

LEHRBUCH

Andreas Fath

# Mikroplastik

Verbreitung, Vermeidung,  
Verwendung



Springer Spektrum

---

Andreas Fath

# Mikroplastik

Verbreitung, Vermeidung, Verwendung



**Springer** Spektrum

Andreas Fath  
Fakultät Medical and Life Sciences  
Hochschule Furtwangen  
Villingen-Schwenningen, Deutschland

ISBN 978-3-662-57851-3      ISBN 978-3-662-57852-0 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57852-0>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: Darius Hummel

Planung/Lektorat: Rainer Münz

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

---

## Vorwort

Die Floßfahrt, die Thomas Kipp (1. Vorsitzender des Flößervereins Schiltach) mit seinem selbst gebauten Floß zusammen mit mir und meinem Sohn Enzo, Juri Jander (Masterthesis im Studiengang NBT=Nachhaltige Bioverfahrenstechnik), Michael Kipp (Sohn von Thomas) und Martina Baumgartner (Presse OT) am Samstag, den 29. April 2017, von Biberach (Schwaibacher Brücke) bis Gengenbach (Flößermuseum) bei herrlichem Sonnenschein unternahmen, war für alle, außer den Herren Kipp (Flößerverein Schiltach), eine Premiere und ein unvergessliches Ereignis der schönsten Art (Abb. 1). Alle Beteiligten konnten nur mit einer einzigen Einschränkung, auf die ich später näher eingehen werde, die Begeisterung Mark Twains aus dem Jahr 1878 nachvollziehen, die mit dem unvergleichlichen Naturerlebnis bei einer Floßfahrt verbunden ist (Twain 2014), auch wenn es heutzutage noch viele andere komfortablere Reisealternativen gibt.

Die Einschränkung gründet auf der Plastikmüllverbreitung entlang des Flusses, welches die oberflächliche Idylle stört, sobald sich der Fokus der Reise nur noch darauf richten kann. Die das Flussufer säumenden Büsche, Sträucher und



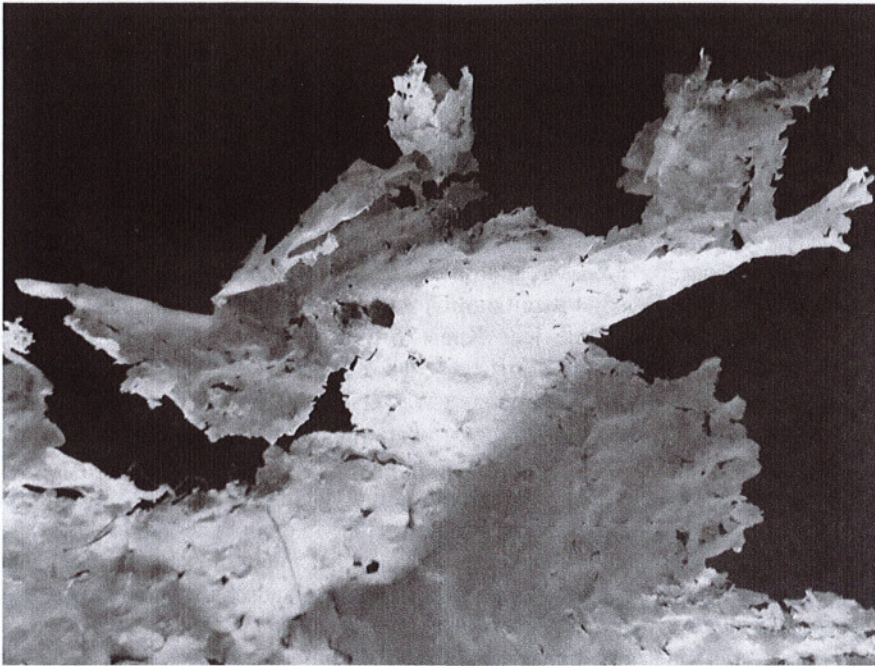
**Abb. 1** Floßfahrt der Müllsammelaktion

Bäume offenbaren durch ihre künstliche Zierde die Plastikausbeute eines Hochwassers. Wie in einem Rechen einer Kläranlage bleibt in dem Geäst alles hängen, was der Fluss mit sich führt. Sinkt der Wasserspiegel wieder ab, wird der Fang für jedermann sichtbar, im starken Kontrast zur grünen Natur. Erschreckend ist nicht alleine die Menge, denn jeder Strauch war mit seinen Filterarmen erfolgreich, sondern die Tatsache, dass der Uferbewuchs nur die Randausläufe des Flusses filtert und die Hauptmenge der Plastikfracht, nicht mehr sichtbar, mit der schneller fließenden Mittelströmung in den Rhein und ins Meer transportiert wurde. Das heißt, der sichtbare Plastikmüll ist nur die Spitze des Eisbergs und die ist schon unübersehbar (Abb. 2).

