

# RWTH THEMEN

Forschungsmagazin

1/2020

Plastik und Umwelt

# FORD KUGA PLUG-IN HYBRID



**BIS ZU 56 KM REIN  
ELEKTRISCHE REICHWEITE.\***

*Ford*

**BEREIT FÜR  
MORGEN**

Kraftstoffverbrauch (in l/100 km nach §2 Nrn. 5, 6, 6a Pkw-EnVKV in der jeweils geltenden Fassung): 2,9–1,2 (kombiniert); CO<sub>2</sub>-Emissionen: 66–26 g/km (kombiniert); Stromverbrauch: 20,53–15,8 kWh/100 km (kombiniert).

Bitte beachten Sie ebenso unser Angebot zum neuen Ford Explorer Plug-in-Hybrid. \*Gemäß Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure (WLTP) können bis zu 56 km Reichweite bei voll aufgeladener Batterie erreicht werden. Die tatsächliche Reichweite kann aufgrund unterschiedlicher Faktoren (Wetterbedingungen, Fahrverhalten, Fahrzeugzustand, Alter der Lithium-Ionen-Batterie) variieren.

# Inhalt

- 4 **Plastik und Umwelt**  
Interdisziplinäre Forschungsprojekte der RWTH Aachen  
von Johannes Pinnekamp, Vanessa Spelthahn
- 6 **Mikrokunststoffe in Umweltproben identifizieren**  
Vor- und Nachteile der spektroskopischen, thermoanalytischen  
und chemischen Analyse  
von Volker Linnemann, Jan-Claudius Schwarzbauer
- 12 **Von der Quelle bis zur Senke**  
Ganzheitliches Konzept analysiert Transportwege  
von Mikroplastik in Gewässern  
von Maximilian Born, Simone Lechthaler, Holger Schüttrumpf,  
Kryss Waldschläger
- 16 **Die Bedeutung der Abwasserbehandlung für  
Mikrokunststoffeinträge in die Gewässer**  
Qualitative und quantitative Untersuchungen  
zur Reinigungsleistung  
von Vanessa Spelthahn
- 24 **Kunststoffrecycling durch Mikroben**  
Optimierung der Stoffwechselforgänge von Mikroorganismen  
ermöglicht Auf- und Abbau von Plastik  
von Kristina S. Bitter, Lars M. Blank
- 28 **Ein verkannter Rohstoff: Plastikabfall**  
Durch Katalyse vom Reststoff zum Wertstoff für  
nachhaltige Produkte  
von Kassem Beydoun, Lars M. Blank, Thomas Fischöder,  
Jürgen Klankermayer, Regina Palkovits, Ulrich Schwaneberg
- 32 **Gemeinsam Zukunftsaufgaben begegnen**  
Das Center for Molecular Transformations unterstützt  
bei Verbundprojekten  
von Thomas Fischöder, Stefanie Gottuck, Klara Krämer-Klement,  
Florian Krebs, Marc Schmitz
- 36 **Kunststoffverwertung erneut im Wandel**  
Forschungsprojekte zur Kreislaufwirtschaft  
von Rainer Dahlmann, Martin Facklam
- 42 **Agrar- und Geotextilien in der Umwelt**  
Forschung zu synthetischen, biologisch abbaubaren  
Textilien am Institut für Textiltechnik  
von Amrei Becker, Jonas Hunkemöller, Thomas Gries
- 44 **Über die Kanalisation ins Meer**  
Entwässerungssysteme als Eintragspfade von  
Makrokunststoffen und großen Mikrokunststoffen  
von Marco Breitbarth, Sebastian Kerger
- 50 **CO<sub>2</sub> als Rohstoff für nachhaltige Kunststoffe**  
Ein Schritt hin zur Kreislaufwirtschaft  
von Liv Adler, Veronica Grüntzig, Marina Sebastian
- 52 **Von der Probensammlung zum Innovationslabor**  
Identifizierung, Quantifizierung und Degradierung  
von Mikroplastik  
von Khosrow Rahimi, Shohana Islam, Ulrich Schwaneberg,  
Andreas Herrmann
- 62 **Namen & Nachrichten**

# Plastik und Umwelt

## Interdisziplinäre Forschungsprojekte der RWTH Aachen

Die Geschichte der Menschheit wird nach den wichtigsten verwendeten Materialien eingeteilt, also in die Steinzeit, die Bronzezeit und die Eisenzeit. Folgt man dieser Logik, müsste das Zeitalter, in dem wir heute leben, als „Plastikzeit“ bezeichnet werden. Nach den frühen bekannten Anwendungen von Kunststoffen etwa in Telefonen aus Bakelit, Kämmen aus Zelluloid, Autoreifen aus Kautschuk oder Damenstrümpfen aus Nylon ist die Produktion von Plastik nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges geradezu explosionsartig angestiegen. Es gibt heute kaum ein technisches Produkt, das keine Kunststoffe enthält.

Nach Geyer et al. (Sci. Adv. 2017) wurden zwischen 1950 und 2015 insgesamt 8.300 Millionen Tonnen Kunststoffe erzeugt, von denen sich noch 2.500 Millionen Tonnen in Gebrauch befinden. Nur zwei Prozent der nicht mehr genutzten Kunststoffe wurden recycelt, 14 Prozent verbrannt und 84 Prozent – also 4.900 Millionen Tonnen – wurden zu Abfall. Dieser Abfall wurde nur zum kleineren

Teil auf Deponien entsorgt, der größere Teil gelangte ungeordnet in die Umwelt. Seit einigen Jahren erreichen die damit verbundenen Probleme die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit, die Medien berichten über Plastikmüll in den Weltmeeren, Verpackungsreste auf Ackerböden oder Mikroplastikpartikel im menschlichen Darm. Dabei wird herausgestellt, dass Kunststoffe kaum biologisch abbaubar sind, und große Kunststoffteile durch mechanische Einwirkungen zu sehr kleinen Partikeln, dem sogenannten Mikroplastik, zerrieben werden. Dieses Mikroplastik wurde bereits weltweit nachgewiesen, seine Toxizität für die Umwelt und letztlich auch den Menschen ist noch ungeklärt. Dennoch ist es unabdingbar, Eintragspfade zu identifizieren, zu quantifizieren sowie Rückhalte- und Vermeidungsmaßnahmen zu entwickeln. Strategien und Technologien zum Kunststoffrecycling gewinnen an Bedeutung. Zahlreiche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Institute und An-Institute der RWTH Aachen forschen an Lösungsansätzen, um

den Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt und die Umweltgefahren durch Kunststoffe zu reduzieren. Das Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. und das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen luden daher im Oktober 2019 zu einem Workshop „Plastik und Umwelt“ ein. Ziel war es, über Forschungsaktivitäten und gerätetechnische Ausstattung zu informieren, mögliche Synergien zu erkennen und gemeinsame Forschungsfragen sowie Kooperationsmöglichkeiten zu eruieren.

Diese Ausgabe der „RWTH THEMEN“ ermöglicht einen Einblick in das Spektrum der RWTH-Forschung zum Thema „Plastik und Umwelt“ und zeigt Perspektiven für die Zukunft auf.

---

### Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp ist Inhaber des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft.

Vanessa Spelthahn, M. Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

---

# Plastics and the Environment

## Interdisciplinary research projects at RWTH Aachen University

The history of humankind has been divided into three time periods, based on the main material used for making tools: the Stone Age, the Bronze Age, and the Iron Age. Following this logic, the age we live in today should be termed the Plastic Age. After the early, well-known uses for plastics in products such as telephones made of bakelite, combs made of celluloid, car tires made of rubber, or ladies' stockings made of nylon, production of the material increased explosively after the end of the World War II. Today, there is hardly any technical product that does not contain plastic.

According to Geyer et al. (Sci. Adv. 2017), between 1950 and 2015, a total of 8,300 million tonnes of plastics were produced, of which 2,500 million tonnes are still in use. Only two percent of plastics no longer in use were recycled, 14 percent incinerated, and 84 percent – i.e. 4,900 million tonnes – became waste. Only a small portion of this waste was disposed of in landfills; the larger portion was released into the environment.

For some years now, the problems associated with this type of pollution have been attracting public attention, with the media reporting on plastic waste in the world's oceans, packaging waste on farmland, or microplastic particles in the human intestine. It has been pointed out that plastics are hardly biodegradable, and that large plastic parts are pulverized to very small particles, so-called microplastics, by mechanical impact. Microplastics have already been found worldwide; however, its toxicity to the environment and ultimately to humans has not been proven yet. Nevertheless, it is essential to identify and quantify pathways of plastics into the environment and to develop retention and prevention measures. Strategies and technologies for plastics recycling are gaining in importance.

Numerous researchers, institutes and affiliated institutes at RWTH Aachen University are researching solutions to reduce both the input of plastics into the environment and the environmental hazards posed by plastics. In

2019, the Research Institute for Water and Waste Management and the Institute of Environmental Engineering hosted a workshop entitled "Plastics and the Environment." The aim was to provide information about current research activities and technical equipment, to identify possible synergies, and to explore common research questions as well as opportunities for collaboration.

This issue of "RWTH THEMEN" offers insights into the wide range of research conducted at RWTH on "Plastics and the Environment" and identifies future perspectives.

---

### Authors

Professor Dr. Johannes Pinnekamp is holder of the Chair of Environmental Engineering and Water Quality Management.

Vanessa Spelthahn, M.Sc., is a research assistant at the Institute of Environmental Engineering.

---

# Mikrokunststoffe in Umweltproben identifizieren

## Vor- und Nachteile der spektroskopischen, thermoanalytischen und chemischen Analyse

Microplastics have been detected in various environmental media. These includes oceans, rivers, soils, sediments, sludge, and compost. The following research questions should be clarified before embarking on any analysis: What is the goal for which the measurements are needed? What kind of data is useful for answering the research questions? What are the environmental matrices, and what are the default measurement conditions? At RWTH Aachen University, different spectroscopic, thermoanalytical and chemical analytical methods are being applied for microplastic detection. Each of these methods has its strengths and weaknesses. Actually, there is no uniform international standard on sample preparation or analysis protocol for plastics in environmental media; as a result, most studies are difficult to compare.

Mikroplastik wurde in verschiedenen Umweltmedien nachgewiesen, etwa in Meeren, Flüssen, Böden, Sedimenten, Schlämmen und Komposten. Sogar in weit von der menschlichen Zivilisation entfernten Eisproben wurden über atmosphärische Deposition Mikroplastikpartikel gemessen. Oft sind es nur wenige Partikel, die in einer sehr heterogenen und komplexen Matrix nachzuweisen sind. Hierzu muss zunächst eine repräsentative Probe mit einer ausreichenden Menge an Analyten entnommen werden. So sollten bei schwach belasteten Wässern wie Grundwasser oder Trinkwasser zwischen 0,5-5.000m<sup>3</sup> Wasser auf einem Filter angereichert werden, um auch kleinste Mengen Mikroplastikpartikel nachweisen zu können. In stark feststoffhaltigen wässrigen Proben oder Feststoffen stellt die Isolierung der Mikroplastikpartikel aus einer viel größeren Menge an anderen organischen und anorganischen Feststoffpartikeln die größte Schwierigkeit dar. Vor der Analytik ist das Ziel der geplanten Untersuchungen festzulegen. Stehen bei-

spielsweise Bilanzen oder Frachten von Mikroplastik aus Kläranlagen oder in Gewässersedimenten im Mittelpunkt oder Messdaten für ökotoxikologische Untersuchungen? Des Weiteren muss die Frage nach der Dimension und Art der gewünschten Messergebnisse geklärt werden. Hier wird zwischen der Anzahl an Partikeln oder der Masse in einem Umweltmedium unterschieden. Das Umweltmedium und die zur Verfügung stehende Analytik bestimmen die Probenvorbereitung und das Probenvolumen vor der analytischen Untersuchung. Zu den Massenpolymeren, die häufig in der Umwelt nachgewiesen werden, gehören Polypropylen (PP), Polyethylen (PE), Polystyrol (PS), Polyvinylchlorid (PVC), Poly-

ethylterephthalat (PET) und Polyamid (PA). In den Anfängen der Mikroplastikanalytik wurden ausschließlich manuelle mikroskopische Untersuchungen nach einer aufwendigen Probenvorbereitung beispielsweise durch Säuren, Laugen oder oxidierende Substanzen zur Matrixentfernung von organischem Material und anschließender Abtrennung der Mineralik, etwa Sande und Tone, durch Dichtentrennung angewandt. Diese Methode hat den Nachteil, dass das manuelle Auszählen oder die Identifikation von potenziellen Kunststofffragmenten anhand Farbe und Form subjektiv ist. Allerdings kann hier zwischen primärem Mikroplastik – etwa Pellets und Microbeads – und sekundärem Mikroplastik

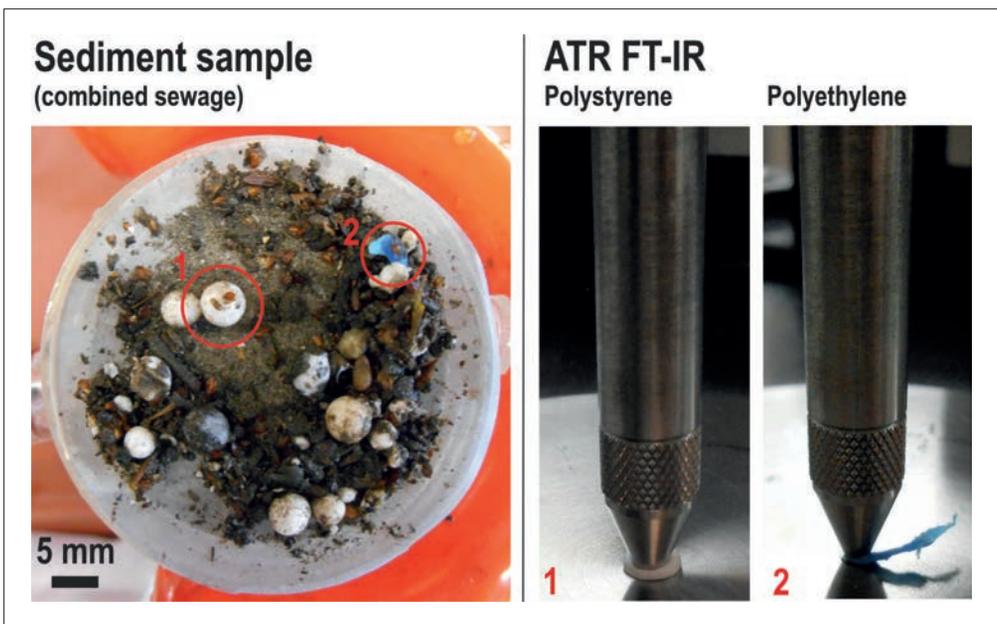


Bild 1: Untersuchung einer angereicherten Mischwasserprobe. Links: Rückstand einer Mischwasserprobe vor der Matrixentfernung und Dichtentrennung. Rechts: ATR-FTIR eines Polystyrol-Partikels (1) und eines Polyethylen-Folienfragments (2)

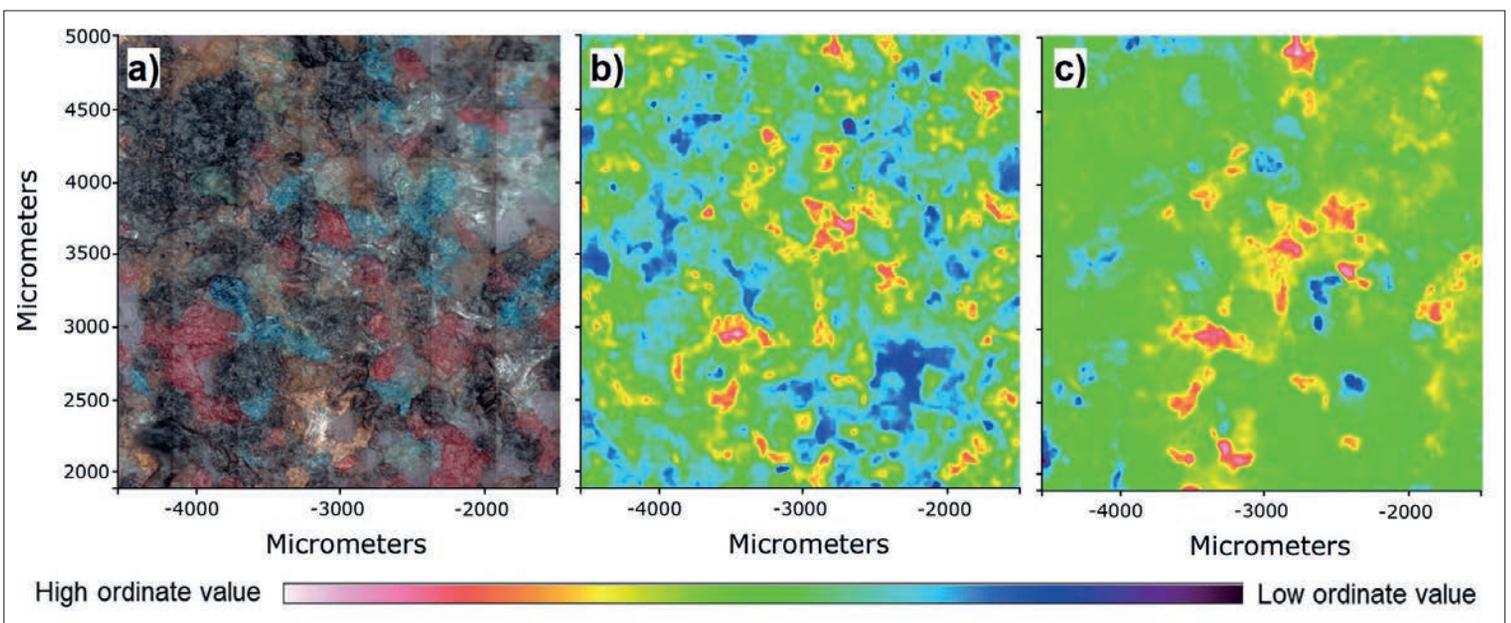


Bild 2: Drei Darstellungen zur Erfassung von Polyethylterephthalat (PET) in einer komplexen Matrix durch  $\mu$ FTIR – a) Visible Image, b) Full Spectral Image für den Bereich 1416 bis 1406  $\text{cm}^{-1}$  sowie c) Full Spectral Image für die Wellenzahl 1425  $\text{cm}^{-1}$ . Die blauen Partikel in a) sowie die roten Anteile in b) und c) repräsentieren PET-Partikel.

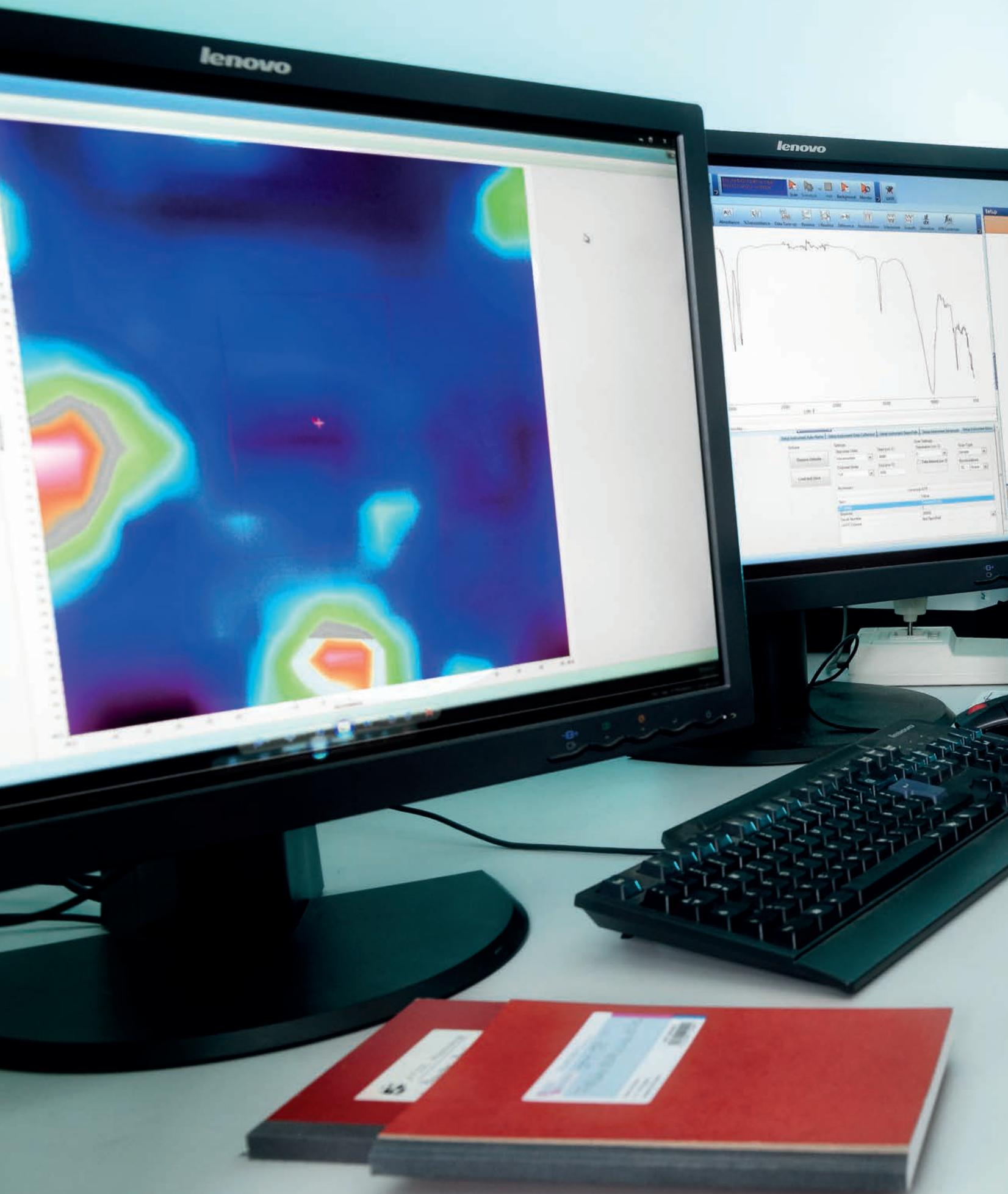


Bild 3:  $\mu$ FTIR-Analysen von Mikroplastik benötigen eine sorgfältige Methodenwahl und eine optimale Einstellung der mikroskopischen und spektroskopischen Messbedingungen  
Foto: Peter Winandy



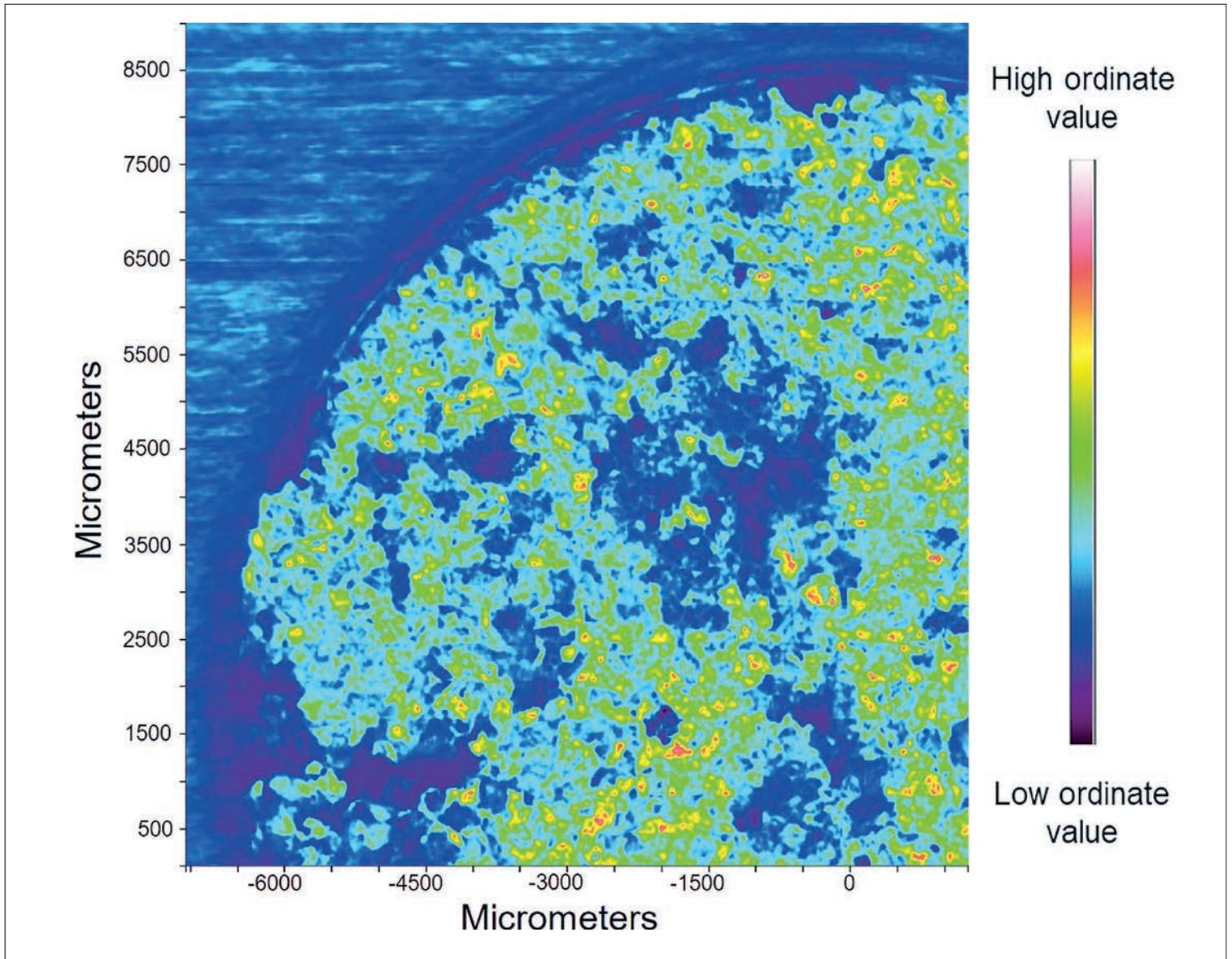


Bild 4: Full Spectral Image für den Wellenlängenbereich 28980 bis 2780  $\text{cm}^{-1}$  in Kombination mit dem Bereich von 1480 bis 1400  $\text{cm}^{-1}$  zur simultanen Identifizierung von Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyvinylchlorid (PVC) und Polyamid (PA).

in Form von Fragmenten und Fasern unterschieden werden.

Am Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle und am Institut für Siedlungswasserwirtschaft werden spektroskopische, thermoanalytische und chemische Analysenmethoden zur Mikro Kunststoffuntersuchung in Umweltproben angewandt. Mit den spektroskopischen Methoden kann neben der Partikelanzahl auch die Polymersorte bestimmt werden. Hierzu zählen die spektroskopischen Methoden Mikro-Fouriertransformation-Infrarotspektroskopie ( $\mu\text{FTIR}$ ) am Labor für organisch-geochemische Analytik oder die Attenuated Total Reflection Fouriertransformation-Infrarotspektroskopie (ATR-FTIR) im umweltanalytischen Labor, siehe Bild 1.

Zur Identifizierung von Mikroplastikpartikeln hat sich in den letzten Jahren die Kombina-

tion von Infrarotspektroskopie und Mikroskopie etabliert. Hier werden die charakteristischen Spektren der einzelnen synthetischen Polymere räumlich sehr fein im  $\mu\text{m}$ -Bereich aufgelöst aufgenommen. Herausforderung ist dabei die Abgrenzung von Mikroplastikpartikeln von der umgebenden organischen Matrix. Beispielhaft ist in Bild 2 die Diskriminierung von PET-Partikeln in einem Flusssediment nach Anreicherung der Partikel durch sequenzielle Korngrößenfraktionierung und Dichtentrennung gezeigt. Die  $\mu\text{FTIR}$ -basierte Erfassung von Mikroplastik ist nicht auf einzelne Polymere beschränkt, sondern kann auch auf eine Gruppe von Analyten erweitert werden. Dies zeigt Bild 4 für die mengenmäßig gebräuchlichsten Polymere PE, PP, PS PVC und PA. Die  $\mu\text{FTIR}$  hat mit 20  $\mu\text{m}$  Partikelauflösung bei wenigen Stunden Messzeit eine niedrigere Nachweisgrenze als

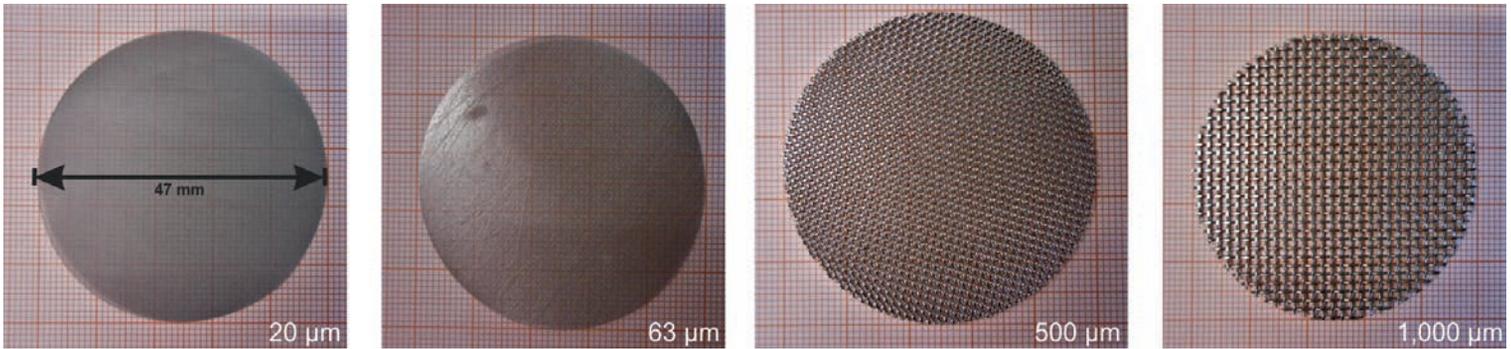


Bild 5: Edelstahlfilterronden zu Anreicherung und Größenklassifizierung von Mikroplastik in Umweltproben.

die ATR-FTIR mit 500 µm minimaler Partikelgröße, diese aber dafür eine kürzere Messzeit von nur wenigen Minuten. Spektroskopische und optische Methoden sind für alle Fragestellungen geeignet, bei denen Form, Partikelanzahl, Oberflächenmorphologie und Polymersorte gefragt sind. Die kleinsten Partikel mit einer Größe bis zu 10 µm lassen sich mit der zur FTIR-Spektroskopie komplementären Raman-Spektroskopie nachweisen.

