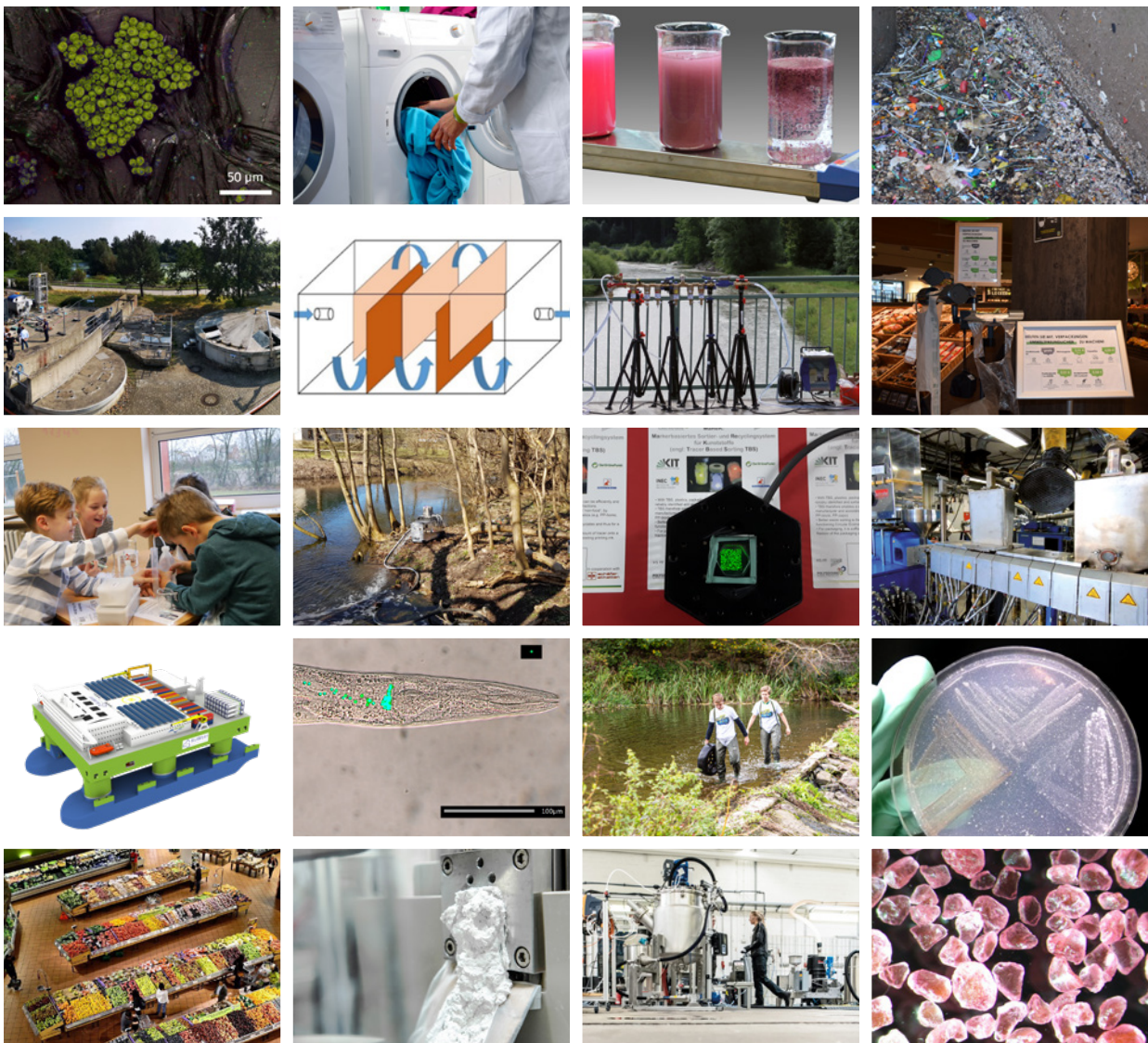


BMBF-Forschungsschwerpunkt

# Plastik in der Umwelt

## Quellen • Senken • Lösungsansätze

Abschlusskonferenz des Forschungsschwerpunkts „Plastik in der Umwelt“  
am 20./21. April 2021



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**

Forschung für Nachhaltigkeit

## Inhaltsverzeichnis

Einführung	4
Untersuchungsstandorte der Verbundprojekte	6
<b>Session A:</b> Analyse und Wirkungen von (Mikro-)Plastik in der Umwelt	
RUSEKU	10
SubµTrack	13
ENSURE	16
<b>Session B:</b> Verringerung von Plastikeinträgen in die Umwelt – Strategien und Verfahren [Teil 1]	
RAU	20
TextileMission	23
InRePlast	26
Querschnittsthemen Teil 1	
QST 4: Politische & soziale Dimension	30
QST 5a: Ökobilanzierung – Ergebnisse	33
QST 5b: Modellierung – Synthesepapier	36
QST 7: Bioabbaubarkeit	39
<b>Session C:</b> Reduktion und Vermeidung von Plastikmüll – Modelle und Methoden	
Innoredux	44
VerPlaPoS	47
PlastikBudget	50
<b>Session B:</b> Verringerung von Plastikeinträgen in die Umwelt – Strategien und Verfahren [Teil 2]	
REPLAWA	54
EmiStop	57
PLASTRAT	60
PhD-WinterSchool	63
<b>Session D:</b> Untersuchung und Bilanzierung von Mikroplastik in Gewässern	
MikroPlaTaS	70
MicBin	73

<b>PLAWES</b>	<b>76</b>
<b>MicroCatch_Balt</b>	<b>79</b>
<b>Session E: Weiterentwicklung von Recycling und Wiederverwertung</b>	
<b>MaReK</b>	<b>84</b>
<b>ResolVe</b>	<b>87</b>
<b>revolPET</b>	<b>90</b>
<b>KuWert</b>	<b>93</b>
<b>Querschnittsthemen Teil 2</b>	
<b>QST 1: Analytik</b>	<b>98</b>
<b>QST 2: Toxikologie</b>	<b>101</b>
<b>QST 3: Begriffe &amp; Definitionen</b>	<b>104</b>
<b>QST 6: Recycling &amp; Produktentwicklung</b>	<b>107</b>
<b>Plastikpiraten</b>	<b>110</b>
<b>Impressum</b>	<b>114</b>



# Einführung

## BMBF-Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt: Quellen • Senken • Lösungsansätze“

Plastikmüll in der Umwelt ist ein globales Problem mit nicht absehbaren ökologischen Folgen. Trotz zahlreicher Aktivitäten und Ansätze liegen erst wenige gesicherte Erkenntnisse über die Eintragspfade, Verbreitungswege und Auswirkungen auf Menschen und Tiere vor. Um diese Wissenslücken zu schließen, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Sommer 2017 den großen Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze“ aufgelegt und fördert 20 innovative Verbundprojekte. Daran beteiligt sind mehr als 100 Institutionen aus Wissenschaft, Wirtschaft, Behörden und Zivilgesellschaft.

Ziel der Forschungen ist es, ein Gesamtbild über die Umweltauswirkungen von Kunststoffen entlang ihres gesamten Lebenszyklus von der Produktion über die Nutzung bis zur Entsorgung zu erhalten. Dabei sollen auch Verbesserungsmöglichkeiten sowie Handlungsoptionen aufgezeigt und somit die wissenschaftlichen Grundlagen für ganzheitliche Strategien und Maßnahmen geschaffen werden. Das Themenspektrum reicht von der Analyse bis zur Reduzierung und Entfernung von (Mikro-)Plastik und vom Kunststoffrecycling bis zum Verbraucherverhalten. Der Forschungsschwerpunkt ist Teil

der Strategie „Forschung für nachhaltige Entwicklung“ (FONA).

Die Forschungsprojekte lassen sich fünf verschiedenen Themenfeldern zuordnen:

Im Themenfeld **Green Economy** wird die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet, um die größten Hebel zur Vermeidung und Verringerung von Kunststoffeinträgen in die Natur zu identifizieren, z. B. durch Optimierung von Material, Produktdesign oder Herstellungsverfahren.

Das Themenfeld **Konsum** fokussiert auf Lösungsstrategien zum Verbraucherverhalten, aber auch in Handel und Produktion.

Der Schwerpunkt im Themenfeld **Recycling** ist die Entwicklung innovativer Verfahren, um den Anteil hochwertiger stofflicher Verwertung von Kunststoffabfällen zu steigern und die Kreislaufschließung in der kunststoffverarbeitenden Industrie zu verbessern.

Für das Themenfeld **Limnische Systeme** sind abgestimmte Analysemethoden zentral, um die möglichen Beeinträchtigungen oder Gefährdungen, die von Mikroplastik im Süßwasserbereich ausgehen können, zu analysieren und zu bewerten. Darauf basierend wurden das Vorkommen von Mikroplastik in Süßwassersystemen sowie seine toxikologischen Auswirkungen untersucht.

Im Mittelpunkt des Themenfeldes **Meere & Ozeane**

steht die Erfassung der räumlichen Verteilung und Variabilität von Mikroplastik von den Flussmündungsgebieten bis in die Ost- und Nordsee, auch als Grundlage für zukünftige Monitoringstrategien.

Darüber hinaus arbeiten die Wissenschaftler\*innen zu verbundübergreifenden Fragestellungen in 7 Querschnittsthemen zusammen: im **QST 1** zur **Harmonisierung der Analytik von Mikroplastik**, im **QST 2** zur Abstimmung möglicher **Bewertungsmethoden**, v. a. im toxikologischen Bereich, im **QST 3** zur Klärung von **Begriffen und Definitionen**, in **QST 4** zur **sozialen und politischen Dimension** von Plastik in der Umwelt, in **QST 5** zu methodischen Aspekten bei der **Modellierung und Ökobilanzierung (inkl. Datenmanagement)**, im **QST 6** zu **Recyclingverfahren** und dem Einsatz von Recyclingprodukten sowie in **QST 7** zum aktuellen Forschungsstand der **Bioabbaubarkeit** von Kunststoffen.

Aufgrund der thematischen Vielfalt der Projekte und der breiten gesellschaftlichen Relevanz des Themas erfolgt die Kommunikation, Verwertung und Umsetzung der Ergebnisse in verschiedenen Formaten und Transferaktivitäten wie u. a. Factsheets, thematischen Webinaren, Bildungsmaterialien, Leitfäden,

Diskussionspapieren, Sonderheften/Zeitschriftenartikeln, (Wander-)Ausstellungen oder Workshops für unterschiedliche Zielgruppen (z. B. Behörden, Anwender\*innen und Ansprechpartner\*innen aus Industrie, Forschung und Zivilgesellschaft).

Damit können auch andere Ressorts und Bundesbehörden seitens der Forschung bei der Entwicklung von Strategien und Maßnahmen für einen nachhaltigeren Umgang mit Kunststoffen unterstützt werden.

**Das wissenschaftliche Begleitvorhaben PlastikNet hat die Aufgaben, die Verbundprojekte fachlich zu begleiten, themenübergreifend zu vernetzen, Synergien zu erkennen und zu nutzen sowie die Kommunikation und Verwertung der Forschungsergebnisse insgesamt zu unterstützen. Zur Vernetzung zwischen den Forschungsprojekten sowie der Diskussion übergreifender Fragestellungen wurde ein Lenkungskreis eingerichtet. Der Begleitkreis unterstützt unter Einbeziehung von Akteuren aus Bund, Ländern, Kommunen, Wirtschaft, Verbänden und der Zivilgesellschaft den Informationsaustausch und den Transfer von Ergebnissen.**

# Untersuchungsstandorte der Verbundprojekte

## Themenbereich GREEN ECONOMY

### RAU

- 1 Empirische Untersuchungen zu Reifenabrieb
- 2 Erfassen von Eintragspotenzialen; Umweltproben aus Straßenabfluss, Straßenkehricht und Luftpartikeln an verschiedenen Standorten in Berlin

**Verbundkoordination: Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch, TU Berlin**

### TextileMission

- 3 Durchführung von Haushaltswäsche- und Tragetests
- 4 Partikelquantifizierung und Laborklärantentests

**Verbundkoordination: Alexander Kolberg, Bundesverband der Deutschen Sportartikel-Industrie (BSI) e.V., Bonn**

## Themenbereich KONSUM

### VerPlaPoS

- 5 Reallabor zu Konsumententscheidungen

**Verbundkoordination: Dr. Thomas Decker, Stadt Straubing**

### PlastikBudget

- 6 Bilanzierungsraum für ein Plastikemissionsbudget (Deutschland)

**Verbundkoordination: Jürgen Bertling, Fraunhofer UMSICHT**

### Innoredux

- 7 Reallabor zur Erprobung innovativer Ansätze für plastikarme Verpackungen

**Verbundkoordination: Dr. Frieder Rubik, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Heidelberg**

### InRePlast

- 8 Beprobungen
- 9 Multiagentensystem
- 10 Tiefen- und Experteninterviews Haushalte, Behörden, Abwasseranlagen, Verbände, Unternehmen
- 11 Feldexperimente

**Verbundkoordination: Dr. Maria Daskalakis, Universität Kassel**

## Themenbereich RECYCLING

### ResolVe

- 12 Laboruntersuchungen
- 13 Technikum

**Verbundkoordination: Franziska Nosić, INEOS Styrolution Group GmbH, Frankfurt am Main**

### KuWert

- 14 Vor-Ort-Analysen und Workshops

- 15 Vor-Ort Analysen und Workshops

**Verbundkoordination: Friedjof Rohde, TECHNOLOG Service GmbH, Hamburg**

### MaReK

- 16 Technikum (Sortiermaschine)
- 17 Kreislaufwirtschaftliche Untersuchungen

**Verbundkoordination: Prof. Dr.-Ing. Claus Lang-Koetz und Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky, Hochschule Pforzheim, Institut für Industrial Ecology**

### revolPET

- 18 Solvolyse im Technikum
- Verbundkoordination: Dipl.-Kfm. Carsten Eichert, RITTEC Umwelttechnik GmbH, Lüneburg**

## Themenbereich LIMNISCHE SYSTEME

### RUSEKU

- 19 Laborinfrastruktur
- 20 Degradationsanlagen
- 21 Fließgewässersimulationsanlage und Lysimeter
- 22 Laborinfrastruktur/Technikum
- 23 Laserprozessanlagen/Analytik
- 24 Infrastruktur/Rechenkapazitäten für Simulationen
- 25 Probenahmestrategien im Abwassersystem

**Verbundkoordination: Dr. Korinna Altmann, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin**

### SubuTrack

- 26 Analysen zum Eintrag von Mikroplastik aus Mischwasserentlastungsanlagen und Regenwasserüberläufen

**Verbundkoordination: Prof. Dr. Jörg E. Drewes, TU München**

### PLASTRAT

- 27 Versuche zur Analytik und Elimination von Mikroplastik auf Abwasserbehandlungsanlagen
- 28 Analysen zum Eintrag von Mikroplastik aus Regenentlastungsanlagen
- 29 Untersuchungen zu Mischwasserentlastungsanlagen

**Verbundkoordination: Prof. Dr.-Ing. Christian Schaum, Universität der Bundeswehr München**

### EmiStop

- 30 Versuchsreihen
- 31 Untersuchungen der Abwasserströme auf Mikroplastik

**Verbundkoordination: Dr. Eva Bitter, EnviroChemie GmbH, Rossdorf**

### MicBin

- 32 Messkampagnen zur Bilanzierung der Einträge von Plastik

**Verbundkoordination: Dr. Nicole Zumbülte, DVGW – Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe**

### MikroPlaTaS

- 33 Mesocosm-Versuchsanlagen
  - 34 Verschiedene Tests und Analysen
- Verbundkoordination: PD Dr. Katrin Wendt-Potthoff, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Magdeburg**

### REPLAWA

- 35 Bewertung der Eintragswege ins Gewässer
- 36 Auswirkungen von Beregnung mit gereinigtem Abwasser und Nutzung des Klärschlammes in der Landwirtschaft
- 37 Bestandsaufnahme auf großtechnischen Kläranlagen

**Verbundkoordination: Prof. Dr.-Ing. Holger Scheer, Emscher Wassertechnik GmbH, Essen**

### ENSURE

- 38 Abbauprobieren eines neuen Kunststoffes in einer Gäranlage
- 39 Probeentnahmen in Kläranlagen
- 40 Drohnenversuche am Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB), Versuchsstelle Marquardt
- 41 Versuchsflächen bei der Agrar-genossenschaft
- 42 Fließ- und Stillgewässersimulationsanlage des UBA

**Verbundkoordination: Prof. Dr. Marc Kreutzbruck, Universität Stuttgart**

## Themenbereich MEERE UND OZEANE

### PLAWES

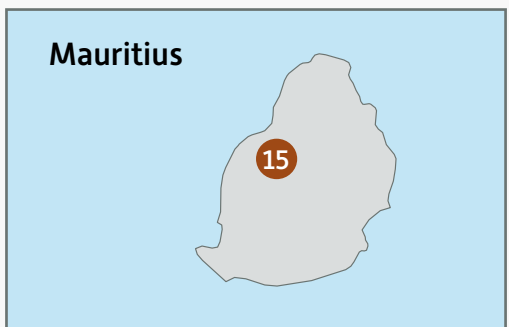
- 43 Modellierung und systemübergreifende Betrachtung der Mikroplastikkontamination im System Weser-Nationalpark Wattenmeer

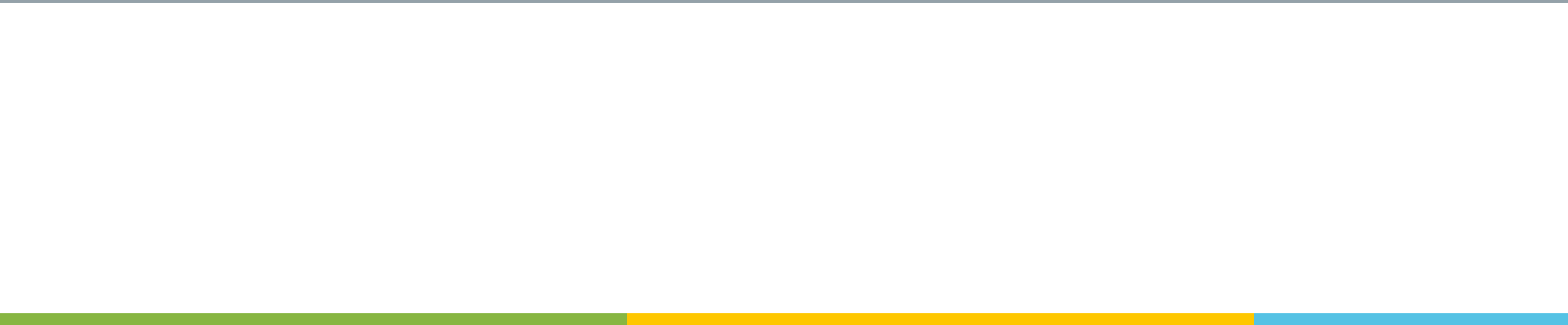
**Verbundkoordination: Prof. Dr. Christian Laforsch, Universität Bayreuth**

### MicroCatch\_Balt

- 44 Beprobung und Untersuchung des Warnow Einzugsgebietes auf Senken und Quellen von Mikroplastik

**Verbundkoordination: PD Dr. Matthias Labrenz, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde**







**Session A:**

**Analyse und Wirkungen von  
(Mikro-)Plastik in der Umwelt**

## Repräsentative Untersuchungsstrategien für ein integratives Systemverständnis von spezifischen Einträgen von Kunststoffen in die Umwelt



### Kurzbeschreibung

Kern des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes RUSEKU ist es, repräsentative, praxistaugliche Untersuchungsverfahren für den Nachweis von Mikroplastik in verschiedenen (Umwelt-)Matrices zu entwickeln. Verschiedene Probenahmetechniken wurden für wässrige Matrices angewendet und hinsichtlich ihrer Repräsentativität und Aussage unter Berücksichtigung der zeitlichen Dynamik und räumlicher Dimension untersucht. Dazu gehören Einzelbeprobungen mit Durchflusszentrifuge sowie integrative Probenahmen mittels Sedimentationskasten mit anschließender Fraktionierung der gewonnenen Feststoffe. Untersucht wurden auch die Eigenschaften der Partikel in wässrigen Matrices. Als Detektionsverfahren wurde die ThermoExtraktion-Desorption-Gaschromatographie/ Massenspektrometrie (TED-GC/MS) routinemäßig angewendet, um Mikroplastik zu identifizieren und Gehalte für die einzelnen Größenklassen zu bestimmen. Darüber hinaus wurden spezifische Filtersysteme entwickelt, die gleichzeitig Probenahmegerät und optimierte Probenträger für das anschließende Detektionsverfahren sind. Im Weiteren wurde auch die automatisierte Erfassung von Partikelzahlen untersucht, sowie die Identifikation von Nanopartikeln. Die Verfahren wurden in computergestützten Simulationen und halbtechnischen Testaufbauten hinsichtlich ihrer Leistungsparameter mittels Referenzabläufen und Referenzmaterialien optimiert und validiert sowie für zahlreiche praxisnahe Fragestellungen angewendet.

### Ergebnisse

- » Die TED-GC/MS konnte zur Detektion von Mikroplastikgehalten im Routinebetrieb erfolgreich weiter etabliert werden. Das Verfahren erlaubt die sichere Detektion der mengenmäßig am häufigsten angewendeten Polymere, wie Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol, Polyethylenterephthalat und Polyamid. Signale von Styrol-Butadien-Kautschuk können als Marker für den Abrieb von Reifen detektiert werden. Das Polymerportfolio wird kontinuierlich erweitert.
- » Für einen ersten Eindruck des Mikroplastikvorkommens eines Gewässers werden Stich- oder Einzelproben genommen. Das zu beprobende Wasservolumen ist abhängig von dem zu erwartenden Partikelgehalt. Stichproben können z. B. mit Hilfe von Durchflusszentrifugen genommen werden. Integrale Beprobungen, die einen Mikroplastikgehalt über einen zeitlichen Verlauf erfassen, können mittels eines Sedimentationskastens durchgeführt werden. Der Sedimentationskasten wird über einen Zeitraum von mehreren Tagen/Wochen mittels Pumpe mit Wasser durchströmt.
- » Sehr kleine Mikroplastikpartikel oder Wässer mit geringen Gehalten können mit Hilfe von Filtertiegeln für die anschließende Detektion mittels TED-GC/MS (Partikelmasse) oder Siliziumfiltern für die anschließende mikroskopische-spektroskopische Partikelerfassung (Partikelanzahl) genommen werden. Die automatisierte Erfassung und Clusterung von Partikelsorten, -größen und -zahlen ist möglich, bedarf jedoch einer sorgfältigen Probenvorbereitung. Polymerpartikel im nanoskaligen Bereich können mittels komplexer Elektronenmikroskopietechniken identifiziert werden, eine Routineanalytik für Praxisproben

ist damit nicht möglich.

- » Grundlage für die Optimierung und Validierung der Mikroplastikanalytik ist die Durchführung von Referenzfiltrationsprozessen inklusive Blindwerten und Wiederfindungsraten mit geeigneten Referenzmaterialien. Die Herstellung dieser und die Beschreibung der jeweiligen Partikeleigenschaften auch in Bezug auf das Probenmedium ist auf die Fragestellung und das Detektionsverfahren abzustimmen und muss Kriterien geeigneter Homogenitäts- und Stabilitätskontrollen unterliegen.
- » Praxisorientierte Probenahmekampagnen lieferten eine Vielzahl an Ergebnissen; dies gilt sowohl für das urbane Abwassersystem der Stadt Kaiserslautern, verschiedene Oberflächengewässer, Lysimeterwässer

als auch für Waschmaschinenabflüsse oder in Flaschen abgefüllte Getränke. Unter anderem zeigte sich, dass im Abwassersystem das Regenrückhaltebecken die höchsten Gehalte an Mikroplastik aufwies, dass das Filtrat von Waschmaschinenabläufen üblicher Wäscheposten nur zu einem Anteil aus systemischen Fasern besteht oder dass Flaschenwasser stark schwankende Mikroplastikgehalte aufweist.

Foto und Schema des Sedimentationskastens [a + b] sowie der Messfiltertiegel [c] und realitätsnahes Polystyrol als Referenzmaterial [d]

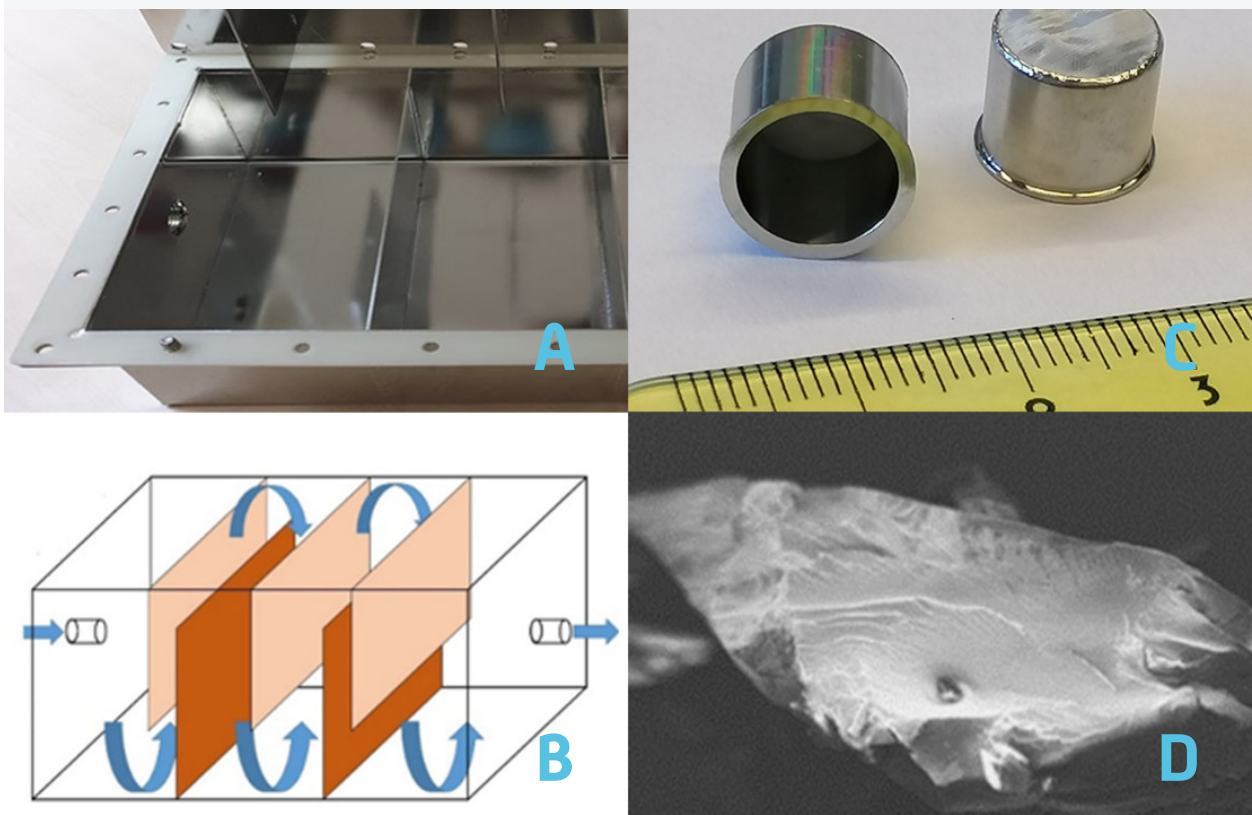


Foto: BAM [c, d], UBA [a, b]

## Kernaussagen

- » Die wissenschaftliche Untersuchung praxisnaher Fragestellungen im Projekt RUSEKU hat gezeigt, dass Einzelbeprobungen oder einzelne Stichproben als Momentaufnahme des Mikroplastikvorkommens nicht aussagekräftig für die Beurteilung eines Gewässers oder einer Anlage sind. Es sollte entweder eine große Anzahl von sich wiederholenden Beprobungen für dieselbe Fragestellung und dasselbe Medium erfolgen oder ein integratives Verfahren angewendet werden, um valide Aussagen zu Mikroplastikgehalten in Umweltmatrices zu erhalten.
- » Probenahmekonzept und Probenahmeverfahren sind anhand der Fragestellung und des zu beprobenden Mediums auszuwählen. Diese müssen auch die Leistungsparameter der anschließenden Detektionsverfahren berücksichtigen. Eine Vereinheitlichung auf ein einziges Verfahren ist nicht möglich.
- » Für eine erste Einschätzung des Mikroplastikvorkommens in verschiedenen wässrigen Matrices ist die Bestimmung von Gehalten geeignet. Diese können mit thermoanalytischen Verfahren, wie z. B. der TED-GC/MS, ermittelt werden. Durch Anwendung einer fraktionierten Filtration bei der Probenahme kann auch eine Einschätzung der Partikelgrößen in der Probe bei diesem integralen Verfahren erfolgen.

## Koordinatorin

*Dr. Korinna Altmann*

### **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung / BAM**

Unter den Eichen 87

12205 Berlin

Tel.: +49 30 8104-4317

E-Mail: korinna.altmann@bam.de

## Partnerinstitutionen

- » Umweltbundesamt / UBA
- » Technische Universität Chemnitz / TUC
- » Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik / CSP
- » Technische Universität Kaiserslautern / TUK
- » Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft / FHI
- » Technische Universität München / TUM
- » Technische Universität Berlin / TUB
- » Smart Membranes GmbH / SMB
- » Kreuzinger und Manhart Turbulenz GmbH / KMT
- » Umwelt – Geräte – Technik GmbH / UGT

## Assoziierte Partner:

- » Plastics Europe Deutschland e. V. / Plastics Europe
- » Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. / ZVEI
- » GKD – Gebr. Kufferath AG
- » Westfalia Separator Group GmbH / GEA
- » Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin / HTW

## Verbundprojekt-Webseite

<https://netzwerke.bam.de/ruseku>

## Laufzeit

01.04.2018 – 31.03.2021

## Tracking von (Sub)Mikroplastik unterschiedlicher Identität – Innovative Analysetools für die toxikologische und prozesstechnische Bewertung



### Kurzbeschreibung

In dem Verbundvorhaben SubµTrack wurden Analyseverfahren für die Quantifizierung von Submikrometer-Plastikpartikeln in verschiedenen Wasserproben bewertet, weiter- und neuentwickelt. Dazu zählen neben den eigentlichen Messverfahren auch die Probenahme- und Probenaufbereitungsstrategien sowie die Datenauswertung. Dabei wurde der Fokus nicht auf Plastikpartikel  $< 1 \mu\text{m}$  begrenzt, sondern insgesamt auf Plastikpartikel  $< 100 \mu\text{m}$  gelegt, um auch die noch bestehenden analytischen Lücken zwischen der Untersuchung von Nanopartikeln und Partikeln  $> 10 \mu\text{m}$  zu schließen. Neben der Weiterentwicklung der analytischen Verfahren wurde auch eine (öko-)toxikologische Bewertung und die Interaktion mit organischen Spurenstoffen für Submikro-Plastik untersucht. Ebenso wurde eine Bewertung von Kläranlagen als Eintragspfad von Mikroplastik in die aquatische Umwelt untersucht.

Darüber hinaus fand auch eine Untersuchung der Problemwahrnehmung und Bewältigungsstrategien in Bezug auf (Sub)Mikropartikel in der Umwelt innerhalb von Gesellschaft und Politik statt. Auch bestand eine starke Beteiligung an laufenden Normungsverfahren und somit eine Einbindung der Ergebnisse in noch anstehende Rechtssetzungsprozesse.

### Ergebnisse

- » Es wurden große Fortschritte in der Analytik bezüglich des gesamten analytischen Prozesses zur Mikroplastik-Analytik für reale Proben erreicht (Validierung, Reproduzierbarkeit, Vergleichbarkeit, Sensitivität).
- » Es konnte eine neue analytische Methode (FFF-Raman) für die Submikro-Plastik-Analyse bis  $0,2 \mu\text{m}$  entwickelt werden. Dies ist ein großer Schritt Richtung Nanoplastik-Analyse.
- » Es wurde eine chemometrische Methode für eine repräsentative Raman-basierte Analyse von Mikroplastik  $< 10 \mu\text{m}$  konzipiert.
- » Synergien, Limitierungen und Vorteile der verschiedenen Analysen-Methoden (Spektroskopisch & Thermoanalytisch) wurden aufgezeigt. (Siehe komplementäre Ergebnisse und Einsatzmöglichkeiten Ergebnis 1 ).
- » Kläranlagen eliminieren zwischen 90% und 99% der Mikroplastik-Fracht bei Trockenwetter. Dabei wird Mikroplastik größen-, form- und polymerabhängig über den Fettabscheider oder den Klärschlamm ausgetragen.
- » Sandfilter als ergänzende Reinigungsstufe verringern die Mikroplastikfracht um eine Größenordnung.
- » Für Partikelgrößen bis  $> 0,5 \mu\text{m}$  konnten über den Einsatz von fluoreszenzmarkierten Partikeln und Fluoreszenzmikroskopie erstmals Erkenntnisse zum Verhalten von Partikeln dieser Größenordnung in Laborkläranlagen gewonnen werden. Hier ergab sich keine Änderung der grundlegenden Aussage zur Entfernungsleistung in Kläranlagen.
- » Die Ergebnisse der toxikologischen Untersuchungen und die in der Umwelt festgestellten Konzentrationen von Mikroplastik  $> 20 \mu\text{m}$  weisen darauf hin, dass von dem aktuellen Vorkommen von Mikroplastik keine akuten Effekte/Wirkungen in der aquatischen Umwelt zu erwarten sind. Zudem weisen die ökotoxikologischen Ergebnisse einen Bias auf, denn beobachtete „Nicht-Effekte“ werden selten kommuniziert.
- » Die Verantwortung für die Handhabung (Entsorgung, Vermeidung, Reduktion) von Plastik/Mikroplastik wird medial aber auch im Rahmen zivilgesellschaftlicher Diskurse oftmals individualisiert. Dies erfordert allerdings ein hohes Maß an Information bei dem Individuum

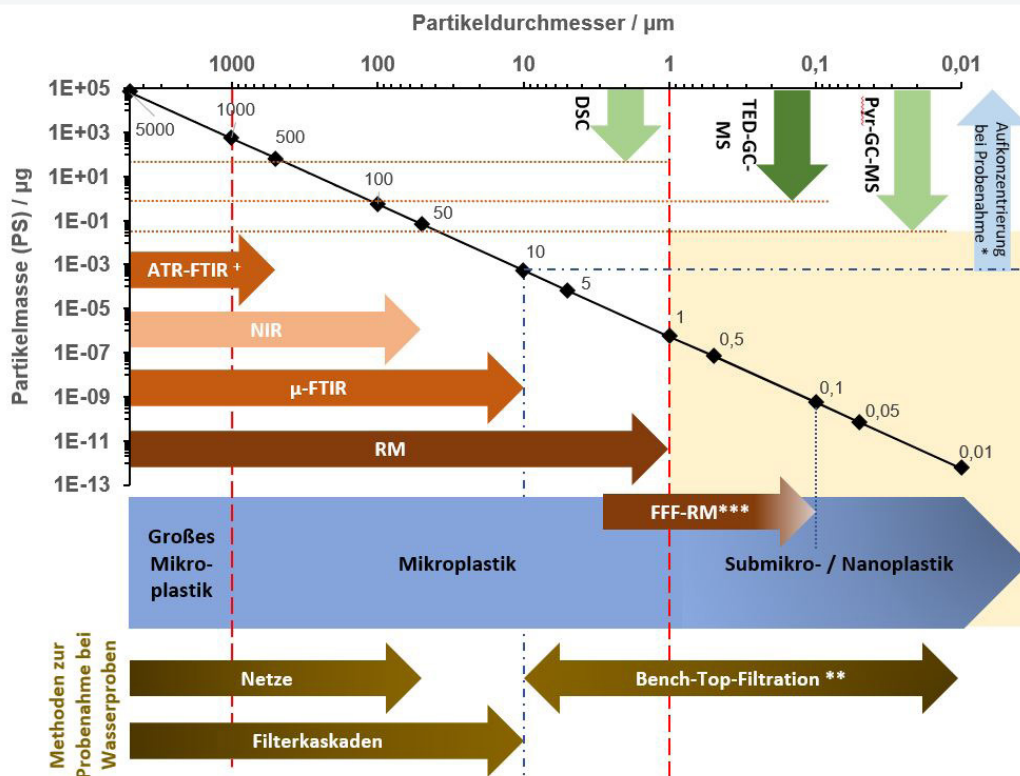
für angepasste Entscheidungen. Daraus ergeben sich jedoch Fragen der sozialen Gerechtigkeit (z. B.: wer kann sich ein (mikro)plastikfreies Leben leisten?)

- » Der gesellschaftliche Diskurs ist vornehmlich konsumorientiert (z. B. sichtbar durch die individualisierte Verantwortungsverteilung). Dieser muss sich zu einem ressourcenorientierten und somit kollektiven Diskurs ändern.
- » Der mediale Hype um Mikroplastik kann zu einer Unterwanderung der wissenschaftlichen Glaubwürdigkeit führen, vor allem in Bezug

auf die medialen Interpretationen des Mikroplastikrisikos, die nicht immer einer wissenschaftlichen Interpretation entspricht. Um hier einen konstruktiven Dialog zu erlauben, muss die Beziehung der Wissenschaft zu den Medien und vor allem die Verantwortung der Medien stärker thematisiert und kritisch reflektiert werden.

- » Für die Rechtssetzung müssen analytische Verfahren zuerst standardisiert und normiert werden. Zeithorizont für die Entwicklung von ISO/CEN/DIN-Standards ist ca. 3-5 Jahre.

Aktueller Stand der Erfassungsbereiche analytischer Methoden (Mess- & Probenahme-Methoden) für Wasserproben.



Quelle: Knoop et al. (2021, S.141)

## Kernaussagen

- » Das Spektrum der analytischen Methoden konnte für Mikroplastikpartikel erweitert bzw. neu entwickelt werden: 1-10 µm (Raman-Mikrospektroskopie) und bis > 200 nm (FFF-Raman). Für die Analyse von Umweltproben müssen die Methoden jedoch noch weiter ausgearbeitet sowie geeignete Probenahme- und Anreicherungsmethoden entwickelt werden.
- » Von aktuellen Vorkommen an Mikroplastik (> 20 µm) sind keine akuten Effekte/Wirkungen in der aquatischen Umwelt zu erwarten.
- » Kläranlagen eliminieren 90-99% der Mikroplastik-Fracht (> 0,5 µm) bei Trockenwetter.
- » Normung und Standardisierung für Analytik und Ökotoxikologie sind dringend notwendig, vor allem um Rechtsetzung zu ermöglichen.
- » Gesellschaftlicher Diskurs ist vornehmlich konsumorientiert und somit basierend auf individualisierter Verantwortung. Ein Wechsel zu einem ressourcenorientierten kollektiven Diskurs ist notwendig.
- » Um einen konstruktiven medialen Dialog beim Thema Mikroplastik zu erlauben, muss die Beziehung der Wissenschaft zu den Medien und vor allem die Verantwortung der Medien stärker thematisiert und kritisch reflektiert werden.

