



© Fred Dott / Greenpeace

Plastik in Fisch und Meeresfrüchten

Greenpeace Research Laboratories, 2016

GREENPEACE

Sortierter Müll aus dem Meer, einschließlich
des Wortes „Trash“ (engl. Müll) aus Golfbällen
am Strand von Kahuku auf Hawaii;
Tour der Esperanza im Pazifik (2006).
© Alex Hofford / Greenpeace



1. Plastik in den Meeren: Zusammenfassung

Schätzungen zufolge macht Plastik 60 bis 80 Prozent des Mülls im Meer aus (Derraik, 2002).

Wie viele Tonnen Plastikmüll genau in den Weltmeeren vorkommen, kann niemand mit Sicherheit sagen. Laut eines quantitativen theoretischen Modells treiben allein an der Oberfläche geschätzte 5,25 Billionen Teile Plastikmüll mit einem Gesamtgewicht von etwa 268.940 Tonnen in den Ozeanen – jene Plastikteile am Meeresboden oder an den Stränden nicht mitgerechnet (Eriksen *et al.*, 2014). Neueren Studien zufolge liegen die Schätzungen sogar noch höher, bei möglicherweise über 50 Billionen Plastikteilen (van Sebille *et al.*, 2015), wobei sich keine dieser Zahlen in der Praxis mit Genauigkeit verifizieren lässt.

In den letzten 50 Jahren ist die Plastikproduktion explosionsartig angestiegen. Weltweit wuchs sie von 204 Millionen Tonnen im Jahr 2002 auf 299 Millionen Tonnen im Jahr 2013. In Europa machten dabei Verpackungen 39,6 Prozent des gesamten Plastikverbrauchs aus (Plastics Europe, 2015). Viele Plastikprodukte werden nur für den einmaligen Gebrauch hergestellt, sodass ein riesiger Müllberg entsteht. Weggeworfenes Plastik landet auf Deponien, wird verbrannt oder recycelt. Ein Teil jedoch gelangt in Flüsse und Meere – durch versehentliche oder absichtliche Müllentsorgung (auch von Schiffen aus), städtische Entwässerung, Oberflächenabfluss oder „Sickerwasser“ aus den Mülldeponien, sowie Abwässer aus

Klär- oder Wasseraufbereitungsanlagen (Derraik, 2002).

Die Ausbreitung von Plastikmüll aller Größen in der Meeresumwelt ist besonders besorgniserregend – aufgrund seiner Persistenz in der Umwelt und aufgrund der Tendenz, sich weit zu verteilen.

Seit den 1960er-Jahren beschreiben Einzelberichte und wissenschaftliche Arbeiten die Auswirkungen großer Plastikteile für Vögel, Fische und Meeresäugetiere.

Doch mittlerweile rückt ein weiteres Problem in den Fokus: Mikroplastik. Als Mikroplastik werden meistens Plastikpartikel mit einem Durchmesser oder einer Länge von weniger als fünf Millimetern bezeichnet – das können Kügelchen, Fragmente oder Fasern sein. Mikroplastik entsteht entweder primär, das heißt, es wird bereits in kleiner Größe hergestellt (wie etwa Kunststoffgranulat aus der Plastik-Vorproduktion; auch bekannt als „Pellets“ oder „Nurdles“, oder Mikrokügelchen in Kosmetikprodukten, sogenannte „Microbeads“), oder sekundär, wenn sich Makroplastik durch die Einwirkung von Wind, Wellen und UV-Licht in winzig kleine Partikel zersetzt (wie etwa Fragmente von Plastikflaschen).

Die potentiellen Auswirkungen von Mikroplastik auf die Meeresumwelt – und letztlich den Mensch – ziehen die Aufmerksamkeit von Forschern, Regierungen, Wohlfahrtsverbänden, Verbraucherschutzgruppen und Umweltorganisationen auf sich.

MAKROPLASTIK

>25 Millimeter

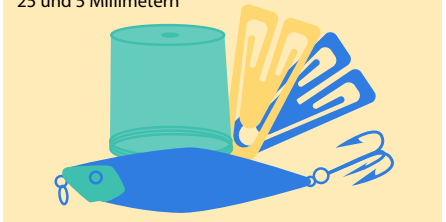
Durchmesser oder Länge größer als 25 Millimeter



MESOPLASTIK

<25 Millimeter

Durchmesser oder Länge zwischen 25 und 5 Millimetern



MIKROPLASTIK

<5 Millimeter

Durchmesser oder Länge bis einschließlich 5 Millimeter

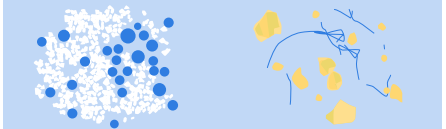
Lässt sich unterteilen in:

Primäres Mikroplastik

Plastikpartikel, die bereits in kleiner Größe hergestellt werden. Zum Beispiel Kunststoffgranulat aus der Vorproduktion für größere Plastikteile (sogenannte „Pellets“ bzw. „Nurdles“), oder Mikrokügelchen für die Verwendung in Kosmetikprodukten (sogenannte „Microbeads“).

Sekundäres Mikroplastik

Plastikpartikel, die beim Zerfall eines größeren Gegenstands (etwa einer Plastikflasche oder -tüte) entstanden sind, sich also durch Einwirkung von Wind, Wellen und UV-Licht zu einer geringeren Größe zersetzt haben.



NANOPLASTIK

<1 Mikrometer

Durchmesser oder Länge unter 1 Mikrometer

Wird als Untergruppe von Mikroplastik betrachtet

Derzeit gibt es keine formelle Größendefinition für Mikroplastik. Für die Erstellung dieses Reports haben wir die Messungen des GESAMP-Berichts (2015) übernommen, der davon ausgeht, dass Mikroplastikteile zwischen 1 Mikrometer und 5 Millimetern groß sind.

Um die Öffentlichkeit für das Mikroplastikproblem zu sensibilisieren, startete Greenpeace UK 2016 eine Kampagne. Ziel war es, die Regierung des Vereinigten Königreichs dazu zu bewegen, den Gebrauch von festem Mikroplastik, einschließlich „Microbeads“ in Verbrauchsgütern wie Zahnpasta, Waschpulver und Gesichtspeelings, zu verbieten. Zuvor machte bereits Greenpeace Österreich 2014 mit einer Kampagne auf das Problem von Mikroplastik in Kosmetika aufmerksam. Auch das Umweltprogramm der Vereinten Nationen legte in seinem 2015 veröffentlichten Bericht „Plastics in Cosmetics: Are We Polluting the Environment Through Our Personal Care?“ nahe, die Verwendung von Mikroplastik zu verbieten.





Warum so viel Aufmerksamkeit für so winzig kleine Plastikteilchen? Weil wir mittlerweile wissen, dass Mikroplastik im Meer deutlich dramatischere Folgen haben kann als Makroplastik.

Achtlos weggeworfener Plastikmüll kann verheerende Folgen für Meeresorganismen haben: Sie verheddern, strangulieren sich und ertrinken – oder verwechseln das Mikroplastik mit Nahrung und verhungern mit vollem Magen. Da Mikroplastik so klein ist, besteht die Gefahr, dass es durch sehr viel mehr Organismen in den Körper aufgenommen wird als Makroplastik.

Hierbei besteht auch die Gefahr, dass aus den Mikroplastikpartikeln freigegebene Schadstoffe in das Nahrungsnetz gelangen.

Toxische Zusatzstoffe, die dem Plastik während des Herstellungsprozesses beigemischt werden, können mit der Zeit auslaugen.

Außerdem können Mikroplastikpartikel Schadstoffe aus der Umgebung adsorbieren und desorbieren.

