

# Plastik in der Umwelt

Quellen • Senken • Lösungsansätze

## Modellbasierte Forschung zu Mikroplastik in der Umwelt

Synthesepapier

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes

Plastik in der Umwelt

Quellen – Senken – Lösungsansätze

24.11.2020

## **Autor\*innenschaft:**

Dr. Elke Brandes, Thünen-Institut für Ländliche Räume,  
[elke.brandes@thuenen.de](mailto:elke.brandes@thuenen.de)

Stephanie Cieplik, BKV GmbH, [stephanie.cieplik@bkv-gmbh.de](mailto:stephanie.cieplik@bkv-gmbh.de)

Prof. Dr. Peter Fiener, Universität Augsburg, [fiener@geo.uni-augsburg.de](mailto:fiener@geo.uni-augsburg.de)

Dr. Martin Henseler, Thünen-Institut für Ländliche Räume,  
[martin.henseler@thuenen.de](mailto:martin.henseler@thuenen.de)

Dr. Frank Herrmann, Forschungszentrum Jülich, [f.herrmann@fz-juelich.de](mailto:f.herrmann@fz-juelich.de)

Dr. Jörg Klasmeier, Universität Osnabrück, [jklasmei@uni-osnabrueck.de](mailto:jklasmei@uni-osnabrueck.de)

Peter Kreins, Thünen-Institut für Ländliche Räume, [peter.kreins@thuenen.de](mailto:peter.kreins@thuenen.de)

Sarah Piel, Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde, [sarah.piehl@io-warnemuende.de](mailto:sarah.piehl@io-warnemuende.de)

Gholamreza Shiravani, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,  
Küsten- und Naturschutz, [Gholamreza.Shiravani@nlwkn-ny.Niedersachsen.de](mailto:Gholamreza.Shiravani@nlwkn-ny.Niedersachsen.de)

Prof. Dr. Frank Wendland, Forschungszentrum Jülich, [f.wendland@fz-juelich.de](mailto:f.wendland@fz-juelich.de)

Dr. Andreas Wurpts, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,  
Küsten- und Naturschutz, [Andreas.Wurpts@nlwkn-ny.niedersachsen.de](mailto:Andreas.Wurpts@nlwkn-ny.niedersachsen.de)

Infografiken erstellt von Dr. Elke Brandes und Lena Aebli.

Das vorliegende Papier entstand im Nachgang zweier Workshops am 28.3.2019 und 8.6.2020 der modellierenden Forschungsgruppen aus den drei Projekten MicBin, MicroCatch\_Balt und PLAWES, die flächen- und teilweise tiefenbezogen (Mikro-)Plastikquellen und -pfade innerhalb von drei Flusseinzugsgebieten in Deutschland (MicBin: Donau; MicroCatch\_Balt: Warnow; PLAWES: Weser) quantifizieren.

Die Arbeit basiert auf Modell-Steckbriefen, die im Anhang beigefügt sind und die wesentlichen Kennpunkte und Eigenschaften der einzelnen Modelle beschreiben. Anhand dieser Steckbriefe wurde innerhalb des Querschnittsthemas projektübergreifend der Gesamt-Abbildungsbereich der Modelle zusammengeführt und damit die noch vorhandenen Lücken in Bezug auf Daten und Modellstruktur identifiziert.

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Hintergrund und Fragestellung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>(Mikro-)Plastik Kategorisierung</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Kurzüberblick der Modelle</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Abbildungsbereiche der Modelle in den Projekten MicBin, MicroCatch_Balt und PLAWES</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Aktuelle Defizite in der Modellierung</b>	<b>5</b>
5.1	Menge und Qualität von Mikroplastik-Eintrag in die Umwelt	7
5.2	Transport in und zwischen Umweltkompartimenten	7
5.3	Akkumulation und Ab- bzw. Umbau in einzelnen Umweltkompartimenten	8
<b>6</b>	<b>Zukünftige Forschungsausrichtung</b>	<b>9</b>
6.1	Vorteile des harmonisierten Ausbaus der Analytik und der Modellierung	10
6.2	Forschung zielgerichtet auf politische Handlungs-optionen	11
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>12</b>
I.	Modell „GREAT-ER“	13
II.	Modell „Speros-MP“	15
III.	Modell „Vom Land ins Meer“	17
IV.	Modell „RAUMIS“	19
V.	Modelle „mGROWA“, „MEPhos“	21
VI.	Modell „Massenkonsistenter ästuariner Mikroplastik-Transport“	23
VII.	Modell „GETM-GITM“	25

