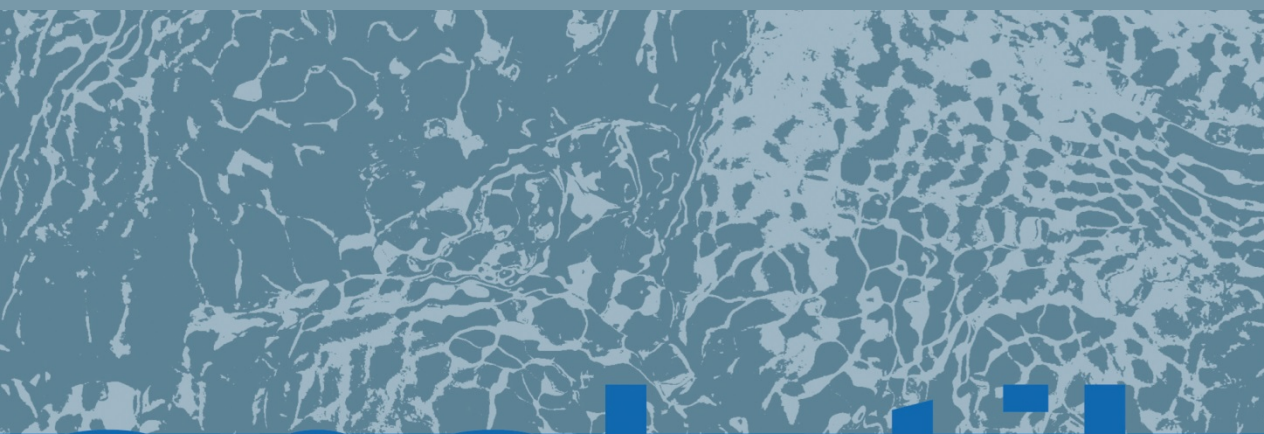




Mikroplastik in der Umwelt



analytik



Mikroplastik in der Umwelt

Impressum

Mikroplastik in der Umwelt
Statuskolloquium des LfU vom 05. – 06.07.2018

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de/

Redaktion:

LfU Referat 12

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt / Autoren

Stand:

Juli 2018; ergänzte Online-Fassung

Der Tagungsband steht als PDF-Datei zum kostenfreien Download zur Verfügung: www.bestellen.bayern.de/ (Kategorie Umwelt und Verbraucherschutz).

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Mikroplastik in der Umwelt- mehr Fragen als Antworten	5
Prof. Dr. Christian Laforsch, Universität Bayreuth	
Mikroplastik in Binnengewässern – Aktivitäten des BMU	6
Heide Jekel, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	
Nachweis von Mikroplastikpartikeln mittels optischer Spektroskopie - FTIR- versus Raman- und SWIR-Spektroskopie	8
Dr. Martin Löder ¹ , Isabella Schrank ¹ , Vinay-Kumar Bangalore-Narayana ¹ , Mathias Bochow ¹ , Christian Laforsch ¹	
Nachweis von Mikroplastik mittels thermoanalytischer Verfahren – wo stehen wir?	9
Dr. Georg Dierkes, Thomas Ternes, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz	
Defining the baselines and standards for microplastics analyses in European waters (BASEMAN)	11
Dr. Gunnar Gerdts, Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung	
Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands	12
M. Heß ¹ , P. Diehl ³ , H. Imhof ⁶ , C. Laforsch ⁶ , M. Löder ⁶ , J. Mayer ⁵ , H. Rahm ¹ , W. Reifenhäuser ² , I. Schrank ⁶ , J. Stark ⁴ und J. Schwaiger ²	
Mikroplastik in Seen – Ergebnisse aus Bayern	15
Isabella Schrank ¹ , Martin Löder ¹ , Hannes Imhof ^{1,2} , Julia Schwaiger ³ , Werner Reifenhäuser ³ , Christian Laforsch ¹	
Mikroplastik – wie relevant ist der Abwasserpfad?	16
Svenja Mintenig, Utrecht University, Copernicus Institute of Sustainable Development	
Minimierung des Eintrags von Mikrokunststoffen - Handlungsoptionen	18
Dr. Claus Gerhard Bannick, Nathan Obermaier, Joachim Heidemeier, Umweltbundesamt, Berlin	
Kunststoff in der Umwelt – Handlungsoptionen aus Sicht der Kunststoffindustrie	21
Dr. Ingo Sartorius, PlasticsEurope Deutschland e.V., Frankfurt	
Aufnahme und Wirkung von Mikroplastik bei aquatischen Organismen	23
Tobias Geiger ¹ , Dr. Janina Domogalla-Urbansky ¹ , Hermann Ferling ¹ , Karin Scholz ¹ , Dr. Alexandra Wiesheu ² , Philipp M. Anger ² , Dr. Natalia P. Ivleva ² , Dr. Julia Schwaiger ¹	
Mikroplastik in Meeresfischen	27
Dr. Ulrike Kammann, Thünen-Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven	
Mikroplastik: Transportvehikel für POP, Mikroorganismen und Pathogene?	28
Priv. Doz. Dr. Matthias Labrenz, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Rostock	
PLASTRAT – Plastik in Binnengewässern	29
Steffen Krause, Sophia Badenberg, Annett Mundani, Christian Schaum sowie das gesamte Team von PLASTRAT, Universität der Bundeswehr München	

Mikropartikel in der aquatischen Umwelt und in Lebensmitteln – sind biologisch abbaubare Polymere eine denkbare Lösung für das „Mikroplastik-Problem“? – MiPAq 31

Prof. Dr. J. Geist^a, Dr. S. Beggel^a, Dr. H. Imhof^a, Prof. Dr. J.E. Drewes^b, Prof. Dr. M. Elsner^c, Dr. N. Ivleva^c, Prof. Dr. H.-C. Langowski^d, Dr. K. Glas^e

Innovative Analysemethoden für Submikroplastik – SubµTrack 34

Prof. Dr. J.E. Drewes^a, Dr. J. Graßmann^a, Prof. Dr. J. Geist^b, Dr. S. Beggel^b, Prof. Dr. M. Elsner^c, Dr. N. P. Ivleva^c, Prof. Dr. M.W. Pfaffl^d, Prof. Dr. R. Müller^e, Dr. K. Freier^f, Dr. K.A. Eslahian^g, Dr. J. Türk^h, Dr. C. Grieblerⁱ, Dr. R. Welz^j, Dr. C.-G. Bannick^k

Mikroplastik in Binnengewässern – das Projekt MicBin 38

Nicole Zumbülte¹, Jörg Klasmeier², Thomas Ternes³, Korbinian P. Freier⁴, Peter Fiener⁵, Astrid Rehorek⁶, Stephanie Cieplik⁷, Marco Pittroff¹, Yanina K. Müller¹, Florian R. Storck¹, Cordula Witzig¹, Peter Habermehl¹, Ann-Kathrin Reuwer², Jürgen Berlekamp², Georg Dierkes³, Tim Lauschke³, Corinna Földi³, Heike Schumacher³, Susanne Becher³, Katharina Wörle⁴, Maria Kemser⁴, Raphael Rehm⁵, Kristina Weiz⁶, Christoph Steiner⁶

Von terrestrischen Ökosystemen bis in den Ozean: Die Projekte PLAWES; PlaMoWa und MiKoBo 40

Prof. Dr. Christian Laforsch, Universität Bayreuth

Mikroplastik in der Umwelt – wo stehen wir heute? 41

Prof. Dr. Martin Thiel, Universidad Católica del Norte, Coquimbo (Chile)

Begrüßung / Tagungsleitung / Moderation / Referenten 42

Mikroplastik in der Umwelt- mehr Fragen als Antworten

Prof. Dr. Christian Laforsch, Universität Bayreuth

Kunststoffe sind ein wichtiger Bestandteil unseres Alltags geworden und haben aufgrund ihrer flexiblen Materialeigenschaften eine Vielzahl von technischen und medizinischen Innovationen erst ermöglicht. Die weltweite Produktion von Kunststoffen ist seit den 50er Jahren von 1,5 Millionen Tonnen auf 335 Millionen Tonnen im Jahr 2016 angestiegen, wobei weiterhin steigende Produktionsraten prognostiziert werden. Das Hauptsegment aus der großen Palette von Kunststoffen (~40 %) bilden Einwegprodukte der Verpackungsindustrie. Dementsprechend ist auch der Prozentsatz an anfallendem Plastikmüll rapide angestiegen. Geraten Kunststoffe jedoch in die Umwelt, können sie dort lange Zeit verbleiben ohne abgebaut zu werden. Verunreinigungen aquatischer Ökosysteme mit Kunststoffmüll stellen demzufolge ein Umweltrisiko dar, das immer stärker in den Blickpunkt des öffentlichen Interesses rückt. Aufgrund von Degradationsprozessen zerfällt der Müll zu sogenanntem „Mikroplastik“. Mikroplastikpartikel können zudem z.B. aus Kunststoffbekleidung, Reinigungsmittel oder Kosmetika über das Abwasser und die Kläranlagen in aquatische Ökosysteme gelangen. Eine weitere potentielle Eintragsquelle stellt der Abrieb von unterschiedlichen Kunststoffprodukten (z.B. Landwirtschaft, Bauindustrie, Verkehr) dar, der über den Wind oder den Abfluss von Regenwasser in Gewässer eingetragen werden kann. Die bisherigen Untersuchungen richteten ihren Schwerpunkt stärker auf die marine Umwelt aus. Dabei wurde festgestellt, dass die marinen Ökosysteme mit enormen Mengen von Plastikmüll belastet sind - mit entsprechend negativen Auswirkungen auf die Biota. Allerdings zeigen aktuelle Studien, dass auch limnische und terrestrische Ökosysteme durch Mikroplastik gefährdet sind. Diese Systeme fungieren daher nicht nur als Quelle von Kunststoffpartikeln für die Ozeane, sondern auch, zumindest vorübergehend, als Senke. Dies kann mit allen damit verbundenen schädlichen Folgen für die marinen Ökosysteme einhergehen. Trotz der bereits durchgeführten Studien zur Kontamination und Umweltrelevanz von Mikroplastik, sind bedingt durch die Komplexität der Thematik noch viele Fragen ungeklärt, so dass weiterhin dringlicher Forschungsbedarf auf diesem Gebiet besteht.

Mikroplastik in Binnengewässern – Aktivitäten des BMU

Heide Jekel, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

1. Mikroplastik in Binnengewässern ist ein vergleichsweise neues Thema. Durch die Einführung eines Deskriptors für Meeressmüll in der Meeresstrategierahmen-Richtlinie und die nachfolgenden Diskussionen in der Meeresschutz-Community auf nationaler, EU- und globaler Ebene werden zunehmend die Fließgewässer als Eintragspfade thematisiert. Die Meereskollegen/innen erwarten Antworten zur Reduktion des Eintrags von Müll auch von Seiten der Binnengewässer.

2. Die bisher vorliegenden Studien national wie international sind wegen fehlender standardisierter Probenahme- und Analyseverfahren nicht vergleichbar und erlauben keine belastbaren Schlussfolgerungen. Sicher ist, dass Mikroplastik in Binnengewässern weit verbreitet ist. Die Quellen sind im Wesentlichen bekannt. Welche Mengen welchen Quellen zuzuordnen sind, ist nicht geklärt. Eine Quantifizierung der Belastung der Binnengewässer mit Mikroplastik ist derzeit kaum möglich.

Die von BMU unterstützte European Conference on Plastics in Freshwater Environments von UBA und BfG in Berlin im Juni 2016 hat die Kenntnisdefizite deutlich gemacht und aufgezeigt, wo Handlungsbedarf und Lösungsansätze bestehen.

3. Die regionalen Meereskommissionen OSPAR und HELCOM haben Aktionspläne zu Meeressmüll verabschiedet, die auch eine Zusammenarbeit mit den Flussgebietskommissionen vorsehen, deren Flüsse in diese Meeresregionen entwässern. BMU ist hier zusammen mit den Niederlanden bei OSPAR aktiv.

Die OSPAR-Kommission hat mit BMU im Juni 2017 einen Workshop in Bonn mit Vertretern/innen mehrere Flussgebietskommissionen und anderen Stakeholdern organisiert. Das Ergebnis des Workshops macht deutlich, dass die Zusammenarbeit zwischen den Meeres- und Flussgebietsgremien intensiviert werden muss und dass es no-regret-Maßnahmen gibt, die jetzt schon ergriffen werden können, um zur Reduktion des Eintrags von Müll aus Flüssen beizutragen.

4. BMU vertritt Deutschland in 6 internationalen Flussgebietskommissionen. Einige dieser Kommissionen haben begonnen, das Thema „Plastik in Binnengewässern“ zu diskutieren. Es wurden erste Aktivitäten ergriffen, vor allem in den Internationalen Kommissionen zum Schutz des Rheins (IKSR) und zum Schutz der Donau (IKSD).

Zum einen werden am Rhein seit einigen Jahren die nationalen Aktivitäten und Studien ausgetauscht und in einem living document zusammengestellt. Aufgrund des o.g. OSPAR-Workshops diskutiert die IKSR gerade, in welchem Bereich sie tätig werden könnte. Sie sieht derzeit vor allem Möglichkeiten in Bezug auf die Bewusstseins-schaffung in der Öffentlichkeit, insbesondere zum Littering, z. B. durch geeignetes Informationsmaterial oder ggf. auch die Organisation von grenzüberschreitenden Müllsammelaktionen im Einzugsgebiet. Es gibt noch keine Entscheidungen. Im Meeresschutz gibt es bereits Leitlinien für die Sammlung und Erfassung von Müll an Stränden, auf denen man aufbauen könnte.

Die IKSD wird im Rahmen des Joint Danube Survey 4, einer alle sechs Jahre stattfindenden gemeinsamen Messkampagne der Donaustaaten, auch Mikroplastik an ausgewählten Messstellen beproben und mit einer neuen Analysemethode (thermoanalytisches Verfahren – TED-GC-MS) auswerten. So sollen vergleichbare Daten zur Verfügung stehen. Hier ist das UBA federführend.

5. BMU arbeitet beim Thema „Plastik in Binnengewässern“ nicht nur eng mit dem UBA als seiner nachgeordneten Behörde zusammen, sondern auch mit der BfG, der BAM und dem BMBF. Mit dem Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“ des BMBF mit 18 Verbundprojekten mit etwa 100 beteiligten Institutionen und einem Gesamtbudget von insgesamt 35 Mio. Euro wird es in vielen Bereichen neue Erkenntnisse geben. Das UBA ist in einigen der Projekte aktiv, ebenso die BAM und die BfG. BMU ist im Begleitkreis vertreten.
6. Im Ressortforschungsplan 2019 des BMU ist ein größeres 3-jähriges Vorhaben geplant, um am Rhein an mehreren Messstellen ein repräsentatives Probenahmeverfahren zu entwickeln und die Proben mit thermoanalytischen Verfahren, insbesondere dem neuen TED-GC-MS, auszuwerten. Ziel ist vor allem eine belastbare Quantifizierung von Mikroplastik in großen Flüssen und die Entwicklung standardisierter Verfahren. UBA, BAM und BfG werden dieses Vorhaben betreuen, dessen Verwirklichung BMU mit vorangetrieben hat. Eine endgültige Entscheidung wird im Herbst vorliegen.

UBA wird – auch aufgrund des von BMU erkannten Bedarfs im Wasser- und Abfallbereich - ein eigenes TED-GC-MS-Gerät erhalten. Anlass war u. a. die Notwendigkeit der Beprobung von Kompost und Gärrückständen.
7. Die Zusammenarbeit innerhalb des BMU zwischen Meeres-, Binnengewässer-, Abfall-, Chemikalien- und Umwelt und Gesundheitskollegen/innen wird weiter intensiviert. Dazu tragen die Vorschläge der EU-Kommission (Plastikstrategie; Vorschlag für eine Richtlinie zu Einwegprodukten aus Kunststoff) wie auch zunehmende Anfragen von politischer Seite bei. Auf die umfangreiche Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen in BT-Drs. 19/2451 zu „Mikroplastik – Gefahr für Umwelt und Gesundheit“ wird beispielhaft hingewiesen.

Nachweis von Mikroplastikpartikeln mittels optischer Spektroskopie - FTIR- versus Raman- und SWIR-Spektroskopie

Dr. Martin Löder¹, Isabella Schrank¹, Vinay-Kumar Bangalore-Narayana¹, Mathias Bochow¹, Christian Laforsch¹

¹Universität Bayreuth

Heutzutage ist eine Welt ohne Kunststoffe kaum mehr vorstellbar. Die Weltproduktion an Kunststoffen wächst exponentiell und gleichzeitig gelangt immer mehr Kunststoffmüll in aquatische und terrestrische Lebensräume. Unter natürlichen Bedingungen werden Kunststoffe kaum abgebaut und akkumulieren deswegen in der Umwelt. Neben dem direkten Eintrag führt der Zerfall von größerem Kunststoffmaterial zu einer Anhäufung von mikroskopischen Kunststoffpartikeln, sogenanntem Mikroplastik.

