



## **Plastik in der Umwelt**

**Quellen • Senken • Lösungsansätze**

**Dr. Ulf Stein / Doris Knoblauch**

Ecologic Institut, Berlin





## Zusammenfassung

Plastik in der Umwelt ist ein globales Problem und die Indizien dafür sind offensichtlich – Plastikmüll in Städten, in der Landschaft, in Flüssen, an Stränden und schließlich im Meer. Im Gegensatz dazu ist Mikroplastik nicht auf den ersten Blick erkennbar, tritt jedoch mittlerweile in allen Lebensräumen auf. Auch die Auswirkungen von Plastik in der Umwelt sind vielfältig und nicht immer leicht zu erkennen. Die Eintragswege von (Mikro)Plastik in die Umwelt sind vielfältig und umfassen die gesamte Produktions- und Distributionskette von Kunststoffen, das Verhalten von Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie das Abfallmanagement.

Im Rahmen des BMBF-Forschungsschwerpunktes „Plastik in der Umwelt“ werden 18 mehrjährige Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (Verbundprojekte) gefördert. Ziel der Forschungen ist es, den Eintrag, die Verbreitung und die Wirkungen von Plastik in der Umwelt zu untersuchen und Lösungsansätze zur Verminderung und Vermeidung des Eintrags sowie zur Entfernung des (Mikro)Plastiks zu identifizieren und beispielhaft umzusetzen.

Die geförderten Projekte behandeln eine große Bandbreite an Themen in den Bereichen Green Economy, Konsum und Verbraucherverhalten, Recyclingtechnologien, Binnengewässer sowie Meere und Ozeane. Sie decken dabei eine große Bandbreite von Ideen und Technologien, Wirkungsebenen (lokal bis hin zu global) und Methoden ab. Zwischen den Projekten existiert eine Vielzahl an thematischen und methodischen Synergien, die es zu erschließen gilt. Die Verbundprojekte werden durch das wissenschaftliche Begleitvorhaben PlastikNet unterstützt. Im Zentrum von PlastikNet stehen die inhaltliche Vernetzung der Verbundprojekte sowie die projektübergreifende Synthese.

## Einleitung

Die Anwendung von Plastik ist aus unserer Gesellschaft nicht mehr wegzudenken, sei es für Verpackungsmaterialien, Haushaltsgegenstände, Hygieneprodukte, in der Landwirtschaft oder in der Industrie. Da Produktion und Verbrauch weltweit zunehmen, gelangen größere Mengen, oft nach kurzer Verwendungszeit, in die Umwelt oder bestenfalls auf Deponien.

Allerdings ist unser Wissen über das gesamte Ausmaß der Plastikverschmutzung trotz zahlreicher Forschungsaktivitäten und -ansätze noch begrenzt. Über die Herkunft und das Verhalten von Kunststoffen im Meer, in Binnengewässern und Böden sowie über die Auswirkungen auf Tiere und Menschen liegen bisher nur wenige Erkenntnisse vor. Dies erschwert auch die Ableitung konkreter Politikempfehlungen zur Reduzierung von (Mikro)Plastikeinträgen in die Umwelt.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) nimmt sich dieser Problematik an und hat einen großen Forschungsschwerpunkt zum Thema „Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze“ ([www.bmbf-plastik.de](http://www.bmbf-plastik.de)) aufgelegt. Dafür stellt das BMBF bis 2021 insgesamt 35 Mio. Euro bereit und fördert seit August 2017

insgesamt 18 Verbundprojekte. Mit mehr als 100 Institutionen aus Wissenschaft und Praxis ist dies eines der bislang weltweit größten Forschungsprogramme zum Thema Plastik.

Der Forschungsschwerpunkt soll mit seinen Projekten einen wichtigen Beitrag leisten, um die vorhandenen Wissenslücken zu schließen und damit eine umfassendere Wissensbasis zu schaffen, auf deren Grundlage Maßnahmen und Strategien zur Reduzierung bis hin zur Vermeidung der Plastikverschmutzung entwickelt werden können. Ziel der Forschungen ist es, ein Gesamtbild über die Umweltauswirkungen von Kunststoffen entlang ihres Lebenszyklus von der Herstellung über die Produktion bis zur Entsorgung zu erarbeiten, um darauf aufbauend Verbesserungsmöglichkeiten und Handlungsoptionen, insbesondere auch im internationalen Kontext, aufzuzeigen.

Als Teil der Leitinitiative Green Economy des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für nachhaltige Entwicklung“ (FONA<sup>3</sup>: [www.fona.de](http://www.fona.de)) geht es auch in dem Forschungsschwerpunkt darum, eine systemische Betrachtungsweise anzustoßen. Um die verschiedenen Teilaspekte gezielt adressieren zu können, sind ganzheitliche Ansätze gefragt, bei denen die Forschung mit Akteuren aus Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Verwaltung kooperiert, damit die Ergebnisse wirksam umgesetzt werden können. Dadurch werden die Anstrengungen anderer Ministerien und Bundesbehörden in der Bekämpfung von Plastikverschmutzung seitens der Forschung unterstützt.