Die Plastikmüllentsorgung im Fluss und in seiner Umgebung von einigen unverantwortlich und unaufgeklärt handelnden Bürgern war, von der Flussmitte aus betrachtet, erschreckend festzustellen, und man wurde sich dabei bewusst, dass die wachsenden riesigen Plastikinseln in den Weltmeeren keine Übertreibungen sind. Weder der junge Holländer Bojan Slat mit seinen kilometerlangen schwimmenden Schlauchbarrieren noch eine Plastik fressende Raupe wird uns von der Verantwortung für unsere Gewässer entbinden, denn nur eine sachgemäße Entsorgung unserer Kunststoffabfälle kann einen weiteren Anstieg signifikant reduzieren. Nicht sichtbar ist auch die Mikroplastikfracht, welche das Gewässer mit sich trägt. Ein genauer Blick auf die „Plasikernte“ führt einem unmittelbar vor Augen, was früher oder später mit dem Plastikmüll geschieht. Er zerfällt langsam in immer kleinere Partikel und scheint sich aufzulösen (Abb. 3). Das Problem ist damit aber nicht beseitigt, denn was an der Plastikfolie fehlt, hat sich keineswegs



**Abb. 2** Plastikmüll im Geäst der Kinzig



**Abb. 3** Zerfetzte Plastiktüte

aufgelöst, sondern findet sich als Mikroplastik in unseren Gewässern wieder, wo es zu einer ernstzunehmenden Gefahr für marine Habitate, aber auch für den Menschen werden kann.

Als ich im Sommer 2014 den Rhein in der Rekordzeit von 28 Tagen von der Quelle bis zur Mündung durchschwamm, habe ich zusammen mit einem Team aus Studierenden und Mitarbeitern aus unterschiedlichen Instituten die 1231 Flusskilometer unter verschiedenen wissenschaftlichen Fragestellungen analysiert. Erstmals wurde im Rahmen des Wissenschaftsprojekts „Rheines Wasser“ ([www.rheines-wasser.eu](http://www.rheines-wasser.eu)) der Fluss über seine komplette Länge auch auf die Belastung durch Mikroplastik untersucht. Von den Schweizer Alpen bis zur Nordsee hat das Forschungsteam der HFU alle 100 Kilometer jeweils 1000 Liter des oberflächennahen Flusswassers durch ein extrem feines Metallsieb einer eigens für das Projekt angefertigten transportablen Filterpumpe gefiltert und die so gewonnenen Filterrückstände mit Unterstützung des Alfred-Wegener-Instituts auf Helgoland genauestens ausgewertet. Die Ergebnisse werden in diesem vorliegenden Buch vorgestellt und diskutiert.

### **Bereits die Rheinquelle ist belastet**

In Summe sind es rund acht Tonnen Fracht an Kleinstkunststoffteilen, die allein das Oberflächenwasser des Rheins pro Jahr in die Nordsee trägt. Dies ist nur die sprichwörtliche Spitze des Eisbergs. Die tatsächliche Belastung des Rheins mit Mikroplastik dürfte noch um ein Vielfaches höher sein. Schließlich haben wir das

Wasser nur bis zu einer Tiefe von 15 Zentimetern gefiltert. Der überwiegende Teil des Mikroplastiks sinkt aber ab und befindet sich in den unteren Schichten des Flusswassers oder im Sediment, welches noch nicht untersucht wurde.