„Adsorption“ bedeutet, dass Plastik eine Chemikalie anzieht, die dann an seiner Oberfläche „haften“ bleibt; „Desorption“ geschieht, wenn das Plastik die adsorbierte Chemikalie wieder „freigibt“.

Je mehr Plastik weggeworfen wird, desto mehr davon gelangt in die weltweiten Wassersysteme. Und, da sich Makroplastik zu Mikroplastik zersetzt, wird jeder große Plastikgegenstand, der im Meer schwimmt und nicht geborgen wird, zu tausenden winzigen Plastikpartikeln.

Die wissenschaftliche Forschung beschäftigt sich zurzeit mit zahllosen Fragen rund um Mikroplastik im Meer. Hier einige Beispiele:

- **Wie groß ist die Menge an Mikroplastik im Meer?**
- **Treffen Meeresorganismen aktiv die Wahl, Mikroplastik aufzunehmen?**
- **Was geschieht mit Mikroplastik, wenn es von Meeresorganismen aufgenommen wurde?**
- **Was sind die physischen Auswirkungen von Mikroplastik auf Meeresorganismen?**
- **Wie ist die Toxizität des Mikroplastiks und seiner seit der Herstellung assoziierten oder auch aus der Umwelt neu adsorbierten Schadstoffe für Meeresorganismen und Menschen?**
- **Kann sich Mikroplastik in der Nahrungskette anreichern?**

Im Folgenden stellen wir die neuesten wissenschaftlichen Veröffentlichungen und technischen Berichte über Mikroplastik in der Meeresumwelt vor. Wir konzentrieren uns dabei insbesondere auf Forschung, die sich auf die Mikroplastik-Belastung von Fischen, Krusten- und Schalentieren bezieht, sowie auf die potentiellen Auswirkungen auf Menschen, die Fisch und Meeresfrüchte verzehren.



Herausforderungen in der Forschung:

Eine Schwierigkeit bei der Bestimmung der Verteilung, Menge und Eigenschaften des Mikroplastiks in Meeresorganismen sowie im Meerwasser liegt in den Extraktions- und Identifikationsprotokollen. In der Regel wird Mikroplastik vom Schiff aus mit geschleppten Planktonnetzen oder mittels Stichproben an Stränden eingesammelt. Die Verwendung von verschiedenen Planktonnetzen bei der Probenahme kann jedoch zu Datensätzen führen, die nur schwer vergleichbar sind. Auch können solche Netze nur die leichteren, an der Oberfläche treibenden Plastikteile erfassen, nicht aber die schweren Plastikteile, die in die Wassersäule oder auf den Meeresboden absinken. Zudem ist die korrekte Identifikation von Mikroplastik oftmals komplex und zeitaufwendig – häufig erfordert sie spezielle Laborausstattung und Analyseverfahren. So können etwa einige Fasern wie Plastik aussehen, obgleich es sich um Baumwolle handelt (Song *et al.*, 2015). Ein mögliches weiteres Problem ist die versehentliche Verunreinigung der Mikroplastikprobe durch freie Plastikpartikel auf den (Forschungs-)Schiffen, in deren Lackierungen oder in den Planktonnetzen selbst – und sogar in der Laborluft. Eine Standardisierung der Methoden, mit denen Mikroplastik gesammelt, identifiziert und quantifiziert wird, würde die Forschungsergebnisse aus unterschiedlichen Studien präziser vergleichbar machen.

2. Mikroplastik im Meer: Überblick

Die Belastung der Meeresumwelt durch Plastikmüll ist mittlerweile ein bekanntes globales Problem und die Aufnahme von Mikroplastik durch Meeresorganismen ist weit verbreitet.

Schätzungen zufolge nehmen mindestens 170 Arten im Meer lebender Wirbeltiere und wirbelloser Tiere anthropogenen Müll auf (Vegter *et al.*, 2014). Da das Feld der Mikroplastikforschung noch relativ neu ist, muss man anmerken, dass die Methoden zur Isolierung, Identifizierung, Quantifizierung und qualitativen Beschreibung der Mikroplastikverschmutzung nach wie vor in der Entwicklung sind und die Standardisierung noch aussteht (Koelmans *et al.*, 2015).

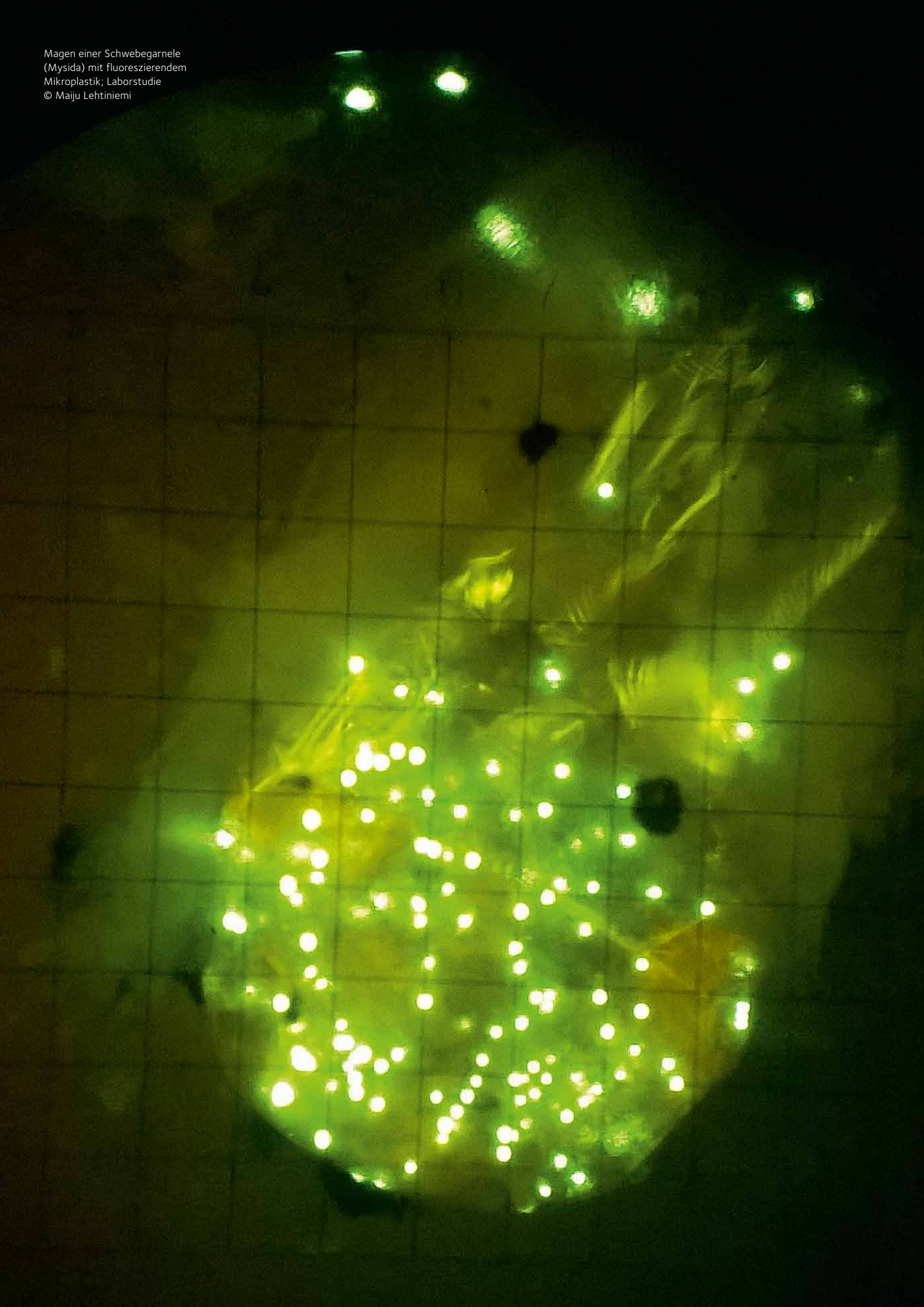
Quantitative Studien zur Überwachung der Mikroplastikmengen in den Eingeweiden von Fischen, Krusten- und Schalentieren durchzuführen, die im Meer gefangen wurden, ist schwierig (siehe Box) und führt zu schwankenden Ergebnissen. So ergaben Analysen von Feldproben, die in wissenschaftlichen Fachblättern veröffentlicht wurden, null bis 21 Plastikpartikel pro Individuum (Lusher *et al.*, 2016; Rochman *et al.*, 2015; Lusher *et al.*, 2013), doch die Zahlen sind keineswegs endgültig.