Das Themenspektrum reicht von der Verbesserung bestimmter Kunststoffmaterialien im Hinblick auf ihre umweltverträgliche Abbaubarkeit über die Untersuchung von Eintragspfaden in die Gewässer und die Analyse möglicher toxischer Wirkungen auf aquatische Organismen bis hin zur Stärkung des Umweltbewusstseins der Konsumenten und Konsumentinnen.

Die Projekte innerhalb der fünf Themenbereiche weisen folgende Schwerpunkte und Ziele auf:

- I. Im Rahmen einer **Green Economy** werden die Einträge und Verluste von Kunststoffen entlang der gesamten Wertschöpfungskette in relevanten Branchen betrachtet. Ziel ist die Entwicklung von Maßnahmen und Strategien, die den größten Hebel bei der Vermeidung und Verringerung von Kunststoffeinträgen in die Natur haben, z. B. durch Optimierung des Produktdesigns, der Herstellungsverfahren oder durch Substitution von Materialien.
- II. Als wichtige Bereiche des Plastikreislaufs werden **Konsum** und Verbraucherverhalten, aber auch Handel und Produktion ins Auge genommen. Im Zentrum steht die Frage, welche sinnvollen und effektiven Maßnahmen zu einem nachhaltigeren Konsumverhalten führen können, um darauf aufbauend Lösungsstrategien und Handlungsempfehlungen zu erarbeiten.
- III. Der Übergang von einer Linear- zu einer Kreislaufwirtschaft ist angesichts von Klimawandel, Umweltverschmutzung, Bevölkerungswachstum und Ressourcenabhängigkeit sowohl ökologisch als auch ökonomisch erforderlich. Deshalb liegt ein wei-



terer Schwerpunkt auf der Entwicklung innovativer Verfahren, die helfen, die Sammlung von Altprodukten und das **Recycling** zu erleichtern und den Anteil hochwertiger stofflicher Verwertung von Kunststoffabfällen zu steigern. Weiterhin steht die Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Kreislaufschließung in der kunststoffverarbeitenden Industrie im Fokus.

- IV. Das Risikomanagement hinsichtlich Mikroplastik im Süßwasserbereich (**Limnische Systeme**) erfordert verlässliche Daten über Auftreten, Wirkung, Dynamik sowie die Verfügbarkeit von Eliminationsverfahren. Abgestimmte und harmonisierte Analysemethoden sind eine zentrale Voraussetzung für die Identifizierung und Bewertung von möglichen Beeinträchtigungen oder Gefährdungen, die von Mikroplastik ausgehen können, ebenso wie Untersuchungen zur Toxikologie und zum Vorkommen von Mikroplastik in Süßwassersystemen.
- V. Im Themenbereich **Meere und Ozeane** steht die Erfassung der räumlichen Verteilung und Variabilität von Mikroplastik von den Flussmündungsgebieten über die Küstengewässer bis in die Ost- und Nordsee im Mittelpunkt. Dadurch soll eine bessere Identifizierung der Eintragspfade, des Transportes innerhalb der marinen Gewässer sowie der Akkumulationen in der Nahrungskette ermöglicht werden. Die Untersuchungen bilden eine Grundlage zur Erarbeitung von Monitoring- und Überwachungsstrategien.

Um den Wissensaustausch und die Vernetzung zwischen den Projekten zu fördern sowie die Verwertung und Kommunikation der Forschungsergebnisse zu unterstützen, wurde das Begleitvorhaben PlastikNet eingerichtet. Weiterhin wirken bei der Umsetzung des Forschungsschwerpunktes ein Lenkungskreis und ein Begleitkreis mit.

Im Folgenden werden die insgesamt 18 Verbundprojekte entsprechend der fünf Themenbereiche kurz vorgestellt. In Tabelle 1 findet sich zudem eine Übersicht der Projekte mit Titel sowie den jeweiligen Projektkoordinator/innen und Institutionen.

## 1 Themenbereich I – Green Economy

### 1.1 RAU – Reifenabrieb in der Umwelt

Reifenabrieb, der aus Mikroplastik entsteht, gelangt über unterschiedliche Eintragspfade in die aquatische Umwelt und der zunehmende Kfz-Verkehr führt unweigerlich zum vermehrten Aufkommen an Reifenabrieb. Die Mengen an Reifenabrieb und der Eintrag in die aquatische Umwelt über den Straßenabfluss sind bisher nicht gezielt erforscht.

An dieser Stelle setzt das Verbundprojekt an. So sollen Reifenpartikel aus der Nutzungsphase des Reifens umfassend beschrieben und auf theoretischer Basis Wissenslücken zu Verlusten von Reifenpartikeln über den gesamten Lebenszyklus geschlossen werden. Dazu werden Eintragspfade von Reifenmaterial in die aquatische Umwelt iden-

tifiziert, bilanziert und Maßnahmen der Reduzierung aufgezeigt und verifiziert. Auf Basis von als wesentlich identifizierter Einflussfaktoren soll eine Bewertungsmatrix entwickelt werden, die es ermöglicht, für unterschiedliche Standorte geeignete Maßnahmen abzuleiten.