## Literatur

- » *Knoop, Oliver; Schwaferts, Christian; Al-Azzawi, Mohammed M.S.M.; Kunaschk, Marco; Funck, Martin; Türk, Jochen; Meier, Florian,; Elsner, Martin; Ivleva, Natalia P.; Drewes, Jörg E. (2021): Analytik von Mikro- und Submikro-Plastikpartikeln aus Wasserproben: Status Quo und Ausblick, in: Korrespondenz Wasserwirtschaft 3|21, S. 138-146.*

## Koordinator

*Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes*

**Technische Universität München,  
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft /  
TUM-SWW**

Am Coulombwall 3

85748 Garching

Tel.: +49 89 2891 3701 bzw. -3718

E-Mail: [jdrewes@tum.de](mailto:jdrewes@tum.de)

## Partnerinstitutionen

- » Technische Universität München
  - » Lehrstuhl für Analytische Chemie und Wasserchemie, Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie / TUM-IWC
  - » Lehrstuhl für Tierphysiologie und Immunologie / TUM-LTI
  - » Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie / TUM-LAS
  - » Professur für Wissenschafts- und Technologiepolitik / TUM-MCTS
- » Helmholtz Zentrum München, Institut für Grundwasserökologie / IGOE
- » Bayerisches Landesamt für Umwelt / LfU
- » Umweltbundesamt / UBA
- » Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. / IUTA
- » Postnova Analytics GmbH
- » BS-Partikel GmbH

## Verbundprojekt-Webseite

<https://www.wasser.tum.de/submuetrack>

## Laufzeit

01.09.2017 - 30.06.2021

## Entwicklung Neuer Kunststoffe für eine Saubere Umwelt unter Bestimmung Relevanter Eintragspfade



### Kurzbeschreibung

Ziel des Vorhabens ist es, das Vorkommen, die Verweilzeiten sowie das Abbauverhalten von Kunststoffen in der Umwelt zu untersuchen. Dabei soll insbesondere der Einfluss auf die Bodenfunktionen und die Umweltverträglichkeit analysiert werden. Ein Lösungsansatz ist es, zum einen mittels Fernerkundung eine Methode zur schnellen und flächenhaften Quantifizierung und Charakterisierung von Kunststoffen in der Umwelt zu entwickeln. Zusätzlich sollen auch unerwünschte Kunstoffeinträge in beispielsweise Klär- oder Kompostanlagen erfasst und identifiziert werden. Die mechanische Degradation spielt bei der Entstehung von Mikroplastik eine entscheidende Rolle und wird in einer Fließ- und Stillgewässer-Simulationsanlage genauer beleuchtet.

Ein weiteres Ziel ist es, Kunststoffe mit umweltschonendem Abbauverhalten herzustellen, die bei gleicher Stabilität schneller abgebaut werden können. Aber auch herkömmliche Kunststoffe sollen hinsichtlich ihres Alterungsverhaltens und ihres Abbauverhaltens untersucht werden.

Gleichzeitig soll mit empirisch-sozialwissenschaftlichen Methoden untersucht werden, welche Faktoren den Umgang mit Kunststoffen beeinflussen und welche gesellschaftlichen Wahrnehmungs- und Verhaltensmuster hinsichtlich der Auswirkungen von Kunststoffen in der Umwelt existieren.

### Ergebnisse

#### Mikrobiologie

- » Untersuchungen beim mikrobiellen Abbau von Kunststoffen haben ergeben, dass Kunststoffe im Boden einen gesonderten mikrobiellen Lebensraum darstellen, sie bilden eine mikrobielle Gemeinschaft. Noch ist nicht geklärt, ob die Kettenlänge oder Intermediate der

limitierende Faktor für den Abbau sind.

- » Es besteht die Möglichkeit, dass durch künstlich zusammengestellte Konsortien ein PE-Abbau erzielt werden kann.
- » Untersuchungen haben gezeigt, dass die Bioakkumulation bislang kaum untersucht und die Aufnahme von Mikroplastik durch das Edaphon (Gesamtheit der in und auf dem Erdboden lebenden Kleinlebewesen (Pflanzen und Tiere)) weitestgehend bestätigt ist.

#### Alterung/Werkstoffentwicklung

- » Alterungsparameter für PET und PE sind charakterisiert.
- » PHBV-Blends eignen sich als bioabbaubarer Kunststoff; ihr Preis ist für eine Marktfähigkeit aber noch zu hoch bzw. das Angebot zu gering.
- » Bei Abriebversuchen in der Fließwasser-Simulationsanlage zeigen die Flaschen Massenverluste durch Reibung bis zum Zerfall auf. Die Mikroplastikpartikel können entsprechend in Sedimenten/Wasser nachgewiesen werden.
- » Erste Modelle zum Masseverlust durch Reibung wurden anhand des Potenzgesetzes entwickelt. Zusätzlich haben Simulationen zum Ausbreitungsverhalten von Plastikpartikeln in der fließenden Welle in Abhängigkeit von Dichte und Größe der Partikel stattgefunden.

#### Detektierbarkeit

- » Für die Detektion mittels Fernerkundung wurde eine Simulationsstudie mit über 50.000 Spektren für den NIR/SWIR-Bereich durchgeführt. Dadurch ist eine Detektierbarkeit und Identifizierbarkeit von Kunststoffen auf verschiedenen Hintergründen etc. möglich.
- » Sowohl in Gär- als auch in Kompostanlagen ist Mikroplastik zu finden. Bei der Probenahme ist darauf zu achten, dass eine repräsentative Probemenge genommen wird.

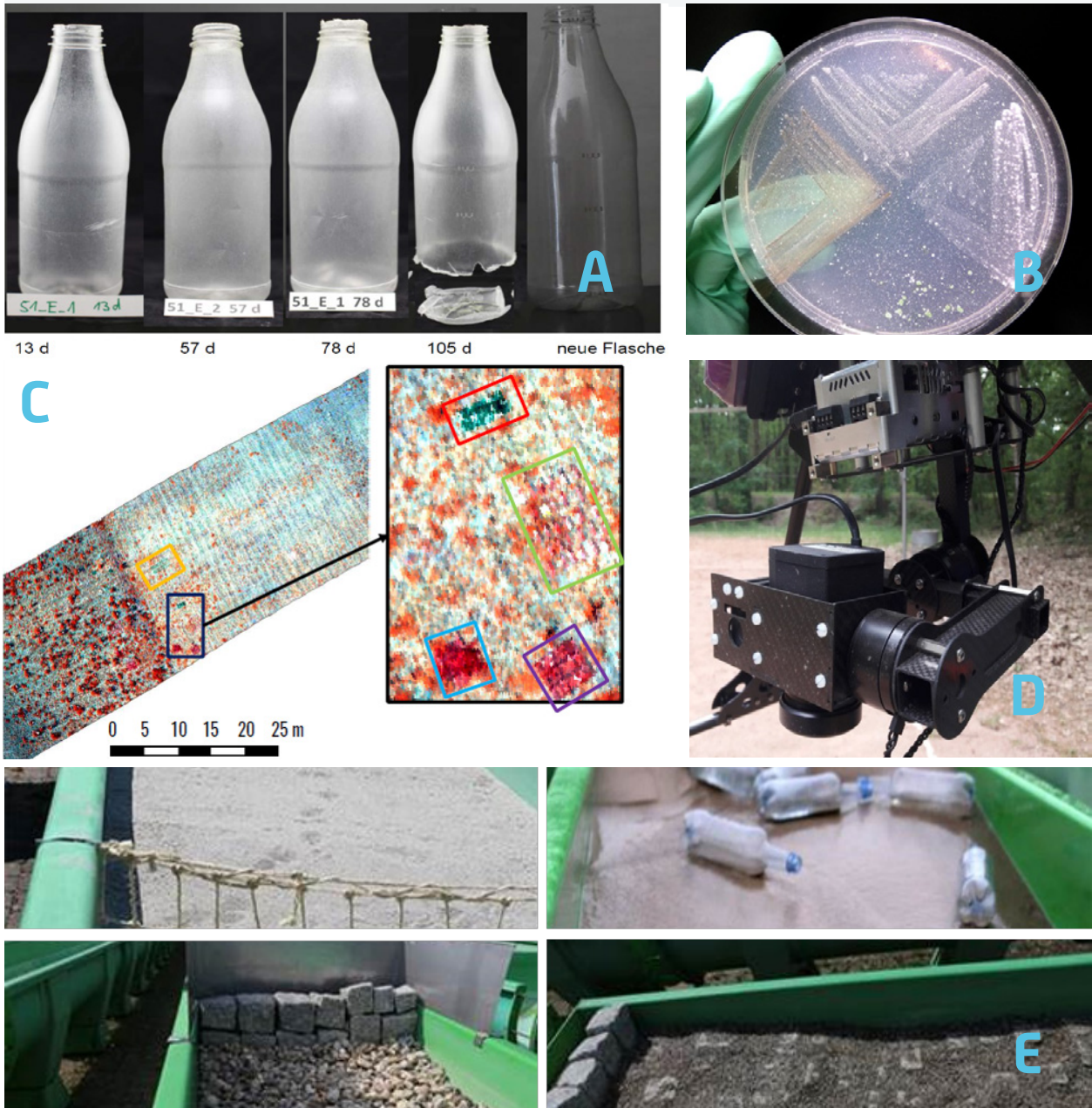


PE wird am häufigsten gefunden. In Gäranlagen ist zusätzlich häufig PET zu finden, in Kompostanlagen hingegen nicht. Die Qualität des Biomülls ist außerdem abhängig vom Sammelort.

### Verhalten/Wahrnehmung

- » Plastikmüll wird von den Verbraucher\*innen als Problem wahrgenommen, die größten Änderungspotenziale werden bei Verpackungen von Milchprodukten, Knabberprodukten und Obst/Gemüse gesehen. Als größte Barriere wird ein fehlendes Alternativangebot genannt.

In ENSURE werden u.a. Drohnen zur Erfassung von Kunststoffen in der Umwelt eingesetzt, das Abriebverhalten von Flaschen im Wasser untersucht und neue Mikroorganismen zum Abbau von Kunststoffen erforscht.



Quelle: UBA (a, e), GeoForschungsZentrum GFZ (b, c, d)

## Kernaussagen

- » In ENSURE konnten die Grundlagen für eine umfassende Analyse von Kunststoffen in der Umwelt geschaffen werden. Es wurden Methoden für die großflächige Erfassung von Kunststoffen via Fernerkundung sowie zuverlässige Methoden zur Mikrokunststoffanalyse aus Boden- und Wasserproben entwickelt. Zusätzlich erfolgte die Entwicklung von Modellen zur Entstehung von Mikroplastik, die nun weiter validiert werden müssen.
- » Darüber hinaus wurde in der Mikrobiologie durch die Bildung künstlicher Bakterienkonsortien eine Basis für einen möglichen Abbau konventioneller Kunststoffe geschaffen. An diesen Punkten, genauso wie an der vielversprechenden Entwicklung neuer Biokunststoffe, muss zukünftig dringend weiter geforscht werden, um noch mehr über Kunststoffe in der Umwelt und ihre Auswirkungen zu erfahren und diese dann auch verringern zu können.

## Koordinator

*Prof. Dr. habil. Marc Kreutzbruck*

**Universität Stuttgart, Institut für Kunststofftechnik / IKT**

Pfaffenwaldring 32

70569 Stuttgart

Tel.: +49 711 685 62812

E-Mail: marc.kreutzbruck@ikt.uni-stuttgart.de

## Partnerinstitutionen

- » Umweltbundesamt / UBA
- » Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung / BAM
- » Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum / GFZ
- » Technische Universität Berlin / TUB
- » Universität Osnabrück, Institut für Umweltsystemforschung / IUSF
- » Institute for Advanced Sustainability Studies / IASS

## Assoziierte Partner

- » BASF SE
- » Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG
- » Stadtreinigung Hamburg / SRH
- » Berliner Wasserbetriebe / BWB
- » Hochschule Hamm-Lippstadt / HSHL

## Verbundprojekt-Webseite

[www.ensure-project.de](http://www.ensure-project.de)

## Laufzeit

01.04.2018 – 30.9.2021

## Session B:

# Verringerung von Plastik- einträgen in die Umwelt – Strategien und Verfahren (Teil 1)

## Reifenabrieb in der Umwelt



### Kurzbeschreibung

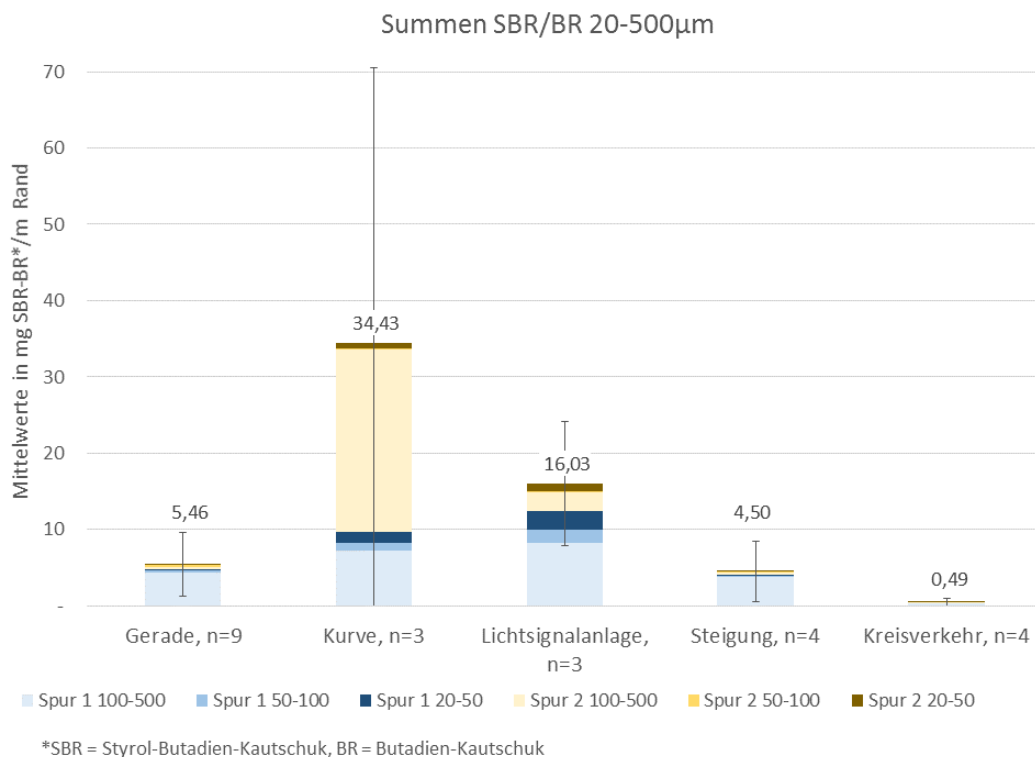
Die Gesamtabriebsmengen in Deutschland können auf der Basis der jährlichen Kilometerleistung des Kraftfahrbundesamtes (Aufschlüsselung nach Fahrzeugart, [Kraftfahrbundesamt]) und der spezifischen Abriebsmenge pro km [Peano et al.; Strauch] berechnet werden. Daraus ergibt sich eine geschätzte jährliche Menge von 95.546 – 106.840 t für 2019. Der Reifenabrieb - bzw. Partikel bestehend aus Material des Reifen-Laufstreifens und der Straßenoberfläche mit einer Dichte von  $1,8 \text{ g/cm}^3$  und einer mittleren Größe von  $100 \mu\text{m}$  [Kreider et al.] - gelangt über unterschiedliche Eintragspfade in die aquatische Umwelt. Und der zunehmende KFZ-Verkehr führt unweigerlich zum vermehrten Aufkommen an Reifenabrieb. Die Mengen an Reifenabrieb und der Eintrag in die aquatische Umwelt über den Straßenabfluss sind bisher kaum erforscht. Genau dort setzte das Verbundprojekt RAU an. Es beschreibt Reifenpartikel aus der Nutzungsphase des Reifens umfassend und untersuchte auf theoretischer Basis mögliche Verluste von Reifenpartikeln über den gesamten Lebenszyklus. Es wurden Hot Spots des Reifenabriebs identifiziert, Eintragspfade von Reifenmaterial in die aquatische Umwelt beschrieben und bilanziert sowie Maßnahmen zur Reduzierung aufgezeigt. Die Straßenreinigung mittels Kehrmaschinen zur Reduzierung des Eintrags von Reifenmaterial in die aquatische Umwelt wurde verifiziert und digitalisierte Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt. Auf Basis dieser wesentlichen Einflussfaktoren wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt, die es ermöglicht, für unterschiedliche Standorte geeignete Maßnahmen abzuleiten.

### Ergebnisse

- » Der Vergleich der Größenverteilung des Reifenabriebs im Labor und auf einer Indoor-Teststrecke zeigte eine gute Übereinstimmung, der Medianwert der Verteilungen liegt bei  $140 \mu\text{m}$ .
- » Im Labormaßstab wurden in einem weiteren Testprogramm mit verschiedenen Gummimischungen Größenverteilungen erzeugt. Die Messergebnisse zeigen, dass Mischungen mit einem großen Abriebwiderstand Verteilungen mit einem kleineren Medianwert erzeugen.
- » Unter Berücksichtigung der Straßentopologie lassen sich geeignete in situ-Messstellen (Hot Spots) für Monitoringprogramme und ggf. den Einsatz von Maßnahmen identifizieren.
- » Bezogen auf den Straßenquerschnitt wurde im Abstand von  $1,6 \text{ m}$  (Spur 1 mit  $80 \text{ cm}$  + Spur 2 mit  $80 \text{ cm}$ ) vom Bordstein die größte Reifenabriebs- und Partikelmenge festgestellt.
- » Zur Untersuchung einer trockenen Umweltprobe eignet sich die definierte Handkehrichtprobenahme am besten.
- » Zur Entnahme einer nassen Umweltprobe wurde ein Probenahmekorb für den Straßenablaufschacht entwickelt, was sich als beste Probenahme für den wässrigen Eintrag erwies.
- » Zur massenbezogenen Analyse des Leitparameters SBR/BR ist die Pyrolyse-GC/MS, gemäß ISO 21396, geeignet. Es sollte eine entsprechende Probenvorbereitung durchgeführt werden, um Störstoffe zu entfernen.
- » Die Messung von Reifenabrieb aus Umweltproben ist anspruchsvoll und die Ergebnisse müssen sehr sorgfältig interpretiert werden.
- » Die (trockene) Feststofffraktion von  $20 - 500 \mu\text{m}$  beschreibt das entsprechende Eintragspotenzial an Reifenabrieb, welches bei Regen abgespült werden kann.

- » Als Hot Spot für den Reifenabrieb stellen sich der Standort Kurve und die Lichtsignalanlage mit vergleichbar hohen Emissionen heraus.
- » Für den Standort Kreisverkehr sind Verkehrsführung und Radius entscheidend für die anfallenden Abriebsmengen.
- » Bei den Standorten Steigung und Gerade fallen geringere Reifenabriebe an. Sie liegen beide auf dem gleichen Level.
- » Versuche zur Reinigungsleistung von Straßenkehrmaschinen liefern unter definierten Bedingungen reproduzierbare Ergebnisse.
- » Es konnte für den Prüfstoff Reifenmehl gezeigt werden, dass Straßenkehrmaschinen, je nach Fahrweise, die Partikelgrößenbereiche > 50 µm um bis zu 95 % und den besonders feinen Partikelgrößenbereich 20- 50 µm um bis zu 78 % aufnehmen können.
- » Es wurde ein physikalisches Modell für die Reifenabriebentstehung erstellt. Dieses berücksichtigt verschiedene Parameter und kann die in situ ermittelten Messergebnisse für unterschiedliche Fahrsituationen in guter Qualität abbilden.
- » Maßnahmen wie optimierte Straßenreinigung und dezentrale Filtereinrichtungen lassen sich bewerten und können zur Reduzierung von Reifenabriebseinträgen beitragen.
- » Der diffuse Eintrag von Reifenabrieb in die Umwelt findet in der Nutzungsphase des Produktlebenszyklus Reifen statt.

#### Innerstädtischer Messstellenvergleich für ausgewählte Messstandorte in Berlin.



Quelle: Daniel Venghaus, TU Berlin

## Kernaussagen

- » Es konnten Reifenabrieb-Hot Spots identifiziert und klassifiziert werden.
- » Die auf den Reifen wirkenden erhöhten Kräfte an der Kurve und Lichtsignalanlage führen zu einer vergleichsweise großen Abriebsmenge.
- » Die Straßenreinigung kann einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung des Eintrags von Feststoffen im Allgemeinen und Reifenabrieb im Speziellen leisten.
- » Durch den Einsatz der Straßenreinigung vor einem Regenereignis kann der Eintrag in die aquatische Umwelt deutlich reduziert werden.
- » Da sich die Feststoffe und der Reifenabrieb im Bereich von 1,6 m vom Bordstein akkumulieren, ist es für eine effektive Straßenreinigung ein Problem, dass parkende Autos an vielen Stellen eben diesen Bereich blockieren.
- » Bei zusätzlichen Untersuchungen am Flughafen konnte im Landebahnbereich kein Reifenabrieb gefunden werden.

## Quelle

Kraftfahrtbundesamt: Verkehr in Kilometern – Inländerfahrleistung. Entwicklungen der Fahrleistungen nach Fahrzeugarten seit 2015. KBA [2019] [www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk\\_inlaenderfahrleistung/vk\\_inlaenderfahrleistung\\_inhalt.htm](http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_inlaenderfahrleistung/vk_inlaenderfahrleistung_inhalt.htm).

Peano, L., Kounina, A., Magaud, V., Chalumeau, S., Zgola, M. und Boucher, J.: Plastic Leak Project. Methodological Guidelines. <https://quantis-intl.com/report/the-plastic-leak-project-guidelines/>.

Strauch, A.: Teststandversuche optimierter dezentraler Niederschlagswasserbehandlungsanlagen zur Entfernung von Mikroplastik/Reifenabrieb aus dem Straßenabfluss. Masterarbeit. TU Berlin [2018].

Kreider, M. L., Panko, J. M., McAtee, B. L., Sweet, L.I. und Finley, B.L.: Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies. Science of The Total Environment 408 [2010], S. 652–659.

## Koordinator

Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch

**Technische Universität Berlin,  
Institut für Bauingenieurwesen,  
Fakultät VI Planen Bauen Umwelt,  
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft /  
TUB FG Siwawi**

Gustav-Meyer-Allee 25

13355 Berlin

Tel.: +49 30 314 72247

E-Mail: [matthias.barjenbruch@tu-berlin.de](mailto:matthias.barjenbruch@tu-berlin.de)

## Partnerinstitutionen

- » Technische Universität Berlin, FG Systemdynamik und Reibungsphysik / TUB FG Reibung
- » Continental Reifen Deutschland GmbH / Continental
- » GKD – Gebr. Kufferath AG / GKD
- » Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH / IPS
- » WESSLING GmbH / WESSLING

## Assoziierte Partner

- » ADAC e.V. / ADAC
- » Berliner Stadtreinigung / BSR
- » Berliner Wasserbetriebe / BWB
- » Volkswagen AG / VW
- » ORI Abwassertechnik GmbH & Co. KG / ORI

## Verbundprojekt-Webseite

[https://www.rau.tu-berlin.de/menue/reifenabrieb\\_in\\_der\\_umwelt](https://www.rau.tu-berlin.de/menue/reifenabrieb_in_der_umwelt)

## Laufzeit

01.08.2017 – 31.01.2021

# TextileMission

## Mikroplastik textilen Ursprungs – Eine ganzheitliche Betrachtung: Optimierte Verfahren und Materialien, Stoffströme und Umweltverhalten



### Kurzbeschreibung

Ein Großteil unserer Sport- und Outdoor-Textilien besteht aus Synthefasern (beispielsweise Polyester), die während des Waschvorgangs Mikropartikel freisetzen. Ziel von TextileMission war es, Lösungsansätze aufzuzeigen, wie die Umweltbelastung durch diese Kleinstpartikel reduziert werden kann. Dafür wurde ein interdisziplinärer Ansatz gewählt: Als Projektpartner brachten neun Organisationen aus der Sportartikel-Industrie, der Waschmaschinen- und der Waschmittelbranche, der Forschung und dem Umweltschutz ihr jeweiliges Know-how ein. Mittels Wasch- und Laborkläranlagentests wurden Daten zum Ausmaß und der Reichweite des Mikropartikelaustrages unterschiedlicher Textilien erhoben und ein verbessertes Verständnis von Stoffströmen und dem Verbleib von textilem Mikroplastik oder textiler Mikroplastikpartikel in der Umwelt gewonnen.

Um Textilien und Kleidungsstücke zu entwickeln, die im Vergleich zu heute auf dem Markt verfügbaren Produkten einen deutlich geringeren Mikroplastikausstoß aufweisen, wurden textiltechnische Experimente durchgeführt und Überlegungen zur Optimierung von Produktionsprozessen angestellt. Darüber hinaus wollten die Projektpartner Erkenntnisse über die Abwasseraufbereitung gewinnen. Dafür wurde an der TU Dresden der Verbleib von Mikroplastikpartikeln auf verschiedenen Stufen einer Laborkläranlage untersucht. Insgesamt konnten einige erfolgversprechende Lösungsansätze entwickelt werden. Weiterer Forschungsbedarf zur Vermeidung von textilem Mikroplastik bleibt bestehen.

### Ergebnisse

- » Im Rahmen des Projektes wurde an der Hochschule Niederrhein mittels Waschversuchen die typische Haushaltswäsche in Deutschland simuliert. Ein zentraler Befund: Der weitaus größte Mikroplastikausstoß findet während des ersten Waschganges statt. Dies deutet darauf hin, dass sich im Kleidungsstück Faserfragmente aus der Produktion befinden. Hier könnte ggfs. eine zusätzliche Reinigungsstufe am Ende des Produktionsprozesses Abhilfe schaffen.
- » An der TU Dresden wurde mittels einer Laborkläranlage der Rückhalt textiler Mikroplastikfracht in Kläranlagen erforscht: Die Experimente deuten darauf hin, dass bis zu 97 Prozent der Größenfraktion von 500 µm bis 1500 µm zurückgehalten werden könnten.
- » Eine weitere Optimierung der Abwasserbehandlung ist technisch möglich, allerdings wahrscheinlich mit einem hohen Aufwand an Energie und ggfs. zusätzlichem Chemikalieneinsatz verbunden. Demgegenüber ist ein Ansatz, der die Entwicklung emissionsärmerer Produkte fokussiert, vorzuziehen.
- » An der Hochschule Niederrhein wurde zwecks Entwicklung von emissionsärmeren Textilien an einer Großrundstrickmaschine mit Garn- und Maschinenparametern (Garnverteilung, Höhe der Plüschhenkel bei der Fleece-Herstellung, ...) experimentiert. Als erfolgversprechend zeigte sich folgendes: Bereits nach der Änderung von 2-3 Einstellungen lässt sich ein geringerer Partikelaustrag beobachten. Allerdings gehen Vorteile bei der Emissionsreduktion oft auch mit einer Veränderung der Performance-Eigenschaften einher. Hier gibt es weiteren Forschungsbedarf.

- » WWF Deutschland hat im Rahmen von TextileMission zu verschiedenen alternativen Fasermaterialien wie rPet, PLA und Cellulosefasern (Viskose, Lyocell, ...) Nachhaltigkeitsprofile erstellt. Vorteilen wie dem geringeren Verbrauch fossiler Ressourcen stehen dabei Nachhaltigkeitsrisiken wie Energiebedarf, Wasserverbrauch, Monokulturen und stärkerer Zusatz von Additiven in der Produktion gegenüber.
- » An der TU Dresden wurde die biologische Abbaubarkeit verschiedener Fasermaterialien in Kläranlagen (mit Oxitop-Testsystem)

untersucht: Reines PET-Material ist nach 55 Tagen am wenigsten abgebaut, Viscose fast vollständig. Ein Materialmix aus biologisch abbaubarem PET und Baumwolle erreicht eine Abbaurrate von 60 bis 80 %. Diese sinkt je nach im Ausrüstungsprozess zugesetzter Chemikalie. Hinweis: Kläranlagen bieten in der Regel ein sehr gutes Millieu für biologische Abbaubarkeit. Es bleibt jedoch offen, ob sich diese vergleichsweise guten Ergebnisse auch unter Umweltbedingungen wie z. B. auf dem Grund von Seen oder Meeren erzielen lassen.

Ziel von TextileMission: Ansätze aufzeigen, wie der Mikroplastikeintrag aus der Haushaltswäsche reduziert werden kann.



Foto: Carlos Albuquerque 2018



## Kernaussagen

Für verschiedene Herstellungsstufen und Nutzungsphasen von Textilien konnten Ansätze herausgearbeitet werden, die einen Beitrag zur Senkung des Eintrags von textilem Mikroplastik leisten können.

- » Der höchste Austrag von textilem Mikroplastik entsteht während der ersten Wäsche. Dies deutet auf Rückstände aus der Produktion hin. Eine zusätzliche Reinigungsstufe am Produktionsort könnte möglicherweise Abhilfe schaffen. Allerdings sind noch Fragen u.a. nach der technischen Umsetzung und der Gewährleistung einer fachgerechten Entsorgung der Faserfragmente offen.
- » Bereits die Änderung weniger Maschinen- und Garnparameter im Strickprozess hat positive Auswirkungen auf den Mikroplastikausstoß, allerdings verändern sich bislang auch die Performance-Eigenschaften. An der richtigen Balance für verschiedene Einsatzzwecke muss noch geforscht werden.
- » Biologisch abbaubare Fasermaterialien können eine sinnvolle Alternative zu PET sein, wobei eine vollständige Substitution derzeit unrealistisch erscheint. Bei ihrer Nutzung sind weitere ökologische und soziale Nachhaltigkeitsfaktoren wie Vermeidung von Monokulturen, Wasserverbrauch, Arbeitsbedingungen u.a. zu beachten.
- » In Laborkläranlagentests konnte ein Rückhalt von textilem Mikroplastik zwischen 87 und 99 % festgestellt werden. Eine weitere Behandlung des Abwassers bspw. durch Sandfilter oder Umkehrosmose könnte diesen Grad weiter erhöhen, ist aber wahrscheinlich mit einem hohen Aufwand verbunden.
- » Aus den Projektergebnissen ergeben sich einige Verbrauchertipps: Bspw. sollte die Waschmaschine immer möglichst voll beladen werden. Zudem tragen die Vermeidung von Fast Fashion und eine möglichst lange Nutzung von Textilien zur Reduktion des Mikroplastik textilen Ursprungs, das in die Umwelt gelangt, bei.

## Koordinator

*Alexander Kolberg*

**Bundesverband der Deutschen Sportartikel-Industrie e.V. / BSI**

Adenauerallee 134

53113 Bonn

Tel.: +49 (0) 228 / 926593-14

E-Mail: alexander.kolberg@bsi-sport.de

## Partnerinstitutionen

- » Hochschule Niederrhein
- » Technische Universität Dresden
- » Vaude Sport GmbH & Co. KG
- » WWF Deutschland

## Assoziierte Partner

- » adidas AG
- » Henkel AG & Co. KGaA
- » Miele & Cie. KG
- » Polartec LLC

## Verbundprojekt-Webseite

<http://www.textilemission.bsi-sport.de>

## Laufzeit

01.09.2017 – 31.03.2021

## Umweltpolitische Instrumente zur Reduzierung der Plastikverschmutzung von Binnengewässern über Entwässerungssysteme



### Kurzbeschreibung

Das Projekt fokussiert einen relevanten Eintragsweg von Kunststoffen in die Umwelt: das Abwasser. Zwar halten Kläranlagen selbst Kunststoffe weitgehend zurück, über die Ausbringung kompostierter Feststoffe aus den Kläranlagen auf Böden sowie über Niederschlagskanäle und bei Starkregen über Entlastungsbauwerke erfolgen dennoch erhebliche Einträge. Im Projekt wurden ein Jahr lang in vier Kläranlagen sowie auf Straßen von vier Untersuchungskommunen Kunststoffteile mit mindestens 1 mm Größe in Abwasserproben extrahiert und kategorisiert. Auf dieser Basis werden Eintragsorte, -akteure und -handlungen spezifiziert und mittels einer Verknüpfung rechtlicher, verhaltenswissenschaftlicher, ökonomischer und technischer Überlegungen Ansatzpunkte für umweltpolitische Instrumente herausgearbeitet und auf ihre rechtliche Umsetzbarkeit auf nationaler oder europäischer Ebene überprüft. Die Analysen werden durch qualitative und quantitative Befragungen und ein Laborexperiment gestützt.

### Ergebnisse

- » Die Hochrechnungen auf Basis der Funde ergaben, dass pro Einwohner\*in und Jahr zwischen ca. 640-1.000 Teile aus reinem Kunststoff und ca. 80 bis 140 Teile aus Kunststoffverbunden mit dem Abwasser in die Kläranlagen eingetragen werden (jeweils mit mind. 1 mm Größe).
- » Trotz des großen Anteils von Fragmenten wurden 160 verschiedene Produkte identifiziert und Produktklassen zugeordnet. Viele davon sind Verbrauchsgüter, die zur kurzfristigen oder einmaligen Nutzung gedacht sind, sowie deren Verpackungen.
- » In der Regel können die Einträge keinen konkreten Akteuren zugeordnet werden.
- » Die Einträge sind zum Teil auf falsches Entsorgungsverhalten zurückzuführen. Ursächlich hierfür können Unwissenheit, Bequemlichkeit oder auch mangelnde Entsorgungsmöglichkeiten sein.
- » Eine Versuchsreihe mit Gemüsenetzen bestätigt jedoch die Bedeutung nicht-intentionaler Einträge auf Grund von Produktspezifika, hier mit der Folge kaum sichtbarer Ablösungen von Netzteilen bei normaler Handhabung.
- » Die meisten Funde können sowohl in Haushalten, Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen eingetragen worden sein. Als Eintragsorte kommen u. a. Abflüsse, etwa von Spülbecken, Waschmaschinen, Toiletten oder Gullys in Betracht.
- » Die interdisziplinäre Herangehensweise des Projekts erlaubt es, unterschiedliche Ansätze für die Instrumentierung auf Basis der Spezifika des Eintragswegs Abwasser zu bewerten und gegeneinander abzuwägen:
  - » Da die Eintragenden nicht identifizierbar sind, sind Ge- und Verbote kaum durchsetzbar. „Weiche“, informatorische Instrumente wirken auf Grund der Heterogenität und der beschränkten Rationalität der Akteure sehr unterschiedlich und nur bedingt. Instrumente, die auf eine Verteuerung des Produkts zielen, zeigen ebenfalls Schwächen, weil sie zum einen handlungsverstärkend wirken können und zum anderen aber auch die intrinsische Motivation von Akteuren, die sich korrekt verhalten, mindern können. Da zudem Einträge nicht immer intentional sind, werden Ansätze mit Bezug auf die Eintragshandlungen insgesamt für sich genommen nur bedingt wirksam sein.
  - » Kunststoffe werden sowohl über Gullys als auch in Gebäuden an unterschiedlichsten Orten eingetragen. Zur Eintragsvermeidung kommen hier technische Lösungen in Betracht, die sich jedoch nur für einige Eintragsorte anbieten. Beispielsweise sind sie für Toiletten, Duschen, Spülen oder Waschbecken nur schwer umsetzbar und mit hohen Kosten verbunden. Filter in Wasch- und Spülmaschinen oder Kas-

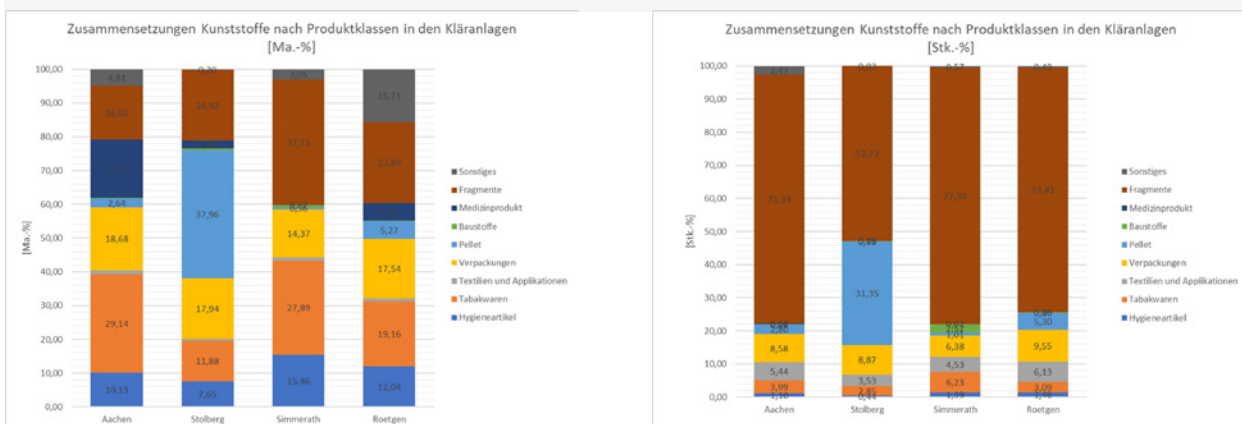
kadenfilter in Straßenabläufen bei Eintragschwerpunkten wie im Umfeld von Stadtmobiliar, Unternehmen der Kunststoffindustrie oder Baustellen sind aber realisierbar. Insofern können Ansätze an den Eintragsorten nur einen Baustein einer Gesamtstrategie darstellen.