Generell jedoch gilt die Belastung als gesichert, deshalb konzentriert sich die wissenschaftliche Forschung jetzt vor allem auch auf die Folgen des Mikro-

plastiks für die Meeresorganismen. Diverse synthetische Polymere wurden bereits bei Gewebeanalysen von Meeresorganismen identifiziert, darunter Polypropylen (PP), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Alkydharz und weitere Polyester, Rayon, Nylon bzw. Polyamid (PA), Polyacryl, Polystyrol (PS) und Polyurethan (PUR) (Neves *et al.*, 2015; Rummel *et al.*, 2016).

Bis heute wurden mehr Studien in der nördlichen Hemisphäre, insbesondere in Europa und den Vereinigten Staaten, als in der südlichen Hemisphäre durchgeführt, allerdings verändert sich die Tendenz allmählich. So beschäftigt sich eine jüngst veröffentlichte Studie mit der Mikroplastikverschmutzung von Miesmuscheln, die im Meer vor São Paulo in Brasilien entnommen wurden (Santana *et al.*, 2016). Überdies werden immer mehr Mikroplastikstudien aus China veröffentlicht (Li *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016b). Bislang liegen weniger Daten aus Asien, Afrika und den Polregionen vor. Doch man hat schwimmendes Mikroplastik bereits in den Gewässern der Arktis und Antarktis sowie im Atlantik, Pazifik und Indischen Ozean sowie in Tiefseesedimenten gefunden. Dies lässt den Schluss zu, dass die Belastung der Meere durch Mikroplastik allgegenwärtig ist (GESAMP, 2015).

Magen einer Schwebegarnele
(Mysida) mit fluoreszierendem
Mikroplastik; Laborstudie
© Maiju Lehtiniemi



Feldforschung: Mikroplastik-Belastung in Fisch und Meeresfrüchten

Fisch

- Bei 5,5 Prozent von 290 untersuchten demersalen und pelagischen Fischen (5 Arten) aus der Nord- und Ostsee – darunter Kabeljau, Flunder und Makrele – wurde Mikroplastik im Verdauungstrakt gefunden. 40 Prozent der Plastikpartikel waren aus PE, weitere Plastiksorten umfassten PA (22 Prozent), PP (13 Prozent) sowie kleinere Anteile an PS, PET und weitere Polyester, PUR und Gummi (Rummel *et al.*, 2016).
- In einer Feldstudie im Englischen Kanal enthielten 36,5 Prozent der 502 untersuchten demersalen und pelagischen Fische (10 Arten) Mikroplastik – unter anderem Wittling und Petersfisch. Die Autoren gehen davon aus, dass die Aufnahme der Plastikpartikel über die Nahrungsaufnahme erfolgte (Lusher *et al.*, 2013).
- Auch 11 Prozent von 761 untersuchten pelagischen Fischen (10 Arten) aus dem Nordostatlantik hatten kleine Plastikpartikel aufgenommen (Lusher *et al.*, 2016).
- In Gewässern vor der Küste Portugals wurde Mikroplastik in 19,8 Prozent von 263 untersuchten Fischen (insgesamt 26 Arten) gefunden – unter anderem in Makrele und Seehecht (Neves *et al.*, 2015).
- Analysen von 121 pelagischen Fischen der drei Arten Schwertfisch, Roter Thun und Weißer Thun aus dem zentralen Mittelmeer ergaben Mikroplastik in 18,2 Prozent der Tiere (Romeo *et al.*, 2015).
- Bei 9,2 Prozent von 141 im Nordpazifikwirbel gefangenen pelagischen Fischen (27 Arten) wurde Mikroplastik im Verdauungstrakt festgestellt. Da sich jene Fische überwiegend von Zooplankton ernähren, gehen die Autoren davon aus, dass die Plastikpartikel über die Beute in die Nahrungskette gelangen (Davison & Asch, 2011).
- Eine andere Feldstudie mit 670 untersuchten pelagischen Fischen (6 Arten) aus dem Nordpazifikwirbel ergab, dass 35 Prozent der Tiere Plastikpartikel enthielten. Laut der Autoren kann die Mikroplastikbelastung solcher planktivorer Fische potentiell auf deren Prädatoren, wie Thunfisch und Tintenfisch übertragen werden (Boerger *et al.*, 2010).
- Von 140 Fischen (23 Arten), die auf Märkten in Makassar, Indonesien, und in Kalifornien, USA, zum menschlichen Verzehr verkauft wurden – darunter Makrele, Sardelle und Lachs – enthielten 28 bzw. 25 Prozent anthropogenen Müll. In den Tieren aus Indonesien waren es hauptsächlich Fragmente größerer Plastikteile, in jenen aus den USA vor allem Fasern. Da die Fasertypen nicht analysiert wurden, kann es sich um Plastik oder beispielsweise Baumwolle handeln (Rochman *et al.*, 2015).

Krustentiere

- Eine Feldstudie zum Kaisergranat (*Nephrops norvegicus*) vor der Küste Schottlands ergab, dass 83 Prozent der 120 untersuchten Tiere Plastikfasern in ihrem Verdauungstrakt hatten. Forscher schließen daraus, dass sich

Mikroplastik in Hummer anreichern kann: entweder durch versehentliche, direkte Aufnahme oder durch das Fressen belasteter Beute (Murray & Cowie, 2011).

- Bei Garnelen (*Crangon crangon*) aus der südlichen Nordsee und dem Englischen Kanal wurde die Aufnahme von Mikroplastik ebenfalls nachgewiesen. 63 Prozent der 165 untersuchten Tiere enthielten Plastikfasern, in einigen Fällen aber auch Plastikgranulat oder Folienreste (Devriese *et al.*, 2015).

Schalentiere

- Sowohl in Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) von der deutschen Nordseeküste (van Cauwenberghe & Janssen, 2014) als auch von der chinesischen Festlandküste (Li *et al.*, 2016b) wurde bereits Mikroplastik nachgewiesen, sowie in 75,0 Prozent von 30 untersuchten Braunen Miesmuscheln (*Perna perna*) aus dem Santos Mündungsgebiet im brasilianischen São Paulo (Santana *et al.*, 2016).
- Auch Pazifische Austern (*Crassostrea gigas*) von der französischen Atlantikküste enthielten Mikroplastik (van Cauwenberghe & Janssen, 2014). Außerdem fand man Fasern in 33,3 Prozent von 12 Pazifischen Austern, die auf einem Markt in Kalifornien, USA, verkauft wurden. Die Fasertypen konnten jedoch nicht näher bestimmt werden (Rochman *et al.*, 2015).