Aufgrund seiner Größe (< 5 mm) birgt Mikroplastik das Risiko in die Nahrungskette zu gelangen. Neben rein physikalischen Schädigungen wird auch die Aufnahme und Akkumulation von Schadstoffen aus den Mikroplastik-Partikeln diskutiert. Wie sich dies auf den einzelnen Organismus bzw. das Nahrungsnetz auswirkt, ist bislang nicht ausreichend untersucht, jedoch sind negative Folgen zu befürchten. Für die zuverlässige Evaluierung der biologischen Risiken von Mikroplastik in der Umwelt sind zuallererst gesicherte Daten zu Konzentrationen, der Polymer-Zusammensetzung und dem Verbleib von Mikroplastik notwendig.

Möglichkeiten zur Bestimmung von Kunststoffen bieten unter anderem optische Spektroskopiemethoden wie die FTIR-, die Raman- und die SWIR-Spektroskopie. Die technische Kopplung von optischer Vergrößerung oder Mikroskopie mit den spektroskopischen Methoden erlaubt die Detektion kleiner und kleinster Mikroplastik-Partikel und bietet mittlerweile gleichzeitig die Möglichkeit der high-throughput Analyse. Eine Grundvoraussetzung für die Messung von Umweltproben ist jedoch die Reduzierung der Matrix. Erst dann können die Methoden zur Detektion von Mikroplastikpartikeln in Umweltproben angewendet werden.

Innerhalb des Bayerischen Pilotprojektes wurde die Methodik des FTIR-Imaging, Raman – und SWIR Spektroskopie für die Analyse von Mikroplastik-Partikeln verglichen und in einem weiteren Schritt wurden geeignete Extraktions- und Aufreinigungsmethoden für Mikroplastik aus unterschiedlichen Matrices etabliert. Die methodischen Ergebnisse sind Gegenstand des Vortrags.

Nachweis von Mikroplastik mittels thermoanalytischer Verfahren – wo stehen wir?

Dr. Georg Dierkes, Thomas Ternes, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Für die Bilanzierung von Mikroplastikfrachten in Gewässern ist die Erfassung der Belastung in Massenkonzentrationen notwendig. Allerdings stellt die Quantifizierung von Mikroplastik in Umweltproben eine große Herausforderung dar. Auf Grund der besonderen Stoffeigenschaften von Kunststoffen (sehr hohe Molekulargewichte, schlechte Löslichkeit) lassen sich klassische Analysemethoden (z. B. GC-MS, LC-MS-MS) nicht anwenden. Bei hohen Temperaturen (400 – 600 °C) kommt es innerhalb der Molekülstruktur der Polymere zu Kettenbrüchen und die Makromoleküle zerfallen in kleinere Fragmente. Wird dieser als Thermolyse bezeichnete Prozess unter einer inerten Atmosphäre, also unter Ausschluss von Sauerstoff, durchgeführt, finden keine Oxidationsreaktionen sondern lediglich intramolekulare Eliminations- und Umlagerungsreaktionen statt. Das Muster dieser niedermolekularen Reaktionsprodukte ist für die verschiedenen Kunststoffarten spezifisch und lässt sich wie ein Fingerabdruck für die Identifizierung von Kunststoffen heranziehen. Bestimmte Thermolyseprodukte entstehen ausschließlich bei der Thermolyse einer Kunststoffart und lassen sich somit als spezifische Markerverbindungen für diese Kunststoffsorte einsetzen. Über die Quantifizierung dieser Verbindungen lässt sich der Gehalt des Kunststoffs in Umweltproben indirekt bestimmen. Für die wichtigsten Kunststoffarten Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polyethylenterephthalat (PET), konnten solche spezifischen Markerverbindungen ermittelt werden.

Zurzeit werden zwei verschiedene thermoanalytische Verfahren eingesetzt: Die an der Bundesanstalt für Materialkunde entwickelte ThermoExtraktion & Desorption-GC-MS (TED-GC-MS) und die an der Bundesanstalt für Gewässerkunde eingesetzte Pyrolyse-GC-MS (Pyr-GC-MS). Bei der TED-GC-MS wird die Probe (ca. 50 mg) in einer Thermowaage erhitzt und die im Temperaturbereich von 300-600 °C entstehenden Thermolyseprodukte an einem Absorber (PDMS) angereichert. Der Absorber wird automatisch in einen Thermodesorptionsinjektor überführt und die Thermolyseprodukte nach erfolgter Thermodesorption gaschromatographisch getrennt und massenspektrometrisch detektiert. Bei der Pyr-GC-MS-Methode werden die Proben (ca. 20 mg) zunächst bei 330 °C thermisch vorbehandelt, um leichtflüchtige Bestandteile auszutreiben und natürliche Polymere (Cellulose, Chitin etc.) thermisch zu zersetzen. In einem zweiten Schritt werden die Proben bei 600 °C flash-pyrolysiert und die Pyrolyseprodukte mittels GC-MS analysiert. Für beide Verfahren ist keine zeitaufwendige Probenvorbereitung (Dichtentrennung, oxidative Behandlung usw.) notwendig und die Analysenzeit beträgt lediglich 1-2 Stunden. Die wichtigsten Polymerarten (PE, PP, PS und PET) lassen sich mit diesen Methoden zuverlässig quantitativ erfassen. Die unteren Quantifizierungsgrenzen liegen je nach Kunststoffsorte und Matrix zwischen 30 µg/g und 4 µg/g.

In einem Ringversuch konnte gezeigt werden, dass die thermoanalytischen Verfahren bei der qualitativen Bestimmung von Mikroplastik den spektroskopischen Verfahren (µFT-IR, Raman) ebenbürtig sind. Bei der Quantifizierung sind sie diesen weit überlegen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit den thermoanalytischen Verfahren (TED-GC-MS, Pyr-GC-MS) Analysemethoden zur Bestimmung von Mikroplastikkonzentrationen, ausgedrückt in Massenkonzentrationen (mg/kg), in Umweltproben zur Verfügung stehen. Die Methoden sind wesentlich schneller als die spektroskopischen Methoden, liefern allerdings keine Aussage über die Partikelanzahl, -form und -größenverteilung. Da die Methoden auf die Auswahl von Markerverbindungen und eine Kalibrierung angewiesen sind, können nur vorher ausgewählte Kunststoffarten erfasst werden. So

werden hauptsächlich die Massenkunststoffe erfasst, aber ggf. seltene Spezialkunststoffe übersehen. Ein weiterer Nachteil sind die vergleichsweise hohen Bestimmungsgrenzen, die für einen Mikroplastiknachweis vor allem in den kleinen Partikelfractionen ($< 20 \mu\text{m}$) hohe Partikelanzahlen ($> 1.000\text{-}6.000$ Partikel pro g Probe) voraussetzen.

Die beiden genannten Methoden werden zurzeit für den Nachweis von Mikroplastik in den Rückständen aus der Filtration von Oberflächengewässern, Straßenabläufen, Klärwerkszu- und -abläufen eingesetzt. Des Weiteren werden Böden und Sedimente mit diesen Methoden untersucht.

Defining the baselines and standards for microplastics analyses in European waters (BASEMAN)

Dr. Gunnar Gerdtz, Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

Seit Mitte des letzten Jahrhunderts ist die weltweit rapide steigende Produktion von Kunststoffen mit einer in der marinen Umwelt zunehmenden Menge an Plastik-Müll verbunden. Der Plastik-Müll wird durch Meeresströmungen und Winde verbreitet, bzw. treibt in Strömungs-Wirbeln zusammen. Aufgrund der weitgehenden Persistenz von Plastik zersetzt sich dieses nicht, sondern zerfällt mit der Zeit in immer kleiner werdende Fragmente (Mikroplastik). Diese sogenannte sekundäre Mikroplastik sorgt zusammen mit Mikropartikeln z. B. aus Verbraucherprodukten (primäres Mikroplastik) für einen extremen Anstieg der Menge von Plastikpartikeln kleiner als 5 mm in der Umwelt. Das ubiquitäre Vorkommen, sowie die massive Akkumulation von Mikroplastik in marinen Lebensräumen und die Aufnahme von Mikroplastik durch eine Vielzahl von marinen Lebewesen wird inzwischen durch Forschung, Öffentlichkeit und Regierungsbehörden weltweit mit Besorgnis wahrgenommen.

Auch wenn das Bewusstsein für mögliche Risiken stark zunimmt, so ist doch der Einfluss von Mikroplastik auf marine Ökosysteme weit davon entfernt verstanden zu sein. Ein fundamentales Problem, das Fehlen von standardisierten Vorgehensweisen (Standard Operating Procedures (SOP)) für die Probennahme oder die Detektion von Mikroplastik verhindert gegenwärtig eine verlässliche Risikoabschätzung. Experimentelle Ansätze können daher kaum oder gar nicht mit Daten aus der Umwelt in den Kontext gesetzt werden. Aktuell wird die Vergleichbarkeit durch die hohe Varianz von Methoden, welche jeweils Daten extrem unterschiedlicher Qualität und Auflösung erzeugen, erschwert. Dadurch ist die steigende Zahl von Mikroplastikstudien schwer vergleichbar.

BASEMAN ist ein internationales interdisziplinäres gemeinschaftliches Forschungsprojekt, welches zum Ziel hat, für diese Probleme Lösungen zu entwickeln und anzubieten. In BASEMAN arbeiten erfahrene Wissenschaftler aus verschiedenen Forschungsbereichen und Ländern zusammen, um fundiert und detailliert alle Ansätze von Probennahme bis Identifikation von Mikroplastik zu vergleichen und zu bewerten. Die Ergebnisse des BASEMAN Projekts sollen Gesetzgeber mit Werkzeugen und operativen Maßnahmen ausstatten, welche für die Beschreibung und Bewertung der Häufigkeit und Verteilung von Mikroplastik notwendig sind. Diese Werkzeuge werden es erlauben die Konformität der existierenden und zukünftigen Anforderung an ein Mikroplastik-Monitoring zu bewerten.

Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands

M. Heß¹, P. Diehl³, H. Imhof⁶, C. Laforsch⁶, M. Löder⁶, J. Mayer⁵, H. Rahm¹, W. Reifenhäuser², I. Schrank⁶, J. Stark⁴ und J. Schwaiger²

¹Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), ²Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), ³Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RLP), ⁴Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), ⁵Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), ⁶Universität Bayreuth (UBT), Lehrstuhl Tierökologie I

Kunststoffe sind aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zu einem unverzichtbaren Bestandteil unseres Alltags geworden. Die weltweite Plastikproduktion stieg in den letzten 25 Jahren um gut das Dreifache und lag allein im Jahr 2015 bei etwa 322 Millionen Tonnen. Durch unsachgemäße Handhabung oder Entsorgung geraten Kunststoffe in die aquatische Umwelt, wo sie kaum abgebaut werden und über lange Zeiträume persistieren können. Schätzungen zufolge gelangen jährlich zwischen 4,8 und 12,7 Millionen Tonnen Plastikmüll in Meere und Ozeane. Obwohl Flüsse schon lange als Eintragspfad für (Mikro)plastik in marine Ökosysteme diskutiert werden, erfolgen systematische Untersuchungen in Fließgewässern erst in jüngerer Zeit. Entsprechend gibt es noch keine vereinheitlichten Monitoring-Verfahren und unterschiedliche Verfahren befinden sich in der Entwicklungsphase. Die Ergebnisse aus den wenigen verfügbaren Studien lassen sich daher meist nicht untereinander vergleichen.

Um einen einheitlichen Datensatz über ein größeres geographisches Gebiet mit unterschiedlichen Fließgewässertypen zu generieren, haben sich fünf Bundesländer (Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz) mit ihren jeweiligen Monitoring-Projekten zusammengeschlossen und mit dem gemeinsamen Kooperationspartner (Universität Bayreuth) Mikroplastik-Konzentrationen in unterschiedlichen Kompartimenten von süd- und westdeutschen Fließgewässern ermittelt. Im Rahmen dieser Pilot-Projekte wurden oberflächennahe Wasserproben von insgesamt 52 Messstellen in 22 Fließgewässern im Einzugsgebiet von Rhein und Donau entnommen. Neben den beiden großen Strömen wurden Zuflüsse unterschiedlicher Größenordnung beprobt und dabei ein breites Spektrum hydrologischer Gegebenheiten sowie anthropogener Einflüsse abgedeckt.

Die Probenahmen erfolgten mit einem MantaTrawl (300 µm Maschenweite), das je nach örtlichen Gegebenheiten entweder in der Gewässermitte fixiert oder von einem Schiff aus diagonal über die Gewässer Oberfläche gezogen wurde. Nach einer enzymatischen Aufreinigung wurden alle Partikel spektroskopisch analysiert. Größere Objekte (> 500 µm) wurden mittels ATR (Attenuated Total Reflectance) basierter FTIR Spektroskopie charakterisiert, kleinere Partikel, bis zu einer Untergrenze von 20 µm, mittels FPA (Focal Plane Array) basierter FTIR Mikrospektroskopie. Neben der Anzahl, wurden auch Größe, Form und Polymertyp der einzelnen Partikel bestimmt. Für die weitere Ergebnisbetrachtung werden die Partikel nach Größenklassen differenziert. Dabei werden die allgemeingültig verwendeten Kategorien Makroplastik (> 5 mm), großes Mikroplastik (5 – 1 mm) und kleines Mikroplastik (300 µm – 1 mm) unterschieden und zusätzlich die Kategorie sehr kleines Mikroplastik (300 µm – 20 µm) eingeführt. Damit können die analytischen Möglichkeiten, Partikel bis zu einer unteren Bestimmungsgrenze von 20 µm zu erfassen, ausgeschöpft werden; gleichzeitig wird werden Partikel kleiner Maschenweite separat als semi-quantitativ erfasste Fraktion dargestellt.

Im Rahmen des oberflächennahen Monitorings wurden insgesamt 19.000 Partikel analytisch identifiziert, wovon 4.335 eindeutig als Kunststoffpartikel identifiziert werden konnten. Mikroplastik wurde ausnahmslos an allen Messstellen nachgewiesen (Abbildung 1).

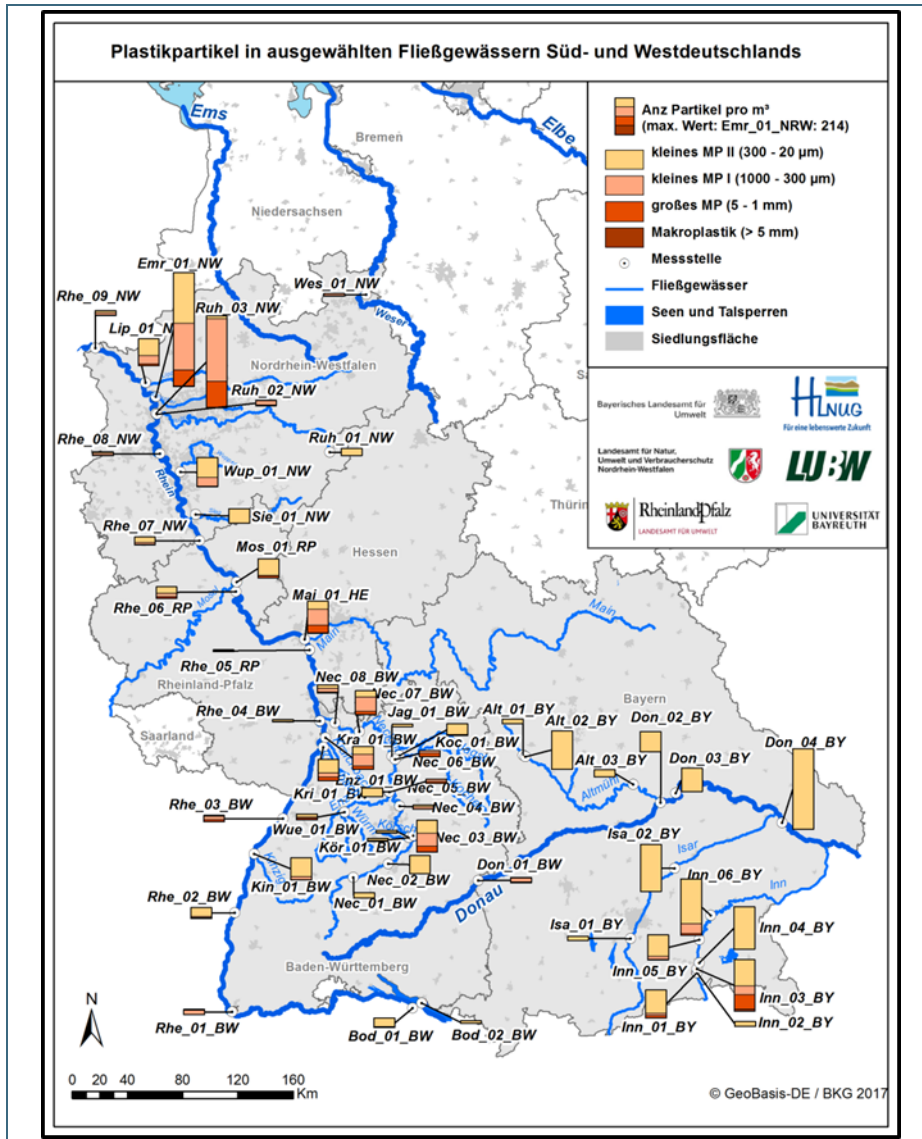


Abb. 1: Plastikpartikel in Gewässern Süd- und Westdeutschlands. Partikelanzahl und Größenverteilung an 52 Messstellen (oberflächennahe Probenahme) in 22 Gewässern.