# Modellbasierte Forschung zu Mikroplastik in der Umwelt – Eine Synthese

## 1 Hintergrund und Fragestellung

---

Mikroplastik (MP) Belastungen in der Umwelt geraten zunehmend in den öffentlichen Fokus. Obwohl in diesem jungen Forschungsfeld noch relativ wenige abgesicherte Forschungsergebnisse vorliegen, wird Mikroplastik in den Medien oft als schwerwiegendes Umweltproblem dargestellt, was öffentliche Forderungen nach Regulation mit sich bringt. Die MP-Forschung hat sich in der Vergangenheit hauptsächlich auf marine Systeme bezogen, wobei besonders die landseitigen Einträge von MP bisher wenig untersucht worden sind. Diese stellen aber laut wissenschaftlichen Einschätzungen eine wichtige MP-Eintragsquelle dar, auch wenn noch keine gesicherten Erkenntnisse bezüglich der Bedeutung unterschiedlicher landseitiger Eintragsquellen und -pfade vorliegen. In der FONA Maßnahme „Plastik in der Umwelt“ wurden interdisziplinäre Verbundprojekte gefördert, um i) einen Standard für die Analytik von MP zu entwickeln, ii) eine MP-Datengrundlage auf Basis der Analytik aufzubauen, und iii) das Systemverständnis von MP-Einträgen, Transport und Verbleib in der Umwelt durch die Entwicklung von Modellansätzen zu verbessern. In allen Projekten zeigt sich, dass der Zeitaufwand für die Aufbereitung und Analytik der Umweltproben größer ist als erwartet. Damit stehen für die Entwicklung, Kalibrierung und Validierung von Simulationsmodellen bisher nur in sehr beschränktem Umfang Daten zur Verfügung. Dennoch ist es zielführend, mathematische Modelle schon in der frühen Forschungsphase zu entwickeln und auszubauen, um einerseits die Sensitivität verschiedener Kenngrößen und Prozesse auf die MP-Verteilung in der Umwelt abzuschätzen und somit andererseits die Anforderungen an die Zahl, Verortung und Frequenz zukünftiger Probennahmen zu spezifizieren.

Dieses Papier behandelt die Fragestellung, welchen Abbildungsbereich die Modelle in der FONA Maßnahme „Plastik in der Umwelt“ abdecken. Daraus werden sowohl datenbedingte als auch strukturelle Wissenslücken identifiziert, die relevant für ein besseres Systemverständnis sind. Gleichzeitig verdeutlicht diese Synthese den möglichen Beitrag der Modellierung zur weiteren flächenbezogenen Mikroplastikforschung in der Fortsetzung der derzeitigen Förderung.

## 2 (Mikro-)Plastik Kategorisierung

---

Als Mikroplastik werden üblicherweise Plastikpartikel im Größenspektrum zwischen 1 und 5000 µm definiert. Man unterscheidet primäres Mikroplastik, das als solches in die Umwelt eingetragen wird (z.B. Reifenabrieb, Microbeads, synthetische Textilfasern) von sekundärem Mikroplastik, das durch die Fragmentierung von größeren Plastikteilen (Meso- und Makroplastik) erst in der Umwelt entsteht. Da durch unterschiedliche Umwelteinwirkungen ein fortlaufender Fragmentierungsprozess von Plastikpartikeln angenommen werden kann, besteht ein fließender Übergang zwischen den Größenkategorien von Makro- bis hin zu Nanoplastik. Über diese Zerfallsraten und dessen Einflussfaktoren weiß man aktuell jedoch noch sehr wenig.