Der Aufnahmeweg des Mikroplastiks



Meeresorganismen nehmen Mikroplastik auf verschiedene Arten auf: Muscheln und Austern filtern ihre Nahrung aus dem Wasser; Krabben atmen durch ihre Kiemen und ernähren sich über ihre Mundöffnung; auch Fische nehmen Nahrung über ihre Mundöffnung auf.

Bei Filtrierern wie Muscheln ist die Aufnahme von Mikroplastik ein weitgehend nicht-selektiver Prozess. Bei Organismen, die sich selektiver ernähren, wie etwa Fische, werden die Plastikpartikel auf zwei Wegen aufgenommen: indirekt über Beutetiere, die bereits Mikroplastik-

belastet sind, oder direkt, wenn das Mikroplastik selbst für ein Beutetier gehalten wird. Einige Arten wählen die Plastikpartikel sogar aktiv als Nahrung aus (Rummel *et al.*, 2016; Lusher *et al.*, 2016). Eine in diesem Jahr veröffentlichte Studie legt nahe, dass frisch geschlüpfte Zanderlarven Mikroplastik, wenn dieses reichlich vorhanden ist, ihrer regulären Ernährung mit Zooplankton vorziehen (Lönnerstedt & Eklöv, 2016).

Anreicherung in Organismen und Übertragung in der Nahrungskette

Es ist zu befürchten, dass sich Mikroplastik in der Nahrungskette überträgt oder sogar anreichert, wenn Raubtiere Mikroplastik-belastete Beutetiere fressen.

Kleine Meeresorganismen, wie Plankton, Muscheln oder kleine Fische, die Mikroplastik zu sich nehmen, sind Beutetiere für andere Organismen, die höher in der Nahrungskette stehen. So können einige oder alle Plastikpartikel vom Beutetier auf dessen Räuber übertragen werden. Mazurais *et al.* (2015) legen zum Beispiel nahe, dass sich Mikroplastik in Räubern von europäischen Wolfsbarschlarven (*Dicentrarchus labrax*) anreichern könnte.

Es gibt zwei Hauptprobleme bei Mikroplastik in der Nahrungskette: die rein physische Übertragung oder Anreicherung der Plastikpartikel sowie deren möglicher Beitrag zur Übertragung oder Anreicherung von Schadstoffen. Hier einige Studien, die sich mit der Übertragung des Mikroplastiks innerhalb der Nahrungskette beschäftigen:

Fisch

- Ein Laborversuch ergab, dass Mikroplastik vom Verdauungstrakt einer Meeräsche (*Mugil cephalus*) ins Lebergewebe gewandert war (Avio *et al.*, 2015).
- In einem Fütterungsversuch wurden Weißgesicht-Sturmtaucherküken (*Calonectris leucomelas*) mit Polyethylenharz-Pellets gefüttert, die zuvor im Kasai Seepark in der Bucht von

Tokio gesammelt worden waren. Die Seevogel-Küken wurden außerdem mit Wildfischen gefüttert, die nachweislich polychlorierte Biphenyle (PCB) enthielten. Die Fische nehmen diese Schadstoffe über ihre Beute, beispielsweise Ruderfußkrebse, auf. Die Studie ergab, dass sich die PCB vom ver-seuchten Mikroplastik auf die See-vögel übertragen können – durch die Aufnahme belasteter Beutetiere (Fische). Die Auswirkungen dieser Schadstoffe müssen jedoch noch er-forscht werden (Teuten *et al.*, 2009).

- In einem Laborexperiment wurde die dreistufige Übertragung von Mikroplastik in einer Nahrungskette (drei trophische Ebenen) und die Auswirkungen der Plastikpartikel auf den obersten Fischprädatoren untersucht. Verglichen mit den Kontrolltieren brauchten die mit Mikroplastik ge-fütterten Fische längere Zeit für die Fütterung, waren weniger aktiv, verbrachten mehr Zeit im Schwarm und verbrauchten weniger Zeit und Energie, um ihre Umgebung zu er-kunden (Mattsson *et al.*, 2015)

Krustentiere

- Bei Fütterungsversuchen im Labor hielt man Kaisergranate (*Nephrops norvegicus*), die vor der Küste Schottlands gefangen worden waren, in Behältern und verabreichte ihnen Mikroplastik-belasteten Fisch. Nach 24 Stunden hatten alle Hummer Plastikpartikel in ihren Mägen. Die Autoren merken deshalb an, dass sich das Mikroplastik im Laufe der Zeit

möglicherweise anreichert (Murray & Cowie, 2011).

Schalentiere

- Strandkrabben (*Carcinus maenas*) wurden mit Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) gefüttert, die mit Mikroplastik belastet waren. Noch 21 Tage nach Aufnahme der belasteten Muscheln konnte ein Teil der Plastikpartikel in den Strandkrabben nachgewiesen werden. Laut der Autoren ist dies ein Hinweis darauf, dass Strandkrabben Mikroplastik auch an deren Prädatoren weitergeben könnten (Farrell & Nelson, 2013).
- Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) sind Filtrierer und konnten nachweislich winzige Plastikpartikel von 3 oder 9,6 Mikrometern anreichern. Das im Magen-Darm-Trakt gespeicherte Mikroplastik ging innerhalb von 3 Tagen in das Kreislaufsystem über und verblieb über 48 Tage in der Muschel. Eine kurzfristige Exposition hatte keine nachteiligen biologischen Auswirkungen (Browne *et al.*, 2008).

Zooplankton

- In einem Laborexperiment wurden Schwebegarnelen (*Mysida*) mit Mikroplastik-belastetem Zooplankton gefüttert. Das Ergebnis: Die Schwebegarnelen hatten die Plastikpartikel aufgenommen. Dies legt nahe, dass eine Weitergabe des Mikroplastiks in der Nahrungskette möglich ist, wenn Prädatoren Mikroplastik-belastete Beute aufnehmen (Setälä *et al.*, 2014).

Physische und chemische Auswirkungen der Aufnahme von Mikroplastik

Laborstudien zeigen, dass Mikroplastik chemische und/oder physische Auswirkungen auf Meeresorganismen haben kann.

Ein Laborexperiment, bei dem Wolfsbarsch (*Dicentrarchus labrax*) mit schadstoffhaltigen PVC-Pellets gefüttert wurde, ergab: Nach 90 Tagen wiesen 50 Prozent der Fische, die mit unbelasteten Pellets sowie 50 Prozent der Fische, die mit belasteten Pellets gefüttert worden waren, schwerwiegende Veränderungen des Verdauungstrakts auf. Auch die jeweils anderen 50 Prozent zeigten immer noch ausgeprägte Veränderungen des Verdauungstrakts (Peda *et al.*, 2016).

Auch Miesmuscheln (*Mytilus edulis*), die bis zu 96 Stunden PE-Partikeln ausgesetzt waren, zeigten eine Aufnahme des Mikroplastiks auf geweblicher, zellulärer und sub-zellulärer Ebene – mit beträchtlichen histologischen Veränderungen und starken Entzündungsreaktionen (von Moos *et al.*, 2012).

Welche Folgen die Aufnahme von Mikroplastik für Meeresorganismen hat, hängt möglicherweise von deren Art oder Entwicklungsstadium der Organismen ab. Eier, Larven sowie Jungtiere sind empfindlicher als erwachsene Individuen. So kamen die Autoren einer Studie über Flussbarsche (*Perca fluviatilis*) aus der Ostsee zu dem Schluss, dass Mikroplastik das Ausbrüten und die Entwicklung von Flussbarsch-Eiern und -Larven sowohl chemisch als auch physisch beeinträchtigt, indem es ihre Aktivität, Nahrungsaufnahme und Reaktion auf Bedrohungen durch Prädatoren stört (Lönngstedt & Eklöv, 2016).