- › Da sich die Kunststoffeinträge über das Abwasser diffus in der Umwelt verteilen, ist eine Beseitigung außerhalb der Kläranlagen flächendeckend nicht realisierbar. Zum Eintragsstopp über die Kläranlagen könnte eine vierte Reinigungsstufe vorgeschrieben und die Kompostierung von Rechengut, Sandfang und Klärschlamm unterbunden werden. Dies löst jedoch nicht das Problem der direkten Einleitung bei Starkregenereignissen und durch Niederschlagskanäle. Maßnahmen gegen Verschmutzung werden insofern insgesamt nicht hinreichend wirken.
- › Die Gefährlichkeit von Plastik in der Umwelt ist zwar unbestritten, aber aktuell gibt es weder hinreichende Informationen über die Schäden noch über die Möglichkeiten zu ihrer Behebung. Folglich können hier noch keine Instrumente ansetzen.
- › Eine Variante der Produktgestaltung kann es sein, nur noch Produkte und Verpackungen ohne Kunststoff zuzulassen. Wo dies nicht möglich ist, sollten langlebige oder Mehrwegprodukte zum Einsatz kommen. Für etliche der im Projekt identifizierten Verbrauchsgüter

gibt es schon solche Alternativen, für weitere scheint ein Umschwenken auf diese möglich. Zur schnellen Umsetzung sollten flankierende Innovations- und Umstellungspolitiken gestaltet werden. Ein derartiger Ansatz verspricht eine gute Wirksamkeit.

- › Bedarf es bei bestimmten Produkten eines Kunststoffanteils, sollte sichergestellt werden, dass sich bei deren Handhabung keine Partikel ablösen. Insgesamt kann es sinnvoll sein, eine Herstellerverantwortung in Bezug auf die Unschädlichkeit der Produkte einzuführen.
- › Zur Forcierung der Umstellungen ist es empfehlenswert, den Ansatz an der Produktgestaltung durch flankierende Maßnahmen mit Bezug zu den Eintragshandlungen, den Eintragsorten und der Beseitigung Verschmutzung zu unterstützen.
- ›› Die Einwegkunststoffrichtlinie berücksichtigt für eine geringe Anzahl an Produkten Eintragshandlungen und Reinigungskosten. Sie setzt partiell auch auf die Produktgestaltung. Angesichts der Vielzahl der Funde in den Kläranlagen, der Relevanz und der Spezifika des Eintragsmediums Abwasser sowie der Heterogenität und unvollständigen Rationalität von Akteuren erscheinen die Maßnahmen der Einwegkunststoffrichtlinie zwar notwendig, aber bei Weitem nicht hinreichend. Eine Ausweitung auf weitere Produkte und Maßnahmen ist dringend geboten.

## Zusammensetzungen Kunststoffe in den Kläranlagen



Quelle: ©InRePlast

## Kernaussagen

- » Sehr viele plastikhaltige Produkte und deren Verpackungen, die im Alltag, an der Arbeit oder auch in der Freizeit genutzt werden, gelangen ganz oder in Teilen in das Abwasser und hierüber in die Umwelt.
- » Zum Stopp der Verschmutzung der Umwelt durch Kunststoff sind deswegen umfassende Ansätze notwendig, die insbesondere auf die Produktgestaltung fokussieren und diese mittels eines Ansatzmixes und mit Innovations- und Umstellungsförderung zügig umsetzen.
- » Ziel sollte eine Umstellung auf plastikfreie und/oder langlebige Produktalternativen sein.
- » Die bisherigen Regelungen der Einwegkunststoffrichtlinie sind hierfür nicht ausreichend, eine Erweiterung ist dringend geboten.

## Koordinatorin

*Dr. Maria Daskalakis*

**Universität Kassel Institut  
für Volkswirtschaftslehre, FG  
Wirtschaftspolitik, Innovation und  
Entrepreneurship, Arbeitsgruppe  
Umweltpolitik**

Nora-Platiel-Str. 4

34109 Kassel

Tel.: +49 561 804-3052

E-Mail: [daskalakis@wirtschaft.uni-kassel.de](mailto:daskalakis@wirtschaft.uni-kassel.de)

## Partnerinstitution

- » Hochschule Darmstadt, Fachgebiet für Umwelt- und Energierecht
- » Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e. V. / FiW

## Praxispartner

- » Stadt Aachen
- » Stadt Stolberg
- » Gemeinde Simmerath
- » Gemeinde Roetgen
- » Wasserverband Eifel-Ruhr / WVER
- » BKV GmbH
- » Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e. V. / IK
- » Plastics Europe Deutschland e. V.
- » Kunststoff-Zentrum SKZ
- » Umweltbundesamt
- » DHB – Netzwerk Haushalt
- » Verein Bildungs Cent e. V.

## Wissenschaftlicher Partner

- » *Prof. Dr. Frank Beckenbach*,  
Universität Kassel, Fachbereich  
Wirtschaftswissenschaften- Umwelt-  
und Verhaltensökonomik

## Verbundprojekt-Webseite

[www.inreplast.de](http://www.inreplast.de)

## Laufzeit

01.01.2019 – 31.12.2021

# Querschnittsthemen Teil 1

# Querschnittsthema 4

## Politische & soziale Dimension

### Kurzbeschreibung

Im Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze“ arbeiten Wissenschaftler\*innen mit sozialwissenschaftlichem, wirtschaftswissenschaftlichem und politikwissenschaftlichem Hintergrund an verschiedenen Forschungsprojekten. Vorrangiges Ziel dieses Querschnittsthemas ist die Vernetzung und der inhaltliche Austausch dieser Wissenschaftler\*innen über die sozialen, politischen sowie ökonomischen Dimensionen von Plastik in der Umwelt. Wissenschaftler\*innen aus elf verschiedenen Projekten der Initiative beteiligen sich an dem Querschnittsthema „soziale und politische Dimensionen von Plastik in der Umwelt“ und bringen so diverse disziplinäre wie auch forschungsrelevante Perspektiven zusammen. Die gemeinsamen Veröffentlichungen zeigen die Relevanz der gesellschaftswissenschaftlichen Forschung zu Plastik in der Umwelt auf und legen die Wichtigkeit für politische Entscheidungsfindungsprozesse dar. Unter anderem wird die Verantwortungszuschreibung verschiedener gesellschaftlicher Akteure und Entscheidungsträger diskutiert sowie die Frage, wie Verantwortung bei Plastik in der Umwelt neu gedacht werden muss.

### Ergebnisse

» Der Forschungsgegenstand der Projekte ist unterschiedlich und reicht von der Analyse der Produktion, des Inverkehrbringens bis zur Nutzung und Entsorgung von Plastik. Dementsprechend sind auch die Adressat\*innen der Ergebnisse verschieden. Ein Überblick hierzu findet sich in der nebenstehenden Graphik.

#### **Diskussionspapier Sozialwissenschaftliche Perspektiven**

» In diesem Diskussionspapier werden gesellschaftliche Dimensionen unter Einbeziehung soziologischer, psychologischer, wirtschafts-, rechts- und politikwissenschaftlicher Expertise beleuchtet. Der Fokus innerhalb dieser Publikation liegt dabei auf der Problembeschreibung und -analyse.

Das zentrale Ziel des Diskussionspapiers ist es, die gesellschaftlichen Dimensionen des Themenfelds „Plastik in der Umwelt“ für Forscher\*innen in den Natur- und Technikwissenschaften sowie für Stakeholder in Politik, Medien und Industrie greifbarer zu machen und damit Grundlagen für die inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit zur Erarbeitung von Lösungswegen zu schaffen. Dieses Dokument steht online zur Verfügung (siehe Seite 32).

#### **Diskussionspapier Problemwahrnehmung – Problembehandlung – Problemlösung**

» In dem zweiten Diskussionspapier werden auf einer Metaebene Problemwahrnehmung, Problembehandlung und Problemlösung von (Mikro)Plastik thematisiert. Hierbei werden ausgewählte Forschungsergebnisse der an QST4 teilnehmenden Projekte als Beispiele inkludiert.

# Plastik in der Umwelt: Sozialwissenschaftliche Forschung

Überblick über Forschungsgegenstände, Ergebnisarten und Zielgruppen der Projekte mit sozialwissenschaftlichem Anteil im BMBF-Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“



	Projekt	Forschungsgegenstand Stationen der Wertschöpfungskette	Gesellschaftliche Bereiche	Ergebnisse	
				Art	Zielgruppen
Limmische Systeme	PLASTRAT		Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	P H K V E Z
	ENSURE		Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	P H K V E Z
	SubµTrack		Medien Politik Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	P K V Z
	REPLAWA		Politik Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	P K V E Z
	EmiStop		Politik	▲▲▲▲	P V Z
Konsum	VerPlaPoS		Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	P H K V E Z
	Plastik Budget		Medien Politik Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	P H K V E Z
	InRePlast		Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	P H K V E Z
	Innoredux		Politik Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	H K V Z
Green Economy	Textile Mission		Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	P K V E Z
Meere und Ozeane	PLAWES		Zivilgesellschaft	▲▲▲▲	K V Z

Produktion  
 Handel  
 Verkauf  
 Nutzung  
 Entsorgung

▲ Risikobewertungen  
 ● Handlungsoptionen  
viel Farbe = starker Schwerpunkt

P ProduzentInnen  
 H HändlerInnen  
 K KonsumentInnen  
 V Verwaltung / Politik  
 E EntsorgerInnen  
 Z Zivilgesellschaft

Nebenzielgruppe  
 Hauptzielgruppe

Mehr Infos zum Forschungsschwerpunkt: [www.bmbf-plastik.de](http://www.bmbf-plastik.de)

CC-BY-4.0 Ecologic Institut 2019

## Kernaussagen

- » Für eine erfolgreiche Umsetzung von Strategien zur Reduktion/Handhabung von Plastik in der Umwelt müssen verschiedene Akteur\*innen entlang der Wertschöpfungsketten angesprochen werden, und es muss nach internationalen sowie kollektiven Lösungen gesucht werden.
- » Es ist fraglich, inwieweit Plastikvermeidung auf individueller Ebene tatsächlich zur Reduktion des nationalen und globalen Plastikaufkommens beitragen kann. Bei vielen Produkten ist das Plastikverpackungsaufkommen vor dem Verkauf an die Endverbraucher\*innen – also in der Produktion, beim vorgelagerten Vertrieb und beim Transport der Ware – um ein Vielfaches höher, als jenes Plastikaufkommen, das die Konsument\*innen beeinflussen können (wie z. B. die Plastiktüte).
- » Technische Lösungen zur Einsparung von Plastik können nur dann nachhaltig eingesetzt werden, wenn sie adäquat in soziale Kontexte eingepasst werden und mit Veränderungen von sozialen Routinen, Normen und Werten einhergehen.
- » Neue Formen der politischen Regulierung sind unerlässlich, auch wenn die vielfältigen Einsatzgebiete und die internationalen Zirkulationswege von Plastik die Politik und Gesetzgebung vor bedeutende Herausforderungen stellen.

## Kontakt

Prof. Dr. Ruth Müller

**(TU München; SubuTrack)**

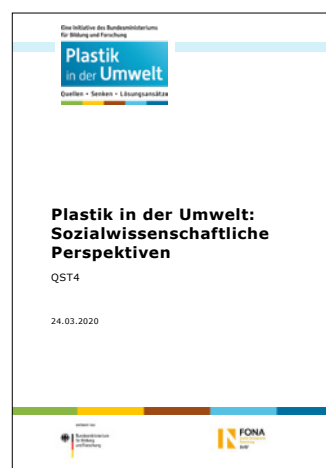
Dr. Thomas Decker

**(Stadt Straubing; VerPlaPoS)**

## Veröffentlichung

Müller, Ruth, Schönbauer, Sarah, Decker, Thomas, Hentschel, Anja, Lippl, Maria, Loges, Bastian, Obermeier, Nathan, Schweiger, Stefan, Steinhorst, Julia (2020):

Plastik in der Umwelt: Sozialwissenschaftliche Perspektiven. Diskussionspapier, URL: [https://bmbf-plastik.de/de/publikation/diskussionspapier\\_qst4](https://bmbf-plastik.de/de/publikation/diskussionspapier_qst4).





# Querschnittsthema 5a

## Ökobilanzen

### Kurzbeschreibung

Ein großer Anteil der im Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“ geförderten Projekte (MicroCatchBalt, VerPlaPos, BONUS Micropoll, TextileMission, MicBin, PLAWES, MicBin, ENSURE, PLASTRAT, PLAWES, TextileMission, MaReK, VerPlaPoS, PlastikBudget, revolPET® und ResolVe) adressiert die Analyse von ökologischen Wirkungen. Zur Bewertung der ökologischen Wirkung von Prozessen und Produkten hat sich die Methode der Ökobilanzierung etabliert, die in den ISO-Normen 14040 und 14044 definiert ist. Da die ISO-Normen keine konkreten Aussagen zur Gestaltung des Ziels und des Untersuchungsrahmens machen, hat das Querschnittsthema Ökobilanzierung eine Harmonisierung der Herangehensweisen bei der Definition und des Untersuchungsrahmens der einzelnen Projekte angestrebt. Wie sich im Verlauf der Projektbearbeitung gezeigt hat, haben die Projekte sehr unterschiedliche Zielstellungen, so dass sich keine allgemeingültigen Empfehlungen ableiten lassen. Zentrale Themen der Projekte waren die ökologische Bewertung von (Kunststoff)Verpackungen, Recyclingverfahren und Mikroplastik. Zudem weist die Methode der Ökobilanzierung die methodische Lücke auf, dass potenzielle Wirkungen von Kunststoffemissionen in die Umwelt derzeit noch nicht adressiert werden. Diese methodische Lücke wird gegenwärtig im Projekt PlastikBudget bearbeitet.

### Ergebnisse

Das Projekt revolPET® hat gezeigt, dass das Monomerrecycling aus ökologischer Sicht vorteilhaft sein kann. Die ökobilanziellen Ergebnisse zeigen deutliche Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zur Produktion der Monomere aus Erdöl. Neben dem Recycling von PET wurde auch eine LCA bezüglich einer Polystyrolpyrolyse im Extruder (PS Recycling) zur Rückgewinnung der Styrolmonomere durchgeführt.

Auch wenn Recycling nicht direkt Kunststoffemissionen in die Umwelt reduziert, so wird mit dem Recycling von Kunststoffen eine höhere Wertigkeit mit dem Werkstoff verknüpft. Diese veränderte Wahrnehmung kann dazu beitragen, Littering zu reduzieren.

Ein weiteres Thema war die ökologische Bewertung von Kunststoffverpackungen. Hier wurde die Wertschöpfungskette von PET näher untersucht, ein Vergleich der Sortierung und Verwertung von Kunststoffverpackungen mit und ohne TBS-Technologie und eine Hotspot-Analyse durchgeführt. Dabei ging es darum, den Ist-Zustand sowie Hot Spots von Kunststoffverpackungen aus den Bereichen Lebensmittel und Textilien zu erfassen.

Nur rudimentär wurden Plastik-Footprints betrachtet, also die Emission von Kunststoffen in die Umwelt. Da dies ein zentrales Thema der Fördermaßnahme ist, hat sich das Projekt PlastikBudget mit der Quantifizierung und ökologischen Bewertung von Kunststoffemissionen beschäftigt. In dem Projekt ist es gelungen, vereinfachte Modelle zum Verhalten von Kunststoffemissionen in der Umwelt sowie zur Abschätzung der Abbaugeschwindigkeiten in unterschiedlichen Umweltkompartimenten zu generieren. Mit Hilfe der entwickelten Methode wird es in Zukunft möglich sein, auch in Ökobilanzen potenzielle Umweltwirkungen von Kunststoffemissionen neben anderen Umweltwirkungen wie dem

Klimawandel zu berücksichtigen. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist es, die Einträge von Kunststoffen in die Umwelt zu quantifizieren und in Bezug zu Produktökobilanzen zu setzen.

QST-Workshop der Statuskonferenz „Plastik in der Umwelt“ 2019



Fotos: Stephan Roehl

## Kernaussagen

- » Das Monomer-Recycling, siehe Projekte revolPET® und ResolVe, ergänzt die bereits etablierten werkstofflichen Verfahren ökologisch sinnvoll.
- » Hinsichtlich der ökologischen Bewertung neuer Recyclingprozesse existiert ein einheitliches, abgestimmtes Vorgehen, siehe QST 6.
- » Aufgrund der Vielzahl von Verpackungssystemen, Warengruppen und Produktvarianten lässt sich durch Ökobilanzen keine grundsätzlich zu bevorzugende Verpackungsart bzw. nicht das per se ökologischste und ressourcenschonendste Verpackungsmaterial (s. Projekt Innoredux) identifizieren.
- » Zukünftige Ökobilanzen sollten Kunststoffemissionen, die im Lebenszyklus von Produkten freigesetzt werden, quantifizieren. Der im Projekt PlastikBudget entwickelte Ansatz kann in Zukunft dazu genutzt werden, potenzielle Umweltwirkungen unterschiedlicher Kunststoffemissionen zu bewerten.

## Kontakt

### Ökobilanzen:

*Dr. Daniel Maga*

**(Fraunhofer UMSICHT; PlastikBudget)**

# Querschnittsthema 5b

## Modellierung

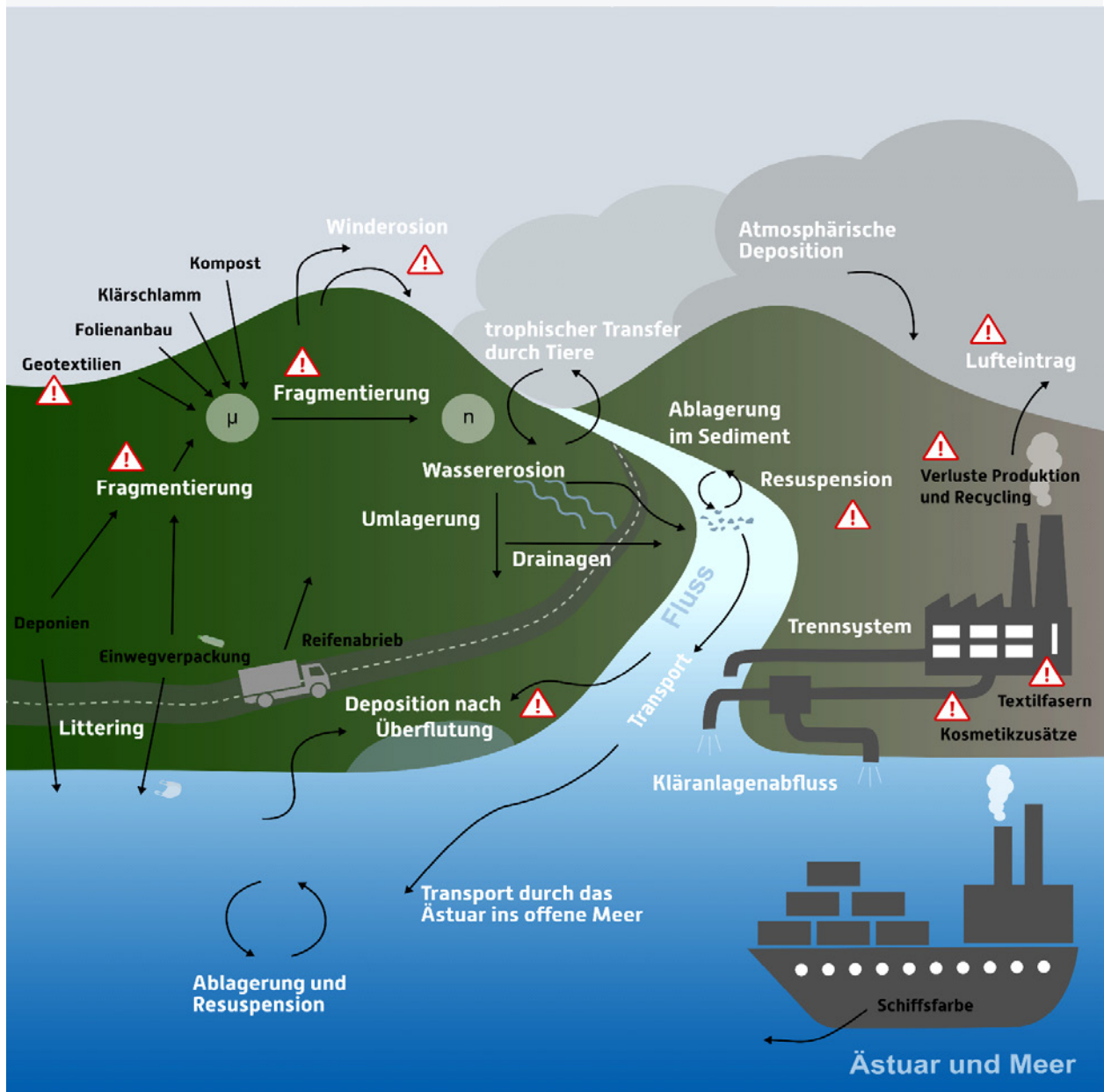
### Kurzbeschreibung

(Mikro-)plastik wurde in zahlreichen Umweltkompartimenten nachgewiesen, dennoch ist das Wissen über die tatsächlich in der Umwelt akkumulierenden Mengen, deren Transportmechanismen und Schadpotenzial begrenzt. Während ökotoxikologische Untersuchungen Erkenntnisse über das Gefahrenpotenzial für Lebewesen liefern, kann die Modellierung dazu beitragen, ein Systemverständnis aufzubauen, Belastungshotspots zu erkennen und Wirkungszusammenhänge zu identifizieren, die als Ansatzpunkte politischen Handelns dienen. Das Querschnittsthema bietet eine Vernetzungsplattform der modellierenden Arbeitsgruppen der Projekte MicroCatch\_Balt, PLAWES und MicBin untereinander und zu weiteren relevanten Partnern innerhalb und außerhalb des Forschungsschwerpunkts. Ziel ist der Austausch und die Harmonisierung der eingesetzten Modelle in den Flusseinzugsgebieten (Warnow, Weser, Donau). Hierfür wurden zum einen die Modellergebnisse zur gegenseitigen Plausibilisierung abgeglichen und zum anderen Datengrundlagen ausgetauscht und harmonisiert. Des Weiteren wurde in einem Synthesepapier zusammengefasst, welche Abbildungsbereiche die Modelle in „Plastik in der Umwelt“ abdecken. Daraus wurden sowohl datenbedingte als auch strukturelle Wissenslücken identifiziert, die für die Weiterentwicklung der Analytik sowie der modellbasierten Mikroplastikforschung essenziell sind.

### Ergebnisse

- » Anhand der Zusammenführung der Abbildungsbereiche aller eingesetzten Modelle wurden Lücken im Systemverständnis der Mikroplastikquellen, Eintragspfade und Senken identifiziert und der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt (s. Abb.).
- » Die Ergebnisse der Modell-Synthese liefern wichtige Informationen für ein übergreifendes Systemverständnis und damit verfeinerte regionalisierte Erkenntnisse zu Quellen, Transportpfaden und dem Verbleib. Diese Erkenntnisse sollten aufgrund ihrer hohen Relevanz für die Mikroplastikbelastung der Flüsse/Randmeere in der zukünftigen Forschungsentwicklung für modellbasierte Projekte besonders berücksichtigt werden.
- » Die Modellierung erlaubt die Prognose zeit- und raumbezogener MP-Mengen/-Konzentrationen, die durch den ästuarinen Transport bewegt werden.
- » Als aktuelle Defizite im Systemverständnis wurden insbesondere die Retention in Gewässern, die Akkumulation in Böden, der diffuse Austrag in die Gewässer sowie das Verhalten (Fragmentierung, Umlagerung) im Boden identifiziert.
- » Eine wichtige Fragestellung für die in den Projekten entwickelten Modellansätze ist die Hochskalierung von Effekten von empirisch erfassten, kleinskaligen Prozessen auf einen politisch relevanten Skalenbereich (z. B. Bundesland, Flusseinzugsgebiet).

Ergebnisse aus der Synthese der Flussgebiets-Modelle in der FONA Maßnahme „Plastik in der Umwelt“. Mit roten Ausrufezeichen markiert sind die noch nicht berücksichtigten Quellen, Eintragspfade und Prozesse, die zukünftig mit Hilfe entsprechender Datenerhebungen in die Modelle integriert werden können.



Quelle: Elke Brandes /Thünen -Institut für Ländliche Räume, Lena Aebli /Ecologic Institut

## Kernaussagen

- » Die Modellierung – als Werkzeug für ein besseres Systemverständnis – stellt Verknüpfungen zwischen den aufgrund methodischer Herausforderungen eher punktuellen Analyseergebnissen verschiedener Umweltkompartimente her.
- » Ziel einer systemischen Betrachtung ist es, die Größenordnungen der verschiedenen Eintragspfade in die Umwelt gegenüberzustellen, um deren Relevanz einordnen zu können. Auf Grundlage dieses Wissens können dann effektive Handlungsoptionen abgeleitet werden.
- » Bei der weiteren Ausgestaltung des Forschungsprogramms sollten die Erkenntnisse aus der Modellierung bzgl. des Systemverständnisses sowie des Zusammenspiels zwischen Datenerhebung und Modellierung eine besondere Berücksichtigung finden. Der Vorteil einer harmonisierten Fortschreibung von Analytik und Modellierung besteht
  - › für die **Modellierung** darin, dass die bislang konzipierten Modellansätze durch die gezielte Verfeinerung der vorliegenden Daten weiterentwickelt werden können. Wenn in Zukunft mehr Analyseergebnisse vorliegen, können diese leicht in den Modellverbund integriert werden.
  - › für die **Analytik** darin, dass die Beprobungen gezielt zur Verbesserung des Systemverständnisses ausgerichtet werden können.

## Kontakt

### **Modellierung (inkl. Datenmanagement):**

*Dr. Elke Brandes*

**(Thünen Institut; MicroCatch\_Balt, PLAWES)**

# Querschnittsthema 7

## Bioabbaubarkeit

### Kurzbeschreibung

Aufgrund der derzeit kontrovers diskutierten Lösungsansätze zur Bewältigung des Eintrags von Plastikmüll in die Umwelt rückt die Fragestellung nach der biologischen Abbaubarkeit von Kunststoffen stark in den Fokus von Wissenschaft, Politik sowie der allgemeinen Öffentlichkeit. Die mannigfachen unterschiedlichen Kunststoffarten, die zahlreichen Einflussfaktoren diverser Umweltkompartimente sowie die aus wissenschaftlicher Forschung noch nicht in allen Bereichen zufriedenstellende Datenlage erschweren – auch aufgrund der Interdisziplinarität des Themas – die Darstellung eines einheitlichen Bildes zur Bioabbaubarkeit. Das Querschnittsthema Bioabbaubarkeit soll daher dazu beitragen, ein gemeinsames Verständnis der unterschiedlichen Sachverhalte in Bezug auf die biologische Abbaubarkeit von Kunststoffen zu erlangen. Dafür wird ein Sachstandpapier erarbeitet, welches die Vielzahl von Begriffen definiert und schärft. Weiterhin wird die biologische Abbaubarkeit im Hinblick auf verschiedene Kunststoffe beleuchtet sowie auf die verschiedenen Einflussfaktoren des biologischen Abbaus eingegangen. Neben Abbaumechanismen werden auch Messverfahren und ihre Leistungsfähigkeit sowie der Stand der Normung behandelt.




### Ergebnisse

- » Der biologische Abbau von Kunststoffen ist von vielen verschiedenen Faktoren abhängig. Die Untersuchung der Abbaubarkeit erfolgt in der Regel im Labormaßstab. Dabei werden optimale und konstante Umgebungsbedingungen eingestellt.
- » In industrieller Kompostierung nachweislich gut biologisch abbaubare Kunststoffe sind auch nur nach diesen Bedingungen vollständig abbaubar. Ein Abbau bei anderen Bedingungen, zum Beispiel im Heimkompost, Boden oder Süßwasser, ist nicht gewährleistet.
- » Es muss beachtet werden, dass sich Normen, die eine biologische Abbaubarkeit festlegen, stets auf Folien, also auf sehr dünne Werkstoffe beziehen. Realbauteile können sehr viel dickere Wandstärken aufweisen, die mit immens erhöhten Abbauezeiten einhergehen. Kunststoffe, die gemäß Norm in bzw. unter entsprechenden Umgebungen und Abbaubedingungen als biologisch abbaubar gelten, weisen aufgrund ihrer Geometrie und Wanddicken praktisch keinen Abbau in sinnvollen Zeitspannen auf.
- » Nicht alle Kompostieranlagen garantieren einen vollständigen Abbau. Aufgrund von Kostendruck und Effizienzsteigerung sind zu kurze Verweilzeiten des Biomülls zu beobachten. Daher wird in vielen Kommunen trotz Zertifizierung für eine biologische Abbaubarkeit von der Entsorgung von Kunststoffabfällen in der Biotonne dringend abgeraten.
- » Die Kunststoffe PBS, PLA, PBAT, PHB, PBSA sowie Lignin, Cellulose (Acetate) und Stärke sind als biologisch abbaubar in industriellen Anlagen zertifiziert.
- » In der Umwelt, das heißt im Boden und im Wasser (Meer oder Süßwasser), bauen nur Cellulose, PHB und Stärke vollständig ab. Für alle anderen Kunststoffe gilt dies nicht. (Vergleiche Abbildung auf S. 40)
- » Konventionelle Kunststoffe wie PE, PP, PET, PS etc. gelten prinzipiell als nicht abbaubar. Die bisher bekannten Abbauprozesse durch Mikroorganismen sind zu ineffizient, um von einem tatsächlichen biologischen Abbau sprechen zu können.

# Übersicht der gängigen biologisch abbaubaren Kunststoffe und ihr Abbauverhalten

## Biodegradable Polymers in Various Environments

### NOTES

-  proven biodegradability
-  proven biodegradability under certain conditions or for certain grades
-  biodegradability not proven

The biodegradability of plastics derived from these biodegradable polymers can only be guaranteed if all additives and (organic) fillers are biodegradable, too. Dyeing and finishing of cellulosic fibres, for example, may prevent their biodegradation in the environment.

Biodegradability depends on the complex biogeochemical conditions at each testing site (e.g. temperature, available nutrients and oxygen, microbial activity, etc.). Therefore, these generalised claims about biodegradation can only serve as approximations and need to be confirmed by standardised testing under lab conditions. In-situ behaviour can vary, depending on the mentioned conditions, size of the plastic, grade of the polymer and other factors. For instance, biodegradation testing is often performed after milling, showing the inherent nature of the material to biodegrade. In reality, the same level of biodegradation will be obtained, be it possibly within a different timeframe.

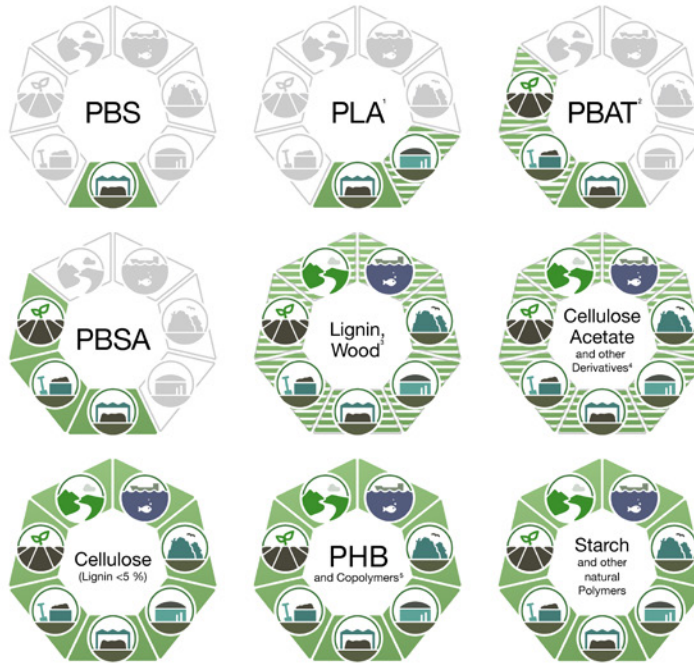
<sup>1</sup> PLA is only likely to be biodegradable in thermophilic anaerobic digestion at temperatures of 52°C.

<sup>2</sup> Biodegradability in home composting and in soil of PBAT is only proven for certain polymer grades.

<sup>3</sup> Complete biodegradation of materials with a high lignin content is not easily measurable with standard biodegradation tests, but does take place (slowly). Instead of CO<sub>2</sub>, especially humus is produced by the biodegradation of lignin-rich materials.

<sup>4</sup> The biodegradation of CA in all environments is only proven for certain polymer grades.

<sup>5</sup> Incl. P3HB, P4HB, P3HB4HB, P3HB3HV, P3HB3HV4HV, P3HB3Hx, P3HB3HO, P3HB3HD



### ENVIRONMENTS

Details on test conditions and, if available, applicable pass/fail criteria.

**MARINE ENVIRONMENT**  
 Temperature 30°C,  
 90% biodegradation within a maximum of 6 months (Certification: TÜV AUSTRIA OK biodegradable MARINE (ISO under preparation))

**FRESH WATER**  
 Temperature 21°C,  
 90% biodegradation within a maximum of 56 days (Certification: TÜV AUSTRIA OK biodegradable WATER)

**SOIL**  
 Temperature 25°C,  
 90% biodegradation within a maximum of 2 years (Certification: TÜV AUSTRIA OK biodegradable SOIL, DIN Certco DIN-Geprüft biodegradable in soil)

**HOME COMPOSTING**  
 Temperature 28°C,  
 90% biodegradation within a maximum of 12 months (Certification: TÜV AUSTRIA OK compost HOME; DIN Certco DIN-Geprüft Home Compostable)

**LANDFILL**  
 No standard specifications or certification scheme available, since this is not a preferred end-of-life option

**ANAEROBIC DIGESTION**  
 Thermophilic 52°C / mesophilic 37°C;  
 standard specification not yet available, but 90% generally considered as completely biodegradable

**INDUSTRIAL COMPOSTING**  
 Temperature 58°C,  
 90% biodegradation within a maximum of 6 months (Standard: EN 13432)

More figures available at [www.bio-based.eu/graphics](http://www.bio-based.eu/graphics)

Partners: IKT KUNSTSTOFF TECHNIK STUTTGART

OWSI

Marine Sciences

Sponsors: TÜV Rheinland, DIN CERTCO

0-6-6 TÜV

Your feedback is welcome: michael.carus@nova-institut.de

NOVA Institute

© nova Institut GmbH  
 Nova Institute.de  
 2020-01-23

Quelle: nova-Institute.eu



## Kernaussagen

- » Der Begriff Bioabbaubarer Kunststoff darf nicht als grundsätzlich uneingeschränktes Gütesiegel verstanden werden. In industrieller Kompostierung nachweislich gut biologisch abbaubare Kunststoffe, wie z. B. PBS, PLA oder PBAT, zeigen gemäß Norm nur unter den geforderten Randbedingungen einen Abbau, der bei Abweichungen, wie z. B. geringere Temperatur, höhere Bauteildicke oder alternative Kompartimente, nicht belegt werden kann.
- » Biokunststoffe können keinesfalls eine vollständige Lösung des Problems Plastik in der Umwelt gewährleisten. Sie können aber dort eine Lösung sein, wo es sich nicht vermeiden lässt, Kunststoffe in die Umwelt einzubringen. Sie werden aber niemals als primär in der Umwelt zu entsorgende Bestandteile angesehen. Der Kunststoff als Wertstoff sollte stets primär dem Recycling oder, falls ersteres technisch nicht umsetzbar, einer energetischen Verwertung zugeführt werden.
- » Es ist wichtig, weitere biologisch abbaubare Kunststoffe zu identifizieren und hier marktfähige Produkte zu entwickeln, die eine Abbaubarkeit in realen Umweltbedingungen gewährleisten. Es gilt bei zukünftigen Produkten, eine Balance zwischen einer während der Lebensdauer ausreichend hohen Werkstoffqualität und nach der Entsorgung schnellstmöglicher Degradation zu finden.

## Kontakt

*Prof. Dr. Mark Kreutzbruck*

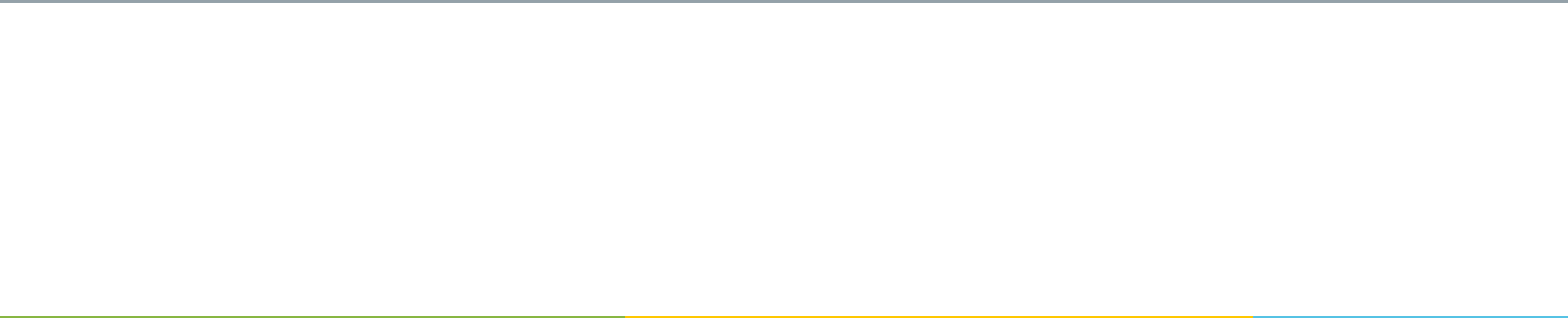
**(Universität Stuttgart; ENSURE)**

*Robert Klauer*

**(VAUDE Tett nang, Textile Mission),**

*Caroline Kraas*

**(WWF; TextileMission)**



**Session C:**

**Reduktion und Vermeidung  
von Plastikmüll –  
Modelle und Methoden**

## Geschäftsmodelle zur Reduktion von Plastikmüll entlang der Wertschöpfungskette: Wege zu innovativen Trends im Handel



### Kurzbeschreibung

Idee und Ziel von Innoredux ist es, in einem Reallaborforschungsansatz innovative, ökologisch vorteilhafte Verpackungslösungen im Distanz- und stationären Handel kooperativ zu erarbeiten und umzusetzen, um Verpackungseinsatz und -aufkommen, besonders aus Plastik, entlang der Wertschöpfungskette zu reduzieren bzw. zu vermeiden. Projektschwerpunkt ist die Beschreibung und Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen des Handels zur Abfallvermeidung und -reduktion. Untersucht wird dabei das Verbreitungspotenzial von der Nische in die Breite, um so einen wirksamen Beitrag zur Minderung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt zu liefern und gleichzeitig Wettbewerbsvorteile zu generieren. In einem Reallabor für das Gebiet der Stadt Heidelberg werden kooperativ mit Praxispartnern aus dem Handel und der Zivilgesellschaft entsprechende Geschäftsmodelle erprobt und umgesetzt. Auf Grundlage der Ergebnisse des Reallabors werden Handlungshilfen für Kommunen und Unternehmen erarbeitet. Das Projekt legt den Schwerpunkt auf vier Warengruppen: Lebensmittel, Kosmetika, Büroartikel und Textilien.