## 3 Kurzüberblick der Modelle

---

In den Projekten MicroCatch\_Balt und PLAWES wird die potentielle Mikroplastikbelastung in landwirtschaftlich genutzten Flächen durch das Agrarsektormodell RAUMIS (Thünen-Institut) abgebildet. Die Gesamtheit der Eintragsquellen in das Flusssystem wird durch TeMBa (Forschungszentrum Jülich) modelliert, während die Gebiete des Ästuar und offenen Meeres in PLAWES durch das FSK Modell (Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) und in MicroCatch\_Balt durch die Modelle GETM-GITM (Leibnitz Institut für Ostseeforschung) abgedeckt sind. Im Projekt MicBin werden die punktuellen und diffusen MP-Einträge und der Transport im Flusssystem über das Modellsystem GREAT-ER (Uni Osnabrück) simuliert. Das räumlich hochauflösende Erosionsmodell SPEROS-MP (Uni Augsburg) erzeugt für ein ausgewähltes Teileinzugsgebiet einen flussabschnittsspezifischen diffusen Eintrag über den Pfad der Bodenerosion. Darüber hinaus wird das Modell „Vom Land ins Meer“ (BKV) auf die Donauregion ausgedehnt und – soweit möglich – um Partikelklassen erweitert. Zudem sollen die Einträge von Makro- und Mikrokunststoffe, die im Modell ausgewiesen werden, verifiziert werden, indem insbesondere die beiden Modelle GREAT-ER und „Vom Land ins Meer“ in Abgleich miteinander gebracht werden.

## 4 **Abbildungsbereiche der Modelle in den Projekten MicBin, MicroCatch\_Balt und PLAWES**

---

In einem Flussdiagramm mit den (vermuteten und bekannten) Quellen, Eintragspfaden, sowie Anreicherungs- und Abbauprozessen von (Mikro-)Plastik in den verschiedenen Umweltkompartimenten sind die Abbildungsbereiche der Modelle in den Projekten MicBin, MicroCatch\_Balt und PLAWES dargestellt (Abbildung 1).

Die Verbundmodelle aller drei Einzugsgebiete bilden diffuse Einträge aus landwirtschaftlichen Flächen (Quellen: Kompost, Klärschlamm, Folienkulturen) und atmosphärischer Deposition, sowie punktuelle Einträge aus Kläranlagenabflüssen ab. Als zusätzliche diffuse Quellen werden in MicBin Littering und Reifenabrieb berücksichtigt. Der Übergang von MP zwischen terrestrischen und aquatischen Ökosystemen wird in allen drei Projekten durch Wassererosion abgedeckt, zusätzlich wird in MicroCatch\_Balt und PLAWES als weitere Abflusskomponente die Drainage berücksichtigt. In MicBin wird die Umlagerung von MP im Bodenprofil und entlang von Hängen simuliert, was Einfluss auf den erosionsbürtigen MP Eintrag in Fließgewässer hat. Während in MicroCatch\_Balt und PLAWES die Emissionen ins jeweilige Ästuar aus den eingetragenen MP-Frachten berechnet werden, bildet MicBin die Ablagerung im Sediment und den Transport durch den Flusslauf ab. Durch die geografischen Abgrenzungen werden Einträge und Transportprozesse im Ästuarbereich und im offenen Meer lediglich in MicroCatch\_Balt (Ostsee) und PLAWES (Nordsee - Wattenmeer) modelliert. Hierbei werden neben den Kläranlagenabflüssen noch weitere Eintragsquellen, wie Abrieb von Schiffsfarbe und Littering, z.B. bei Großereignissen (MicroCatch\_Balt), Lufteinträge aus urbanen Flächen (PLAWES), und Umlagerungsprozesse, wie Ablagerung und Resuspension im Sediment (MicroCatch\_Balt, PLAWES) und Deposition in Überflutungsgebieten (PLAWES) berücksichtigt.