Bei der Aufnahme von Mikroplastik verlangsamte sich auch die Nahrungsaufnahme der Strandkrabbe (*Carcinus maenas*) und des Ruderfußkrebse (*Calanus helgolandicus*). Die Tiere hatten weniger Energie und brüteten weniger Eier aus. *C. helgolandicus* ist eine wichtige Art in der marinen Nahrungskette und wird sowohl von Fischen als auch

von wirbellosen Tieren gefressen (Cole *et al.*, 2015b).

Mikroplastik sowie assoziierte/adsorbierte Schadstoffe können die Nahrungskette auch dann beeinträchtigen, wenn sie von Organismen niedrigerer trophischer Ebenen aufgenommen werden. Der Wattwurm (*Arenicola marina*) spielt eine wichtige Rolle bei der Umwälzung des Meeressediments. Im Rahmen eines Versuchs (Wright *et al.*, 2013) zeigten Wattwürmer bei langfristiger Exposition gegenüber weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC) Entzündungsreaktionen. Die Konsequenzen waren eine reduzierte Nahrungsaufnahme und die Senkung des Energieniveaus auf die Hälfte. Dies wiederum hatte zur Folge, dass sich das Wachstum und die Fortpflanzung des Wattwurms verringerten; auch seine sonst rege Umwälzung des Sediments ließ nach. Dies kann potentielle Auswirkungen auf das Meeresökosystem haben.



Toxikologie:

Adsorption, Desorption und Auslaugung von Schadstoffen durch Mikroplastik

Mikroplastik in der Meeresumwelt stellt ein ernstes Problem dar, da es Schadstoffe in die umliegenden Gewässer freisetzen oder auswaschen kann (Desorption bzw. Auslaugung). Zudem zieht seine Oberfläche Schadstoffe an (Adsorption), die wiederum toxisch auf lebende Organismen wirken können.

Auslaugung: Wissenschaftliche Studien haben die toxikologischen Auswirkungen von Zusatzstoffen (Chemikalien, die Plastik während des Herstellungsprozesses beigemischt werden) bereits anerkannt. Diese können nachweislich aus Mikroplastik auslaugen, wie etwa Bisphenol A (BPA), ein bekannter endokriner (hormonaktiver) Disruptor (Michałowicz, 2014; Perez-Lobato, et al., 2016). Auch Nonylphenole beeinträchtigen das Hormonsystem (Soares et al., 2008), und Polybromierte Diphenylether (PBDE) wirken toxisch auf lebende Organismen (Darnerud, 2003; siehe Tabelle 1).

Adsorption: Sobald Plastik in mikroskopisch kleiner Form vorliegt, sei es als Fragmente größerer Teile oder als industriell gefertigte Mikrokügelchen, kann es persistente, bioakkumulierende und toxische Schadstoffe (sogenannte PBT) aus dem Meerwasser anziehen oder an sich binden, wie etwa persistente organische Schadstoffe (sogenannte POP).

POP sind toxische synthetische Substanzen wie Pestizide oder industrielle Produkte, die sich im Gewebe anreichern und schwer abbaubar sind. Ihr Vorkommen in der Umwelt ist gut dokumentiert, ebenso ihre gesundheitsschädigenden Auswirkungen auf Menschen und wild lebende Tiere (siehe Tabelle 1).

Studien deuten darauf hin, dass bestimmte Polymere wie etwa PE, PP, Nylon und weichmacherhaltiges PVC am wahrscheinlichsten POP anreichern (UNEP/GPA 2006; Stockholm Convention), während dies bei Polymeren wie weichmacherfreiem PVC oder PS weniger wahrscheinlich ist (Syberg, 2015). Tatsächlich geht aus einer Studie hervor, dass Polypropylen bestimmte toxische Substanzen in bis zu einer Million Mal größerer Konzentration anreichert, verglichen mit dem umgebenden Meerwasser (Mato et al., 2001).

In welchem Umfang die Schadstoffe von Mikroplastik in lebendes Körpergewebe übergehen, ist bislang unbekannt. Die Plastikpartikel können eine Quelle sein, die zur Belastung der Meeresorganismen, und folglich der Menschen, mit gefährlichen Substanzen beiträgt – auch wenn es Modelle gibt, die nahe legen, dass bei einigen dieser Schadstoffe die Aufnahme über direkt belastete Beutetiere (anstatt über Mikroplastik) derzeit der vorherrschende Expositionsweg ist (Koelmans et al., 2016).

Laborstudien können die Schadstoffbelastung von Meeresorganismen unter natürlichen Umweltbedingungen nicht eins zu eins simulieren. Dennoch stammt das Gros der aktuellen Erkenntnisse über die Wechselwirkungen von Mikroplastik, Schadstoffen und Organismen zwangsläufig aus solchen Studien. So enthielten Regenbogenfische (*Melanotaenia fluviatilis*), die 21 Tage lang unter kontrollierten Bedingungen Mikroplastik mit PBDE ausgesetzt waren, signifikant höhere Mengen dieser toxischen Substanzen als die Kontrollgruppe. Eine längere Exposition (63 Tage) führte bei den Fischen zu noch höheren Schadstoffbelastungen (Wardrop et al., 2016). Im Rahmen einer anderen, neueren Studie wurden Wolfsbarsche (*Dicentrarchus labrax*) Mikroplastik ausgesetzt, das man drei Monate lang im Hafen von Milazzo, Italien, versenkt hatte, um die natürliche Adsorption der Schadstoffe aus dem Meerwasser zu simulieren. Das Ergebnis waren schwere Schädigungen des Verdauungstrakts, nicht nur bei jenen Fischen, die belastete Plastikpartikel gefressen hatten, sondern auch bei jenen, die mit „sauberem“, schadstofffreien Plastikpartikeln gefüttert worden waren. Dies legt nahe, dass sich auch unbelastetes Mikroplastik negativ auf die Gesundheit von Fischen auswirken kann (Pedà et al., 2016).

Das Verhalten von Mikroplastik während des Zerfalls durch Alterungs- und Verwitterungsprozesse sowie seine Affinität für Schadstoffe sind indes noch nicht ausreichend erforscht (Teuten et al., 2009).

Weitere Forschung ist erforderlich, um beispielsweise Folgendes zu verstehen:

- Umfang, in dem Schadstoffe aus Plastik in die Meeresumwelt auslaugen
- Umfang, in dem Schadstoffe in der Meeresumwelt an Plastik adsorbieren
- Welche Schadstoffe an welche Plastiksorten adsorbieren
- Auswirkungen komplexer Gemische aus Plastik-assoziierten Schadstoffen und Meerwasser (Li *et al.*, 2016; Engler, 2012).
- Auswirkungen Plastik-assoziiertes Schadstoffe auf den Hormonhaushalt, der Wachstum, Stoffwechsel und Fortpflanzungsaktivität reguliert (Rochman *et al.*, 2014b)