Bei den thermoanalytischen Methoden gibt es dagegen keine untere Partikelgröße. Hier können alle Polymere aus der homogenisierten Probe untersucht werden, die auf einem Filter oder Netz mit einer unteren Maschenweite von meist 5-300 µm gesammelt wurden.

In größeren Oberflächengewässern und Meeren wird dafür unter anderem der Manta-Trawl mit 250-300 µm Maschenweite eingesetzt. Am Institut für Siedlungswasserwirtschaft werden alle Umweltproben zur Mikroplastikbestimmung auf Edelstahlfiltern verschiedener Maschenweiten aufkonzentriert, chemisch-enzymatisch behandelt und fraktioniert. Je nach Forschungsvorhaben können die Größenfraktionen variabel gewählt werden, siehe Bild 5. Mit den thermoanalytischen Methoden wie der Curie-Punkt Pyrolyse-Gaschromatographie gekoppelt mit der Massenspektrometrie (GC/MS) am Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle oder der Thermoextraktions-Desorptions-GC/MS (TED-GC/MS) lassen sich Polymersorten und Massenkonzentrationen (µg/kg, µg/L) in Umweltmedien, ähnlich wie bei anderen Umweltschadstoffen, direkt bestimmen. Allerdings liefern diese Methoden neben der Konzentration keine Partikelanzahl, Farbe und Form. Eine Probenvorbereitung beziehungsweise

Matrixentfernung ist dabei nicht zwingend, wird aber zur Erhöhung der Nachweisgrenze oft durchgeführt. Die GC/MS ist eine seit vielen Jahren in der Umweltschadstoffanalytik eingesetzte selektive und nachweisstarke Methode. Mit einem entsprechenden Aufgabesystem können Kunststoffe in Umweltproben meist unter Sauerstoffausschluss bei mittleren Temperaturen zersetzt und die für jeden Kunststoff charakteristischen Pyrolyseprodukte identifiziert und quantifiziert werden. Neben den Massenpolymeren wird diese Methode zusammen mit der Elementanalytik auch zur Untersuchung des Reifenabriebs in Straßenabflüssen verwendet. Die thermoanalytischen Methoden werden aufgrund der Automatisierbarkeit für Studien zur Frachtabschätzung und Umweltbelastung von verschiedenen Umweltmedien eingesetzt. Jede der dargestellten Methoden hat Stärken und Schwächen. Bisher setzen die verschiedenen Forschergruppen jedoch meist nur eine der Methoden ein. Am Institut für Siedlungswasserwirtschaft können die Proben zunächst zerstörungsfrei optisch und spektroskopisch untersucht und die Probe anschließend thermoanalytisch quantifiziert werden. Somit lassen sich anhand der Form, Anzahl, Farbe und Polymersorte Abschätzungen zur Herkunft von Mikroplastik – etwa Polyesterfasern aus der Wäsche – durchführen. Weitere Polymersorten und genaue Mengengehalte können anschließend aus der gleichen Analysenprobe thermoanalytisch bestimmt werden. Aktuell existiert international kein einheitliches Probenvorbereitungs- und Analysenprotokoll für Kunststoffe in Umweltmedien zum Beispiel als ISO, CEN oder DIN-Norm, so dass die meisten Studien nur schwer vergleichbar sind. Aus diesem Grund sind das Institut für Siedlungswasser-

wirtschaft und der Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle in der Normungs- und Netzwerkarbeit aktiv.

#### Literatur

- [1] Schwanen, C., Strategies for analysing microplastics in sediments by extended sample treatment and µ-FTIR spectroscopy, 2020, MSC Thesis, RWTH Aachen University.
- [2] Lechthaler, S. E., Dolny, R., Spelthahn, V., Pinnekamp, J., Linnemann, V., Sampling concept for microplastics in combined sewage-affected freshwater and freshwater sediments, *Fundamental and applied limnology*, 2019, DOI 10.1127/fal/2019/1176.
- [3] Braun, U., Jekel, M., Gerdts, G., Ivleva, N., Reiber, J., Diskussionspapier Mikroplastik-Analytik. Probenahme, Probenaufbereitung und Detektionsverfahren, veröffentlicht im Rahmen des Forschungsschwerpunkts „Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze“, 2018, Berlin: Ecologic Institut.

---

#### Autoren

apl. Prof. Dr. agr. Dipl.-Chem. Volker Linnemann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Siedlungswasserwirtschaft.  
apl. Prof. Dr. rer. nat. Jan-Claudius Schwarzbauer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle.

---

# Von der Quelle bis zur Senke

Ganzheitliches Konzept analysiert Transportwege  
von Mikroplastik in Gewässern

Microplastic research at the Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management at RWTH Aachen University investigates the transport of the material from source to sink. A special emphasis is placed on the transport and fragmentation or degradation behavior in the aquatic environment. By the combination of sampling in fluvial and marine waters, physical model experiments and numerical simulations, microplastic behaviour is examined in all areas of the aquatic environment in more detail and thus important directions for further research are identified. Questions such as the transferability of transport approaches from natural sediment transport, the significance of microplastic pollution for fluvial bed formation, and the factors influencing fragmentation and degradation behavior in the environment will be addressed. This holistic approach delivers meaningful results in environmental sampling and numerical simulations and is therefore indispensable in current microplastic research.

Formen, Farben und Eigenschaften von Mikroplastik sind so unterschiedlich wie die Polymere, aus denen es besteht. Hauptsächlich werden die Polymere Polypropylen (PP), Polyethylen hoher und niedriger Dichte (PE-HD, PE-LD), Polyvinylchlorid (PVC), Polyurethan (PU), Polyethylenterephthalat (PET) und (expandiertes) Polystyrol ((E)PS) produziert. Partikel, die mit einem Durchmesser unter fünf Millimeter hergestellt werden, sind als primäres Mikroplastik definiert. Auf größere Kunststoffe, die in die Umwelt eingetragen und dort zu Mikroplastik degradieren oder fragmentieren, wird im Gegenzug die Bezeichnung sekundäres Mikroplastik angewendet.

Da Kunststoff ein persistenter Werkstoff ist, in der Umwelt folglich nicht abgebaut werden kann, akkumuliert sich Mikroplastik dort. Doch wie gelangt es dorthin?

## **Quellen, Transportwege und Senken**

Mikroplastik wird sowohl über punktuelle als auch über diffuse Eintragspfade in die aquatische Umwelt eingebracht. Rückstände aus Kosmetika und Kunstfasern von Kleidungsstücken werden mit dem häuslichen Abwasser in die Kläranlagen transportiert, wo ein Teil in den Klärschlamm abgeschieden wird und ein anderer Teil in das Abwasser der

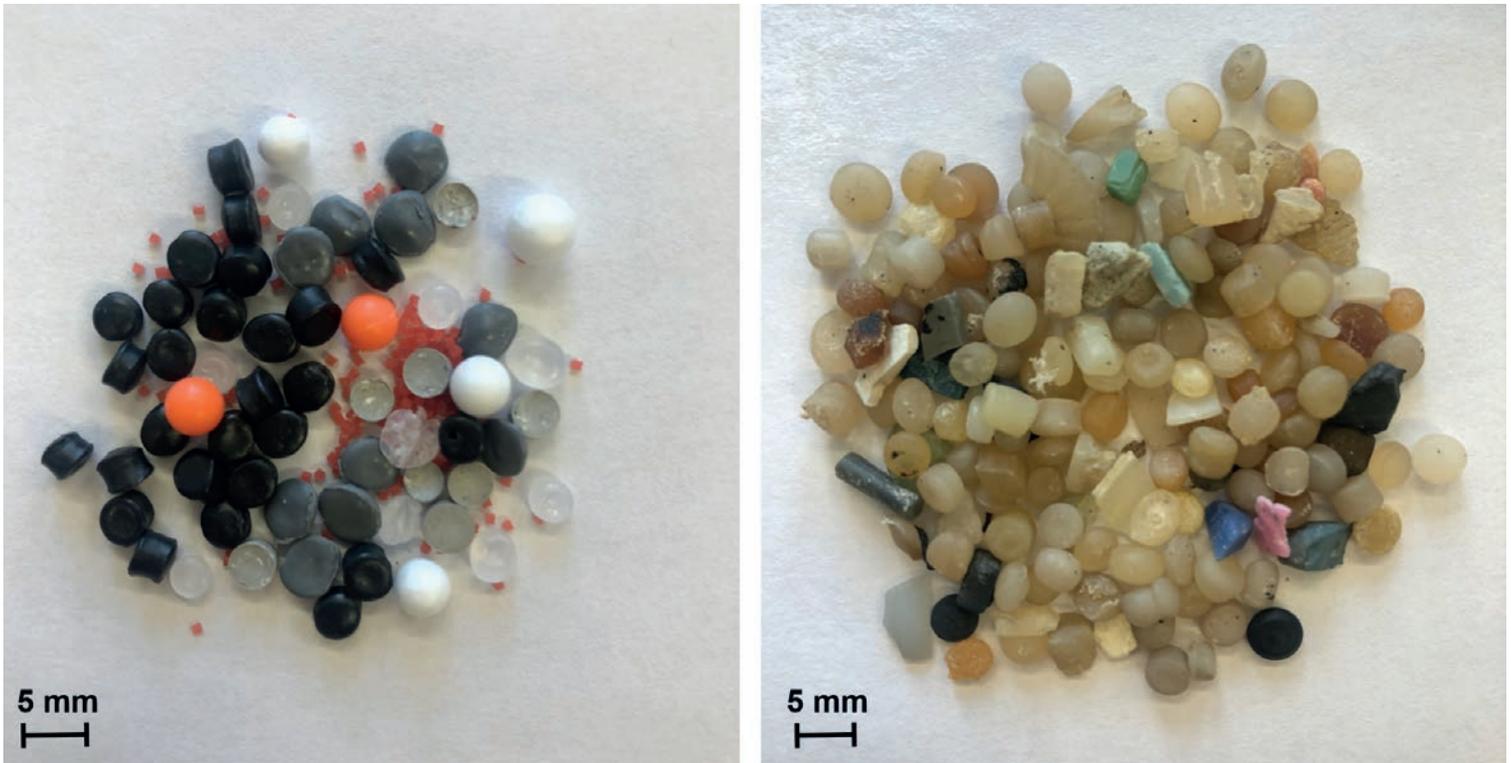


Bild 1: Mikroplastik nach der Herstellung (links) und nach Eintrag und Transport in der Umwelt (rechts).

Kläranlage gelangt. Bei einer Aufbringung des Klärschlammes auf landwirtschaftlichen Flächen kann das Mikroplastik anschließend in der terrestrischen Umwelt wieder freigesetzt werden. Während Kläranlagen somit punktuelle Einleiter von Mikroplastik in die aquatische Umwelt sind, findet im Rahmen der weitergehenden Nutzung des Klärschlammes ein diffuser Eintrag in die Umwelt statt. Wichtige Transportpfade sind außerdem Windverwehungen und Oberflächenabfluss. Dies umfasst beispielsweise den diffusen Eintrag von unsachgemäß entsorgten Kunststoffabfällen, sogenanntes Littering, in die lokalen Gewässer. Auch von Deponien gelangt Mikroplastik durch Sickerwasser in die Umwelt. Zusätzlich zählen Reifenabrieb, Sport- und Spielplätze, ungewollter Stoffeintrag von Baustellen sowie Spezialanwendungen wie Strahl- oder Reinigungsmittel zu den Quellen von Mikroplastik.

Nach der Einleitung in die aquatische Umwelt wird das Mikroplastik in den Fließgewässern entweder mit der Strömung transportiert und gelangt so bis in die Meere und Ozeane, oder lagert sich in strömungsberuhigten Bereichen in die Fluss- oder Seesedimente ab. Bei stärkerem Abfluss, beispielsweise bei Hochwasserereignissen, kann das Mikroplastik remobilisiert und entweder entlang des Flusses

transportiert oder bei Überschwemmungen in die Auensedimente eingetragen werden. In der marinen Umwelt wird Mikroplastik über weite Strecken entweder an der Wasseroberfläche oder in der Wassersäule transportiert, oder es sedimentiert auf den Meeresboden, welcher als finale Senke gilt. Im Küstenbereich besteht zudem die Möglichkeit, dass Mikroplastik an das Ufer angeschwemmt und abgelagert wird. Mikroplastik wurde bereits in allen beprobten Umweltbereichen nachgewiesen und gilt daher als ubiquitär verbreiteter anthropogener Stoff.

Aufgrund der Persistenz des Werkstoffs akkumuliert sich das Mikroplastik in der Umwelt. Die Folgen für Organismen sind jedoch noch nicht umfassend untersucht. Studien zeigen, dass durch Additive, also die Zusatzstoffe im Kunststoff, oder persistente organische Schadstoffe, die sich am Mikroplastik anlagern, toxische Auswirkungen möglich sind. Über Probenahmen konnten bereits hohe Konzentrationswerte von Mikroplastik in Flüssen, Seen und Ozeanen sowie in deren Sedimenten nachgewiesen werden. Die Aussagekraft dieser bisher nur lokalen, zeitabhängigen Werte ist jedoch gering. Nur in Kombination mit den zugrundeliegenden Transportwegen und unter Beachtung der Morphodynamik der Gewässer lassen sich

aussagekräftige Belastungswerte ermitteln. Ein ganzheitliches Betrachtungskonzept, welches mit umweltrelevanten Mikroplastikkonzentrationen arbeitet und die Verteilung von Mikroplastik in den Gewässern betrachtet, soll den Lebenszyklus analysieren und eine Einschätzung für die Zukunft ermöglichen.

### Das Konzept

Das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft will den Transport von Mikroplastik in der aquatischen Umwelt nachvollziehen. Dabei wird der Weg des Mikroplastiks von den Quellen durch die Flüsse bis in die Sedimente der Ozeane untersucht. Da lange Zeit davon ausgegangen wurde, dass sich Mikroplastik in der aquatischen Umwelt wie natürliche Sedimente verhält, war eine hydro- und sediment-dynamische Betrachtung naheliegend. Ob die theoretischen Ansätze aus dem Sedimenttransport auf Mikroplastik übertragbar sind, ist aufgrund der stark unterschiedlichen Partikeleigenschaften jedoch fraglich. Während Sediment eine durchschnittliche Dichte von  $2,65 \text{ g/cm}^3$  aufweist, liegt diese bei Mikroplastik zwischen  $0,02$  und  $2,3 \text{ g/cm}^3$ . Außerdem sind natürliche Sedimentpartikel vorwiegend runde Körner, während die Form von Mikroplastik stark variiert. Daher werden die Transportpro-



Bild 2: Beprobung der Wasseroberfläche mit einem Katamaran im Atlantik mit dem Forschungsschiff METEOR (oben) und im Adyar River in Chennai, Indien (unten links und mittig), Sedimentbeprobung an der Wurm (unten rechts).

zesse von Mikroplastik in fluvialen und marinen Systemen mit denen von mineralischem Sediment verglichen und Rückschlüsse auf die Übertragbarkeit der Ansätze aus dem klassischen Sedimenttransport gezogen. Weiterhin wird das Zeretzungsverhalten von Kunststoffen in der Umwelt untersucht. Da der größte Teil des Mikroplastiks in Gewässern durch die Zerkleinerung von Kunststoffteilen unter Umwelteinwirkungen entsteht, ist eine Betrachtung der Fragmentierungsrate notwendig.

### Die Methodik

Zur Umsetzung des Konzepts nutzt das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft drei Methoden:

- Umweltbeprobungen,
- physikalische Modellversuche und
- numerische Simulationen.

Die Probenahmen dienen dabei verschiede-

nen Zwecken: Zum einen können Akkumulationsbereiche identifiziert, zum anderen kann Mikroplastik innerhalb der Fließgewässer als Indikator für die fluviale Morphodynamik angewandt werden. Probenahmen wurden bereits an regionalen Fließgewässern wie der Wurm und der Inde, aber auch im Atlantik und an indischen Fließgewässern durchgeführt, siehe Bild 2.

Mithilfe physikalischer Modellversuche werden die Transportmechanismen Sedimentation und Aufstieg, Erosion und Infiltration von Mikroplastik detailliert untersucht. Ein Fokus liegt auf den Auswirkungen der Partikelform und -dichte auf das Transportverhalten. Das Kreisgerinne, siehe Bild 3, eignet sich besonders zur Ermittlung der kritischen Schubspannung und damit zur Betrachtung des Erosionsverhaltens von Mikroplastik. Die bisherigen Versuche konnten nachweisen, dass sich das Verhalten von Mikroplastik in

Fließgewässern deutlich von dem natürlicher Sedimente unterscheidet und die theoretischen Ansätze nicht übertragbar sind. Mit der dritten Methode der Mikroplastikforschung, der numerischen Simulation der Transportvorgänge und Fragmentierungseinflüsse, lassen sich Modellversuche nachstellen sowie Flussabschnitte simulieren, siehe Bild 4. Diese Computermodelle müssen jedoch, wie auch die physikalischen Simulationen, validiert werden, weshalb nur durch eine Kopplung der drei Ansätze eine ganzheitliche Betrachtung gewährleistet ist. Ziel ist eine verbesserte Aussagekraft von Umweltbeprobungen und physikalischer Modellierung, indem diese in den hydrodynamischen Kontext gesetzt und die Transportprozesse beachtet werden. So könnten zukünftig Abschätzungen großräumiger Belastungen mit Hilfe numerischer Modelle aus lokalen, zeitabhängigen Probenahmen ermöglicht wer-

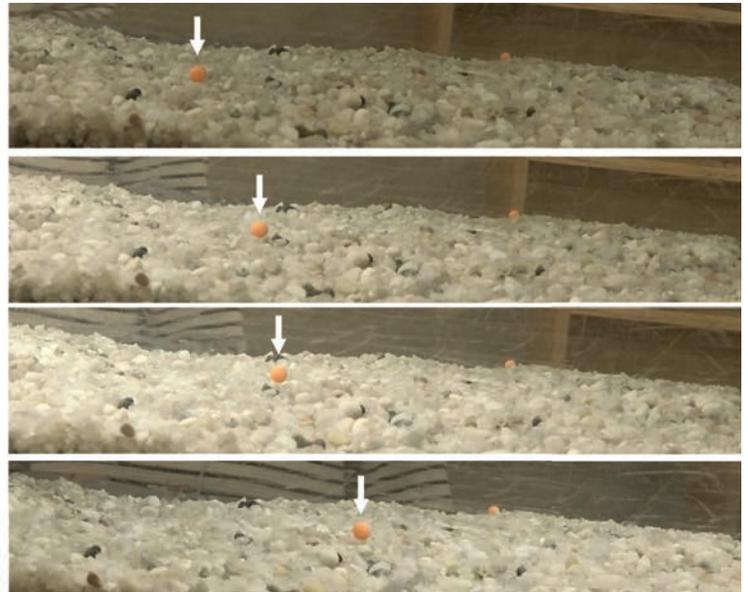


Bild 3: Kreisgerinne des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft (links) und Erosionsprozess einer Mikroplastikkugel (rechts).

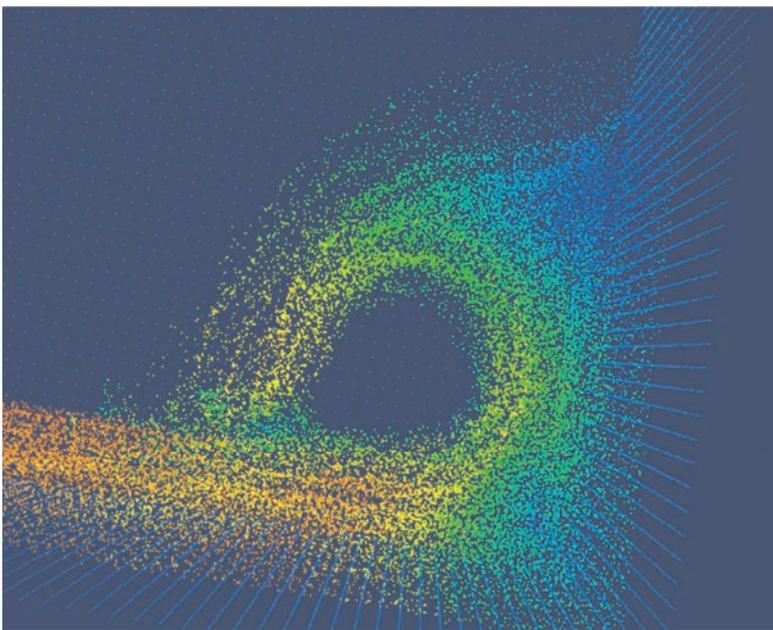


Bild 4: Numerische Simulation (links) und physikalische Modellierung (rechts) einer brechenden Welle zur Verteilung von Mikroplastik in der Brandungszone.

den. Weiterhin erlauben Simulationen die Betrachtung von Parametern wie Geschwindigkeits- und Kraftverteilungen, wodurch Ergebnisse aus physikalischen Modellversuchen mit diesen Daten abgeglichen und kombiniert werden können.

Der Fokus der Kombination von numerischen und physikalischen Untersuchungen liegt dabei aktuell auf dem Degradations- und Fragmentierungsverhalten von Mikroplastik in Küstenbereichen. Die Versuche und Simulationen sollen in Abhängigkeit der Kraftein-

flüsse zeigen, wie lange es dauert, bis größere Kunststoffteile an Küsten zu Mikroplastik zerkleinert werden.

Unter Berücksichtigung dieser drei Methoden kann der Ansatz einer ganzheitlichen Betrachtung verfolgt werden, wobei mit den Ergebnissen der Transport von Mikroplastik in Gewässern von der Quelle bis zur Senke verstanden wird. Zusätzlich wird damit die Grundlage für die Ableitung zukünftiger Forschungsfragen und Kernaspekte innerhalb der Mikroplastikforschung gelegt.

---

## Autoren

Maximilian Born, M. Sc., Simone Lechthaler, M. Sc., und Kryss Waldschläger, M. Sc., sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf ist Inhaber des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft und Leiter des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

---

# Die Bedeutung der Abwasserbehandlung für Mikrokunststoffeinträge in die Gewässer

Qualitative und quantitative Untersuchungen  
zur Reinigungsleistung

Today plastics are the most ubiquitous materials used globally. The global production has increased by about 9 percent per year since 1950, and the plastic industry has become major economic actor. This is also shown by the high contamination of inland waters and the sea by plastic waste. For a long period, wastewater treatment plants (WWTP) were held responsible for the microplastics (MP) pollution of the aquatic environment. But first results show that MP concentrations are higher in discontinuously appearing stormwater tank overflows than in continuously discharging WWTP effluents. The Institute of Environmental Engineering (ISA) is working on several projects researching the MP discharge of drainage systems to answer the question which pathway is more relevant. There is a lack of knowledge of how and how many MP end up in waterbodies according to different discharges.

Im Jahr 2018 lag die weltweite Kunststoffproduktion bei etwa 360 Millionen Megagramm. Kunststoffe sind in ihren verschiedensten Erscheinungsformen und vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zu einem festen Bestandteil des Lebens geworden. Dies zeigt sich auch durch die hohe Kontamination der Binnengewässer und der Meere durch Plastikmüll. Erstmals wurde in den 1970er Jahren über Kunststoffgranulat an der Oberfläche des Nordatlantiks berichtet und die Öffentlichkeit auf diese Problematik aufmerksam. Seitdem beschäftigt die Thematik sowohl Politik und Wissenschaft als auch die Verbraucher. Der Einsatz von Kunststoffen als Rohstoff sowie von bereits weiterverarbeiteten Kunststoffprodukten wird kritisch verfolgt und an manchen Stellen reglementiert. Die EU-Staaten einigten sich im Dezember 2018 darauf, Einweg-Plastikartikel, beispielsweise Trinkhalme, zu verbieten. Im Fokus stehen dabei vor allem die Reduzierung der Gewässerbelastung und die

Frage, welche Eintragspfade für die Gewässerverunreinigung relevant sind. Die Eintragspfade für Mikrokunststoffe kleiner als 5 mm in Gewässer sind vielseitig und die eingetragenen Mengen nur schwer abzuschätzen. Mikrokunststoffe werden unter anderem durch Abfälle direkt oder mit Abwasser über die Entwässerungssysteme indirekt eingetragen. Es wird zwischen primären und sekundären Mikrokunststoffen unterschieden: Primäre Mikrokunststoffe sind Kunststoffgranulate und -zusätze vorrangig als Bestandteile von Kosmetika. Kunststoffabfälle, die im Laufe der Zeit einen immer geringeren Durchmesser infolge von Alterungsprozessen oder mechanischem Abrieb aufweisen, werden als sekundäre Mikrokunststoffe klassifiziert. Lange wurde Kläranlagen eine unzureichende Reinigungsleistung bezüglich Mikrokunststoffen zugeschrieben. Nicht zu vergessen sind jedoch die Misch- und Regenwasserbehandlungsanlagen, die in den verschiedenen

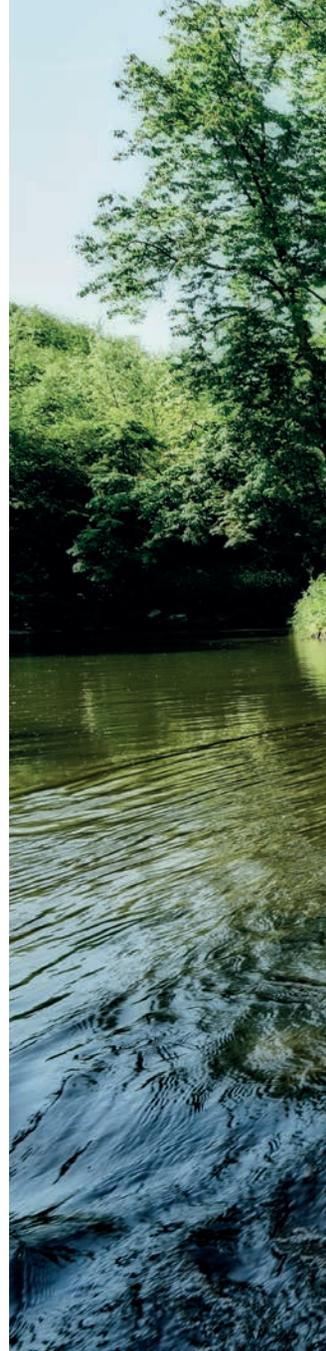




Bild 1: Probenahme in der Wurm am Ablauf der Kläranlage Aachen Soers

Foto: Peter Winandy

Entwässerungssystemen – Misch- und Trennsystem – angeordnet sind.

Im Mischsystem gelangen Schmutz- und Regenwasser (Mischwasser) gemeinsam über einen Mischwasserkanal zur Kläranlage. Im Trennsystem wird das Schmutzwasser über einen Schmutzwasserkanal zu einer Kläranlage und das Regenwasser über einen Regenwasserkanal in ein Gewässer geleitet, siehe Bild 2. Das Regenwasser im Trennsystem wird teilweise vor Einleitung ins Gewässer in einem Regenbecken vorbehandelt. Gering verschmutztes Regenwasser kann versickert werden. Sehr stark verschmutztes Regenwasser, wie es auf Straßen in Industriegebieten mit Schwerlastverkehr anfällt, wird zur Kläranlage geleitet und dort mitbehandelt. Das in Haushalten und Gewerbe anfallende Schmutzwasser wird ebenfalls in der Kläranlage gereinigt.