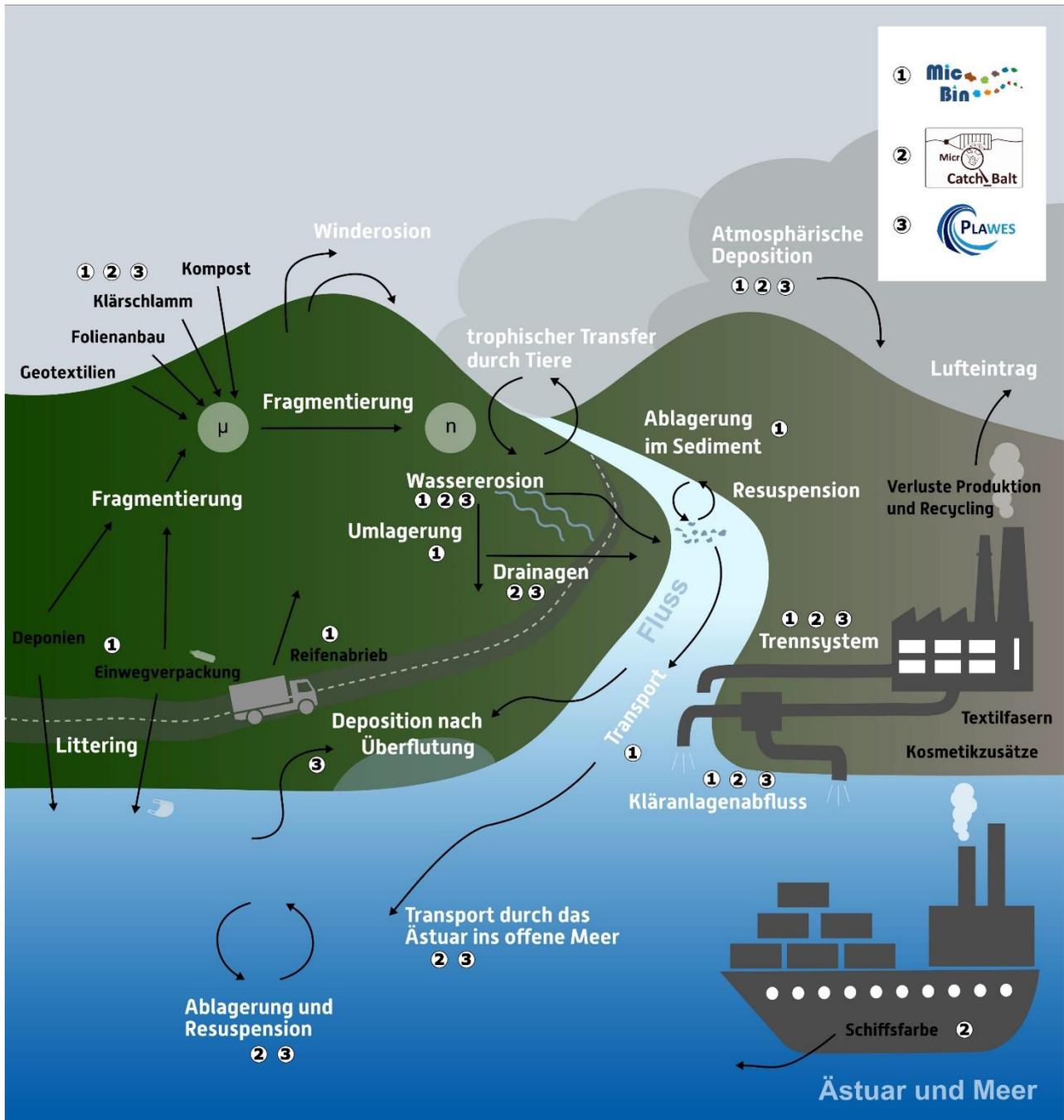


Abbildung 1: Ergebnisse aus der Synthese der Flussgebiets-Modelle in der FONA Maßnahme „Plastik in der Umwelt“. Die Nummern markieren die Quellen, Eintragspfade und Transportprozesse, die durch die Modelle in den angegebenen Projekten (1: MicBin, 2: Microcatch\_Balt, 3: PLAWES) abgedeckt sind.

## 5 Aktuelle Defizite in der Modellierung

---

Insgesamt ist zu konstatieren, dass die bisherigen Modellierungen vor allem der Abschätzung des potentiellen Systemverhaltens von MP von der Quelle bis in die Gewässer und Transport in den Gewässern dienen. Für solide, prozessnahe Abschätzungen der Dynamik der MP Belastung von Böden und Gewässern fehlen bisher wichtige Grundlagen, die zum einen auf fehlende Eingangsdaten und zum anderen auf Abbildungslücken in den Modellstrukturen (Abbildung 2) basieren. Hierbei lassen sich inhaltlich drei Bereiche unterscheiden:

1. Während es zum **Eintrag** in die Umwelt bereits eine beschränkte Anzahl von soliden Messergebnissen gibt, die in Modelle einfließen können, ist zur langfristigen Akkumulation in unterschiedlichen Umweltkompartimenten bisher kaum etwas bekannt. Dies gilt insbesondere für die Böden.
2. Zum **Transport** von MP aus terrestrischen Ökosystemen in Fließgewässer und zum Transport in Fließgewässern ist die Datenlage und das Prozessverständnis ebenso heterogen. Während es zunehmend Daten zum Transport in Gewässern gibt, die als Grundlage für die Modellierung verwendet werden können, gibt es zum Eintrag in Fließgewässer bisher fast ausschließlich Daten zu Punktquellen, die sich verhältnismäßig einfach erfassen lassen.
3. Zum **Verhalten** und Verbleib von in die Umwelt eingebrachten Plastikmaterialien (Makro- und Mikroplastik) ist das Wissen bisher sehr eingeschränkt. Hier gibt es große Unterschiede zwischen verschiedenen Umweltkompartimenten; so gibt es zum Beispiel zur Fragmentierung von Plastik in künstlicher Brandung erste Versuchsergebnisse, die potentiell in Modelle eingebaut werden können, während es zur Geschwindigkeit der Fragmentierung von Plastik in Böden oder Sedimenten bisher kaum substantielles Wissen gibt. Aus der Perspektive der Modellierung des MP-Eintrags, -Transports und Verhalten in Einzugsgebieten lassen sich einige besonders ausgeprägte Wissenslücken feststellen.