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

Textilien aus Synthefasern verlieren bei der Haushaltswäsche Mikropartikel, die in Flüsse, Seen und Meere gelangen können. Diese Umweltbelastung zu reduzieren, ist das Ziel von TextileMission. Die Projektpartner aus der Sportartikelindustrie, der Forschung, der Waschmittel- und der Haushaltsgerätebranche sowie dem Umweltschutz verfolgen einen interdisziplinären Ansatz:

Zum einen sollen durch textiltechnische Forschung und die Optimierung von Produktionsprozessen Sport- und Outdoor-Textilien mit einem im Vergleich zu heute deutlich geringeren Mikroplastikausstoß entwickelt werden. Dabei testen die Textilforscher\*innen mit den beteiligten Sportbekleidungsherstellern auch biologisch abbaubare Fasern als umweltschonende Alternative. Hierbei wird mit Unterstützung des World Wide Fund For Nature (WWF) darauf geachtet, dass auch andere Aspekte der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden.

Zum anderen soll ein Beitrag zur Optimierung der Kläranlagentechnologie erfolgen, indem praxistaugliche Innovationen zur Reduzierung des Mikroplastikeintrags auch aus nichttextilen Quellen entwickelt werden. Parallel dazu werden zum besseren Verständnis von Stoffströmen mittels Wasch- und Laborkläranlagentests Daten zu Ausmaß und Reichweite des Mikropartikelaustrittes unterschiedlicher Textilien systematisch erhoben.

## **2 Themenbereich II – Konsum**

### **2.1 VerPlaPoS – Verbraucherreaktionen bei Plastik und dessen Vermeidungsmöglichkeiten am Point of Sale**

Ein kompletter Verzicht von Verbraucher\*innen auf Plastik im Alltag ist nur mit hohen Einschränkungen bzw. gar nicht möglich. Außerdem ist vielen Konsument\*innen nicht bewusst, wie viel Plastik sie durch den Kauf eines Produktes in Umlauf oder (im ungünstigsten Fall) in die Umwelt bringen. Der Einsatz von Kunststoffen als Verpackungsmaterial kann aber von Konsument\*innen durch gezielte Wahl des Produkts am Point of Sale (PoS) beeinflusst werden (z.B. Wahl von Lebensmitteln ohne Kunststoffverpackung).

Vor diesem Hintergrund soll untersucht werden, inwiefern Verbraucher\*innen durch ihre Kaufentscheidung am PoS das Entstehen von Kunststoffabfällen vermeiden kön-



nen und inwiefern man z.B. durch verschiedene Vermeidungsstrategien hierbei strukturell Hilfestellung leisten kann. Dies wird exemplarisch an den Anwendungen „Lebensmittelverpackung“ und „Bekleidungstextilien“ untersucht. Erstere wurden gewählt, da sie absolut gesehen die höchsten Kapitalkosten für die Umwelt aufweisen. Textilien wurden hingegen ausgewählt, da der Kunststoff bei diesen funktionsgebend ist, ein hoher Anteil an synthetischen Fasern verwendet wird und durch das Verpacken der Textilien viel Plastikmüll anfällt.

## 2.2 PlastikBudget – Entwicklung von Budgetansatz und LCA Wirkungsabschätzungsmethodik

Ein quantitatives Emissionsziel für Kunststoffemissionen zu formulieren, könnte helfen, politische Entscheidungen in Bezug auf Kunststoffemissionen zu legitimieren. Dazu dient der im Rahmen des Vorhabens für die Governance von Plastik in der Umwelt zu entwickelnde Budgetansatz für Kunststoffeinträge in die Umwelt. Die Forschungsarbeiten werden von den folgenden Fragestellungen geleitet:

- Welche Menge an Kunststoff in der Umwelt ist gerade noch akzeptabel?
- Wie lange sind Kunststoffe in der Umwelt bis zum vollständigen Abbau präsent?
- Wie kann ein aus der Beantwortung dieser beiden Fragen abgeleitetes Globalbudget auf ein nationales Pro-Kopf-Budget gerecht verteilt werden?

Dabei ist es nicht Ziel des Vorhabens, ein Budget festzulegen, sondern Wege zu seiner Ableitung aus empirisch gesicherten Daten und normativen Wertvorstellungen aufzuzeigen, um so eine Grundlage für künftige politische Entscheidungsprozesse zu schaffen. Eine durchgängige Governance erfordert darüber hinaus aber auch, dass die Kunststoffemissionen verschiedener Produkte, Prozesse und Konsumpraktiken in Bezug auf freigesetzte Menge und nachgelagerte Umweltwirkungen bilanzierbar sind. Dazu dient der zweite Teil des vorgeschlagenen Projekts, in dem eine Wirkungsabschätzungsmethodik entwickelt werden soll, um Kunststoffemissionen in Lebenszyklusanalysen adäquat berücksichtigen zu können.