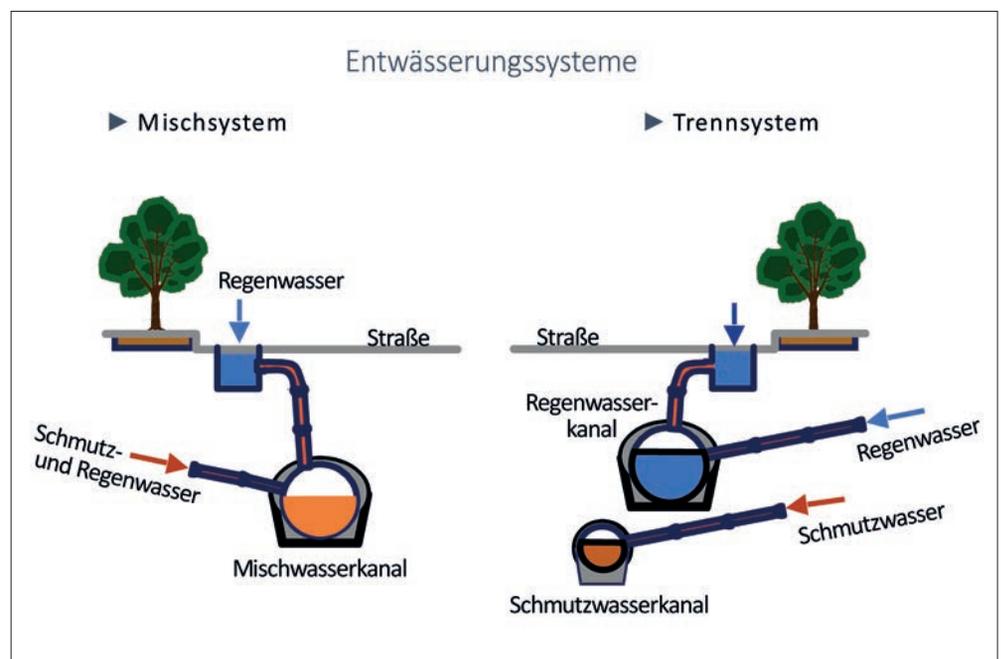


Bild 2: Abwasser kann im Misch- oder Trennsystem abgeleitet werden

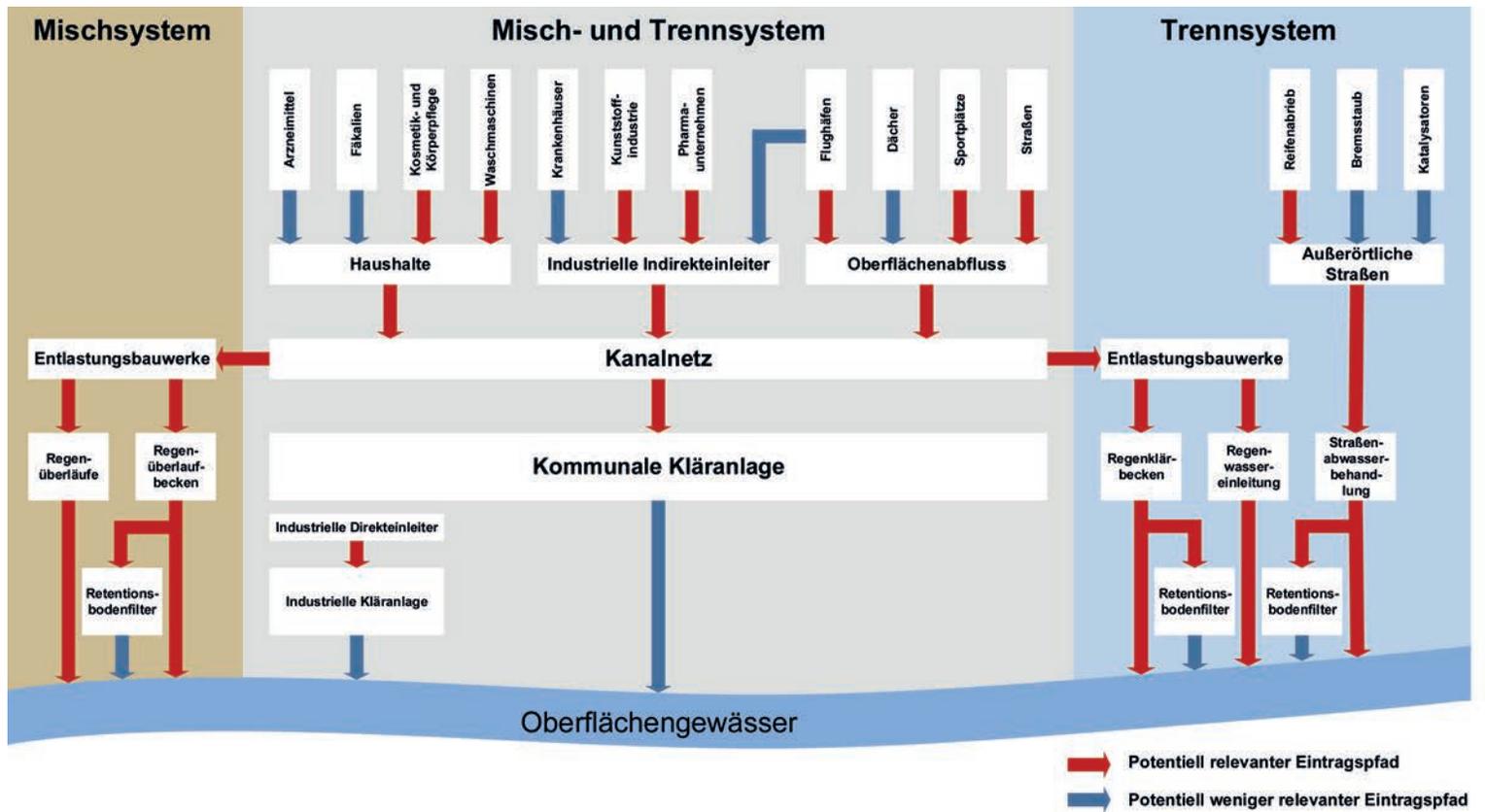


Bild 3: Überblick über die Eintragspfade für Mikrokunststoffe in die Oberflächengewässer

Quelle: Institut für Siedlungswasserwirtschaft

### Regenbecken entlasten Mischwasser in die Gewässer

Bei sehr starken Regenereignissen kann die Kläranlage im Einzugsgebiet einer Mischkanalisation nicht die gesamte Abwassermenge aufnehmen und behandeln, Kläranlage und Kanalnetz müssen dann entlastet werden. Über Trennbauwerke wird das überschüssige Abwasser beispielsweise zu Regenbecken geleitet. In diesen sammelt sich das Abwasser und partikuläre Stoffe sedimentieren. Ist die Kapazitätsgrenze erreicht, wird das Abwasser, das unter anderem Mikrokunststoffe und Reifenabrieb enthält, in das nächstgelegene Gewässer entlastet. Hier erfolgt zwar keine kontinuierliche Abwassereinleitung, dennoch gelangen über das Jahr betrachtet diskontinuierlich erhebliche Abwassermengen während Abschlagsereignissen in die Gewässer.

Im Jahr 2016 gab es in Deutschland 9.105 Kläranlagen, davon 619 in Nordrhein-Westfalen. Dem standen deutschlandweit 49.641 und NRW-weit 5.809 Regenentlastungsanlagen im Misch- und Trennsystem gegenüber. Unberücksichtigt hierbei sind Regenrückhaltanlagen, die nur über eine Notentlastung verfügen, das anfallende Regenwasser zwi-

schenspeichern und zeitlich verzögert zur Kläranlage leiten. In Bild 3 sind die möglichen Eintragspfade für Mikrokunststoffe über Entwässerungssysteme in Oberflächengewässer dargestellt.

Am Institut für Siedlungswasserwirtschaft forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zur Reinigungsleistung von Kläranlagen verschiedener Ausbaugrößen und unterschiedlicher Reinigungstechnologien. Auch werden die Einträge über Regenbecken untersucht. Dies erfolgt unter anderem in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie.

Das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz fördert seit dem Jahr 2016 das Projekt „Eintrag von Mikrokunststoffen aus abwassertechnischen Anlagen – Kläranlagen und Mischwasserbehandlungsanlagen (MiKaMi)“. Drei Kläranlagen in Aachen-Soers, Aachen-Horbach und in Simmerath sowie ein Regenüberlaufbecken (Aachen-Soers, des Wasserverbands Eifel-Rur (WVER)) wurden untersucht. Außerdem wurden Proben am und im Einleitgewässer der Kläranlage Aachen-Soers vor und hinter der Einleitstelle der Kläranlage genom-

men, um die Grundbelastung des Gewässers und den Einfluss der Kläranlageneinleitung festzustellen. Zusätzlich wurde an diesen Stellen das Gewässersediment geprüft. Auch im Projekt „Monitoring und Modellierung von Mikroplastikeinträgen in Gewässer (ReMiEKu)“ – gefördert vom Umweltbundesamt – steht die Probenahme an Regenbecken im Misch- und Trennsystem im Fokus. Hier werden die Konzentrationen in den Entlastungsabflüssen bestimmt und anschließend in ein vom Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie entwickeltes Flussgebietsmanagementsystem „Modeling of Regionalized Emissions“ eingepflegt, so dass Jahresfrachten, die durch Kläranlagen und Regenbecken in die Gewässer gelangen, simuliert und berechnet werden können.

### Probenahme und Probenvorbereitung

Zunächst wurde eine Strategie zur Beprobung verschiedener Matrices und Volumenströme erarbeitet. Für die Untersuchung großer, wenig partikulär belasteter Volumenströme, wie Kläranlagenablauf oder Oberflächenwasser, wurde eine automatisierte Anreicherungsapparatur, siehe Bild 4, entwickelt.

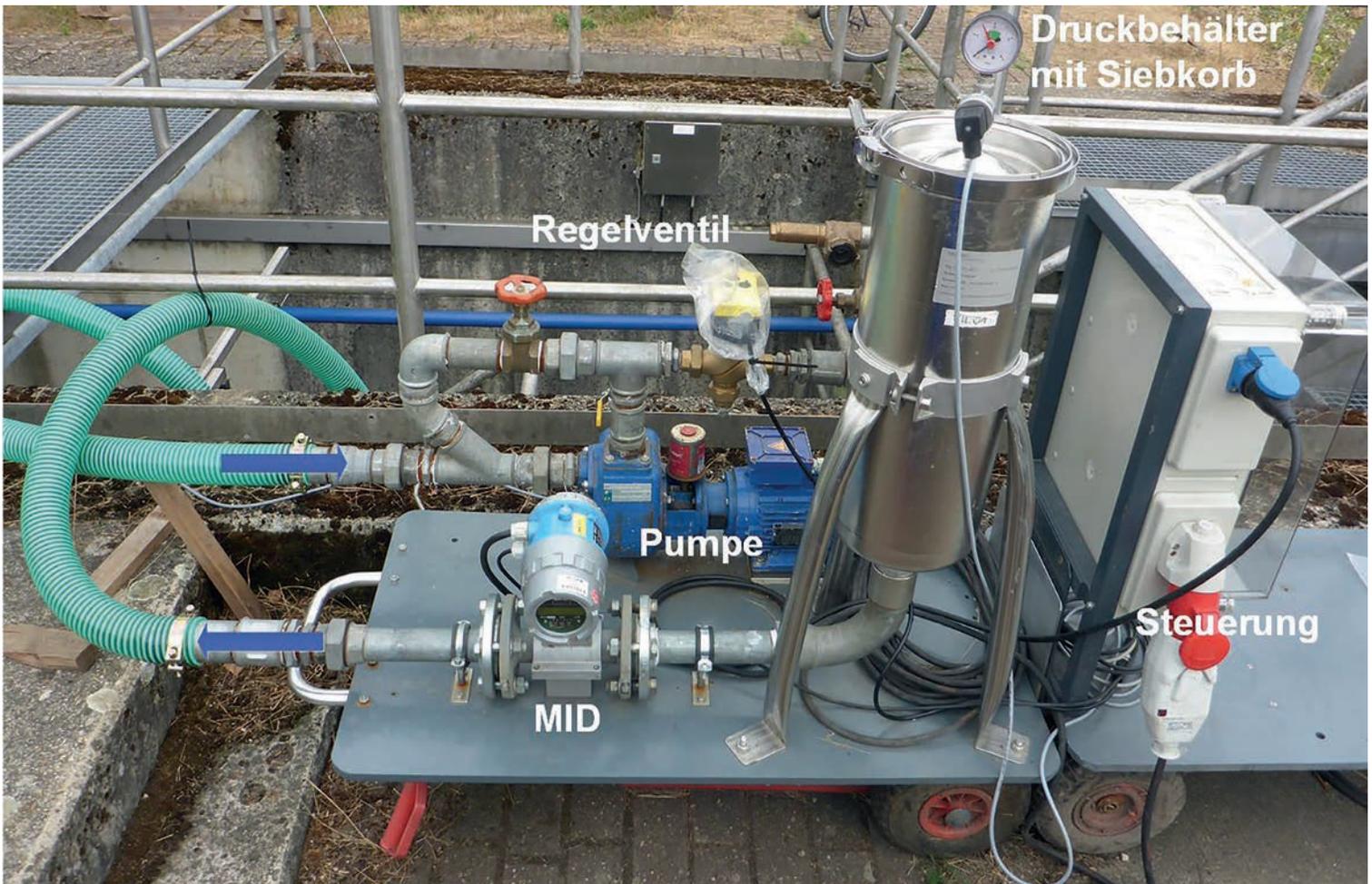


Bild 4: Vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft entwickelte und gebaute Anreicherungsapparatur zur Beprobung feststoffarmer Matrices

Eine Pumpe fördert den Wasserstrom in ein Edelstahl-Beutefiltergehäuse mit Siebkorb-einsatz, dabei findet eine Druckfiltration über den Siebkorb mit einer Maschenweite von 20  $\mu\text{m}$  statt. Die Feststoffe reichern sich auf dem Siebkorb an. Die Beprobung erfolgt also über eine Partikelanreicherung und ohne Wasserentnahme. Mit einem nachgeschalteten induktiven Durchflussmessgerät am Ablauf wird der Durchfluss und das kumulierte filtrierte Volumen erfasst. Eine volumenproportionale Probenahme ist mit Hilfe des Durchflusssignals der Kläranlage, einer speicherprogrammierbaren Steuerung und einem Regelventil an der Apparatur ebenfalls möglich. Eine Beschränkung der oberen Partikelgröße auf die relevante Mikrokunststofffraktion erfolgt durch einen Vorfilter mit fünf Millimeter Maschenweite am Ansaugschlauch der Pumpe. Im Vergleich kann mit dieser Anreicherungstechnik ein großes Volumen untersucht werden. Dies ist für die Aussagekraft entscheidend, da besonders im Ablauf der Kläranlage meist nur wenige Partikel pro Liter vorhanden sind. Außerdem wurde ein analytisches Verfahren zum Nachweis von Mikrokunststoffpartikeln entwickelt und validiert. Das Verfahren bein-

haltet eine Probenvorbereitung, um die organischen und anorganischen Bestandteile der Abwasser-, Gewässer- und Sedimentproben zu entfernen. Die organische Hintergrundmatrix wird mit Chemikalien und Enzymen entfernt, die anorganische wird mittels Dichteseperation abgetrennt. Dafür wird die Probe in eine Lösung mit definierter Dichte gegeben, diese wurde aufgrund der höchsten Dichte der in den Projekten zu untersuchenden Polymerarten ausgewählt. Untersucht werden Polyamid (PA), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polvinylchlorid (PVC), da diese den größten Marktanteil haben. Nach einer Stunde Einwirkzeit haben sich die Kunststoffpartikel von den anorganischen Partikeln getrennt und können abgelassen werden. Durch das Wiegen der Proben, vor und nach der Matrixentfernung, lässt sich zu diesem Zeitpunkt bereits eine Aussage zur Mikrokunststoff-Konzentration in der Ursprungprobe treffen. Weitere Untersuchungen zur Polymerart und Masse werden mittels Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskop und Thermo-Extraktion-Desorption-Gaschromatografie-Massenspektrometrie durchgeführt.





Bild 5: Direkt am Belebungsbecken der Kläranlage Aachen-Soers befindet sich das Forschungszentrum  $\mu 3$  des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, in dem die Probenvorbereitung und Mikrounststoffanalytik durchgeführt wird.  
Foto: Peter Winandy

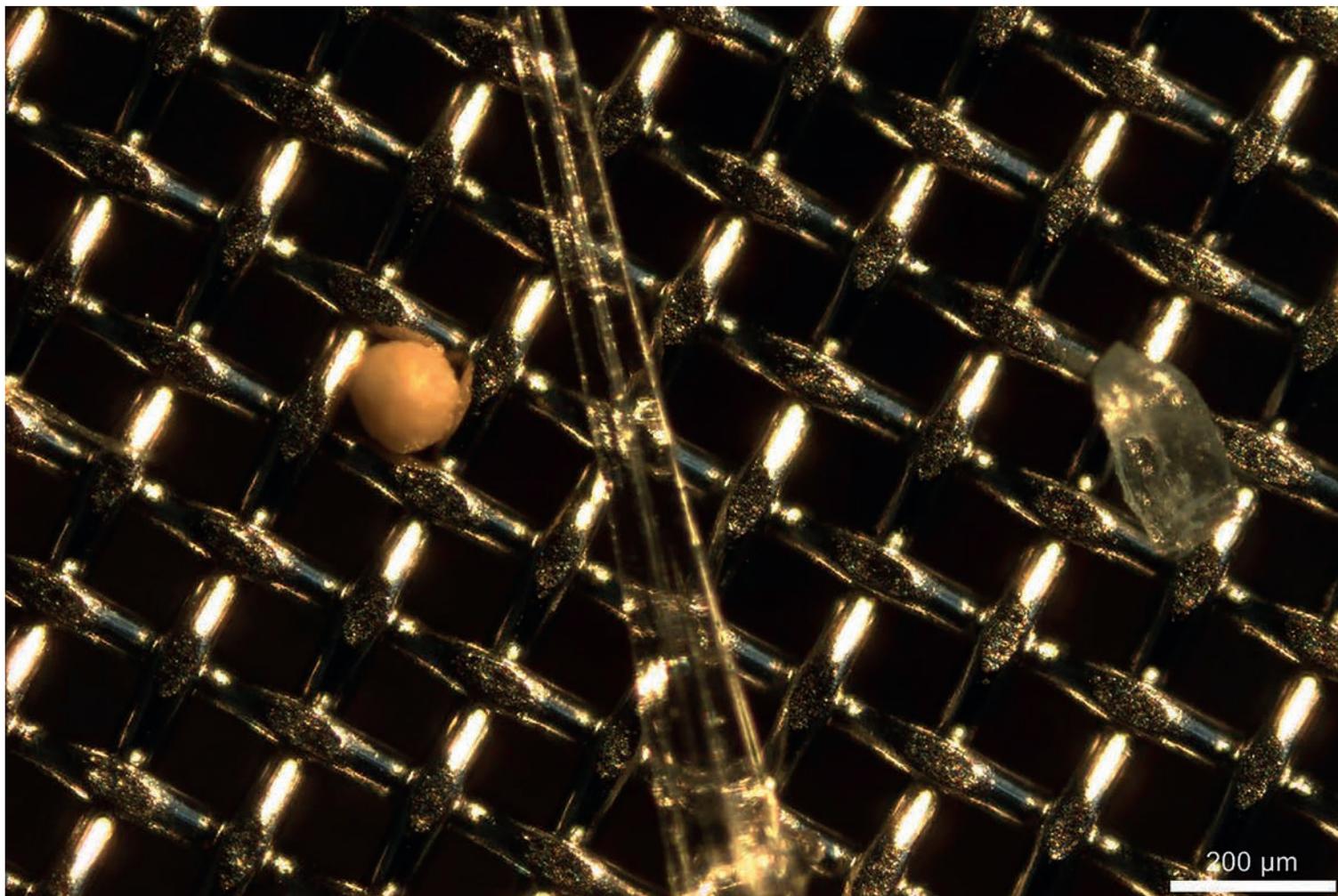


Bild 6: Mikroskopisches Bild einer 100 µm-Edelstahl-Filterronde nach der Matrixentfernung. Zu sehen sind ein Pellet, eine Faser und ein Fragment, die sich im Entlastungsabfluss eines Regenklärbeckens befanden.

### Ökotoxikologisch sind kleine Partikel relevant

Es ist nachgewiesen, dass Schadstoffe an kleinen Partikeln mit großer spezifischer Oberfläche besser sorbieren als an großen Partikeln. Die Mikrokunststoffprobe wird daher größenfraktioniert, um die Massenanteile in den jeweiligen Fraktionen bestimmen und bewerten zu können. Die Trennschnitte liegen projektabhängig bei 20 µm, 63 µm, 500 µm und 1.000 µm (MiKaMi) oder 5 µm, 10 µm, 50 µm, 100 µm, 500 µm, 1.000 µm (ReMiEKu). Im Projekt MiKaMi wurden die Fraktionen in Abhängigkeit der ökotoxikologischen Relevanz und unter praktischen Aspekten ausgewählt. Die Trenngrenze 63 µm deckt sich mit dem Parameter des Feinanteils der abfiltrierbaren Stoffe ( $AFS_{\text{fein}}$ ), der zukünftig einen wichtigen Parameter zur Bemessung von Mischwasserbehandlungsanlagen darstellen wird. 20 µm waren zum Zeitpunkt der Projektbeantragung die kleinstmögliche Maschenweite zur Probenahme. Die weiteren Trennschnitte sind in anderen Studien bereits untersucht worden, so dass die Möglichkeit zum Vergleich der Ergebnisse

gegeben war. Das Projekt ReMiEKu wurde später beantragt und die Entwicklung zur Probenahme und -verarbeitung war weiter fortgeschritten, so dass die untere Trenngrenze mit 5 µm gewählt werden konnte. Die restlichen Fraktionen ergaben sich aus der Angleichung an die Vorgehensweise für die Probenvorbereitung, die im Diskussionspapier des Forschungsschwerpunkts „Plastik in der Umwelt“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung vorgeschlagen wird. Nach der Größenfraktionierung liegen also vier beziehungsweise sechs Fraktionen für die Untersuchung vor.

Die Ergebnisse zeigen, dass Mikrokunststoffkonzentrationen in den diskontinuierlich auftretenden Entlastungsabflüssen größer sind als in den kontinuierlich einleitenden Kläranlagenabläufen. Ein Vergleich der Jahresfrachten kann jedoch nur unter Berücksichtigung der zugehörigen jährlichen Abwassermenge in den Kläranlagen und den Niederschlagsereignissen inklusive der Entlastungsvolumenströme erfolgen. Zusätzlich ist die gute Reinigungsleistung der Kläranlagen mit einer Filtrationsstufe als letzter Reinigungsstufe zu

nennen. Über 99 Prozent der zufließenden Mikrokunststoffmasse wird in Kläranlagen zurückgehalten. Die Reinigungsleistungen sind für sehr komplexe Anlagen als auch für kleine Anlagen vergleichbar. Dabei trägt jede Reinigungsstufe zum Rückhalt bei. Es konnte festgestellt werden, dass bevorzugt die größeren Partikel im Verlauf des Abwasserreinigungsprozesses entfernt werden und die kleineren, ökotoxikologisch relevanteren Partikel in die Gewässer gelangen. Dies gilt auch für die Entlastungsabflüsse der Regenbecken. Es zeigt sich außerdem, dass vor allem Polyethylen und Polyamid in den Proben vorhanden sind, diese werden häufig in der Textilindustrie eingesetzt und können durch die Abwässer aus Waschmaschinen in die Umwelt eingetragen werden.

### Autorin

Vanessa Spelthahn, M. Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Siedlungswasserwirtschaft.



Bild 7: Qualifizierte Stichproben wurden in Abhängigkeit der Probenahmestelle unter anderem manuell mit einem Edelstahlleimer geschöpft.  
Foto: Peter Winandy

# Kunststoff- recycling durch Mikroben

Optimierung der Stoffwechselforgänge  
von Mikroorganismen ermöglicht  
Auf- und Abbau von Plastik

Microbes are able to use many substances as a source of energy and produce a variety of valuable molecules. This ability is utilized at the Institute of Applied Microbiology (iAMB), where microbes are being deployed as “cell factories”: With current tools of microbial engineering and cultivation optimization, microbes are trained to metabolize plastic monomers into molecules of value, as for example bioplastics. In those terms, promising established platform organisms as *Pseudomonas putida* are being applied, while screening for novel potential plastic-degrading microorganisms is included in the research as well. These strategies can pave the way towards a circular bioeconomy, sustainable and independent of fossil resources.

Verschiedenste Mikroorganismen besiedeln sämtliche Lebensräume unseres Planeten. Damit sie auch unter extremen Bedingungen überleben können, haben sie individuelle Strategien zur Nutzung vielfältigster Moleküle als Energiequelle entwickelt. So gibt es auch Mikroorganismen, die einzelne Bausteine von Kunststoffen als Nahrung verwerten können. Wenn Kunststoffe mikrobiell genutzt werden sollen, müssen langkettige Polymere zunächst in kleinere Bausteine zerteilt werden. Dies kann mittels thermochemischer Verfahren oder biologisch durch Einsatz spaltender Enzyme erreicht werden. Die verbleibenden Bausteine, auch Monomere genannt, sollen am Institut für Angewandte Mikrobiologie mit Hilfe von Mikroorganismen als „Zellfabriken“ zu industriell nutzbaren Molekülen umge-

wandelt werden. Ziel ist es, Plastikabfälle als Energiequelle für Bakterien zu verwenden und damit in biotechnologischen Prozessen Kunststoffabfälle zu hochwertigen Molekülen zu transformieren. Ein Beispiel für ein Produkt solch eines mikrobiellen Umwandlungsprozesses ist „Bioplastik“, also ein mikrobiell erzeugtes Polymer (Polyester), welches von Mikroben natürlicherweise als Speicherstoff erzeugt wird und konventionellen Kunststoff in vielen Anwendungen ersetzen kann. Durch die biotechnologische Nutzung von Mikroorganismen zur Verwertung von Abfällen und Produktion nützlicher Moleküle wird ein ökonomischer Wandel weg von fossilen rohstoffzehrenden, linearen Produktionsprozessen hin zu einer zirkulären Ökonomie angestrebt. Um diese Vision zu realisieren,





Bild 1: Diskussion verschiedener Strategien zum Plastik-Upcycling in der Arbeitsgruppe  
Foto: Peter Winandy

werden am Institut für Angewandte Mikrobiologie derzeit mehrere Strategien verfolgt.

#### Vom Alleskönner ...

Im von der RWTH koordinierten Projekt „P4SB – From Plastic waste to Plastic value using *Pseudomonas putida* Synthetic Biology“, gefördert von der Europäischen Union, stand das Bakterium *Pseudomonas putida* im Fokus. Dies ist ein gut erforschter Organismus mit großem Potenzial, verschiedene Plastik-Monomere verstoffwechseln sowie Bioplastik produzieren zu können. Da Mikroorganismen natürlicherweise nicht auf genau die gewünschte Stoffwechselleistung ausgerichtet sind, ist eine Optimierung notwendig. Um *Pseudomonas putida* zum Wachstum auf Kunststoff-Monomeren zu op-

timieren, wird zum einen Metabolic Engineering genutzt: Mittels molekulargenetischer Methoden werden die gewünschten Stoffwechselwege verstärkt, und andere, unerwünschte Stoffwechselwege deaktiviert. Eine alternative Methode ist die adaptive Laborevolution: Unter definierten Bedingungen wird der Mikroorganismus dahin entwickelt, Plastik-Monomere verstoffwechseln zu können. Diese gerichtete Evolution ist aufgrund der kurzen Generationszeiten der Mikroben möglich: Die Mikroorganismen vermehren sich durch Zellteilung innerhalb weniger Stunden. Durch Selektion der Organismen, die es geschafft haben, ihren Stoffwechsel auf das neue Substrat Kunststoff-Monomer anzupassen, findet eine natürliche Optimierung der Stoffwechselwege statt. In Kombination

beider Methoden wird das Substratspektrum vom *Pseudomonas putida* auf diverse Kunststoff-Monomere erweitert.

#### ... zur Aufgabenteilung

Anfang 2020 haben die Forschungsarbeiten im Folgeprojekt „MIX-UP – MIXed plastics biodegradation and UPcycling using microbial communities“ begonnen. Beteiligt sind die Lehrstühle für Biotechnologie, für Technische und Makromolekulare Chemie sowie die Aachener Verfahrenstechnik gemeinsam mit zahlreichen Partnern in Europa und China. Die mikrobielle Verwertung von Plastikabfällen hin zu wertigen Molekülen ist auch hier Ziel. Der Lösungsansatz ist in diesem Fall jedoch, nicht sämtliche Stoffwechselvorgänge in einer Zelle stattfinden zu lassen, sondern in



Bild 2: Aufbau eines Versuchs zur adaptiven Laborevolution im Bioreaktor

Foto: Peter Winandy

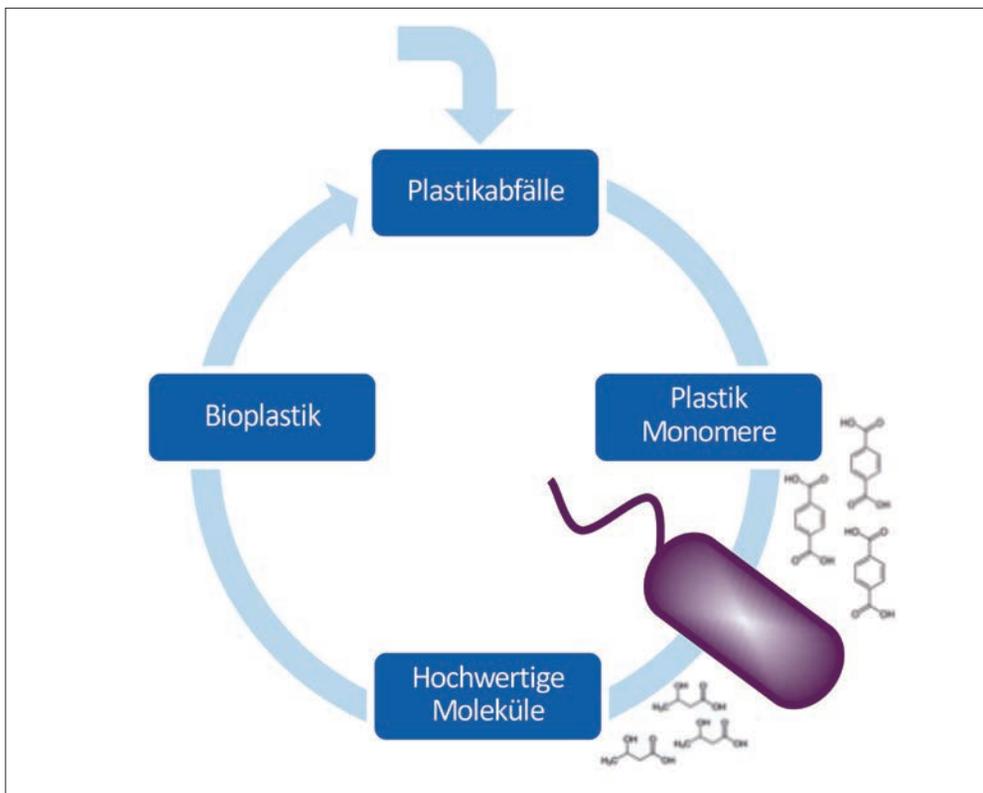


Bild 3: Vision der zirkulären Ökonomie mit Mikroorganismen als Zellfabriken am Beispiel Plastik

einer definierten mikrobiellen Mischkultur die Aufgaben zwischen verschiedenen Stämmen aufzuteilen. Auch hierbei wird *Pseudomonas putida* eine zentrale Rolle spielen. Im ebenfalls 2020 gestarteten ERA CoBio-Tech-Projekt „MIPLACE – Microbial Integration of PLastics in the Circular Economy“ wird ein ähnlicher Ansatz verfolgt. Aus dem vielgenutzten Polymer Polyethylenterephthalat (PET), bekannt als Material von Getränkeflaschen, soll mithilfe mikrobieller Mischkulturen das ebenfalls industriell relevante Polymer Polyurethan (PU) hergestellt werden. Auch das Recycling des Bio-Polyurethans soll im Sinne einer Kreislaufwirtschaft von vornherein mitberücksichtigt werden.