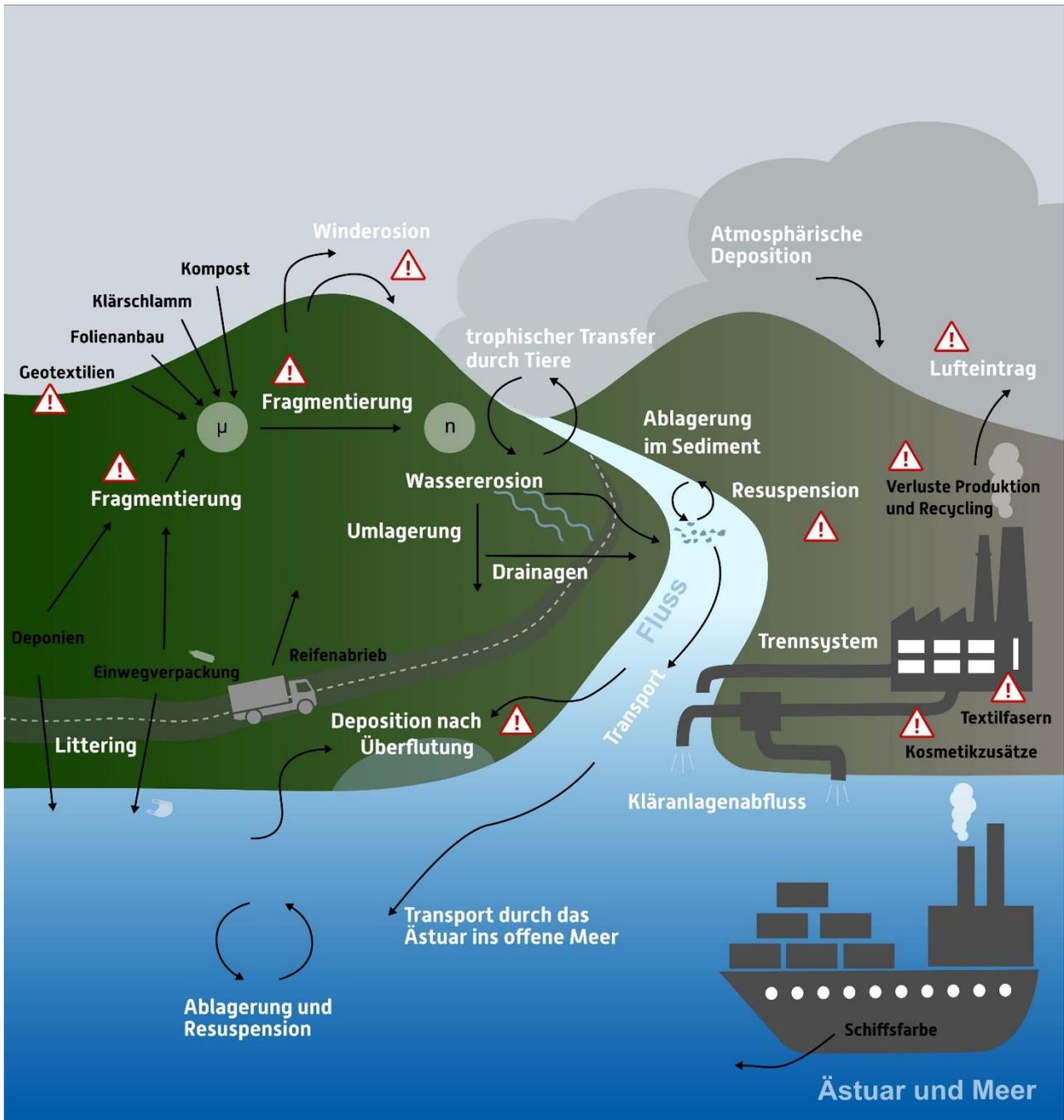


Abbildung 2: Ergebnisse aus der Synthese der Flussgebiets-Modelle in der FONA Maßnahme „Plastik in der Umwelt“. Mit roten Ausrufezeichen markiert sind die Quellen, Eintragspfade und Prozesse, die mit Hilfe entsprechender Datenerhebungen in die Modelle integriert werden können.

## 5.1 Menge und Qualität von Mikroplastik-Eintrag in die Umwelt

In allen Modellierungsgruppen wurde für die räumliche Abschätzung der MP-Belastungen aus landwirtschaftlichen Quellen die Modellstruktur angelegt. Es wird jedoch bis zum Projektende keine ausreichende Anzahl an projekteigenen Messergebnissen vorliegen, um daraus flächenbezogene Mengen abzuleiten. Die Modellierung dieser Eintragspfade wird daher auf Grundlage von Literaturdaten durchgeführt. Um die Spannweite (räumliche und zeitliche Variabilität) von MP-Konzentrationen in Kompost und Klärschlamm besser einschätzen zu können, werden weitere Analyseergebnisse (Partikelverteilungen mit Polymertyp, Partikelgröße, Form, etc.) für diese Kompartimente benötigt.

In den Modellen werden auch Quellen abgebildet, über die vornehmlich Makroplastik in die Umwelt eingetragen wird (v.a. Littering, aber auch Folieneinsatz in der Landwirtschaft). Hier stellt die Fraktionierung in den mm- bzw. µm-Bereich den eigentlichen Eintrag von sekundärem Mikroplastik dar. Fraktionierungsraten von Makroplastik in Abhängigkeit von Material, Zeit und Umweltfaktoren sind aufgrund fehlender Daten bislang nicht bzw. nur indirekt berücksichtigt. Für die Abschätzung von MP-Einträgen durch Folienanbau werden Analyseergebnisse von Flächen mit bekannter Nutzungshistorie benötigt, die Aussagen zulassen, wie viel der eingesetzten Folie als MP im Boden verbleibt. Foliendicke und Material sowie Bearbeitungsmethoden können hier wichtige Einflussfaktoren sein. Die im Projekt MicroCatch\_Balt erhobenen Messergebnisse von gezielten Feldproben auf mit Folie bewirtschafteten Flächen können für die Modellierung sowie für weitere detaillierte Probenanalysen erste Anhaltspunkte geben.

Bei den urbanen und industriellen Quellen primären Mikroplastiks (z.B. Hausstaub aus synthetischen Textilfasern, Straßenabrieb, Verluste bei Plastikproduktion und –recycling) kann man vermuten, dass sie anteilig in die Umwelt freigesetzt werden (z.B. durch Wohnungslüften, Verwehung, Regenablauf) aber auch teilweise den Stoffströmen der Abfallverwertung zugeführt werden (Staubsaugen, Straßenreinigung). Durch Gegenüberstellung bzw. Verknüpfung von herkunfts- mit eintragsorientierten Modellen könnten in Zukunft diese Eintragspfade besser differenziert werden.

Geotextilien, die bei Baumaßnahmen dauerhaft in Böden eingebracht werden, könnten durch Abrieb/Fragmentierung eine weitere MP-Quelle darstellen, die bislang noch nicht untersucht wurde.

## 5.2 Transport in und zwischen Umweltkompartimenten

Die atmosphärische Deposition umfasst MP verschiedener Herkunftsquellen (Verlagerung aus landwirtschaftlichen Böden durch Winderosion, Lufteintrag aus urbanen und industriellen Quellen), die in den beschriebenen Modellen eintragsorientiert, also als Gesamtmenge, aber noch nicht differenziert nach der Herkunft abgebildet werden. Die flächendeckende, räumliche Verteilung der

verschiedenen Eintragspfade in die Atmosphäre und der partikelgrößenabhängige atmosphärische Transport bleiben wichtige Fragestellungen für mögliche Erweiterungen der Modelle.