Insgesamt zehn verschiedene Kunststoffe befinden sich im Oberflächenwasser des Rheins. Besonders hoch waren die Anteile von Polypropylen (PP), das zum Beispiel für die Herstellung von -Bechern, Eimern und deren Plastikdeckeln benutzt wird, und von Polyethylen (PE), aus dem Plastiktüten, Tuben und sonstige Verpackungen produziert werden. Zusammen machen diese beiden Kunststoffarten rund 90 % der Teilchen aus, die das Team aus dem oberflächennahen Wasser herausgefiltert hat. Dies hat damit zu tun, dass man 15 Zentimeter unter der Wasseroberfläche in erster Linie jene Kunststoffteilchen findet, die aufgrund ihrer geringen Dichte – bei PP und PE ist sie sogar geringer als die des Wassers – an der Wasseroberfläche schweben. In tieferen Wasserschichten wird man dafür vermutlich zunehmend Kunststoffe mit einer größeren Dichte wie etwa Polyvinylchlorid oder Polyurethan entdecken.

Die Verunreinigung des Rheinwassers mit Kleinstteilen aus Kunststoffen beginnt bereits im Tomasee auf 2345 Metern Höhe in den Graubündner Alpen, der gemeinhin als Rheinquelle gilt. Dieses Resultat hat mich zunächst sehr erstaunt, denn in dieser mehr oder weniger unberührten Alpenlandschaft waren Quellen für die Verunreinigung nicht auf Anhieb auszumachen.

Die alarmierenden Ergebnisse der Plastikbelastung des Rheins, über die ich in vielen Vorlesungen und Vorträgen innerhalb des Projekts „Rheines Wasser“ berichtet habe, haben mich auf die Idee gebracht, dieses Buch zu schreiben.

### **Durchgängig zu niedrige Schadstoffmesswerte?**

Entscheidend für das Gefahrenpotenzial der Gewässerunreinigungen durch Mikroplastik sind vor allem bestimmte Eigenschaften der kleinen Plastikteilchen, die sich nachteilig auf Mensch und Umwelt auswirken. Hierzu zählt an erster Stelle die Fähigkeit, organische Schadstoffe – beispielsweise die hochgiftigen Perfluorierten Tenside (PFT) – wie ein Magnet anzuziehen, diese an sich zu binden und derart weiter zu transportieren. Da das Mikroplastik aber normalerweise aus Wasserproben herausgefiltert wird, um die empfindlichen Analysegeräte nicht zu verstopfen, wird ein Teil der Schadstoffe von den heute üblichen Wasseruntersuchungen, etwa in den Rheinüberwachungsstationen, gar nicht erfasst. Ich gehe daher davon aus, dass die Belastung von Gewässern mit PFT und anderen organischen Schadstoffen, die in Kläranlagen nicht vollständig eliminiert werden, höher ist, als uns die üblichen Messungen offenbaren. Sofern nicht zusätzliche Festphasenextraktionen vorgenommen werden, bekommen wir ein falsches Bild von der tatsächlichen Qualität unserer Gewässer. Die Diskrepanzen können je nach Art, Menge und Oberflächenstruktur der Mikroplastikfracht und je nach Verteilungsgleichgewicht durchaus signifikant sein.

Dass die Kunststoffpartikel als Träger von Schadstoffen, wie PFT, fungieren ist aber auch deswegen überaus bedenklich, weil in den Gewässern lebende Organismen, wie inzwischen mehrere Untersuchungen belegen, Mikroplastik aufnehmen.

Dort gelangt es nicht nur in die Verdauungsorgane, sondern es kann darüber hinaus ebenso in das Gewebe und in Körperzellen vordringen – einschließlich der adsorbierten Schadstoffe. Ein weiteres Risiko geht zudem von den Zusatzstoffen wie Weichmachern, Flammschutzmitteln oder Farbstoffen aus, die ursprünglich die Eigenschaften des Kunststoffes verbessern sollten, sich im Zuge der im Wasser einsetzenden Zersetzung jedoch vom Kunststoff lösen und an die Umgebung abgegeben werden. Dabei besteht die Möglichkeit, dass diese bedenklichen Inhaltsstoffe auch im Innern von Fischen bei der Verdauung durch die Magensekrete aus der Kunststoffmatrix herausgelöst und ebenfalls im Gewebe eingelagert werden. Den genannten Zusatzstoffen ist eigens Abschn. 2.6 gewidmet.