	Chemikalie	Funktion	Potentielle Auswirkungen
Monomere	Bisphenol A (BPA)	Ausgangsstoff in der Produktion von Polycarbonat und Epoxidharz	Mögliche hormonaktive Substanz; Bedenken hinsichtlich Toxizität bei der Entwicklung, insbesondere Ungeborener und Säuglinge
	Phthalatsäureester (Phthalate) wie Diethylphthalat (DEP), Diethylhexylphthalat (DEHP) und Dibutylphthalat (DBP)	Weichmacher/Enthärter, insbesondere für Polyvinylchlorid (PVC), um Plastik flexibler zu machen Lösungsmittel und Duftfixierer in Parfums und Kosmetik	Teilweise reproduktionstoxisch, hormonaktiv sowie leberschädigend in hohen Dosen
	Nonylphenole (NP)	Antioxidanzien, Weichmacher und Stabilisatoren; werden unter anderem beim partiellen Abbau von Nonylphenol-Ethoxylaten in industriellen Reinigungsmitteln gebildet	Extrem toxisch für Meereslebewesen; hormonaktive Substanzen, die in Fischen Feminisierung verursachen können; Bedenken hinsichtlich Reproduktions- und Entwicklungstoxizität bei anderen Tieren sowie bei Menschen
Zusatzstoffe	Polybromierte Diphenylether (PBDE)	Flammschutzmittel in bestimmten Kunststoffen, Schaumstoffen und Textilien; sind als Zusatzstoffe bereits mit Plastik assoziiert oder werden aus der Umwelt adsorbiert	Potentiell hormonaktive Substanzen, insbesondere für die Schilddrüsenfunktion; Bedenken bezüglich Auswirkungen auf die neurologische Entwicklung, das Verhalten, das Immunsystem sowie die Leber
	Polychlorbiphenyle (PCB)	Ehemals Flammschutzmittel und Weichmacher in einigen Plastiksorten; Isolierflüssigkeiten in Transformatoren	Toxisch für das Immunsystem, die Fortpflanzung sowie die Entwicklung des Nervensystems bei einer großen Bandbreite an Tieren; kann Leberschäden und einige Krebsarten verursachen
Schadstoffe	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)	Produkte der unvollständigen Verbrennung fossiler Energieträger; auch als Inhaltsstoffe in Ölen und Steinkohleteer	Persistent und bioakkumulierend; teilweise auch karzinogen, mutagen und reproduktionstoxisch
	Pestizidrückstände wie DDT and HCH	Ehemals Insektizide für landwirtschaftliche und städtische Zwecke; DDT mittlerweile jetzt auf die Malariabekämpfung beschränkt	DDT: hochgiftig für Wasserlebewesen, potenziell hormonaktiv sowie reproduktionstoxisch HCH: toxisch für Leber und Nieren; unter Verdacht, hormonaktiv sowie karzinogen zu sein

Tabelle 1: Beispiele häufiger Schadstoffe (Monomere, Zusatzstoffe sowie Umweltschadstoffe), die man in Verbindung mit Mikroplastik gefunden hat

3. Folgen des Mikroplastiks für die menschliche Gesundheit:

Verzehr von Plastik-belastetem Fisch und Meeresfrüchten

Die Erforschung der toxikologischen Folgen von Mikroplastik, das durch belastete Meeresorganismen auf Menschen übertragen wird, steckt noch in den Kinderschuhen und erfordert weitere Untersuchungen (Law & Thompson, 2014).

Aufgrund des weit verbreiteten Vorkommens von Mikroplastik in kommerziell genutzten Meeresorganismen (insbesondere auch solchen Arten, bei denen das gesamte weiche Fleisch verzehrt wird, wie etwa bei Muscheln), ist es unvermeidbar, dass Menschen zumindest eine gewisse Menge an Plastikpartikeln aufnehmen. Obwohl man bereits versucht hat, die menschliche Mikroplastik-Aufnahme einzuschätzen, ist die tatsächliche Belastung großen Schwankungen unterworfen und in der Praxis nach wie vor sehr schwer zu quantifizieren.

Galloway & Lewis (2016) haben eine Reihe möglicher Risiken für die menschliche Gesundheit im Zusammenhang mit der Aufnahme von Mikroplastik aus Fisch und Meeresfrüchten identifiziert. Unter anderem geht es dabei um direkte Wechselwirkungen zwischen den Plastikpartikeln und menschlichen Zellen oder auch Gewebe – einschließlich des Potenzials von Mikroplastik, eine wesentliche zusätzliche Expositionsquelle für toxische Substanzen zu sein, aufgrund ihrer Tendenz, Schadstoffe zu adsorbieren und desorbieren bzw. auszulaugen. Noch klaffen jedoch große Lücken bei wissenschaftlichen Erkenntnissen und

wissenschaftlichem Verständnis, sodass es schwierig ist, das Risiko für die menschliche Gesundheit einzuschätzen.

Ein umfassender Bericht des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP, 2016) weist – trotz der Schlussfolgerung, dass Mikroplastik in Fisch und Meeresfrüchten derzeit kein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellt – auch auf die Grenzen der Daten sowie auf Restunsicherheiten hin. Der Bericht betont insbesondere, dass keine ausreichenden Beweise vorlägen, um das Potenzial hinsichtlich der Schadstoffübertragung von Mikroplastik auf das Fleisch von Fischen und die Aufnahme durch Prädatoren (einschließlich Menschen) einschätzen zu können. Weiter kommt UNEP zu dem Schluss, dass unser Verständnis des Verhaltens und der Toxizität von Plastikpartikeln im menschlichen Körper noch sehr lückenhaft ist. Dennoch weist der Bericht darauf hin, dass Mikroplastik das Potenzial hat, als Oberfläche für den Transport und die Verteilung – konkret: als Überträger – von menschlichen Krankheitserregern zu fungieren.

Viele der Schadstoffe, von denen man weiß, dass sie mit Mikroplastik assoziiert sind oder leicht auf der Oberfläche von Mikroplastik adsorbieren, haben sicherlich eine Relevanz für die Gesundheit von Menschen und wild lebenden Tieren. Die nebenstehende Übersicht (*siehe Tabelle 1*) listet einige dieser Substanzen sowie deren bekannte toxikologische Risiken auf – unabhängig vom Expositionsweg.

Die medizinische Forschung ist nützlich, um die potenziellen Folgen der Aufnahme von Mikroplastik für Menschen zu ermitteln, insbesondere im kleinsten (Nano-)Bereich. Aus der medizinischen Literatur weiß man bereits, dass Nanopartikel, die kleiner als 100 Nanometer sind, mittels Endozytose in die Zellen aufgenommen werden können. Nanopartikel, die größer als 100 Nanometer sind, werden hingegen durch Phagozytose (mittels eines Makrophagen) aufgenommen. Weitere Überlegungen, die bei der potenziellen Toxizität von Mikroplastik für Menschen relevant sind, umfassen die Größe und Form (sphärisch, stabförmig, dreieckig) der Plastikpartikel sowie die Folgen, wenn sich viele der Teilchen ansammeln (Ojer *et al.*, 2015).

4. Schlussfolgerungen

Mikroplastik ist überall in der Meeresumwelt vorhanden. Wir wissen aus zahlreichen Studien mit analysierten Feldproben sowie aus Laborversuchen, dass die Plastikpartikel von vielen verschiedenen Meeresorganismen aufgenommen und in die Nahrungskette übertragen werden können. Forscher arbeiten zurzeit daran, die physischen und/oder chemischen bzw. toxikologischen Auswirkungen des Mikroplastiks auf Meeres- und andere Organismen zu identifizieren.

Man muss sich jedoch vor Augen halten, dass die Mikroplastikforschung nach wie vor in den Kinderschuhen steckt. Noch bestehen viele Unsicherheiten und Wissenslücken bezüglich der Auswirkungen von Mikroplastik auf die Meeresumwelt im Allgemeinen, und auf Fisch und Meeresfrüchte sowie die menschliche Gesundheit im Besonderen. Eine abschließende Beurteilung ist derzeit noch schwierig.

Um Risiken für Mensch und Umwelt von vorneherein zu vermeiden, ist es daher unerlässlich, das Vorsorgeprinzip anzuwenden – in jeglicher Hinsicht.