Dabei reichen die Konzentrationen über eine Bandbreite von knapp 3 bis über 200 Partikel/m³. Besonders hoch ist der Anteil kleiner und sehr kleiner Mikroplastikpartikel (Abbildung 2), wobei noch einmal hervorgehoben werden soll, dass es sich bei den sehr kleinen Partikeln um eine semi-quantitative Auswertung handelt und die tatsächlichen Konzentrationen vermutlich deutlich höher liegen.

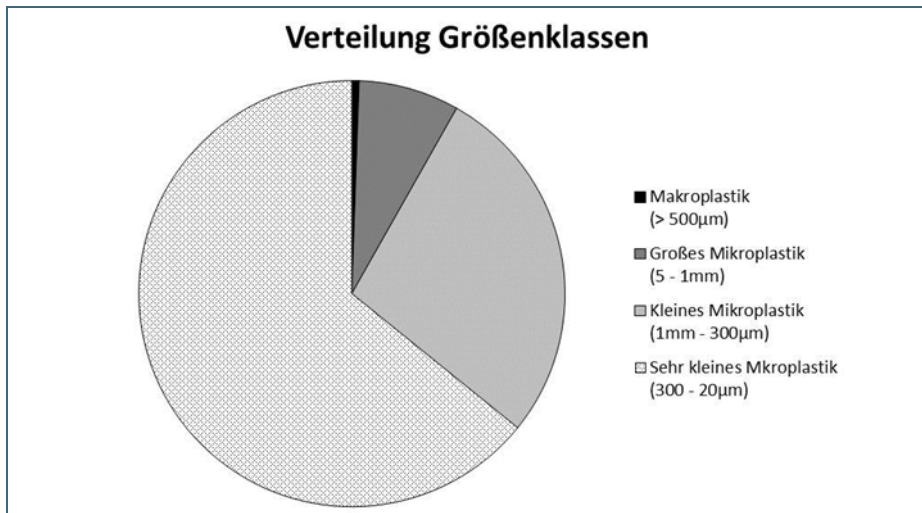


Abb. 2: Verteilung der Größenklassen aller identifizierten Kunststoffpartikel von 52 Messstellen.

Bei der detaillierten Charakterisierung aller Kunststoffobjekte zeigte sich, dass an der Wasseroberfläche hauptsächlich die beiden Polymertypen Polyethylen und Polypropylen erfasst wurden. Bezüglich der Partikelformen haben sich als Fragmente als vorwiegender Typ herausgestellt.

Gerade die detaillierte Analytik aller Partikel bis zu einer vergleichsweise sehr niedrigen Bestimmungsgrenze unterstreicht die Relevanz dieses Datensatzes. In bislang veröffentlichten Studien wurden häufig rein visuelle Bestimmungen der Partikel vorgenommen, was mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist. Zudem werden die Kunststoffpartikel meist als Mikroplastik zusammengefasst, während die hier vorgenommene Charakterisierung auch Aussagen über die Verteilung verschiedener Kunststofftypen und Partikelformen zulässt.

Auch wenn Ergebnisse aus einmaligen Probenahmen im Rahmen eines Pilotprojektes nicht überinterpretiert werden dürfen, kann mit diesem Datensatz ein guter erster Eindruck über das Vorkommen von Mikroplastik in Fließgewässern Süd- und Westdeutschlands gewonnen werden.

Nach unserem Wissen ist dies bislang einer der umfangreichsten Datensätze über Mikroplastik in Binnengewässern – sowohl hinsichtlich der Anzahl und Diversität der untersuchten Probestellen als auch hinsichtlich der analytischen Aufarbeitung.

Mikroplastik in Seen – Ergebnisse aus Bayern

Isabella Schrank¹, Martin Löder¹, Hannes Imhof^{1,2}, Julia Schwaiger³, Werner Reifenhäuser³, Christian Laforsch¹

¹Universität Bayreuth, ²Technische Universität München, ³Bayerisches Landesamt für Umwelt

Seit einigen Jahren steigt das Bewusstsein dafür, dass nicht nur in den Meeren, sondern weltweit auch in Binnengewässern Mikroplastik zu finden ist. Immer mehr Studien zeigen, dass Mikroplastik sich im Oberflächenwasser und Sediment von Flüssen in ähnlichen Konzentrationen wie in marinen Ökosystemen findet. Vor allem die großangelegte Studie aus Süd- und Westdeutschland, die in Kooperation von fünf Bundesländern entstanden ist, liefert hier ein detailliertes Bild. Obwohl Seen bisher nur selten im Untersuchungsfokus standen, gibt es auch hier einige wenige Studien, die Mikroplastik nachgewiesen haben. Hier sind zum Beispiel die großen Seen in Nordamerika zu nennen, aber auch europäische Seen wie der Gardasee, der Genfer See und der Lago Maggiore. Aber auch in einem abgelegenen Bergsee in der Mongolei wurde Mikroplastik nachgewiesen. Noch ist die Datengrundlage allerdings gering, vor allem was die Wasseroberfläche von Seen betrifft. Als stehende Gewässer könnten Seen besonders auch als Senken von Mikroplastik fungieren. Die Eintragsquellen können zahlreich sein, viele Seen weisen eine hohe touristische Nutzung, aber auch Industrie und Landwirtschaft auf.

Um neben Flüssen auch bei stehenden Binnengewässern eine breite Übersicht über die Kontamination zu gewinnen, wurden in Bayern in Zusammenarbeit der Universität Bayreuth und des bayerischen Landesamts für Umwelt die Wasseroberflächen von vier Seen untersucht. Jeweils drei Transsekte pro See wurden mit einem Manta Trawl und einer Netz-Maschenweite von 300µm beprobt. Die Wasserproben wurden im Labor mittels enzymatischer Aufbereitung aufgereinigt und anschließend je nach Größenklasse anhand verschiedener Analyseverfahren (ATR und FPA basierte FTIR Spektroskopie sowie SWIR Mikrospektroskopie) analysiert. Dabei wurden die Parameter Polymersorte, Partikelkonzentration, Partikelgröße und -form aufgenommen. Die drei südbayerischen Seen Chiemsee, Ammersee und Starnbergersee sowie der im Westen Bayerns gelegene Altmühlsee weisen diverse anthropogene Nutzung wie Tourismus, Industrie und Landwirtschaft, aber auch unterschiedliche Anteile an Naturschutzgebieten auf.

Die erzielten Ergebnisse sind vergleichbar mit den Wasseroberflächen aus der länderübergreifenden Fluss-Studie, liegen insgesamt allerdings etwas niedriger. Auch hier kann man von einer geringen bis mittleren Belastung bzw. von einer sogenannten zivilisatorischen Grundlast sprechen.

Mikroplastik – wie relevant ist der Abwasserpfad?

Svenja Mintenig, Utrecht University, Copernicus Institute of Sustainable Development

Als Mikroplastik werden alle Kunststoffteile kleiner 5 mm bezeichnet. Diese wurden in Form von Partikeln, Fasern, Kügelchen oder Pellets in sämtlichen marinen und fluvialen Habitaten nachgewiesen. Aktuell werden die möglichen Beeinträchtigungen auf verschiedene Arten oder Ökosysteme untersucht.

In der europäischen Meeresstrategie- Rahmenrichtlinie (MSRL) ist Mikroplastik explizit als Indikator aufgenommen worden. Doch bis heute sind weder die exakten Mikroplastikkonzentrationen in den verschiedenen Ökosystemen noch deren genaue Quellen bekannt. Durch den weit verbreiteten Einsatz von Plastik in Haushalt, Kleidung und Kosmetika wurden häusliche Abwässer als potenzielle Quelle für Mikroplastik ausgemacht. Bisher haben einige Studien die Rolle der Klärwerke untersucht, ob Mikroplastikpartikel und -fasern in geklärten Abwässern nachgewiesen werden können oder ob diese während der Klärung zurückgehalten werden.¹⁻⁴

Um diese Frage beantworten zu können wurden geklärtes Abwasser, Klärschlamm und abgeschiedene Leichtstoffe in 12 Kläranlagen in Niedersachsen beprobt und mittels FTIR (Fourier- Transformations- Infrarotspektroskopie) - imaging auf Mikroplastik > 20 µm untersucht, Plastikpartikel zwischen 0,5 – 5 mm wurden mittels ATR (Attenuated Total Reflectance)- FTIR bestimmt. Die im Abwasser enthaltenen natürlichen Bestandteile wurden mittels einer plastik-erhaltenden, enzymatisch- oxidativen Behandlung und anschließender Dichteseperation entfernt. Zwischen 263 und 1.900 Mikroplastikpartikeln und -fasern m⁻³ wurden in den geklärten Abwässern nachgewiesen. Die Konzentrationen in der Kläranlage Holdorf waren um bis zu ein bis zwei Größenordnungen höher. Auffällig war, dass die installierte Schlussfiltration in Oldenburg die Gesamtfracht um 97 % reduzierte.

Das geklärte Abwasser in Holdorf und Oldenburg wurde in einer Folgestudie nochmals untersucht.⁵ Höhere Mikroplastikkonzentrationen wurden nachgewiesen, was u. a. auf die automatisierte Auswertung zurückgeführt werden kann die auch Mikroplastik < 20 µm zuverlässig erkennt. Ähnliche Rückschlüsse wurden in einer Studie gezogen die vor kurzem veröffentlicht wurde.² In den Abwässern von zehn Dänischen Kläranlagen wurden mittels der selben Messtechnik und Datenauswertung zwischen 19.000 und 447.000 Mikroplastikpartikel (>10 µm) m⁻³ identifiziert.

Diese Ergebnisse belegen dass Mikroplastik die Kläranlagen passiert und so in natürliche Gewässer eingetragen wird. Gleichzeitig belegen Studien dass erhebliche Mengen an Mikroplastik während der Klärung zurückgehalten werden.^{1-3,5} In der hier vorgestellten Studie wurden neben Abwasserproben auch Klärschlamm und abgeschiedene Leichtstoffe untersucht. Obwohl es nicht möglich war Mikroplastik zu quantifizieren, belegt der Nachweis von Mikro- und größeren Makroplastikpartikeln dass diese während der Klärung dem Abwasser entzogen werden können.

Weitere Studien werden benötigt um Mikroplastikkonzentrationen in Abwässern und Flüssen vergleichen zu können, aber auch um das Potenzial einzelner Techniken bestimmen zu können Mikroplastik zurückzuhalten. Nur durch eine Bewertung von diffusen und punktuellen Quellen, können die erheblichsten erkannt und ggf. sinnvolle Maßnahmen zur Reduktion des Mikroplastikeintrags ergriffen werden

Literaturverweise

1. S. M. MINTENIG, I. INT-VEEN, M. G. J. LÖDER, S. PRIMPKE AND G. GERDTS, Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging, *Water Research*, 2017, 108, 365-372.

2. M. SIMON, N. VAN ALST AND J. VOLLERTSEN, Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging, *Water Research*, 2018, 142, 1-9.
3. J. TALVITIE, A. MIKOLA, O. SETÄLÄ, M. HEINONEN AND A. KOISTINEN, How well is microlitter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant, *Water Research*, 2017, 109, 164-172.
4. F. MURPHY, C. EWINS, F. CARBONNIER AND B. QUINN, Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment, *Environmental science & technology*, 2016, 50, 5800-5808.
5. UNIVERSITÄT BAYREUTH, TIERÖKOLOGIE I & ALFRED- WEGENER- INSTITUT (HELGOLAND), Mikroplastik in den Kläranlagen Holdorf und Oldenburg - Bericht der Probenahme und Ergebnisse 2016.

Minimierung des Eintrags von Mikrokunststoffen - Handlungsoptionen

Dr. Claus Gerhard Bannick, Nathan Obermaier, Joachim Heidemeier, Umweltbundesamt, Berlin

Kunststoffe sind wichtige Werkstoffe und heutzutage aus unserer Lebenswirklichkeit kaum noch wegzudenken. Inzwischen werden Kunststoffe in allen Umweltkompartimenten, umweltrelevanten Produkten und vielen Biota nachgewiesen. Diese Funde haben unterschiedliche Ursachen und medien-spezifische Quellen. Unkontrolliert eingetragen, sind sie grundsätzlich – insbesondere aus Vorsorgegründen - nicht tolerabel. Deshalb ist es notwendig solche Einträge in die Umwelt zu minimieren und diese Reduktionen durch entsprechende Maßnahmen zu forcieren.

Abbildung 1 zeigt die grundsätzlichen Möglichkeiten auf, Maßnahmen zu regulatorisch zu verankern. Neben rechtlichen Möglichkeiten, wie dem Erlassen von Rechtsvorschriften (z. B. Gebote und Verbote), sind auch ökonomische Maßnahmen oder soziale Maßnahmen denkbar. Zu den freiwilligen Vereinbarungen zählen auch technische Regelwerke, wie ein Standard.

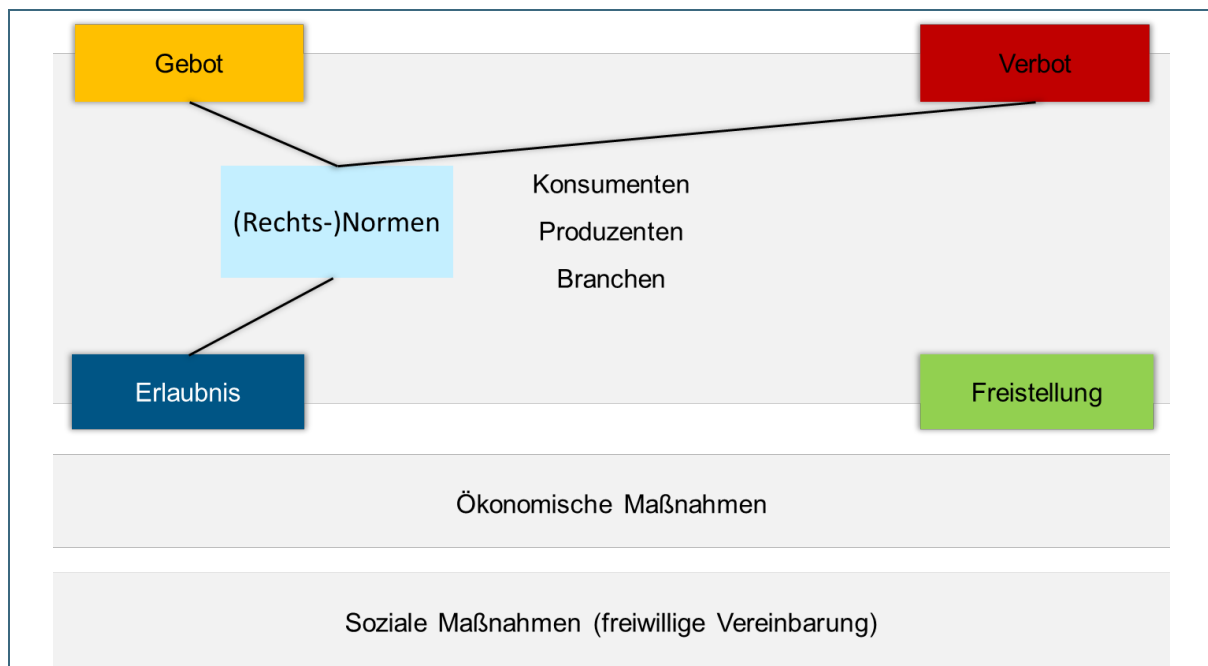


Abb. 1: Möglichkeiten zur Etablierung von Maßnahmen

Bevor jedoch Maßnahmen z. B. auf rechtlicher Ebene erlassen werden, ist es notwendig die jeweils spezifische Situation, für die eine Maßnahme erarbeitet werden soll zu beurteilen. Beurteilt werden kann ein Material oder eine Materialeigenschaft so wie die Wirkung des Materials auf Mensch und Umwelt. Dazu sind zunächst Bewertungsgrundsätze erforderlich, die in den jeweiligen Rechtsbereichen unterschiedliche Rahmenbedingungen berücksichtigen müssen. Abbildung 2 zeigt exemplarisch einen kleinen Teil der rechtlichen Regelungsbereiche, die hierbei betrachtet werden müssen.

