops [42]

7 Fazit

Kunststoffe mit ihren vielseitigen Eigenschaften begegnen uns täglich in allen Lebensbereichen. Die Verwendung von Kunststoffen hat für den Menschen viele Vorteile. Eine moderne Gesellschaft kann auf Kunststoffe nicht mehr verzichten.

Allerdings stellen Kunststoffabfälle in Gewässern ein ernstzunehmendes gesellschaftliches und ökologisches Problem dar [43]. Insbesondere in und an den Meeren mit ihrer Vielzahl von Anrainerstaaten wird das globale Ausmaß der Belastung der Umwelt durch Plastik deutlich. Längerübergreifende Ansätze zur Reduzierung des Plastikeintrags könnten zu einer Verbesserung der Situation beitragen. Eine wesentliche Grundlage hierfür ist die Schaffung bzw. Erweiterung der Datenlage. Die Eintragspfade ins Gewässer, Aufkommensmengen und Auswirkungen der Kunststoffe auf Mensch und Umwelt sind weiter zu untersuchen.

Die Entwicklung einheitlicher Bestimmungs- und Bewertungsverfahren für Mikroplastik zur Vergleichbarkeit von Untersuchungsergebnissen sowie die Verbesserung des Wissensstandes über die Auswirkung von Mikroplastik auf Mensch und Umwelt sind von grundsätzlicher Bedeutung und sollten forciert werden.

Der überwiegende Teil des in der Umwelt auffindbaren Mikroplastiks ist sekundäres Mikroplastik. Daher gilt es, sich nicht nur auf das primäre Mikroplastik zu konzentrieren, sondern den Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt generell viel drastischer zu reduzieren. Nur so kann wirksam der Entstehung von sekundärem Mikroplastik in Meeren oder Binnengewässern vorgebeugt werden – und das nicht nur in Deutschland oder der EU, sondern weltweit. Mittlerweile wurden unter deutscher Federführung globale und regionale Aktionspläne zur Bekämpfung von Meeresmüll innerhalb des G7-Prozesses und der Regionalkooperationen OSPAR (Schutz der Meeresumwelt des Nord-Ost-Atlantiks) sowie HELCOM (Schutz der Meeresumwelt der Ostsee) verabschiedet. Im Rahmen der Umsetzung der europäischen Meeresstrategie-Rahmenrichtli-

nie (2008/56/EG) wird ebenfalls ein umfassendes Programm für die heimische Nord- und Ostsee aufgestellt [44].

In Teilaspekten werden diese Maßnahmen aus den Aktionsplänen bereits umgesetzt. Ein Beispiel ist die Fishing-For-Litter-Initiative. Fischerkutter werden hierbei so ausgestattet, dass sie aus dem Meer gefischten Müll an Bord verstauen und kostenfrei und sachgerecht in den Häfen entsorgen können. Das Projekt wird mittlerweile von allen Küstenbundesländern unterstützt und durchgeführt [46].

Das Europäische Parlament hat im April 2015 eine Ergänzung der Europäischen Verpackungsrichtlinie (94/62/EG) verabschiedet, die den Verbrauch von dünnen Plastiktüten in der Europäischen Union reduzieren soll. Der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch von derzeit etwa 200 dünnen Kunststofftüten soll bis 2019 auf 90 sinken. 2025 soll der Verbrauch dann nur noch bei durchschnittlich 40 Tüten pro Jahr und Bürger liegen. Die 28 Mitgliedstaaten können selbst wählen, mit welchen Anreizen sie das Ziel erreichen wollen. Denkbar ist etwa, dass die Regierungen bis Ende 2018 Gebühren oder ein Pfand für Plastiktüten einführen. Aber auch ein grundsätzliches Verbot ist möglich. Ausgenommen von den neuen Vorschriften sind dicke Plastiktüten, die in der Regel mehrfach verwendet werden. Das Gleiche gilt für sehr dünne Tüten, in denen in Supermärkten Obst oder Wurstwaren verpackt werden [11].

Mit dieser Einschränkung soll verhindert werden, dass auf noch umweltschädlichere Verpackungen – etwa geschäumte Kunststoffschalen – ausgewichen wird. Auf den Kompromiss hatten sich Unterhändler des Europäischen Parlaments und der 28 EU-Staaten bereits zuvor geeinigt. Mit dem abschließenden Votum der Abgeordneten ist der Weg für die Neuregelung nun endgültig frei.