#### **Suche nach potenziellen Plastik-Verwertern**

Eine weitere RWTH-Kooperation findet im Projekt „iMulch“ mit dem Institut für Umweltforschung statt. Hier werden die Auswirkungen von Plastik auf die Umwelt am Anwendungsfall von Mulchfolien in der Landwirt-



Bild 4: Biodiversität auf der Agarplatte: Sichtung von Mikroben mit metabolischem Potenzial

Foto: Peter Winandy

schaft untersucht. Während diese aufgrund positiver Auswirkungen auf Boden und Ertrag wie beständigere Bodentemperatur, Wasserhaushalt und verringerte Erosion eingesetzt werden, ist ein Verbleib von Plastikpartikeln nach Anwendung auf den Feldern wahrscheinlich. Als Alternative zu herkömmlichen, meist aus dem persistenten Polymer Polyethylen (PE) gefertigten Mulchfolien, werden seit einiger Zeit auch Mulchfolien aus biologisch abbaubaren Polymeren eingesetzt. Am Institut für Angewandte Mikrobiologie wird einerseits der Einfluss der Plastikpartikel auf die mikrobielle Gemeinschaft des Bodens untersucht. Zudem wird nach weiteren, vielversprechenden plastikverstoffwechselnden Mikroben gesucht. Dazu werden Bodenbakterien und -pilze, welche potenziell an der Verstoffwechslung beteiligt sind, aus Bodenproben isoliert und im Labor kultiviert. Die jeweilige Abbauleistung wird an der Stoffwechselleistung etablierter Stämme wie *Pseudomonas putida* gemessen. Ziel ist auch hier, Mikroben oder Stoffwechselwege für

eine mögliche biotechnologische Nutzung zum Plastikrecycling zu entdecken. Für den nachhaltigen Einsatz von Mulchfolien sind außerdem Mikroben von Interesse, welche verbleibende Rückstände biologisch abbaubarer Kunststoffe in der Umwelt minimieren und schnellstmöglich eliminieren können. Die Vision der zirkulären Bioökonomie kann zwar mit Mikroorganismen als Haupt-, aber nicht alleinigen Darstellern umgesetzt werden. Zielführende Strategien können nur Hand in Hand mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Bereiche Biotechnologie, Chemie und Verfahrenstechnik entwickelt werden. Darüber hinaus braucht es eine Einbettung in existierende Wertschöpfungsketten. Vielversprechend sind daher gemeinsame Initiativen zur Verknüpfung der Kompetenzen.

---

## Autoren

Kristina S. Bitter, M. Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Angewandte Mikrobiologie.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lars M. Blank ist Inhaber des Lehrstuhls für Angewandte Mikrobiologie und Leiter des Instituts für Angewandte Mikrobiologie.

---

# Ein verkannter Rohstoff: Plastikabfall

Durch Katalyse vom Reststoff zum Wertstoff für nachhaltige Produkte

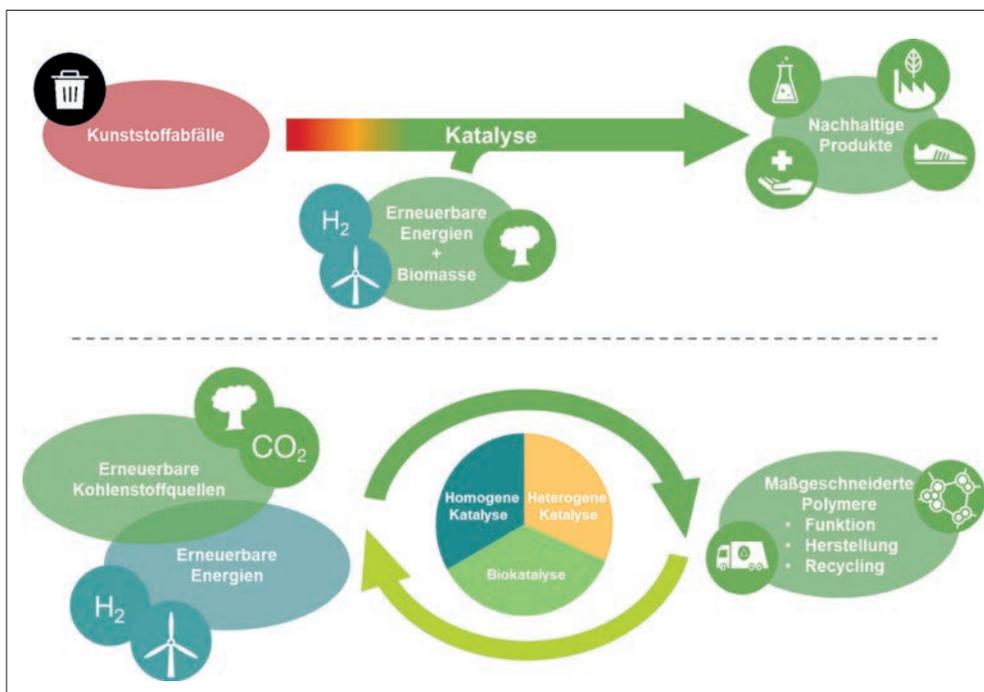


Bild 1: Chemisches Recycling für etablierte Kunststoffe (oben), neue maßgeschneiderte Polymere und Materialien für die zukünftige Kreislaufwirtschaft durch Integration von erneuerbaren Kohlenstoffquellen und erneuerbarer Energien (unten).

Around 70 years ago, plastics became an industrial mass product and subsequently played a central role as versatile consumer products. A broad range of synthetic polymers has been developed and designed to meet the demands of industry and consumers. As a finite resource for these materials, mostly fossil raw materials were used, and only recently it became possible to develop bio-based alternatives. The result is an enormous growth of plastic waste and its accumulation in the environment. In current approaches, new possibilities for material reuse can be developed by including renewable energy and biomass in recycling processes. In this way, adapted recycling processes will in future be able to meet the complex requirements of varying material and energy flows. The aspired goal of a multi-dimensional recycling economy for synthetic polymers is within reach. By translating plastic waste into a valuable carbon resource, an economic incentive is created that prevents future environmental pollution and opens up the basis for new, sustainable and flexible value chains.



Bild 2: Ein Mitarbeiter des Lehrstuhls für Translationale Molekulare Katalyse analysiert die Zusammensetzung der Produkte einer katalytischen Reaktion zum Plastikrecycling. Aus Plastikabfällen können so wichtige Basischemikalien gewonnen werden.

Foto: Peter Winandy

Vor rund 70 Jahren wurden Kunststoffe zum industriellen Massenprodukt. Plastikprodukte spielen heute in vielen Lebensbereichen und Industriesektoren eine zentrale Rolle. Eine stetig wachsende Bandbreite synthetischer Polymere wird entwickelt und produziert, um den vielfältigen Ansprüchen von Industrie und Konsumenten gerecht zu werden. Als endliche Ressource für diese widerstandsfähigen Materialien dienen überwiegend fossile Rohstoffe und erst in jüngster Zeit wurden wenige biobasierte Alternativen industriell erprobt. Nach wie vor ist die beständig steigende Produktion und Verwendung synthetischer Polymere jedoch so lange nicht nachhaltig, wie effiziente Recyclingprozesse für diese Materialien fehlen. Das Resultat ist eine enorme Zunahme von Plastikmüll sowie dessen Akkumulation in der Umwelt. Dies ist eine Herausforderung, deren nachhaltige Lösung es sein muss, Polymere als Rohstoffquelle einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft zu etablieren. In aktuellen Ansätzen erschließen sich neue Möglichkeiten zur stofflichen Wiederverwendung durch die Einbeziehung von

erneuerbarer Energie und Biomasse in Recyclingprozesse. Zudem ist zu erwarten, dass sich unterschiedliche Verfahren und Ansätze in der Praxis in integrierten Konzepten ergänzen. Dadurch können zukünftig adaptierte Recyclingprozesse den komplexen Anforderungen variierender Stoff- und Energieströme in geeigneter Weise gerecht werden.

#### Ausgangslage

Die Europäische Kommission hat vor kurzem einen Aktionsplan angenommen, der zum Ziel hat, in Europa den Übergang von einer linearen Wirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft zu katalysieren. Innerhalb dieser sollen Produkte möglichst lange zirkulieren und am Ende der Nutzung als Rohstoff für neue Produkte zur Verfügung stehen. Die benötigten Prozesse müssen dabei effizient den Abfallstoff recyceln, den Ressourcenbedarf über den gesamten Produktlebenszyklus minimieren und in Summe die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren. Im Jahr 2016 wurden bereits 31,1 Prozent der in Europa vom Endverbraucher gesammelten Kunststoffabfälle genutzt, jedoch dienten

41,6 Prozent der Energiegewinnung und 27,3 Prozent landeten auf Deponien<sup>[1]</sup>. Ursache ist nicht zuletzt das Fehlen von nachhaltigen Möglichkeiten besonders herausfordernde Polymerklassen und Kompositmaterialien stofflich effizient wiederzuverwerten und in die Kreislaufwirtschaft zu integrieren. Somit besteht für die Wissenschaft die zweifache Herausforderung, effektive Recyclingkonzepte für alle etablierten Kunststoffe zu erarbeiten und langfristig neue maßgeschneiderte Polymere und Materialien für die zukünftige Kreislaufwirtschaft, unter Nutzung erneuerbarer Kohlenstoffquellen und erneuerbarer Energie, zu entwickeln. Ein wesentlicher Beitrag kann hierbei durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit der unterschiedlichen Facetten der Katalyse-Forschung – Homogene Katalyse, Heterogene Katalyse und Biokatalyse – erwartet werden, siehe Bild 1.

#### Interdisziplinäre Ansätze

Aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der chemischen und biologischen Katalyse haben den Weg geebnet, auch herausfordernde

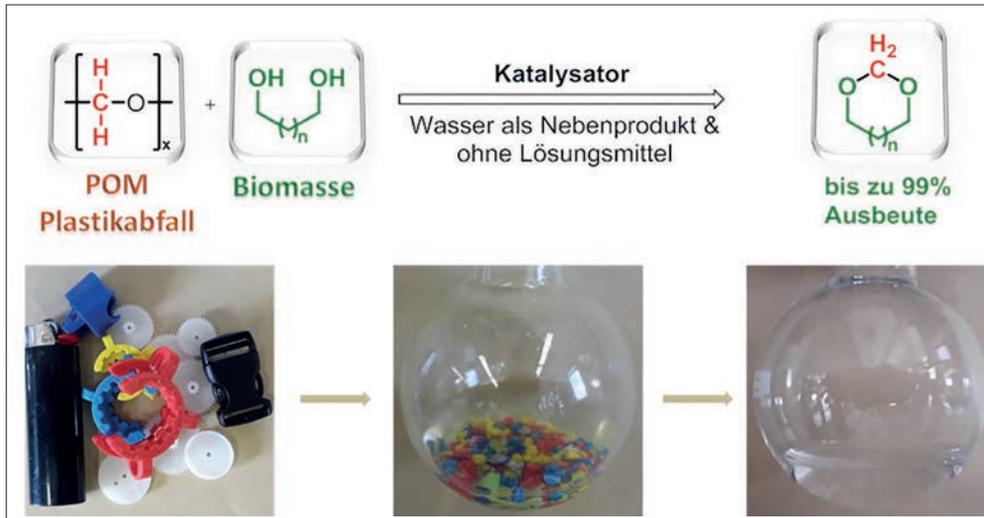


Bild 3: Effizientes Recycling von Polyoxymethylen-Abfällen zu Produkten mit erhöhter Wertschöpfung durch integrierte Biomasse-Verarbeitung.

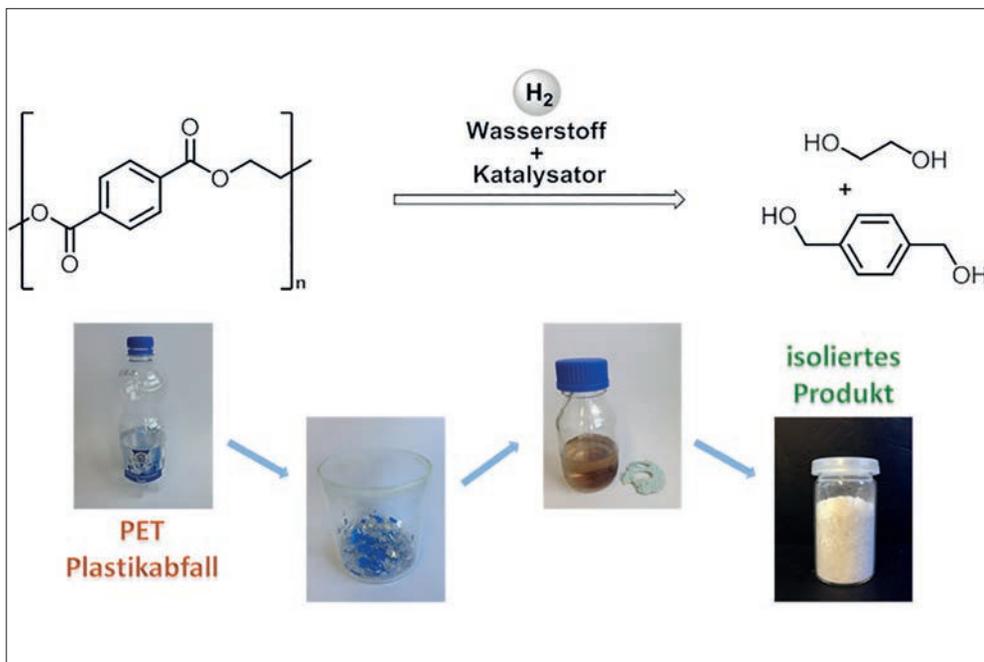


Bild 4: Katalytisches Recycling von Polyester-Konsumgütern durch Integration von Wasserstoff aus erneuerbarer Energie.

Moleküle und Stoffklassen effektiv mit unkonventionellen Ansätzen umzusetzen. Diese Fortschritte wurden besonders an der stofflichen Nutzung von Biomasse sichtbar, wo nun für die drei wesentlichen Bestandteile Cellulose, Hemi-Cellulose und Lignin katalytische Methoden erarbeitet wurden und damit die Grundlage für neue Verfahren gelegt wurde. Diese zielgerichtete Translation in Anwendung wird am von der RWTH koordinierten EU-Projekt „GreenSolRes“ sichtbar. Hier können in einer Pilotanlage der Aachener Verfahrenstechnik aus Holz, über die Plattform-Chemikalie Lävulinsäure, biobasierte Lösungsmittel und Polymere hergestellt werden.<sup>[2]</sup> Zudem gelingt es mit chemischen Katalysatoren auch immer bessere Methoden für die stoffliche Nutzung von Kohlenstoffdioxid, einem extrem reaktionsträgen Mole-

kül, zu entwickeln. Durch Integration von erneuerbarer Energie konnte beispielsweise im RWTH-Exzellenzcluster „The Fuel Science Center“ die Grundlage für effiziente Reaktionskonzepte zur Herstellung von maßgeschneiderten Kraftstoffen aus Kohlendioxid und Biomasse gelegt werden.<sup>[3,4]</sup> Diese Entwicklungen haben nun die Tür geöffnet, mit modernen katalytischen Methoden in interdisziplinärer Zusammenarbeit die Herausforderung einer Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe zielgerichtet anzugehen. Zwei Beispiele für die integrierte Umsetzung von Kunststoffabfällen verdeutlichen diese Ansätze. Die Nachfrage nach Polymeren aus der Klasse der Polyoxymethylene, kurz POM, hat sich in den letzten zehn Jahren verdoppelt, was zu einer Erhöhung der Produktionskapazität auf 1,7 Millionen Tonnen im Jahr

2015 geführt hat. POM-Polymere werden in großem Umfang für die Herstellung einer Vielzahl von Kunststoffprodukten verwendet, etwa Spielzeug, Reißverschlüsse, Kosmetikbehälter oder Stifte. Diese Artikel finden sich typischerweise häufig in verschmutzten Küstengebieten. Darüber hinaus ist der größte Abnehmer dieser Polymere die Automobilindustrie, in jedem Auto gibt es etwa 3000 verschiedenen POM-Komponenten. Das integrierte Recyclingkonzept wird durch die kombinierte katalytische Verarbeitung von Polymerabfällen und Biomasse ermöglicht. Dieser neuartige Ansatz ermöglicht die Herstellung von cyclischen Acetalen, Chemikalien mit erhöhter Wertschöpfung, die flexibel als Lösungsmittel, Kraftstoffadditiv, Polymerbaustein oder pharmazeutisches Zwischenprodukt fungieren können, siehe Bild 3.

Im zweiten Konzept konnte die effektive und selektive katalytische Depolymerisation von Polyester und Polycarbonat-Abfällen durch Integration von erneuerbarer Energie etabliert werden. Die wichtigste Voraussetzung für dieses maßgeschneiderte Recyclingkonzept war die Entwicklung eines adaptierten molekularen Katalysatorsystems, das mit Wasserstoff diese Hydrierungsreaktion ermöglicht. Zukünftig kann für diese Reaktion der Wasserstoff aus erneuerbarer Energie durch Elektrolyse von Wasser genutzt werden. Basierend auf diesem Ansatz werden die Abfälle in die entsprechenden hochwertigen Diole umgewandelt, die in der chemischen Industrie vielfältige Anwendungen finden, siehe Bild 4.<sup>[6]</sup> Zusätzlich kann dieses Verfahren auch zum Recycling von Kompositmaterialien genutzt werden.

Die Nutzung nachhaltiger Kohlenstoffquellen und erneuerbarer Energien ist gleichsam Herausforderung und Chance an der Schnittstelle zwischen Katalyse und Reaktionstechnik.<sup>[7]</sup> Im Schulterschluss mit der Chemie ermöglicht insbesondere die moderne Biotechnologie Synergien für die ökonomische Umsetzung nachwachsender und unkonventioneller Ausgangsstoffe.<sup>[8]</sup> Enzyme – natürliche Katalysatoren – bieten ein breites Reaktionsspektrum, deren Potenzial von der Modifizierung bis hin zur vollständigen Degradierung unterschiedlicher Kunststoffe reicht.<sup>[9]</sup>

#### Ausblick

Die direkte stoffliche Umsetzung mittels maßgeschneiderter Ansätze aus den unterschiedlichen Katalysedisziplinen ermöglicht es, hochfunktionale Polymere zielgerichtet zu



Bild 5: Am Lehrstuhl für Translationale Molekulare Katalyse wird von zwei Mitarbeiterinnen ein Katalyseversuch in einem Reaktor vorbereitet.  
Foto: Peter Winandy

Monomeren abzubauen und zudem durch die Nutzung von erneuerbarer Energie und erneuerbaren Kohlenstoffquellen, Zwischenprodukte mit erhöhter Wertschöpfung zu erzeugen („open loop recycling“). Darüber hinaus eröffnet die integrierte Entwicklung von optimierten Monomeren für die Polymerisation in Kombination mit dem adaptierten Recyclingkonzept den zielgerichteten Zugang zu neuen Materialien für eine nachhaltige und flexible Kunststoff-Kreislaufwirtschaft. Die Vernetzung ambitionierter Verbundprojekte an der Schnittstelle von Chemie, Biotechnologie und Verfahrenstechnik schafft darüber hinaus entscheidende Synergien mit hohem Durchbruchspotenzial auf dem Weg in die Anwendung. Vermittelnd und unterstützend agiert an dieser Schnittstelle das Center for Molecular Transformations (siehe Artikel „Gemeinsam Zukunftsaufgaben begegnen“, Seite 32) mit einem interdisziplinären Forschungskonsortium sowie engagierten Partnern aus Industrie und Interessenverbänden. Das angestrebte Ziel einer multidimensionalen Kreislaufwirtschaft für synthetische Polymere ist greifbar und ermöglicht eine nachhaltige Wiederverwertung und Neuausrichtung von Polymermaterialien. Durch die Translation von Plastikmüll zur wertvollen Kohlenstoffressource wird ein ökonomischer Anreiz geschaffen, der zukünftiger Umwelt-

verschmutzung vorbeugt und die Grundlage für neue, nachhaltige und flexible Wertschöpfungsketten erschließt.

#### Literatur

- [1] [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org)
- [2] [www.greensolres.eu](http://www.greensolres.eu)
- [3] [www.fuelcenter.rwth-aachen.de](http://www.fuelcenter.rwth-aachen.de)
- [4] Beydoun, K., Klankermayer, J., Chem. Eur. J., 2019, 25, 11412-11415.
- [5] Beydoun, K., Klankermayer, J., ChemSusChem, 2020, 13, 488-492.
- [6] Westhues, S., Idel, J., Klankermayer, J., Sci. Adv., 2018, 4, eaat9669.
- [7] Artz, J., Palkovits, R., Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 2018, 14, 14-18.
- [8] Blank, L. M., Narancic, T., Mampel, J., Tiso, T., O'Connor, K., Current Opinion in Biotechnology, 2020, 62, 212-219.
- [9] Wierckx, N., Narancic, T., Eberlein, C., Wei, R., Drzyzga, O., Magnin, A., Ballerstedt, H., Kenny, S. T., Pollet, E., Avérous, L., O'Connor, K. E., Zimmermann, W., Heipieper, H. J., Prieto, A., Jiménez, J., Blank, L. M., in Plastic Biodegradation: Challenges and Opportunities, Ed. Steffan, R., Springer International Publishing, Cham, 2018, pp. 1-29.

---

#### Autoren

Dr. rer. nat. Kassem Beydoun ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Translationale Molekulare Katalyse. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lars M. Blank ist Inhaber des Lehrstuhls für Angewandte Mikrobiologie. Dr. rer. nat. Thomas Fischöder ist Projektmanager im Scientific Integration Team des Center for Molecular Transformations. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Klankermayer ist Inhaber des Lehrstuhls für Translationale Molekulare Katalyse. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Regina Palkovits ist Inhaberin des Lehrstuhls für Heterogene Katalyse und Technische Chemie. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Schwaneberg ist Inhaber des Lehrstuhls für Biotechnologie sowie Mitglied des wissenschaftlichen Leitungsgremiums am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien.

---

# Gemeinsam Zukunftsaufgaben begegnen

Das Center for Molecular Transformations  
unterstützt bei Verbundprojekten

Paving the way for the responsible and sustainable handling of synthetic plastics is a macrosocial challenge that demands close interdisciplinary collaboration between industry and research. The Center for Molecular Transformations operates at the intersection between different disciplines, connecting members from the RWTH Profile Area Molecular Science and Engineering and beyond. Combining project management skills and a solid scientific background, the Center acts as an interface in a broadly based network, facilitates the optimal conceptualization and elaboration of scientific joint project proposals that address essential scientific and socially relevant challenges. Specifically, the Center for Molecular Transformations supports the acquisition and administration of joint projects related to the fields of catalytic chemistry and biology, circular bioeconomy, alternative value chains, and structural transformation within the transition to sustainable resources as well as diverse sectors of the environmental research and evaluation. This conceptual approach provides open spaces for excellent research and education within outstanding joint projects.

Der Weg hin zu einem verantwortungsvollen und nachhaltigen Umgang mit Kunststoffen stellt eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe dar, welche nur durch eine enge Verzahnung zwischen Industrie und Forschung sowie durch eine interdisziplinäre Vernetzung zu bewältigen ist. Um dieser Herausforderung zu begegnen, hat sich im Center for Molecular Transformations ein breit aufgestelltes Netzwerk zusammengeschlossen. Mit dem Ziel, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in einer immer komplexer werdenden Forschungslandschaft optimal zu fördern, wird die Konzeptionierung und Ausarbeitung von Verbundprojektanträgen sowie die Vernetzung mit akademischen, außeruniversitären und Industriepartnern hier aktiv unterstützt. Am Center for Molecular Transformations werden Projektmanagementkompetenzen mit fachlicher Expertise aus dem RWTH-Profildbereich „Molecular Science and Engineering“ sowie darüber hinaus gebündelt. So unterstützt das Scientific Integration Team bei Akquise und Administration großer Drittmittelprojekte, unter anderem in den Kernthemenbereichen nachhaltige Katalyse und Synthese, zirkuläre Bioökonomie, alternative Wertschöpfungsketten, Strukturwandel im Zuge der Rohstoffwende sowie in verschiedenen Bereichen der Umweltforschung und Bewertung. Dieser Ansatz, siehe Bild 1,

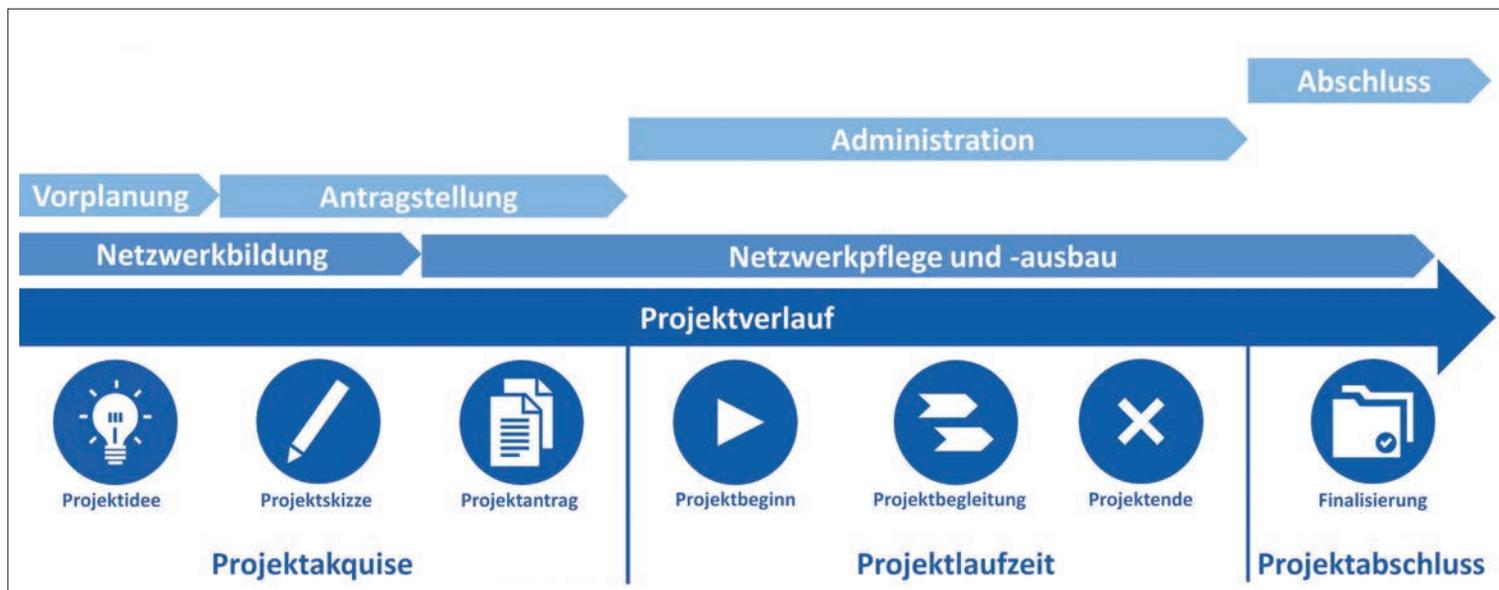


Bild 1: Unterstützende Tätigkeiten des Center for Molecular Transformations

schaft Freiräume für Lehre und Forschung in Projekten regionaler, nationaler oder europäischer Fördergeber. Vom NRW-Strategieprojekt über nationale und europäische Verbundvorhaben bis hin zu internationalen Austauschprojekten begleitet das Center derzeit rund 15 Projekte mit einem Gesamtbudget von über 30 Millionen Euro. Hierzu zählen auch überregional sichtbare Projekte wie das Kopernikus-Projekt Power-to-X, Carbon2Chem®, SusChemSys 2.0, BioSC oder das QuinCAT, welche ihren Beitrag auf dem Weg hin zu einem nachhaltigen und verantwortungsvollen Umgang mit Kunststoffen leisten.