Das Vorhaben läuft bis Ende Januar 2022. Das Reallabor wird am 1. Mai 2021 gestartet, deswegen sind im Folgenden erste und vorläufige Ergebnisse und Botschaften aufgeführt.



Logo des Reallabors während der Erprobung in Heidelberg im Mai bis Juli 2021

### Ergebnisse

- » In Deutschland gibt es eine Vielzahl von Innovationen auf dem Verpackungsmarkt. Dies sind
  - › **Reduktionsansätze**, etwa ein reduzierter, effizienterer Materialeinsatz (z. B. Anpassungen der Gebindegröße oder des Produktvolumens), die Einführung von wiederverwendbaren Verpackungen sowie der Verpackungsverzicht;
  - › **Substitutions-, Design- und Serviceansätze**, etwa eine Substitution von Materialien (z. B. Einsatz von Rezyklaten oder alternativer Werkstoffe), ein transformiertes, neuentwickeltes Verpackungsdesign oder Serviceleistungen (z. B. Maßnahmen zur Retourenvermeidung oder Bereitstellung von Informationen über umweltfreundliche Verpackungen und deren Entsorgung);
  - › **Sekundär- und Kontextstrategien**, etwa Mehrfachverwendungen von genutzten Verpackungen oder Angebot von Reparaturdienstleistungen.
- » Es besteht die Gefahr, dass Verbraucher\*innen Fehleinschätzungen hinsichtlich der Umweltfreundlichkeit von Verpackungen unterliegen. Eine wichtige Rolle spielt die mediale Berichterstattung, die teilweise dazu führt, dass Verpackungslösungen präferiert werden (z. B. Einwegglas versus Verbundkarton), die ökobilanziell betrachtet nicht als vorteilhaft gelten können. Daher sind reine Substitutionsansätze ohne eine ökobilanzielle Abschätzung in der Regel für sich alleine nicht ausreichend, um eine Reduktion der negativen Umweltwirkungen von Verpackungen sicherzustellen. Generell empfiehlt sich für eine zielorientierte ökologische Ausrichtung von Verpackungsstrategien eine – wenigstens

kursorische – ökologische Einschätzung der verfügbaren bzw. zur Auswahl stehenden Verpackungslösungen.

- » Die durchgeführten orientierenden Ökobilanzen weisen darauf hin, dass bei verpackungsarmen Lösungen (z. B. Unverpackt-Ansätze) die ökologischen Hebelwirkungen vor allem im Bereich der Anlieferung zur Verkaufsstelle sowie im Zwischenhandel zu finden sind. Neben den etablierten Einzelhändlern sind Start-Ups, etwa Unverpacktläden oder Anbieter innovativer Systemlösungen, auf dem Markt präsent. Der somit vorhandene Wettbewerbsdruck stimuliert Händler, sich mit innovativen Verpackungslösungen auseinanderzusetzen.
- » Die derzeit niedrigen (relativen) Preise von Einweglösungen und (Virgin-)Plastik sowie der erhöhte Kostenaufwand von Unverpackt- und Mehrweglösungen in der Logistikkette stellen große Umsetzungshürden dar.
- » Kommunen leiden unter dem Littering von Verpackungen. Viele Kommunen haben ihre Bemühungen verstärkt, das Littering durch proaktive(re) Strategien zu reduzieren, viele greifen Impulse der Zero-Waste- oder Circular-Cities-Initiativen auf. Obwohl die Handlungsreichweite von Kommunen im deutschen föderalen Mehrebenensystem begrenzt ist, lassen sich eine Reihe von Möglichkeiten benennen, Handel und Gewerbe sowie der Kundschaft Impulse in Richtung einer Reduktion des Plastikeinsatzes zu geben.
- » Kund\*innen von Unverpacktläden kaufen zuallerst aus Gründen der Verpackungsfreiheit in diesen ein. Wichtige weitere Motivallianzen sind die regionale Herkunft der Lebensmittel, die Möglichkeit eines bedarfsgerechten Einkaufs sowie die Bio-Qualität von Lebensmitteln.
- » Aus einer Umfrage im Rahmen des Projektes ergab sich, dass etwa drei von vier Kund\*innen von Unverpacktläden insbesondere den Herstellern und dem Gesetzgeber eine sehr große Verantwortung zur Verpackungsreduzierung zuweisen.

Das Aufkommen von Plastikverpackungen bei Lebensmitteln und Kosmetikprodukten hat in den letzten Jahren immer stärker zugenommen.



Foto: ElasticComputeFarm / pixabay

## Kernaussagen

- » Die Entwicklung und Dissemination von sachgerechten Orientierungsregeln für Verbraucher\*innen zur Produkt- und Verpackungswahl im Handel muss verstärkt vorangestrieben werden.
- » Unverpacktläden und -sortimente sollten durch eine angepasste Standortpolitik im Quartier gefördert werden.
- » Ökologisch vorteilhafte Verkehrsträger (etwa Lastenfahräder) sollten im Quartier gefördert werden, um verkehrlich-energetische Reboundeffekte bei den Kund\*innen zu vermeiden.
- » Regionale und lokale Logistikketten sollten gestärkt werden, um die Anlieferwege der Waren zum Handel zu verkürzen und Mehrweggebinde regional einzusetzen.
- » Das Innovationsgeschehen sollte durch finanzielle Förderung von Start-ups und regulatorische Erleichterungen (z. B. Entlastungen während einer Pilotphase zum Aufbau eines Mehrwegpools) unterstützt werden.
- » Branchenvereinbarungen oder – wenn nicht erreichbar – regulatorische Maßnahmen zur stärkeren Standardisierung von Einheitsformen sollten für unterschiedliche Mehrweg-Gebindegrößen und Einsatzbereiche getroffen werden.
- » Kommunen sollten als strukturpolitische Akteure auftreten, die auf die nationale und europäische Ebenen einwirken, um grundlegend ökologisch-innovative Rahmenbedingungen für das Verpackungswesen und damit auch die regionalen Wertstoffströme zu setzen.

## Koordinator

*Dr. Frieder Rubik*

**Institut für ökologische  
Wirtschaftsforschung GmbH  
(gemeinnützig)**

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Tel.: +49 6221-64916-6

E-Mail: [frieder.rubik@ioew.de](mailto:frieder.rubik@ioew.de)

## Partnerinstitution

- » ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

## Praxispartner

- » Alnatura GmbH
- » Annas Unverpacktes Heidelberg
- » Avocado Store GmbH
- » BUND Bundesverband e. V.
- » BUND Landesgruppe Baden-Württemberg e.V., Kreisgruppe Heidelberg
- » dm-drogerie markt GmbH & Co. KG
- » Memo AG
- » Stadt Heidelberg
- » Unverpackt e. V.
- » Zalando SE

## Verbundprojekt-Webseite

[www.plastik-reduzieren.de](http://www.plastik-reduzieren.de)

## Laufzeit

01.02.2019 – 31.01.2022

## Verbraucherreaktionen bei Plastik und dessen Vermeidungsmöglichkeiten am Point of Sale



### Kurzbeschreibung

Im Projekt „Verbraucherreaktionen bei Plastik und dessen Vermeidungsmöglichkeiten am Point of Sale“ wurde untersucht, inwiefern Verbraucher\*innen durch ihre Kaufentscheidung am Point of Sale das Entstehen von Verpackungsabfällen aus Kunststoff vermeiden können. Dies wurde exemplarisch an den Anwendungen „Lebensmittelverpackung“ und „Verpackungen von Bekleidungstextilien“ erforscht.

Ein Team von Wissenschaftler\*innen verschiedener Fachdisziplinen beschäftigte sich mit dieser Fragestellung aus unterschiedlichen Blickwinkeln: So wurden sozialwissenschaftliche Erhebungen (Workshops, Online-Umfragen, Interviews am Point of Sale) durchgeführt, neue Verpackungen (Folien und Schalen aus Biopolymeren oder Rezyklaten, beschichtete Papiere) entwickelt und verschiedene Vermeidungs- und Recyclingstrategien aus betriebswirtschaftlicher Perspektive beurteilt. Die entwickelten und erstellten Lösungen wurden anhand ihres ökologischen Verbesserungspotenzials im Vergleich zu den herkömmlichen Standards bewertet. Hierzu wurde eigens ein „Plastik-Index“ (PLIX) entwickelt. Darüber hinaus wurde auch eine „Plastik-Informationen-App“ entwickelt, mit welcher sich Verbraucher\*innen über verschiedene Verpackungen und deren Umweltwirkungen informieren können.

### Ergebnisse

#### Lebensmittel

- » Die „Verringerung von Plastikverpackungen“ spielt für Verbraucher\*innen meist nur eine untergeordnete Rolle beim Einkauf von Lebensmitteln. Eine Ausnahme: Obst und Gemüse: Ein Großteil der Verbraucher\*innen griff bei Versuchen zu einer als nachhaltiger

gekennzeichneten Verpackungslösung für Tomaten, obwohl diese etwas teurer war.

- » Der Preis, fehlende lokale Strukturen, Mehraufwand, Routinen, der Mangel an Alternativen sowie die Relevanz anderer Kaufkriterien erschweren die Einsparungen von Kunststoffverpackungen für Konsument\*innen am PoS.
- » Vor allem die Recyclingfähigkeit hat eine große Bedeutung bei der ökologischen Bewertung von verschiedenen Verpackungsalternativen. Schwer trennbare Materialmixe sind zwar prinzipiell technisch recycelbar, jedoch ist der sehr hohe Aufwand in der Praxis bisher nur begrenzt finanziell darstellbar.
- » Die Einsparung von Verpackungen oder der Einsatz von alternativen Materialien muss in Relation zu möglichen, sich finanziell stärker auswirkenden Lebensmittelverlusten gesehen werden, da im Lebensmittel mehr Ressourcen stecken als in der Verpackung.
- » Die Verwendung von biologisch abbaubaren Polymeren in den Verpackungen kann die Akkumulation von Mikroplastik beim Eintrag in die Umwelt reduzieren. Aber die gesamte Ökobilanz ist im Einzelfall stark von der Herkunft und der Verarbeitung der Rohstoffe abhängig, weshalb sogenannte „Biokunststoffe“ nicht zwangsläufig ökologisch besser sind.

#### Textilien

- » Verbraucher\*innen wissen oftmals nicht, dass entlang der Wertschöpfungskette von Bekleidung eine große Menge an (Plastik-)Verpackungen anfällt. Weil die Verpackungen am Point of Sale zumeist nicht mehr sichtbar sind, können Verbraucher\*innen das Verpackungsaufkommen beim Kleiderkauf kaum wahrnehmen oder gar beeinflussen.
- » Daher müssen Plastikverpackungen insbesondere vor dem Point of Sale reduziert

werden. Dies kann durch eine systematische Prozessoptimierung, Mehrwegtransportboxen und Alternativen zum klassischen Polybeutel erreicht werden.

- » Das hohe Aufkommen von Plastikverpackungen entlang der textilen Wertschöpfungskette bietet Potenzial für ein hochwertiges Recycling, welches bislang nicht genutzt wird.

### Übergreifend

- » Ein entwickelter Plastik-Index (PLIX) macht Plastikverpackungen vergleichbar und gibt Verbraucher\*innen Hilfestellung bei der Kaufentscheidung. Unternehmen können den Index für konkrete Ansatzpunkte nutzen, um ihren gesamten ökologischen Fußabdruck zu minimieren.

- » Der PLIX basiert auf Verpackungsmenge (Plastikaufkommen), Recyclingfähigkeit und Umweltwirkung.
- » Die Plastik-App ist für Android und iOS verfügbar. Sie informiert über Plastik und berechnet für ausgewählte Produkte den PLIX.

Test von verschiedenen Verpackungsalternativen: Versuchsaufbau am Point of Sale



Foto: Pia Drechsel



## Kernaussagen

- » Aufgrund der komplexen Wechselbeziehungen ist es notwendig, dass alle an der Wertschöpfungskette „Lebensmittel“ beteiligten Institutionen (vom Produktdesign bis hin zum Entsorgungsbetrieb) zusammenarbeiten, um das Aufkommen an Plastikverpackungen zu verringern. Durch Prozessoptimierungen, Mehrwegverpackungen sowie alternative Polybeutel kann der Einsatz von Plastikverpackungen entlang der textilen Lieferkette verringert werden.
- » Neu entwickelte Verpackungen dürfen nicht zu höheren Lebensmittelverlusten führen und sollten möglichst vollständig recycelbar sein.
- » Design-for-Recycling, eine sortenreine Trennung und eine systematischere Recyclinginfrastruktur sind notwendig, um ein hochwertiges Recycling der Kunststoffabfälle zu ermöglichen.
- » Der PLIX wurde entwickelt, um Plastikverpackungen vergleichbar und bewertbar zu machen. Grundsätzlich ist die Thematik des Verpackungsaufkommens aber nicht nur ein Kunststoffproblem, sondern es sollten alle Verpackungen auf das Nötigste reduziert werden.

## Koordinator

*Dr. Thomas Decker*

### **Stadt Straubing**

Theresienplatz 2

94315 Straubing

Tel.: +49 9421 944-60167

E-Mail: [thomas.decker@straubing.de](mailto:thomas.decker@straubing.de)

## Partnerinstitutionen

- » Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, FG für Marketing und Management Nachwachsener Rohstoffe
- » Forschungsstelle für allgemeine und textile Marktwirtschaft der Universität Münster
- » Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung
- » Universität Stuttgart, Institut für Akustik und Bauphysik, Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung
- » Philipps-Universität Marburg, FG Bioinformatik
- » Ludwig Stocker Hopfisterei GmbH

## Verbundprojekt-Webseite

[www.plastikvermeidung.de](http://www.plastikvermeidung.de)

## Laufzeit

01.10.2017 – 31.03.2021

# PlastikBudget

## Entwicklung von Budgetansatz und LCA-Wirkungsabschätzungsmethodik für die Governance von Plastik in der Umwelt



### Kurzbeschreibung

Eine Bewertung und Regulierung von Kunststoffemissionen erfordert, dass deren Wirkungen quantifiziert werden können und ein Maßstab existiert, anhand dessen bestimmt werden kann, ob die Kunststoffemissionen ein kritisches Maß erreicht haben. Dazu wurden Freisetzungen aus verschiedenen Quellen analysiert und Transferraten in verschiedene Umweltkompartimente sowie die Abbauezeiten unterschiedlicher Polymere unter den spezifischen Milieubedingungen zusammengestellt. Darauf aufbauend wurden ein Ansatz für ein Plastikemissionsäquivalent (PEÄ) und -budget (PEB) entwickelt und eine neue Wirkungskategorie zur Berücksichtigung von Plastikemissionen in Ökobilanzen vorgeschlagen.

### Ergebnisse

- » In vier Reallaboren wurden neue Handlungsfelder herausgearbeitet, die von der Einsparung von Gartenvlies, emissionsarmem Kunstrasen über die Nutzung von Mehrwegkanistern (Reinigungsmittel) in der Gebäudereinigung und einer neuen Abfalleimerkultur in Büros bis hin zu Verpackungsmaterialien für Pflastersteine reichten. Ausgespart wurde nicht, an welchen Stellen Bürger\*innen auf Kunststoffe nicht verzichten möchten (Gesundheit, Leichtbau, Sportbekleidung).
- » Es wurde ein zweitägiger Stakeholderdialog durchgeführt, um die Eignung des Budgetansatzes als Governance-Werkzeug kritisch zu diskutieren. Eine Delphi-Studie zeigte eine hohe Divergenz in der Fachmeinung bzgl. der Abbauraten unterschiedlicher Kunststoffe.
- » Die Erfahrungen aus Gesprächen und Befragungen von Bürger\*innen, Politiker\*innen und Expert\*innen motivierten zu einer Sachbuchpublikation, die die Existenzweise der

Kunststoffe aus einem multidisziplinären Blick beschreibt.

- » Es wurde eine Datenbank zu Abbauraten verschiedener Plastikemissionen in Abhängigkeit von Polymertyp, Partikelgröße und -form sowie Milieubedingungen erstellt.
- » Für das PEÄ wurde ein Ansatz entwickelt, der sich am Konzept der Kohlendioxid-Äquivalente für die Wirkungskategorie Klimawandel orientiert. Als Referenz wurde eine Abbauezeit von einem Jahr gewählt. Kunststoffe, die schneller abbauen, weisen bei Emission geringere PEÄ, solche, die langsamer abbauen, höhere PEÄ auf. Auf diese Weise wird schlecht abbaubaren Kunststoffen eine zusätzliche Masse als Rucksack zugeschrieben. Im Weiteren wurde ein Abschneidekriterium von 100 Jahren gewählt. Damit wird der Idee intergenerativer Gerechtigkeit Rechnung getragen, gleichzeitig entsteht ein Innovationsdruck in Richtung besser abbaubare Kunststoffe.

$$PEÄ = \dot{m}_{E,i} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ (T_{i,j}) \frac{\tau_{1/2,i,j}}{\tau_{1/2,ref,j}} \right]_{100} \quad \text{mit} \quad \sum_{j=1}^n (T_{i,j}) = 1$$

$\dot{m}_{E,i}$ : emittierte Masse des Plastikemissionstyps  $i$  pro Kopf und Jahr

$T_{i,j}$ : Massenanteil des Plastikemissionstyps  $i$  im Kompartiment  $j$

$i, m$ : Index und Gesamtzahl der Plastikemissionstypen (Polymertyp, Größe, Form)

$j, n$ : Index und Gesamtzahl der finalen Umweltkompartimente

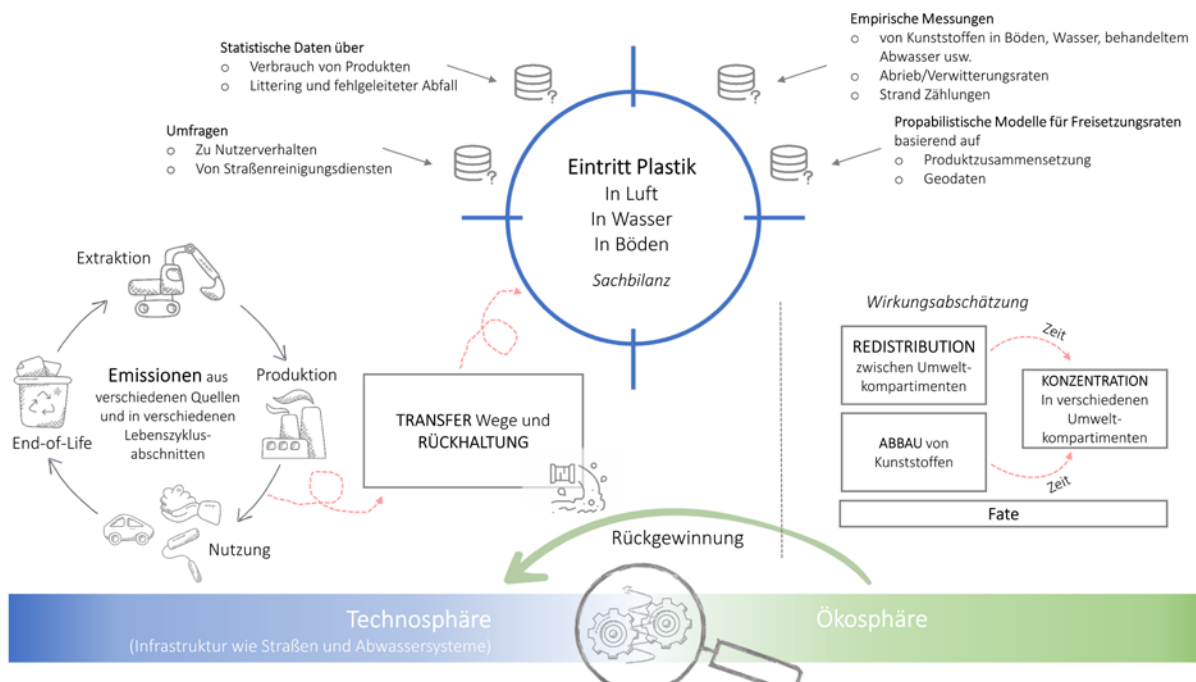
- » Um sinnvolle Werte für ein Pro-Kopf-Plastikemissionsbudget anzugeben, wurde ein einfaches Emissionsmodell in Lagrange-Darstellung entwickelt, in dem Kunststoffemissionen verschiedener Polymertypen und Größenklassen sowie der Abbau und die Fragmentierung als Funktion der Zeit modelliert werden können. Derzeit werden die notwendigen Daten zur Abbildung der zehn

wichtigsten Mikro- und Makroplastikemissionen zusammengestellt und darauf aufbauend Szenarien gerechnet, aus denen sich Vorschläge für Plastikemissionsbudgets ableiten lassen.

- » Für das Plastikemissionsäquivalent wurde auch ein Konzept für seine Integration in Ökobilanzen erstellt. Das persistenzgewichtete Plastikemissionsäquivalent erlaubt eine separate Bewertung. Die Persistenz ist laut Europäischer Chemikalienagentur ECHA ein geeigneter Proxy für die Bewertung zukünftiger Risiken, welche mit Kunststoffemissionen verbunden sind. Gleichzeitig wird in diesem Ansatz das Vorsorgeprinzip ausreichend abgebildet. Mit fortschreitendem Erkenntnisgewinn in Bezug auf die öko- und humantoxikologischen Schadwirkungen von Kunststoffemissionen lässt sich das Konzept weiterentwickeln und in etablierte Bewertungsmethoden zur Ökotoxikologie überführen.

- » Mit zahlreichen Vorträgen in politischen Gremien, an Bildungseinrichtungen und durch Medienauftritte (Intergrup EBCD des Europäischen Parlament, Umweltausschuss Land Niedersachsen und Nordrhein Westfalen, Sportausschuss des deutschen Bundestages, Volkswagenstiftung, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, WDR, Bremen 2, Deutschlandfunk, rbb, ZDF, RTL u. a.), aktiver Teilnahme an Fachdebatten, wissenschaftlichen Konferenzen, einer wissenschaftsvermittelnden Fahrradtour und Social Media-Aktivitäten (v.a. Twitter) wurde die gesellschaftspolitische Debatte mitgestaltet. Ziel war dabei u. a., die Fokussierung der gesellschaftlichen Debatte auf Plastic-Litter und Kosmetik-Microbeads zu überwinden und den Blick auf sämtliche Arten von Kunststoffemissionen auszuweiten.

### Systemischer Ansatz zur Berücksichtigung von Kunststoffemissionen in Ökobilanzen



Quelle: PlastikBudget

## Kernaussagen

- » Kunststoffemissionen haben eine Dimension erreicht, die es rechtfertigt, sie als wichtigen Umweltindikator in der Bewertung von Produkten und Technologien zu berücksichtigen sowie sie beim Monitoring der Nachhaltigkeitsperformance von Organisationen und Regionen einzubeziehen.
- » Die Regulierung von Kunststoff-Littering und Mikroplastikemissionen stößt in Zivilgesellschaft, Politik, Verwaltung und auch weiten Teilen von Industrie, Handel und Lobby auf zukunftsfesten Konsens. Um sichtbare Reduzierung zu erreichen und die Akzeptanz in der Gesellschaft zu nutzen und aufrecht zu halten, sollte politische Regulierung auf mengenmäßig relevante Bereiche (Reifen, Fassadenfarben, öffentliche Events, Kunststoffnutzung in Kleingärten etc.) abzielen.
- » Für die vergleichende Bewertung von Produkten und Technologien im Rahmen von Ökobilanzen wurde ein Plastikemissionsequivalent (PEÄ) entwickelt. Bei Kunststoff emittierenden Produkten könnte es auch als ökologisches Kriterium genutzt werden, das bspw. CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, Schadstoffgehalt und Rezyklatanteil ergänzt.
- » Das im Rahmen des Projekts entwickelte Plastikemissionsbudget (PEB) ergibt sich aus dem Gehalt in der Umwelt und der natürlichen Abbauleistung. Da die Mengen in der Umwelt bislang nur vage bekannt sind, ist auch das Plastikemissionsbudget noch nicht sicher zu bestimmen. Nichtsdestotrotz kann es zukünftig als Referenzmaßstab für Plastik emittierende Produkte und Praktiken dienen.

## Koordinator

*Jürgen Bertling*

**Fraunhofer UMSICHT, Bereich Produkte,  
Abteilung Nachhaltigkeits- und  
Ressourcenmanagement**

Osterfelder Straße 3

46047 Oberhausen

Tel.: +49 208/8598-1168

E-Mail: [juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de](mailto:juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de)

## Partnerinstitution

Ruhr-Universität Bochum / RUB

## Verbundprojekt-Webseite

[www.plastikbudget.de](http://www.plastikbudget.de)

## Laufzeit

01.11.2017 – 30.09.2021

## Session B:

# Verringerung von Plastik- einträgen in die Umwelt – Strategien und Verfahren (Teil 2)

## Reduktion des Eintrags von Plastik über das Abwasser in die aquatische Umwelt



### Kurzbeschreibung

Welche Rolle spielt das Abwasser für den Eintrag von Mikroplastik in die aquatische Umwelt? Im REPLAWA-Projekt wurden die unterschiedlichen Eintragspfade über das Abwasser untersucht und eingeordnet. Die Abwasserbehandlung in Kläranlagen stellte einen Schwerpunkt des Projekts dar. Dabei wurden auch technische Maßnahmen zur weitergehenden Rückhaltung von Mikroplastik untersucht.

Die Bestimmung von Mikroplastik-Massenkonzentrationen in Abwasser-, Klärschlamm- und Bodenproben erforderte zunächst die Weiterentwicklung von Methoden für die Probenahme, Probenaufbereitung und Mikroplastik-Analyse. Es wurde die thermogravimetrische Messung mit der GC/MS-Analytik kombiniert, um Massengehalte zu bestimmen. Die Methodenentwicklung erwies sich als deutlich zeitaufwändiger als zunächst geplant. In einer sozialwissenschaftlichen Analyse wurden die unterschiedlichen staatlichen Regulierungsansätze sowie die sie begleitenden normativen Dynamiken zur Begrenzung von Plastikemissionen weltweit untersucht, indem neben Regierungshandeln auch die Initiativen von internationalen Organisationen, zivilgesellschaftlichen Akteuren sowie Unternehmen ausgewertet wurden. Aus den Untersuchungen wurden Handlungsempfehlungen für Strategien zur Reduzierung des Plastikeintrages im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft abgeleitet. In diese sind auch umfangreiche sozialwissenschaftliche Analysen von internationalen Regulierungsansätzen eingeflossen.

Die Projektarbeiten sind noch nicht abgeschlossen.

### Ergebnisse

- » Eine Apparatur zur Probenahme von wässrigen Proben mit großen Probenvolumina bzw. langen Probenahmedauern mittels permanent rotierendem und rückgespültem Sieb  $> 10 \mu\text{m}$  („RoSi“) wurde entwickelt.
- » Bestehende Methoden wurden u. a. im Hinblick auf die Verteilung der Probenahmen über den Fließquerschnitt und das Probenvolumen angepasst. Die Methodik für die Probenaufbereitung und Mikroplastik-Analyse mittels TED-GC/MS für Abwasserproben und für Schlammproben wurde weiterentwickelt und validiert.
- » Ein Verfahren zur Untersuchung von Abwasser- und Klärschlammstoffströmen über eine Dotierung fluoreszierender PE-Partikel und Partikelzählung mittels Fluoreszenzmikroskopie wurde entwickelt und erprobt.
- » Messdaten zu Mikroplastik-Massekonzentrationen (PE, PP, PS, PMMA, PET; Größencluster  $10 - 1.000 \mu\text{m}$ ) für unterschiedliche Eintragspfade von Mikroplastik über das Abwasser (sieben Kläranlagen) und im Gewässer (Spree) liegen vor. Zulaufkonzentrationen bei Kläranlagen liegen in einer Größenordnung um  $10^1 \text{ mg/l}$ , Ablaufkonzentrationen bei  $10^{-2}$  bis  $10^{-1} \text{ mg/l}$ .
- » Erste Bilanzierungen von Mikroplastik-Stoffströmen (PE, PP, PS, PMMA, PET; Größencluster  $10 - 1.000 \mu\text{m}$ ) in Kläranlagen wurden aufgestellt. Die Eliminationsgrade für Mikroplastik liegen bei mechanisch-biologischer Abwasserreinigung in einer Größenordnung von über 99 % (ca. 2 – 3 Log-Stufen). Aus Dotierungsversuchen ( $10 - 500 \mu\text{m}$ ) kann der Gesamteliminationsgrad durch nachgeschaltete Filtration (Tuchfilter, Mikrosieb, Sand- bzw. DynaSand-Filter) um bis zu 1 Log-Stufe auf Größenordnungen um 99,9 – 99,99 % (ca. 3 – 4

Log-Stufen) erhöht werden. Membranverfahren zeigten eine 100%ige Elimination.

- » Die Methodenentwicklung für die Bestimmung von Mikroplastik-Massenkonzentrationen wie auch deren praktische Durchführung erwiesen sich als sehr zeitaufwändig. Der Analytik-Aufbau zeigt sich derzeit noch störanfällig. Der mittlere Probendurchsatz ist dadurch auf rund fünf Proben pro Woche limitiert. Die ursprünglich geplante Zahl an Mikroplastik-Analysen konnte daher nicht erreicht werden.
- » Weitergehende Standardisierungen der Mikroplastik-Bestimmung sind unabdingbar, um vergleich- und reproduzierbare Daten generieren zu können.
- » Die sozialwissenschaftliche Analyse von staatlichen Regulierungsmaßnahmen in allen 193 UN-Staaten weist ein uneinheitliches Bild auf: Fast die Hälfte regulieren derzeit Plastiktüten, nur wenige spezifische ‚Single-use‘-Plastikprodukte oder Microbeads. Dabei nutzen sie unterschiedliche Regulierungsinstrumente wie Verbote, Gebühren oder Anreizsysteme. Generell setzt die Regulierung vorrangig bei Produkten und deren Nutzung an und fokussiert damit auf die Verursachungssituation. Weitere Abschnitte des ‚Lebenszyklus‘ von Plastik werden weniger stark geregelt, obgleich sie für eine Verringerung der Plastikproblematik gleichermaßen relevant erscheinen. So gibt es z. B. bislang kaum Regulierung zu Mikroplastik im Abwasser.

- » Zusammenfassende Handlungsempfehlungen für Strategien zur Reduzierung des Plastikeintrages im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft werden im 2. Halbjahr 2021 fertiggestellt.

Probenahmeapparatur („RoSi“) der TU Berlin



Foto: P. Lau

Versuchskläranlage in Braunschweig



Foto: I. Urban

## Kernaussagen

- » Die Methodik zur Bestimmung von Mikroplastik-Massekonzentrationen in Abwasser und Klärschlamm ist sehr aufwändig. Sie bedarf dringend weiterer Standardisierungen, auch im Hinblick auf mögliche Regulierungsansätze.
- » Für den Mikroplastikeintrag über Abwasser in Gewässer spielen Kläranlagenabläufe eine untergeordnete Rolle. Wesentliche Eintragsquellen sind Mischwasser- und Regenwasserabschläge sowie direkte Ableitungen von Niederschlagswasser von Verkehrsflächen.
- » Kläranlagen weisen eine hohe Eliminationsleistung für Mikroplastik von über 99 % auf, die durch nachgeschaltete Filteranlagen auf 99,9 – 99,99 %, mit Membranverfahren auf 100 % gesteigert werden kann (PE, PP, PS, PMMA, PET; Größencluster 10 – 1.000 µm).
- » Klärschlämme dienen als Senke für das abgetrennte Mikroplastik. Bei bodenbezogener Verwertung wird das Mikroplastik in Böden und weitere andere Umweltkompartimente eingetragen.
- » Die Datenlage ist weiterhin viel zu dünn und widersprüchlich für belastbare Aussagen. Es besteht Bedarf an gezielten Messkampagnen für alle Eintragspfade, insbesondere über Misch- und Niederschlagswasser.
- » Zur Verringerung von Plastikeinträgen in die Umwelt ist eine kohärente Regulierung der komplexen Plastikproblematik notwendig – über Stoff- und Produktgrenzen, politische Ebenen und den Lebenszyklus hinweg. Dies wäre auch ein effektiver Weg zur Vermeidung von regulativen Überschneidungen und zum Schließen von Regulierungslücken.

## Koordinator

*Prof. Dr.-Ing. Holger Scheer*

**Emscher Wassertechnik GmbH**

Brunnenstraße 37

45128 Essen

Tel.: +49 201 3610-120

E-Mail: [scheer@ewlw.de](mailto:scheer@ewlw.de)

## Partnerinstitutionen

- » Technische Universität Berlin, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
- » Technische Universität Braunschweig, Institut für Siedlungswasserwirtschaft / ISWW
- » Technische Universität Braunschweig, Institut für Sozialwissenschaften / IB-ISW
- » Nordic Water GmbH
- » MARTIN Systems AG
- » Lippeverband

## Unterauftragnehmer:

- » Mecana Umwelttechnik GmbH
- » Stadtentwässerung Braunschweig GmbH

## Verbundprojekt-Webseite

<http://www.replawa.de/>

## Laufzeit

01.01.2018 – 31.12.2021



## Identifikation von industriellen Plastik-Emissionen mittels innovativer Nachweisverfahren und Technologieentwicklung zur Verhinderung des Umwelteintrags über den Abwasserpfad



### Kurzbeschreibung

Große Mengen an Kunststoffen werden im industriellen Maßstab polymerisiert, compoundiert, in der Logistik verteilt und weiterverarbeitet. Bei vielen dieser Prozesse kommt es zu Produktverlusten und zum Anfall von Reststoffen wie z. B. Extrusionsrückständen, Abrieb oder Fehlchargen. Über eine Vielzahl von Austragspfaden können Kunststoffgranulate oder Reststoffe als Mikroplastik aus der Produktions- und Verarbeitungskette in die Umwelt entweichen.

Das Projekt rückt erstmals industrielle Abwässer in den Fokus der Mikroplastikforschung und erfasste systematisch Art und Menge von Mikroplastik in Abwasserströmen relevanter Industriebranchen. Die Probenahme und -aufbereitung von Mikroplastik in Wasser wurden dazu optimiert sowie innovative Nachweisverfahren (Raman-Mikrospektroskopie, Dynamische Differenzkalorimetrie DSC, Magnetische Suszeptibilität) angewendet und weiterentwickelt. Gleichzeitig wurde untersucht, wo und wie Mikroplastik in das Abwasser gelangt, um die Einträge möglichst bereits an der Quelle zu reduzieren. Zur Behandlung der unvermeidbaren Mikroplastikfrachten im Abwasser wurden verfahrenstechnische Methoden zur Entfernung von Mikroplastikpartikeln aus dem Abwasser evaluiert und optimiert. Ziel ist die Verhinderung des Umwelteintrags von Mikroplastik über den industriellen Abwasserpfad.

### Ergebnisse

Für die Messung mittels Raman-Mikrospektroskopie wurden in Abhängigkeit des Feststoffgehalts die Probenahmeverfahren optimiert. Volumenreduzierende Probenahme durch Filtration mittels Edelstahlkerzenfilter bewährte sich bei geringen Partikelgehalten, während bei erhöhten Feststoffgehalten bevorzugt Flüssigproben entnommen werden sollten. Die Probenaufbereitung basiert auf

einer zweistufigen, oxidativen Behandlung ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{NaClO}$ ) und anschließender Dichteseparation in Natriumpolywolframat-Lösung. Für Proben mit sehr hohen Partikelkonzentrationen wurde ein Aliquotierungsverfahren zur Entnahme einer repräsentativen Teilmenge entwickelt. Die kontinuierliche Validierung und Optimierung einzelner Verfahrensschritte erhöhte die Wiederfindungsrate von Mikroplastik signifikant und reduzierte Blindwerte. Die erfolgreiche Teilnahme an zwei Ringversuchen hat gezeigt, dass die entwickelten Analysemethoden reproduzierbare und mit anderen Laboren vergleichbare Ergebnisse liefern.

Die in mikroplastikhaltigem Prozess- und Spülwasser mittels DSC gemessenen Massenkonzentrationen lagen je nach Industriebetrieb zwischen  $< 5 \mu\text{g/l}$  und  $30 \mu\text{g/l}$ , die Anzahlkonzentrationen lagen bei bis zu  $10^5$  Partikel pro Liter für Mikroplastik zwischen  $10\text{-}5000 \mu\text{m}$ . Diese Mikroplastikeinträge können durch betriebsinterne Vorbehandlungen und industrielle Kläranlagen um jeweils ca. zwei Log-Stufen reduziert werden. Auf betrieblich genutzten Außenbereichen wie Abfallsammelplätzen, Lager- sowie Ladezonen kommt es zu nutzungs- und personenabhängigen diffusen Mikroplastikausträgen. Partikelbelastungen von bis zu  $35 \text{g/m}^2$  wurden festgestellt. Von diesen Außenflächen gelangt Mikroplastik über Verwehungen, Verschleppungen oder Regenereignisse in die Umwelt. Die Belastung von Regenwasser kann bis zu  $10^2$  Partikel pro Liter betragen. Insbesondere ältere Betriebsstätten leiten Regenwasser teils direkt in Oberflächengewässer ein.

Im Labor-, Real- und Großmaßstab wurden verschiedene Verfahren hinsichtlich ihres Mikroplastik-Rückhalts bewertet. Ultrafiltrationsmembranen halten Mikroplastik  $> 1 \mu\text{m}$  sicher zurück (99,9% Abscheideleistung). Flotations- und Sedimentationsverfahren sind deutlich energieeffizienter,

trennen Mikroplastik aber wesentlich schlechter ab (ca. 60 % Sedimentation, 70 % Flotation). Durch die Zugabe von im Rahmen des Projekts entwickelten Flockungsmitteln konnte die Abscheideleistung dieser mit Fällung und Flockung kombinierten Verfahren auf bis zu 98,6 % für die Sedimentation und 99,7 % für die Flotation gesteigert werden. Die Abscheideleistung von Sandfiltrationen beträgt in der Regel > 99 %.