Weitere geeignete Einzelmaßnahmen könnten sein:

- Weiterentwicklung von Rücknahme- bzw. Recyclingsystemen für Kunststoffe
- Deponierungsverbot für Kunststoffabfälle

- Einführung von Pfandsystemen auf häufig verwendete Kunststoffprodukte
- Informations- und Aufklärungskampagnen für Hersteller, Verwender und Verbraucher
- Regelmäßige und konsequente Säuberung von Küsten, Fluss- und Seeufern
- Verbesserung der Infrastruktur für die Entsorgung von Schiffsabfällen sowie der Entsorgungslogistik in Seehäfen
- Liegegebühren in See- bzw. Binnenhäfen sollten die Entsorgungskosten bereits enthalten
- Schiffsbesatzungen werden regelmäßig in Bezug auf die umweltgerechte Entsorgung von Plastik sensibilisiert

Im Hinblick auf die Verringerung des Eintrags von primär hergestelltem Mikroplastik sollte der Ersatz von Mikroplastik in Kosmetik- bzw. Reinigungsprodukten durch weniger problematische Stoffe angestrebt werden.

Die Bundesregierung hat Ende 2014 bei der Kosmetikindustrie einen freiwilligen Verzicht auf Mikroplastik angeregt. Der Industrieverband Körperpflege und Waschmittel beabsichtigt, mittelfristig die Verwendung von primären Mikroplastikpartikeln in abwaschbaren Kosmetikprodukten (Peelings, Haarspülungen, Füllstoff in Abdeckcremes, Zahnpasta u. a.) einzustellen.

Trotz der inzwischen eingeleiteten Maßnahmen zur Reduzierung des Plastikeintrags in die Umwelt brauchen wir einen gesellschaftlich-politischen Wandel. Die Abfallvermeidung muss zukünftig an erster Stelle stehen, damit der Eintrag von Plastik in die Meere und Binnengewässer gestoppt wird. Ressourceneffizienz, mehr Recycling, nachhaltiges Produktdesign und alternative, langlebige Produkte müssen – möglichst weltweit – an Stelle unseres derzeitigen Systems von Kurzlebigkeit und Einweg treten [47].

8 Literatur und Quellen

Hinweis: Sämtliche Internet-Downloads waren mit Stand vom Oktober 2015 wie angegeben verfügbar.

- [1] Fraunhofer-Umsicht
<http://www.initiative-mikroplastik.de/index.php/themen>
- [2] Kirbach, R.: Im Plastik gefangen. In: DIE ZEIT, Nr. 26 vom 25.06.2015, S. 15-17
- [3] http://www.richardakimball.com/wp-content/uploads/2015/05/pollution-203737_1280-730x410.jpg
- [4] Umweltbundesamt (UBA): Vermüllung der Meere noch lange ein Problem; Presseinformation des UBA vom 20. 05. 2014 (Nr. 26/2014)
- [5] Tuckow, E: Plastik vergeht nicht, Stiftung Warentest (2015)
- [6] Groß, M.: „Was macht der Müll im Meer?“, Nachrichten aus der Chemie, S. 443 f (2015)
- [7] Foto: NOAA/PIFSC;
<http://www.naturalbeauty.de/uploads/pics/Plastik-Kracher-mag.jpg>
- [8] Umweltbriefe (21) vom 24.10.2013
- [9] Current biology (23) S. 867f (2013)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982213011081>
- [10] Environmental pollution (188), S. 177 ff (2014)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114000475>
- [11] Zeitonline vom 28.4.2015
<http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2015-04/plastiktueten-verbot-eu-parlament-richtlinie>
- [12] Arthur, Baker, Bamford: Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris, Technical Memorandum der National Oceanic and Atmospheric Administration (2009)
- [13] Regmann, Heckhausen: Micro-Beads - Auswirkungen von Kunststoff-Mikropartikeln auf die marine Umwelt (2014)
<http://www.projectblueseas.de/media/files/downloads/Micro-Beads.pdf>
- [14] Andrady: Microplastics in the marine environment, Marine Pollution Bulletin (62), S. 1596 f (2011)
- [15] Browne, Crump, Niven, Teuten, Tonkin, Galloway, Thompson: Accumulation of micro-plastic on shorelines worldwide - sources and sinks, Environmental Science & Technology (2011)
- [16] <http://cen.acs.org/articles/91/i37/Microplastic-Beads-Pollute-Great-Lakes.html>
- [17] <http://actu.epfl.ch/news/microplastic-pollution-prevalent-in-lakes-too-2>
- [18] Claessens, De Meester, Van Landuyt, De Clerck, Jansen: Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the belgian coast; Marine Pollution Bulletin (62), S. 2199ff (2011)
- [19] Wright, Thompson, Galloway: The physical impacts of microplastics on marine organisms, Environmental Pollution (178), S. 483-492 (2013)
- [20] http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Pacific_garbage_patch
- [21] Cole, Lindeque, Halsband, Galloway: Microplastics as contaminants in the marine environment: A review; Marine Pollution Bulletin (62), S. 2588 f (2011)
- [22] Imhof, Ivleva, Schmid, Niessner, Laforsch: Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles, Current Biology (23) No. 19 (2013)
- [23] Eriksen, Mason, Wilson, Box, Zellers, Edwards, Farley, Amato: Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes, Marine Pollution Bulletin (77), S.177 f (2013)