#### Power-to-X

Das zentrale Ziel des Kopernikus-Projektes Power-to-X – gefördert im Rahmen der Kopernikus-Projekte für die Energiewende durch die Bundesregierung – umfasst die Erforschung möglicher Lösungsansätze zur Dekarbonisierung der Energiesysteme und die Verringerung des Verbrauchs fossiler Rohstoffe. Dazu wird durch die flexible Nutzung erneuerbarer Energien ein entscheidender Beitrag geleistet. Solche Nutzungswege bestehen unter anderem in der Energiespeicherung in Form chemischer Verbindungen als Basischemikalien für die chemische Industrie oder in der Herstellung von nach-

haltigen Kraftstoffen für den Mobilitätssektor. Schlüsseltechnologien für eine weitere stoffliche Verwertbarkeit in diesem Bereich bieten Polymerchemie und Kunststoffindustrie. Das Center for Molecular Transformations war maßgeblich an der Vorbereitung der Antragsbeiträge der RWTH für Power-to-X beteiligt, für das die zweite Projektphase kürzlich genehmigt wurde, und fungiert als zentrale Kommunikations- und Koordinationsstelle an der RWTH Aachen.

#### Carbon2Chem® und SusChemSys 2.0

Als alternative Kohlenstoffquelle für die Herstellung von Kunststoffen werden auch Hüttengase von Stahlwerken in Erwägung gezogen. Sie enthalten große Mengen an CO und CO<sub>2</sub>, die unter Einsatz von regenerativ erzeugtem Wasserstoff chemisch zu Grundstoffen für die Polymerherstellung umgewandelt werden können. Im Großprojekt Carbon2Chem® – gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung – arbeitet ein Netzwerk aus Stahlindustrie, chemischer Industrie, Wissenschaft und Energiewirtschaft an der Umsetzung eines flexiblen Carbon Capture and Utilization-Konzepts für die kohlenstoffbasierte Industrie. Im Bereich der Kunststoffe werden im Teilprojekt Carbon2Polymers konkrete Verfahrenskonzepte zur Herstellung von CO<sub>2</sub>-basierten

Polymerbausteinen für die Produktion von Polyurethanen entwickelt, die als Schaumstoffe, Isoliermaterial, Klebstoffe oder Beschichtungen Anwendung finden können. Dabei steht die Senkung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks für die Herstellung der Polymere im Fokus. Dies soll durch eine Kreislaufführung des Kohlenstoffs und den systematischen Einsatz erneuerbarer Energien erreicht werden. Die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff in der Synthesechemie ist auch einer von mehreren thematischen Schwerpunkten des interdisziplinären Doktorandennetzwerks SusChemSys 2.0, das am Center for Molecular Transformations koordiniert wird. Hier arbeiten Doktorandinnen und Doktoranden an verschiedenen Themen der nachhaltigen Synthesechemie und werden durch übergreifende Bildungsformate zusätzlich gefördert.

#### Bioeconomy Science Center

Das Bioeconomy Science Center, kurz BioSC, widmet sich breit aufgestellt unterschiedlichsten Bereichen der Bioökonomie. Themen zur Defossilisierung und Kreislaufführung von Kunststoffen werden hier bearbeitet. Hierzu zählen unter anderem das Bio-Upcycling von Kunststoffabfällen zu biotechnologischen Substraten sowie die Entwicklung biobasierter Monomere oder die Polymersynthese ausgehend von Kunststoffabfällen (siehe Artikel



Bild 2: Für die Entwicklung und Bearbeitung von interdisziplinären Ideen und Projekten ist die Zusammenarbeit in Teams mit Expertinnen und Experten verschiedener Fachgebiete essenziell. Im Center for Molecular Transformations haben sich dazu Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Biologie, Biotechnologie, Chemie, Verfahrenstechnik und weiteren Disziplinen zu einem starken Netzwerk zusammengeschlossen.

Foto: Peter Winandy

„Ein verkannter Rohstoff. Plastikabfälle“, Seite 28). Im NRW-Strategieprojekt BioSC dient das Center for Molecular Transformations der zentralen Administration und Kommunikation an der RWTH zwischen den beteiligten Lehrstühlen und Verwaltungseinheiten sowie dem Projektträger.

### QuinCAT

Die Forschungsinfrastruktur QuinCAT, als Fachinkubator im Bereich Green Chemistry & Engineering, soll Gründungsinteressierten Labor- und Arbeitsplätze für die Vorgründungsphase zur Verfügung stellen. Zusammen mit Europas größtem Technologie-Inkubator, dem Exzellenz Start-up Center der RWTH, wird eine solide Plattform für den Transfer

zukunftsorientierter Entwicklungen in der Chemie und Verfahrenstechnik in eine breite Anwendung geschaffen. Das EFRE-Projekt (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) QuinCAT ist am Center for Molecular Transformations angesiedelt.

### Synergien fördern

Auch vor dem Hintergrund der Nationalen Bioökonomiestrategie und dem Strukturwandel im Rheinischen Revier laufen am Center for Molecular Transformations eine Reihe aktueller Bemühungen und in Vorbereitung befindliche Projekte zusammen, die sich der Thematik einer biobasierten, zirkulären Kunststoffökonomie widmen. Dies sind beispielsweise Bestrebungen zur Realisierung eines

chemisch-katalytischen Kunststoffrecyclings, zur Entwicklung von Nano- und Mikroplastikfängern für aquatische Anwendungen, zur Weiterentwicklung von analytischen Methoden zum Nachweis von Nano- und Mikroplastik in Umweltproben sowie zur Entwicklung neuartiger Polymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe mit gezielt verbesserten Recyclingeigenschaften.

Das Center for Molecular Transformations will weiterhin Synergien fördern und Zukunftsaufgaben gemeinschaftlich sowie nachhaltig begegnen. Neue Kooperationen und Partner sind stets willkommen.



[www.cmt.rwth-aachen.de](http://www.cmt.rwth-aachen.de)



SCHAUEN  
SIE JETZT  
DAS VIDEO



Anzeige



## Wir bleiben auf Kurs.

Regional und international – Trotec setzt weiter auf solides Wachstum. Dafür suchen wir Absolventen und Professionals, die mit Leidenschaft ihre Ideen einbringen!



Ob Luftentfeuchtung, Beheizung, Klimatisierung oder Ventilation – Trotec aus Heinsberg entwickelt, produziert und vertreibt Maschinen zur Klimakonditionierung für Industrie, Gewerbe und Privatkunden.

Weltweit begeistern wir unsere Kunden mit innovativen Produktlösungen. Die Bandbreite an interessanten Aufgabenstellungen in Forschung & Entwicklung, Ingenieurwesen und IT-Lösungen macht das Arbeiten bei Trotec aus und bietet Fach- und Führungskräften aus allen Disziplinen spannende Zukunftsperspektiven. Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir:

- **Elektroingenieur/in** (m/w/d)
- **Ingenieur/in – Kälte-/Klima-/Lüftungstechnik** (m/w/d)
- **Magento-Entwickler/in** (m/w/d)
- **Software-Entwickler/in PHP** (m/w/d)
- **IT-Projektleiter/in** (m/w/d)
- **Product Compliance Manager/in** (m/w/d)
- **Duales Studium – Wirtschaftsinformatik** (m/w/d)
- **Diplomarbeiten – studienbegleitende Praktika** (m/w/d)

### Autoren

Dr. rer. nat. Thomas Fischöder, Dr. rer. nat. Stefanie Gottuck, Dipl.-Biol. Klara Krämer-Klement, Florian Krebs, M. Sc., und Dr. rer. nat. Marc Schmitz (assoziiert) sind Projektmanagerinnen und Projektmanager im Scientific Integration Team des Center for Molecular Transformations.

 **TROTEC**

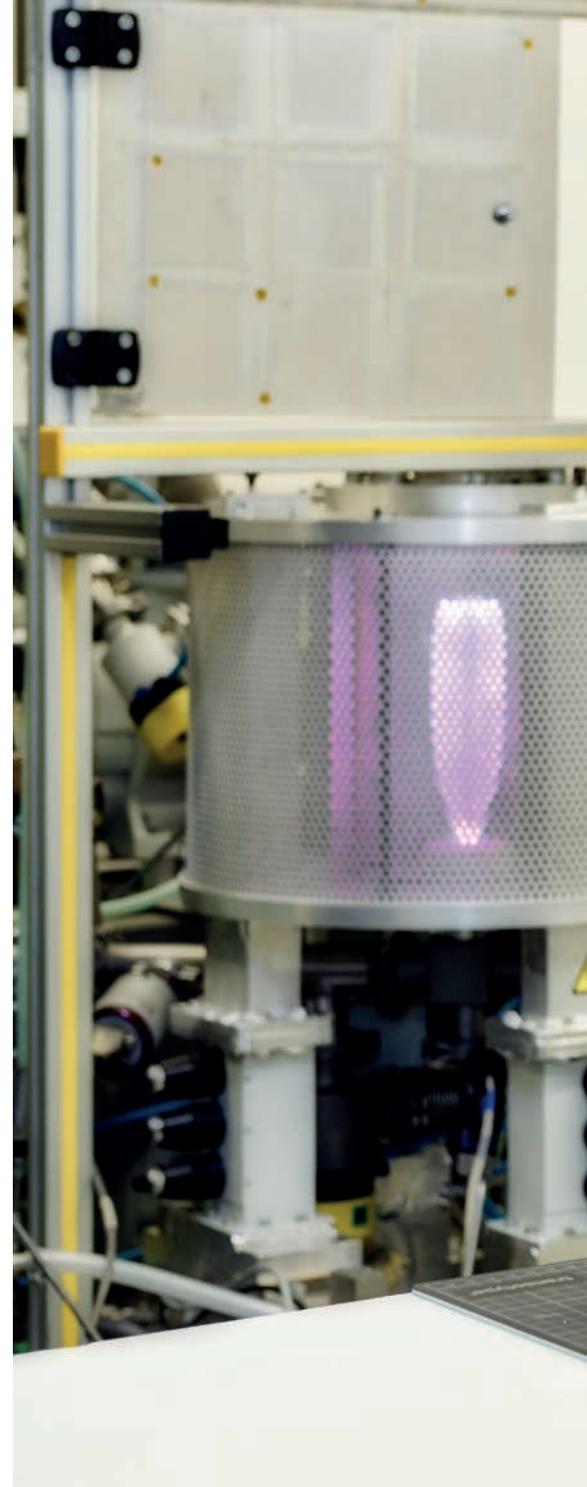
[www.trotec.de/karriere](http://www.trotec.de/karriere)

# Kunststoff- verwertung erneut im Wandel

## Forschungsprojekte zur Kreislaufwirtschaft

In view of recent environmental and socio-political developments, the subject of recycling plastics is receiving a great deal of attention. The unmistakable, partly negative environmental impacts caused by plastic waste are contrasted by the great ecological and economic usefulness and indispensability of plastic products. Mostly linear value-added chains, especially in the case of short-lived plastic products such as packaging, often do not sufficiently ensure that the valuable material flow is recycled appropriately after use. As a result, considerable quantities of plastic waste are (only) recycled for energy or exported to South East Asia. A responsible use of existing material resources is thus developing into an innovation driver for the plastics industry in the course of changing climate and environmental policy objectives as a result of constantly changing legal requirements.

In den letzten Jahren hat sich das Recycling beziehungsweise die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe zu einem viel diskutierten Thema entwickelt. Grundlegend für die Kreislaufwirtschaft ist es, sich die verschiedenen Stoff-, Produkt- und Abfallströme bewusst zu machen. Wenn die Möglichkeiten zur Vermeidung und Verringerung (Reduce) von Abfällen oder zur erneuten Verwendung der Produkte (Reuse) ausgeschöpft sind, existieren verschiedene Ansätze, um effiziente Stoffkreisläufe zu ermöglichen. Bereits in der Entwicklungsphase können Produkte hinsichtlich ihres Recyclings optimiert werden (Design for Recycling), auch die zielgerichtete Konfiguration von Materialverbunden (Material Design for Recycling) führt dazu, dass die Rezyklierbarkeit von Anfang an mitgedacht wird. Zur Rückführung von Kunststoffabfällen in einen Kreislauf wird zwischen dem werkstofflichen und dem chemischen Recycling unterschieden. Das werkstoffliche Recycling ist ein mehrstufiger Prozess von der Sortierung über die Zerkleinerung, Reinigung, Trocknung und die Regranulierung, bei dem die polymere Struktur des Kunststoffs nicht oder nur geringfügig beeinflusst wird. Durch werkstoffliches Recycling von Abfällen aus dem „Gelben Sack“ lassen sich bis zu 800 Kilogramm Kohlenstoffdioxid je Tonne Kunststoff gegenüber der Neuware einsparen. Um jedoch eine branchenweite Umsetzung zu ermöglichen, müssen die Technologien



des werkstofflichen Recyclings deutlich weiterentwickelt und die Recyclingkapazitäten drastisch erhöht werden. Beim chemischen Recycling wird die polymere Struktur in monomere Grundbausteine zerlegt und schließlich durch einen Syntheseprozess wieder zu einem Polymer aufgebaut. In aller Regel kommt das chemische Recycling in Betracht, wenn das energetisch vorteilhaftere werkstoffliche Recycling nicht möglich ist. Ist auch das chemische Recycling technisch nicht realisierbar oder nicht wirtschaftlich umsetzbar, werden Kunststoffabfälle thermisch verwertet. In diesem Fall erlaubt der hohe Energiegehalt der Kunststoffe deren Nutzung anstelle primärer Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Gas zur Energiegewinnung.



Bild 1: Neu entwickelte Barrierschicht für Kunststoffmehrwegflaschen auf dem Weg zur großtechnischen Umsetzung  
Foto: Peter Winandy

Der nachhaltige Umgang mit Kunststoffen macht es erforderlich, dass Vertreter aus Unternehmen, Verbänden und wissenschaftlichen Institutionen an der Entwicklung ökologisch und ökonomisch sinnvoller Recyclinglösungen mitwirken.

### **Chemisches Recycling von Polystyrol im Extruder**

Der Ansatz, Kunststoffe chemisch zu recyceln und somit Polymere wieder in ihre Ursprungsmomere zu zerlegen, die dann erneut und ohne Qualitätsverluste als Grundbaustein für die Herstellung neuer Kunststoffe genutzt werden können, liegt nahe. Die Umsetzung hingegen ist höchst komplex, so dass Projekte zum chemischen Recycling weiterhin zu den Forschungsschwerpunkten zählen. Am

Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen, kurz IKV, wird ein Projekt zum chemischen Recycling von Polystyrol im Doppelschneckenextruder umgesetzt. Polystyrol ist mit einem Anteil von etwa 6,5 Prozent der siebthäufigste Kunststoff in Europa. In Deutschland liegt Polystyrol mit rund sieben Prozent an sechster Stelle. Zahlreiche Anwendungen sind in Bereichen des täglichen Lebens zu finden, etwa in Bau- und Dämmstoffen oder in Produkten der Elektrotechnik sowie Elektronik. Zudem handelt es sich bei Polystyrol um einen bedeutsamen Werkstoff für kurzlebige Verpackungen. Laut PlasticsEurope e. V., dem Verband der Kunststoffhersteller in Deutschland, stieg in den Jahren 2006 bis 2016 die Menge an gesammelten Kunst-

stoffverpackungsabfällen um zwölf Prozent von 14,9 Millionen Tonnen auf 16,7 Millionen Tonnen. Ausgereifte Recyclingkonzepte sowie angepasste Geschäftsmodelle sind also gefragt. Der weitaus größte Anteil mit 85 Prozent entfällt auf sogenannten Post-Consumer-Abfall. Dieser wird in Deutschland über das „Duale System“ gesammelt und enthält verschiedene Arten organischer Abfälle aus Lebensmitteln. Im Falle der werkstofflichen Verwertung bedeutet dies, dass – je nach angestrebter Qualität des Recyclingmaterials – Wasch- und Trocknungsprozesse notwendig sind. Bei einer chemischen Wiederverwertung können die Abfälle ohne Waschen direkt verarbeitet werden. Im Rahmen des Forschungsvorhaben „Recycling von Polystyrol mittels rohstofflicher Ver-





Bild 2: Den Kunststoffkreislauf schließen – chemisches Recycling von Polystyrol im kontinuierlichen Prozess mittels Doppelschneckenextruder

Foto: Peter Winandy

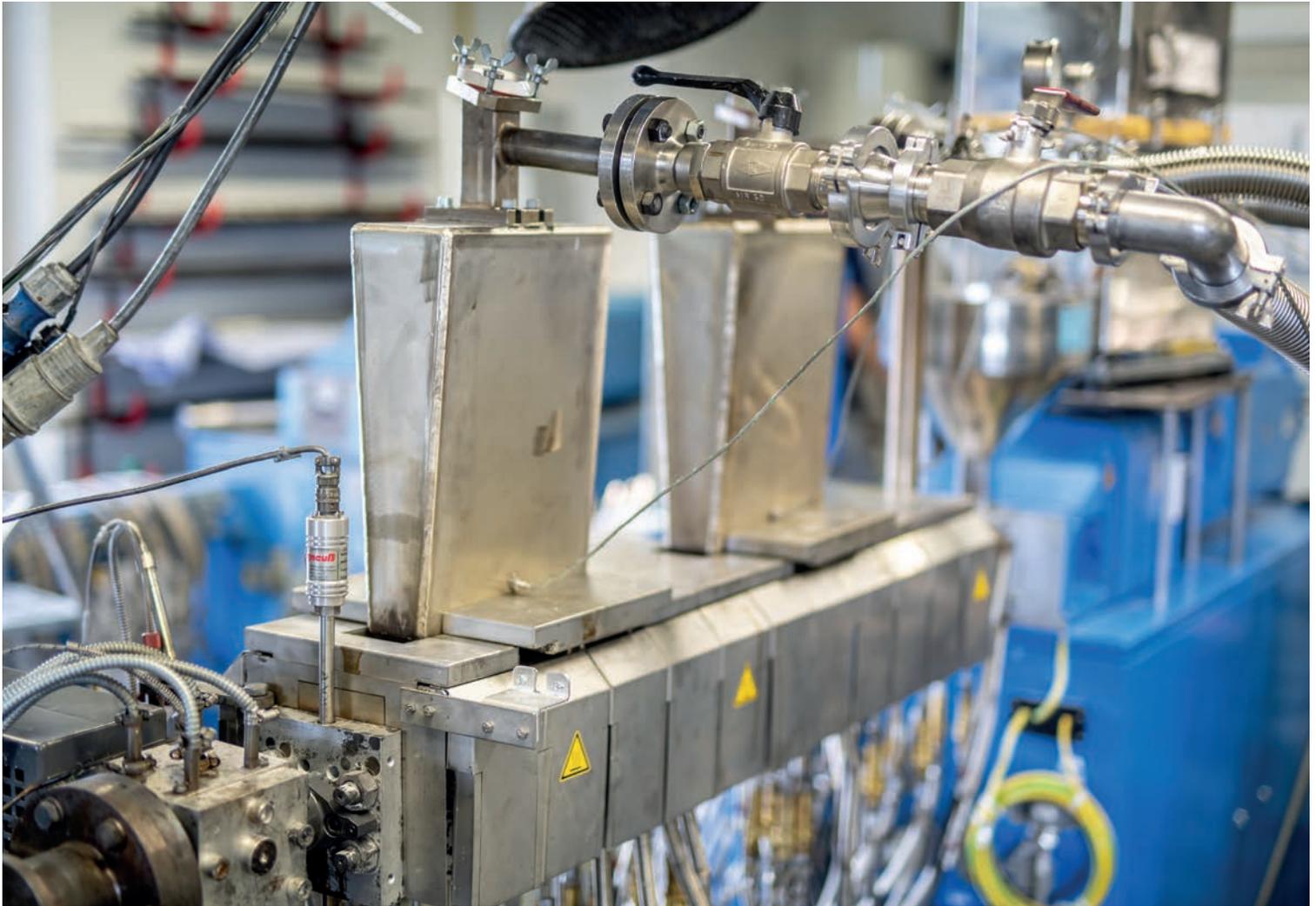


Bild 3: Aufbereitungsanlage zum chemischen Recycling von Polystyrolabfällen

Foto: IKV, Fröls

wertung – Resolve“ entwickelte das IKV mit Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gemeinsam mit der Neue Materialien Bayreuth GmbH, Bayreuth, dem Institut für Aufbereitung und Recycling der RWTH sowie der INEOS Styrolution Group GmbH, Frankfurt am Main, ein Verfahren zum chemischen Recycling von Polystyrol. Ausgangsware waren Polystyrol-Verpackungsabfälle, Endprodukt ist ein aus den gewonnenen Monomeren hergestelltes Polystyrol mit gleichwertigen Eigenschaften der Neuware. Eine Herausforderung lag in der technischen Konfiguration einer Aufbereitungstechnologie sowie einer Prozessführungsstrategie, die im Einklang mit dem komplexen Materialverhalten des Kunststoffes bis zur thermischen Zersetzung stehen muss. Zunächst wird aus dem Gelben Sack eine sortenreine Polystyrolfraktion für den Verwertungsprozess extrahiert. Neben der Sortierung folgt eine Zerkleinerung der Abfälle, damit eine Materialförderung in der Aufbereitung mittels Doppelschneckenextruder möglich ist, siehe Bild 3. Durch die thermische

Aufspaltung der Makromoleküle oberhalb der Verarbeitungstemperatur degradiert der Kunststoff zu Monomeren, Oligomeren sowie flüchtigen Spaltprodukten. Die für die spätere Kunststoffsynthese verwertbaren chemischen Grundbausteine werden im Prozess über einen Kondensationsvorgang abgeführt. Während in Referenzversuchen mit Neuware Kondensatausbeuten von rund 65 Prozent erzielt werden, sind es bei der Polystyrolfraktion aus dem Gelben Sack nur rund 40 Prozent. Dies lässt sich auf Füllstoffe, Fremdpolymere und Schmutzanhaftungen zurückführen, die den verfügbaren Polymeranteil verringern. Die Styrolmonomere dienen zur Synthese von neuem Polystyrol. Der thermische Kettenabbau im Doppelschneckenextruder bietet neben einer kontinuierlichen Prozessführung und hohen Durchsätzen den Vorteil, dass durch die Selbstreinigung der Schnecken Materialrückstände sowie Fremdpartikel abgetragen werden. Die Forschungsergebnisse lassen sich in die Anwendung im industriellen Maßstab überführen.

### **Mehrweggetränkeflaschen aus PET mittels Plasmatechnik**

Der verantwortungsvolle und nachhaltige Umgang mit wertvollen Ressourcen lässt für zahlreiche Produkte ein Optimierungspotenzial erkennen. Ein Beispiel sind Getränkeflaschen aus Kunststoff, die in hohen Stückzahlen hergestellt werden. Im Vergleich mit PET-Einweg- und auch Glas-Mehrwegflaschen schneiden PET-Mehrwegflaschen in der Ökobilanz deutlich besser ab. Das Einsammeln und Waschen der PET-Mehrwegflaschen benötigt bei nicht zu langen Transportwegen weniger Energie als die Neuherstellung und Entsorgung oder der Recyclingprozess von PET-Einwegflaschen. Allerdings ist ihr Anwendungsbereich limitiert. Sauerstoffempfindliche Produkte wie Bier, Wein, Saft oder kohlenensäurehaltige Getränke können bislang nur in PET-Einwegflaschen, Glasflaschen oder Getränkekartons angeboten werden. Die Umstellung von PET-Einwegflaschen und Glas-Mehrwegflaschen auf PET-Mehrweg kann zur deutlichen Reduktion der klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emission beitra-

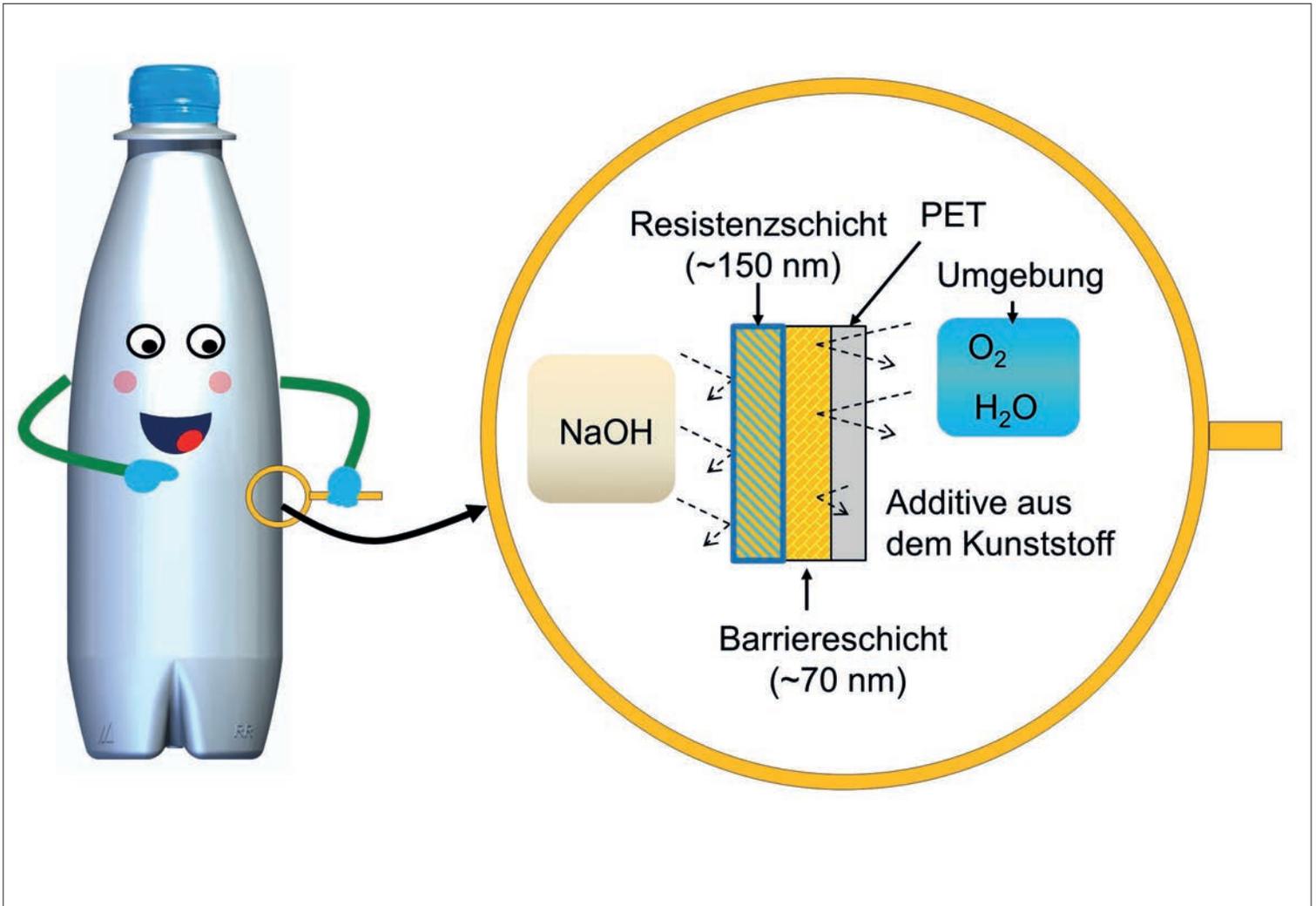


Bild 4: Natronbeständiger Barrierschutz bei der PET-Flaschenreinigung

gen, was die Ökobilanz der Branche entscheidend verbessern würde. Neben den Vorteilen der Bruchsicherheit und der geringeren Masse weist das Material PET im Falle von sauerstoffempfindlichen Getränken den Nachteil auf, dass PET nicht hinreichend dicht gegenüber Gasen ist. Auch Geschmacksmigration aus dem Produkt in die PET-Wand und umgekehrt sorgen für eine eingeschränkte Verwendbarkeit. Aus diesem Grund werden PET-Flaschen bereits seit einigen Jahren auf der inneren Oberfläche mit einer hauchdünnen etwa 80 Nanometer glasartigen Beschichtung ausgerüstet, die diese Effekte verhindert. Nachteilig ist, dass diese Schichten nicht natronlaugebeständig sind: Sie halten den für Mehrwegflaschen üblichen Waschprozessen nicht stand. Die glasartigen Barrierschichten werden mithilfe von Niederdruckplasmen aufgebracht. Plasmaverfahren bieten die Möglichkeit, durch die Variation von Prozessparametern das Eigenschaftsspektrum der Beschichtung in einem breiten Rahmen zu variieren. Bestehende Prozesstechnologien und etablierte

Anlagentechniken werden daher kontinuierlich erforscht, sodass sich die Plasma- und Oberflächentechnik zu einem Forschungsgebiet mit breiter gesellschaftlicher Relevanz entwickelt hat.