Zur Bewertung der Abscheideleistung verschiedener Technologien wurde ein Tracer-Test entwickelt,

der auf magnetischen Modellpartikeln aus verschiedenen Kunststoffsorten in unterschiedlichen Formen und Größen basiert. Neben den bewährten „bottom-up“-Prozessen wurde im Rahmen dieses Projektes ein skalierbares „top-down“-Verfahren entwickelt. Die damit erzeugten Magnetpartikel weisen eine dem realen Mikroplastik ähnliche Morphologie auf. Sie können zuverlässig abgeschieden und mittels magnetischer Suszeptibilität einheitlich bilanziert werden.

Optimierung klassischer Verfahren wie der Sedimentation oder Flotation durch die Zugabe von im Rahmen des Projektes entwickelten Flockungsmitteln



Foto: EnviroChemie

$PE(Fe_xO_y)_{10\%}$  Magnetische Tracer-Partikel

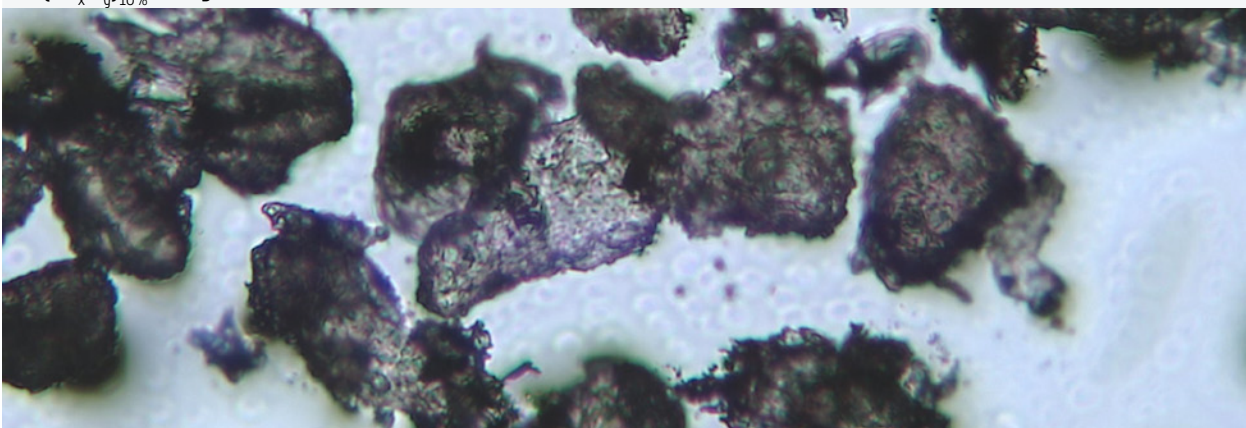


Foto: BS-Partikel

## Kernaussagen

### Industrielle Mikroplastikemissionen:

- » Mikroplastik gelangt über industrielle Abwässer und Regenwasser der Kunststoff produzierenden und verarbeitenden Industrie und bei Logistikprozessen in die Umwelt.

### Analyse von Mikroplastik in Abwasser.

- » Industrieabwässer mit teils hohen Zulaufkonzentrationen (ca. 1 – 2 g/l) können mittels DSC und Raman-Mikrospektroskopie analysiert und hohe Partikelzahlen mit guter Reproduzierbarkeit erfasst werden.
- » Die DSC hat sich als einfache Methode zur anwendungsnahen Massenbestimmung etabliert.
- » Ein eigens entwickeltes Verfahren zur Entnahme repräsentativer Teilproben ermöglicht die Analyse mittels Raman-Mikrospektroskopie auch bei sehr hohen Mikroplastikkonzentrationen.

### Reduktion der industriellen Mikroplastikemissionen:

- » Emissionen über den Wasserpfad können durch eine Kombination aus innerbetrieblichen Vermeidungsmaßnahmen und angepassten Reinigungstechnologien effektiv reduziert werden.
- » Die Abscheideleistung verschiedener Vorbehandlungsverfahren (Sedimentation, Flotation, Sandfiltration) beträgt in der Regel ungefähr zwei Log-Stufen.
- » Im Fall von Indirekteinleitungen eliminieren auch kommunale Abwasseranlagen Mikroplastikeinträge nochmals um ca. 84 – 99 %.
- » Die direkte Einleitung des auf Betriebsflächen anfallenden Niederschlagswassers in Oberflächengewässer ist zu vermeiden.

## Koordinatorin

*Dr.-Ing. Eva Bitter*

### EnviroChemie GmbH

In den Leppsteinswiesen 9

64380 Rossdorf

Tel.: +49 6154-6998-57

E-Mail: [eva.bitter@envirochemie.com](mailto:eva.bitter@envirochemie.com)

## Partnerinstitutionen

- » Technische Universität Darmstadt,
  - Institut IWAR, Fachgebiet Abwasserwirtschaft / TU-AW
  - Institut IWAR, Fachgebiet Abwassertechnik / TU-AT
- » Hochschule RheinMain, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik / HSRM
- » inter 3 GmbH - Institut für Ressourcenmanagement
- » BS-Partikel GmbH

## Verbundprojekt-Webseite

<http://www.emistop.de/>

## Laufzeit

01.01.2018 - 31.12.2020

## Lösungsstrategien zur Verminderung von Einträgen von urbanem Plastik in limnische Systeme



### Kurzbeschreibung

Zunehmende Mengen größerer Plastikfragmente (Makroplastik) sowie Plastikmüll in den Meeren sind schon seit mehreren Jahrzehnten Gegenstand der Forschung. Weniger untersucht war bislang jedoch das Vorkommen und Verhalten von Mikroplastik in limnischen Gewässern. Gesamtziel dieses Forschungsprojekts war die Entwicklung unterschiedlicher Lösungsstrategien aus den Bereichen Technik, Green Economy und sozial-ökologischer Forschung, um zur Minderung von Plastikeinträgen in das limnische Milieu urbaner Siedlungsräume beizutragen. Im Projekt wurden Einträge von Mikroplastik in Gewässer durch die Siedlungswasserwirtschaft untersucht sowie für die Analyse notwendige Methoden (weiter)entwickelt. Auch Verfahrenstechniken zum erweiterten Mikroplastikrückhalt waren Gegenstand der Forschung. Weiterhin wurden Auswirkungen von Plastik und darin enthaltener Zusatzstoffe sowie deren Auslaugen in das umgebende Wasser untersucht. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt lag in der Erhebung der Nutzungs- und Entsorgungspraktiken von Verbraucher\*innen im Umgang mit Plastikprodukten sowie in der Ermittlung der Handlungsbereitschaft und möglichen Handlungsoptionen von Konsument\*innen und Hersteller\*innen. Im Projekt haben (mehr als) drei Jahre lang zehn Partnerinstitutionen aus Industrie und Forschung interdisziplinär zusammengearbeitet.

### Ergebnisse

#### Siedlungswasserwirtschaft

- » Zur Quantifizierung der entstehenden Mikroplastikeinträge durch die Siedlungswasserwirtschaft wurden geeignete Methoden für Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse identifiziert bzw. entwickelt.
- » Die Untersuchungen der Proben zeigen,

dass im Zulauf der Vorklärung einer kommunalen Kläranlage zwischen 70.000 und 180.000 Mikroplastikpartikel (MPP) pro Kubikmeter Abwasser nachweisbar sind. Im Kläranlagenablauf waren noch zwischen 100 und 500 MPP/m<sup>3</sup> nachweisbar. Die Kläranlage leistet somit einen Rückhalt von > 99 %. Mit Hilfe weiterer Verfahrenstechniken (z. B. Tuchfilter oder Ultrafiltration) lässt sich der Rückhalt noch erhöhen. Die zurückgehaltenen MPP werden im Klärschlamm gebunden. Durch thermische Verwertung des Schlammes lässt sich somit der Großteil der in die Kläranlage eingetragenen Partikel eliminieren.

- » Die Konzentration an MPP im entlasteten Mischwasser lag beim untersuchten Rückhaltebecken in der gleichen Größenordnung wie im Zulauf der Vorklärung. MPP aus Reifenabrieb, welche mutmaßlich einen großen Anteil der MPP im Mischwasser ausmachen, lassen sich aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung nicht eindeutig mit dem hier angewandten analytischen Verfahren der Raman-Mikroskopie identifizieren. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

#### Degradation und Toxikologie

- » Das Auslaugen von Substanzen wurde bei künstlich beschleunigten Alterungsversuchen mit unterschiedlichen Kunststoffarten untersucht. Je nach Polymer wurden Oligomere, Restlösungsmittel, Additive wie Antioxidantien, Weichmacher, Stabilisatoren, Gleitmittel und eine Vielzahl unbekannter Verbindungen detektiert, deren Anzahl mit zunehmender Versuchsdauer anstieg (bis zu mehreren tausend Verbindungen).
- » Dagegen wurde bei Langzeitfeldversuchen in Kläranlagen gezeigt, dass sich hydrophobe Schadstoffe im Abwasser während des

Reinigungsprozesses an vorhandene MPP anlagern können, jedoch nicht desorbiert werden.

- » Bei einigen Polymeren konnten hormonelle Wirkungen beobachtet werden, welche mit fortschreitender Alterung zunehmen.

### Verbraucher\*innenverhalten

- » Bei einer Befragung von 2.000 Konsument\*innen konnte ein Problembewusstsein für Mikroplastik bei der überwiegenden Mehrheit der Befragten festgestellt werden:
  - › Nur eine Minderheit ist davon überzeugt, dass das Problem allein durch technische Lösungen bewältigt werden kann.
  - › Die eigene Handlungsbereitschaft wird stark an die von Politik und Herstellern geknüpft.
  - › Veränderte Nutzungs- und Entsorgungspraktiken werden in Betracht gezogen, wenn praktikable Alternativen verfügbar sind.
  - › Eine klare Deklaration der Inhaltsstoffe von Produkten, bzw. transparente und leichtverständliche Gütesiegel würden Verbraucher\*innen begrüßen.

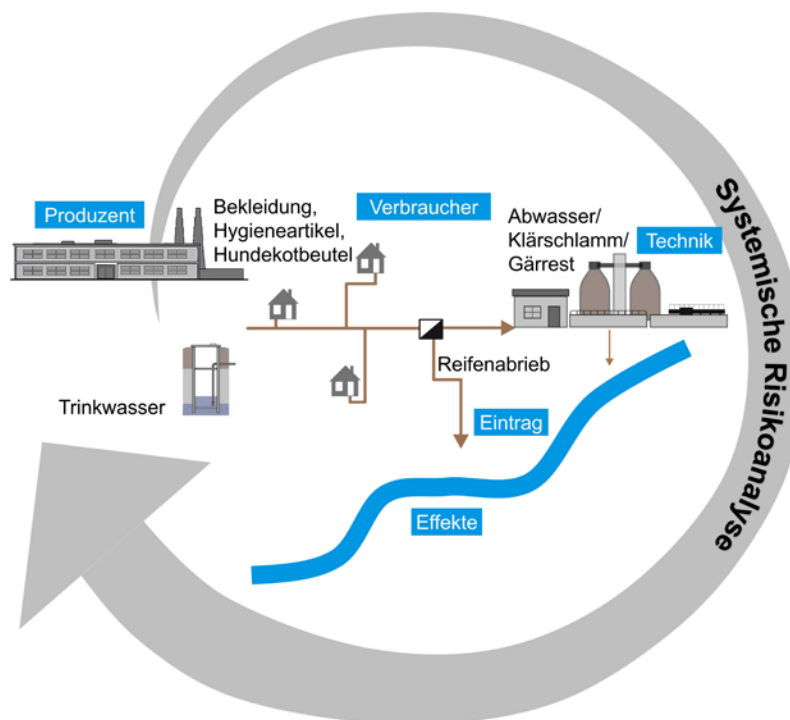
### Bewertung von Kunststoffen

- » Um ein Kunststoffprodukt bewerten zu können, spielen diverse Faktoren eine Rolle:
  - › mengenmäßiger Eintrag über die verschiedenen Eintragspfade
  - › Degradation und stoffliche Dynamik
  - › (technische) Möglichkeiten zur Elimination aus dem Wasserkreislauf
  - › human- und ökotoxikologische Effekte
  - › Verhalten in der Umwelt

Weiterhin einfließen sollten auch die Lebens- / und Nutzungsdauer der Produkte sowie ihr genereller gesellschaftlicher Nutzen.

Zur Verbesserung von Kunststoffprodukten aus toxikologischer Sicht sollten problematische Substanzen identifiziert und aus dem Herstellungsprozess weitgehend eliminiert werden.

Projektidee von PLASTRAT: Ganzheitlicher Ansatz aus den Bereichen Technik, Green Economy und sozial-ökologischer Forschung



Quelle: PLASTRAT 2017

## Kernaussagen

- » Die Bewertung der Siedlungswasserwirtschaft erfordert einen ganzheitlichen Ansatz unter Berücksichtigung aller Einleitungen (Kläranlage und Mischwasser-/Regenwasserentlastungen) in das Gewässer. Während Kläranlagen einen guten Beitrag zum Rückhalt von MPP leisten, kann es durch Mischwasserentlastungen zu einem Mikroplastik-Eintrag in Gewässer kommen. Für die Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse sind standardisierte Methoden anzuwenden.
- » Große Mengen von Mikroplastik resultieren aus der Fragmentierung von Artikeln/Produkten, welche unkontrolliert in die Umwelt gelangen. Demzufolge ist eine kontrollierte und effektive Entsorgung nach der Nutzungsphase notwendig.
- » Konsument\*innen können durch einen bewussteren Umgang mit Kunststoffprodukten zu einer Reduzierung der Einträge in limnische Systeme beitragen (z. B. Reduktion des Konsums von Einweg-Kunststoffprodukten).
- » Seitens der Politik sollte eine Deklarationspflicht für Inhaltsstoffe von Produkten eingeführt werden. Bestehende Material- und Gütesiegel sollten mit dem Ziel einer verständlichen und einheitlichen Kundeninformation überarbeitet werden. Hersteller sollten auf eine transparente Deklaration von Additiven, Hilfsstoffen und sonstiger Substanzen ihrer Produkte achten, bzw. vermehrt unbedenkliche Zusatzstoffe (gem. REACH-Verordnung) verwenden.

## Koordinatoren

*Prof. Dr.-Ing. Christian Schaum*  
und *apl. Prof. Dr.-Ing. Steffen Krause*  
**Universität der Bundeswehr München / UniBwM**  
**Professur für Siedlungswasserwirtschaft**  
**und Abfalltechnik**  
Werner-Heisenberg-Weg 39  
85577 Neubiberg  
Tel.: + 49 89-6004-3484  
E-Mail: swa@unibw.de

## Partnerinstitutionen

- » Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt / UF
- » Institut für sozial-ökologische Forschung / ISOE
- » Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH / IWW
- » Bundesanstalt für Gewässerkunde / BfG
- » aquadrat ingenieure GmbH / a2i
- » TU Darmstadt – Institut IWAR / TUDa
- » inge GmbH / inge
- » Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. / IPF
- » Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde / IOW

## Assoziierte Partner & Unterauftragnehmer:

- » Münchner Stadtentwässerung
- » Stadt Weißenburg in Bayern
- » Entsorgungsbetriebe der Landeshauptstadt Wiesbaden
- » Stadt Weiterstadt, Eigenbetrieb Stadtwerke
- » Gemeindliche Einrichtungen und Abwasser Holzkirchen
- » Autobahndirektion Südbayern
- » CARAT GmbH
- » PlasticsEurope Deutschland e. V.
- » Kelheim Fibres GmbH
- » DWA Landesverband Bayern
- » TU München, Analytische Chemie
- » The Sustainable People GmbH

## Verbundprojekt-Webseite

[www.plastrat.de](http://www.plastrat.de)

## Laufzeit

01.09.2017 – 28.02.2021

# Winterschool

## Vom Wissen zum Handeln: Politikempfehlungen aus der PhD-Winterschool

**Politikempfehlungen von Nachwuchswissenschaftler\*innen anlässlich der Abschlusskonferenz des BMBF-Forschungsschwerpunktes „Plastik in der Umwelt“ am 20./21. April 2021, entstanden im Nachgang der gleichnamigen PhD-WinterSchool (10.-14. Februar 2020)**

Im Rahmen des BMBF-Forschungsschwerpunktes sind bereits viele wichtige Erkenntnisse erzielt worden, dennoch ist das Wissen über das gesamte Ausmaß der Plastikverschmutzung sowie seine ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgen weiterhin ausgesprochen gering. Während wir dazu beitragen, die bestehenden Wissenslücken zu schließen, wollen wir gleichzeitig betonen, dass auf Basis der bisherigen Erkenntnisse schon politisch gehandelt werden kann und muss. Wir sehen vor dem Hintergrund unserer breiten interdisziplinären Expertise eine Reihe von Feldern, in denen politische Handlungen und Regelungen schon heute umgesetzt werden können. Dies umfasst konkret folgende Bereiche:

- » **Kunststoffproduktion und -herstellung**
- » **Groß- und Einzelhandel**
- » **Bausektor**
- » **Abfallmanagement und Recycling**
- » **Kommunikation und Zusammenarbeit**

Um den Plastikeintrag in die Umwelt einzudämmen, ist ein Zusammenspiel unterschiedlicher Politikinstrumente notwendig. Zu diesen gehören neben primär kommunikativen Maßnahmen auch leitende ökonomische und ordnungsrechtliche Maßnahmen. Im Folgenden nennen wir daher die Punkte, welche unserer Meinung nach Priorität haben sollten.

### **Transparenz bei den Inhaltsstoffen als zentrales Element in der Kunststoffherstellung**

Bei der Herstellung von Kunststoffprodukten sehen wir die folgenden Maßnahmen als erstrebenswert:

- » Vorsorgeprinzip als Leitlinie beim Einsatz von Additiven, d.h. Reduzierung von Additiven und eine Kennzeichnungspflicht für alle Inhaltsstoffe, die eine Nachverfolgung der verwendeten Materialien und Produktionsschritte auch über Ländergrenzen hinweg erlaubt.
- » Entwicklung von produktbezogenen Additiv-Listen für Produzenten, welche verwendbare und geprüfte Additive auflisten (z. B. für Lebensmittelverpackungen, Hygieneprodukte).
- » Umfassendes Verbot von Mikroplastik in Kosmetika und Hygieneprodukten.

Außerdem muss die Verwendbarkeit von Kunststoffen als Sekundärrohstoffe gestärkt werden und es bedarf aktiver Anstrengungen, um einen Markt dafür zu schaffen. Die Bundesregierung sollte sich daher mit Nachdruck für den Rezyklateinsatz engagieren und den im März 2020 verabschiedeten Aktionsplan der EU-Kommission für die Kreislaufwirtschaft zügig umsetzen.

### **Ökodesign und erweiterte Herstellerverantwortung als Werkzeuge für die Vermeidung von Einwegkunststoffartikeln im Groß- und Einzelhandel**

Das Europäische Parlament hat bereits mit der Kunststoffstrategie [2018] und der sogenannten Einwegkunststoffrichtlinie [2019] bewiesen, dass die Verwendung von Einwegkunststoffprodukten drastisch reduziert werden muss. Hierzu sehen wir die folgenden Maßnahmen als zielführend:

- » Ausweitung der erweiterten Herstellerverantwortung (u. a. Kostenbeteiligung bei Einwegverpackungen inklusive Sammlung, Transport und Behandlung) nach der Definition der EU-Kunststoffstrategie und der EU-Einwegkunststoffrichtlinie.
- » Einschränkung von Verbundwerkstoffen, deren Recycling sehr aufwändig oder ausgeschlossen ist.
- » Evaluation von Ersatzprodukten (alternative Mehr- oder Einwegprodukte), auch unter Berücksichtigung von deren Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit, und damit einhergehendes Verbot verzichtbarer Einwegkunststoffartikel.
- » Produktentwicklung unter Beachtung der Ökodesign-Richtlinie.
- » Anforderungen an die Langlebigkeit von Produkten im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie sowie an die Reparierbarkeit und die Recyclingfähigkeit.
- » Einführung einer verpflichtenden Angabe der Ökobilanz einer Verpackung (ähnlich dem Nutri-Score).

In der öffentlichen Debatte werden häufig große Hoffnungen mit Informations- und Sensibilisierungsmaßnahmen für Bürger\*innen verbunden, doch die Verantwortung kann nicht allein auf die Verbraucher\*innen übertragen werden. Für eine umfassende Kreislaufwirtschaft müssen Hersteller\*innen und Verbraucher\*innen gleichermaßen Verantwortung übernehmen.

Den Verbraucher\*innen sollte die Entscheidung zu nachhaltigen Produkten im Geschäft vereinfacht werden, indem eine klare Kennzeichnung der Recyclingfähigkeit eingeführt wird. Zusätzlich fordern wir eine verpflichtende Transparenz zur Produktion, Nutzung, Entsorgung und vor allem die Darstellung einer Ökobilanz aller Produkte und Nebenprodukte leicht zugänglich mindestens in Form eines QR-Codes auf der Verpackung. Neben Produktkennzeichnungen sollten Mehrwegsysteme zusätzlich zum bestehenden Mehrwegsystem für Getränkeflaschen geschaffen bzw. erweitert werden, wobei einheitliche Verpackungen (z. B. Material, Form, Farbe) einzusetzen wären. Eine derartige Standardisierung der verwendbaren Kunststoffarten

in Verpackungen bzw. Umverpackungen könnte zu einer Erhöhung der Recyclingquoten beitragen. Die Produzenten müssten außerdem Einsparpotenziale bei Verpackungen gemäß der Ökodesign-Richtlinie beachten, welche zukünftig weiter überarbeitet und erweitert werden sollte, sowie Verantwortung für ihre Produkte, deren Langlebigkeit und letztendlich auch deren Entsorgung übernehmen.

### **Klare Vorschriften zum Kunststoffhandling sowie stärkere Verwendung von Rezyklat im Bausektor**

Während des Baubetriebs und bei Abbrucharbeiten kann es aufgrund von Unachtsamkeit, Abrieb oder fehlerhafter Lagerung der Baustoffe zu Verlusten von Plastik in die Umwelt kommen. Dies ist besonders bedenklich, da die Bauindustrie der zweitgrößte Kunststoffanwendungsbereich in Deutschland ist. Daher fordern wir die folgenden Maßnahmen, welche die Eintragsmengen mit geringem Aufwand reduzieren können:

- » Vorschriften zur Lagerung und Sicherung von Kunststoffen auf der Baustelle.
  - » Vorschriften für den verlustarmen Umgang mit bspw. Styropor.
  - » Verbot von Kunststoffen in Schleif- und Poliermitteln, da hier ein verlustfreier oder verlustarmer Umgang ohne hohen Mehraufwand nicht gewährleistet werden kann.
- Sinnvoll erscheint uns außerdem ein verpflichtender Rezyklatanteil in bestimmten Baustoffen sowie die Sicherstellung von deren Recyclingfähigkeit. Dabei wären staatliche Zuschüsse für den Einsatz nachhaltiger Baustoffe begrüßenswert, z. B. für Dämmstoffe aus natürlichen Materialien statt Styropor, welches beim Rückbau häufig in großen Mengen in die Umwelt gelangt. Durch umweltfreundliche öffentliche Beschaffung sollten öffentliche Bauprojekte eine Vorbildfunktion im Hinblick auf den Einsatz nachhaltiger Baustoffe einnehmen.

### **Vermehrte Kreislaufführung und Transparenz im Abfallmanagement**

Wir fordern ausdrücklich ein Vorgehen gemäß der Abfallhierarchie und des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, d.h. der Fokus sollte auf einer Vermeidung



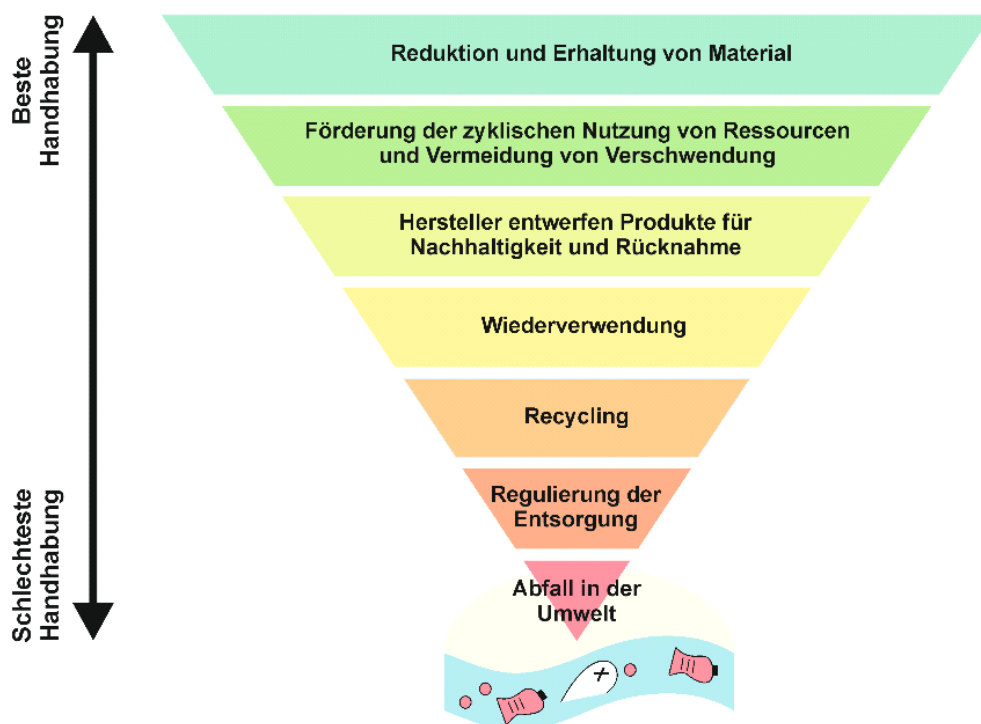
von Kunststoffen liegen und nicht – wie häufig in der öffentlichen Debatte – auf Recycling oder “end of pipe”-Lösungen (s. Abb.). Eine funktionierende Kreislaufwirtschaft kann dazu beitragen, dass weniger Plastik in die Umwelt gelangt. Trotzdem müssen die Recyclingquoten zukünftig gesteigert werden, indem die Bundesregierung das Vertrauen in die dualen Systeme stärkt und Transparenz über die tatsächlichen Recycling-Quoten schafft. In diesem Zusammenhang ist besonders die Deklaration von exportiertem Plastikmüll als recycelter Plastikmüll problematisch, da eine funktionierende Recyclinginfrastruktur in den Zielländern häufig nicht existiert. Dabei sollten auch der Endverbleib deutschen (Plastik-)Mülls kontrolliert und Transportverbote für Plastikmüll in Länder mit mangelnder Recyclinginfrastruktur erlassen werden.

In Fragen des Mülltrennsystems müssten Regeln innerhalb Deutschlands vereinheitlicht werden. Sogenannte „Bioabbaubare Tüten“ oder „Bioplastik“ im Allgemeinen sind dabei ein Beispiel der geschickten Kommunikation zwischen Politik und Bürger\*innen. Die Potenziale von Marker-Systemen zur verbesserten Trennung von Plastikabfällen sollten in der Praxis geprüft werden.

### **Kommunikation und Zusammenarbeit: Die Etablierung weiterer Runder Tische**

Der „Runde Tisch Meeresmüll“ unter der Schirmherrschaft von Umweltbundesamt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und dem Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz zeigt nachdrücklich, wie Stakeholder aus Politik und Ver-

Hierarchie der Nutzungsmöglichkeiten von Kunststoffprodukten



Quelle: eigene Darstellung nach Penca, 2018

waltung, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Wissenschaft gemeinsam an einem Problemfeld arbeiten und zu konstruktiven Ergebnissen gelangen können. Vor diesem Hintergrund empfehlen wir die Etablierung weiterer Runder Tische, z. B. Plastik im Boden oder Reifenabrieb, um den verschiedenen Dimensionen und Komplexitäten des Problems „Plastik in der Umwelt“ gerecht zu werden sowie ambitionierte und umsetzbare Maßnahmenvorschläge zu erarbeiten. Eine Einbeziehung der Bürger\*innen in die Entscheidungsfindung ist dabei von herausragender Wichtigkeit.

Vor dem Hintergrund unserer Forschungen sind wir überzeugt, dass Plastik in der Umwelt ein Umweltproblem globalen Ausmaßes ist, welches politische

Vorgaben entlang der gesamten Wertschöpfungskette erforderlich macht. Die aktuellen Rahmenbedingungen begünstigen leider vielfach ein wenig nachhaltiges Produktions- und Konsumverhalten – auf Kosten der Umwelt und zukünftiger Generationen. Daher ist es entscheidend, politischen Willen zu beweisen und substanzielle Regelungen auf den Weg zu bringen. Wir sehen es als unsere gesellschaftliche Pflicht, als Wissenschaftler\*innen in diesem Zusammenhang auch weiterhin an den Diskussionen zur Weiterentwicklung politischer Rahmenbedingungen und deren Umsetzung mitzuwirken.

Forderungen der Nachwuchs-Wissenschaftler\*innen aus dem Bereich „Plastik in der Umwelt“ an die Politik, um den Plastikeintrag in die Umwelt einzudämmen und den richtigen Umgang mit Plastik zu fördern.

### Kunststoffproduktion und -verarbeitung

1. Vorsorgeprinzip als Leitlinie beim Einsatz von Additiven (Reduzierung von Additiven, Kennzeichnungspflicht für alle Inhaltsstoffe)
2. Entwicklung produktbezogener Listen mit verwendbaren Additiven
3. Umfassendes Verbot von Mikroplastik in Kosmetika und Hygieneprodukten
4. Stärkere Verwendung von Sekundärrohstoffen

### Groß- und Einzelhandel

1. Ausweitung der erweiterten Herstellerverantwortung
2. Einschränkung von Verbundwerkstoffen
3. Evaluation von Ersatzprodukten
4. Produktentwicklung unter Beachtung der Ökodesign-Richtlinie
5. Langlebigkeit von Produkten und Reparierbarkeit
6. Einführung einer Ökobilanz-Angabe auf Verpackungen
7. Verpflichtende Transparenz zu Produktion, Nutzung, Entsorgung

### Kommunikation

1. Runde Tische zu unterschiedlichen Themen
2. Bürger\*innen in die Entwicklung von Lösungsstrategien einbeziehen

### Recycling und Abfallmanagement

1. Vertrauen in Duales System schaffen
2. Transparenz über tatsächliche Recycling-Quoten
3. keine Recycling-Deklaration von exportiertem Plastikmüll
4. Kontrolle des Endverbleibs von deutschem Plastikmüll
5. Einheitliches Mülltrennsystem in Deutschland
6. „Bioplastik“ nicht weiter bewerben

### Bausektor

1. Vorschriften zur Lagerung und Sicherung von Baustoffen auf der Baustelle
2. Vorschriften über den verlustarmen Umgang mit bspw. Styropor
3. Verbot von Kunststoffen in Schleif- und Poliermitteln
4. Verpflichtender Rezyklatanteil in Baustoffen
5. Staatliche Zuschüsse für nachhaltige Baustoffe
6. Umweltfreundliche Beschaffung für öffentliche Bauprojekte

Quelle: eigene Darstellung

## Entwicklung der Empfehlungen

*Stefan Dittmar*, Institut für Technischen Umweltschutz, TU Berlin

*Lars Eitzen*, Institut für Technischen Umweltschutz, TU Berlin

*Astrid Götz*, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Technische Universität München

*Lea Heidbreder*, Universität Koblenz-Landau

*Anja Holzinger*, Lehrstuhl für Tierökologie I, Universität Bayreuth

*Tim Kiessling*, Kieler Forschungswerkstatt, Leibniz-Institut  
für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

*Tim Lauschke*, Institut für Integrierte Naturwissenschaften, Universität Koblenz-Landau

*Robin Lenz*, Arbeitsgruppe Umweltmikrobiologie, Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde

*Linda Mederake*, Ecologic Institut

*Teresa Menzel*, Lehrstuhl Polymere Werkstoffe, Universität Bayreuth

*Diana Michler-Kozma*, Institut für Landschaftsökologie, Universität Münster

*Johannes Neupert*, Institut für Bauingenieurwesen, Technische Universität Berlin

*Marie-Theres Rauchschorbe*, Abteilung Tierökologie, Universität Bielefeld

*Luca Raschewski*, ISOE- Institut für sozial-ökologische Forschung

*Luisa Reinhold*, Institut für Bauingenieurwesen, Technische Universität Berlin

*Robby Rynek*, Department Analytik, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ

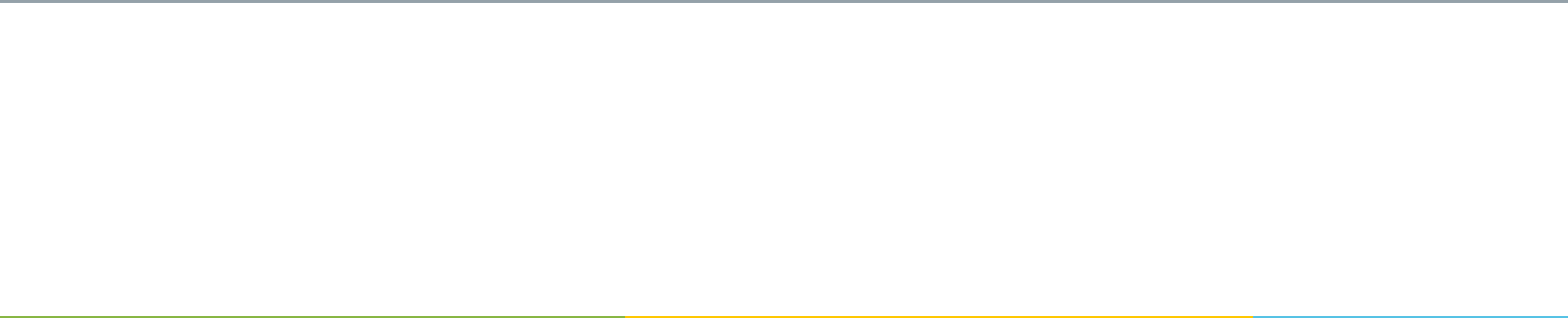
*Carla Scagnetti*, Institut für Akustik und Bauphysik, Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung,  
Universität Stuttgart

*Hannes Schritt*, Ecologic Institut

*Thomas Steiner*, Lehrstuhl Bioprozesstechnik, Universität Bayreuth

*Kryss Waldschläger*, Fakultät für Bauingenieurwesen, RWTH Aachen

*Antonia Weltmeyer*, Institut für Umweltforschung, RWTH Aachen



**Session D:**

**Untersuchung und  
Bilanzierung von Mikroplastik  
in Gewässern**

# MikroPlaTaS

## Mikroplastik in Talsperren und Staubereichen: Sedimentation, Verbreitung, Wirkung



### Kurzbeschreibung

Die Verbreitung von Mikroplastik lässt sich nicht nur im Meer, sondern auch in vielen Binnengewässern nachweisen. Wichtige und bisher wenig untersuchte Bereiche sind Talsperren und Stauhaltungen. Da sich Mikroplastik dort auf dem Gewässergrund ablagern kann, stellen diese Gewässersysteme mögliche Senken für Mikroplastik dar.

Das Verbundprojekt MikroPlaTaS untersucht das Vorkommen von Mikroplastik in Talsperren und Staubereichen. Besonders interessant ist die Frage, warum Mikroplastik in diesen strömungsberuhigten Fließgewässerbereichen absinkt. Die Wissenschaftler\*innen analysieren, wie sich Biofilme auf Plastik bilden und warum sich diese bewachsenen Partikel am Boden ablagern. Biofilme entstehen dort, wo Wasser mit Mikroorganismen (z. B. Bakterien) in Kontakt kommt. Zudem werden die Auswirkungen auf verschiedene wirbellose Wasserlebewesen (sowohl planktische als auch benthische Organismen) untersucht.

Sechs beteiligte Institutionen widmen sich zusammenfassend folgenden Forschungszielen:

- » Bestimmung und Charakterisierung von Mikroplastik in Wasser, Sediment und Aufwuchs von Stauhaltungen.
- » Verständnis der Bildung von Biofilmen auf Plastik und der Sedimentation dieser Partikel.
- » Erfassung der Wirkung und Aufnahme von Mikroplastik bei Einzelorganismen im Labor bis hin zu Lebensgemeinschaften in Modellökosystemen und im Freiland.

### Ergebnisse

#### Verhalten von Mikroplastik

- » Kleines Mikroplastik mit einer Größe zwischen 1 und 6  $\mu\text{m}$  kann sich mit natürlich vorkommenden Bakteriengemeinschaften zu größeren Partikeln zusammenschließen. Am Beispiel von Zooplankton (Rädertierchen) konnte gezeigt werden, dass die Größe der Partikel für deren Aufnahme entscheidend ist.
- » Im Zuge natürlicher biogeochemischer Prozesse wie etwa bei der Ausfällung von Eisen nach Durchmischung sommerlich geschichteter Seen oder der Calcitfällung in Cyanobakterien-Blüten (Blaualgen) werden Mikroplastikpartikel in die entstehenden Aggregate eingeschlossen. Auf diesem Wege kann auch spezifisch leichtes Mikroplastik wie Polyethylen zum Absinken gebracht werden.

#### Auswirkungen auf Organismen und Biofilme

- » Biofilme, die auf Plastik (PET und PE) wachsen, können gegenüber Biofilmen auf mineralischen Oberflächen schlechtere Futterqualitäten für Schnecken aufweisen, sodass diese im Wachstum gehemmt werden.
- » Die Zusammensetzung bakterieller Biofilmgemeinschaften auf Plastikoberflächen wird durch den Standort und nicht durch das Material beeinflusst.
- » Mikroplastik stört bei Nematoden im Laborversuch die Aufnahme von Futter, was sich negativ auf deren Reproduktionsleistung auswirkt. Auch in realistischen Expositionssituationen (im Sediment) werden MP-Partikel von Nematoden aufgenommen und zeigen hemmende Wirkungen auf deren Reproduktion. PET-Fasern werden von Zuckmückenlarven aufgenommen. Dies hat

jedoch keine Auswirkungen auf die Dauer ihre Larvalentwicklung. Wenn die Larven sich verpuppen und beim Schlüpfen das Wasser verlassen, nehmen sie das Mikroplastik in ihr terrestrisches Lebensstadium mit. Auf diese Weise kann das Mikroplastik weiterverbreitet werden, zum Beispiel über räuberische Insekten und Vögel.