### **Lösungen müssen bei den Ursachen ansetzen**

Um die Gefahren zu minimieren, die von der Verunreinigung der Gewässer mit Mikroplastik ausgehen, gilt es, dort anzusetzen, wo die Ursachen für diese Kontamination liegen. Eine wesentliche Quelle für die Verunreinigung stellen sogenannte „Microbeads“ dar. Bei diesen handelt es sich um Kunststoffformkörper im Mikrometerbereich, die vor allem als Zugaben für nahezu alle Arten von Körperpflegeprodukten – von Peelings über Sonnencremes bis hin zu Zahnpasten – hergestellt werden. Hier gibt es inzwischen alternative Feststoffe, auf die Kosmetikerhersteller ihre Produkte nach entsprechendem Druck von Umweltschutzorganisationen wie dem BUND ([www.bund.net/mikroplastik](http://www.bund.net/mikroplastik)) zunehmend umstellen. Hier kommt es sowohl auf das Konsumverhalten der Verbraucher, wie auch auf die Bereitschaft der Kosmetikindustrie zu wirklich nachhaltigem Handeln an, um Verbesserungen zu erzielen.

Dies gilt ebenso für den Umgang mit Kunststoffabfällen. Denn Mikroplastik entsteht auch durch den Zerfall von Makroplastik, also wenn größere Plastikteile wie weggeworfene PET-Getränkeflaschen oder Plastiktüten auf physikalischem, chemischem oder biologischem Weg in immer kleinere Bestandteile zersetzt werden. Dass der Rhein eine riesige Plastikmühle ist, habe ich bei meinem Schwimm-Marathon hautnah selbst erlebt. Kies, Sand und Gesteine, die der Rhein mitführt, sind härter als Kunststoffe und zermahlen abgesunkenes Plastik. So entsteht durch rein mechanischen Abrieb aus Makroplastik viel Mikroplastik.

Das unvollständige oder unsachgemäße Verbrennen von Kunststoffen, das Waschen synthetischer Textilien, mit Plastik verunreinigter Klärschlamm oder Bioabfall sind weitere Beispiele, die Mikroplastikverunreinigungen von Gewässern begünstigen. Oft ist es ein kurzsichtiges Handeln, das uns Probleme beschert – etwa wenn Verwertungsstrategien nicht konsequent zu Ende gedacht werden. Bei der Fermentation abgelaufener Obst- und Gemüseprodukte aus Supermärkten zum Beispiel werden die Produkte vor ihrer Zerkleinerung häufig nicht sorgfältig genug oder gar nicht von ihren Kunststoffverpackungen befreit. Dies hat zur Folge, dass auch die Verpackungsmaterialien zerkleinert werden und den Dünger verunreinigen, der auf die Felder ausgebracht wird. Diese geschredderten Kunststoffreste geraten dann mit dem nächsten Niederschlag ins Grundwasser oder bei Starkregen über die Kanalisation in unsere Flüsse und Seen.



Das Hauptanliegen des vorliegenden Buches ist es, ein Bewusstsein für den Einfluss von Mikroplastik auf Mensch und Natur zu schaffen. Dabei werden die kausalen Zusammenhänge zwischen Kunststoffabfällen, Mikroplastik und Umweltchemikalien erklärt. Außerdem wird dem Leser eine Arbeitsanleitung an die Hand gegeben, um selbst in der Lage zu sein, Mikroplastikpartikel und deren Inhaltsstoffe zu untersuchen. Eine Einführung in die Laserbeugungsspektroskopie sowie die Infrarotspektroskopie, angereichert durch Erfahrungen und Praxisbeispiele aus der Industrie im Bereich der Kunststoffanalytik, gehören dabei zum notwendigen Werkzeug. Quellen und Gefahren von Mikroplastik werden vorgestellt und Ergebnisse am Beispiel des wichtigsten Binnengewässers in Europa, dem Rhein, präsentiert. Es geht in dem Buch nicht nur darum, Missstände aufzudecken und anzuklagen, sondern als „hydrophiler“ Lehrender sehe ich mich einerseits weiter in der Pflicht auf die „schleichende Gefahr“ hinzuweisen, sie wissenschaftlich intensiv weiter zu untersuchen und andererseits aber auch auf der Forschungsseite Chancen zu erkennen. Kap. 4 zeigt dem Leser eine Perspektive auf, wie man die besonderen Eigenschaften von Mikroplastik für die Gewässerreinigung nutzbar machen könnte.