## 3 Themenbereich III – Recycling

### 3.1 Resolve – Recycling von Polystyrol mittels rohstofflicher Verwertung

Ziel des Projektes ist ein Logistik- und Anlagen-Konzept zur wirtschaftlichen Nutzung von Polystyrol-Abfällen als Rohstoff für hochwertige neue Kunststoffprodukte. Eine rohstoffliche Verwertung von Altkunststoffen, die in der Erzeugung neuer Polymere münden kann, ist die thermisch induzierte Depolymerisation. Hierbei wird das Polymer thermisch in niedermolekulare Substanzen wie Monomere und Oligomere gespalten. Gegenüber der bislang üblichen thermischen Verwertung oder des werkstofflichen

Recyclings der Kunststoffabfälle wird mit diesem Vorhaben die tatsächliche Schließung eines Kreislaufs angestrebt. Der Depolymerisationsprozess führt nicht zum sogenannten „Downcycling“ der Wertstoffe und stellt dabei nur moderate Anforderungen an die Reinheit der Abfallströme, wodurch viele post-consumer-Abfallströme genutzt werden können.

INEOS Styrolution leitet den Forschungsverbund mit dem Ziel, das bei der Depolymerisation als Hauptbestandteil entstehende Styrol-Monomer in der eigenen Produktion einzusetzen. Dazu wird der Gesamtprozess einer intensiven Bewertung unterzogen und die Voraussetzungen für Investitionen in diesen Ansatz werden geprüft.

### **3.2 solvoPET – Entwicklung einer Verwertungstechnologie für PET Altkunststoffe aus Multilayermaterial und anderen Abfallverbunden**

Ziel des Projektes ist die Ausarbeitung und experimentelle Erprobung eines solvolytischen Recyclingverfahrens für PET-Altkunststoffe aus Multilayer- und anderen Mischmaterialien.

Grundlage sind nicht mehr aktive Patente zur Solvolyse von sortenreinen PET-Abfällen. Das Solvolyseverfahren wird derart weiterentwickelt, dass ein kontinuierliches Verfahrenskonzept realisiert wird und Misch-PET-Abfälle verarbeitet werden können. Dadurch lassen sich PET-Verbundmaterialien stofflich verwerten, unterschiedliche Anteile an Störstoffen ausschleusen und anderen Verwertungswegen zuführen. Das Recyclingverfahren erzeugt die PET-Grundbausteine Monoethylenglykol und Terephthalsäure. Das Recyclingverfahren wird in einer Technikumsanlage experimentell erprobt und bilanziert. Die hohe Flexibilität des Verfahrens ermöglicht die Aufarbeitung sehr inhomogener Wertstoffströme wie mariner und technischer PET-Abfälle. Die gewonnenen Daten fließen kontinuierlich in ökonomische und ökologische Bewertungen des Verfahrens sowie dessen Einbindung in die Wertschöpfungskette ein.

### **3.3 MaReK – Markerbasiertes Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffverpackungen**

Das Projekt verfolgt den Aufbau eines markerbasierten Systems von der Verpackungsentwicklung über die Sortiertechnik bis hin zur hochwertigen werkstofflichen Verwertung. Im MaReK-Projekt wird damit die Eignung von Fluoreszenz-Markern für den abfallwirtschaftlichen Einsatz nachgewiesen. Dazu wird der Einsatz der vom Projektpartner Polysecure entwickelten und patentierten TBS-Technologie als Lösungsmöglichkeit pilothaft entwickelt und industrierelevant getestet, insbesondere bezogen auf bestehende Herausforderungen der Sortierung von Kunststoffverpackungen. Damit soll ein Beitrag zur im neuen Verpackungsgesetz geforderten Erhöhung der Recyclingquote geleistet werden. Geschwindigkeit, Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Sortierung bei verschiedenen Zusammensetzungen der Sammelfraktionen werden unter industrierelevanten Randbedingungen untersucht.



Im Projekt wird die gesamte Wertschöpfungskette des Verpackungslebenszyklus vom Design über die Verfahrensentwicklung für Marker-Applikation und Sortierung bis zur Rückgewinnung der Werkstoffe adressiert. Erfolgversprechende Politikinstrumente werden mit den relevanten Stakeholdern erarbeitet und sollen mittelfristig neben den technischen Ergebnissen des Vorhabens als Grundlage für den nachhaltigeren Verpackungseinsatz dienen.

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

Da eine nennenswerte Abreicherung der Kunststoffabfälle aus den Meeren bisher technisch und wirtschaftlich nicht möglich ist, müssen Lösungen zur Verringerung des Eintrags von Kunststoffen in die Umwelt entwickelt werden. Landgestützte Lösungsansätze aber fehlen in weniger entwickelten Ländern oft. Werthaltige Kunststoffabfälle gelangen hier meist in die Umwelt und stellen eine wesentliche Quelle für den Eintrag in die Meere dar. Durch nicht erfasste Kunststoffabfälle entgehen wenig entwickelten Ländern gerade für gering ausgebildete Menschen Arbeits- und Einkommensmöglichkeiten.

Ziel des Vorhabens ist es deshalb, Konzepte und Vorplanungen zur Implementierung einer Infrastruktur zur Erfassung, schiffsgestützten Behandlung und Vermarktung von Kunststoffabfällen zu entwickeln. Hierdurch sollen Wertschöpfungsketten für den Handel und die Verwertung von Kunststoffabfällen geschlossen, ein Mehrwert für die Menschen in den Zielländern geschaffen und ein Beitrag zur Reduzierung des Kunststoffeintrags in marine Ökosysteme und die Umwelt insgesamt geleistet werden.