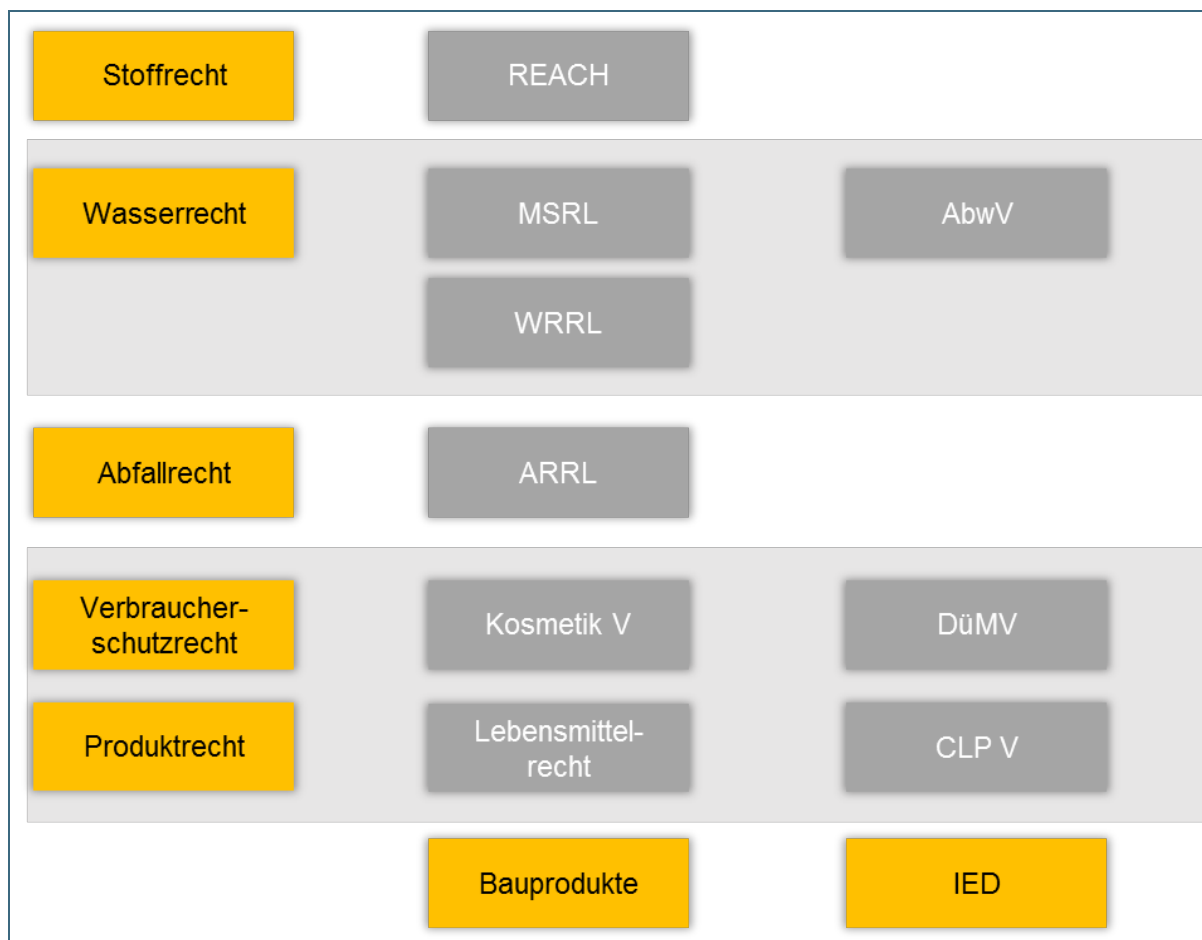


Abb. 2: Unterschiedliche Rechtsbereiche und Auswahl relevanter Verordnungen und Richtlinien dieser Bereiche

In einer auf Umweltrechtsvorschriften spezialisierten Datenbank¹ wurden alle relevanten Gesetze, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften abgefragt. Nach dieser nicht abschließenden Übersicht gibt es 3.133 Umweltkodifizierungen auf nationaler, europäischer und völkerrechtlicher Ebene, die letztlich hinsichtlich ihrer „Kunststoffrelevanz“ zu prüfen wären. Die sinnvolle Weiterentwicklung existierender Rechtsvorschriften kann nur auf der Beurteilung belastbarer Daten basieren, die im Bereich der Kunststoffe derzeit noch umfassend vorliegt.

Um vergleichbar zu sein, müssen Daten nach einem einheitlichen Verfahren (harmonisiert besser standardisiert) gewonnen werden, um z. B. Aussagen zum Vorkommen des zu beurteilenden Materials treffen zu können. Da es sich bei der Reduktion der unerwünschten Einträgen von Kunststoffen in die Umwelt um eine globale Herausforderung handelt, sollten zur Beurteilung von Vorkommen und Qualität auch internationale Untersuchungsverfahren etabliert werden. Abbildung 3 gibt einen Überblick der relevanten nationalen, europäischen und internationalen Normungsgremien im Bereich der Duroplaste und Thermoplaste.

¹ (<https://www.umweltdigital.de/sid/ORCS-382548-JuwO/uebersicht.html>)

		
<p>National Deutsches Institut für Normung e. V.</p>	<p>Europäisch Europäisches Komitee für Normung</p>	<p>International Internationale Organisation für Normung</p>
<p>■ Normenausschuss Kunststoffe (FNK)</p>	<p>■ CEN/TC 249 »Kunststoffe«</p>	<p>■ ISO/TC 61 »Kunststoffe«</p>
<p>NA 054-01-06 AA Kunststoffe und Umweltaspekte</p>	<p>WG 24 – Environmental Aspects Sek. DIN</p>	<p>SC 14 – Environmental Aspects Sek. DIN</p>

Abb. 3: Die Gremien im Kunststoffbereich (Duroplaste, Thermoplaste)

Fazit

Sicherlich hat eine verminderte Nutzung von Kunststoffen grundsätzlich das Potenzial unerwünschte Einträge in die Umwelt zu reduzieren. Es gibt Bereiche, in denen Handlungsbedarf offensichtlich ist und bei denen Maßnahmen umgehend erarbeitet werden können. Dazu zählt mit Sicherheit die Verwendung der von Einkaufsstützen aus Plastik. Weitere Beispiele sind durchaus im aktuellen Richtlinienentwurf zur Reduktion von Kunststoffen genannt. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Bereichen, in denen zusätzliche Daten notwendig sind, um die Komplexität der Beurteilung zu ermöglichen und damit die Auswirkungen weitergehender Maßnahmen genauer beurteilen zu können. Zur Ermittlung der notwendigen Daten sind global anwendbare Normen ein geeignetes Mittel. Ein Ort solche international anerkannten Verfahren zu erarbeiten ist das ISO TC 61 Plastics. Dort erfolgt derzeit in der Arbeitsgruppe vier die abschließende Diskussion eines Dokumentes zur Beschreibung der Aufgaben, die im methodischen Bereich vor uns liegen.

Kunststoff in der Umwelt – Handlungsoptionen aus Sicht der Kunststoffindustrie

Dr. Ingo Sartorius, PlasticsEurope Deutschland e.V., Frankfurt

Kunststoffe sind vielseitig einsetzbar, innovativ und äußerst ressourcenschonend. Vor allem in der Nutzenphase eines Produktes sparen Kunststoffe wertvolle Ressourcen, so etwa effiziente Verpackungen, die etwa Lebensmittel vor Verderb schützen, als Isolierwerkstoff für energieeffiziente Gebäude oder als Leichtbaukonstruktion im Automobil zur Einsparung von Kraftstoff.

Auch am Ende ihrer Nutzung sind Altprodukte noch eine wertvolle Ressource: Kunststoffabfälle können je nach Qualität – Zusammensetzung, Vermischung und Verschmutzung – werkstofflich, rohstofflich oder energetisch verwertet werden. Für das Ziel einer geordneten und effektiven Entsorgung von Endverbraucherabfällen haben Wirtschaft und Verwaltung maßgeblich dazu beigetragen, dass die notwendigen Infrastrukturen der Erfassung und der Weiterbehandlung aufgebaut und etabliert werden konnten. Trotz dieser Erfolge werden Verbraucherabfälle und somit auch Kunststoff in der Umwelt festgestellt, sei es an Land oder in Gewässern. Die Kunststoffindustrie unterstützt daher verschiedene Maßnahmen, um das Problem auf fachlicher Basis zu erfassen, zu bewerten und Lösungen zu erarbeiten.

Der Eintrag von Fremdstoffen in die Umwelt, sog. Littering, wird von zahlreichen und unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Das Problem ist nicht allein an einem bestimmten Werkstoff oder an einem einzelnen Produkt festzumachen. Vielmehr stammen die Abfälle im Meer und somit auch deren fragmentierte, kleinere sog. Mikropartikel, auch solchen aus Kunststoff, aus verschiedenen Endverbraucherbereichen. Daher bedarf es verschiedener Handlungsoptionen und Maßnahmen, um die vielfältigen und unterschiedlichen Problemstellungen anzugehen.

Funktionierende Abfallverwertung ist der wesentliche Schlüssel zur Vermeidung von Müll in der Umwelt und zur Bekämpfung von Marine Litter. Entscheidende Maßnahmen sind der Aufbau effizienter Abfallmanagementsysteme einschließlich eines effektiven Vollzugs und die Sensibilisierung der Verbraucher. Um dem Marine-Litter-Problem effektiv zu begegnen, unterstützen und initiieren die Kunststoffherzeuger diverse Maßnahmen sowohl durch Prävention als auch Kommunikation, v.a. Dialog mit relevanten Akteuren. Für eine funktionierende Entsorgung ist es notwendig, dass sich alle Akteure – vom Hersteller über den Endverbraucher bis zum Entsorger – an die gesetzlichen und normativen Regeln halten. Nicht mehr benötigte Altprodukte müssen grundsätzlich in geordneter Weise einem effizienten Sammlungs- und Verwertungssystem zugeführt werden. Hierzu bedarf es einer etablierten Infrastruktur, dem notwendigen Bewusstsein zum richtigen Umgang mit Abfällen und eines effektiven Vollzugs der vorhandenen abfallgesetzlichen Regelungen.

Unter dem Motto „Kunststoff ist zum Wegwerfen zu schade“ sowie jüngst auch „Gemeinsam für Gewässerschutz“ leisten die Kunststoffherzeuger wichtige Beiträge in ihrer Kommunikation, so etwa mittels Broschüren, per Internet, in der Direktansprache und auch in Kooperation mit Wassersportverbänden. Dabei geht es nicht nur um Maßnahmen der Wirtschaft, sondern auch darum, was und wie jeder Einzelne beitragen kann.

Als Teil des pan-Europäischen Verbands PlasticsEurope engagieren sich die deutschen Kunststoffherzeuger auch in ganz Europa, so jüngst in ihrer freiwilligen Erklärung in Bezug auf die EU-Kunststoffstrategie, und darüberhinaus weltweit. So wurde im März 2011 eine globale Deklaration von

60 Kunststoff- und Chemieorganisationen aus 34 Ländern zur Entwicklung von Lösungen, sog. Marine Litter Solutions, initiiert. Ziel ist es, gemeinsam mit Wirtschaftspartnern, Regierungen, der Wissenschaft und weiteren Akteuren dem Meeresmüll-Problem wirkungsvoll und nachhaltig zu begegnen. Weltweit sind mittlerweile rund 50 Projekte etabliert, die auf vielfältige Weise zum Schutz von Umwelt und Gewässern beitragen. Weiterhin greift der jüngst von der Kunststoffindustrie etablierte World Plastics Council nationale und regionale Konzepte auf und nutzt sie für globale Initiativen. Dafür sind wichtige Impulse gerade von hoch entwickelten Industriestaaten wie Deutschland hilfreich. Die Kunststoffhersteller verstehen sich als Partner für den Umwelt- und Gewässerschutz.

Aufnahme und Wirkung von Mikroplastik bei aquatischen Organismen

Tobias Geiger¹, Dr. Janina Domogalla-Urbansky¹, Hermann Ferling¹, Karin Scholz¹, Dr. Alexandra Wiesheu², Philipp M. Anger², Dr. Natalia P. Ivleva², Dr. Julia Schwaiger¹

¹Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat Aquatische Toxikologie und Pathologie, Demollstr. 31; 82407 Wielenbach;

²Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie, Lehrstuhl für Analytische Chemie und Wasserchemie, Technische Universität München, Marchionistr. 17, 81377 München

Für marine Ökosysteme ist eine Belastung mit Kunststoffen bereits seit längerem bekannt. Neue Studien weisen auf die ubiquitäre Präsenz von Mikroplastik auch in Binnengewässern hin. Um eine Risikobewertung der in den Gewässern vorhandenen Mikroplastikkonzentrationen durchzuführen, sind Daten aus ökotoxikologischen Studien unverzichtbar.

In zahlreichen, überwiegend an marinen Gewässerorganismen durchgeführten Untersuchungen wurde gezeigt, dass insbesondere Zooplankton [1,2], benthische Invertebraten [3–5] sowie Fische und Fischlarven [6–8] Mikroplastik aufnehmen können. Eine Anreicherung von Mikroplastik innerhalb der Nahrungskette wurde beschrieben [9–11]. Experimentelle Studien an Muscheln [3,12] und Fischen [7] ergaben zudem Mikroplastik-induzierte, histopathologische Organveränderungen. Meist wurden in den genannten Studien jedoch unrealistisch hohe Konzentrationen von Mikroplastik eingesetzt, sodass die ermittelten Daten keine Bewertung der realen Belastung von Binnengewässern erlauben.

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen des vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz geförderten Fachvorhabens „Eintragspfade, Vorkommen und Verteilung von Mikroplastikpartikeln in bayerischen Gewässern sowie mögliche Auswirkungen auf aquatische Organismen“ durchgeführt.

Einen Schwerpunkt stellten dabei Untersuchungen zur Erfassung möglicher Auswirkungen von Mikroplastik auf Süßwasserorganismen dar. Um einen Realitätsbezug herzustellen, umfassten die Versuchsansätze zum einen eine Freilandstudie an einheimischen Flussmuscheln (*Unio sp.*), daneben aber auch Expositionsversuche an Flussmuscheln und Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) unter standardisierten Laborbedingungen. Der Nachweis von Mikroplastik in Muschelgewebe erfolgte dabei mittels Raman-Mikrospektroskopie an der Technischen Universität München. Zur Erfassung (öko)-toxikologischer Effekte bei Muscheln und Fischen kamen hämatologische, klinisch-chemische und histopathologische Untersuchungen sowie Biomarker zum Einsatz. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen, so dass im Folgenden nur erste Ergebnisse präsentiert werden.

Im Rahmen der Freilandstudie wurden Flussmuscheln über unterschiedliche Zeiträume im gereinigten Abwasser einer bayerischen Kläranlage sowie im Gewässer oberhalb und unterhalb der Einleitung exponiert (Abb. 1). Ziel war es, über eine Erfassung potenzieller Mikroplastikrückstände in den Muscheln Hinweise auf die Kunststoffbelastung des Abwassers bzw. des Vorfluters zu erhalten. Die Ergebnisse der Raman-Analysen ergaben, dass eine 6-monatige Abwasser-Exposition der Tiere zu einer Aufnahme sehr kleiner Mikroplastikpartikel, ein Großteil davon PVC-Partikel, führte. Muscheln, die zeitgleich im Gewässer oberhalb und unterhalb der Abwassereinleitung gehalten wurden, wiesen keine Rückstände von Mikroplastikpartikeln auf.