In ehrenvoller Pflicht möchte ich mich bei allen bedanken, die das Projekt „Rheines Wasser“ und „TenneSwim“ unterstützt haben, vor allem bei den Master-Studenten Jonas Loritz, Juri Jander und Darius Hummel sowie bei Herrn Dr. Thorsten Hüffer (Universität Wien) und Dr. habil. Nikolaus Nestle (BASF), die mir teilweise noch unveröffentlichte Daten zur Verfügung stellten. Ein besonderer Dank gilt auch dem Master-Studenten Philipp Walter Neek für das Zeichnen der Strukturformeln. Großen Dank Frau Birte Bayer von der biologischen Anstalt Helgoland des AWI, die unter der Leitung von Dr. Gunnar Gerds, zusammen mit Jonas Loritz, die Rheinproben auf Mikroplastik analysiert hat. Außerdem möchte ich mich bei meinen Assistenten Frau Dipl. Ing. Helga Weinschrott und Lars Kaiser bedanken, die zusammen mit mir das physikalisch-chemische und analytische Praktikum betreuen, aus dem einige Ergebnisse den Weg in dieses Buch gefunden haben.

Liebe Leserinnen und Leser zu guter Letzt wünsche ich Ihnen eine anregende und spannende Lektüre. Zusätzliche Informationen erhalten Sie unter [www.rheines-wasser.eu](http://www.rheines-wasser.eu), [www.facebook.com/RheinesWasser](https://www.facebook.com/RheinesWasser) und [www.tenneswim.org](http://www.tenneswim.org).

Heidelberg am Neckar  
Im Mai 2018

Herzlichst  
Prof. Dr. Andreas Fath

---

## Literatur

- Twain, M. (2014). Gesammelte Werke: Reise um die Welt; Reise durch Deutschland. Band 5 der Ausgewählten Werke in zwölf Bänden von Mark Twain, hrsg. von Karl-Heinz Schönfelder im Aufbau Verlag, Berlin. Aus dem Amerikanischen übersetzt von Ana Maria Brock. © Aufbau Verlag GmbH & Co. KG, Berlin 1963, 2008. Abdruck mit freundlicher Genehmigung.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung: Mikroplastik – eine wachsende Gefahr für Mensch und Umwelt</b> .....	1
1.1 Wie viel und wo überall sind Mikro-, Meso- und Makroplastik zu finden? .....	1
1.2 Wie gefährlich ist Mikroplastik wirklich? .....	7
1.3 Das Mikroplastikproblem beginnt vor unserer Haustür und kehrt ins Haus zurück .....	7
1.4 Gegenmaßnahmen oder Kampf gegen Plastik im Gewässer .....	9
Literatur .....	11
<b>2 Mikroplastik</b> .....	15
2.1 Definition, Entstehung und Verwendung .....	16
2.2 Gefahrenpotenziale von Kunststoffen und Mikroplastik .....	23
2.3 Untersuchungsmethoden von Mikroplastik .....	27
2.3.1 Partikelgrößenverteilung mittels Laserbeugungsspektroskopie .....	27
2.3.2 Einführung in die IR-Spektroskopie .....	39
2.3.3 Anwendungen der IR-Spektroskopie auf Kunststoffe .....	57
2.3.4 FTIR-Imaging mit ATR .....	80
2.3.5 IR-Spektren von Kunststoffen zur Identifizierung .....	84
2.4 Herstellung, Verwendung und ATR-IR-spektroskopische Identifizierung von Kunststoffen .....	101
2.4.1 Polyamid (PA) .....	101
2.4.2 Polycarbonat (PC) .....	103
2.4.3 Polyethylen (PE) .....	105
2.4.4 Polypropylen (PP) .....	106
2.4.5 Polyester .....	107
2.4.6 Polymethylmethacrylat (PMMA; Plexiglas) .....	110
2.4.7 Polystyrol (PS; Styropor) .....	110
2.4.8 Polyurethan (PU oder PUR) .....	113
2.4.9 Polyvinylchlorid (PVC) .....	116