Im Rahmen eines Transferprojektes zum Sonderforschungsbereich/Transregio SFB-TR87 „Gepulste Hochleistungsplasmen zur Synthese nanostrukturierter Funktionsschichten“ wird das erarbeitete Grundlagenwissen genutzt, um ein multifunktionales Schichtsystem zu entwickeln, das eine ausreichend hohe Laugenbeständigkeit durch eine Resistenzschicht aufweist und zudem über eine hohe Barriere Wirkung verfügt, siehe Bild 4. Die Prozesse müssen anschließend auf markt-gängige Anlagen zur Innenbeschichtung von PET-Mehrwegflaschen transferiert werden. Hierzu ist eine hochkomplexe Schicht- und Plasmadiagnostik vonnöten. Gemeinsam mit der KHS Corpoplast GmbH, Hamburg, und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Ruhr-Universität Bochum wurde ein funktionales Schichtsystem identifiziert und so weit weiterentwickelt, dass damit ausgerüs-

tete PET-Mehrwegflaschen im Labormaßstab über 20 Waschzyklen unbeschadet überstehen. Mithilfe der Plasmadiagnostik muss nun der Übertrag der Plasmaeigenschaften auf die großtechnische Anlage realisiert werden. Markt-gängige Maschinen sind in der Lage, über 40.000 Flaschen pro Stunde zu beschichten. Am Ende der Projektlaufzeit soll der Prozess in der Lage sein, eine Mehrweg-PET-Flasche für sauerstoffsensible Getränke wie Fruchtsäfte oder Biere zu fertigen.

### Autoren

Dr. rer. nat. Rainer Dahlmann ist außerplan-mäßiger Professor am Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen.

Dr.-Ing. Martin Facklam ist Leiter der Abtei-lung Extrusion und Kautschuktechnologie am Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen.

# Agrar- und Geotextilien in der Umwelt

Forschung zu synthetischen, biologisch abbaubaren Textilien am Institut für Textiltechnik

Textiles are used both in the sea and on land, for example in the form of fishing nets or crop protection fleeces. The textiles are often not properly disposed of or left behind at the place of use, thus polluting the environment. In the textile industry, biodegradable plastics can be used as fiber material, for example for agricultural textiles or disposable packaging. Agricultural textiles such as plant protection fleeces can remain on the field after use and degrade completely. In addition, insect-repellent odorous substances can be incorporated into the plastic to reduce the classic use of pesticides. When the fibers are broken down, the odour substances are slowly released and insects are repelled.

Sowohl im Meer als auch auf dem Land finden Textilien aus Kunststoffen beispielsweise in Form von Fischereinetzen oder Ernteschutzvliesen Anwendung. Diese Textilien werden oft nicht fachgerecht entsorgt oder am Anwendungsort zurückgelassen und belasten so die Umwelt.

In der Textilindustrie können biologisch abbaubare Kunststoffe für Produkte mit einer kurzen Lebensdauer und geringen mechanischen Eigenschaften beispielsweise für Agrartextilien oder Einwegverpackungen verwendet werden. Agrartextilien wie Pflanzenschutzvliese können nach dem Einsatz auf dem Feld verbleiben und dort vollständig degradieren. Zudem lassen sich insektenabwehrenden Geruchsstoffe in den Kunststoff einarbeiten, um den klassischen Pestizideinsatz zu reduzieren. Bei einem Abbau der Fasern werden die Geruchsstoffe langsam freigesetzt und Insekten vergrämt.

Nach European Bioplastics e.V. sind Biokunststoffe Kunststoffe, die entweder biobasiert und/oder biologisch abbaubar sind<sup>[1]</sup>. Das Angebot von Biokunststoffen ist auch bei einem breiten Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten begrenzt. Dies ist auf die eingeschränkte ökonomische Wettbewerbsfähigkeit zurückzuführen: Gegenüber herkömmlichen synthetischen Kunststoffen sind Biokunststoffe bei teilweise schlechteren mechanischen Eigenschaften teurer<sup>[2]</sup>. Durch die Möglichkeit, Produkte aus Biokunststoffen am Ende ihrer Nutzung zu kompostieren, ergeben sich Märkte und Anwendungen, die mit herkömmlichen synthetischen Kunststoffen nicht bedient werden können. Kunststoffe, die nicht biologisch abbaubar sind, zerfallen in kleinere Fragmente, sogenanntes Mikroplastik. In Bild 1 ist ein Kunststoffgewebe aus nicht biologisch abbaubarem Kunststoff dargestellt, das über ein

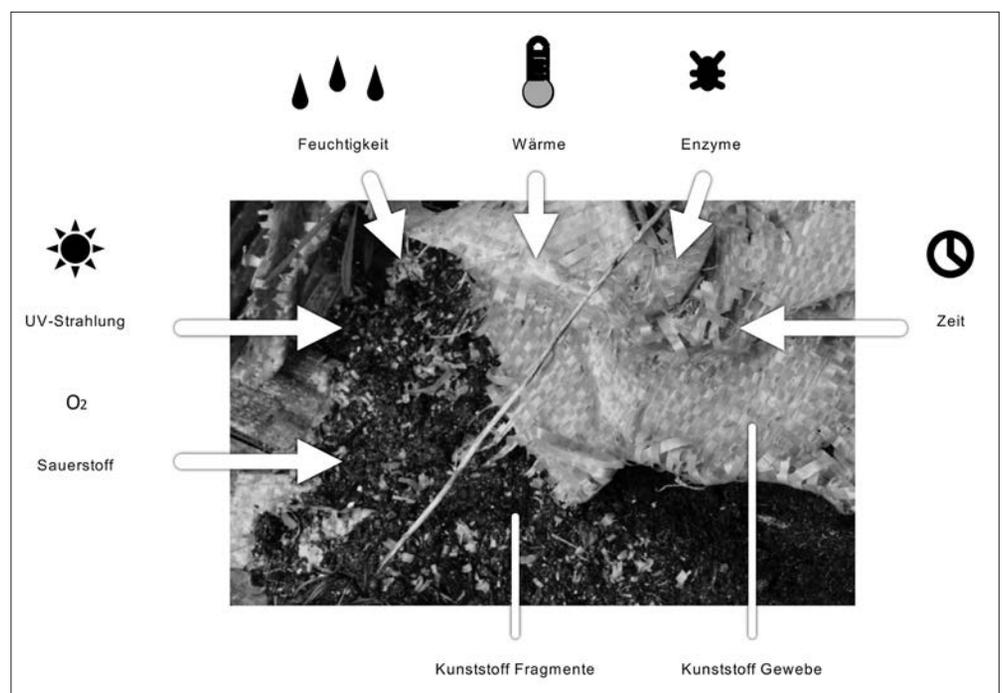


Bild 1: Teilweise abgebautes Kunststoffgewebe

Jahr verschiedenen Umwelteinflüssen ausgesetzt war. Der Zerfall des Textils in Kunststofffragmente ist deutlich zu erkennen. Zu den Umweltbedingungen, die das Abbauverhalten von Kunststoffen beeinflussen, zählen UV-Strahlung, Temperatur, Zeit, Enzyme, Feuchtigkeit und An- oder Abwesenheit von Sauerstoff sowie die Anzahl, Aktivität und Art der Mikroorganismen<sup>[3]</sup>.

Kunststoffe, die durch die Aktivität von Mikroorganismen in ihre molekularen Bestandteile zerlegt werden können, werden als biologisch abbaubar bezeichnet. Ausschlaggebend ist dabei nicht der Rohstoff, aus dem der Kunststoff hergestellt wird: Die Herstellung von biologisch abbaubaren Kunststoffen ist sowohl aus fossilen Rohstoffen als auch aus nachwachsenden Rohstoffen möglich.

### Abbaubarkeit on demand

Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen können sich unter Umweltbedingungen durch Mikroorganismen und in Gegenwart von Sauerstoff in Kohlenstoffdioxid, Wasser und Salze anderer vorhandener Elemente sowie neuer Biomasse zersetzen. Dies kann vor allem bei Textilien, die in der Natur eingesetzt werden, vorteilhaft sein. Sogenannte Geo- oder Agrartextilien finden beispielweise im Straßenbau oder der Landwirtschaft Anwendung.

Am Institut für Textiltechnik wird untersucht, inwieweit die Geschwindigkeit der Alterung beziehungsweise des biologischen Abbaus der Textilien bei verschiedenen Umgebungsbedingungen eingestellt werden kann. Die Umgebungsbedingungen variieren je nach Standort und Jahreszeit. So müsste ein Agrartextil im Winter in Schweden andere Anforderungen als eines im Sommer in Spanien erfüllen. Zur Einstellung der bedarfsgerechten Abbaubarkeit wird unter anderem die Querschnittsform der Fasern variiert, siehe Bild 2.

Die Anwendungen der biologisch abbaubaren Fasern und Textilien sind vielseitig. Sie können beispielsweise als Pflanzenschutz-

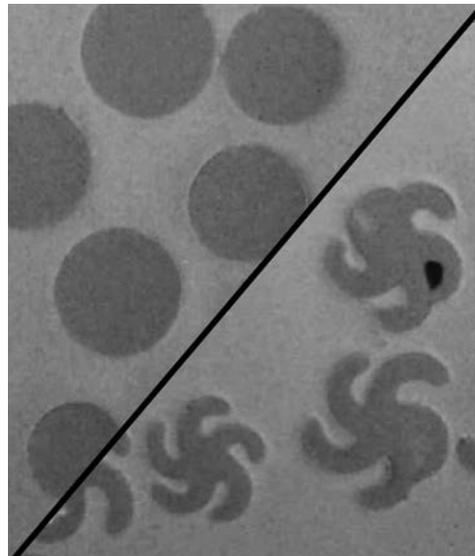


Bild 2: Untersuchungen zur biologischen Abbaubarkeit von Fasern mit unterschiedlichen Querschnitten

vlies im Obst- oder Gemüseanbau oder zur Bedeckung von Böschungsbepflanzungen eingesetzt werden.

### Abwehr von Insekten

Im Obst-, Wein- und Gemüseanbau werden Agrarnetze verwendet, um die Ernte vor Witterung und Organismen zu schützen. Insektenschutznetze werden besonders in den letzten Wochen vor der Ernte eingesetzt, in denen aufgrund der gesetzlich vorgeschriebenen Wartezeiten keine Insektizide aufgetragen werden dürfen. Da solche Netze die Pflanzen beschatten und damit die Ernte verzögern, werden die Einsatzzeiträume minimiert. Außerdem steigt mit der Nutzungsdauer das Risiko der Beschädigung der Netze durch Umwelteinflüsse, wodurch Risse in den Netzen entstehen und die Schutzwirkung reduziert wird.

Am Institut für Textiltechnik wird untersucht, neben der mechanischen Barriere eine weitere Funktion in die Netze zu integrieren. Hierdurch bleibt die Schutzwirkung auch nach einer Beschädigung erhalten und es wird eine längere Verwendung ermöglicht. Dazu werden die Filamente durch ein Netz mit Träger-

material mit insektenabwehrenden Geruchsstoffen ummantelt. Durch die Verwendung eines biologisch abbaubaren Trägermaterials wird dieses spröde und gibt die Geruchsstoffe über einen definierbaren Zeitraum frei. Der Aufbau ist in Bild 3 dargestellt.

Untersuchungen an einem Olfaktometer zeigen, dass mit mehreren Geruchsstoffen auch nach der Einarbeitung in die Trägerstoffe Insekten nach der Filamentextrusion vergrämt werden können. Es befanden sich bis zu 90 Prozent weniger Insekten auf den funktionalisierten Filamenten als auf den Referenzproben, sodass eine zusätzliche Schutzwirkung im Fall von Rissen in den Textilien besteht. Für eine Erhöhung der Maschenweite aufgrund der Funktionalisierung muss diese Quote jedoch weiter erhöht werden.

### Literatur

- [1] European Bioplastics e.V.: Global production capacities of bioplastics 2016 (by market segment). <http://www.european-bioplastics.org/market/market-drivers/>
- [2] Beier, W., Umweltbundesamt, Ist Mikroplastik problematisch?, Dessau-Roßlau, 2009, <http://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/ist-mikroplastik-problematisch>, Zugriff am 24.04.2017
- [3] Endres, H., Siebert-Raths, A., Technische Biopolymere, München, Carl Hanser Verlag, 2009
- [4] DIN SPEC 1165 DIN-Fachbericht CEN/TR 15822, Kunststoffe – Bioabbaubare Kunststoffe in oder auf Böden – Verwertung, Entsorgung und verwandte Umweltthemen

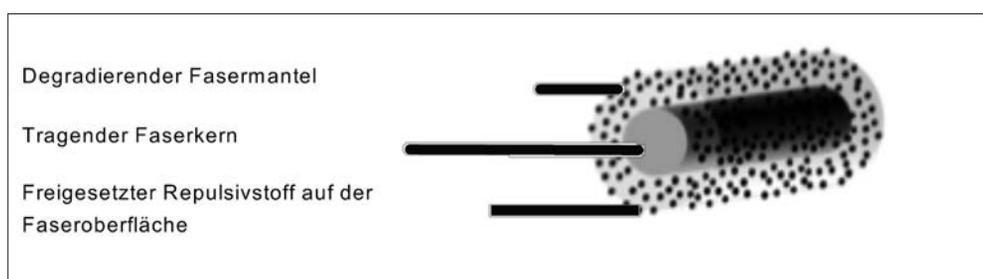


Bild 3: Konzept eines Filaments mit repulsiver Insektenschutzfunktion

### Autoren

Amrei Becker, M. Sc., und Jonas Hunkemöller, M. Sc., sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Textiltechnik. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Thomas Gries ist Inhaber des Lehrstuhls für Textilmaschinenbau und Leiter des Instituts für Textiltechnik

# Über die Kanalisation ins Meer

Entwässerungssysteme als Eintragspfade  
von Makrokunststoffen und großen Mikrokunststoffen

Products made of plastic or plastic composites are omnipresent in our everyday life. The sources and types of plastic found in sewerage systems are correspondingly diverse. Emissions from the wastewater treatment processes into the environment are recognized via various paths of the wastewater into rivers or other material streams like sewerage sludge and grit. How and which plastics end up in wastewater and how their input can be reduced with the help of environmental policy control is the focus of the joint project InRePlast. Based on an analysis of sources, input paths and polluters, the researchers are developing and testing measures for behavioral changes. The aim of these measures is to motivate households and companies to discharge fewer plastics into the drainage systems. In addition, the project partners are developing proposals to improve the legal framework.



Kunststoffe, die in der Umwelt – vor allem in den Weltmeeren – landen, werden seit einigen Jahren in wissenschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Debatten als eine globale Herausforderung gesehen. Ein erheblicher Anteil dieser Kunststoffe wird vom Festland in die Meere eingetragen. Der Transport dorthin erfolgt oftmals über Fließgewässer, vor allem über Entwässerungssysteme, also die Kanalisation. Entwässerungskanäle durchziehen den Großteil unserer Siedlungsstrukturen zur Ableitung von Niederschlagswasser und Sammlung von häuslichem Schmutzwasser. Sie sind also die Transportpfade und das Abwasser das Transportmedium für die Kunststoffe.

Das Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V. untersucht in einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten dreijährigen Verbundprojekt seit Anfang 2019



Bild 1: Beprobung von Feststoffen am Rechen einer Kläranlage  
Foto: Peter Winandy

zusammen mit Umweltökonominnen und -rechtlern die Relevanz der Einträge von Kunststoffen über Entwässerungssysteme in der kommunalen Abwasserbehandlung in Deutschland. Betrachtet werden Kunststoffpartikel ab einer Größe von 1 mm. Dies entspricht nach der gängigen Größeneinteilung dem sogenannten großen Mikroplastik (1 – 5 mm) und dem Makroplastik (größer 5 mm).

Ziele des Projektes sind (i) die Erfassung des qualitativen und quantitativen Kunststoffaufkommens am Beispiel von vier Modellgemeinden in der Städteregion Aachen in kommunalen Kläranlagen, in Unternehmen der Kunststoffindustrie und auf den Verkehrswegen, (ii) eine Abschätzung der Einträge auf Bundesebene, (iii) die Identifikation relevanter Verhaltenseffekte bei der Nutzung von Kunststoffen mit Fokus auf Haushalte und Unternehmen der Kunststoffverarbeitung und -nutzung, (iv) die Weiterentwicklung des

rechtlichen Rahmens sowie (v) die Entwicklung umweltpolitischer Maßnahmen in Form von Instrumentenbündeln zur Vermeidung der Kunstoffeinträge über den betrachteten Eintragspfad. Ausgewählte Maßnahmen werden zudem mittels Feldexperimenten in Unternehmen und in einer der Modellgemeinden als Reallabor erprobt und analysiert.

#### Eintrag in das Abwasser

Durch das alltägliche Verhalten in Haushalten und Unternehmen sowie über die öffentlichen Verkehrswege werden beständig Kunststoffe in die Abwässer und damit in die Entwässerungssysteme eingeleitet.

Das Produktspektrum der Kunststoffe im Abwasser ist so vielfältig wie deren Verbreitung und Nutzung im beruflichen und privaten Alltag. Aus dem privaten Bereich zeigt sich eine hohe Relevanz von Konsumgütern und deren Verpackungen, beispielsweise aus

dem Lebensmittel- und dem Hygienebereich. Im unternehmerischen Handeln gelangen vor allem Produkte aus der Kunststoffproduktion, -verarbeitung und -anwendung in das Abwasser. Beispiele hierfür sind sogenannte Kunststoffpellets oder -granulate, die als Rohstoff in der Kunststoffindustrie genutzt werden und Styropormaterialien, die überwiegend als Dämmstoffe im Baugewerbe Anwendung finden.

Über die Niederschlagsabläufe auf Verkehrswegen werden vor allem Zigarettenstummel eingetragen, deren Filter aus Kunststofffasern (Celluloseacetat) bestehen.

Die Einträge von Kunststoffen in das Abwasser lassen sich nach zwei Pfaden differenzieren: Zum einen die Ableitung von Niederschlagswasser auf Verkehrswegen und anderen Freiflächen, zum anderen die Ableitung von Schmutzwasser in privaten Haushalten, Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen.

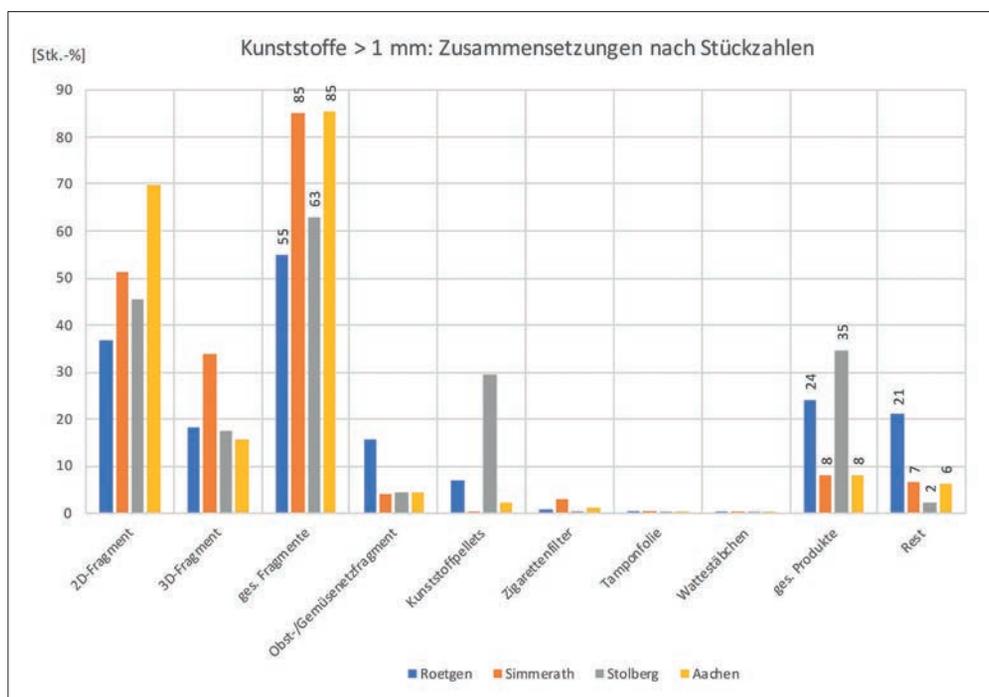
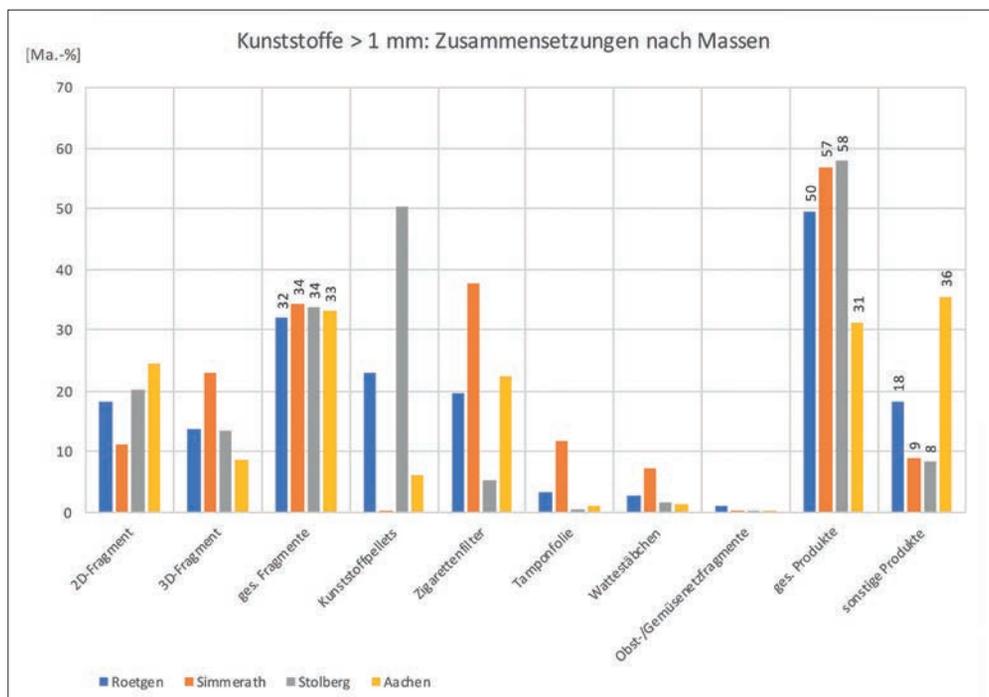


Bild 2: Zusammensetzungen des Kunststoffaufkommens in vier kommunalen Kläranlagen der Städteregion Aachen

Der Eintrag über die Ableitung von Niederschlagswasser ist wesentlich abhängig von der Nutzung des Raumes. Hier zeigen sich deutliche Unterschiede in Art und Menge in Gewerbe- und Wohngebieten oder Innenstadtbereichen. Der Eintrag über das Schmutzwasser lässt sich nach den verschiedenen Entstehungsorten in den privaten Haushalten oder sonstigen Gebäuden differenzieren. Im Wesentlichen sind dies Toiletten, sanitäre Waschbecken, Waschmaschinen und Küchenspülen.

Für die Erfassungen der Kunststoffeinträge in die Kläranlagen der Modellgemeinden gibt es erste, vorläufige Ergebnisse hinsichtlich der Zusammensetzungen. Ein Großteil der Kunststoffe liegt nur noch als zwei- oder dreidimensionale Fragmente vor, deren Produkursprung nicht eindeutig geklärt werden kann, siehe Bild 2. Nach Massen trifft dies auf rund ein Drittel der Kunststoffe zu, nach Stückzahlen deutlich mehr. Dennoch lässt sich gut die Hälfte der Kunststoffmassen auf nur fünf Produkte – Kunststoffpellets, Zigarettenfilter, Tamponfolien, Wattestäbchen und Obst-/Gemüsenetzfragmente – zurückführen, die in den vier untersuchten Kläranlagen zu finden sind. Daher sollten dringend Maßnahmen zur Vermeidung dieser fünf Produkte erfolgen. Insgesamt konnten bisher rund 65 verschiedene Produkte identifiziert werden. Weitere Einträge erfolgen in Form von kunststoffhaltigen Verbundprodukten aus Hygieneartikeln, wie Feuchttüchern, Damenbinden und Tampons.

### Eintragspfade in Fließgewässer

In Deutschland gibt es zwei Arten von Entwässerungssystemen. In Mischwasserkanälen werden Niederschlags- und Schmutzwasser gemeinsam erfasst und einer Kläranlage zugeleitet. Die Trennkanalisation hat hingegen für beide Abwasserarten getrennte Kanalsysteme, wobei nur das Schmutzwasser der Kläranlage zugeleitet wird. Die Einleitung der in den Entwässerungssystemen gesammelten Abwässer in die Fließgewässer (Vorfluter) erfolgt in Abhängigkeit des jeweiligen Kanalsystems auf drei verschiedenen Wegen, siehe Bild 5.

Gelangen die Kunststoffe aus dem Schmutzwasser und dem Niederschlagswasser in die Kläranlage, werden sie für den betrachteten Größenbereich über 1 mm nahezu vollständig aus dem Abwasser vor der Einleitung in den Vorfluter entfernt. Die bisherigen Ergebnisse zeigen Rückhaltequoten von 98 bis 100 Prozent sowohl bezogen auf die Stückzahlen als auch auf die Massen. Kunststoffe, die über das Niederschlagswasser erfasst und in einem Trennsystem über Niederschlagskanäle abgeleitet werden, können unbehandelt in die Vorfluter eingetragen werden. Zwar existieren in Niederschlags-



Bild 3: Klärschlamm- und Zentratwasserbeprobung von einer Kammerfilterpresse: in den Klärschlamm gelangen nach Stückzahlen 85 bis 90 Prozent der Mikroplaststoffe und 60 bis 95 Prozent der Makroplaststoffe  
Foto: Peter Winandy



Bild 4: Probenahme im Ablauf eines Nachklärbeckens

Foto: Peter Winandy

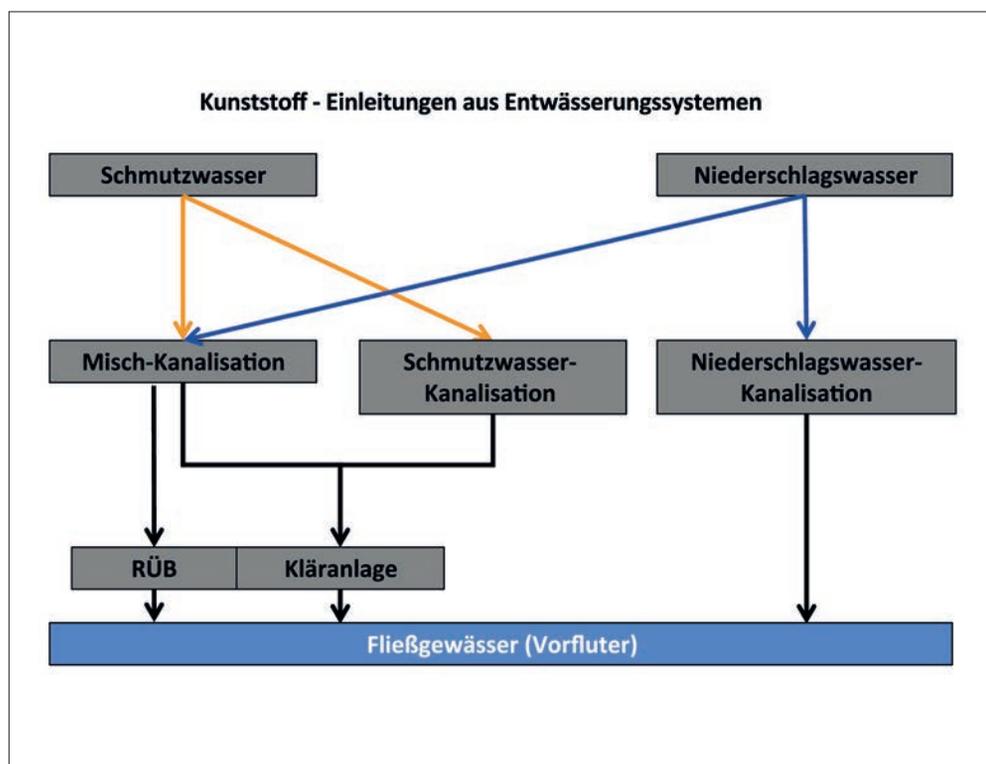


Bild 5: Eintragspfade für Kunststoffe aus Entwässerungssystemen in Fließgewässer

kanälen teilweise Regenrückhaltebecken oder Versickerungsanlagen, eine gezielte und effektive Abscheidung von Kunststoffen erfolgt jedoch nicht. Regenüberlaufbecken sind in Mischwassersystemen Zwischen-speicher starker Niederschlagsabflüsse. Bei Erreichung der Speicherkapazitäten schlagen diese ungeklärtes Mischwasser in den Vorfluter ab. Sowohl der Eintrag der Kunststoffe mit dem Niederschlagswasser in die Mischwasserkanäle als auch die Entlastungen der Regenüberlaufbecken in den Vorfluter gehen mit Starkregenereignissen einher. Dementsprechend sind die Regenüberlaufbecken als Eintragspfade für Kunststoffe von Verkehrswegen besonders problematisch.

#### Konzepte für die Politik

Die Erfassungen der Kunststoffeinträge über das Schmutz- und Niederschlagswasser dienen neben der Ermittlung des mengenmäßigen Ausmaßes auch dem Erkenntnisgewinn hinsichtlich der relevanten Produkte. Auf die-

ser Basis können Rückschlüsse auf Akteure und Handlungsstränge gezogen werden. Ergänzend finden Experteninterviews mit Stakeholdern, wie Wasserverbänden, Wasser- und Abfallbehörden, Branchenverbänden der Kunststoffindustrie und Umweltverbänden, sowie bundesweit Umfragen in Haushalten und Kunststoffunternehmen statt. Ziel ist ein umfassendes Verständnis der Ursachen für die Kunststoffeinträge in die Entwässerungssysteme.