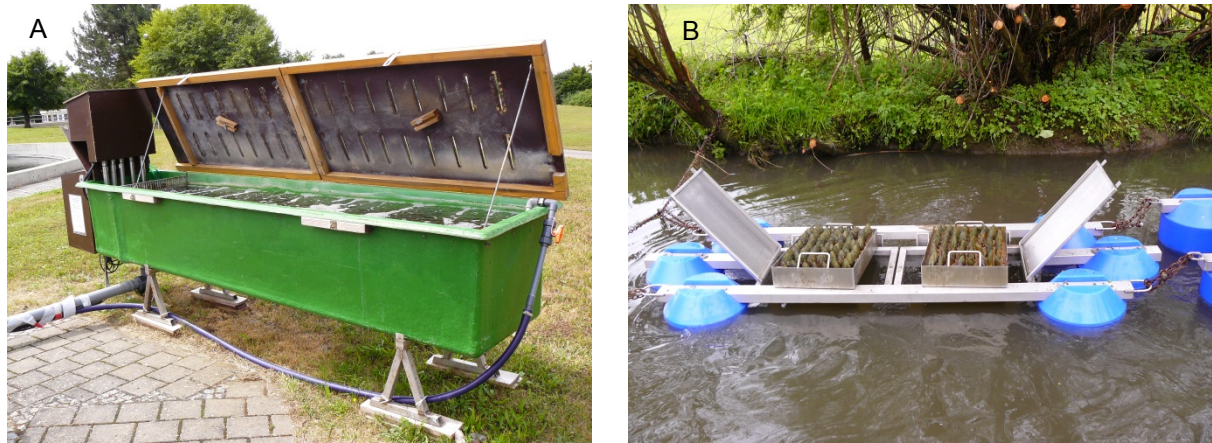


Abb. 1: Exposition von einheimischen Flussmuscheln im Bereich einer Kläranlage. (A) Langstromrinnen zur Bypass-Exposition in gereinigtem Abwasser; (B) Schwimmkäfig im Gewässer oberhalb und unterhalb der Kläranlageneinleitung.

Aufgrund dessen, dass in Muscheln aus dem o. g. Freilandversuch in erster Linie sehr kleine PVC-Partikel nachweisbar waren, wurde auch in den Laborversuchen PVC als Testpolymer eingesetzt. Die Versuche mit Muscheln und Fischen wurden in der ökotoxikologischen Versuchsanlage des LfU in Wielenbach unter standardisierten Versuchsbedingungen im Durchfluss durchgeführt (Abb. 2). Die im Versuch eingesetzten Test-Partikel aus PVC wurden z. T. selbst hergestellt und vor der Verwendung bzgl. Partikelzahl, -größe und -struktur charakterisiert.

In Muscheln führte eine 4-wöchige Exposition in Quellwasser, dem PVC-Partikel in einer Größe zwischen 1 μm und 205 μm zugesetzt wurden, ebenfalls zu einer Anreicherung überwiegend sehr kleiner PVC-Partikel. Wurden die Tiere für weitere vier Wochen in PVC-freiem Quellwasser gehalten, waren nahezu keine PVC-Partikel mehr nachweisbar. Die Untersuchungsergebnisse deuten somit darauf hin, dass Muscheln unter mikroplastikfreien Bedingungen in der Lage sind, aufgenommene Kunststoffpartikel wieder abzugeben.

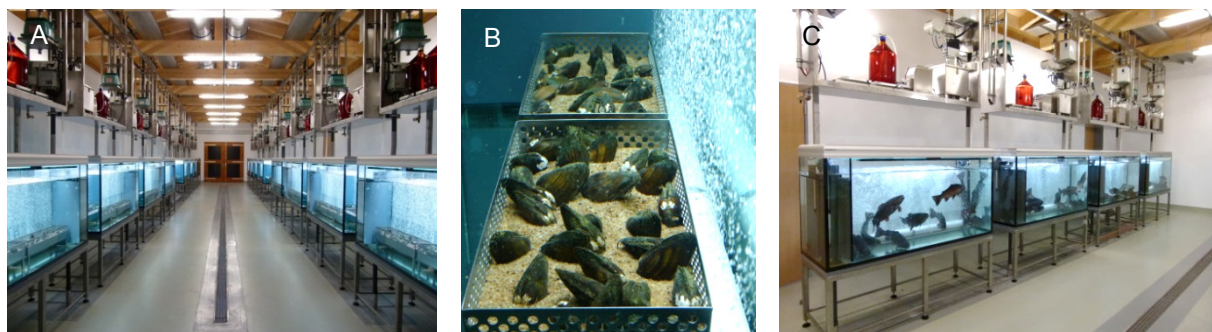


Abb. 2: Ökotoxikologische Versuchsanlage zur Durchführung von Expositionsversuchen unter standardisierten Laborbedingungen; (A) Versuchsraum mit 16 Expositionseinheiten. (B) Edelstahlkästen zur Exposition von Muscheln; (C) Fische im Versuchsaquarium.

Im Rahmen des Laborversuches mit Fischen, wurde den Tieren in getrennten Versuchsansätzen über einen Zeitraum von acht Wochen Fischfutter verabreicht, dem entweder Hart-PVC oder Weich-PVC zu je 10 % zugesetzt wurde. Im verwendeten Weich-PVC war als Additiv mit einem Anteil von 30 % der Weichmacher DINP (Di-Isononylphthalat) enthalten. Um realitätsnahe Bedingungen zu simulieren, wurden die beiden PVC-Sorten zu Partikeln unterschiedlicher Größenklassen vermahlen und zu gleichen Gewichtsanteilen dem Testfutter zugesetzt. Der Hauptanteil der zugesetzten PVC-Partikel war der Größenklasse < 32 μm zuzuordnen. Der Nachweis von PVC im Fischgewebe steht noch aus. Ge-

genwärtig wird eine hierfür geeignete Methode einer EDX-gekoppelten Rasterelektronenmikroskopie etabliert die eine zeit- und kostengünstige Variante zum Nachweis von PVC in tierischen Geweben darstellt.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Daten zum Vorkommen von Mikroplastik in bayerischen Flüssen [13], die insbesondere das Vorkommen sehr kleiner Mikroplastikpartikel belegen, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht auszuschließen, dass eine Aufnahme durch Gewässerorganismen erfolgt. Erste Untersuchungsergebnisse zu möglichen Auswirkungen von PVC-Partikeln weisen auf eine Beeinflussung ernährungsphysiologisch-relevanter Parameter als Konsequenz eines reduzierten Nahrungsangebots und eine dadurch bedingte, verminderte Aufnahme von Nährstoffen hin. Gegenwärtig werden, zur Abklärung möglicher Mikroplastik-induzierter Organveränderungen, histopathologische Untersuchungen an Muscheln und Fischen durchgeführt. Berücksichtigt werden dabei auch potenzielle endokrine Effekte von Additiven. Weitere Projektinformationen finden sich unter https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/mikroplastik/index.htm.

Literatur

1. Cole M, Lindeque P, Fileman E, Halsband C, Galloway TS. 2015. The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environ Sci Technol* 49:1130–1137.
2. Ogonowski M, Schür C, Jarsén Å, Gorokhova E. 2016. The Effects of Natural and Anthropogenic Microparticles on Individual Fitness in *Daphnia magna*. *PLoS One* 11:e0155063.
3. Moos N von, Burkhardt-Holm P, Kohler A. 2012. 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.
4. Besseling E, Wegner A, Foekema EM, van den Heuvel-Greve, Martine J, Koelmans AA. 2013. Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environ Sci Technol* 47:593–600.
5. Sussarellu R, Suquet M, Thomas Y, Lambert C, Fabioux C, Pernet MEJ, Le Goic N, Quillien V, Mingant C, Epelboin Y, Corporeau C, Guyomarch J, Robbens J, Paul-Pont I, Soudant P, Huvet A. 2016. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proc Natl Acad Sci U S A* 113:2430–2435.
6. Mazurais D, Ernande B, Quazuguel P, Severe A, Huelvan C, Madec L, Mouchel O, Soudant P, Robbens J, Huvet A, Zambonino-Infante J. 2015. Evaluation of the impact of polyethylene microbeads ingestion in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Mar Environ Res* 112:78–85.
7. Pedà C, Caccamo L, Fossi MC, Gai F, Andaloro F, Genovese L, Perdichizzi A, Romeo T, Maricchiolo G. 2016. Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics. Preliminary results. *Environ Pollut* 212:251–256.
8. Jovanović B. 2017. Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective. *Integr Environ Assess Manag* 13:510–515.
9. Setälä O, Fleming-Lehtinen V, Lehtiniemi M. 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ Pollut* 185:77–83.

10. Murray F, Cowie PR. 2011. Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Mar Pollut Bull* 62:1207–1217.
11. Farrell P, Nelson K. 2013. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environ Pollut* 177:1–3.
12. Browne MA, Dissanayake A, Galloway TS, Lowe DM, Thompson RC. 2008. Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ Sci Technol* 42:5026–5031.
13. Heß M, Diehl P, Mayer, Jens, Rahm, Harald, Reifenhäuser W, Stark J, Schwaiger J. 2018. Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands. Bundesländerübergreifende Untersuchungen in Baden-Württemberg, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinlandpfalz. Teil 1: Kunststoffpartikel in der oberflächennahen Wasserphase.
https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/mikroplastik/laenderbericht_2018/doc/laenderbericht_mikroplastik.pdf

Mikroplastik in Meeresfischen

Dr. Ulrike Kammann, Thünen-Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven

Heute wissen wir, dass Meeresmüll in Europa zu 70 – 80 % aus Plastik besteht. Wir wissen auch, dass dieses Material langlebig ist und sich nur langsam zersetzt. Es wird geschätzt, dass jedes Jahr ca. 4,8 Mio t neuer Plastikmüll die Weltmeere erreicht. Dabei sind es nicht so sehr die großen Plastikmüllteile wie Plastiktüten und Strohhalme die ökologisch bedenklich sind, sondern eher die kleinen Partikel – das Mikroplastik (0,1 bis 5.000 µm). Denn diese Partikel können von Fischen und anderen Meerestieren aufgenommen werden. Dass Mikroplastik von Fischen aufgenommen wird ist bekannt: Man hat es im Verdauungstrakt von Meeresfischen gefunden. Dazu gehören wichtige Konsumfischarten wie Dorsch, Makrele, Flunder und Wittling. Was man in den Fischmägen findet sind meist nur wenige Partikel, aber das ist nicht nur abhängig von der Fischart und dem Fangort sondern auch von der betrachteten Größe der Kunststoffpartikel. Systematische Untersuchungen zu diesem Thema gibt es bisher allerdings nur wenige. Ob Mikroplastik in das Muskelgewebe der Fische übertreten kann und mit dem Filet auf unseren Teller gelangt, wird gerade weltweit intensiv untersucht. Bisher ist allerdings kein positiver Befund von Mikroplastik im Muskelgewebe von Speisefischen bekannt.

Mikroplastik: Transportvehikel für POP, Mikroorganismen und Pathogene?

Priv. Doz. Dr. Matthias Labrenz, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Rostock

Die Wechselwirkungen zwischen marinen Mikroorganismen und Plastikpartikeln sind nicht auf dessen potenziellen Abbau beschränkt. Neuere Studien zeigen dass Mikroorganismen Mikroplastik (MP) als Wachstumssubstrat verwenden und sich auf deren Oberflächen selektiv anreichern können. Zudem beeinflusst die mikrobielle Besiedlung in Form von Biofilmen wesentlich das Auftriebs- und Sedimentationsverhalten und damit die Verbreitung von mikrobiellen Populationen. Für pathogene Mikroorganismen können sich so potenzielle Aktivitätsmuster und Infektionsrisiken verschieben. Handelt es sich dabei um potenzielle Humanpathogene wie *Vibrio* spp., die bis zu 25 % aller an MP-Oberflächen assoziierten Bakterien der Sargassosee ausmachten, kann dies Auswirkungen auf das Erreichen einer kritischen Infektionsdosis haben und damit von epidemiologischer Relevanz sein.

Die Wechselwirkungen von gelösten organischen Schadstoffen und MP sind abhängig von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der organischen Verbindungen. Plastik adsorbiert z. B. hydrophobe organische Substanzen, unter diesen schwer abbaubare organische Schadstoffe (*persistent organic pollutants* [POPs]) wie polychlorierte Biphenyle (PCBs), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs) oder organische Chlorverbindungen (z. B. DDT, Verbindungen, die laut Bericht der WHO (2013) als potenzielle endokrine Disruptoren gelistet sind und bereits in sehr niedrigen Konzentrationen eine hormonartige Wirkung entfalten können. Im marinen Milieu reichern sich diese Schadstoffe an MP an. Daher wird intensiv daran geforscht, ob durch MP eine deutliche Anreicherung toxischer Substanzen im marinen Nahrungsnetz verursacht wird, aber zurzeit sind die ökologischen Konsequenzen nicht abschätzbar.

Es wurde daher vorgeschlagen, Kunststoffe als gefährlichen Müll (*hazardous waste*) einzustufen. Zusätzlich enthalten Kunststoffe neben dem Polymer potenziell toxische Weichmacher, die ebenfalls in die Umwelt gelangen. Eine weitere Herausforderung stellt der Eintrag von MP-assoziierten Antibiotika, Antibiotikaresistenzen, Hormonen, und anderen in pharmazeutischen Produkten enthaltenen Wirkstoffen (bzw. deren Abbauprodukte) dar. Auch hier ist eine potenzielle Wirkungskumulation dieser Stoffe auf aquatische Lebensräume unzureichend untersucht.

In diesem Vortrag werden neueste Erkenntnisse zu MP als Transportvehikel für POP, Mikroorganismen und Pathogene vorgestellt und diskutiert.

PLASTRAT – Plastik in Binnengewässern

Steffen Krause, Sophia Badenberg, Annett Mundani, Christian Schaum sowie das gesamte Team von PLASTRAT, Universität der Bundeswehr München

Eintragspfade und Konsumverhalten

In PLASTRAT werden mögliche Eintragspfade von Mikroplastik über verschiedene Bereiche der Siedlungswasserwirtschaft genauer untersucht. Im Fokus stehen hierbei Misch- und Regenwasserentlastungsanlagen sowie Kläranlagen. Berücksichtigt werden z. B. der Reifenabrieb als Emissionsquelle sowie Klärschlamm als eine mögliche Mikroplastiksenke. Neben kontaminationsfreien Probenahmen werden zeiteffiziente Aufbereitungsstrategien sowie unterschiedliche Analysemethoden von Polymeren mittels Raman- bzw. FTIR-Spektroskopie eingesetzt. Im Rahmen sozialwissenschaftlicher Untersuchungen wird zudem das Verhalten von Verbrauchern verschiedener Plastikprodukte analysiert. Im Fokus der Untersuchungen liegen neben Hygieneartikeln auch Bekleidung (Fleece-Jacken) und Hundekotbeutel. Bei Waschvorgängen bzw. durch unsachgemäße Entsorgung wird hierbei Mikro- und Makroplastik in die Umwelt eingetragen. Genauer betrachtet werden einerseits die Ansprüche von Produzenten und Verbrauchern an Plastikartikel, z. B. im Bereich der Produkteigenschaften, sowie der Einfluss von Nutzungs- und Entsorgungspraktiken auf Mikroplastikeinträge durch eine Untersuchung der Wahrnehmung der mit der Nutzung von Plastik verbundenen Umweltrisiken. Andererseits wird untersucht, welche Ersatzstoffe (z. B. biobasierte oder biologisch abbaubare Polymere) eingesetzt werden können - auch unter Berücksichtigung von veränderter Produktqualität, Preis und Risikoakzeptanz.

Ökologische Auswirkungen und Degradation von Plastik

Da bei der Degradation von Mikroplastik potenziell schädliche Additive wie Weichmacher freigesetzt werden können, werden neben den Eintragspfaden auch die möglichen öko- und humantoxikologischen Auswirkungen beleuchtet. Anhand verschiedener Analysemethoden (DSC-TGA-FTIR, Pyrolyse-GC-MS etc.) und Bewitterungsversuchen werden die Veränderungen verschiedener Plastikarten in der (aquatischen) Umwelt charakterisiert und freigesetzte Stoffe untersucht. Toxikologische Untersuchungen beurteilen die möglichen Auswirkungen von im Plastik enthaltenen Stoffen auf Mensch und Umwelt. Ferner beschäftigt sich PLASTRAT mit der An- und Abreicherung von Schadstoffen an Mikroplastik innerhalb von Kläranlagen.