## **4 Themenbereich IV – Limnische Systeme**

### **4.1 ENSURE – Entwicklung neuer Kunststoffe für eine saubere Umwelt unter Bestimmung relevanter Eintragspfade**

Ziel des Vorhabens ist es, Kunststoffe mit umweltoptimierten Abbauverhalten zu entwickeln, die bei gleicher Stabilität schneller und umweltfreundlicher abgebaut werden können. Ein Arbeitsschwerpunkt des Projektes liegt auf der Identifizierung und Erfassung unerwünschter Kunststoffeinträge in priorisierten Sektoren (Böden, Kläranlagen, Kompostanlagen und Biogasanlagen). Außerdem sollen relevante Kunststoffe (PE, PET und PBAT) hinsichtlich ihres Abbauverhaltens mit Hilfe geeigneter Additive/Modifikatoren nachhaltiger gestaltet werden, d.h. so bearbeitet werden, dass sie ein optimiertes Abbauverhalten aufweisen.

Aus diesem Grund sollen die Kunststoffe mit spezifisch schaltbaren Additiven compoundiert werden. Das Projekt sieht weiterhin Untersuchungen vor, um Erkenntnisse über die Kunststoff- bzw. Polymerdegradation der entwickelten Werkstoffe zu gewinnen.

nen. Unter verschiedenen Umweltbedingungen werden hierzu relevante Abbauprozesse erfasst und bewertet. Schließlich soll damit eine Evaluierung der entwickelten Werkstoffe hinsichtlich ihres Abbauverhaltens erfolgen. Mittels transdisziplinärer Forschungspraktiken sollen zudem akteursbezogene Strategien zur Förderung eines nachhaltigen Umgangs mit Kunststoffprodukten entwickelt werden.

#### **4.2 PLASTRAT – Lösungsstrategien zur Verminderung von Einträgen von urbanem Plastik in limnische Systeme**

Das Vorhaben entwickelt Lösungsstrategien zur nachhaltigen Begrenzung der Ausbreitung von Plastikrückständen in der aquatischen Umwelt auf technischer, umweltwissenschaftlicher und sozial-ökologischer Ebene mit dem Ziel der Entwicklung eines multikriteriellen Bewertungsansatzes zur Umweltverträglichkeit von unterschiedlich beschaffenen Kunststofftypen. Zudem soll daraus ein Gütesiegel für die praktische Anwendung entwickelt werden.

Schwerpunkte des Projektes bilden

- die Analyse und Bewertung der Degradationsstufen verschiedener Kunststoffarten sowie Leaching, Adsorption und Desorption in verschiedenen Abwasserbehandlungsstufen,
- die Wirkungen von unterschiedlichen Plastikspezies (in unterschiedlichen Degradationsstufen) und deren Additiven auf wasserlebende Organismen limnischer Systeme sowie
- eine Risiko-Charakterisierung der humantoxikologischen Wirkung von Mikroplastik beim Konsum von Trinkwasser.

Im Fokus stehen ferner die Quantifizierung und das technische Verminderungspotential (z. B. der Einsatz einer Membrantechnologie) von Plastikemissionen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft einschließlich der Klärschlamm-/Gärrestbehandlung unter Berücksichtigung geeigneter Probenahme-, Aufbereitungs- und Analyseverfahren.

Ferner erfolgen Untersuchungen zur gesellschaftlichen Relevanz, d. h. wie mit Plastik in deutschen Haushalten umgegangen wird, welche Anforderungen die Konsument/innen an Kunststoffe stellen, welche Möglichkeiten der Nutzung von Ersatzstoffen bestehen sowie die Auswirkungen, die sich daraus für Handel, Logistik und Konsument/innen ergeben.

#### **4.3 RUSEKU – Repräsentative Untersuchungsstrategien für ein integratives Systemverständnis von spezifischen Einträgen von Kunststoffen in die Umwelt**

Das Projekt fokussiert auf das Umweltkompartiment Wasser. Die zu entwickelnden Probenentnahmeverfahren werden hinsichtlich ihres Anreicherungskonzeptes, ihres örtlichen Einsatzes, ihres Beprobungsdurchsatzes und ihrer Selektivität für Partikel

verschiedener Eigenschaften, Größen und Formen bewertet. Dazu werden definierte Mikroplastik-Partikel realitätsnah hergestellt und für die Probeentnahmeverfahren im Labor und in halbtechnischen Simulationsanlagen hinsichtlich einer repräsentativen Wiederfindung getestet.

Die so entwickelten Verfahren werden in spezifische Untersuchungsstrategien überführt und an reale Umweltkompartimente für unterschiedliche Transportpfade im urbanen Abwassersystem angepasst und eingesetzt. Die Anpassung erfolgt mit Hilfe unterstützender Simulationsverfahren. Neben dem akademischen Verständnis von Mikroplastik-Eintragsquellen, -ursachen und -pfaden sollen in Zusammenarbeit mit den beteiligten Firmen marktreife Verfahren zur effizienten Mikroplastik-Probenentnahme entwickelt werden, welche eine Grundlage für die Bewertung durch den Gesetzgeber und für die Normung bilden können.