Abschließend werden Maßnahmen in Form von Instrumentenbündeln entwickelt. Diese werden in einem Konzept der multikriteriellen verhaltensorientierten Instrumentierung (MKVI-Konzept) gebündelt, welches über eine Matrix die verhaltensökonomische, die rechtliche und die technische Perspektive (in Bezug auf Abwasseranlagen) mit einer Wirkungsabschätzung verknüpft. Sowohl die technischen als auch die verhaltensökonomischen Maßnahmen werden hinsichtlich notwendiger rechtlicher Regelungen zur Umsetzung überprüft. Zudem wird der bestehende Rechtsrahmen auf nationaler und europäischer Ebene auf mögliche Defizite, Hemmnisse und Entwicklungspotenziale überprüft und Verbesserungsvorschläge in Form konkreter Gesetzesentwürfe erarbeitet.

Instrumente können hierbei beispielsweise ordnungsrechtlich (Verbote, Grenzwerte, Pflichten), ökonomisch (Steuern, Abgaben, Zertifikate, Subventionen), kooperativ (Selbstverpflichtungen, Interaktionsförderungen, Absprachen), informationell (Kampagnen, Label) oder organisatorisch (Managementsysteme) sein.

---

## Autor

Dr.-Ing. Marco Breitbarth ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V.

Sebastian Kerger, B. Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V.

---



Bild 6: Kunststoffansammlungen in einem Kontrollschacht  
Foto: Peter Winandy

# CO<sub>2</sub> als Rohstoff für nachhaltige Kunststoffe

## Ein Schritt hin zur Kreislaufwirtschaft

In 2008 the CAT Catalytic Center was launched on the campus of RWTH Aachen University, jointly financed by Covestro and RWTH. It has more than 30 employees and collaborates intensively with other University institutes with a focus on chemical development of new and sustainable materials and processes. This exemplary partnership between business and academia has resulted in many sustainability projects. For example, the research initiative Dream Production was dedicated to using the climate gas CO<sub>2</sub> as a raw material for polyurethane foams, replacing a portion of the petroleum currently used as a carbon source. A new type of catalyst is playing an essential role in this process.

Kohlenstoffdioxid, kurz CO<sub>2</sub>, wird in der Öffentlichkeit kontrovers betrachtet. Während die meisten darin ein klimaschädliches Treibhausgas sehen, wird CO<sub>2</sub> in Wissenschaft und Industrie zunehmend auch als Quelle für Kohlenstoff in chemischen Prozessen in Betracht gezogen. Insbesondere werden Kohlenstoff-Bausteine für die Herstellung von Kunst- und Schaumstoffen benötigt, wofür sie bisher aus fossilen Ressourcen gewonnen werden. Mit der Gründung des CAT Catalytic Center im Jahre 2008 haben die RWTH Aachen und die Covestro Deutschland AG einen Kooperationsrahmen geschaffen, um Synergien zwischen grundlegenden Forschungsfragenstellungen und strategischen Interessen auf diesem Gebiet zu nutzen. In langjähriger Kooperationsarbeit entwickelten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der beiden Partner einen innovativen Prozess, der es ermöglicht, CO<sub>2</sub> für die Kunststoffproduktion zu nutzen. Das Verfahren hat sich als ökonomische und ökologische Alternative etabliert und kann einen Teil des Erdöls für die Produktion von Kunststoffbausteinen ersetzen. In einer Pilotanlage der Covestro Deutschland AG werden bisher jährlich bis zu 5.000 Tonnen Polyol hergestellt, diese Substanz wird zu Polyurethanen weiterverarbeitet, die beispielsweise als Schaumstoff in Matratzen Verwendung finden. Denkbare Anwendungen von Polyurethanen sind auch Weichschäume in Autositzen oder Hartschäume in Dämmmaterialien. Ein Durchbruch in der Katalyseforschung ermöglichte die CO<sub>2</sub>-Nutzung. CO<sub>2</sub> geht nur mühsam chemische Verbindungen mit anderen Substanzen ein. Entwickelt wurde ein maßgeschneiderter Katalysator, um die

Reaktion so zu steuern, dass sie wirtschaftlich und effizient ist. Ein Katalysator bringt die Reaktionspartner dazu, Verbindungen einzugehen, indem er die Aktivierungsenergie für die Umwandlung senkt und diese in die gewünschte Richtung steuert. Die Innovationskraft dieser Entwicklung blieb nicht lange unerkannt. Der vorläufige Höhepunkt war die Aufnahme der Innovation und ihrer Entwickler – RWTH-Professor Walter Leitner sowie Dr. Christoph Gürtler und Dr. Berit Stange von Covestro – in den „Circle of Excellence“. Dies wurde möglich durch die Nominierung für den Deutschen Zukunftspreis 2019, dem Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation. Die CO<sub>2</sub>-Technologie hilft, den Kohlenstoffkreislauf weiter zu schließen. Durch den dosierten Einbau von CO<sub>2</sub> lassen sich auch die Eigenschaften eines Produktes verbessern. Mit vielen Detailentwicklungen, die zu über 100 Patenten und Patentanmeldungen geführt haben, wurde das Verfahren Schritt für Schritt nachhaltiger gestaltet. Das CO<sub>2</sub>-basierte Produktionsverfahren eröffnet eine Perspektive, die über die Herstellung von Polyolen und Polyurethanen hinausgeht. So konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, CO<sub>2</sub> als Rohstoff zu nutzen und damit den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der chemischen Industrie zu reduzieren. Nach diesem Muster sollen weitere chemische Prozesse unabhängiger von fossilen Rohstoffen werden. Grundlagenforschung auf dem Gebiet der katalytischen CO<sub>2</sub>-Umwandlung ist die Grundlage für die weitere Kooperation zwischen Covestro und der RWTH beispielsweise im Projekt Carbon-4PUR.



Bild 1: Professor Walter Leitner (3. von links.), Dr. Berit Stange und Dr. Christoph Gürtler von Covestro mit Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier in der Finalrunde um den Deutschen Zukunftspreis 2019.

Foto: Phil Dera

### Carbon4PUR

Seit 2017 untersucht ein multidisziplinäres Konsortium im Rahmen des EU-Projekts Carbon4PUR, wie industrielle Abgase zu alternativen Bausteinen für Polyurethane umgesetzt werden können. Diese sollen anschließend zur Herstellung von Dämmplatten oder auch Holzlacken verwendet werden. Das Konsortium besteht aus 14 Partnern in sieben europäischen Ländern und arbeitet über Industriesektoren hinweg. So kollaborieren Stahl- und Chemieindustrie sowie Hersteller der Schaum- und Lackindustrie mit Universitäten und Forschungsinstituten. Die Partner werden dabei im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramm „Horizont 2020“ unter der Vereinbarung Nr. 768919 durch die Europäische Union gefördert. Ziel von Carbon4PUR ist die Umwandlung von Kohlenmonoxid, kurz CO, zu alternativen Bausteinen für neuartige Polyole. CO ist wie

CO<sub>2</sub> Bestandteil industrieller Abgase. Durch die Erweiterung der Grundstoffbasis um CO und die Entwicklung einer neuen Technologie ist es denkbar, dass Industrieabgase der Stahlproduktion direkt in den Produktkreislauf zurückgeführt werden können. So sind nachhaltigere Polyurethananwendungen und eine Reduktion des Bedarfs an fossilen Rohstoffen wie Erdöl möglich.

An diesem Forschungsvorhaben sind die Covestro Deutschland AG und drei Einrichtungen der RWTH beteiligt: Das CAT Catalytic Center entwickelt Katalysatorsysteme zur Synthese der alternativen Bausteine. Der Lehrstuhl für Fluidverfahrenstechnik erarbeitet das Prozessdesign. Wahrnehmung und Akzeptanz der Technologie und CO-basierter Produkte in der Öffentlichkeit werden am Lehrstuhl für Communication Science untersucht.

Im März 2021 wird Carbon4PUR Forschungsergebnisse im Rahmen eines „Sustainable Plastics Symposium“ präsentieren.



<https://www.carbon4pur.eu/>

### Autoren

Dr. Liv Adler ist Projektkoordinatorin des Projektes Carbon4PUR in der Abteilung Catalysis & Technology Incubation der Covestro Deutschland AG.

Veronica Grüntzig, Ph.D., ist Projektkoordinatorin und Mitglied des Program Management Boards des CAT Catalytic Center, einer gemeinsamen Einrichtung der RWTH und der Covestro Deutschland AG.

Marina Sebastian ist Projektkoordinatorin in der Abteilung Catalysis & Technology Incubation der Covestro Deutschland AG.

# Von der Probensammlung zum Innovationslabor

Identifizierung, Quantifizierung und Degradierung  
von Mikroplastik

Deterioration of macroplastics results in micro/nanoparticles, microplastics (MPs), which pose risks to ecosystems as well as to human health. The amount of MPs emitted from different sources and their fate in the aquatic life is poorly understood. Consequently, it is difficult to define an effective strategy to degrade or recycle the MPs. This is due, on one hand, to the lack of systems that can model the true physical and chemical properties of MPs on the lab scale and, on the other hand, to the lack of analytical methods for detecting and sorting MPs at high throughput. Thus, the aim of current research at DWI – Leibniz-Institute for Interactive Materials and at the Institute for Biotechnology at RWTH Aachen University is to develop model MPs that are better suited for investigating effects such as cytotoxicity in aquatic organisms, as well as to construct a reliable database that correlates the chemical and physical properties of detected MPs to their origin. Concomitantly, recently acquired funding from the BMBF will further drive the development of strategies for accelerated degradation of various type of plastic substrates. This project lays the foundation for the development of new concepts for converting MPs into non-hazardous low molar mass compounds – a direction that will be further strengthened in the future.



Kunststoffe sind ein Hauptgrund für unsere globale Umweltverschmutzung. Sie akkumulieren nicht nur in der Umwelt, sondern können auch absorbierte Mikroschadstoffe verbreiten. Besonders bedenklich sind Partikel, die kleiner als fünf Millimeter sind, welche von größeren sichtbaren Kunststoffstücken freigesetzt werden, das sogenannte Mikroplastik. Aktuell gibt es immer noch widersprüchliche Aussagen über die Aufnahme, die Anhaftung oder den Einfluss von Mikroplastik auf Biota, die neue Umweltgesetzgebungen verhindern. Deshalb ist es notwendig, den Umwelteinfluss der Kunststoffe hinsichtlich ihrer Kon-



Bild 1: Fermentation zur Herstellung von Enzymen für die Degradation von Mikroplastik in Bestandteile niedrigerer Molmasse.  
Foto: Peter Winandy

zentration, Art, Form und Größe eingehender zu betrachten. Die Herausforderungen stellen die Probensammlung, kontinuierliche hochdurchsatzfähige Detektion, Identifikation und Quantifikation, die Mikroplastikverminderung aus Abwasser und Klärschlamm sowie Recycling und die Valorisierung von Mischplastik dar. Diese Forschung am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien und der RWTH wird in drei Richtungen weitergeführt:

#### **Herstellung von Modellproben**

Zunächst sind Kenntnisse über Konzentration, Gesamtmenge, Materialien, Formen und

Größenverteilungen der Partikel in Kläranlagen erforderlich. Hierzu ist es notwendig, dass die Modellsysteme die gleichen physikalischen und chemischen Eigenschaften wie reale Partikel zeigen, da es schwierig ist, ausreichende Mengen an Mikroplastik aus der Umwelt zu sammeln und diese nach ihrem Ursprung zu kategorisieren. Insbesondere Textilien wie Polyester, Nylon, Polyacryl, Polyvinyl und andere synthetische Fasern sind die Hauptquelle für die Freisetzung von Mikroplastik, deren faserige Partikel beobachtet werden müssen. Bisherige Forschungsprojekte verwendeten in einem Großteil der



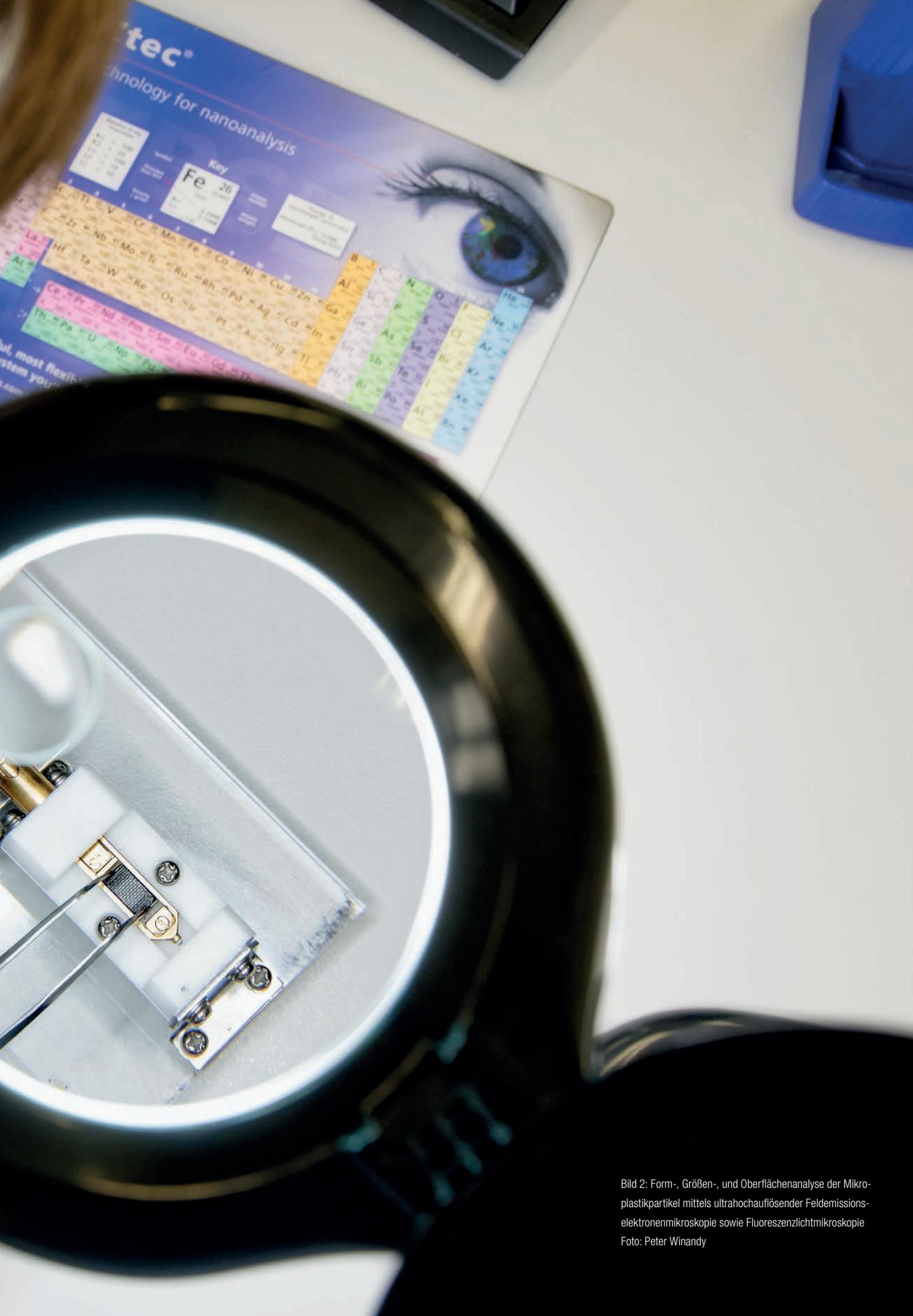


Bild 2: Form-, Größen-, und Oberflächenanalyse der Mikroplastikpartikel mittels ultrahochauflösender Feldemissions-elektronenmikroskopie sowie Fluoreszenzlichtmikroskopie  
Foto: Peter Winandy



Bild 3: Faseriges Modellmikroplastik mit 55  $\mu\text{m}$  Länge aus Nylon-6 (oben) und Polyester (unten) sowie die fluoreszenzmarkierten Partikel (eingefügt)

Studien Mikrosphären als Modell-Mikroplastik. Hingegen wurde faserförmiges Material im Labor selten für Toxizitäts- und Zersetzungsstudien analysiert, da die Sammlung ausreichender Mengen aus der marinen Umgebung für Laborstudien schlicht nicht umsetzbar ist. Bestehende Methoden für die Herstellung von Mikroplastikfasern sind auf das Schneiden oder cryogene Mahlen synthetischer Fäden beschränkt, wodurch relativ große Fasern ( $> 500 \mu\text{m}$  Länge) mit einer breiten Größenverteilung produziert werden. Am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien wurde daher eine Methode zur Herstellung von faserigen Modellpartikeln entwickelt, die reproduzierbare Größen und Formen gewährleistet, welche für lebende Organismen von Bedeutung sind. Das faserige Mikroplastik wurde durch einen Top-down-Ansatz aus einem breiten Spektrum von Polymerfasern hergestellt. Die Länge der Partikel kann dabei relativ genau auf jede Länge zwischen 2 und  $100 \mu\text{m}$  angepasst werden, siehe Bild 3<sup>[1]</sup>.

#### **Kontinuierliche hochdurchsatzfähige Detektion, Identifikation und Quantifizierung von Mikro-/Nanoplastik**

Es gibt bislang keine einheitliche Analyse-methode für die Detektion von Mikroplastik in Umweltproben. Visualisierung, mit dem bloßen Auge oder Mikroskop, wird im Großteil der Fälle angewandt. Die Partikel werden dabei anhand ihrer unnatürlichen Farbe und/oder unnatürlichen Form erkannt. Selbst wenn eine Aufreinigung zur Entfernung organischer Substanzen durchgeführt wurde, können Mikroplastikpartikel noch leicht mit anderen sphärischen anthropogenen Partikeln verwechselt werden. Eine physikalisch-chemische Analyse ist generell verlässlicher. Zusätzlich zu Pyrolyse-Gaschromatographie/Massenspektrometrie oder Thermogravimetrie in Verbindung mit Differentialthermoanalyse sind Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie und Raman-Spektroskopie, einschließlich der jeweiligen Mikroskopie-Varianten ( $\mu\text{FT-IR}$  oder  $\mu\text{Raman}$ ), die meistverwendeten Techniken. Diese Methoden liefern Bibliotheken, die mit der Identifikation helfen, sind aber zeitaufwändig und fehleranfällig.

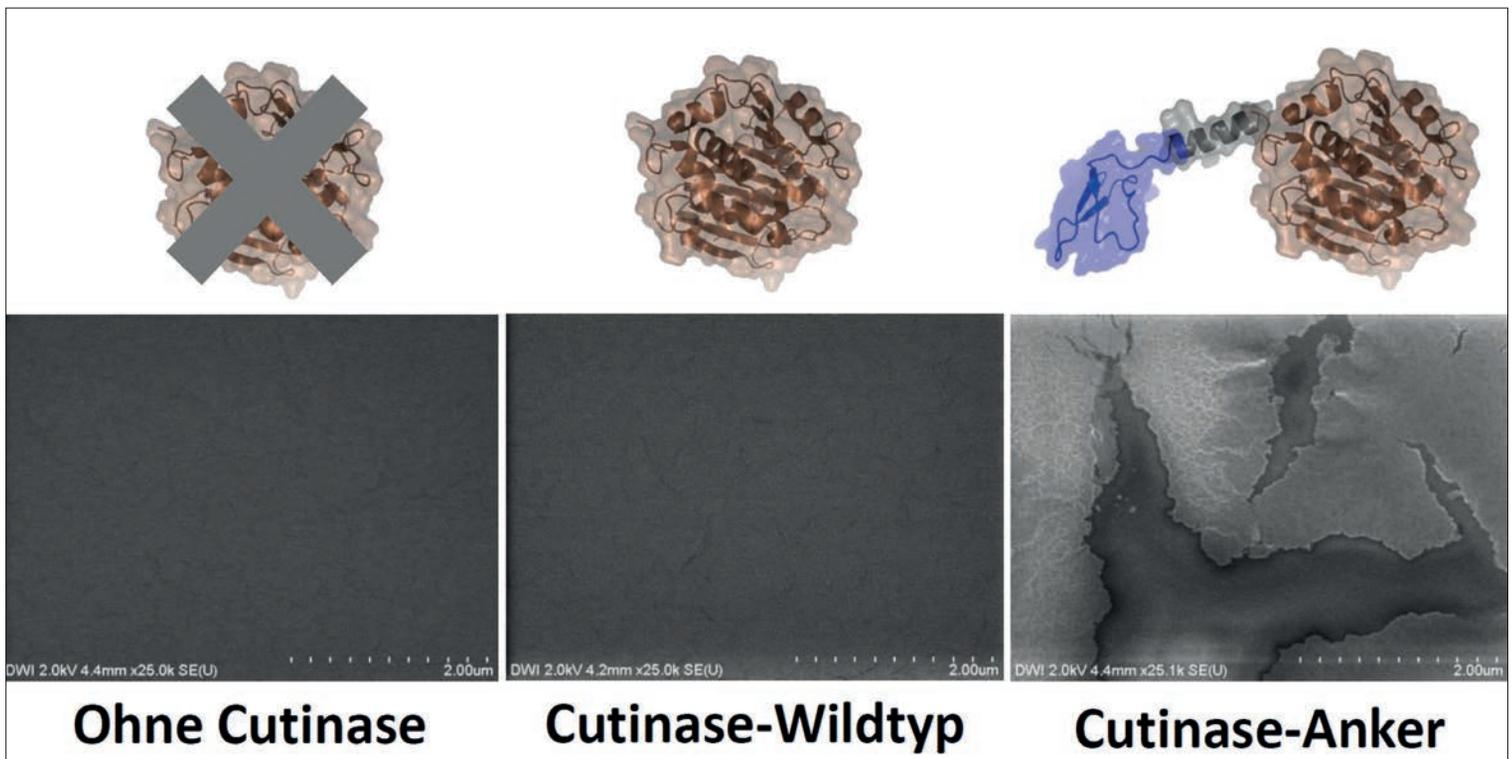


Bild 4: Visualisierung des enzymatischen Abbaus von Polyester-Polyurethan durch Feldrasterelektronenmikroskopie. Nach 24 Stunden war kein Abbau für die Proben ohne Cutinase sowie für das Cutinase-Wildtypenzym sichtbar. Nur die Probe, die mit dem Cutinase-Anker-Fusionsprotein behandelt wurde, zeigte Risse auf der Oberfläche, was auf einen Abbau des Polymermaterials hindeutet (Islam et al. 2019).

Deshalb bedarf es einer kontinuierlichen Methode, die nicht auf kleine Probenmengen und Größenverteilungen limitiert ist. Daher wurde am DWI ein Verfahren entwickelt, um Effektivität und Genauigkeit des Detektionsprozesses zu verbessern und gleichzeitig die Kosten zu minimieren. Entstanden ist eine Bibliothek von fluoreszenzmarkierten Peptiden, welche spezifisch an die Oberfläche dieser Mikroplastikpartikel binden. Die Bindungselektivität wird durch selektive Adhäsionsvermittlerpeptide, sogenannte Ankerpeptide, erreicht und weiter durch Zelloberflächendisplay-Techniken verbessert. Eine Bibliothek von mehr als 100 „ready-to-use“ Ankerpeptiden ist bereits vorhanden und stellt einen guten Ausgangspunkt für die weitere Evaluierung dar. Eine Haftvermittlerplattform der Schwaneberg-Gruppe am DWI bietet die Möglichkeit, Peptide als Monolage bei Raumtemperatur in Wasser an Materialien wie synthetische Polymere anzubinden. Durch diese Selektivität wird kein weiteres Sampling benötigt. Anschließend werden die Mikroplastikpartikel konzentriert und durch Durchflusszytometrie mit einem sehr hohen

Durchsatz von 7000 Partikel pro Sekunde in Abhängigkeit von Material und Größe sortiert. Die Methode verschiebt das Detektionslimit zu kleineren Nano- und Mikropartikeln (0,5 – 50 µm) und hilft durch die selektive Fluoreszenzmarkierung bei der Überwachung und dem Mapping von Mikropartikeln, die während der Wäsche freigesetzt werden. Diese In-situ-Identifikation wird in zukünftigen Untersuchungen genutzt, um eine Basis zur Reduktion der Kunststofffreisetzung in die marine Umwelt zu schaffen. Gleichzeitig fokussieren sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Lehrstuhl für Biotechnologie seit November 2019 im Rahmen des BMBF-geförderten Innovationslabor „PlastiQuantLab“ des BioökonomieREVIER auf den Aufbau einer Infrastruktur für die Mikro- und Nanopartikel-Detektion und -Quantifikation im Hochdurchsatz, mit der Zielsetzung von plastikfreien und gesunden Lebensmitteln.

**Recycling und Valorisierung von Plastik**  
Für das Recycling und die Valorisierung von Plastik in einer zirkulären Kreislaufwirtschaft werden neue Prozesse benötigt, die möglichst klimaneutral sind und Mischpolymere gezielt hydrolysieren und die sortenreines Plastik einem Recycling zuführen. Hierzu wird zurzeit im Innovationslabor „PlastiQuantLab“ eine Datenbank von bis zu 100 adhäsionsvermittelnden polymerabbauenden Enzymen aufgebaut, um effiziente Biokatalysatoren für die Recyclingprozessentwicklung bereitzustellen. Ein gezielter Abbau von Mischplastik kann durch Enzyme erfolgen, die ein selektives Adhäsionsvermittlerpeptid nutzen, um spezifisch an die Oberfläche von Mischplastik anzubinden, um deren Abbau zu beschleunigen. Durch geeignete Peptidbindungsdomänen ist es auch möglich, bei sehr niedrigen Mikroplastik-Konzentrationen eine große Dichte an Enzymen auf deren Oberfläche zu immobilisieren, wodurch die Abbaukinetik deutlich beschleunigt werden kann. Dieses Prinzip wurde 2019 im BMBF-Projekt „FuPol – Funktionalisierung von Polymeren“ gezeigt, siehe Bild 4<sup>[2]</sup>.



Bild 5: Durchflusszytometrie zur Zählung und Identifizierung des faserartigen Mikroplastiks auf Basis des konstitutiven Polymers. Dabei können Zählraten von bis zu 7000 P.s<sup>-1</sup> erreicht werden.  
Foto: Peter Winandy

Darüber hinaus beschäftigt sich „PlastiQuant“, eine Unterabteilung in der Schwaneberg-Gruppe, gerade mit dem Abbau und Management von Mikroplastik in einigen nationalen und internationalen Konsortien, beispielsweise dem EU H2020 Projekt „MIX-UP“, den BMBF-finanzierten Projekten „LipoBioCat“ und „PLASTISEA“. Diese Forschung verfolgt die selben Interessen wie die der Gruppe von Prof. Herrmann und legt das Fundament für die Entwicklung neuer Konzepte zum Abbau und Management von Mikroplastik und Mischplastik – einer Richtung die gerade am DWI und der RWTH gestärkt wird.

### Zukunftsplan

Eine Sofortmaßnahme ist bis 2021 die Etablierung einer hochdurchsatzfähigen Infrastruktur zur Quantifizierung und zum Recycling von Mikro- und Nanoplastikpartikeln im Rahmen vom Innovationslabor „PlastiQuant-Lab“. Der Aufbau eines Zertifizierungslabors für „mikroplastikfreie“ Lebensmittel wird ein bis drei Jahre nach dem Innovationslabor realisiert. Darüber hinaus ist die Etablierung

eines Start-ups mit Ansiedlung im BioökonomieREVIER geplant. Basierend auf der etablierten Analytik im Innovationslabor sollen mittel- und langfristig Plastik-Recyclingprozesse für zahlreiche Mischpolymere entwickelt und neue Mischpolymere mit „eingebauter“ Recyclingfähigkeit synthetisiert und charakterisiert werden.

### Literatur

- [1] [www.microplastics-for-research.de](http://www.microplastics-for-research.de)
- [2] Islam, S., et al., 2019, Targeting microplastic particles in the void of diluted suspensions. Environ. Int. 123, 428-435.

---

### Autoren

Dr. rer. nat. Khosrow Rahimi ist Projektleiter am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien.

Dr. rer. nat. Shohana Islam ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Biotechnologie.

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Schwaneberg ist Inhaber des Lehrstuhls für Biotechnologie und Mitglied des wissenschaftlichen Leitungsgremiums am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien.

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Andreas Herrmann ist Inhaber des Lehrstuhls für Makromolekulare Materialien und Systeme und stellvertretender Leiter des DWI – Leibniz-Instituts für Interaktive Materialien.

---



Bild 6: Elementbasierte Analyse zur Identifizierung der chemischen Zusammensetzung des Mikroplastiks mittels Energiedispersivem Röntgenspektrometer

Foto: Peter Winandy



Foto: Peter Winandy



### **„GrenzFlug“**

Das Institut für Flugsystemdynamik und die Stadt Aachen kooperieren im Forschungsprojekt „GrenzFlug“. Ziel ist eine Analyse zur Einbindung unbemannter Flugsysteme in grenzüberschreitende Such- und Rettungsmissionen. Das Projekt wird im Rahmen der Förderrichtlinie Modernitätsfonds, kurz mFUND, durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur finanziert. Die digitale Anwendung für die Mobilität 4.0 steht im Mittelpunkt des Programms. Unterstützt werden auch Veranstaltungsformate zur Vernetzung zwischen Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Forschung. Zunächst werden die Voraussetzungen für die Integration von unbemannten Luftfahrzeugen in grenzüberschreitende Rettungsmissionen erarbeitet. Am Institut für Flugsystemdynamik wird anschließend ein unbemanntes Fluggerät so modifiziert, das es automatisiert die Rettungskräfte im Einsatz mit Informationen versorgen kann.