Eliminationsstrategien und Handlungsansätze

Parallel zu den Untersuchungen über Eintragspfade und Mikroplastikveränderungen in der Umwelt liegt ein weiterer Arbeitsbereich in der möglichen Elimination von Mikroplastik. Hier werden der Mehrfachnutzen einer vierten Reinigungsstufe aus Ozon und Sand-/ Aktivkohlefiltration und die Anwendung modifizierter Membranen betrachtet. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Verbundpartner sowie weiterer assoziierter Partner und Unterauftragnehmer aus Forschung, Wirtschaft und kommunaler Wasserwirtschaft kann PLASTRAT hierbei anhand eines strategischen Handlungsansatzes Möglichkeiten und Lösungsstrategien aufzeigen, welche über einen definierten Bereich der Mikroplastikforschung hinausgehen. Übergreifendes Ziel ist es, ein gemeinsames Bewertungssystem zur Umweltverträglichkeit von unterschiedlichen Kunststofftypen (anhand verschiedener Parameter wie Verbreitung, Toxizität und Eliminationsmöglichkeiten) zu erarbeiten. Darauf aufbauend steht das Ziel, Ansätze für ein Gütesiegel für die Praxis zu erarbeiten, welches es ermöglicht, Kunststoffe bzw. Produkte

anhand definierter Qualitätskriterien einzuordnen. Darüber hinaus werden technische und gesellschaftliche Strategien zur Verringerung bzw. zur Eliminierung der Einträge von Mikroplastik in Fließgewässer entwickelt und untersucht.

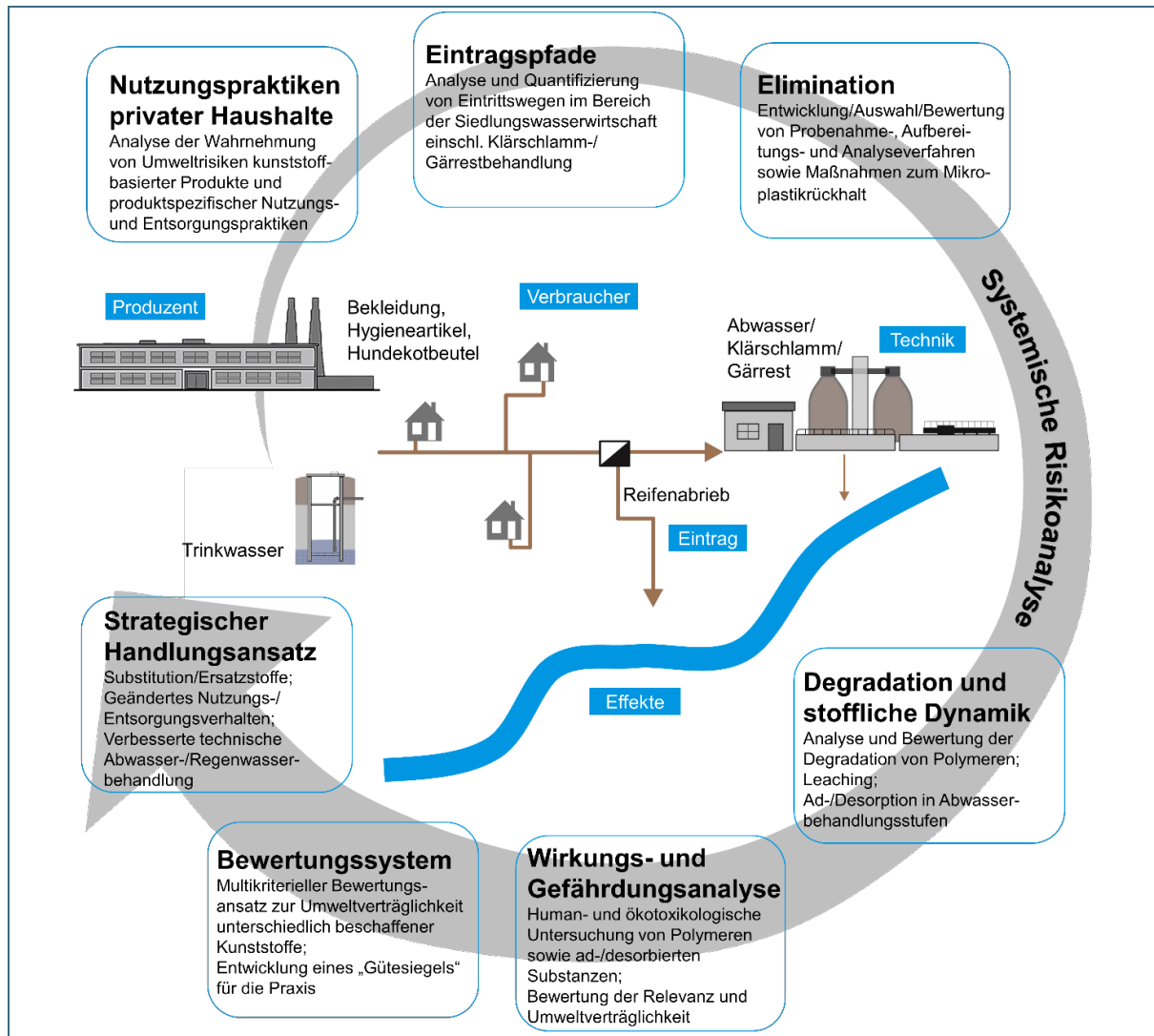


Abb. 1: Übersicht der Arbeitsbereiche von PLASTRAT

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung innerhalb des Förderschwerpunkts „Plastik in der Umwelt – Quellen, Senken, Lösungsansätze“ als Teil der Leitinitiative Green Economy des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA3) gefördert (Förderkennzeichen: 02WPL1446 A-J).

Mikropartikel in der aquatischen Umwelt und in Lebensmitteln – sind biologisch abbaubare Polymere eine denkbare Lösung für das „Mikroplastik-Problem“? – MiPAq

Prof. Dr. J. Geist^a, Dr. S. Beggel^a, Dr. H. Imhof^a, Prof. Dr. J.E. Drewes^b, Prof. Dr. M. Elsner^c, Dr. N. Ivleva^c, Prof. Dr. H.-C. Langowski^d, Dr. K. Glas^e

^aTechnische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Mühlenweg 22, 85354 Freising

^bTechnische Universität München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, Am Coulombwall 3, 85748 Garching

^cTechnische Universität München, Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie, Lehrstuhl für analytische Chemie und Wasserchemie, Marchioninstr. 17, 81377 München

^dTechnische Universität München, Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik, Weihenstephaner Steig 22, 85354 Freising

^eTechnische Universität München, AG Wassertechnologie, Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik, Lise-Meitner-Straße 34, 85354 Freising

Ziel des interdisziplinären Forschungsverbundes MiPAq, an dem fünf Lehrstühle der TU München und 11 Industriepartner beteiligt sind, ist die Charakterisierung von Partikeln aus nicht abbaubaren erdöl-basierten Kunststoffmaterialien im Gegensatz zu biologisch abbaubaren Materialien in der aquatischen Umwelt und Lebensmitteln. Im Mittelpunkt des von der Bayerischen Forschungsförderung finanzierten Projekts steht dabei eine ganzheitliche Bewertung von Mikropartikeln im Vergleich zu natürlichen Partikeln, von der Umwelt bis zum Lebensmittel. Die vier Themenfelder von „MiPAq“ beinhalten eine Systemanalyse des Eintrags von Mikropartikeln in den Wasserkreislauf und durch Produktionsketten in der Lebensmittelindustrie sowie die Weiterentwicklung harmonisierter und effizienter analytischer Verfahren zur Identifizierung und Quantifizierung der Partikel. Darüber hinaus wird deren Verhalten in der aquatischen Umwelt und die Wirkung auf Organismen mit Hilfe von standardisierten Testsystemen und Referenzmaterialien untersucht.

Durch die Kombination chemisch-analytischer und ingenieurwissenschaftlicher Expertise mit systemanalytischer und naturwissenschaftlich-ökologischer Betrachtung soll eine objektive Bewertung der Thematik erfolgen, um - wo erforderlich - entsprechende technologische Lösungsansätze zu entwickeln. Dies erlaubt eine zielgerichtete Umsetzung technologischer und regulatorischer Maßnahmen, eine privatwirtschaftliche Verwertbarkeit, sowie die Bereitstellung fundierter Grundlagen für das Umweltmonitoring (behördlich und durch Unternehmen) und die interessierte Öffentlichkeit.

Die Ziele des Projektes werden in vier, sich gegenseitig ergänzenden Themenfeldern bearbeitet:

- Analytische Verfahren zur Identifizierung und Quantifizierung von Mikropartikeln aus biologisch abbaubaren Kunststoffen (in aquatischen Umweltproben und Lebensmitteln), Herstellung von standardisierten Testsubstanzen und Referenzmaterialien
- Verhalten in der aquatischen Umwelt
- Wirkungen in der aquatischen Umwelt
- Eintrag von Mikropartikeln in Lebensmittel und in den Wasserkreislauf – Systemanalysen und Minderungsstrategien

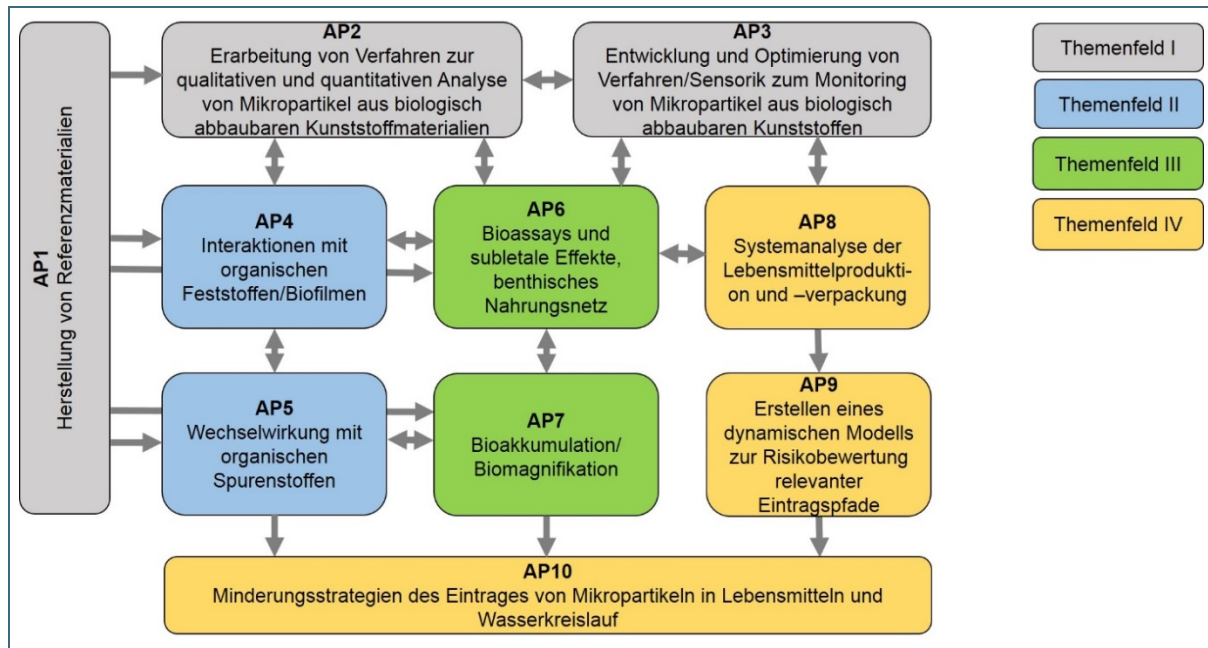


Abb. 1: Schematische Darstellung der Arbeitspakete im Projekt MiPAq.

Erste Projektergebnisse

Im ersten Projektjahr konnten bereits neue Verfahren zur Partikelfraktionierung sowie zur Identifizierung und Quantifizierung von (Bio-)Mikroplastik mittels Raman-Mikrospektroskopie etabliert werden. Darüber hinaus wurden analytische Verfahren zur Bewertung der Adsorptions- und Desorptionsprozesse mit Umweltchemikalien und innovative Testsysteme zur Bewertung der Interaktion von aquatischen Organismen mit Mikropartikeln etabliert. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass filtrierende Organismen wie Süßwassermuscheln sowohl natürliche (Sediment-) Partikel und Mikroplastik in der Größenordnung bis 63 µm gleichermaßen aufnehmen und dadurch ein Risiko Partikel-assoziiertes Effekte besteht. Mittels Hall-Sensor Technologie lässt sich das Verhalten der Muscheln eindeutig quantifizieren und somit spezifische Reaktion zur Effektbewertung und damit verbundene Auswirkungen auf Ökosystemdienstleistungen abschätzen (HARTMANN et al. 2015, LUMMER et al. 2016).

Literatur

HARTMANN J, BEGDEL S, AUERSWALD K, STOECKLE BC, GEIST J (2016) Establishing mussel behavior as a biomarker in ecotoxicology. *Aquatic Toxicology* 170; 279-288

LUMMER EM, AUERSWALD K, GEIST J (2016) Fine sediment as environmental stressor affecting freshwater mussel behavior and ecosystem services. *Science of the Total Environment* 571; 1340-1348

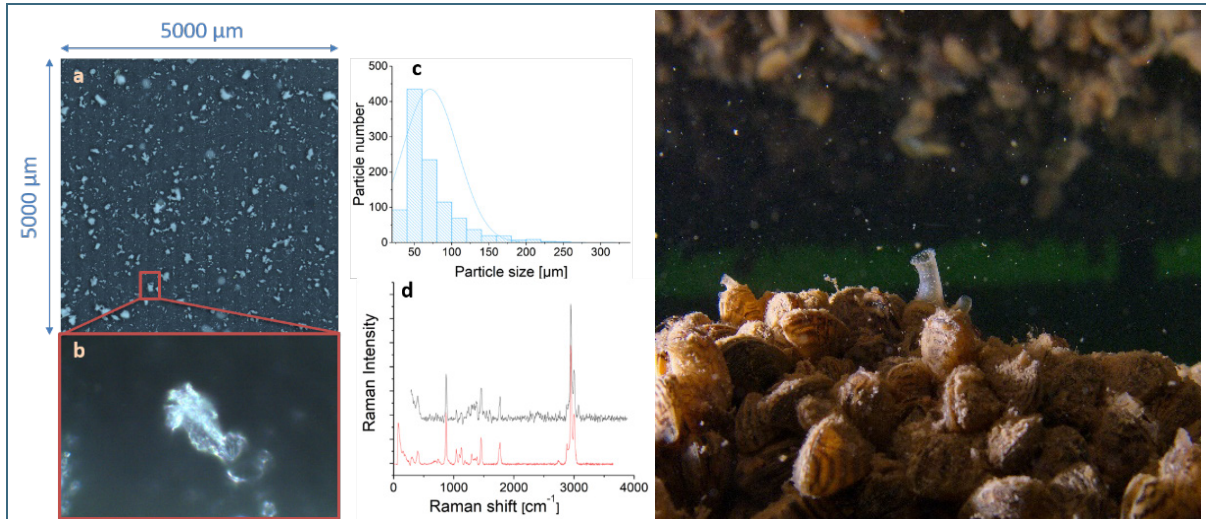


Abb. 2: Links: a-b Künstlich hergestellte Mikroplastik Partikel aus dem biologisch abbaubaren Polymer PLA, wie sie im Projekt verwendet werden. c Größenverteilung der in a-b gezeigten PLA Partikel. d Anwendungsbeispiel der im Projekt verwendeten Raman Mikrospektroskopie (E. von der Esch, Raman und REM Gruppe, IWC-TUM, www.hydrochemistry.tum.de) zur zuverlässigen Polymerbestimmung (Referenz rot, Probe schwarz). Rechts: Zebra-ramuschel *Dreissena polymorpha*, die im Projekt als Filtrierer zur Wirkungsbeurteilung eingesetzt werden (Foto: Dr. H. Imhof, LAS-TUM, www.fisch.tum.de).

Das Projekt MiPAq wird gefördert durch die Bayerische Forschungstiftung.