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

Die zur Analytik von Mikroplastik in Umweltmatrices verfügbaren Methoden sind derzeit v. a. für Partikel im Größenbereich von 1 µm bis 5 mm ausgelegt. Kleinere Partikel unterhalb 1 µm werden bisher kaum erfasst. Diese sind jedoch im Gegensatz zu größeren Partikeln zellgängig und besitzen aufgrund ihrer im Verhältnis größeren Oberfläche ein höheres Potenzial zur Adsorption von Schadstoffen.

Aufgrund ihrer höheren ökotoxikologischen Relevanz liegt der Fokus des Projektes auf Plastikpartikeln zwischen 50 nm bis 100 µm. Dafür müssen der bisher verfügbare Detektionsbereich erweitert und neue Verfahren zur Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik entwickelt werden. Einen weiteren Schwerpunkt des Vorhabens bilden die möglichen Auswirkungen der Submikroplastikpartikel auf die aquatische Umwelt und auf die menschliche Gesundheit.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden durch die Bewertung der sozialen, politischen und rechtlichen Dimensionen des Plastikeintrags in die Umwelt ergänzt. Durch die Analyse der Problemwahrnehmung und möglicher Handlungsstrategien werden Grundlagen für aktive gesellschaftliche Veränderungsprozesse gelegt.

#### **4.5 REPLAWA – Reduktion des Eintrags von Plastik über das Abwasser in die aquatische Umwelt**

Das Projekt untersucht die Fragestellungen und Aufgaben zum Schutz der Ressource Wasser in Zusammenhang mit Abwasserableitung und Abwasserbehandlung. Die Eintragspfade ins Gewässer durch Kläranlagen, Niederschlagswassereinflüsse und Mischwasserentlastungen sowie die Senken bei der Abwasserbehandlung und im Klärschlamm werden ermittelt und quantitativ beurteilt. Verschiedene Verfahren zur Reduk-

tion und Elimination des Eintrags von Plastik bei der Abwasserbehandlung werden praktisch erprobt und bewertet.

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen und Auswertungen internationaler Regulierungsansätze werden Strategien zur Reduzierung von Plastikeinträgen abgeleitet. Hierbei ist auch die Sensibilisierung von Entscheidungsträger/innen und Anlagenbetreibern sowie die Verminderung des Eintrags über das Abwasser von Bedeutung.

Aufgrund der spezifischen Gegebenheiten liegt der Fokus bei dem in diesem Vorhaben thematisierten Plastik im Abwasser vor allem auf den Mikroplastik-Fractionen, für die die größten Herausforderungen in Bezug auf die genannten Ziele bestehen.

Die zu erarbeitenden Ergebnisse ermöglichen einen unmittelbaren ökologischen und auch ökonomischen Nutzen durch die Gewinnung und Verbreitung von technischem Knowhow für die Auswahl und Integration geeigneter Technik zum Rückhalt von Plastik bei der Abwasserbehandlung. Zudem profitieren die zuständigen politischen und behördlichen Entscheidungsträger von den im Projekt erarbeiteten Bestandsaufnahmen und Hinweisen zur Strategieentwicklung im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft.

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

Inhalt des Vorhabens ist die systematische Erfassung der Kunststoffemissionen im Abwasser relevanter Industriebranchen. Dabei werden emittierte Frachten entlang der Wertschöpfungskette (Herstellung, Transport, Weiterverarbeitung und Reinigung von Kunststoffen) betrachtet.

Ziel ist es, Abwasseraufbereitungstechnologien auszuwählen und hinsichtlich einer Reduktion dieser Eintragsfrachten zu optimieren. Die Maßnahmen zur Verhinderung von Verlusten bzw. zur Rückgewinnung werden gemeinsam mit den assoziierten Industriebetrieben überprüft und mit Partnern aus Wissenschaft, Verbänden und anderen Interessensgruppen bewertet. Neben der Evaluierung vorhandener Technologien zur Partikelabtrennung werden Abscheideleistungen ermittelt und technische Optimierungsansätze ausgearbeitet. Die Optimierung bezieht auch Technologieentwicklung (z. B. Flockungsmittel) mit ein.

In diesem Zusammenhang werden Labor- und Pilotversuche durchgeführt und ausgewählte großtechnische Abwasserbehandlungsanlagen bei Industriebetrieben untersucht. Der Fokus liegt neben technischen auch auf sozioökonomischen Aspekten des Umgangs mit Kunststoffemissionen von industriellen Abwässern.

#### **4.7 MikroPlaTaS – Mikroplastik in Talsperren und Staubereichen: Sedimentation, Verbreitung, Wirkung**

Die Verbreitung von Mikroplastik in Flüssen verdeutlicht, dass es entlang des Flussverlaufs neben Quellen auch Senken gibt. Wichtige und bisher wenig untersuchte Kompartimente des Gewässersystems sind Talsperren und Stauhaltungen, wo sich Nutzen und Risiko der Sedimentation von Mikroplastik besonders gut exemplarisch untersuchen lassen. Eine große Bedeutung bei Transport und Sedimentation von Mikroplastik wird darauf wachsenden Biofilmen zugeschrieben.