5. Empfehlungen für die weitere Forschung

1. Standardisierung der Protokolle zur präzisen Identifizierung und Quantifizierung von Mikroplastik und assoziierten/adsorbierten Schadstoffen in Organen und Geweben von Fisch und Meeresfrüchten sowie in der Meeresumwelt – und somit: Gewährleistung der Vergleichbarkeit von Ergebnissen bei Monitoringvorhaben und Risikobewertungen
2. Erhebung weiterer Felddaten bezüglich der Menge und Verteilung von Mikroplastik in aquatischen Ökosystemen (Meere, Flüsse, Seen), einschließlich Eintragsquellen, Transportwege und Absinkrate
3. Bestimmung der Zeit, in der sich Plastikteile verschiedener Größe und Polymersorte zu Mikroplastik zersetzen bzw. verteilen, nachdem sie in die aquatische Umwelt gelangt sind
4. Bestimmung des Aufnahmewegs von Mikroplastik bei Fisch, Krustentieren, Schalentieren und anderen Organismen, einschließlich der Unterscheidung zwischen aktiven und passiven Mechanismen
5. Bestimmung der physischen Auswirkungen von Mikroplastik auf Organe und Gewebe von Fisch, Krustentieren, Schalentieren und anderen Organismen
6. Bestimmung der subletalen Menge sowie der toxischen Auswirkungen typischer Mikroplastik-assoziiertes/adsorbierter Schadstoffe bei Fisch, Krustentieren, Schalentieren und anderen Organismen
7. Bestimmung des Umfangs, in dem Mikroplastik Membranen und Zellwände von Fisch, Krustentieren, Schalentieren und anderen Organismen durchdringt – einschließlich jene des Menschen
8. Bestimmung der Mikroplastik-induzierten Stressbelastung bei Fisch, Krustentieren, Schalentieren und anderen Organismen
9. Bestimmung des Zusammenhangs zwischen der Anreicherung von Mikroplastik und assoziierten/adsorbierten Schadstoffen und dem Alter bei Fisch, Krustentieren, Schalentieren und anderen Organismen
10. Bestimmung des Ausmaßes der Bioakkumulation von Mikroplastik und assoziierten/adsorbierten Schadstoffen in Organen und Gewebe von Fisch, Krustentieren, Schalentieren und anderen Organismen – insbesondere solcher, die von Menschen verzehrt werden; einschließlich Risikoabschätzung für eine Übertragung der Schadstoffe auf andere trophische Ebenen in der Nahrungskette



Mikroplastik an einem Strand bei
Cala en Bassi auf Mallorca, Spanien
© Bernadette Weigl / Greenpeace

Bibliographie

Avio, C. G., Gorbi, S. & Regoli, F. 'Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea.' *Mar. Environ. Res.* 111, 18–26 (2015).

Boerger, C. M., Lattin, G.L., Moore, S. L., Moore, C. J. 'Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre' *Mar. Pollut. Bull.* 60, 2275–2278 (2010).

Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., Thompson, R. C. 'Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.)' *Environ. Sci. Technol.* 42, 5026–5031 (2008).

Browne, M. A., Niven, S. J., Galloway, T. S., Rowland, S. J. & Thompson, R. C. 'Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity.' *Curr. Biol.* 23, 2388–2392 (2013).

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Galloway, T. S. 'The Impact of Polystyrene Microplastics on Feeding, Function and Fecundity in the Marine Copepod *Calanus helgolandicus*.' *Environ. Sci. Technol.* 49, 1130–1137 (2015).

Darnerud, P.O. 'Toxic effects of brominated flame retardants in man and wildlife.' *Environ. Int.* 29 841–853 (2003).

Davison, P. & Asch, R. G. 'Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre.' *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 432, 173–180 (2011).

Devriese, L. I., van der Meulen, M. D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., Robbins & Vethaak, A. D. 'Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area.' *Mar. Pollut. Bull.* 98, 179–187 (2015)

Derraik, J. G. B. 'The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review.' *Mar. Pollut. Bull.* 44, 842–852 (2002).

Eerkes-Medranoa, D., Thompson, R. C. & Aldridge, D. C. 'Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs.' *Water Res.* 75, 63–82 (2015).

Endo, S., Takizawa, R., Okuda, K., Takada, H., Chiba, K., Kanehiro, H., Ogi, H., Yamashita, R., Date, T. 'Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences' *Mar. Pollut. Bull.* 50, 1103–1114 (2005).

Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borrero, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., Reisser, J. 'Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea.' *PLoS ONE* 9(12): e111913. doi:10.1371/journal.pone.0111913 (2014).

Farrell, P. & Nelson, K. 'Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.)' *Environ. Pollut.* 177, 1–3 (2013).

Galloway, T. in *Marine Anthropogenic Litter* (Bergmann, M., Gutow, L. & Klages, M. Eds. Ch. 13, Micro- and Nanoplastics and Human Health) (Springer, 2015).

Galloway, T. & Lewis, C. 'Marine microplastics spell big problems for future generations' *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113, 2331–2333 (2016).

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

Greenpeace 'Plastic Debris in the World's Oceans' (2006).

Koelmans, A. A., Besseling, E. & Shim, W. J. in *Marine Anthropogenic Litter* (Bergmann, M., Gutow, L. & Klages, M. Eds. Ch. 12, 'Nanoplastics in the Aquatic Environment: Critical Review') (Springer, 2015).

Koelmans, A. A., Bakir, A., Allen Burton, G. & Janssen, C. R. 'Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies.' *Environ. Sci. Technol.* (2016).