Bayerische
Forschungstiftung

Innovative Analysemethoden für Submikroplastik – Sub-µTrack

Prof. Dr. J.E. Drewes^a, Dr. J. Graßmann^a, Prof. Dr. J. Geist^b, Dr. S. Beggel^b, Prof. Dr. M. Elsner^c, Dr. N. P. Ivleva^c, Prof. Dr. M.W. Pfaffl^d, Prof. Dr. R. Müller^e, Dr. K. Freier^f, Dr. K.A. Eslahian^g, Dr. J. Türk^h, Dr. C. Grieblerⁱ, Dr. R. Welz^j, Dr. C.-G. Bannick^k

^aTechnische Universität München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, Garching

^bTechnische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Freising

^cTechnische Universität München, Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie, Lehrstuhl für Analytische Chemie und Wasserchemie, München

^dTechnische Universität München, Lehrstuhl für Tierphysiologie und Immunologie, Freising

^eTechnische Universität München, Professur für Wissenschafts- und Technologiepolitik, Munich Centre for Technology in Society, München

^fBayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg

^gBS-Partikel GmbH, Mainz

^hInstitut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA), Duisburg

ⁱInstitut für Grundwasserökologie (IGOE) am Helmholtz-Zentrum München, Neuherberg

^jPostnova Analytics GmbH, Landsberg am Lech

^kUmweltbundesamt, Berlin

In dem interdisziplinären Forschungsverbundprojekt „Tracking von (Sub-)Mikroplastik unterschiedlicher Identität – Innovative Analysetools für die toxikologische und prozesstechnische Bewertung (SubµTrack)“ werden innovative Analyse- und Bewertungsmethoden erarbeitet, die es erlauben, Plastikpartikel verschiedenster Größenbereiche in unterschiedlichen Proben und Prozessen zu analysieren und deren Toxizität zu beurteilen. Derzeit fehlen Analysemethoden für besonders kleine Mikropartikel (Submikropartikel < 1 µm = Nanopartikel) und mit den vorliegenden toxikologischen Daten ist eine Bewertung nicht möglich. Aufgrund ihrer absehbaren Zellgängigkeit und ihrer im Vergleich größeren spezifischen Oberfläche besitzen diese Submikropartikel aber eine potenziell höhere (öko)toxikologische Relevanz. Um Erkenntnisse zu Verbreitung und Auswirkungen dieser Partikel zu erhalten, sind innovative und vernetzte Ansätze nötig, die Mikroplastik sowohl hinsichtlich seiner Wirkungen in verschiedenen Umweltmedien als auch als Herausforderung für gesellschaftliches Verhalten erforschen. In diesem Vorhaben wird daher gezielt der besonders relevante Bereich der Partikel im Nano- sowie unteren bzw. mittleren Mikrometerbereich zwischen 50 nm und 100 µm untersucht.

Das Projekt gliedert sich in drei Schwerpunkte (Abb. 1). Die sieben Partner aus Wissenschaft, Forschung, Behörden und Industrie wollen zunächst Technologien entwickeln, die es erlauben, Submikroplastik und vor allem Nanopartikel zuverlässig zu analysieren. Dies umfasst die Anpassung bestehender sowie die Entwicklung neuer Verfahren zur Probenahme und -aufbereitung sowie zur Analytik. Die neu entwickelten Methoden werden an Referenzpartikeln im Labor, in Laborkläranlagen und in Umweltproben validiert. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die möglichen Auswirkungen der Submikroplastikpartikel auf die Gewässer und die menschliche Gesundheit. Dazu untersuchen die Forschenden die Aufnahme der Partikel und deren physiologische in vivo Wirkung an verschiedenen Wasserorganismen und in vitro an Zellkulturen. Drittens geht es um soziale, politische und rechtliche Aspekte. Die Projektteilnehmer/innen erkunden, inwieweit und wie (Submikro-)Plastikpartikel von verschiedenen gesellschaftlichen Akteuren als Problem wahrgenommen werden und loten Notwendigkeiten für neue rechtliche Maßnahmen aus, um Einträge in die Umwelt zu minimieren. Die Ergebnisse des Projektes sollen die Grundlage für eine umfassende Analytik von Submikropartikeln legen. Die Untersuchungen zur Toxizität werden mit Verfahren aus anderen laufenden Projekten abgestimmt. Dies ist die Basis für eine aussagekräftige Risikoabschätzung zu Submikropartikeln.

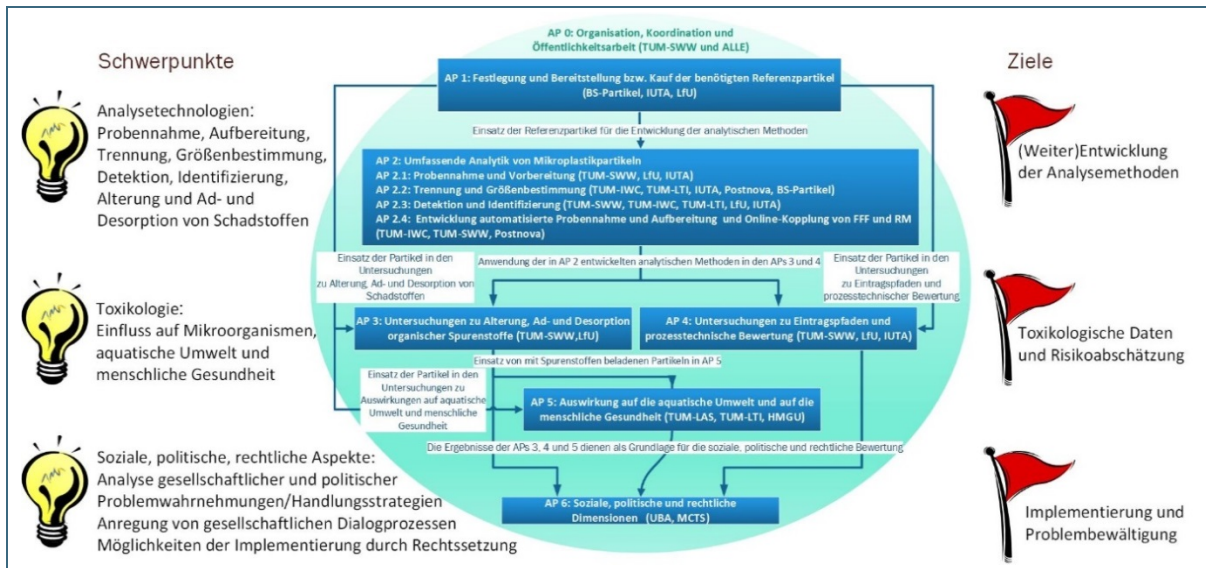


Abb. 1: Schematische Darstellung der Arbeitspakete im Projekt SubjTrack

Erste Projektergebnisse

In diesem Vorhaben wurden zunächst neue Verfahren zur Partikeltrennung mittels Asymmetrischer-Fluss-Feld-Flussfraktionierung und analytische Verfahren zur Charakterisierung von Nano- und (Sub)Mikroplastikpartikel etabliert. Weiterhin wurden zur Bewertung der Adsorptions- und Desorptionsprozesse mit Umweltchemikalien und innovative Testsysteme zur Bewertung der Interaktion von aquatischen Organismen mit Nano- und (Sub)Mikroplastikpartikeln entwickelt. Folgende Referenzpartikel wurden den Projektpartnern für die erste Experimentalphase zur Verfügung gestellt: 41 μm , 9,6 μm , 1,4 μm , 504 nm, 107 nm und 80 nm in 5 % 5 mL Suspensionen mit einer monomodalen Partikelgrößenverteilung (CV < 10 %). Die Partikel wurden mit der Rasterelektronenmikroskopie (REM) charakterisiert. Dazu wurden verschiedene Präparationsmethoden untersucht und zwei Probenträgermaterialien bestimmt, die eine ausreichend glatte Oberfläche für die Darstellung von Partikeln im Nanometermaßstab besitzen. Es erwiesen sich Silizium-Wafer (Fa. Plano GmbH) und Aluminium-bedampfte Glasobjektträger (Fa. EMF, USA) als geeignet (Abb. 2).

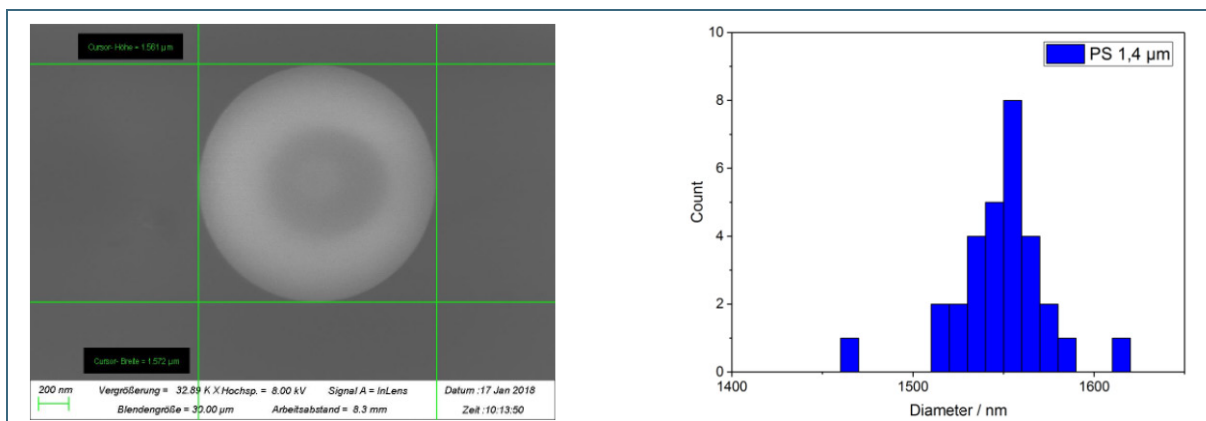


Abb. 2: a) REM-Bild eines PS-Referenzpartikels mit Größenbestimmung in zwei Achsen (links) und b) Histogramm (n = 30) der Größeninformation der Referenzpartikel (rechts). (Daten: C. Schwaferts, Raman und REM Gruppe, IWC-TUM, www.hydrochemistry.tum.de).

Mit den erzeugten REM-Mikrographen konnte die Form, Oberflächenbeschaffenheit und Größenverteilung der PS-Referenzpartikel („107 nm“, „504 nm“, „1,4 μm “, „9,6 μm “) validiert werden. Die Partikel

sind kugelförmig und besitzen eine glatte Oberfläche, wie exemplarisch in Abbildung 2a zu sehen ist. Zusätzlich wurde für ausgewählte Partikel ($n = 30 - 79$) die Größe in zwei Achsen bestimmt, um eine Größenverteilung und eine Aussage über die Form zu generieren. Dazu wurden diese separiert fokussiert, um eine höhere Auflösung und damit höhere Genauigkeit der Größenangabe zu gewährleisten (vgl. Abbildung 2a). Der Vergleich des Durchmessers in der x-Achse und der y-Achse zeigt, dass die Werte um weniger als 2,4 % voneinander abweichen, was die Kugelform bestätigt. Die Größenbestimmung deutet auf eine monodisperse Verteilung der Partikel hin (s. Abbildung 2b).

Für die chemische Identifizierung von Subµ- und Nanoplastik wurde die Einsetzbarkeit der Raman-Mikrospektroskopie (RM) erprobt. Da die untersuchten Partikel sich im Größenbereich der Auflösungsgrenze optischer Mikroskope befinden, wurde eine Kopplung der Raman-Mikrospektroskopie mit der REM entwickelt. Diese ermöglicht die räumliche und geometrische Visualisierung der untersuchten Partikel durch REM und verbindet sie mit der danach erfolgenden spektroskopischen Analyse durch die RM. Hierzu wurde eine Probenvorbereitung erarbeitet, die gleichzeitig für die REM und die RM geeignet ist. Entscheidend ist dafür das Substrat, das für eine gute mikroskopische Visualisierung eine sehr glatte Oberfläche haben muss, sowie kein störendes Raman-Signal erzeugen darf. Alle diese Anforderungen werden von Aluminium-beschichteten Glasobjektträgern (Fa. EMF, USA) erfüllt.

Mit dieser Kopplung wurde die Detektierbarkeit von Referenzplastikpartikeln kleiner $1 \mu\text{m}$, der bisherigen Grenze der RM, demonstriert. Anhand von 500 nm PS-Partikeln wurde gezeigt, dass diese nach der hochaufgelösten Visualisierung mittels REM in die RM transferiert werden können und für dieselben Partikel eine spektroskopische Identifizierung möglich ist. Dies ist in Abbildung 3 zu sehen, in welcher zum einen Bilder dargestellt sind, die durch das optische Mikroskop der RM bzw. durch das REM gewonnen wurden. Dies ist ergänzt durch eine chemische Raman-Map, welche mit 50 nm Schritten aufgenommen wurde, sowie das Raman-Spektrum eines PS-Partikels. Eine Evaluierung und Optimierung dieser Kopplung für noch kleinere Partikel und Partikel unterschiedlicher Art wird momentan durchgeführt, um die Grenze der RM für die Analytik von Subµ- und Nanoplastik zu bestimmen.

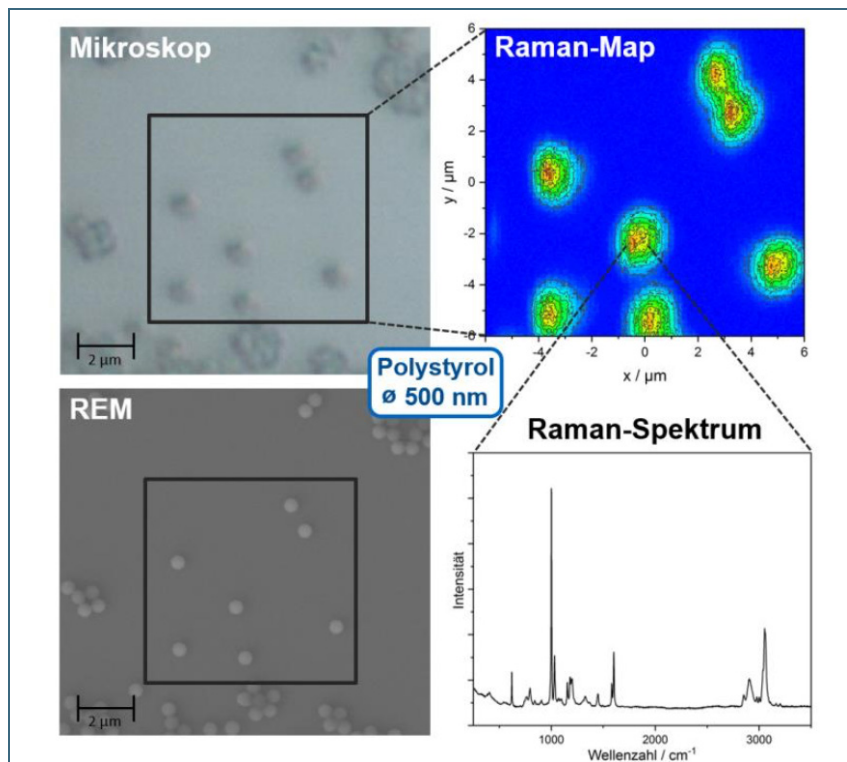


Abb. 3:
Kopplung von REM und RM zur gleichzeitigen Visualisierung und spektroskopischen Identifizierung von 500 nm PS-Partikeln. (Daten: C. Schwaferts, Raman und REM Gruppe, IWC-TUM, www.hydrochemistry.tum.de).

In Kooperation mit dem Projektpartner Postnova Analytics GmbH wird eine Kopplung der Asymmetrischen-Fluss-Feld-Flussfraktionierung (AF4) und der Raman-Mikrospektroskopie angestrebt. Diese soll zu Beginn des Projekts durch das Sammeln von Fraktionen nach Trennung durch AF4 und anschließenden Transfer zur REM bzw. RM-Analyse realisiert werden. Dazu wurden erste Untersuchungen durchgeführt, um eine Probenvorbereitung für PS-Partikel, die mit Huminsäuren beladen sind, zu entwickeln.

Um Untersuchungen der Ad- und Desorption von Schadstoffen auf Partikeln zu ermöglichen wurden eine TED-Pyrolyse-GC/MS etabliert, die im gleichen Analyseschritt die Pyrolyse und damit Identifizierung der Polymerart der Partikel erlaubt.

Das Projekt SubµTrack wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).



Mikroplastik in Binnengewässern – das Projekt MicBin

Nicole Zumbülte¹, Jörg Klasmeier², Thomas Ternes³, Korbinian P. Freier⁴, Peter Fienner⁵, Astrid Rehorek⁶, Stephanie Cieplik⁷, Marco Pittroff¹, Yanina K. Müller¹, Florian R. Storck¹, Cordula Witzig¹, Peter Habermehl¹, Ann-Kathrin Reuwer², Jürgen Berlekamp², Georg Dierkes³, Tim Lauschke³, Corinna Földi³, Heike Schumacher³, Susanne Becher³, Katharina Wörle⁴, Maria Kemser⁴, Raphael Rehm⁵, Kristina Weiz⁶, Christoph Steiner⁶

¹ TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe

² Universität Osnabrück

³ Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

⁴ Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg

⁵ Universität Augsburg

⁶ Technische Hochschule Köln

⁷ BKV GmbH, Frankfurt

Homepage: www.MicBin.de ; E-Mail: info@tzw.de

Mikroplastik im deutschen Donaeinzugsgebiet

Plastik ist in unserer heutigen Zeit weltweit als Verunreinigung in der Umwelt zu finden. Das genaue Ausmaß der Umweltkontamination mit Plastik ist allerdings bislang noch wenig erforscht. Mikroplastikpartikel (Durchmesser < 5 mm) stehen bezüglich ihrer Umweltrelevanz besonders in der öffentlichen Diskussion, wenngleich die wissenschaftliche Datenlage noch sehr gering ist.