Ziele des Projektes sind

- die Bestimmung und Charakterisierung von Mikroplastik in Wasser, Sediment und Aufwuchs,
  - das Verständnis der Bildung von Biofilmen auf Plastik und der Sedimentation dieser bewachsenen Partikel,
  - die Erfassung der Wirkung und Aufnahme von Mikroplastik von Einzelorganismen bis zu Gemeinschaften im Freiland und Modellökosystemen sowie
  - die Synthese der wissenschaftlichen Ergebnisse bis hin zur Erarbeitung praktischer Empfehlungen.
- Ein Schwerpunkt dieser Synthese soll sein, Eliminationspfade für Mikroplastik zu identifizieren und daraus gemeinsam mit Praxispartnern Maßnahmenvorschläge und Risikoabschätzungen abzuleiten.

#### **4.8 MicBin – Mikroplastik in Binnengewässern – Untersuchung und Modellierung des Eintrags und Verbleibs im Donaueinzugsgebiet als Grundlage für Maßnahmenplanungen**

Ziel des Projektes ist die erstmalige Bilanzierung des Eintrags von Makro-, Meso- und insbesondere Mikroplastik für das deutsche Donaueinzugsgebiet mit Messkampagnen an den wesentlichen Donau-Zuflüssen.

Durch Anwendung verschiedener, sich ergänzender Analysemethoden werden Mikroplastikpartikel (Partikel  $< 5$  mm) untersucht. Der Fokus liegt dabei auf besonders kleinen, visuell nicht sichtbaren Partikeln mit einer Größe unter  $300 \mu\text{m}$ , da für diese Partikel die Datengrundlage nach heutigem Erkenntnisstand noch sehr gering ist. Quellen, Senken, Transportprozesse sowie Fragmentierung von Plastik werden über Frachten in separaten Stoffflussmodellen für Mikro- und Makroplastik abgebildet. Die Relevanz von bisher kaum beachteten Eintragungspfaden wie landwirtschaftlichen Flächen oder atmosphärischer Deposition wird durch gezielte, vereinheitlichte Probenahmen und ergänzende Laborexperimente geklärt.

Die Ergebnisse werden in bestehenden Modellen implementiert, die Modelle validiert und eine Plastikbilanz für das deutsche Donaueinzugsgebiet erstellt. Zudem wird mithilfe von Szenarienanalysen die Identifizierung von Maßnahmen zur Reduktion der Plastikbelastung auf der Ebene ganzer Flusseinzugsgebiete ermöglicht.

## 5 Themenbereich V – Meere und Ozeane

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

Im Projekt PLAWES wird mit dem Modellsystem Weser – Nationalpark Wattenmeer weltweit erstmals und umfassend die Mikroplastikbelastung eines großen Flusseinzugsgebietes mit europäischer Dimension untersucht. PLAWES wird als Pionierstudie eine disziplin- und ökosystemübergreifende Analyse der Kontamination mit Mikroplastik von den Quellflüssen bis zur Nordsee durchführen sowie dabei exemplarisch verschiedene punktuelle (Kläranlagen, Trennsysteme) und diffuse (Dränage, Atmosphäre) Quellen und Eintragspfade berücksichtigen.

Die Erkenntnisse fließen in einen Modellierungsansatz zur Identifikation primärer Transportmechanismen und Akkumulationszonen ein. Ökosystemische Auswirkungen von Mikroplastik im System Weser – Wattenmeer werden anhand der Interaktion von Mikroplastik mit Pathogenen in Biofilmen sowie aquatischen Invertebraten untersucht. Die Erkenntnisse dieser ökologisch besonders relevanten Aspekte werden verwendet, um das Umweltrisiko von Mikroplastik für das Modellsystem abzuschätzen und in der Folge auf andere Systeme übertragbar zu machen. Dies wird nicht nur maßgebend für Entscheidungsträger/innen und Stakeholder sein, sondern auch als Grundlage für wissenschaftsbasierte Lösungen dienen. Zudem finden die Ergebnisse Eingang in neue Lehrmaterialien, um eine Wissensplattform für Lehrer/innen, Schüler/innen und Eltern in Europa bereitzustellen.

### 5.2 MicroCatch\_Balt – Untersuchung der Mikroplastik-Senken und -Quellen von einem typischen Einzugsgebiet bis in die offene Ostsee

Das Projekt betrachtet exemplarisch das Warnow-Einzugsgebiet und diesen Fluss auf seinem Weg zur offenen Ostsee. Dazu wird die Kopplung von Modellen erarbeitet, welche das gesamte Einzugsgebiet inklusive Mündung und Küstengewässer abdecken. Die gekoppelten Modelle dienen der Identifizierung von Hotspot-Bereichen des MP-Eintrages und der Abschätzung, wie sich Mikroplastik-Reduktionsmaßnahmen in Teilbereichen des Einzugsgebietes auswirken. Durch die Übertragung der Modelle in die Anwendung eines Multitouch-Tisches werden interaktive, kreative Lernmodule erstellt, welche in Form einer Wanderausstellung in Gemeinden der deutschen Ostseeküste von Stralsund bis Flensburg präsentiert werden.