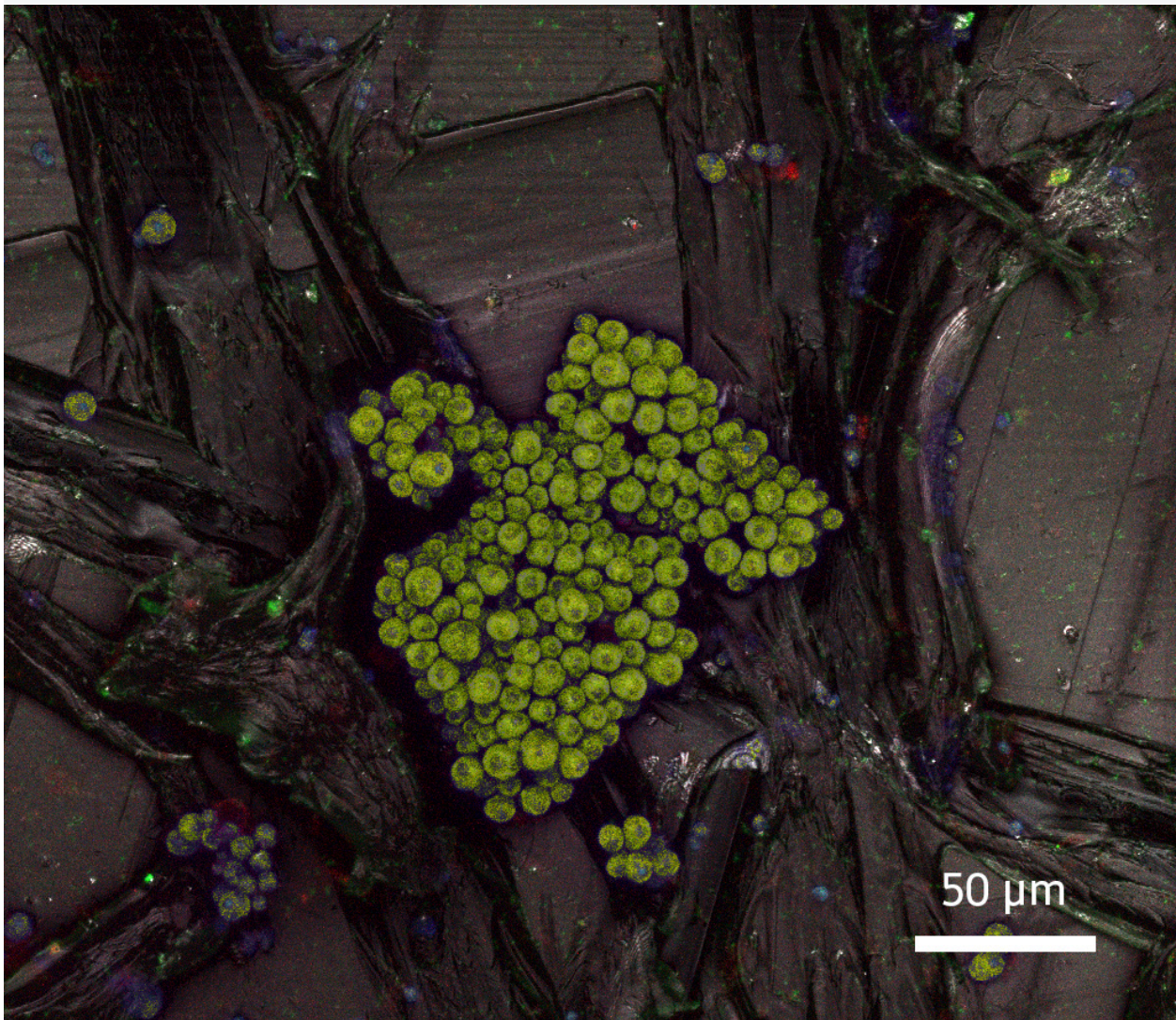
### **Verhalten von Mikroplastik in Modell- ökosystemen**

- » Vorläufiges Ergebnis: Der Eintrag von Polyamid-Mikroplastik hat möglicherweise einen Einfluss auf die Abundanz von Muschelkrebse (Ostracoden) in Modellökosystemen.

### **Umweltbildung**

- » Im Rahmen des Projektes wurde durch das Forschungsteam eine Wanderausstellung zu (Mikro-)Plastik in der Umwelt entwickelt, die von Schulen und anderen Bildungsträgern ausgeliehen werden kann.

Algen (gelb-grün) und Bakterien (grün) in Verbindung mit Plastik.



Quelle: Universität Münster /UFZ

## Kernaussagen

- » Mikroplastik hemmt das Wachstum beziehungsweise die Reproduktion von Zooplankton und benthischen Fadenwürmern (Nematoden) vor allem durch die „Verdünnung“ von natürlichen Nahrungspartikeln. Demnach sind sowohl die Konzentration der natürlichen Nahrungspartikel als auch die des Mikroplastiks für mögliche Auswirkungen wichtig.
- » Plastik kann auch, ohne selbst aufgenommen zu werden, das Wachstum von wirbellosen Organismen hemmen, indem der auf ihm wachsende Biofilm eine schlechtere Nahrungsqualität aufweist als der von natürlichen Oberflächen.
- » Weitere Untersuchungen mit anderen Polymeren und gealterten Plastikpartikeln sind empfehlenswert, um die natürlichen Bedingungen in der aquatischen Umwelt noch besser abzubilden.
- » Standortrelevante mikrobielle Biofilm-Modellgemeinschaften aus Algen und Bakterien können angereichert und stabil auf Festmedien kultiviert werden. Diese lassen sich dann für ökotoxikologische Untersuchungen (z. B. Grazing-Experimente) im Labor nutzen, um den Einfluss von Plastik auf die Biofilm-basierte Nahrungskette reproduzierbar zu untersuchen.
- » Die abnehmende Fließgeschwindigkeit in Zusammenarbeit mit verschiedenen biogeochemischen Prozessen in Talsperren kann dazu führen, dass Mikroplastik mit anderen Stoffen und Mikroorganismen aggregiert und auch spezifisch leichte Polymerpartikel absinken.

## Koordinatorin

*PD Dr. Katrin Wendt-Potthoff*

**Helmholtz-Zentrum für  
Umweltforschung – UFZ, Department  
Seenforschung**

Brückstraße 3a

39114 Magdeburg

Tel.: +49 391 8109810

E-Mail: [katrin.wendt-potthoff@ufz.de](mailto:katrin.wendt-potthoff@ufz.de)

## Partnerinstitutionen

- » Westfälische Wilhelms-Universität  
Münster / WWU
- » Universität Potsdam / UP
- » Universität Bielefeld
- » Ecossa
- » Institut für Gewässerschutz Mesocosm  
GmbH

## Verbundprojekt-Webseite

[www.uni-muenster.de/Mikroplastas/](http://www.uni-muenster.de/Mikroplastas/)

## Laufzeit

01.01.2018 – 30.09.2021



## Mikroplastik in Binnengewässern – Untersuchung und Modellierung des Eintrags und Verbleibs im Donauegebiet als Grundlage für Maßnahmenplanungen



### Kurzbeschreibung

Im Rahmen von MicBin wurde der Eintrag von Makro-, Meso- und insbesondere Mikroplastik für einen Teil des deutschen Donaeinzugsgebiets ausführlich untersucht. Hierzu wurden zwei groß-angelegte Messkampagnen an ausgewählten Donau-Zuflüssen, Müllsammelaktionen sowie gezielte Labor- und Feldexperimente durchgeführt. Die resultierende Datengrundlage sowie ergänzende Literaturdaten ermöglichten eine modellgestützte Bilanzierung.

Die Messkampagnen zeichnen sich durch eine vereinheitlichte Vorgehensweise bei der Probenahme und Probenaufbereitung sowie durch die Anwendung verschiedener, sich ergänzender Analysemethoden (Pyr-GC/MS,  $\mu$ -FTIR,  $\mu$ -Raman) für Mikroplastikpartikel (Partikeldurchmesser  $\varnothing \leq 5$  mm) aus. Dabei lag der Fokus auf Partikeln mit einem Durchmesser im Bereich zwischen 10  $\mu$ m und 500  $\mu$ m. Quellen, Senken und Transportprozesse von Plastik wurden über Frachten in separaten Stoffflussmodellen für Mikro- und Makroplastik abgebildet. Die Relevanz bisher kaum beachteter Eintragspfade wie landwirtschaftlicher Flächen oder atmosphärischer Deposition wurde durch vereinheitlichte Probenahmen und ergänzende Feldexperimente geklärt. Der mögliche Eintrag durch Fragmentierung von größeren Plastikobjekten wurde in Laborexperimenten untersucht.

Ergebnisse wurden in bestehende Modelle implementiert, die Modelle evaluiert und eine erste Plastikbilanz für das deutsche Donaeinzugsgebiet erstellt.

### Ergebnisse

- » Die Untersuchung von möglichen Blindwerteintragsquellen hat gezeigt, dass Einweghandschuhe eine Quelle für falsch-positiv Befunde (insbesondere Polyethylen) sein können. Dieses Problem betrifft sowohl mikrospektroskopische als auch thermoanalytische Verfahren.
- » Probenahmen an kommunalen Kläranlagen und deren Vorflutern zeigen, dass diese eine Mikroplastikquelle darstellen. Im Abstrom der Kläranlagen wurden jedoch keine signifikant erhöhten Gehalte im Fließgewässer festgestellt (Verdünnungseffekt).
- » Ungereinigte Deponiesickerwässer stellen eine potenzielle Quelle für Mikroplastik dar. Die Untersuchung unterschiedlich alter Deponieabschnitte sowie verschiedener Stufen einer betrieblichen Deponiesickerwasseraufbereitungsanlage deuten für einzelne Polymersorten auf eine Verringerung der Fracht hin. Eine zusätzliche Reduzierung durch die vorgeschriebene, nachgeschaltete Kläranlage ist hierbei noch nicht berücksichtigt. Für abschließende Aussagen sind weitere Untersuchungen erforderlich.
- » Vergleichende Probenahmen zeigen, dass Mikroplastik im Fließgewässer einer hohen zeitlichen und räumlichen Dynamik unterliegt.
- » Beprobungen der atmosphärischen Deposition in einem Transekt von Nordbayern bis zur Zugspitze zeigt Mikroplastik an allen 4 Standorten. Eine Korrelation der Mikroplastikkonzentration mit meteorologischen Daten wie der Niederschlagsmenge oder Windgeschwindigkeit konnte im Beobachtungszeitraum von 5 Monaten nicht festgestellt werden.

- » Eine Untersuchung nach OECD 301 B zeigt, dass die Abbaubarkeit von Reifenabrieb in Belebtschlamm unter 60% [ThCO<sub>2</sub>] liegt und Reifenabrieb demnach nicht biologisch abbaubar ist.
- » Niederschlagssimulationen auf mikroplastik-belasteten Erosionsparzellen zeigen, dass Mikroplastik präferenziell erodiert und transportiert wird. Das ist für die Abschätzung des MP-Eintrages in Gewässer von großer Bedeutung. Vor allem kleineres Mikroplastik < 100 µm haftet im Laufe der Zeit (Dauer des Experiments 1.5 Jahre) zunehmend an Bodenpartikeln an und/oder wird in Bodenaggregate eingelagert, was zur Abnahme des präferenziellen Austrages führt. Für die Abschätzung des erosionsbürtigen Austrages spielt neben Bodentextur und MP Größe auch die Dauer seit Einbringen in den Boden eine große Rolle.
- » Laborexperimente haben gezeigt, dass die Fragmentierung von größeren Plastikobjekten unter Umweltbedingungen bereits innerhalb weniger Monate zur Entstehung von größeren Mengen an Meso- und Mikroplastik führen kann. Die Ergebnisse unterstützen die Vermutung, dass sekundäres Mikroplastik einen großen Anteil an der Mikroplastikbelastung der aquatischen Umwelt hat.
- » Das Modell GREAT-ER ist prinzipiell in der Lage, die verschiedenen Eintragspfade von Mikroplastik in Fließgewässer abzubilden. Die Datenlage zur Parametrisierung der Eintragsmengen ist für belastbare Aussagen allerdings noch nicht ausreichend. Auch Vergleichsmessungen im Gewässer zur Modellevaluierung sind zurzeit noch nicht in ausreichendem Maße vorhanden.
- » Modellrechnungen für das bayerische Donaueinzugsgebiet zeigen je nach Szenario einen Austrag von ca. 80 bis 290 Tonnen Makroplastik pro Jahr an Staustufen und Wasserkraftanlagen.
- » In dem Modell „Vom Land ins Meer – Modell zur Erfassung landbasierter Kunststoffabfälle“ wurde die Donauregion vertieft betrachtet. Es erfolgte eine Darstellung der Eintragsstrukturen der Donauregion im Hinblick auf Kunststoff-einträge in das Schwarze Meer.

Probenahme im Donaueinzugsgebiet mit zwei Filtrationskaskaden zur Proben- und Blindwerterhebung

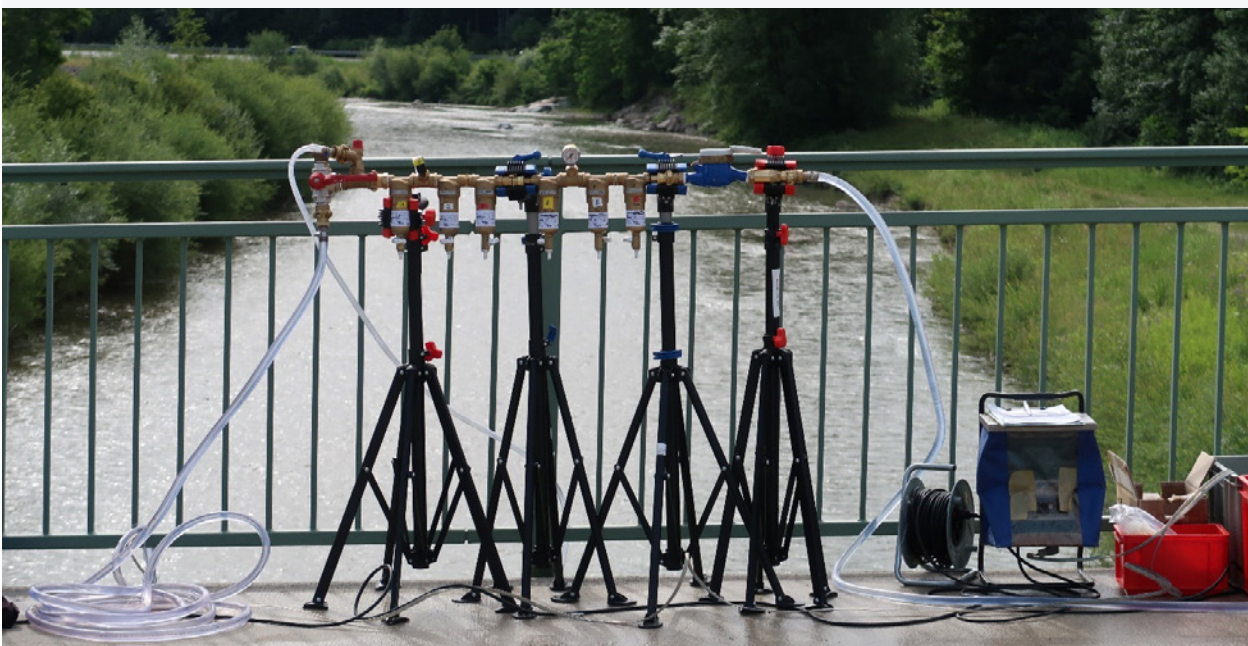


Foto: Nicole Zumbülte/TZW

## Kernaussagen

- » Sekundäres Mikroplastik aus der Fragmentierung von Plastikmüll kann unter Umweltbedingungen relativ schnell entstehen und einen großen Anteil der Mikroplastikbelastung ausmachen.
- » Einbinden der Bevölkerung, insbesondere von Kindern und Jugendlichen, in Müllsammelaktionen oder Laborexperimente sensibilisieren für Littering als Quelle für Makro- und Mikroplastik.
- » Staustufen und Wasserkraftanlagen leisten einen bedeutenden Beitrag zur Anreicherung von Makroplastik in Binnengewässern.
- » Mikroplastik wird präferenziell erodiert und transportiert. Die Einlagerung in Bodenaggregate führt zu einer Verringerung des Mikroplastikaustrags aus den Böden in Gewässer.
- » Thermoanalytische und mikrospektroskopische Verfahren sind komplementär und führen bei gemeinsamer Anwendung zu einer erhöhten Aussagekraft der Daten.
- » Die Identifikation und Reduktion von Blindwerten ist essenziell für eine solide Mikroplastikanalytik.
- » Für verlässliche Mikroplastikbilanzen mit dem georeferenzierten Modell GREAT-ER sind weitere Messwerte unabdingbar.

## Koordinatorin

*Dr. Nicole Zumbülte*

**DVGW – Technologiezentrum Wasser,  
Abteilung Wasserchemische Forschung**

Karlsruher Straße 84

76139 Karlsruhe

Tel.: +49 721-9678 0

E-Mail: nicole.zumbuelte@tzw.de

## Partnerinstitutionen

- » Universität Osnabrück / UOS
- » Universität Augsburg / UniA
- » Bundesanstalt für Gewässerkunde / BfG
- » Technische Hochschule Köln, STEPs / THK
- » Bayerisches Landesamt für Umwelt / LfU
- » BKV GmbH / BKV

## Verbundprojekt-Webseite

<https://www.micbin.de/>

## Laufzeit

01.10.2017 – 31.03.2021

## Mikroplastikkontamination im Modellsystem Weser – Nationalpark Wattenmeer: ein ökosystemübergreifender Ansatz



### Kurzbeschreibung

PLAWES hat als Pionierstudie im Modellsystem Weser-Nationalpark Wattenmeer weltweit erstmals und umfassend die Kunststoffbelastung eines großen Flusseinzugsgebietes mit europäischer Dimension ökosystemübergreifend bilanziert, ökosystemische Auswirkungen untersucht sowie die gewonnenen Ergebnisse in neue Informations- und Lehrkonzepte integriert. Während mehrerer Probenahmen erfolgte eine disziplin- und ökosystemübergreifende Analyse der Kontamination mit Mikroplastik (MP) in Fluss, Ästuar und Wattenmeer sowie an verschiedenen punktuellen und diffusen Quellen und Eintragspfaden. Die Erkenntnisse fließen in einen Modellierungsansatz zur Bilanzierung sowie zur Identifikation primärer Transportmechanismen und Akkumulationszonen ein. Ökosystemische Auswirkungen von MP im System Weser-Wattenmeer wurden anhand der Interaktion von Mikroplastik mit Pathogenen in Biofilmen sowie anhand der Auswirkungen auf aquatische Invertebraten untersucht. Die Erkenntnisse dieser ökologisch besonders relevanten Aspekte werden verwendet, um das Umweltrisiko von MP für das Modellsystem abzuschätzen und in der Folge auf andere Systeme übertragbar zu machen. Am konkreten Beispiel des Modellsystems wurden neue Informations- und Lehrmaterialien erstellt, um relevantes Wissen für die Umweltbildung, die Zivilgesellschaft sowie für Entscheidungsträger verfügbar zu machen.

### Ergebnisse

#### Umfang der MP-Kontamination in Fluss, Ästuar und Wattenmeer

- » Nachweis von MP in allen Wasserproben, kleines MP (10-500 µm) am häufigsten (Fluss 1200 ± 1000 MP/m<sup>3</sup>, Ästuar/ Wattenmeer ca. 1500 ± 2000 MP/m<sup>3</sup>).

- » Keine kontinuierliche MP-Anreicherung im Flussverlauf.
- » Alle Sedimentproben wiesen MP-Gehalte von 12 - 354 µg/kg (Trockenmasse) auf, hohe Kontamination in Sedimentationsgebieten.

#### MP-Eintrag aus Kläranlagen

- » Kläranlagen emittieren durchschnittlich 8000± 10.500 kleine MP/m<sup>3</sup> (10-500 µm) und 16±20 große MP/m<sup>3</sup> (500-5000 µm).
- » Hauptteil der Masse wird durch großes MP emittiert.
- » Am häufigsten waren Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP).

#### MP-Eintrag aus der Atmosphäre

- » MP-Gesamtdepositionsraten von 10 - 367 MP m<sup>-2</sup> Tag<sup>-1</sup> ergeben eine geschätzte jährliche Ablagerung von 232 Tonnen MP im Weser-EZG.
- » Städtische Gebiete haben höhere MP-Depositionsraten.
- » 70 % der gesamten MP-Deposition erfolgte durch Niederschlag.

#### MP-Quellen und Transportmodellierung im Modellsystem Weser-Nationalpark Wattenmeer

- » Modellkette mGROWA-TeMBA ermöglicht im Weser-EZG die Abschätzung von Wasserhaushalt und MP-Einträgen.
- » RAUMIS-Modell ermöglicht eine Abschätzung der MP-Belastung landwirtschaftlicher Böden.
- » MP mit geringen Dichten sinkt im Bereich der Trübungszone durch Sediment-Wechselwirkung und in klareren Bereichen durch Phytoplanktonbewuchs ab.

#### MP-Interaktionen mit Pathogenen in Biofilmen

- » Auf HDPE-Partikeln eines Experimentes (Displacement Design von Bremen bis Helgoland) keine hochresistenten *E. coli*-

- Genotypen nachweisbar.
- » Ähnlichkeit der Bakteriengemeinschaften nahm über den Salzgehaltsgradienten stark ab.
  - » Potenziell humanpathogene *Vibrio vulnificus* und *cholerae* wurden in fast allen Proben nachgewiesen.

#### **MP-Auswirkungen auf aquatische Invertebraten**

- » In allen Miesmuschelproben (1986 – 2017) der Umweltprobenbank wurde MP mit Pyr-GC/MS nachgewiesen.
- » Auswirkungen von MP hängen stark von der untersuchten Spezies ab:
- » Gealtertes/ungealtertes MP führte in *Daphnia magna* zu negativen Effekten, in Rohabwasser gealtertes MP hat geringere Effekte als „reines“ MP.
- » MP beeinflusste die antioxidative Kapazität bei *Dreissena polymorpha*, andere untersuchte Fitness-Parameter jedoch nicht; keine Auffälligkeiten bei anderen Muscheln.

- » MP wird durch *Lymnaea stagnalis* aufgenommen und ohne erkennbare Effekte wieder ausgeschieden.
- » Die Aufnahme von MP-Fasern durch *Lumbriculus variegatus* führt potenziell zu einer längeren Verweilzeit im Darm als bei Fragmenten, jedoch ohne signifikante Effekte.

#### **Bildungsmaßnahmen zur Schärfung des Bewusstseins in Bezug auf Plastikmüll**

- » Interventionsstudie in der Primarstufe führte zu einem signifikanten, stabilen Wissenszuwachs, unabhängig von der Umwelteinstellung.
- » Konzeptionierung von Lerneinheiten für Primarstufe und Sek I & II, Veröffentlichung auf dem Lehr-Lern-Portal (<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/wasser/>), Durchführung von LehrerInnen-Fortbildungen.
- » Öffentliche Vorstellung von PLAWES in Vorträgen und Medien-Beiträgen.

Unterrichtseinheit „Plastik-Detektive – dem Plastik auf der Spur“:  
Experiment zu MP aus Textilien in der Primarstufe.



Foto: Patricia Raab

## Kernaussagen

- » FTIR-Spektroskopie und Pyr-GC/MS liefern komplementäre Daten zu Partikelanzahl/-größe und Masse im Modellsystem Weser-Nationalpark Wattenmeer.
- » Das entwickelte Modellsystem ermöglicht eine realistische Abschätzung von MP-Eintrag und Transport und kann auf andere Flussgebiete übertragen werden und dort zum Systemverständnis beitragen.
- » Aufnahmemengen von MP in aquatischen Organismen in der Umwelt sind unklar, Effekte in Laborstudien variieren abhängig vom Versuchsorganismus und dem verwendeten MP, Wissenslücken zu den Auswirkungen von „realem“ MP müssen geschlossen werden.
- » Hochresistente *E. coli* sind nicht auf MP zu finden, humanpathogene Vibriolen fast immer.
- » Die individuelle Verantwortlichkeit eines jeden bei der Reduktion des MP-Eintrags in die Umwelt muss bewusst gemacht werden.
- » Lernmaterialien und Bildungsmaßnahmen zum Thema Plastik in der Umwelt fördern Fachwissen und systemisches Wissen von Schüler\*innen stark und führen zu einem langfristigen Wissenszugewinn. MP sollte bereits früh in den Lehrplan integriert werden, und Bildungseinrichtungen (Schule, Universität, Projekte) müssen eine höhere Priorität als Informationsquelle bekommen.
- » Aufgrund der potenziell erhöhten Toxizität sollten zukünftige Studien auch das mengenmäßig wichtige kleine MP adressieren.

## Koordinatoren

*Prof. Dr. Christian Laforsch*

**Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Tierökologie I / UBT**

Universitätsstraße 30

95447 Bayreuth

Tel.: +49 921 / 55-2651

E-Mail: christian.laforsch@uni-bayreuth.de

*Dr. Gunnar Gerdts*

**Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung / AWI**

Kurpromenade

27498 Helgoland

Tel.: +49 4725 / 819-3245

E-Mail: gunnar.gerdts@awi.de

## Partnerinstitutionen

- » Forschungsstelle Küste im Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz / NLWKN
- » Forschungszentrum Jülich / FZJ
- » Goethe-Universität Frankfurt / GU
- » Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei / TI-LR
- » Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Chemie und Biologie des Meeres / UOld

## Verbundprojekt-Webseite

[www.bayceer.uni-bayreuth.de/PLAWES/](http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/PLAWES/)

## Laufzeit

01.09.2017 – 30.04.2021

# MicroCatch\_Balt

## Untersuchung der Mikroplastik-Senken und -Quellen von einem typischen Einzugsgebiet bis in die offene Ostsee



### Kurzbeschreibung

Exemplarisch für die deutschen Ostseezuflüsse ermittelt MicroCatch\_Balt im Einzugsgebiet der Warnow Quellen und Senken von Mikroplastik (MP) sowie relevante Verbreitungs-Prozesse auf dessen Weg zur offenen Ostsee. Durch die Kopplung von Modellen wird das gesamte Einzugsgebiet inklusive Mündung und Küstengewässer abgedeckt. Die gekoppelten Modelle dienen der Identifizierung von Hot-Spot-Bereichen des MP-Eintrages sowie als Grundlage einer möglichen Abschätzung der Auswirkungen von MP-Reduktionsmaßnahmen in Teilbereichen des Einzugsgebietes.

Durch die Übertragung der Modelle in die Anwendung eines Multi-Touch-Tisches werden interaktive, kreative Lernmodule erstellt, welche in Form einer Wanderausstellung in Gemeinden der deutschen Ostseeküste von Stralsund bis Flensburg präsentiert werden. Im Weiteren schließt MicroCatch\_Balt die Untersuchung von Bootsleck, extremen Wetterereignissen als Quellen und höhere Organismen als Senken mit ein.

### Ergebnisse

- » MP-Grundrauschen in der Umwelt: auch in Kontrollproben (z. B. Felder ohne Klärschlammbehandlung) wurden erhebliche Mengen an MP gefunden, und ein mikrobieller Abbau für menschlich relevante Zeiträume ist nicht zu erwarten. Es muss daher von einer Anreicherung in der marinen Umwelt ausgegangen werden.
- » Erarbeitung weiterer Methoden zur Abschätzung der Mikroplastik- und Lackpartikeleinträge im Ästuar (neben eigens erhobenen MP-Daten, MP-Literaturdaten, lokalen hydrologischen, demografischen und geographischen Daten, GIS-Routing-Methode)
- » Mikroplastikeinträge in das Warnow-Ästuar erfolgen überwiegend sowohl über das Warnow-Einzugsgebiet als auch über Regenwasserabflüsse von versiegelten Flächen der Stadt Rostock. Daneben spielen Mischwasserüberläufe und in geringerem Maße Einträge über die Kläranlage eine Rolle. Die Relevanz von Lackpartikelquellen konnte aufgezeigt werden.
- » Wetterbedingungen wie die Windrichtung beeinflussen maßgeblich den Austrag von MP in die Ostsee oder dessen Verbleib in Sedimenten oder Küsten des Warnow-Ästuars.
- » Modellstrukturen zur Abbildung eines gesamten Flusseinzugsgebietes wurden aufgebaut und lieferten erste Abschätzungen von Mikroplastikmengen in den verschiedenen Umweltkompartimenten.
- » Mit der Modellkette RAUMIS-mGROWA-TeMBa werden im Einzugsgebiet der Warnow der Wasserhaushalt und die potenziellen Eintragspfade von Mikroplastik aus diffusen und punktuellen Quellen modelliert. Dadurch werden Einträge über Kläranlagen, Abschwemmung von versiegelten Flächen sowie über die Pfade atmosphärische Deposition, Klärschlammaufbringung auf landwirtschaftliche Nutzflächen und nachfolgende Erosion abgeschätzt.
- » Eine Wanderausstellung mit interaktiven Lernmodulen zu den Projektergebnissen wurde erstellt und

kann in verschiedenen deutschen Ostseestädten besucht werden. Zukünftig wird es auch eine Online-Applikation geben.

### **Geräte-, Methoden- und Softwareoptimierung zur Analyse von MP in Umweltproben**

- » ‚Rocket‘: Entwicklung eines mobil einsetzbaren Probenahmegeräts.
- » Aufarbeitungsprotokolle: Entwicklung und Optimierung diverser Aufarbeitungstechniken.
- » Evaluierungs-Tools: qualitative und quantitative Überprüfung der Unschädlichkeit von Aufarbeitungsmethoden an Partikeln  $< 100 \mu\text{m}$ .
- » Software GEPARD: Kombination von optischer Partikelerkennung mit FTIR- und Raman-Mikroskopie zur schnellen automatisierten spektrometrischen Analytik.
- » Entwicklung integrativer Mikroplastik-Detektion basierend auf Flockungsschlammproben eines Wasserwerks.

Mikroplastik-Probenahme an der Warnow mit Hilfe des eigens entwickelten Probenahmegeräts ‚Rocket‘.



Foto: Alexander Tagg/IOW



## Kernaussagen

- » Makroplastik als Stellschraube: Entwicklung von Maßnahmen, die vor dem Eintrag in die Umwelt ansetzen. Nur durch die Verminderung oder, wo möglich, Vermeidung des Eintrags weiteren Plastiks kann die Anreicherung von Mikroplastik reduziert werden, wie z. B. Maßnahmen zur Reduktion der Nutzung von größeren Plastikartikeln (besonders Einwegartikel im öffentlichen Raum).
- » Hauptaugenmerk sollte auf Reduzierung der Einträge durch Extremereignisse wie Starkregen (Regenüberläufe) oder gesellschaftliche Großveranstaltungen (Sylvester, HanseSail, etc.) gelegt werden.
- » Einsatz von Methoden wie Modellsimulationen und GIS-Anwendungen zusätzlich zu Probenahmen, -Aufbereitung und spektrometrischer Analyse von Mikroplastik, um schneller und kosteneffizienter ein umfassenderes Bild der Relevanz von Quellen, Senken und Transportwegen zu erlangen.

## Koordinator

*PD Dr. habil. Matthias Labrenz*

**Leibniz-Institut für Ostseeforschung  
Warnemünde / IOW,  
Umweltmikrobiologie**

Seestraße 15

18119 Rostock

Tel.: +49 381/5197378

E-Mail: [matthias.labrenz@io-warnemuende.de](mailto:matthias.labrenz@io-warnemuende.de)

## Partnerinstitutionen

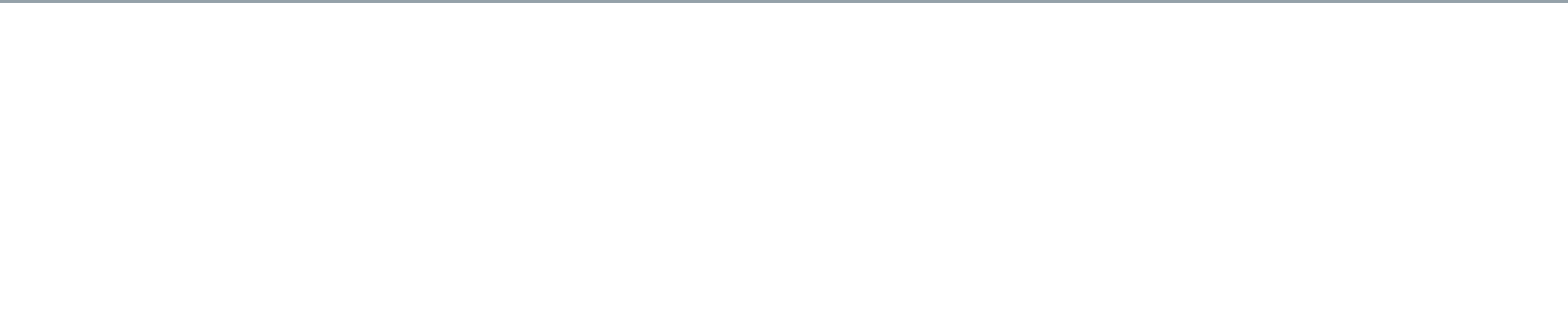
- » Leibniz-Institut für Polymerforschung  
Dresden / IPF
- » Forschungszentrum Jülich, Institut für  
Bio- und Geowissenschaften / FZJ-IBG
- » Johann Heinrich von Thünen-Institut,  
Bundesforschungsinstitut für Ländliche  
Räume, Wald und Fischerei / TI-LR
- » Fraunhofer-Institut für Graphische  
Datenverarbeitung Rostock / FhIGD

## Verbundprojekt-Webseite

[www.io-warnemuende.de/microcatch-start.html](http://www.io-warnemuende.de/microcatch-start.html)

## Laufzeit

01.08.2017 – 30.04.2021



**Session E:**

**Weiterentwicklung von  
Recycling und  
Wiederverwertung**

## Markerbasiertes Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffverpackungen

### Kurzbeschreibung

Die Technologie des „Tracer-Based-Sorting“ (TBS) nutzt geringste Mengen von Fluoreszenz-Markern auf Verpackungen oder Etiketten, die – anders als bei bestehenden Sortiertechniken – ein vom Packstoff unabhängiges Trennmerkmal bilden. Die Marker sind anorganische, chemisch weitgehend inerte und somit vollkommen unschädliche Pulver. Werden sie mit nicht sichtbarer Infrarot-Strahlung angeregt, so leuchten sie mit spezifischer Farbe auch im sichtbaren Bereich. Dieser Anti-Stokes-Effekt tritt bei anderen Materialien nicht auf, so dass die Signale der Sortiermarker ohne Hintergrund gemessen werden können. So können Verpackungen einfach erkannt werden. Bisher wurden bei der Sortierung von Kunststoff-Verpackungen nur die Kunststoffarten (z. B. PE, PP, PS, PET) getrennt. Das Tracer-Based-Sorting ermöglicht nun eine genauere definierbare Differenzierung zwischen allen Fraktionen, die getrennt werden müssen, um hochwertige, sortenreine Rezyklate zu erhalten: z. B. Kunststoffsorten für verschiedene Verarbeitungsverfahren oder Kunststoffe für Food- und Nonfood-Verpackungen. So können hochwertige Rezyklate hergestellt werden, die sich auch wieder für den Einsatz in Verpackungen eignen. Sechs Partner aus verschiedenen Bereichen entwickelten den TBS-Ansatz für abfallwirtschaftliche Zwecke weiter und erprobten ihn mit Erfolg.

### Ergebnisse

- » Für den abfallwirtschaftlichen Einsatz wurden Tracer entwickelt, die bereits in niedrigen ppm-Konzentrationen schnell und sicher erkennbar sind. Die Tracer sind anorganische, chemisch weitgehend inerte und somit vollkommen unschädliche Pulver, deren Syntheseroute den Anforderungen der „Green Chemistry“ genügt. Werden die Tracer mit nicht sichtbarem Licht angeregt, so leuchten sie sichtbar in einer spezifischen Farbe.
- » Fluoreszenz-Tracer mit verschiedenen Farben können allein oder in Kombination eingesetzt werden und so die Differenzierung zahlreicher Verwertungsvarianten ermöglichen. Das Aufbringen der Tracer erfolgt dabei durch erprobte Druckverfahren, in denen die Substanzen wie andere Pigmente ohne technische Veränderungen der Druckverfahren eingesetzt werden. Die Markierung funktioniert unabhängig von Form, Artwork, Flexibilität, und weitgehend auch von Verschmutzung des Packmittels. Somit könnten z. B. auch schwarze flexible Verpackungen mit hoher Erkennungsquote sortiert werden.
- » Eine Technikumsanlage zur Verpackungssortierung wurde beim Projektpartner Polysecure konzipiert, errichtet und im Rahmen eines Stakeholder-Workshops demonstriert. Diese Pilotanlage verfolgt mit der gewählten Einzelungs- und Identifikationstechnik einen innovativen Ansatz.
- » Der Tracer-Einsatz wurde im Rahmen einer ökobilanziellen Bewertung mit dem derzeitigen Verpackungsrecycling nach dem Stand der Technik verglichen und erwies sich dabei als ökologisch vorteilhaft. Wird der gesamte Verpackungs-Sortierprozess als Ein-Schritt-Prozess auf Basis der Tracer-Erkennung

gestaltet („TBS Complete“-Konzept), so ergeben sich durch eine drastisch verkürzte Prozesskette in Verbindung mit sehr hohen Sortierqualitäten deutliche Verbesserungen gegenüber dem derzeitigen Recyclingprozess, die letztlich mehr als doppelt so viel Treibhausgas-Äquivalente einsparen können.

- » Als Grundlage für die Entwicklung von Geschäftsmodellen und die Wirtschaftlichkeitsberechnung des TBS-Ansatzes wurde in Kooperation mit dem Parallelvorhaben „VerPlaPoS“ eine deutschlandweite Analyse von Leichtverpackungen aus Haushalten durchgeführt. Während eines Zeitraums von zwei Wochen sammelten 260 Haushalte ihre Leichtverpackungen und stellten diese der Hochschule Pforzheim für eine Detailanalyse zur Verfügung. Im Ergebnis wurden 27.000 einzelne Verpackungsteile gewogen, fotografiert und hinsichtlich verpackungstechnischer und abfallwirtschaftlicher Eigenschaften beschrieben.