### **Entwicklung neuer Hochleistungsfasern**

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der RWTH, des Forschungszentrums Jülich, der Universität Bayreuth, der Universität Halle, des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen (IMWS), der Jiangxi Normal University und der ETH Zürich erzielten einen Durchbruch bei der Herstellung synthetischer Hochleistungsfasern. Ihnen ist es gelungen, Fasern herzustellen, deren Festigkeit und Belastbarkeit die Eigenschaften bisheriger Fasern übertreffen. Die Herstellung gelang durch einen speziellen Spinn- und Verarbeitungsprozess, bei dem Mikrofaserbündel unter Dehnung im Zustand höchster Orientierung chemisch fixiert werden. Der Prozess konnte am Beispiel von Polyacrylnitrilfasern demonstriert werden und ist auf einen breiten Bereich von Fasermaterialien anwendbar. Die Ergebnisse wurden im Fachmagazin „Science“ veröffentlicht.

# Namen & Nachrichten

### **Mehr Start-ups für die Region**

Die RWTH ist am Interreg V EMR-Projekt „SEE-V-Lab“ beteiligt. Ziel des Projektes ist, zur Gründung von internationalen Start-ups anzuregen und die dafür notwendigen Voraussetzungen zu bieten. Dazu soll die Kluft zum internationalen Unternehmertum geschlossen, sollen jungen, an grenzüberschreitenden Projekten beteiligten Unternehmern Wissen und pädagogische Unterstützung zur Verfügung gestellt und die Erforschung und der Austausch von Best Practices zwischen Partnereinrichtungen gefördert werden. Für gründungsinteressierte Studierende ist die „Online Plattform für Entrepreneurship Netzwerk“ (OPEN) gestartet. In Kooperation mit der HEC Liège und der Technischen Universität Eindhoven ist der Lehrstuhl für Wirtschaftswissenschaften für Ingenieure und Naturwissenschaftler unter der Leitung von Professor Malte Brettel involviert.

### **Projekt NEUROTEC gestartet**

Mit neuro-inspirierten Computertechnologien wollen das Forschungszentrum Jülich und die RWTH neue Wertschöpfung im Rheinischen Revier schaffen. Im Beisein von Nordrhein-Westfalens Wissenschaftsministerin Isabel Pfeiffer-Poensgen überreichte Thomas Rachel MdB, Parlamentarischer Staatssekretär im Bundesministerium für Bildung und Forschung, die Förderurkunden für das Projekt „Neuro-inspirierte Technologien der Künstlichen Intelligenz für die Elektronik der Zukunft (NEUROTEC)“. Die Bundesregierung fördert das von Professor Rainer Waser vom Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik geleitete Forschungsvorhaben bis Mitte November 2021 mit über 13 Millionen Euro im Rahmen des Sofortprogramms für den Strukturwandel.

### Reallabore der Energiewende

Die RWTH ist an „SmartQuart“ und „TransUrban.NRW“ beteiligt. Beides sind „Reallabore der Energiewende“, die das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Anfang 2019 in einem Ideenwettbewerb ausgerufen hatte. Im industriellen Maßstab sollen innovative Technologien in einem realen Umfeld zusammengebracht und erprobt werden. Ziel von SmartQuart ist, den Einsatz fossiler Energieträger weitgehend überflüssig zu machen. In dem an der RWTH betreuten Teilprojekt „Ganzheitliche Potentialanalyse und -bewertung“ werden Möglichkeiten und Grenzen einer energieoptimierten Quartiersplanung, -umsetzung und -nutzung untersucht. Beteiligt sind der Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik, der Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen sowie das Lehr- und Forschungsgebiet Immobilienprojektentwicklung. Unter Leitung der E.ON Energy Solutions GmbH ist die RWTH mit drei Professoren des E.ON Energy Research Centers an TransUrban.NRW beteiligt: Professor Dirk Müller, Inhaber des Lehrstuhls für Gebäude- und

Raumklimatechnik, Professor Antonello Monti vom Lehrstuhl für Automation of Complex Power Systems und Aaron Praktiknjo, Juniorprofessor für Energieressourcen und Innovationsökonomik arbeiten mit daran, Innovationen der Energiewende in die Praxis umzusetzen. TransUrban.NRW fokussiert in einer typischen, von Kohleerzeugung geprägten Strukturwandelregion die Städte Gelsenkirchen, Mönchengladbach, Herne und Erkrath. Ziel ist, die klassische Fernwärmeversorgung über Hochtemperatur- und Dampfnetze in ein CO<sub>2</sub>-armes Versorgungssystem zu verwandeln. So kann etwa erneuerbare Energie aus Geothermie, Abwasser und niedrig temperierte Abwärme in großem Umfang in die Versorgung einbezogen werden. Die dazu erforderlichen Niedertemperatur-Netze werden neu errichtet oder in die bestehende Infrastruktur integriert. Jede Stadt steht dabei als Reallabor für einen Innovationsschwerpunkt. Die Erkenntnisse können anschließend auf jeweils ähnlich beschaffene Standorte in Deutschland übertragen werden.

### Aufnahme in das Junge Kolleg

Christoph Hoog Antink vom Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik, Anna-Christin Joel vom Lehrstuhl für Zoologie und Jakob Nikolas Kather vom Lehrstuhl für Gastroenterologie, Stoffwechselerkrankungen und Internistische Intensivmedizin wurden in das Junge Kolleg der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste aufgenommen. Die Aufnahme in das Junge Kolleg gehört zu den bedeutendsten Auszeichnungen für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Nordrhein-Westfalen. Die Akademie wurde 2006 zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses gegründet, anfangs mit finanzieller Unterstützung der Stiftung Mercator und seit 2014 getragen durch das Land Nordrhein-Westfalen. Bis zu 30 Vertreter und Vertreterinnen aller Fachrichtungen können für die Dauer von maximal vier Jahren berufen werden. Sie erhalten ein jährliches Stipendium in Höhe von 10.000 Euro und nehmen am Akademieleben teil. Voraussetzung für die Mitgliedschaft sind neben der Promotion herausragende wissen-



# Erfahrung. Forschung. Innovation.

Anzeige



[sparkasse-aachen.de](http://sparkasse-aachen.de)

**Aus Tradition wird Zukunft.**

**Wir gratulieren den Lehrenden,  
Beschäftigten und Studierenden zum  
150-jährigen Bestehen der RWTH Aachen.**

Gemeinsam  
an allem  
gewachsen

 **Sparkasse  
Aachen**

schaftliche Leistungen an einer Hochschule oder Forschungseinrichtung in NRW. Zum Zeitpunkt der Aufnahme dürfen die Mitglieder nicht älter als 36 Jahre sein und noch keine unbefristete Hochschullehrstelle innehaben.

### **Forschungsprojekte zu Graphen**

FLAG-ERA, ein Netzwerk nationaler und regionaler Förderorganisationen in Europa, bewilligte zwei Projekte im Bereich „Graphen – Grundlagenforschung und Innovation“. Die RWTH erhält in den nächsten drei Jahren 680.000 Euro für ihre Forschungsarbeiten. Im Projekt „2D-NEMS“ arbeiten die Professoren Max Lemme und Christoph Stampfer gemeinsam mit Kollegen vom Royal Institute of Technology in Schweden und von Graphenea Semiconductor in Spanien. Ziel ist, das Potential von Heterostrukturen aus Graphen und anderen zweidimensionalen Materialien für die Realisierung von ultrakleinen und -empfindlichen Sensoren, wie beispielsweise Beschleunigungssensoren, zu erforschen. Im Projekt „TATTOOS“ sind neben Professor Christoph Stampfer vom Lehrstuhl für Experimentalphysik (Festkörperphysik) Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von der Université catholique de Louvain in Belgien und dem Centre national de la recherche scientifique (CNRS) in Frankreich beteiligt. In TATTOOS wird eine am CNRS entwickelte Technik verwendet, die es ermöglichen soll, den Winkel zwischen den Schichten mit der Spitze eines Rasterkraftmikroskops dynamisch zu drehen.

### **Indonesischer Botschafter zu Gast**

Arif Havas Oegroseno, Botschafter der Republik Indonesien, besuchte die RWTH. Im Mittelpunkt des Programms standen Forschungsprojekte rund um alternative Energieträger und E-Mobilität. Die RWTH unterhält traditionell enge Beziehungen zu indonesischen Universitäten und hat an der Gadjah Mada Universität mit Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung die Forschungspräsenz GetIn-CICERO aufgebaut.

### **Aufnahme in die Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste**

Regina Palkovits, Inhaberin des Lehrstuhls für Heterogene Katalyse und Technische Chemie, und Wil van der Aalst vom Lehrstuhl für Process and Data Science wurden in die Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste aufgenommen.

Die Akademie ist eine Vereinigung der führenden Forscherinnen und Forscher des Landes. Sie ist in wissenschaftliche Klassen gegliedert, die beiden Aachener sind in der Klasse für Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften.

Forschungsschwerpunkt von Palkovits ist die Entwicklung maßgeschneiderter strukturierter Materialien für nachhaltige chemische Prozesse. Dies verfolgt sie auch seit Ende 2019 als Leiterin einer Arbeitsgruppe als Max-Planck-Fellow am Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr. Mit der Benennung zum Fellow fördert die Max-Planck-Gesellschaft die Zusammenarbeit von herausragenden Hochschullehrenden mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Max-Planck-Gesellschaft. Palkovits studierte Chemieingenieurwesen an der TU Dortmund. Anschließend promovierte sie am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr. Bevor Sie 2010 als Professorin für Nanostrukturierte Katalysatoren an die RWTH kam, absolvierte sie einen Forschungsaufenthalt an der Utrecht University. Seit 2013 ist Palkovits Inhaberin des Lehrstuhls für Heterogene Katalyse und Technische Chemie. Sie erhielt bereits zahlreiche Auszeichnungen, etwa den EFCATS 2019 Young Researcher Award, den ExxonMobil Chemical European Science & Engineering Award, den DECHEMA-Preis 2016 oder den Innovationspreis des Landes Nordrhein-Westfalen in der Kategorie Nachwuchs.

Wil van der Aalst gilt als Experte in den Bereichen Process Mining, Business Process Management, Workflow Management Systems sowie Data Science und gehört zu den führenden Wissenschaftlern seiner Fachrichtung weltweit. Der Informatiker kam im Januar 2018 mit einer Alexander von Humboldt-Professur an die RWTH. Diese werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert und sind mit fünf Millionen Euro die höchstdotierten deutschen Forschungspreise.

Van der Aalst studierte Informatik an der TU Eindhoven. Nach beruflichen Stationen an der TU Eindhoven und als IT Consultant erhielt er im Jahr 2000 eine Professur an der Universität Eindhoven und war auch wissenschaftlicher Leiter des Data Science Center Eindhoven. Seit 2003 ist van der Aalst Gastprofessor der Queensland University of Technology in Brisbane, auch ist er als Gastprofessor am Forschungsinstitut Bruno Kessler im italienischen Trento engagiert. Van der

Aalst ist Ehrendoktor der Universität Hasselt, Honorarprofessor der Tsinghua University sowie Honorarprofessor der Higher School of Economics Moskau. Zudem ist er Mitglied der Royal Holland Society of Science and Humanities, der Academia Europea, der Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences und im Board of Governors der Tilburg University.

### **Professur für Elektrochemische Reaktionstechnik**

Anna Mechler wurde auf die neu geschaffene Professur für Elektrochemische Reaktionstechnik berufen. Eine Spende der Covestro Deutschland AG ermöglicht die Finanzierung der Professur für fünf Jahre. Danach besteht die Möglichkeit einer Verstetigung am Forschungszentrum Jülich. Die Professur für Elektrochemische Reaktionstechnik positioniert sich an der Schnittstelle zwischen anwendungsorientierter Grundlagen- und Prozessforschung. Im Mittelpunkt der Forschung steht das Verständnis von Elektrokatalysatoren unter technisch relevanten Reaktionsbedingungen. Ziel ist, Katalysatormaterialien für die technische Anwendung zu optimieren. Dabei erfüllt die Professur eine Brückenfunktion zwischen den Forschungsaktivitäten an der RWTH Aachen und dem Forschungszentrum Jülich und stärkt damit die Jülich Aachen Research Alliance (JARA). Durch die Einbindung der Professur in das Kompetenzzentrum für Industrielle Elektrochemie ELECTRA, kann die Kooperation beider Einrichtungen weiter intensiviert werden. Mechler studierte Angewandte Natur- und Materialwissenschaften. Sie promovierte am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf und der Ruhr-Universität Bochum, anschließend leitete sie eine Arbeitsgruppe für Elektrokatalyse am Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr.

### **„phyphox“ ausgezeichnet**

Zum siebten Mal haben der Stifterverband, die Deutsche Mathematiker-Vereinigung, die Deutsche Physikalische Gesellschaft, die Gesellschaft Deutscher Chemiker und der Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland den Ars legendi-Fakultätenpreis für exzellente Hochschullehre in der Mathematik und den Naturwissenschaften vergeben. Der Preis wird jährlich in den Kategorien Biowissenschaften, Chemie, Mathematik und Physik verliehen und ist mit jeweils 5.000 Euro dotiert. In der Kategorie

Physik wurden Professor Christoph Stampfer und Dr. Sebastian Staacks vom II. Physikalischen Institut und Professorin Heidrun Heinke vom I. Physikalischen Institut für die Entwicklung und Verbreitung der App „phyphox“ ausgezeichnet. Mit der Entwicklung und kontinuierlichen Verbesserung der App verbesserte das Team die Physiklehre an Hochschulen und Schulen weltweit nachhaltig. Durch die Verwandlung handelsüblicher Smartphones mit ihrer umfangreichen Sensorik in leistungsfähige Mini-Labore eröffnete phyphox völlig neue Möglichkeiten in der Gestaltung der Lehre. In Vorlesungen zur Experimentalphysik können Studierende aktiv in die Lehrveranstaltung einbezogen werden, indem sie aus einer passiven Beobachterrolle bei Demonstrationsexperimenten in die Rolle des Akteurs schlüpfen.

#### **Erfolgreich bei „NanoMatFutur“**

Im Rahmen des Nachwuchswettbewerbs „NanoMatFutur“ wurde das Forschungsprojekt „MatAM – Design additiv gefertigter Hochleistungsmaterialien für die Automobilindustrie“ unter Leitung von Dr.-Ing. Christian Haase bewilligt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung stellt in den nächsten fünf Jahren für die Arbeiten 1,6 Millionen Euro zur Verfügung. Der Wettbewerb ist innerhalb des Rahmenprogramms „Vom Material zur Innovation“ Bestandteil der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Gefördert werden junge, exzellente Nachwuchswissenschaftler, die nach der Promotion erste Forschungserfahrungen gemacht haben und im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik arbeiten. Die Förderung ist personengebunden und mit der Leitung einer Nachwuchsgruppe verknüpft. Haase ist Gruppenleiter „Integrative Werkstoffsimulation“ am Institut für Eisenhüttenkunde.

Ziel ist die Entwicklung metallischer Hochleistungswerkstoffe für die laserbasierte additive Fertigung von Bauteilen im Automobilbau. Erarbeitet wird ein Ansatz zum agilen Materialdesign, der sich durch eine Kombination aus computergestütztem und physischem Legierungsscreening auszeichnet. Dabei sollen die im Material während des additiven Fertigungsprozesses entstehenden Heterogenitäten gesteuert werden, insbesondere heterogene Elementverteilungen infolge von Seigerungserscheinungen durch den Erstarrungsvorgang. Auch sollen diese Heterogenitäten für die gezielte Einstellung der lokalen mechanischen Eigenschaften genutzt werden. Dieses seigerungsbasierte Legierungs-

und Mikrostrukturdesign ist ein Paradigmenwechsel im Bereich der Entwicklung neuer Werkstoffe für die additive Fertigung.

Das Institut für Eisenhüttenkunde arbeitet im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eng mit dem Lehrstuhl für Digitale Additive Produktion und dem Gemeinschaftslabor für Elektronenmikroskopie zusammen.

#### **RWTH koordiniert**

##### **DFG-Schwerpunktprogramm**

Ein neues DFG-Schwerpunktprogramm „Maschinelles Lernen in der Verfahrenstechnik. Wissen trifft auf Daten: Interpretierbarkeit, Extrapolation, Verlässlichkeit, Vertrauen“ wird an der RWTH koordiniert. In Schwerpunktprogrammen werden wissenschaftliche Grundlagen aktueller oder sich gerade bildender Forschungsgebiete untersucht. Die überregionalen und interdisziplinären Kooperationen nutzen dabei innovative Methoden und werden sechs Jahre von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, kurz DFG, finanziert.

Professor Alexander Mitsos, Inhaber des Lehrstuhls für Systemverfahrenstechnik, ist Koordinator des Schwerpunktprogramms. Verfahrenstechnische Probleme unterscheiden sich stark von anderen Anwendungsfeldern des maschinellen Lernens. In gemeinsamen Projekten werden daher im Rahmen des Schwerpunktprogramms Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Verfahrenstechnik, Mathematik und Informatik neue Aufgaben und Herausforderungen für maschinelles Lernen bearbeiten und so die chemische Industrie für eine nachhaltige Zukunft vorbereiten.

#### **DFG bewilligt zwei Anträge mit**

##### **RWTH-Beteiligung**

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft, kurz DFG, hat zwei Anträge bewilligt, an denen die RWTH beteiligt ist: Der Sonderforschungsbereich „Funktionelle Mikrogele und Mikrogelsysteme“ geht in die dritte Förderphase. Neu eingerichtet wird ein Sonderforschungsbereich-Transregio „Konstruktionsstrategien für materialminimierte Carbonbetonstrukturen – Grundlage für eine neue Art zu bauen“.

Der Sonderforschungsbereich „Funktionelle Mikrogele und Mikrogelsysteme“ arbeitet seit 2012, bis 2024 finanziert die DFG ihn jetzt weiter. Die RWTH kooperiert hier mit der Uniklinik RWTH Aachen, dem Forschungszentrum Jülich und dem DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien. Sprecher ist Professor Walter Richtering, Leiter des Instituts

für Physikalische Chemie. Entwickelt werden bio-inspirierte Mikrogele mit besonderen Funktionalitäten für neue Anwendungen, beispielsweise in der Katalyse, für den Transport von Wirkstoffen in Zellen oder die Therapie von Darmerkrankungen. Basis der Arbeiten ist das physikalisch-chemische Verhalten adaptiver Mikrogele in wässriger Umgebung. Im Sonderforschungsbereich-Transregio „Konstruktionsstrategien für materialminimierte Carbonbetonstrukturen – Grundlage für eine neue Art zu bauen“ forschen RWTH und TU Dresden gemeinsam. Professor Josef Hegger, Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau, ist stellvertretender Sprecher des Verbunds. In den nächsten vier Jahren entstehen neue Konzepte für ressourcenschonendes und materialminimiertes Bauen mit Beton, losgelöst von den traditionellen Entwurfsprinzipien. Neben der Entwicklung von Strukturen aus Carbonbeton liegen die Schwerpunkte auf adaptiven Fertigungsverfahren im Herstellungsprozess und Nachhaltigkeitsbewertungen über den gesamten Lebenszyklus.

### Fellowships

42 Lehrende erhalten im Rahmen der „Fellowships für Innovationen in der digitalen Hochschullehre“ für die Umsetzung ihrer Projektskizzen bis zu 100.000 Euro. Das Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen und der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. haben erstmals Bewerbungen für Tandem-Fellowships ermöglicht, so kann auch mit einer Vertreterin oder einem Vertreter eines anderen Studienfaches oder von einer anderen Hochschule kooperiert werden. Gefördert werden folgende Anträge mit RWTH-Beteiligung:

- Professor Martin Baumann und Privatdozent Peter Isfort vom Lehrstuhl für Angewandte Medizintechnik: „RemotePOL – Problemorientiertes Lernen weitgedacht: verteilt, digital, praktisch und berufsnah“
- Dr. rer. nat. Thomas Eifert und Bastian Küppers vom IT Center: „Inklusive Lehre in Mathematik und Informatik“
- Martin Lemos vom Audiovisuellen Medienzentrum und Privatdozentin Julia Steitz vom Lehrstuhl für Versuchstierkunde: „Lösungsorientiertes Lernen mit Hilfe von videobasierter Virtual Reality (VR) für die praktische Ausbildung in der Biomedizin“
- Dr. rer. nat. Christian Terboven vom Lehrstuhl für Informatik 12 (Hochleistungsrechnen) und Juniorprofessorin Lena Oden von der FernUniversität in Hagen: „Interaktive kollabo-

rative parallele Programmierung (IkapP)“

- Professor Stefan Roth vom Lehrstuhl für Experimentalphysik III B und Professor Darius Mottaghy von der Fachhochschule Aachen: „Code Based Learning: Virtuelle Notebooks in MINT Grundlagenveranstaltungen“
- Professor Patrick Becker vom Lehr- und Forschungsgebiet Systematische Theologie: „Habitusbildung in der wissenschaftlichen Eingangsphase – Massive Open Online Course im Curriculum der Gesellschaftswissenschaften“
- Dr.-Ing. Christopher Brandl vom Institut für Arbeitswissenschaft: „Mixed-Reality Lernumgebung zur Förderung anwendungsorientierter Gestaltungskompetenz“

### The International Start-up University

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) hat die RWTH im Hochschulwettbewerb „EXIST-Potentiale“ für ihr Konzept „The International Start-up University“ ausgezeichnet. Damit stehen bis zu 1,7 Millionen Euro zur Umsetzung der Internationalisierungsstrategie der Gründungsaktivitäten zur Verfügung. „EXIST-Potentiale“ greift auf ein Gesamtbudget von über 150 Millionen Euro zu, um die Rahmenbedingungen für Start-ups und wissensbasierte Ausgründungen aus Hochschulen nachhaltig zu verbessern. In den drei Förderschwerpunkten „Potentiale heben“, „Regional vernetzen“ und „International überzeugen“ bewarben sich 220 Hochschulen, von denen 142 Hochschulen vom BMWi ausgezeichnet wurden.

### Innovative Ideen für den Strukturwandel

Im Rahmen des BMBF-Programms „WIR! – Wandel durch Innovation in der Region“ wurde das Projekt „Mine ReWIR“ für eine neunmonatige Konzeptphase ausgewählt. Dieses wird – in Zusammenarbeit mit dem Human Technology Center (HumTec) und der Nivesteiner Sandwerke GmbH – vom Institute for Advanced Mining Technologies koordiniert. Im Fokus stehen regionale Zulieferbetriebe aus dem Bergbausektor. Gemeinsam mit Unternehmen und kommunalen Stakeholdern werden Innovationspfade erschlossen, um die in der Region verankerten Kompetenzen im Bereich der primären Rohstoffgewinnung weiterzuentwickeln, Know-how in der Region zu halten und so zu einem nachhaltigen Strukturwandel beizutragen. Während der Konzeptphase werden die Innovationspotenziale in den Bereichen Internationalisierung, Digitalisierung, Diversifizierung und nachhaltige Wertschöpfungsketten zur Entwicklung

neuer Produkte und Dienstleistungen eruiert und evaluiert.

# Die nächste Ausgabe 2/2020

## Profilbereich Information & Communication Technology

- Cybersecurity
- Deep Learning
- Responsible Data Science
- Quantum Computing
- Fehlersuche in Kommunikationsprotokollen

## Impressum

Herausgegeben im Auftrag des Rektors  
der RWTH Aachen  
Dezernat 3.0 - Presse und Kommunikation  
Templergraben 55  
52056 Aachen  
Telefon +49 241 80 - 93687  
pressestelle@rwth-aachen.de  
**www.rwth-aachen.de**

Verantwortlich:  
Renate Kinny

Redaktion:  
Angelika Hamacher

Titelbild:  
Wissenschaftlerinnen des Instituts für  
Siedlungswasserwirtschaft bei der Probe-  
nahme in der Wurm am Ablauf der Kläranlage  
Aachen-Soers.  
Foto: Peter Winandy, Aachen

Anzeigen:  
Medienhaus Aachen GmbH  
Dresdener Str. 3, 52068 Aachen  
Geschäftsführer: Andreas Müller  
Leiter Werbemarkt: Jürgen Carduck  
(verantwortlich für Anzeigen i.S.d. § 8 Abs. 2  
Landespressegesetz NRW)

Gestaltung:  
Kerstin Lünenschloß, Aachen

Druck:  
Vereinte Druckwerke GmbH, Neuss  
Gedruckt auf 100 Prozent Altpapier

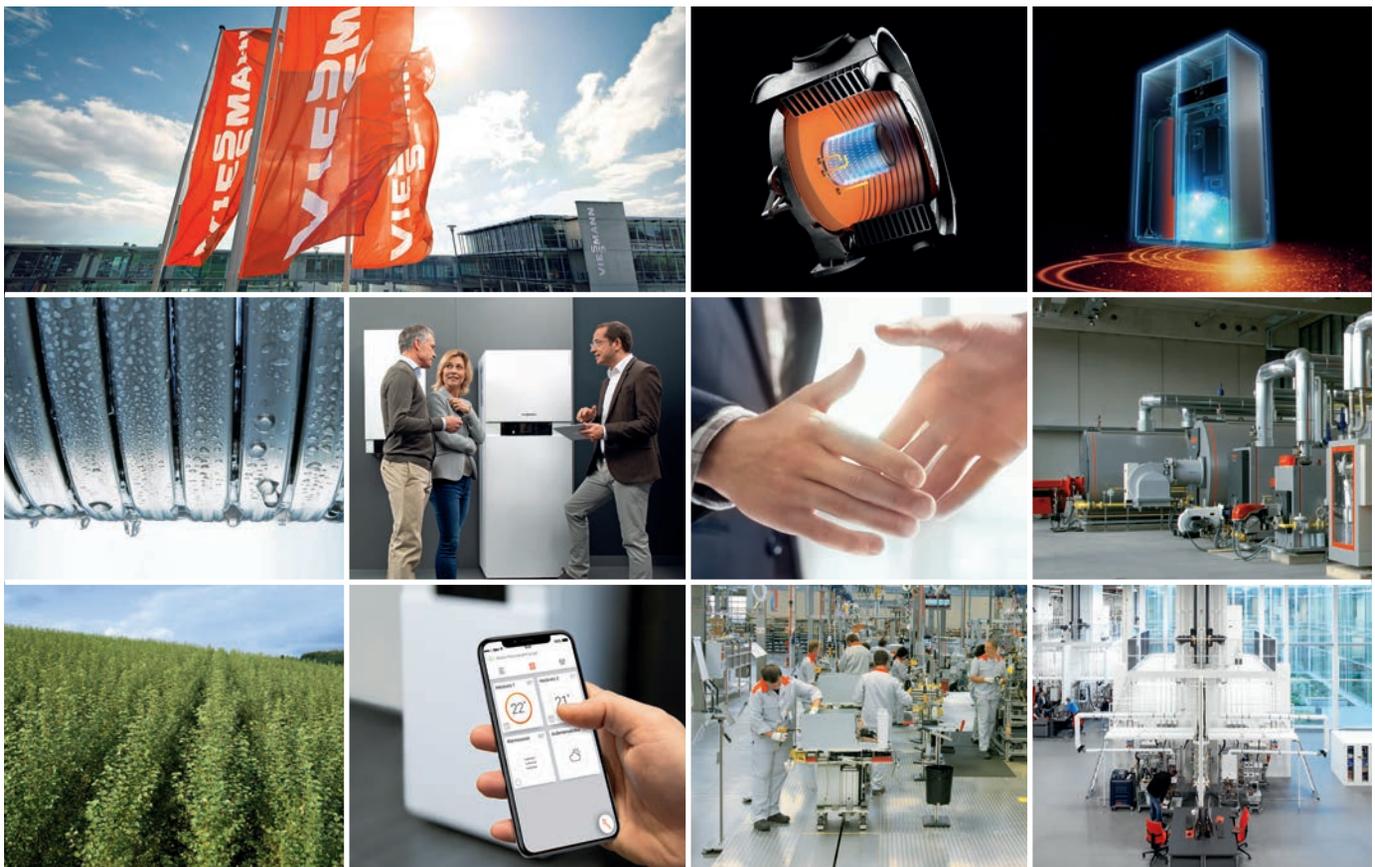
Das Wissenschaftsmagazin RWTH THEMEN  
erscheint einmal pro Semester.

Nachdruck einzelner Artikel, auch auszugs-  
weise, nur mit Genehmigung der Redaktion.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren  
verantwortlich.

ISSN-Nummer 0179-079X

# Nachhaltigkeit bestimmt unser Handeln.



Als Familienunternehmen im Übergang von der dritten zur vierten Generation blickt Viessmann auf eine lange Tradition zurück. Sie ist geprägt von unternehmerischem Denken und einer Kultur der Innovation, die immer wieder neue Meilensteine der Heiztechnik hervorbringt und uns bis heute zum technologischen Schrittmacher der Branche macht.

Das Viessmann Komplettangebot sowie unsere umfassenden Dienstleistungen finden Sie unter [viessmann.de](https://www.viessmann.de)