Das Verbundprojekt MicBin untersucht den Eintrag und Verbleib von Plastikpartikeln verschiedener Größe im deutschen Donaeinzugsgebiet, mit dem Hauptaugenmerk auf der Analyse von Mikroplastikpartikeln.



Abb. 1:
Zur Probenahme wird eine definierte Wassermenge (> 500 l) über eine Filterkaskade gepumpt.

Empirische Datenerfassung, Messverfahren und Modellierung

Zwei große Messkampagnen (u. a. an der Ammer, Amper, Würm und Loisach) im Verlauf des Projekts bilden die Grundlage zur Bilanzierung des Mikroplastikvorkommens für das deutsche Donaeinzugsgebiet. Dabei werden sowohl Kläranlagenabläufe als auch bisher weniger betrachtete potenzielle Eintragspfade untersucht und ermittelt. Dazu zählen landwirtschaftliche Nutzflächen, Einträge aus der Luft sowie Zerkleinerungs- und Transportprozesse von Makro- und Mikroplastik in der Umwelt.

Ziel des Verbundprojekts ist es Einträge, Transportwege, Verteilung und Verbleib des Mikroplastiks zu quantifizieren.

Die Probenahme erfolgt mittels fraktionierter Filtration bis zu einem minimalen Partikeldurchmesser von 10 µm (Abb. 1). Anschließend werden die Proben mit drei sich ergänzenden Verfahren analysiert (Py-GC/MS, FT-IR- und Ramanmikrospektroskopie), um detaillierte Informationen über Partikeleigenschaften zu gewinnen (Konzentration, Größenverteilung, Kunststoffart).

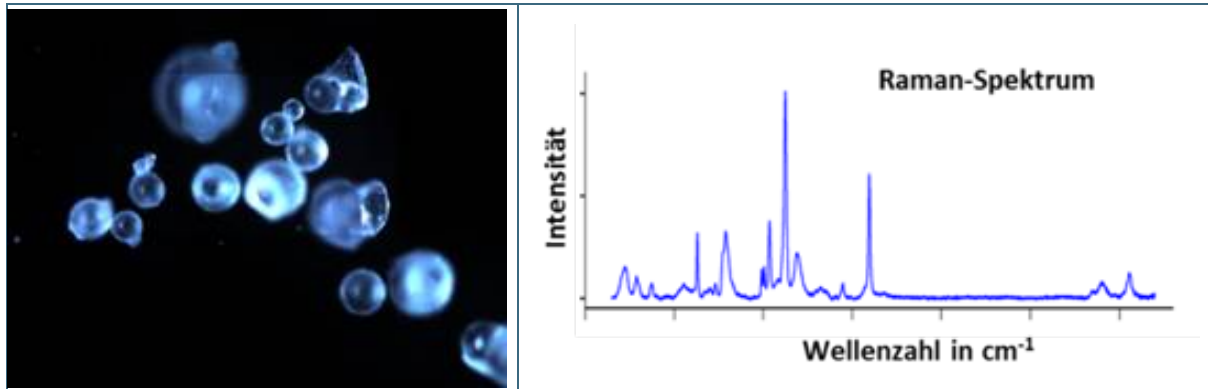


Abb. 2: Raman-Mikrospektroskopische Aufnahme und Analyse von Mikroplastikpartikeln

Mithilfe dieser gezielten, vereinheitlichten Probenahmekampagnen und den ergänzenden Laborexperimenten wird somit ein solider und breitaufgestellter Datensatz für das Donaueinzugsgebiet erstellt.

Der Datensatz wird abschließend in bestehende prozess- und transportorientierte Modelle implementiert und validiert. Die Modelle ermöglichen eine Abschätzung der Mikroplastikfracht im deutschen Donaueinzugsgebiet. Durch die Analyse modellgestützter Szenarien können zudem erfolgsversprechende Minimierungsstrategien und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Das Verbundprojekt MicBin (Mikroplastik in Binnengewässern – Untersuchung und Modellierung des Eintrags und Verbleibs im Donaueinzugsgebiet als Grundlage für Maßnahmenplanungen) wird im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „Plastik in der Umwelt – Quellen, Senken, Lösungsansätze“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert, welcher Teil der Leitinitiative Green Economy des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA3) ist. Der Forschungsverbund MicBin unter Koordination des TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser besteht aus folgenden sieben Partnern: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bundesanstalt für Gewässerkunde, BKV GmbH, Technische Hochschule Köln, TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Universität Augsburg und Universität Osnabrück.



Von terrestrischen Ökosystemen bis in den Ozean: Die Projekte PLAWES; PlaMoWa und MiKoBo

Prof. Dr. Christian Laforsch, Universität Bayreuth

In PLAWES wird mit dem Modellsystem Weser-Nationalpark Wattenmeer weltweit erstmals und umfassend die Kunststoffbelastung eines großen Flusseinzugsgebietes mit europäischer Dimension untersucht, ökosystemübergreifend bilanziert und bewertet. Die dabei gewonnenen Ergebnisse fließen in neue, innovative Informations- und Lehrkonzepte zur Stärkung des Bewusstseins in Bezug auf Plastikmüll. Ziel von PLAWES ist es, ein konsistentes Bild über Quellen und Eintragspfade, Akkumulationsräume, Transportwege und Risiken von Mikroplastik (MP) vom terrestrischen Einzugsgebiet über die Flüsse bis hin zum Meer zu liefern sowie ein Bildungskonzept zur Thematik Mikroplastikkontamination zu erstellen um eine Basis für nationale und internationale Handlungsstrategien zu generieren.

Das Netzwerk PlaMoWa (Netzwerk für Plastik-Monitoring in Gewässern) arbeitet gemeinsam an der Entwicklung und Etablierung von Verfahren und Technologien zur Probenahme, Probenprozessierung und Analytik von MP. Beispielsweise wird zur Identifizierung von Plastikpartikeln eine neuartige Filtereinheit (Filterkaskade) entwickelt, die eine effiziente Vorsortierung der Mikroplastikpartikel während der Probenahme in Gewässern ermöglicht.

Im Projekt MiKoBo werden Methoden zur Identifizierung und Quantifizierung von Mikroplastik in Komposten, Gärprodukten und Böden erarbeitet, das Potential von Bioabfallverwertungsanlagen als Quelle für Mikroplastik abgeschätzt und die Wirkung von eingetragenen Mikroplastik auf die Bodenqualität bestimmt.

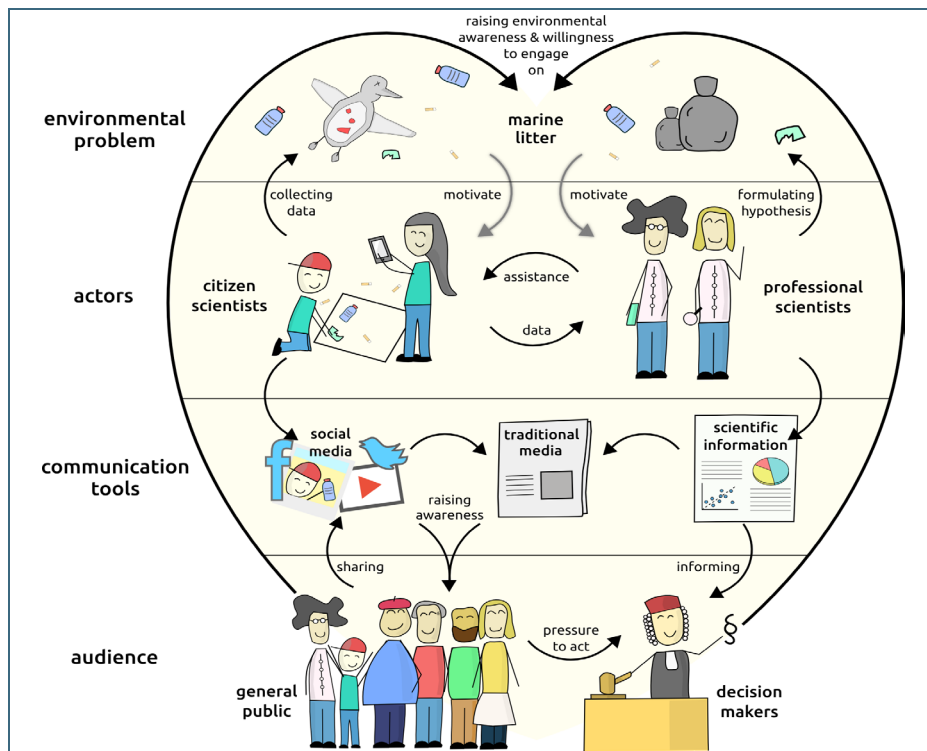
Mikroplastik in der Umwelt – wo stehen wir heute?

Prof. Dr. Martin Thiel, Universidad Católica del Norte, Coquimbo (Chile)

Aufgrund ihrer vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten und ihres geringen Rohstoffwertes sind Plastikprodukte Teil des täglichen Lebens, in vielen Fällen mit einer sehr kurzen Nutzungsdauer. Die Kombination dieser beiden Faktoren (geringer Wert, kurze Lebensdauer) führt zu einer sehr hohen Nutzungsrate von vielen Plastikprodukten, und zum anderen zu hohen Verlusten im ökonomischen Stoffkreislauf. Der resultierende Plastikmüll gelangt in die Umwelt, wo er weitreichende Schäden anrichtet. Obwohl es noch viele offene Fragen gibt, wissen wir heute, dass Plastik in allen Ökosystemen zu finden ist: in der Atmosphäre, polarem Eis, oder der Tiefsee.

Aufgrund der medialen Aufmerksamkeit, ist das Thema Plastikmüll im letzten Jahrzehnt tief in das öffentliche Bewusstsein eingedrungen. Viele Bürgerinitiativen widmen sich dem Thema, und Bürger sind aktiv in der Forschung beteiligt. Eine der zentralen Forschungsfragen (Nimmt die Menge an Plastikmüll in der Umwelt zu oder ab?) wird aktuell mit Hilfe von Langzeituntersuchungen beantwortet die oft auf aktiver Bürgerbeteiligung beruhen. Auch bei der Frage nach den Auswirkungen ist die Teilnahme von Bürgern wichtig, zum Beispiel bei Strandfunden von Seevögeln oder Meeressäugern. Bürger sind aber nicht nur aktiv in der Forschung, sondern ein zentraler Schlüsselpunkt in der Medienkommunikation. Und schlussendlich sind es auch die Bürger die politische Entscheidungen fordern und eine fundamentale Rolle bei der Umsetzung dieser Maßnahmen spielen (siehe Abbildung).

Somit ist das Thema Plastikmüll in der Natur nicht nur ein ernstzunehmendes Umweltproblem, sondern auch eine enorme Möglichkeit für die Wissenschaft sich der Gesellschaft zu öffnen und diese aktiv am Forschungsgeschehen teilhaben zu lassen.



Bürgerbeteiligung in der Forschung zum Plastikmüll in der Umwelt (Tim Kiessling and Martin Thiel (Creative Commons BY-NC 4.0 license)).

Begrüßung / Tagungsleitung / Moderation / Referenten

Dr. Marcel Huber
Staatsminister
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und
Verbraucherschutz
Rosenkavalierplatz 2,
81925 München
Tel.: 089 9214–2100
E-Mail: marcel.huber@stmuv.bayern.de

Claus Kumutat
Präsident des LfU
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071–5001
E-Mail: claus.kumutat@lfu.bayern.de

Dr. Julia Schwaiger
Dienststelle Wielenbach
Demollstraße 31
82407 Wielenbach
Tel.: 0881 185–1153
E-Mail: julia.schwaiger@lfu.bayern.de

Prof. Dr. Christian Laforsch
Universität Bayreuth
Lehrstuhl für Tierökologie I
Universitätsstr. 30
95440 Bayreuth
Tel.: 0921 55–2650
E-Mail: christian.laforsch@uni-bayreuth.de

Dr. Werner Reifenhäuser
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071–5300
E-Mail: werner.reifenhaeuser@lfu.bayern.de

Dr. Michael Altmayer
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und
Verbraucherschutz
Rosenkavalierplatz 2,
81925 München
Tel.: 089 9214–4373
E-Mail: michael.altmayer@stmuv.bayern.de

Dr. Claus Bannick
Umweltbundesamt Marienfelde
Schichauweg 58
12307 Berlin
Tel.: 030 8903–4251
E-Mail: claus-gerhard.bannick@uba.de

Dr. Georg Dierkes
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261 1306–5007
E-Mail: dierkes@bafg.de

Dr. Janina Domogalla-Urbansky
Dienststelle Wielenbach
Demollstraße 31
82407 Wielenbach
Tel.: 0881 185–1143
E-Mail: janina.domogalla@lfu.bayern.de

Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes
Technische Universität München
Am Coulombwall 3
85748 Garching
Tel.: 089 289–13701
E-Mail: jdrewes@tum.de

Dr. Korbinian Freier
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071–5375
E-Mail: korbinian.freier@lfu.bayern.de

Tobias Geiger
Dienststelle Wielenbach
Demollstraße 31
82407 Wielenbach
Tel.: 0881 185–1143
E-Mail: tobias.geiger@lfu.bayern.de

Prof. Dr. Jürgen Geist
Technische Universität München
Weihenstephan
Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie
Department für Ökologie und Ökosystem-
management
Mühlenweg 22
85354 Freising
Tel.: 80161 71–3947
E-Mail: geist@wzw.tum.de

Dr. Gunnar Gerdtts
Alfred-Wegener-Institut
Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeres-
forschung
Kurpromenade
27498 Helgoland
Tel.: 04725 819–3245
E-Mail: gunnar.gerdtts@awi.de

Dipl. Biol. Maren Heß
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucher-
schutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)
Auf dem Draap 25
40221 Düsseldorf
Tel.: 0211 1590–2517
E-Mail: maren.hess@lanuv.nrw.de

Dr. Natalia Ivleva
Technische Universität München
Lehrstuhl für Analytische Chemie und Wasser-
chemie
Marchioninistr. 17
81377 München
Tel.: 089 2180–78252
E-Mail: natalia.ivleva@tum.de

Heide Jekel
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
nukleare Sicherheit
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn
Tel.: 0228 99 305–2521
E-Mail: heide.jekel@bmub.bund.de

Dr. Ulrike Kammann
Thünen-Institut für Fischereiökologie
Herwigstraße 31
27572 Bremerhaven
Tel.: 0471 94460–326
E-Mail: ulrike.kammann@thuenen.de

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Krause
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Schaum
Universität der Bundeswehr München
Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Ab-
falltechnik
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg
E-Mail: swa@unibw.de
Internet: www.plastrat.de

Priv. Doz. Dr. Matthias Labrenz
Leibniz-Institut für Ostseeforschung
Warnemünde
Seestraße 15
18119 Rostock
Tel.: 0381 5197–0
E-Mail: matthias.labrenz@io-warnemuende.de

Dr. Martin Löder
Universität Bayreuth
Lehrstuhl für Tierökologie I
Universitätsstr. 30
95447 Bayreuth
Tel.: 0921 55–2209
E-Mail: martin.loeder@uni-bayreuth.de

Dr. Svenja Mintenig
Universität Utrecht
Copernicus Institute of Sustainable Development
Heidelberglaan 2
3584 CS Utrecht, Niederlande
Tel.: +31(0)30 253 3550
E-Mail: s.m.mintenig@uu.nl

Dr. Ingo Sartorius
PlasticsEurope
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt am Main
Tel.: 069 2556–1303
E-Mail: ingo.sartorius@plasticseurope.org

Dipl.-Biol. Isabella Schrank
Universität Bayreuth
Lehrstuhl für Tierökologie I
Universitätsstr. 30
95447 Bayreuth
Tel.: 0921 55–2648
E-Mail: isabella.schrank@uni-bayreuth.de

Prof. Dr. Martin Thiel
Universidad Católica del Norte
Larrondo 1281
Coquimbo, Chile
Tel.: +56 51 209939
E-Mail: thiel@ucn.cl

Dr. Nicole Zumbülte
TZW: DVGW - Technologiezentrum Wasser
Karlsruher Straße 84
76139 Karlsruhe
Tel.: 0721 9678–146
E-Mail: nicole.zumbuelte@tzw.de