- » Der Umsetzungsprozess der Innovation „TBS“ wurde im Rahmen einer integrierten Innovations- und Nachhaltigkeitsanalyse begleitet und transferorientiert untersucht. Einflussfaktoren für die Umsetzung der Technologie wurden ermittelt. Relevante Stakeholder wurden identifiziert und in einen intensiven Dialog eingebunden: Anwendungsmöglichkeiten von TBS in der Praxis und mögliche Innovationshemmnisse wurden diskutiert, Erkenntnisse daraus flossen in die Technologieentwicklung ein. Weiterhin wurden tragfähige Geschäftsmodelloptionen entwickelt.
- » Zahlreiche wissenschaftliche Veröffentlichungen, Präsentationen und Vorträge stellten bereits während der Vorhabenslaufzeit die Ergebnisse Fachkreisen und der interessierten Öffentlichkeit dar.

Die Tracer-Kennzeichnung auf Verpackungs-Etiketten (im schwarzrandigen Feld) wird nur bei spezifischer Anregung sichtbar.

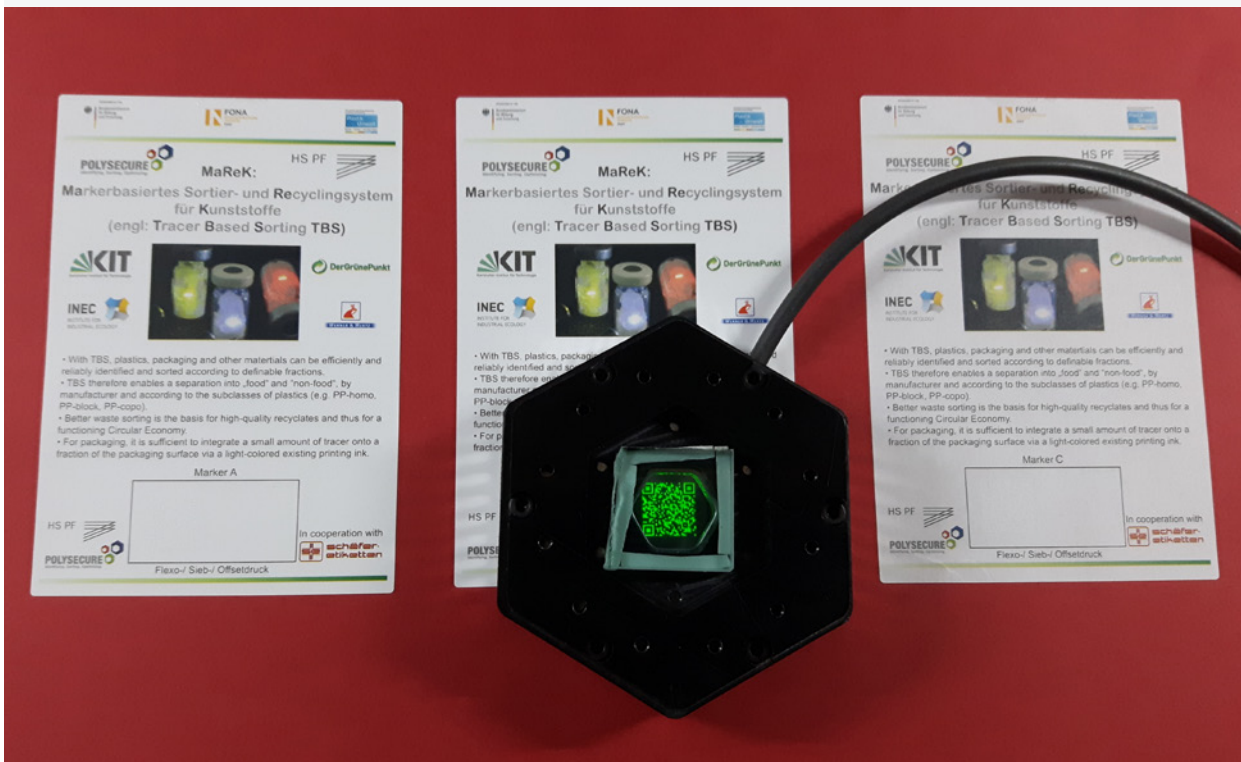


Foto: J. Woidasky/HS Pforzheim

## Kernaussagen

- » Durch Tracer-Based-Sorting können Verpackungen und andere Produkte mit einem zusätzlichen, werkstoffunabhängigen Erkennungsmerkmal ausgestattet werden, um definierte und hochwertige Stoffströme für eine Kreislaufwirtschaft bereitzustellen.
- » Das Interesse an TBS in Industrie und Öffentlichkeit ist sehr hoch. Dies zeigte sich auf zwei im Projekt durchgeführten Stakeholder-Workshops und durch viele Anfragen zur Technologie aus Industrie und Medien. Die Umsetzung einer Technologie wie dem Tracer-Based-Sorting bezieht eine große Zahl von Stakeholdern von der Materialentwicklung über die Inverkehrbringer bis hin zur Entsorgungswirtschaft mit ein. Neben deren Bereitschaft zur Umsetzung neuer kreislaufwirtschaftlicher Lösungen kann durch flankierende technische und rechtliche Regelungen der Markteintritt innovativer Verfahren unterstützt werden.
- » Mit dem Tracer-Based-Sorting wurde eine technische Lösung bereitgestellt, mit der die Mindestzyklusquoten, die der Entwurf des neuen Verpackungsgesetzes vorsieht, gut erfüllt werden können.

## Koordinatoren

*Prof. Dr.-Ing. Claus Lang-Koetz und*

*Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky,*

**Hochschule Pforzheim, Institut für Industrial Ecology / INEC**

Tiefenbronner Straße 65

75175 Pforzheim

Tel.: 07231/28-6427 bzw. -6489

E-Mail: [claus.lang-koetz@hs-pforzheim.de](mailto:claus.lang-koetz@hs-pforzheim.de);

[joerg.woidasky@hs-pforzheim.de](mailto:joerg.woidasky@hs-pforzheim.de)

## Partnerinstitutionen

- » Polysecure GmbH
- » Werner & Mertz GmbH
- » Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH
- » Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Mikrostrukturtechnologie / KIT-IMT

## Unterauftragnehmer:

- » CMO-SYS GmbH
- » Nägele Mechanik GmbH

## assoziierter Partner:

- » Umwelttechnik BW GmbH, Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Baden-Württemberg / UTBW

## Verbundprojekt-Webseite

[www.hs-pforzheim.de/marek](http://www.hs-pforzheim.de/marek)

## Laufzeit

01.07.2017 – 31.12.2020

## Recycling von Polystyrol mittels rohstofflicher Verwertung



### Kurzbeschreibung

Innerhalb des Projektes Resolve konnte die technische Machbarkeit der Depolymerisation von PS-Abfällen mittels Doppelschneckenextruder und anschließender destillativer Aufreinigung des Styrolölkonzentrats bestätigt werden. Ein Kernstück des Projekts waren dabei die Untersuchung verschiedener Abfallquellen sowie unterschiedliche Abfallzusammensetzungen und die dadurch veränderten Ausbeuten an r-Styrol. Untersucht wurden zudem die Auswirkungen verschiedener Verunreinigungen sowie die Veränderung wichtiger Prozess-Parameter. Es konnte gezeigt werden, dass die Depolymerisation hilft, Abfall zu reduzieren und wertvolle Ressourcen zu erschließen. Das dargelegte Verfahren verspricht darüber hinaus die Produktion von recyceltem Polystyrol, das auch gängige Standards für den Kontakt mit Lebensmitteln erfüllt. Neben dem Aufzeigen der technischen Machbarkeit wurden auch wirtschaftliche und ökologische Aspekte des neu entwickelten Recyclingprozesses für Polystyrol betrachtet. Eine erste Analyse der Ökobilanz des Produktionsprozesses hat gezeigt, dass der Prozess weniger Energie benötigt und weniger CO<sub>2</sub> produziert als die konventionelle Polystyrol-Produktion.

### Ergebnisse

- » EPS- und LVP-Abfall können als erfolgversprechende Abfallquellen für hochwertige neue Kunststoffprodukte eingestuft werden.
- » Depolymerisation zu r-Styrol: Optimale Prozessbedingungen für die Depolymerisation mittels Doppelschneckenextruder wurden bei einem Massendurchsatz von 10 kg/h, einer Gehäusetemperatur von 450 °C, einer Schneckendrehzahl von 1200 U/min und einem Vakuumdruck von 50 mbar erzielt. Bei der Depolymerisation des LVP-Materials konnten so ein Styrol-Anteil im Kondensat in Höhe von 70,6% sowie eine Kondensat-Ausbeute in Höhe von 78,2% erzielt werden.
- » Wichtige Einflussgrößen auf die Depolymerisationskosten sind die Qualität des Abfalls, die Ausbeute des gewählten Depolymerisationsprozesses sowie der Energieverbrauch des Prozesses. Der Polystyrol-Gehalt kann je nach Abfallquelle und Qualität stark variieren, was bei der Betrachtung und Bewertung der Gesamtkosten berücksichtigt werden sollte. In Versuchen mit verschiedenen gezielten Verunreinigungen (u. a. PMMA, LDPE, PP und PET sowie Ruß und Titandioxid) wurde deren Auswirkung auf den Depolymerisationsprozess untersucht.
- » Destillation: Aufreinigung des Styrolöls aus EPS- und LVP-Proben mittels Vigreux-Destillation, um zunächst eine grobe Abtrennung von Hochsiedern wie z. B. Di- und Trimeren zu erreichen, so dass für die anschließende Füllkörperdestillation ein Feed mit angereichertem Styrolgehalt und somit höherer Qualität eingesetzt werden konnte. Mit dem Setup konnten Styrol-Fractionen mit einer Reinheit von bis zu 99,6 % realisiert werden.

» Als Nebenprodukte der Depolymerisation von Polystyrol entstehen primär Styrol-Oligomere. Mit solchen Oligomerproben wurden in Mischung mit Naphtha erfolgreiche Spaltversuche im Labor durchgeführt. Es wurde aufgezeigt, dass eine Zuführung der Nebenprodukte im Labormaßstab möglich ist.

» Mit den aus der Depolymerisation gewonnenen und durch Destillation aufgereinigten Styrolmonomeren wurden mehrere Test-Polymerisationen im Labormaßstab durchgeführt. Hierbei ist es gelungen, diese Monomere anionisch zu polymerisieren.

Doppelschneckenextruder zur Depolymerisation von PS-Flakes am IKV

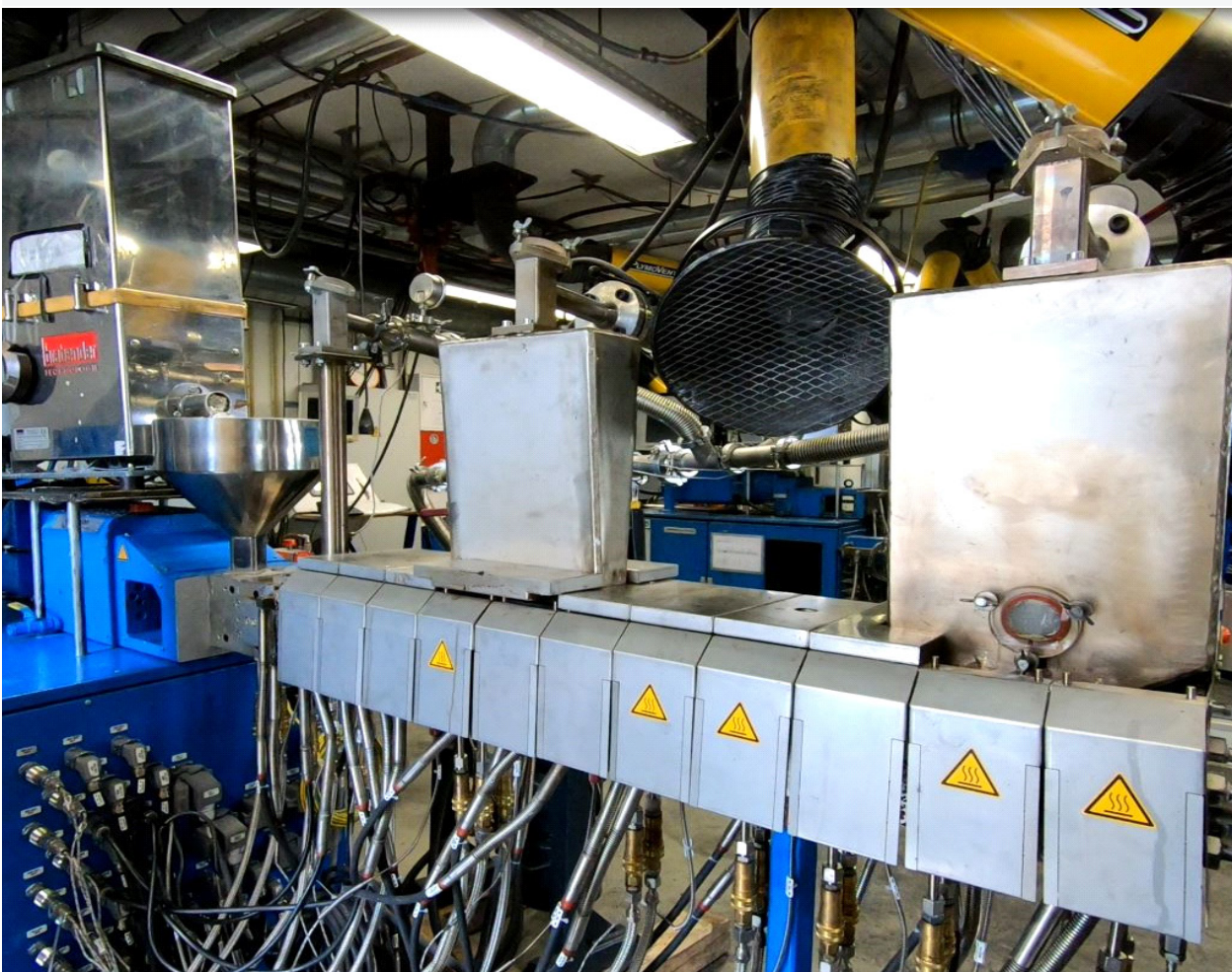


Foto: INEOS Styrolution Group GmbH



## Kernaussagen

- » Polystyrol ist ein Massenkunststoff, der geeignet ist, die höchsten Standards des chemischen Recyclings zu erfüllen. Bedingt durch seine niedrige „Ceiling-Temperatur“ von 390 °C gelingt es, die Polymerketten mit hoher Ausbeute wieder zurück zum Monomer zu spalten, eine Grundvoraussetzung für einen echten Kreislauf zurück zum Original-Kunststoff. Diese Eigenschaft macht Polystyrol einzigartig, insbesondere im Hinblick auf die Verwendung und den Einsatz für neue Recyclingfahren.
- » Der neue Extruderprozess zur Verwertung von PS-Abfallströmen und zur Erzeugung von Styrolmonomeren ist technisch möglich und aus ökologischer Sicht sinnvoll.
- » Das aufgezeigte Depolymerisations-Verfahren ist eine sinnvolle Recycling-Lösung für Polystyrol.
- » Eine erste Analyse der Ökobilanz des Produktionsprozesses hat gezeigt, dass der neue Recyclingprozess weniger Energie benötigt und weniger CO<sub>2</sub> produziert als die konventionelle Polystyrol-Produktion.
- » Die Projektergebnisse zeigen für den Kunststoff Polystyrol eine Möglichkeit des Übergangs von einer linearen Wirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft.

## Koordinatorin

*Franziska Nosić*

### **INEOS Styrolution Group GmbH**

Mainzer Landstraße 50

60325 Frankfurt am Main

Tel.: +49 69 509550-1322

E-Mail: franziska.nosic@ineos.com

## Partnerinstitutionen

- » INEOS Köln GmbH
- » Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen / RWTH Aachen
- » Institut für Aufbereitung und Recycling / I.A.R.
- » Institut für Kunststoffverarbeitung / IKV
- » Neue Materialien Bayreuth GmbH / NMB

## Verbundprojekt-Webseite

<https://depolymerisation.com>

## Laufzeit

01.08.2017 – 31.07.2020

## Entwicklung einer Verwertungstechnologie für PET Altkunststoffe aus Multilayermaterial und anderen Abfallverbunden



### Kurzbeschreibung

Im Verbundprojekt „Entwicklung einer Verwertungstechnologie für PET-Altkunststoffe aus Multilayer- und anderen Abfallverbunden revolPET“ wurde ein solvolytisches Recyclingverfahren für PET-Altkunststoffe aus Multilayer- und anderen Mischmaterialien ausgearbeitet und experimentell erprobt. Aufbauend auf dem Stand der Technik für reine PET-Abfälle erfolgte die Entwicklung in zwei Richtungen: Erstens die Überführung des absatzweisen in ein kontinuierliches Verfahrenskonzept und zweitens die Verarbeitung von PET-Mischabfällen. Dadurch können nun auch PET-Verbundmaterialien stofflich verwertet und unterschiedliche Anteile an Störstoffen wie andere Kunststoffe oder Metalle aus Barrierschichten ausgeschleust und weiteren Verwertungswegen zugeführt werden. Die hohe Flexibilität des Recyclingverfahrens ermöglicht ebenfalls die Aufarbeitung sehr inhomogener Wertstoffströme sowie mariner und technischer PET-Abfälle.

Die mit dem Verfahren erzeugten PET-Grundbausteine Monoethylenglykol und Terephthalsäure bleiben dem Wertstoffkreislauf erhalten und ermöglichen somit die Realisierung einer Kreislaufwirtschaft, auch für bisher als nicht-recyclierbar geltende PET-Wertstoffe. Das neu entwickelte Recyclingverfahren ist in einer Technikumsanlage experimentell erprobt und bilanziert. Die gewonnenen Daten fließen kontinuierlich ein in eine ökonomische und ökologische Bewertung des Recyclingverfahrens sowie in Untersuchungen zu dessen Einbindung in die Wertschöpfungskette. Die revolPET-Entwicklungen tragen dazu bei, dass aktuell der thermischen Verwertung zugeführte Rohstoffe erhalten bleiben. Aus einem gegenwärtig wertverzehrenden Abfallstrom wird ein ressourcentragender Wertstoffstrom.

### Ergebnisse

- » Das entwickelte revolPET-Verfahren ist in der Lage, Rohstoffe aus komplexen Verbänden und Gemischen wieder zugänglich zu machen und damit den Wertstoffkreislauf zu schließen.
- » Das angestrebte Ziel, eine kontinuierliche Depolymerisation der PET-Abfälle zu realisieren, konnte sowohl im Labormaßstab als auch nach der Skalierung im Technikumsmaßstab erfolgreich demonstriert werden. Die aufgebaute Technikumsanlage hat einen Durchsatz von ca. 40 kg/h.
- » Die Prozesszeit für die Depolymerisation wurde durch die Überführung von der absatzweisen zur kontinuierlichen Prozessführung um 98 % von ca. 45...60 Minuten auf ca. 1 ... 3 Minuten reduziert.
- » Im entwickelten, kontinuierlichen Verfahren werden ca. 97% des PET-Anteils in dem verarbeiteten Wertstoffstrom in die Monomere überführt. Andere Wertstoffe, wie z. B. PE, PP oder PA, passieren den Prozess inert und können weiteren Recyclingverfahren zugeführt werden.
- » Die während des gesamten Entwicklungsprozesses begleitend erstellte Prozessökobilanz zeigt, dass aus dem revolPET-Verfahren bis zu 60 % weniger CO<sub>2</sub>-Äquivalente resultieren als aus der Bereitstellung der Monomere über die Rohölrouten.
- » Die erzeugten Monomere lassen sich zu neuem PET polymerisieren.
- » Bisher resultierten aus dem Entwicklungsprojekt revolPET fünf Patentanmeldungen. Das erste Patent ist bereits international anerkannt, und dessen Eintragung erfolgt zeitnah in den wichtigsten globalen Märkten.

Technikumsanlage des revolPET®-Verfahrens



Foto: revolPET®

Depolymerisiertes PET am Reaktorausstrag

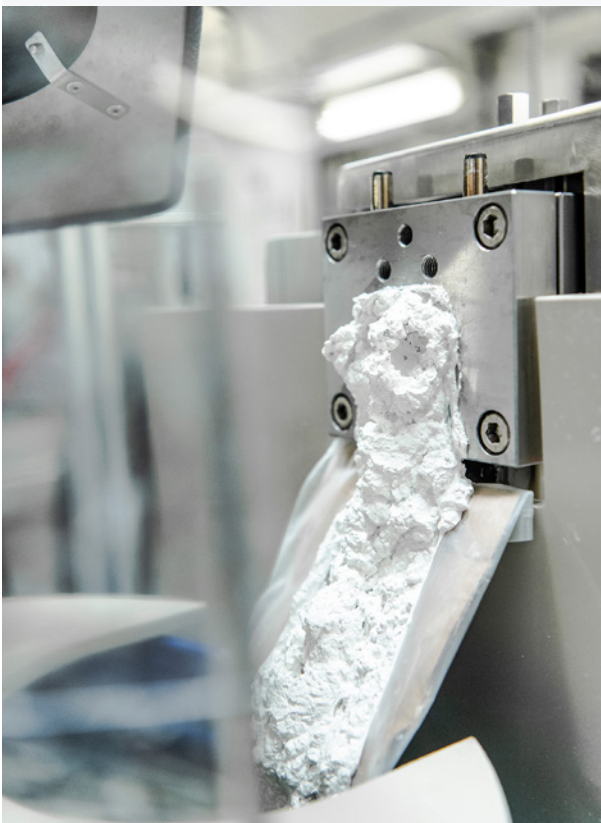


Foto: RITTEC Umwelttechnik / borowiakziehe, Mathias Mensch

PE-Flakes aus einem PET/PE-Verbund



Foto: RITTEC Umwelttechnik / borowiakziehe, Mathias Mensch

## Kernaussagen

- » Die Entwicklung der revolPET®-Technik ermöglicht es, Abfallströme, die derzeit nicht werkstofflich aufbereitet werden können, zu verwerten und die enthaltenen Materialien einer neuen Nutzung zuzuführen. PET wird depolymerisiert und die gewonnenen Monomere besitzen die gleiche Qualität wie Neuware aus fossilen Quellen. Es erfolgt ein vollständiges Recycling der Rohstoffe.
- » Der chemische Ansatz der revolPET®-Technologie unterscheidet sich aus technischer und ökologischer Sicht von alternativen chemischen Recyclingverfahren, wie z. B. der Pyrolyse, durch den Erhalt komplexerer Molekülstrukturen und damit einer höherwertigen Schließung des Wertstoffkreislaufs.
- » Das Verfahren weist sowohl technische als auch ökologische Vorteile auf und erfüllt damit die Voraussetzungen für eine gesetzliche Anerkennung der mittels revolPET®-Technologie verarbeiteten Wertstoffe auf die Recyclingquote lt. Verpackungsgesetz.

## Koordinator

*Carsten Eichert*

### **RITTEC Umwelttechnik GmbH**

Feldstraße 29

21335 Lüneburg

Tel.: +49 4131 - 408 55 44

E-Mail: eichert@rittec.eu

## Partnerinstitutionen

- » Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
  - › Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik / ICTV
  - › Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik / IWF
- » Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie / ICT
- » Reclay Systems GmbH
- » SCHILLER Apparatebau GmbH
- » VTU Engineering Deutschland GmbH

## Verbundprojekt-Webseite

<https://revolpet.eu/>

## Laufzeit

01.10.2017 – 31.03.2021

## Schiffgestützte Behandlung von Kunststoffen zur Implementierung von Wertschöpfungsketten in wenig entwickelten Ländern sowie zur Vermeidung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt und insbesondere in marine Ökosysteme



### Kurzbeschreibung

KUWERT ist eine schwimmende und fahrende Recyclinganlage. KUWERT sammelt vorsortierten Kunststoff an Küstenstädten ein, bezahlt dafür und eröffnet somit eine neue Wertschöpfungskette. Bis zu 1.000 Plastiksammler\*innen an Land und rund 300 Angestellte an Bord sammeln und recyceln 64.000 Tonnen Plastik pro Jahr, bevor es wertlos und achtlos ins Meer gespült wird. Denn Alt-Plastik aus dem Meer ist verschmutzt und bewachsen und kann kaum noch recycelt werden.

Durch die schwimmende Plattform kann die Recyclinganlage in einer optimalen Größe gebaut werden und muss sich nicht wie feste Recyclinganlagen an Land an lokale Mengenströme anpassen. Sie ist unabhängig von politischen Besonderheiten in Entwicklungsländern z. B. im westlichen Afrika, weitgehend unbeeinflusst von korruptionsanfälligen Strukturen und sicher vor Bürgerkriegen, Unruhen und politischen Veränderungen. Zudem lässt sich die mobile Einheit bei veränderten Warenströmen sehr leicht in andere Regionen verlegen. Die größten Plastik-Emittenten sind die küstennahen Städte in armen Ländern, wie Sierra Leone, Liberia und Guinea im westlichen Afrika. Genau dort kann die von KUWERT entwickelte Lösung ihr volles Potenzial entfalten.

### Ergebnisse

- » Die zu erwartenden Mengen der Kunststoffabfälle im westlichen Afrika (erstes Zielgebiet) sind ermittelt worden. Eine Schiffseinheit KUWERT fokussiert dabei nur auf 10% des anfallenden Plastikabfalls und berücksichtigt bei dieser Menge noch nicht einmal die vom Landesinneren zu erwartenden Plastik-Mengen. Die Behandlungs- und Verwertungsanlage wurde entsprechend den zu erwartenden Kunststoffsorten und -mengen entworfen. 4 Sortierstrecken und entsprechende Nachbehandlungen passen auf KUWERT, um bis zu vier verschiedene Kunststofftypen werthaltig und gleichzeitig recyceln zu können.
- » Das Konzept der Schiffstechnik um die Sortieranlage ist fertig entwickelt worden. Das Schiff wurde als Zweirumpf-Einheit mit Halbtaucher-Effekt entwickelt, um auch außerhalb der ggf. kleinen Häfen – auf Reede – Warenaustausch mit dem Land vornehmen zu können.
- » Die Preiskalkulation des Schiffes inkl. der Anlage ist abgeschlossen. Der Business-Case des Gesamtsystems wurde zufriedenstellend entwickelt. Es wurden die CAPEX (Kapitalkosten) und die OPEX (Operationelle Kosten) berechnet und in Prognosebilanzen für bis zu 25 Jahre Schiffsbetrieb zusammengestellt.
- » Vermarktungspotenziale und deren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit wurden mit Hilfe von Szenario- und Sensitivitätsanalysen entsprechend untersucht. Nähere Analysen können erst beginnen, wenn feststeht, wann das Schiff tatsächlich gebaut und abgeliefert wird. Durch Corona sind natürlich auch die Preise und

Warenströme für Plastik (neu, recycelt) stark verändert. Wir rechnen mittelfristig mit einem Einpendeln auf Vor-Krisenniveau.

- » Ökobilanzielle Bewertung und Wirtschaftlichkeitsanalyse sind abgeschlossen. Die Ergebnisse sind sehr positiv, d. h. dass auch der Bau des Schiffes, das Fahren des Schiffes und das viel spätere Verschrotten des Schiffes nach ca. 25 Jahren bei der Ökobilanz berücksichtigt wurden.

- » Das System KUWERT (Schiff + Recyclinganlage + Management) bezahlt für das anfallende Plastik rund fünfmal mehr als bisher üblich, wenn es unverschmutzt und leicht vorsortiert abgegeben wird. Das ist der wesentliche Anreiz zum Aufbau der Wertschöpfungskette vor Ort für den Haushalt, da der Kunststoffabfall zur Einnahmequelle wird.

KUWERT – eine schwimmende Recyclinganlage für Kunststoff

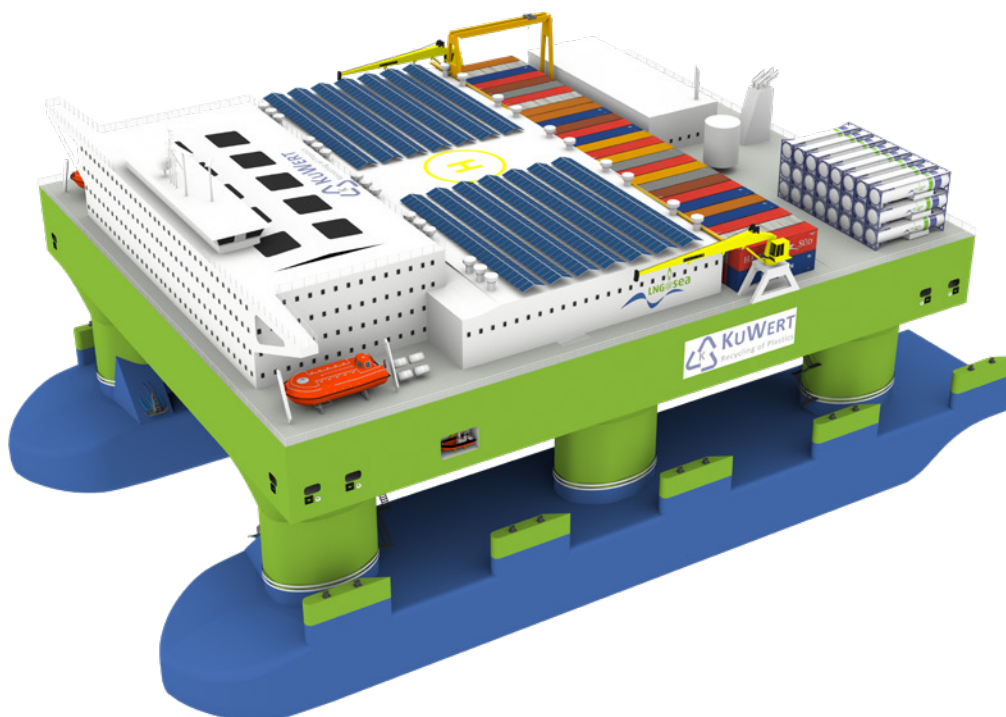


Foto: KUWERT

## Kernaussagen

- » Dem Projekt Kuwert ist es gelungen, eine vollständige und moderne Recyclinganlage an Bord eines Schiffes zu integrieren. Die Ladungsumschläge können so überall sichergestellt werden.
- » Die erwarteten Recycling-Mengen wurden im Projekt ermittelt und die Marktaussichten für Recyclate untersucht. Fazit: Das entwickelte Konzept stellt eine sichere Investition dar.
- » Der ökologische Vorteil ist nicht nur die Einsparung von 64.000 Tonnen Plastik pro Jahr in der Umwelt, sondern auch die Einsparung der entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das Projekt Kuwert zeigt so eine Möglichkeit zum Aufbau einer Wertschöpfungskette auf.

## Koordinator

*Fridtjof Rohde*

**TECHNOLOG Services GmbH**

Vorsetzen 50

20459 Hamburg

Tel.: +49 40 7070768-20

E-Mail: fridtjof.rohde@tlg-services.biz

## Partnerinstitutionen

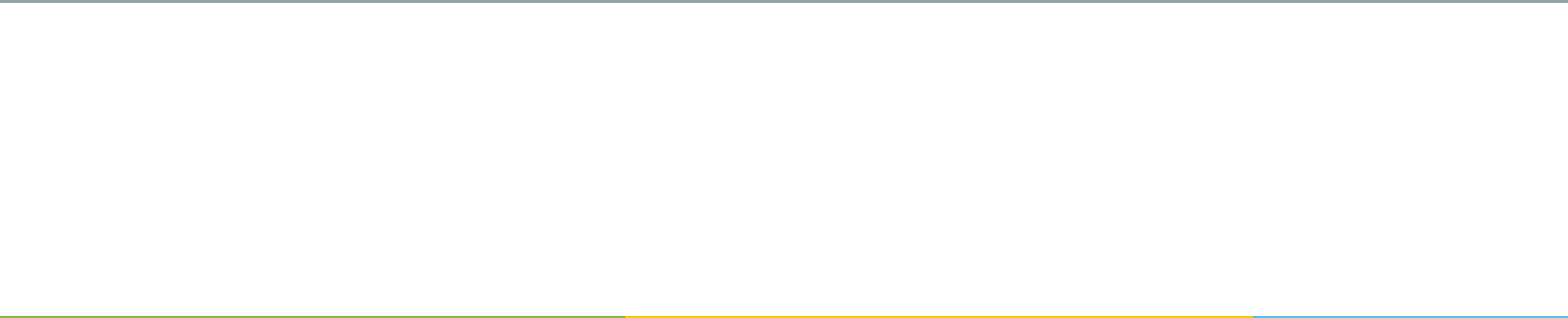
- » Institut für Energie und Kreislaufwirtschaft an der Hochschule Bremen GmbH / IEKrW
- » Nehlsen GmbH & Co. KG

## Verbundprojekt-Webseite

**[www.KuWert.hs-bremen.de](http://www.KuWert.hs-bremen.de)**

## Laufzeit

01.08.2017 - 31.10.2019





# Querschnittsthemen Teil 2

# Querschnittsthema 1

## Analytik und Referenzmaterialien

### Kurzbeschreibung

Das Ziel des Querschnittsthemas war es, Verfahren bzw. Methoden für die Analytik von Mikroplastik aus den verschiedenen Verbundprojekten des BMBF Forschungsschwerpunktes „Plastik in der Umwelt“ zusammenzutragen und zu harmonisieren. Dazu zählen Verfahren zur Probenahme, Probenaufbereitung und der Detektion. Es erfolgte eine projektübergreifende Diskussion und Abstimmung, um so eine bessere Vergleichbarkeit der Methoden und Ergebnisse zu erreichen. Darüber hinaus wurden Stärken und Limitationen der verschiedenen Verfahren in Anhängigkeit der zu bearbeitenden Fragestellung identifiziert. Im Rahmen des Querschnittsthemas wurde ein Vergleichsversuch zu den verschiedenen Detektionsansätzen konzipiert und durchgeführt. Ein abgestimmtes, umfassendes Dokument zu den Anforderungen der Analytik von Mikroplastik wurde erstellt, das die erarbeiteten Inhalte des Querschnittsthemas zusammenfasst. Es ist in englischer und deutscher Sprache auf der Internetseite von Plastik in der Umwelt verfügbar. Ein Großteil der im Querschnittsthema generierten Ergebnisse fließt aktuell in die internationale Normungsarbeit der gemeinsamen Arbeitsgruppe des ISO/TC 147 und ISO/TC 61 ein.

### Ergebnisse

- » Zusammenführung der verschiedenen, experimentellen Verfahrensansätze aus den laufenden Verbundprojekten und zwei Vorläuferprojekten.
- » Harmonisierung der Begrifflichkeiten im Bereich der Analytik und Klassifizierung von Mikroplastik zur Vereinfachung der technischen und analytischen Verfahrensschritte mit dem Ziel einer besseren Vergleichbarkeit und Bewertbarkeit der Ergebnisse.
- » Festlegung von „best-practice“-Kriterien zur technischen und wissenschaftlichen Umsetzung der einzelnen Analytikschritte sowie der Ergebnisdokumentation (Qualitätskontrolle, Qualitätssicherung).
- » Spezifische Beschreibung von Anforderungen an die repräsentative Probenahme von verschiedenen Wässern, kurze Beschreibung von Anforderungen an die repräsentative Probenahme von Feststoffen und Biota sowie der Probenahme von atmosphärischen Proben.
- » Gegenüberstellung der Beschreibung verschiedener Verfahren zur Probenaufbereitung (Reduktion der organischen und anorganischen Matrix, Extraktion von Polymeren aus Matrices).
- » Ausführliche Beschreibung von Anforderungen an Messungen mittels spektroskopischer (FTIR, NIR, Raman), thermo-analytischer (Py-GC/MS, TED-GC/MS) und chemischer Verfahren zur Detektion von Mikroplastik.
- » Voraussetzung an geeignete Mikroplastik-Referenzmaterialien und -Referenzprozesse (Partikelzahlen und -verteilungen, Partikelmassen, Filtration, Homogenitätsprüfungen).

- » Anforderungen für die Durchführung von Ringversuchen.
- » Kriterien für das Prüfen und Testen von Produkten.

Gegenüberstellung ermittelter Mikroplastikerggebnisse und möglicher Untersuchungsziele in der Praxis und der Wissenschaft

Überwachung, Monitoring, hohes MP-Aufkommen	Detailliertes Bild des Auftretens, geringes MP-Aufkommen	Quellen, Verbleib, toxikologische Untersuchungen (Wirkungsuntersuchungen)
Bestimmung MP-Gehalte	Bestimmung MP-Partikelzahlen	Eigenschaften einzelner MP-Partikel
Polymersorte Gehalte	Polymersorte Partikelgröße Partikelform	Polymersorte Additive Partikelgröße Partikelform Oberflächenmorphologie
Anwendbarkeit in der Praxis		
Detailltiefe der analytischen Information		

Quelle: Ulrike Braun

## Kernaussagen

- » Das Untersuchungsziel bei der Mikroplastikanalytik bestimmt die Auswahl des geeigneten Verfahrens, bestehend aus Probenahme, Probenaufbereitung und Detektion. Es gibt keinen Ansatz, der zugleich eine hohe analytische Detailinformation liefert und in der Praxis universell anwendbar ist.
- » Die Probenahme muss repräsentativ in Bezug auf das zu beprobende Medium sein und zugleich die Voraussetzung für die Detektion berücksichtigen.
- » Verschiedene Detektionsverfahren liefern unterschiedliche Ergebnisse im Hinblick auf Partikelzahlen oder Gehalte. Beide Ergebnisse können nicht ineinander überführt werden, sie können nur relativ verglichen werden.
- » Die Probenaufbereitung variiert je nach beprobtem Medium und anschließendem Detektionsverfahren und kann nicht universell festgelegt werden.

## Kontakt

*Dr. Ulrike Braun*

**(Umweltbundesamt; RUSEKU)**

*Dr. Gunnar Gerdts*

**(Alfred-Wegener-Institut; PLAWES)**

*Dr. Natalia P. Ivleva*

**(TU München; SubµTrack)**

*Dr. Jens Reiber*

**(WESSLING GmbH; RAU)**

# Querschnittsthema 2

## Bewertungsmethoden möglicher Auswirkungen von Plastik in der Umwelt (inkl. Toxikologie)

### Kurzbeschreibung

Ähnlich wie in vielen Bereichen der Mikroplastikforschung fehlen auch im Feld der ökologischen Risikobewertung von Plastik in der Umwelt harmonisierte und standardisierte Methoden und Richtlinien, um die Vergleichbarkeit zwischen Studien zu gewährleisten. Gerade in diesem Themenfeld ist eine Harmonisierung und Standardisierung ungleich schwieriger als z. B. im Bereich der Analytik. Ziel des Querschnittsthemas ist das Zusammenführen von Ergebnissen zu Bewertungsmethoden für die Risiken von Plastik und Mikroplastik für aquatische Organismen und darüber hinaus letztlich auch für den Menschen sowie den toxikologischen Befunden aus den Verbänden von „Plastik in der Umwelt“ und weiteren fachlich ähnlich gelagerten Projekten (z. B. MiWa, MiPAq, PlastX; JPI-Projekte). Auf dieser Basis können mögliche Bewertungsmethoden diskutiert und abgestimmt werden. Die gemeinsamen Positionen und Produkte werden für die Information der Öffentlichkeit aufbereitet und über die PlastikNet-Plattform (<https://www.bmbf-plastik.de/de>) verlinkt.