- Law, K. L. & Thompson, R. C. 'Microplastics in the seas.' *Science* 345, 144–145 (2014).
- Li, H.-X., Getzinger, G. J., Lee Ferguson, P., Orihuela, B., Zhu, M. & Rittschof, D. 'Effects of Toxic Leachate from Commercial Plastics on Larval Survival and Settlement of the Barnacle *Amphibalanus amphitrite*.' *Environ. Sci. Technol.* 50, 924–931 (2016).
- Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D. & Shi, H. 'Microplastics in mussels along the coastal waters of China.' *Environ. Pollut.* 214, 177–184 (2016b).
- Lönnstedt, O. M. & Eklöv, P. 'Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology.' *Science* 352, 1213–1216 (2016).
- Lusher, A., McHugh, M. & Thompson, R. 'Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel.' *Mar. Pollut. Bull.* 67, 94–99 (2013).
- Lusher, A. L., O'Donnell, C., Officer, R. & O'Connor, I. 'Microplastic interactions with North Atlantic mesopelagic fish.' *ICES J. Mar. Sci.: J. du Conseil* 73, 1214–1225 (2016).
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C. & Kaminuma, T. 'Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment.' *Environ. Sci. Technol.* 35, 318–324 (2001).
- Mattsson, K., Ekvall, M. T., Hansson, L.-A., Linse, S., Malmendal, A. & Cedervall, T. 'Altered behavior, physiology, and metabolism in fish exposed to polystyrene nanoparticles.' *Environ. Sci. Technol.* 49, 553–561 (2015).
- Mazurais, D., Ernande, B., Quazuguel, P., Severe, A., Huelvan, C., Madec, L., Mouchel, O., Soudant, P., Robbens, J., Huvet, A. & Zambonino-Infante, J. 'Evaluation of the impact of polyethylene microbeads ingestion in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae.' *Mar. Environ. Res.* 112, 78–85 (2015).
- Michałowicz, J. 'Bisphenol A sources, toxicity and biotransformation.' *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 37, 738–758 (2014).
- Murray, F. & Cowie, P. R. 'Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758).' *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1207–1217 (2011).
- Neves, D., Sobal, P., Ferreira, J. L. & Pereira, T. 'Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast.' *Mar. Pollut. Bull.* 101, 119–126 (2015).
- Ojer, P., Iglesias, T., Azqueta, A., Irache, J. M. & López de Cerain, A. 'Toxicity evaluation of nanocarriers for the oral delivery of macromolecular drugs.' *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 97, Part A, 206–217 (2015).
- Pedà, C., Caccamo, L., Fossi, M. C., Gai, F., Andaloro, F., Genovese, L., Perdicchizzi, A., Romeo, T. & Maricchiolo, G. 'Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: Preliminary results.' *Environ. Pollut.* 212, 251–256 (2016).
- Perez-Lobato, R., Mustieles, V., Calvente, I., Jimenez-Díaz, I., Ramos, R., Caballero-Casero, N., López-Jiménez, F. J., Rubiob, S., Olea, N. & Fernandez, M.F. 'Exposure to bisphenol A and behavior in school-age children.' *NeuroToxicol.* 53, 12–19 (2016).
- Plastics Europe 'Plastics – the facts 2014/2015: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data.' (2015).
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T. & Teh, S. J. 'Ingested plastic transfers contaminants to fish and induces hepatic stress.' *Nat. Sci. Rep.* 3, 3263 (2013).
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., Rios-Mendoza, L. M., Takada, H., The, S. & Thompson, R. C. 'Classify plastic waste as hazardous.' *Nature* 494, 169–171 (2013b).
- Rochman, C. M., Lewison, R. L., Eriksen, M., Allen, H., Cook, A.-M. & Teh, S. J. 'Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats.' *Sci. Total Environ.* 476–477, 622–633 (2014).
- Rochman, C.M., Kurobe, T., Flores, I. & Teh, S.J. 'Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment.' *Sci. Total Environ.* 493, 656–661 (2014b).
- Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T. Teh, F.-C., Werorilangi, S. & The, S. J. 'Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption.' *Sci. Rep.* 5, 14340 (2015).
- Romeo, T., Battaglia, P., Pedà, C., Consoli, P., Andaloro, F. & Fossi, M. C. 'First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea.' *Mar. Pollut. Bull.* 95, 358–361 (2015).
- Rossi, G., Barnoud, J., & Monticelli, L. 'Polystyrene nanoparticles perturb lipid membranes.' *J. Phys. Chem. Lett.* 5, 241–246 (2014).
- Rummel, C. D., Löder, M., Fricke, N. F., Lang, T., Griebeler, E.-M., Janke, M. & Gerdt, G. 'Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea.' *Mar. Pollut. Bull.* 102, 134–141 (2016).
- Santana, M.F.M., Ascer, L.G., Custódio, M.R., Moreira, F.T. & Turra, A. 'Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: Rapid evaluation through bioassessment.' *Mar. Pollut. Bull.* 106, 183–189 (2016).
- Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V. & Lehtiniemi, M. 'Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web.' *Environ. Pollut.* 185, 77–83 (2014).
- Silva, A. H., Locatelli, C., Filippin-Monteiro, F., Martinc, P., Liptrott, N., Zanetti-Ramos, B., Benetti, L., Nazarif, E., Albuquerque, C., Pasae, A., Owen, A. & Creczynski-Pasa, T. 'Toxicity and inflammatory response in Swiss albino mice after intraperitoneal and oral administration of polyurethane nanoparticles.' *Toxicol. Lett.* 246, 17–27 (2016).
- Soares, A., Guieysse, B., Jefferson, B., Cartmell, E. & Lester, J.N. 'Nonylphenol in the environment: a critical review on occurrence, fate, toxicity, and treatment in waste waters.' *Environ. Int.* 34, 1033–1049 (2008).
- Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Rani, M., Lee, J. & Shim, W. J. 'A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples.' *Mar. Pollut. Bull.* 93, 202–209 (2015).
- Stockholm Convention: www.pops.int
- Sussarellua, R., Suqueta, M., Thomas, Y., Lamberta, C., Fabioux, C., Perneta, M., Le Goïca, N., Quillena, V., Minganta, C., Epelboina, Y., Corporea, C., Guyomarch, J., Robbens, J., Paul-Ponta, I., Soudanta, P. & Huveta, A. 'Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics.' *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113, 2430–2435 (2016).
- Syberg, K., Khan, F.R., Selck, H., Palmqvist, A., Banta, G.T., Daley, J., Sano, L. & Duhaime, M.B. 'Microplastics: addressing ecological risk through lessons learned.' *Environ Toxicol. Chem.* 34, 945–953 (2015).
- Teuten, E. L., Rowland, S. J., Galloway, T. S., Thompson, R. C. 'Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants.' *Environ. Sci. Technol.* 41, 7759–7764 (2007).
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Bjarn, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., Galloway, T. S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P. H., Tana, T. S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M. P., Akkhavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H. 'Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife.' *Philos. Trans. R. Soc.* B 364 (1526), 2027–2045 (2009).
- UNEP. Plastics in cosmetics: are we polluting the environment through our personal care? United Nations Environment Programme, Nairobi. ISBN 978-92-807-3466-9: 38 pp. (2015).
- UNEP/GPA. 'The State of the Marine Environment: Trends and processes.' UNEP/GPA, The Hague (2006).
- Vegter, A. C., Barletta, M., Beck, C., Borrero, J., Burton, H., Campbell, M. L., Costa, M. F., Eriksen, M., Eriksson, C., Estrades, A., Gilardi, K. V. K., Hardesty, B. D., Ivar do Sul, J. A., Lavers, J. L., Lazar, B., Lebreton, L., Nichols, W. J., Ribic, C. A., Ryan, P. G., Schuyler, Q. A., Smith, S. D. A., Takada, H., Townsend, K. A., Wabnitz, C. C. C., Wilcox, C. Young, L. C. & Hamann, M. 'Global research priorities to mitigate plastic pollution impacts on marine wildlife.' *Endang. Species Res.* 25, 225–247 (2014).
- Van Cauwenberghe, L. & Janssen, C. R. 'Microplastics in bivalves cultured for human consumption.' *Environ. Pollut.* 193, 65–70 (2014).
- Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B., van Franeker, J., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F. & Law, K. 'A global inventory of small floating plastic debris.' *Environ. Res. Lett.* 10, 124006 (2015).
- Von Moos, N., Burkhardt-Holm, N. & Köhler, A. 'Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure.' *Environ. Sci. Technol.* 46, 11327–11335 (2012).
- Wardrop, P., Shimeta, J., Nugegoda, D., Morrison, P., Miranda, A., Tang, M. & Clarke, B. 'Chemical Pollutants Sorbed to Ingested Microbeads from Personal Care Products Accumulate in Fish.' *Environ. Sci. Technol.* DOI: 10.1021/acs.est.5b06280 (2016).
- Wright, S. L., Rowe, D., Thompson, R. C. & Galloway, T. S. 'Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms.' *Curr. Biol.* 23, R1031–R1033 (2013).



Mikroplastik aus Flusswasserproben;
Tour der *Beluga II* in Deutschland
(2016).
© Fred Dott / Greenpeace.

GREENPEACE

Autoren: Kathryn Miller, Dr. David Santillo, Dr. Paul Johnston
Übersetzung: Angelika Brandt
Übersetzung und inhaltliche Überarbeitung:
Dr. Sandra Schöttner
Report-Download unter: www.greenpeace.de/plastik-in-fisch
Stand: 10 | 2016

Originalversion von: Greenpeace Research Laboratories
Veröffentlicht im Mai 2016 | ISRN: GRL-TR(R)-05-2016
Kontakt: Dr. David Santillo
Adresse: Greenpeace Research Laboratories
School of Biosciences | Innovation Centre Phase 2
University of Exeter | Exeter EX4 4RN, United Kingdom
Telefon: +44 1392 247920 | **Fax:** +44 1392 247929
Webseite: greenpeace.to/greenpeace
E-mail: isunit@greenpeace.org