2.4.10	(Poly-)Styrolacrylnitril (SAN) . . . . .	119
2.4.11	(Poly-)Acrylnitrilbutadienstryrol (ABS) . . . . .	123
2.4.12	Polyoxymethylen (POM), Polyformaldehyd, Polyacetal . . . . .	130
2.4.13	Polymilchsäure (PLA; <i>poly lactic acid</i> ). . . . .	132
2.5	Kunststoffinhaltsstoffe (Additive): Eigenschaften und Verwendung. . . . .	145
2.5.1	Weichmacher . . . . .	146
2.5.2	Gleitmittel . . . . .	161
2.5.3	Stabilisatoren . . . . .	163
2.5.4	Flammschutzmittel. . . . .	169
2.5.5	Pigmente. . . . .	174
2.6	Bisherige Ergebnisse von Mikroplastik in Gewässern. . . . .	182
2.6.1	Mikroplastik in Binnengewässern am Beispiel des Rheins . . . . .	188
2.7	Alternative und ergänzende Mikroplastikanalyseverfahren im Vergleich . . . . .	219
2.7.1	Raman-Mikroskopie. . . . .	219
2.7.2	Flüssigextraktion . . . . .	224
2.7.3	Thermische Extraktion und Desorption (TED-GC-MS). . . . .	225
2.8	Ausblick in die Mikroplastikentwicklung . . . . .	229
2.9	Vermeidung von Mikroplastik . . . . .	231
	Literatur. . . . .	232
<b>3</b>	<b>Mikroplastik als Chance.</b> . . . .	243
3.1	Passivsammler als Wasserfilter . . . . .	244
3.2	Mikroplastik als Wasserfilter . . . . .	249
3.2.1	Messung der Adsorption von Substanzen an Mikroplastik . . . . .	252
3.2.2	Grundlagen zur Adsorption . . . . .	253
3.2.3	Adsorptionsisothermen . . . . .	256
3.2.4	Sorption von wässrig gelösten organischen Substanzen an Mikroplastikpartikeln. . . . .	266
3.2.5	Sorption von Hormonen an Mikroplastik . . . . .	275
	Literatur. . . . .	287
<b>4</b>	<b>Schlusswort</b> . . . . .	291
<b>5</b>	<b>Anhang</b> . . . . .	295
	Literatur. . . . .	296
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	297

---

# Einleitung: Mikroplastik – eine wachsende Gefahr für Mensch und Umwelt

1

## Inhaltsverzeichnis

1.1	Wie viel und wo überall sind Mikro-, Meso- und Makroplastik zu finden? .....	1
1.2	Wie gefährlich ist Mikroplastik wirklich? .....	7
1.3	Das Mikroplastikproblem beginnt vor unserer Haustür und kehrt ins Haus zurück .....	7
1.4	Gegenmaßnahmen oder Kampf gegen Plastik im Gewässer .....	9
	Literatur .....	11

Das Thema „Umweltverschmutzung durch den Menschen“, sei es durch CO<sub>2</sub>-Emissionen oder radioaktiven Atommüll, und wie man dieser entgegenwirken kann, gewinnt mehr und mehr an Bedeutung. Dabei spielt der Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt eine ganz besondere Rolle (Cressey 2016). Kunststoffe sind nahezu überall in der Umwelt zu finden, selbst fernab menschlicher Zivilisation, und sie bauen sich innerhalb eines Menschenlebens nicht ab. Somit spüren wir selbst die Konsequenzen dieser Art Umweltverschmutzung am eigenen Leib und das Handlungsmotto vieler Bürger: „Aus den Augen aus dem Sinn“ fällt uns sprichwörtlich an den Stränden vor die Füße (Cressey 2016) bzw. über das Meersalz ins Essen (Jander 2017).

---

### 1.1 Wie viel und wo überall sind Mikro-, Meso- und Makroplastik zu finden?

Seit 1976 ist Kunststoff der am meisten verwendete Werkstoff der Welt (ifw-Hamburg 2017). Seit seinem Boom in den 1960er-Jahren wurden schätzungsweise 8,3 Mrd. Tonnen Kunststoff weltweit produziert (Garms 2017). Einer Studie der Zeitschrift *Science* zufolge gelangten 2015 bis zu 12,7 Mio. Tonnen Kunststoff in die Weltmeere. Aufgrund der weiter steigenden Produktionsmenge von Kunststoff ist ohne