Fluoreszierende PMMA Referenzpartikel

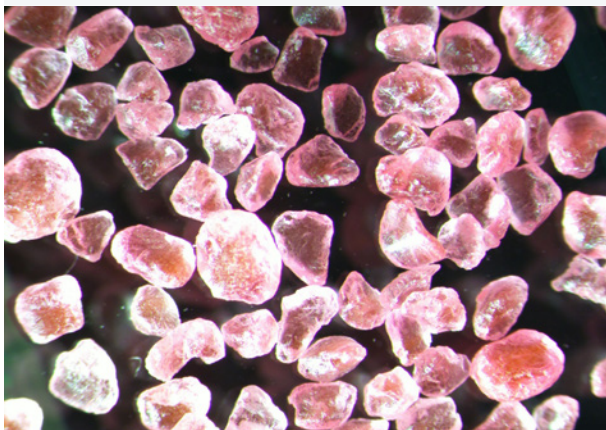


Foto: Martin Löder, TÖK I, Universität Bayreuth

### Ergebnisse

- » Der Leitfaden wurde als Grundlage für die Verwendung von Kriterien erstellt und soll für ökotoxikologische Testergebnisse mit Mikroplastik (MP) verwendet werden. Er wurde schon bei der SETAC Europe 2020 (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) vorgestellt und soll noch international publiziert werden. Dieses Poster dient als Basis für eine geplante internationale Veröffentlichung. Eine entsprechend aufbereitete Version soll Behörden helfen, publizierte Studien einzuschätzen und praktische Empfehlungen zu formulieren.
- » Zur Probenahme von Mikroplastik in Biota wurde eine praxisnahe Übersicht erarbeitet und in das 2020 veröffentlichte „Statuspapier Mikroplastik-Analytik“ (<https://bmbf-plastik.de/index.php/de/publikation/statuspapier-mikroplastik-analytik>) eingearbeitet.
- » Für die Harmonisierung einer Auswahl von Versuchsmaterialien war eine gemeinsame Versuchsreihe für 2020 vorgesehen. Es sollten verschiedene Typen und Konzentrationen von MP und verschiedene Organismen (Daphnien, Nematoden und Gammariden) getestet werden. Dabei sollten neben Wasser auch Sedimente einbezogen werden. Quarzpartikel sollten als mineralische (Nicht-Plastik) Kontrolle dienen. Diese Planungen konnten aber aufgrund der derzeitigen Ausnahmesituation nicht umgesetzt werden. Die Durchführung von Ringtests wird aber nach wie vor als wichtig eingeschätzt und ist bisher auch weltweit noch nicht erfolgt. Es ist deshalb angedacht, solche Ringtests in einer zukünftigen Initiative umzusetzen.

- » Für die internationale Mikroplastikkonferenz „MICRO2020“ wurde eine ökotoxikologische Session angemeldet (Kümmerner: H. Schritt; inhaltliche Konzeption: K. Wendt-Potthoff und C. Laforsch). Der Impulsvortrag von K. Wendt-Potthoff und C. Laforsch wurde bereits unabhängig von der Tagung der Öffentlichkeit hier zugänglich gemacht: <https://youtu.be/qCHHYeQrYMA>

- » Mehrere populärwissenschaftliche Vorträge wurde auf die Zeit nach 2021 verschoben und sollen unabhängig von der Laufzeit des Forschungsschwerpunktes präsentiert werden. Einige Vorträge konnten aber in digital durchgeführten Veranstaltungen gehalten werden. Ebenso sind zahlreiche Medienbeiträge trotz der aktuellen Situation zu verzeichnen.

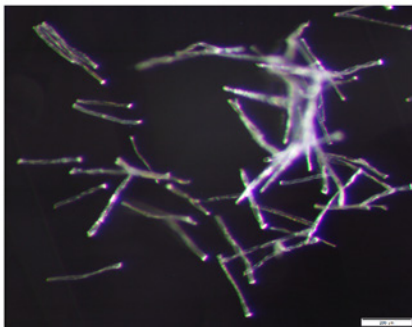
Der Nematode *Caenorhabditis elegans* kann 3 µm große Polystyrol-Partikel aufnehmen, wie an den grün fluoreszierenden Partikeln zu erkennen ist. Maßstabsbalken: 100 µm.



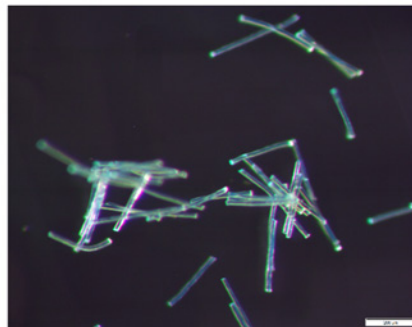
Foto: Hendrik Fuser & Marie-Theres Rauchschalbe (Abteilung Tierökologie, Universität Bielefeld)

Unterschiedliche Referenzmaterialien in Faserform: Baumwolle, Viskose, Polyacrylnitril und Polyethylenterephthalat. Der Maßstabsbalken entspricht einer Länge von 200 µm.

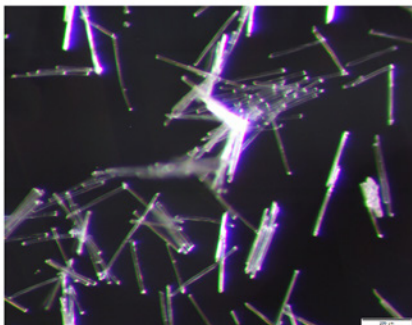
**Baumwollfasern**



**PAN-Fasern**



**Viskosefasern**



**PET-Fasern**

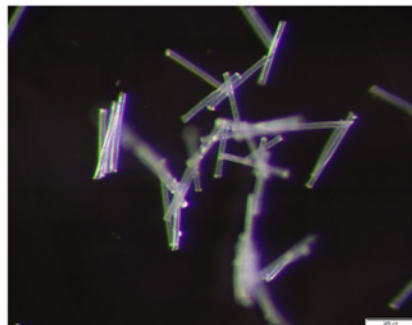


Foto: Martin Löder & Sonya Moses, TÖK I, Universität Bayreuth.

## Kernaussagen

- » Mögliche Risiken, die mit Mikroplastik verbunden sind, können nicht generell bewertet werden, weil Mikroplastik eine sehr heterogene Sammlung von Materialien verschieden additiverter Polymere, Größen und Formen in unterschiedlichem Alterungszustand ist. All diese Eigenschaften können bedingen, dass es beim gleichen Polymer zu unterschiedlichen beobachteten Effekten kommt.
- » In bislang durchgeführten Experimenten zu den Effekten von MP gibt es zu wenige Vergleiche mit den Auswirkungen anderer, z. B. natürlicher organischer oder mineralischer Partikel in Kontroll-Ansätzen.
- » Es gibt noch kein mechanistisches Verständnis der Effekte von Mikroplastik. Dort, wo es Effekte von Mikroplastik gibt, hat man in vielen Fällen nicht verstanden, wie sie zustandekommen. Nicht alles kann über Verletzungen oder Verdünnung der natürlichen Nahrung erklärt werden.
- » Die Durchführung von toxikologischen Ringtests kann helfen, widersprüchliche Befunde aus ähnlichen Studien besser einzuschätzen und sinnvolle Positivkontrollen für Mikroplastik-Wirkungen zu definieren.
- » In der wissenschaftlichen Literatur besteht ein Ungleichgewicht in Bezug auf Studien, die wenig oder keine Effekte von Mikroplastik aufzeigen, was für eine solide Risikoabschätzung ausgeglichen werden sollte.
- » Die grundsätzlichen Unterschiede (Konzentrationsbereiche, Organismen-Arten, Komplexität von Gemeinschaften) zwischen Laborversuchen und Feldstudien erschweren das Verständnis möglicher Effekte von Mikroplastik auf der Gemeinschafts- oder Ökosystemebene.

## Kontakt

*Prof. Dr. Christian Laforsch*

**(Universität Bayreuth; PLAWES)**

*PD Dr. Katrin Wendt-Potthoff*

**(Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ; MikroPlaTaS)**

# Querschnittsthema 3

## Begriffe und Definitionen

### Kurzbeschreibung

Das Themenfeld „Plastik in der Umwelt“ ist vielfältig und umfassend. Wissenschaftliche Arbeiten auf diesem Gebiet sind deshalb hochgradig inter- und transdisziplinär und erfordern die Zusammenarbeit von Fachleuten aus vielen naturwissenschaftlich-technischen und sozioökonomischen Disziplinen. Eine Schärfung von Begriffen und Definitionen, wie sie im Querschnittsthema 3 durchgeführt wurde, ist daher von hoher Relevanz. Dabei wurde keine eigene Definitionsarbeit geleistet, sondern der Stand in Normungsausschüssen und Regulierungsvorhaben kritisch analysiert, diskutiert und zusammengestellt. Die Relevanz und Verwendung zentraler Begriffe in öffentlichen Debatten, politischen Entscheidungsprozessen und den Medien wurde in verschiedenen Veranstaltungen thematisiert.

Ziel der Aktivitäten war es, die grundlegende Problemarchitektur von „Kunststoffen in der Umwelt“ darzustellen und eine dem Forschungsstand angemessene wissenschaftliche Ergebnispräsentation und mediale Berichterstattung zu ermöglichen. Eine differenzierte Betrachtung von Kunststoffen als vielfältige und äußerst heterogene Werkstoffklasse sowie eine Versachlichung der Diskussion zu potenziellen Gefahren und Risiken waren dabei besonders wichtig.

### Ergebnisse

- » Ausgangspunkt der Arbeiten war eine Umfrage zu Begriffen und Definitionen im März 2018, die interessante Einblicke in die Heterogenität bei der Interpretation von Begriffen durch verschiedene Wissenschaftler\*innen offenlegte.
- » Zentrales Ergebnis des Querschnittsthemas ist ein Kompendium, in dem 269 Begriffe auf 56 Seiten in 13 Kapiteln erläutert werden. Das Kompendium ist kein reines Glossar, sondern es kontextualisiert wichtige Begriffe und Definitionen in kurzen wissenschaftlichen Kapiteln. Auf diese Weise werden Zusammenhänge zwischen Begriffen deutlicher und eng verknüpft mit den Wissensbeständen der ihnen zugrundeliegenden Disziplinen.
- » Auf der Statuskonferenz (9. April 2019) wurde durch das Querschnittsthema eine Veranstaltung „Zwischen Fakten und Fake“ durchgeführt, um die Schnittstelle zwischen Medien und Wissenschaft zu adressieren. Sie bestand aus einem Live-Voting und einer Podiumsdiskussion mit Vertretern aus Wissenschaft und Medien. Im Rahmen der Veranstaltung beantworteten die wichtige Frage, ob die Wissenschaft ihrer Verantwortung bei Kunststoffen in der Umwelt gerecht wird, 60 Prozent mit „Ja“. Immerhin 40 Prozent waren aber der Meinung, die Wissenschaft habe hier Nachholbedarf.
- » Bedingt durch Corona wurden zwei Webinare zu den Themen „Persistenz ist das Problem“ (24. Juni 2020) und „Corona vs. Plastik“ (10. September 2020) durchgeführt. Die Ergebnisse der Diskussionen führten zu einer gemeinsamen wissenschaftlichen Publikation (Fertigstellung für 06/2021 geplant).



Polymerwerkstoffe haben diverse Eigenschaften, wie z. B. die Dehnbarkeit eines Gummibandes.



Foto: Tabeajaichhalt / pixabay.com

Kugel-Stab-Model eines Polypropylens

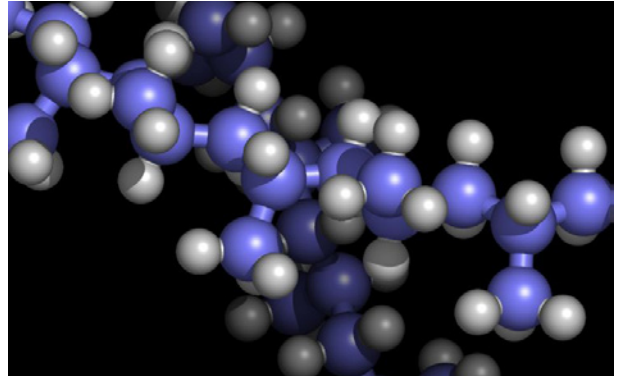
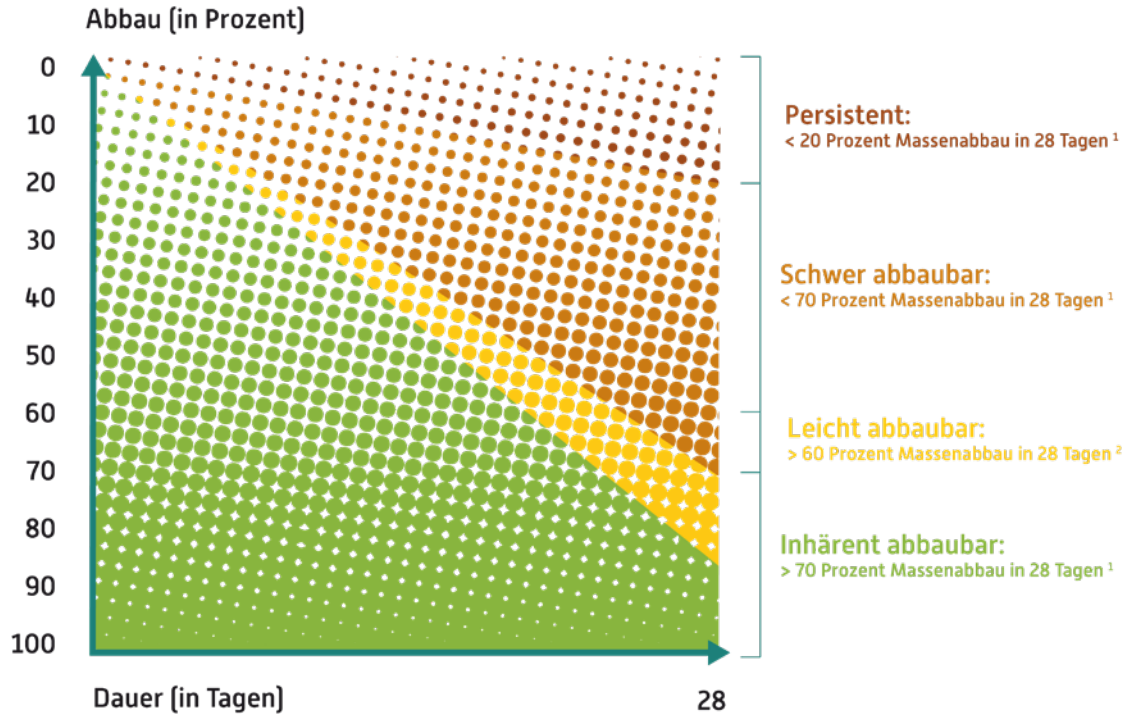


Foto: wikipedia.org

Allgemeine OECD-Richtlinien zur biologischen Abbaubarkeit



1) nach OECD 302 2) nach OECD 301

Quelle: Lena Aebli /Ecologic Institut

## Kernaussagen

- » Begriffs- und Definitionsarbeit ist ein zentraler Bestandteil wissenschaftlicher Arbeit. Nur durch sie kann der Forschungsgegenstand klar umrissen und die Kommunikation über ihn klar konturiert werden. Entsprechende projektübergreifende Aktivitäten würden sich für eine Vielzahl von Förderlinien empfehlen.
- » Das Spannungsfeld zwischen Wissenschaft, Medien und Politik und gesellschaftlicher Rezeption erhält in den öffentlichen Debatten zunehmende Aufmerksamkeit. Auch die Debatte um Kunststoffe in der Umwelt ist zum Teil überhitzt und aus wissenschaftlicher Sicht verzerrt. Es zeigt sich sehr deutlich, dass ein großer Teil der Medien dazu neigt, wissenschaftliche Aussagen zu sehr zu vereinfachen oder auf medienwirksame Aspekte einzuengen.
- » Gleichzeitig gibt es eine Vielzahl von Wissenschaftler\*innen, die der Ansicht sind, aus ihren Fakten politische Empfehlungen stringent ableiten zu können. Dies wird aber der Heterogenität wissenschaftlicher Erkenntnisse und der notwendigen Multidisziplinarität demokratischer Prozesse bei weitem nicht gerecht. Um das Bewusstsein für diese Aspekte zu schärfen, konnte das Querschnittsthema einen wichtigen Beitrag leisten.

## Kontakt

Jürgen Bertling

**(Fraunhofer UMSICHT; PlastikBudget)**

## Veröffentlichung

J. Bertling, C. G. Bannick, L. Brinkmann, L. Barkmann, U. Braun, D. Knoblauch, C. Kraas, L. Mederake, F. Nosić, B. Philipp, I. Sartorius, H. Schritt, U. Stein, K. Wencki, K. Wendt-Potthoff, J. Woidasky [2021]: Kunststoff in der Umwelt – ein Kompendium, 1. Auflage 2021, <https://doi.org/10.24406/umsicht-n-624998>



# Querschnittsthema 6

## Recycling und Produktentwicklung

### Kurzbeschreibung

Das Querschnittsthema 6 zielt auf die Ermittlung und Definition einer Grundlage für eine ökologische Bewertung von chemischen Recyclingprozessen. Die Überlegungen schaffen eine Basis, die es ermöglicht, die innovativen Verfahren sowohl transparent bzgl. der damit verbundenen Inputs und Outputs als auch hinsichtlich der Einordnung in die Kreislaufwirtschaft abzubilden. Die Forschungspartner des Querschnittsthemas 6 „Ökobilanzierung von chemischen Recyclingprozessen“ haben daher einen gemeinsamen Bewertungsrahmen entwickelt, s. Abb. 1a, der als allgemeine Grundlage für die Ermittlung der ökologischen Aufwendungen von Recyclingverfahren verwendet werden kann und innerhalb der Verbundprojekte ResolVe und revolPET® Anwendung fand. Hintergrund: Chemisches Recycling gewinnt aufgrund der Bestätigung der technischen Machbarkeit immer mehr Befürworter unter Herstellern wie auch unter Anwendern. Die Technologie verdient es deshalb, nicht zuletzt auch wegen der dargelegten ökologischen Vorteile, für industrielle Anwendungen genauer betrachtet zu werden. Das Umweltbundesamt als ausführende Behörde des Bundesumweltministeriums verlangt für die Anerkennung von innovativen Recyclingverfahren im Sinne des Verpackungsgesetzes die Darlegung einer „ökologischen Vorteilhaftigkeit“, allerdings ohne Eckpunkte für eine Bewertung vorzulegen. Insofern liegt es an den Verfahrensanbietern, diese zu ermitteln/erstellen und darzulegen. Die ökologischen Vorteile der in den Forschungsprojekten ResolVe und revolPET® entwickelten Technologien unterstreichen die Chance, für die Kunststoffe Polystyrol (PS) und Polyethylenterephthalat (PET) den Übergang von einer linearen Wirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft zu realisieren. Chemisches Recycling stellt daher eine vielversprechende Option dar, um das Kunststoffrecycling voranzubringen sowie Wertstoffkreisläufe zu schließen. Aus diesem Grund

sollten diese Recyclingtechnologien anerkannt und die Weiterentwicklung gefördert werden. Mitgearbeitet an dem Ansatz haben Forschungspartner aus den Projekten MaReK, ResolVe und revolPET®.

### Ergebnisse

- » Es existiert eine Darstellung (s. Abb. 1) zur Einordnung des chemischen Recyclings in die Kreislaufwirtschaft von Kunststoffverpackungen.
- » Eine ökologische Betrachtung der neuen Recyclingprozesse erfolgte entsprechend der ISO-Standards DIN EN ISO 14040/44.
- » Vorrangig wird auf die Fraktionen als Input zurückgegriffen, welche auch im Jahr 2021 der thermischen Verwertung zugeführt werden.
- » Die Kompensationsgutschriften für die Recyclingprodukte (ersetzen ggf. Primärmaterialien) sowie die aus dem Wegfall der Fraktionen als Ersatzbrennstoffe resultierenden Aufwendungen werden mittels Avoided Burden-Ansatz nach Greyer [Greyer 2016] ermittelt und extra ausgewiesen.
- » Zur Bewertung wird eine dualistische, funktionelle Einheit herangezogen, die sowohl die Bereitstellung von Rohstoffen oder Produkten als auch die Beseitigung einer bestimmten „vorsortierte LVP-Abfall-Zielfraktion“ (Stand 2021) beschreibt. Dies adressiert die Tatsache, dass die neuen Recyclingverfahren helfen, Abfallströme zu reduzieren und wertvolle Ressourcen zu erschließen.
- » Die ökologischen Bewertungen zu den Recyclingverfahren adressieren die Technologie selbst. Dabei ist darauf zu achten, die Systemgrenzen so zu wählen, dass die Einbindung in die Wertschöpfungskette für die verschiedenen Verfahren identisch ist, d.h. ab Bereitstellung einer LVP-Fraktion (Nachsortieren und Aufbereitung) und dem Wiedereinbringen in notwendiger Qualität in

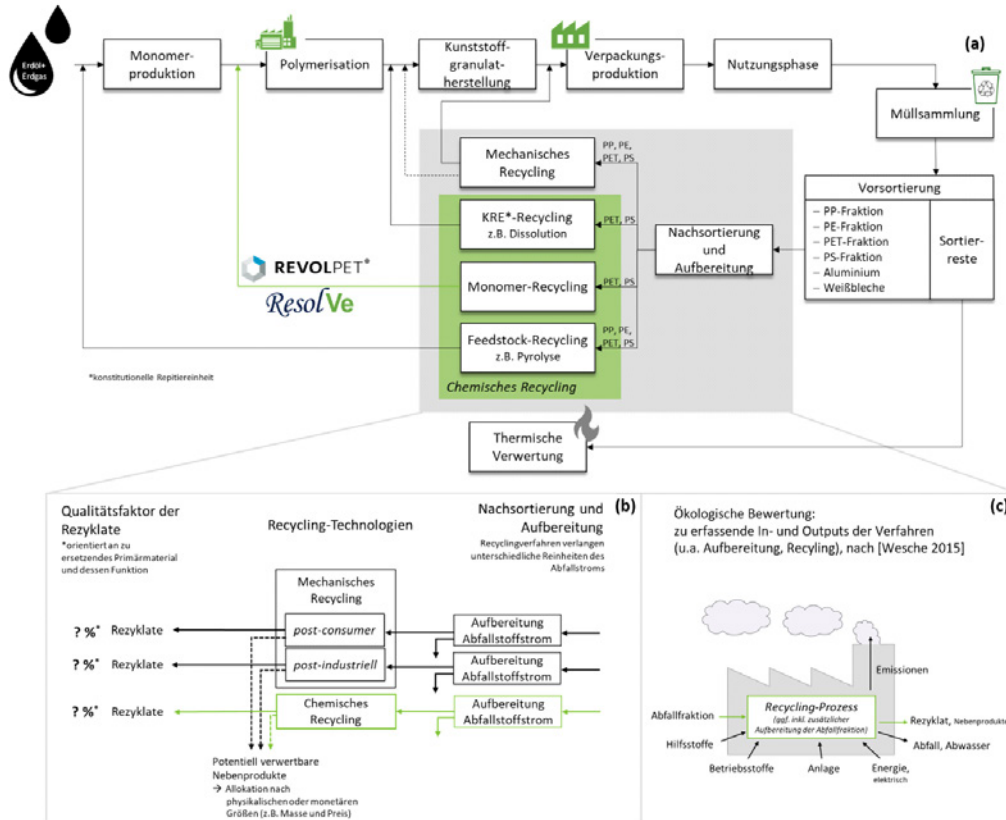
die Kreislaufwirtschaft.

- » Aufwendungen für mögliche zusätzliche Nachsortierungen/Aufreinigungen zur Bereitstellung der Fraktionen für die verschiedenen Recyclingverfahren sind unmittelbar abhängig von den Anforderungen der Recyclingtechnologien und den zu verarbeiteten Fraktionen, s. Abb. 1b. In dem Zusammenhang sind diese ggf. in der Bewertung der einzelnen Recyclingtechnologie zu berücksichtigen. Wenn dazu keine Daten zur Verfügung stehen, sollte auf Szenarien zurückgegriffen werden.
- » Die Bewertung einer neuen Technologie umfasst ALLE In- und Outputs, die unmittelbar mit dem Betrieb der dazugehörigen Anlage einhergehen, s. Abb. 1c.
- » Der mögliche Einsatz von Ökostrom in der ökologischen Bewertung ist durch Szenarien

abzubilden und zwingend zu berücksichtigen.

- » Datenlücken, die es noch zu schließen gilt:
  - » Berücksichtigung des Technologiereifegrads, da Technologien im Labor- bzw. Technikumsmaßstab weder in eine bestehende Standortinfrastruktur integriert sind noch den Optimierungsgrad erreichen, den etablierte Produktionstechnologien nach Stand der Technik aufweisen.
  - » Verbesserung der Life Cycle Inventory-Datenlage zur Abbildung der Wertschöpfungsketten in der Kreislaufwirtschaft und bestehender Recyclingverfahren.
  - » Integration der Qualitätsbewertung der Rezyklate in die ökologische Bewertung, insbesondere bei der Produktion isolierter Monomere, siehe revolPET®, z. B. orientiert an dem Ansatz der Substitutionsquote [KRU 2019].

Kreislaufwirtschaftsoptionen für Leichtstoffverpackungen (a), zu berücksichtigende zusätzliche Aufbereitung der Abfallströme und notwendige Qualitätsbewertung der Rezyklate (b) sowie die zu erfassenden Inputs und Outputs zu den Recyclingprozessen (c)



Quelle: INEOS und RITTEC/TU Braunschweig-ICTV

## Kernaussagen

- » Die technische Machbarkeit neuer Recyclingkonzepte konnte in den Verbundprojekten ResolVe und revolPET® aufgezeigt werden.
- » Eine erste Analyse der Ökobilanz der Recyclingprozesse hat zudem gezeigt, dass gegenüber den konventionellen Produktionsrouten von Monomeren die neuen Recyclingtechnologien einen geringeren Energiebedarf aufweisen und aus ihnen weniger CO<sub>2</sub>-Äquivalente resultieren.
- » Das chemische Recycling steht nicht in Konkurrenz zum traditionellen mechanischen Recycling von Leichtstoffverpackungen (LVP), sondern stellt eine wertvolle Ergänzung zu den etablierten werkstofflichen Recyclingmöglichkeiten dar und bietet die Chance, eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft bei den Verpackungskunststoffen zu realisieren.

## Quellen

- [Greyer 2016] *Roland Geyer, Brandon Kuczynski, Trevor Zink, Ashley Henderson* (2016) Common Misconceptions about Recycling, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 20, No. 5, DOI: 10.1111/jiec.12355
- [Wesche 2015] *Mandy Wesche, Michael Häberl, Marco Kohnke, Stephan Scholl* (2015) Ökologische Bewertung von Produktionsprozessen in Mehrproduktbatchanlagen, *Chemie Ingenieur Technik*, Vol. 87, No. 3, DOI: 10.1002/cite.201400086
- [KRU 2019] Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU) unter Mitarbeit von *Dr. Kathrin Greiff* (2019) Substitutionsquote: Ein realistischer Erfolgsmaßstab für die Kreislaufwirtschaft, Positionspapier, online abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/190722\\_uba\\_kommp\\_substitutionsquote\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/190722_uba_kommp_substitutionsquote_bf.pdf) (zuletzt abgerufen 09.02.2021)

## Kontakt

*Carsten Eichert*

**[RITTEC Umwelttechnik GmbH;  
revolPET®]**

*Norbert Niessner*

**[INEOS Styrolution Group GmbH; resolve]  
Mandy Paschetag**

**[Technische Universität Braunschweig;  
revolPET®]**

# Plastikpiraten

## Plastikpiraten – Das Meer beginnt hier!



### Kurzbeschreibung

Wie viel Müll findet sich an und in deutschen Flüssen? Treibt Plastikmüll über deutsche Flüsse Richtung Meer? Und welche Müllquellen gibt es am Flussufer? Diesen und weiteren Forschungsfragen haben sich Schülerinnen, Schüler, Lehrkräfte und Jugendgruppen im Citizen-Science-Projekt Plastikpiraten gewidmet. Dabei sind die Jugendlichen selbst zu Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern geworden, haben Daten zur Müllverschmutzung an Flüssen erhoben und diese mit den Daten anderer Gruppen verglichen. Die Daten stellten die Teilnehmenden der Kieler Forschungswerkstatt, einer gemeinsamen Einrichtung der Universität Kiel und des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, zur Verfügung. Dort wurden die Daten validiert und Proben von größerem Mikroplastik analysiert. Zwischen 2016 und Frühjahr 2020 sind mehr als 15.000 Kinder und Jugendliche zu Plastikpirat\*innen geworden. Im Rahmen des Projekts wurden sie für die Bedrohung der Fluss- und Meeresökosysteme durch Plastikmüll sensibilisiert und zur Reflexion über ihr Konsumverhalten und den damit verbundenen Ressourcenverbrauch ange-regt. Inzwischen wird das Projekt unter dem neuen Titel „Plastic Pirates – Go Europe!“ weitergeführt und wurde im Rahmen der Deutschen EU-Ratsprä-sidentschaft bereits auf die beiden Länder Portugal und Slowenien ausgedehnt.

### Ergebnisse

- » Zur Auswertung des Mülls am Flussufer wurden 513 Standorte von den Jugendlichen beprobt. Insgesamt identifizierten die Plastikpiraten 15.566 Müllteile auf 32.097 Quadratmetern (0,48 Müllteile pro Quadratmeter).<sup>1</sup> Dabei gibt es zwischen den Flusssystemen Unterschiede: an Elbe und Rhein wurde mehr Müll gefunden, an der Donau und Weser hingegen weniger.
- » Der gesammelte Müll wurde nach Material sortiert und ausgewertet. Dafür wurden von den Jugendlichen 130 Standorte untersucht und 26.974 Müllteile entlang von Flussufern gesammelt und identifiziert.<sup>2</sup> Plastikartikel und Zigarettenkippen (<1mm) wurden am häufigsten gefunden. Konkret bestanden 16 % der Funde aus Einwegplastik wie Süßigkeiten-Verpackungen oder Plastiktüten. Plastikflaschen, Becher und Einwegbesteck machten ca. 5 % des insgesamt gefundenen Einwegmülls am Fluss aus. Des Weiteren fanden die Jugendlichen häufig Glasscherben (21 %), Papier (13 %) und Kronkorken (9 %).
- » Zur Ermittlung der Menge an großem Mikroplastik in deutschen Fließgewässern haben 494 Gruppen die Probenahme durchgeführt. Dabei meldeten 32 % der Gruppen Mikroplastik in ihren Proben. Einzelne dieser Proben enthielten hunderte Mikroplastikpartikel, wie z. B. eine Probe aus der Rur (auch Eifel-Rur), einem 164 km langen Nebenfluss der Maas, oder eine Probe aus der Nähe von Schkopau mit über 200 Plastikpartikeln.
- » Laut Einschätzung der Teilnehmenden

1 Die Angaben beziehen sich auf die Gruppe A „Müllmen-gen und Zusammensetzung des Mülls am Flussufer“.

2 Die Zahlen beziehen sich auf die Gruppe B „Einwegartikel am Flussufer“.

verursachen Flussbesucher\*innen den meisten Müll. Diese wurden an 88 % der 490 Standorte, für die eine Bewertung von Müllquellen durchgeführt wurde, als wahrscheinliche Quelle identifiziert. Diese Einschätzung basiert dabei auf der großen Anzahl von vorgefundenen Lebensmittelverpackungen, Zigarettenkippen und Überresten vom Picknicken und Grillen (z. B. Plastikbesteck, Plastiktüten, zurückgelassene Grills und Grillkohle).

Anwohner\*innen wurden an 41 % der Standorte als wahrscheinliche Müllquelle identifiziert, gefolgt von Müll, der in den Fluss gelangt ist und dann wieder angeschwemmt wurde (30 %), illegal abgeladenem Müll (28 %) und durch Schiffs- und Bootsverkehr entstandenem Müll (13 %).

Zwei Jugendliche holen während der Aktion „Plastic Pirates - Go Europe!“ einen Reifen aus einem Fluss. Der meiste Müll, der von den Kindern und Jugendlichen zwischen 2016 und 2020 gefunden wurde, bestand aus Plastik (27 %).

Für die Aktion „Plastic Pirates - Go Europe!“ können die Materialien, wie z. B. ein Aktionsheft für Schüler\*innen sowie das dazugehörige Lehr- und Arbeitsmaterial für die Lehrkräfte, kostenlos bestellt werden.



Foto: BMBF/Gesine Born



Foto: BMBF/Gesine Born

## Kernaussagen

- » Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass an fast jedem untersuchten Flussufer (> 90 Prozent) Müll gefunden wurde und somit auch deutsche Flüsse zur Verschmutzung der Weltmeere durch Plastikmüll beitragen.
- » Eine Hauptquelle des größeren Mülls an den Flussufern stammt von Besucher\*innen. Eine erhöhte Sensibilisierung der Bevölkerung und die Nutzung von Mehrweg- statt Einweg-Verpackungen wären ein erster Schritt, um die Müllverschmutzung zu reduzieren.
- » Das von der Europäischen Kommission eingeführte Verbot bestimmter Einwegplastikprodukte ab dem Sommer 2021 könnte dazu beitragen, die Menge des Einwegplastikmülls an Flussufern zu reduzieren. Eine zeitgleiche Mehrwegförderung von Seiten der Politik wäre zudem zentral, damit Einwegplastikprodukte nicht durch Einweg-Produkte aus anderen Materialien ersetzt werden.

## Kontakt

*Mandy Hinzmann, Linda Mederake*  
**(Ecologic Institut, Plastic Pirates EU)**  
*Tim Kießling, Dennis Brennecke,*  
*Sinja Dittmann*  
**(Kieler Forschungswerkstatt,**  
**Plastic Pirates EU)**





In insgesamt sieben Zählzeiträumen wurden bislang weit über 15.566 Müllteile analysiert.  
Insgesamt wurde ein Fläche von über 32.097 m<sup>2</sup> untersucht.

# Impressum

## Herausgeber

Ecologic Institut gemeinnützige GmbH  
Pfalzburger Str. 43/44, 10717 Berlin  
Geschäftsführerin: *Dr. Camilla Bausch*  
Sitz: Berlin, AG Charlottenburg HRB 57947;  
UST ID: DE 811963464

## Ansprechpartner\*innen für den BMBF-Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze“:

### Beim BMBF

**Thomas Bartelt** (Koordination)  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat 726 – Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung,  
53170 Bonn  
E-Mail: thomas.bartelt@bmbf.bund.de

**Dr. Martin Schulte** (Green Economy, Konsum)  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat 721 – Systemische Mobilität; Zukunftsstadt,  
53170 Bonn  
E-Mail: martin.schulte@bmbf.bund.de

**Thomas Bartelt** (Recycling)  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat 726 – Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung,  
53170 Bonn  
E-Mail: thomas.bartelt@bmbf.bund.de

**Dr. Helmut Löwe** (Limnische Systeme)  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat 726 – Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung,  
53170 Bonn  
E-Mail: helmut.loewe@bmbf.bund.de

**Dr. Jens Schiffers** (Meere & Ozeane)  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat 724 – Meeres-, Küsten- und Polarforschung,  
53170 Bonn  
E-Mail: jens.schiffers@bmbf.bund.de

### Beim Projektträger

**Dr.-Ing. Saskia Ziemann, Dr. Anne Gunkel** (Koordination)  
Projektträger Karlsruhe (PTKA),  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1,  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen  
E-Mail: saskia.ziemann@kit.edu

**Dr. Frank Betker** (Green Economy, Konsum)  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Projektträger, Umwelt und Nachhaltigkeit,  
Sozial-ökologische Forschung (SÖF),  
Heinrich-Konen-Str. 1, 53227 Bonn  
E-Mail: Frank.Betker@dlr.de

**Daniel Stapel, Anja Degenhardt** (Recycling)  
Projektträger Jülich, Nachhaltigkeit (UMW 1),  
Forschungszentrum Jülich GmbH,  
Zimmerstr. 26-27, 10969 Berlin  
E-Mail: d.stapel@fz-juelich.de

**Dr.-Ing. Saskia Ziemann, Dr. Anne Gunkel** (Limnische Systeme)  
Projektträger Karlsruhe (PTKA),  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1,  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen  
E-Mail: saskia.ziemann@kit.edu

**PD Dr. Uwe Selig** (Meere & Ozeane)  
Projektträger Jülich, Meeresforschung, Geowissenschaften,  
Schiffs- und Meerestechnik, System Erde (MGS 1),  
Forschungszentrum Jülich GmbH,  
Schweriner Str. 44, 18069 Rostock  
E-Mail: u.selig@fz-juelich.de

## Redaktion

**Wissenschaftliches Begleitvorhaben (PlastikNet) des BMBF-Forschungsschwerpunkts „Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze“**

Doris Knoblauch und Dr. Ulf Stein  
Ecologic Institut gemeinnützige GmbH  
E-Mail: [plastiknet@ecologic.eu](mailto:plastiknet@ecologic.eu)  
Tel: +49 (30) 86880-0  
Fax: +49 (30) 86880-100  
Website: <https://bmbf-plastik.de>  
Twitter: @plastik\_umwelt

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen: 02WPL1441.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor\*innen der einzelnen Beiträge.

Der Tagungsband ist nicht für den gewerblichen Vertrieb bestimmt.

1. Auflage, April 2021. Erschienen zur Abschlusskonferenz des BMBF-Forschungsschwerpunkts „Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze“.

Layout: Lena Aebli/Ecologic Institut