- [24] <http://www.pelletwatch.org>
- [25] Amandine Collignon, Jean-Henri Hecq, François Glagani, Pierre Voisin, France Collard, Anne Goffart: Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea; *Marine Pollution Bulletin* 64 (2012), Seiten 861-864 (DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.01.011)
- [26] <http://www.suedkurier.de/region/bodenseekreis-oberschwaben/friedrichshafen/Forscher-suchen-den-Bodensee-nach-Mikroplastik-ab;art372474,6408402>
- [27] <http://www.swr.de/odyosso/wie-aus-bodenseewasser-trinkwasser-wird/-/id=1046894/did=8207488/nid=1046894/zgui1u/index.html>
- [28] <http://www.wasseranalyse-trinkwasseranalyse.de/trinkwasser/wasserfilter/mikrofilter>
- [29] <http://www.3sat.de/mediathek/?mode=play&obj=40975>
- [30] Cole, Lindeque, Fileman, Halsband, Goodhead, Moger, Galloway: Microplastic Ingestion by Zooplankton, *Environmental Science & Technology* (47) No. 12 (2013)
- [31] Browne, Dissanayake, Galloway, Lowe, Thompson: Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis*, *Environmental Science & Technology* (42) No.13 (2008)
- [32] Engler: The Complex Interactions between Marine Debris and Toxic Chemicals in the Ocean, *Environmental Science & Technology* (46) No. 22 (2012)
- [33] <http://de.wikipedia.org/wiki/Trophieniveau>
- [34] http://pubs.acs.org/appl/literatum/publisher/achs/journals/content/esthag/2012/esthag.2012.46.issue-22/es3027105/production/pdfimages_v02/master.img-001.jpg
- [35] http://www.bfr.bund.de/cm/343/sonnenschutzmittel_zinkoxid_als_uv_filter_ist_nach_derzeitigem_kennntnisstand_gesundheitlich_unbedenklich.pdf
- [36] Hidalgo-Ruz, Gutow, Thompson, Thiel: Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification, *Environmental Science & Technology* (46) No. 6 (2012)
- [37] http://swfsc.noaa.gov/uploadedImages/Divisions/FRD/ShipOps/Procedures/Gear/clip_image001.gif
- [38] <http://actu.epfl.ch/public/upload/fckeditorimage/d5/0b/7f21688a.jpg>
- [39] Imhof, Schmid, Niessner, Ivleva, Laforsch: A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments, *Limnology and Oceanography: Methods* (10) (2012); <http://www.marine-litter-conference-berlin.info/userfiles/file/online/posters/University%20of%20Bayreuth.pdf>
- [40] <https://de.wikipedia.org/wiki/FTIR-Spektrometer>
- [41] <https://de.wikipedia.org/wiki/Raman-Spektroskopie>
- [42] http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/methoden_I_7.xhtml
- [43] EUropainfo, Das Magazin des EU-Umweltbüros 1/15 http://www.eu-umweltbuero.at/dateien/europainfo_1_15.pdf
- [44] http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_63_2015_quellen_fuer_mikroplastik_mit_relevanz_fuer_den_meeresschutz.pdf
- [45] <http://www.europarl.europa.eu/news/de/news-room/content/20150424IPR45708/html/Parlament-geht-gegen-verschwenderrischen-Verbrauch-von-Kunststoff%C3%BCten-vor>
- [46] <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/aktionen-und-projekte/meere-ohne-plastik/fishing-for-litter>
- [47] Detloff, Bongardt: Ein Meer von Müll – wie Plastik die Ozeane bedroht und was sich ändern muss; *Müll und Abfall* 7, S 356-361 (2015)