In die Untersuchungen schließt MicroCatch\_Balt auch Bootsleck, extreme Wetterereignisse als Quellen und höhere Organismen als Senken mit ein. Insgesamt wird MicroCatch\_Balt die wichtigsten Aspekte der Mikroplastik-Kontamination von limnischen bis marinen Systemen in Norddeutschland abdecken und damit Interessensvertreter\*innen das Fachwissen für zukünftiges Monitoring und Minderungsstrategien von Mikroplastikeinträgen bereitstellen.

## Liste der Verbundprojekte

Verbundprojekt	Koordinator/in
<b>RAU</b> Reifenabrieb in der Umwelt	<i>Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch</i> Technische Universität Berlin
<b>TextileMission</b> Mikroplastik textilen Ursprungs – Eine ganzheitliche Betrachtung: Optimierte Verfahren und Materialien, Stoffströme und Umweltverhalten	<i>Nicole Espey</i> Bundesverband der Deutschen Sportartikel-Industrie e. V., Bonn
<b>VerPlaPoS</b> Verbraucherreaktionen bei Plastik und dessen Vermeidungsmöglichkeiten am Point of Sale	<i>Dr. Thomas Decker</i> Stadt Straubing
<b>PlastikBudget</b> Entwicklung von Budgetansatz und LCA Wirkungsabschätzungsmethodik für die Governance von Plastik in der Umwelt	<i>Jürgen Bertling</i> Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen
<b>ResolVe</b> Recycling von Polystyrol mittels rohstofflicher Verwertung	<i>Dr. Hannes Kerschbaumer</i> INEOS Styrolution Group GmbH, Frankfurt am Main
<b>solvoPet</b> Entwicklung einer Verwertungstechnologie für PET Altkunststoffe aus Multilayermaterial und anderen Abfallverbunden	<i>Carsten Eichert</i> RITTEC Umwelttechnik GmbH, Lüneburg
<b>MaReK</b> Markerbasiertes Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffverpackungen	<i>Prof. Dr.-Ing. Claus Lang-Koetz und Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky</i> Hochschule Pforzheim
<b>KuWert</b> Schiffgestützte Behandlung von Kunststoffen zur Implementierung von Wertschöpfungsketten in wenig entwickelten Ländern sowie zur Vermeidung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt und insbesondere in marine Ökosysteme	<i>Christoph Rasewsky</i> TECHNOLOG Services GmbH, Hamburg
<b>ENSURE</b> Entwicklung neuer Kunststoffe für eine Saubere Umwelt unter Bestimmung relevanter Eintragspfade	<i>Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck</i> Universität Stuttgart
<b>PLASTRAT</b> Lösungsstrategien zur Verminderung von Einträgen von urbanem Plastik in limnische Systeme	<i>Prof. Dr.-Ing. Christian Schaum und apl. Prof. Dr.-Ing. Steffen Krause</i> Universität der Bundeswehr München



Verbundprojekt	Koordinator/in
<b>RUSEKU</b> Repräsentative Untersuchungsstrategien für ein integratives Systemverständnis von spezifischen Einträgen von Kunststoffen in die Umwelt	<i>Dr. Ulrike Braun</i> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
<b>SubµTrack</b> Tracking von (Sub)Mikroplastik unterschiedlicher Identität – Innovative Analysetools für die toxikologische und prozesstechnische Bewertung	<i>Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes</i> Technische Universität München
<b>REPLAWA</b> Reduktion des Eintrags von Plastik über das Abwasser in die aquatische Umwelt	<i>Prof. Dr.-Ing. Holger Scheer</i> Emscher Wassertechnik GmbH, Essen
<b>EmiStop</b> Identifikation von industriellen Plastik-Emissionen mittels innovativer Nachweisverfahren und Technologieentwicklung zur Verhinderung des Umwelteintrags über den Abwasserpfad	<i>Dr.-Ing. Eva Gilbert</i> EnviroChemie GmbH, Rossdorf
<b>MikroPlaTas</b> Mikroplastik in Talsperren und Staubereichen: Sedimentation, Verbreitung, Wirkung	<i>PD Dr. Katrin Wendt-Potthoff</i> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig
<b>MicBin</b> Mikroplastik in Binnengewässern – Untersuchung und Modellierung des Eintrags und Verbleibs im Donaugebiet als Grundlage für Maßnahmenplanungen	<i>Dr. rer. nat. Florian R. Storck</i> <i>vertreten durch</i> <i>Dr. Nicole Zumbülte</i> TZW: DVGW-Technologiezentrum, Karlsruhe
<b>PLAWES</b> Mikroplastikkontamination im Modellsystem Weser – Nationalpark Wattenmeer: ein ökosystemübergreifender Ansatz	<i>Prof. Dr. Christian Laforsch</i> Universität Bayreuth
<b>MicroCatch_Balt</b> Untersuchung der Mikroplastik-Senken und -Quellen von einem typischen Einzugsgebiet bis in die offene Ostsee	<i>PD Dr. habil. Matthias Labrenz</i> Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Rostock