Für die Modellierung der MP-Einträge ins limnische System liegen lediglich stichprobenartig gewonnene MP-Partikelverteilungen (Polymertyp, Partikelgröße, Farbe, etc.) im Gewässernetz und dem Auslass von Kläranlagen vor. Durch die Erhebung von kontinuierlichen Daten zur zeitlichen und räumlichen Variabilität der MP-Partikelverteilung an diesen Probenahmepunkten können die Modellergebnisse in Zukunft präzisiert werden.

Mit Ausnahme von Ackerböden, wo Umlagerung im Pflughorizont stattfindet, spielt für die Umlagerung und den potentiellen Austrag mit dem Sickerwasser vor allem die Bioturbation eine entscheidende Rolle. Besonders wichtig ist dabei die Tätigkeit von Regenwürmern, die einerseits MP aufnehmen und wieder ausscheiden und andererseits ganz wesentlich für die Entstehung von Makroporen sind. Vermutlich ist der Austrag ins Grundwasser durch Makroporen auf sehr kleine (wenige  $\mu\text{m}$ ) MP-Partikel beschränkt und in der Gesamtbetrachtung gegenüber dem Austrag durch Wind- und Wassererosion als gering einzuschätzen.

Über den trophischen Transfer durch Tiere können MP-Partikel nicht nur innerhalb des Bodens, sondern auch zwischen Ökosystemen (z.B. durch Vögel) verlagert werden. Auch diese Prozesse sind *in situ* noch zu wenig untersucht worden.

In MicBin werden unter anderem Berechnungsversuche zum MP-Austrag aus zuvor mit MP belasteten Ackerflächen durchgeführt, um erste Anhaltspunkte für die Modellierung der Anreicherung des MP im ausgetragenen Sediment zu erhalten. Diese Versuche zeigen unter anderem, dass die Anreicherung, wie zu erwarten, von der MP-Größe und der Textur des Bodens abhängt. Zudem spielen die Bodenfeuchte und die Dauer seit Ausbringung des MP eine entscheidende Rolle, da letzteres zu einer zunehmenden Anlagerung an mineralische Substanz bzw. Einlagerung in Bodenaggregate und damit zur Stabilisierung gegenüber Austrag führt. Diese ersten spannenden Ergebnisse aus Parzellenversuchen lassen sich aber auf Grund der wenigen untersuchten Boden/Mikroplastikvarianten kaum für die Einzugsgebietsmodellierung verallgemeinern. Dabei ist das größte Problem, dass über die Größenverteilung des MP in unterschiedlichen Böden keine Daten existieren.

### **5.3 Akkumulation und Ab- bzw. Umbau in einzelnen Umweltkompartimenten**

Als wichtigste Speicher im Gesamtsystem werden Böden und Meere angesehen. In allen Projekten wird angenommen, dass sich in den Boden eingetragenes Mikroplastik, das nicht durch (Wasser-)Erosion und Drainage ausgetragen wird, anreichert. Dabei spielt die Einarbeitung des oberflächlich aufgetragenen Mikroplastik bzw. des oberflächlich zerfallenden Makroplastik durch Bodenorganismen und ackerbauliche Maßnahmen eine besonders wichtige Rolle für die Anreicherungsfunktion. Mikroplastik, das nicht mehr an der Oberfläche liegt, ist dabei einerseits vor dem Austrag durch Erosion und andererseits vor dem photochemischen Zerfall geschützt.

Ein generelles Problem bei der Analyse dieser Prozesse im Boden ist die schwierige Nachweisbarkeit, da die MP-Partikel in einer Partikelmatrix vorliegen und vermutlich eine fortlaufende Fraktionierung in Partikel unter der Nachweisgrenze stattfindet. Dieser Anteil müsste in allen Umweltkompartimenten berücksichtigt werden. Im Projekt ENSURE (ebenfalls aus der FONA Maßnahme „Plastik in der Umwelt“) wird ein erster Modellansatz getestet, der die zeitliche Entwicklung der Größenklassenverteilung durch Fragmentierung abbilden könnte. Wobei natürlich zu berücksichtigen ist, dass die Fragmentierung und in geringerem Maße die Degradierung durch Mikroorganismen stark vom Medium (im Gewässer, im Boden etc.) abhängt. Die zur Parametrisierung und Kalibrierung des Ansatzes erforderlichen Daten sind aber aktuell auch noch nicht in ausreichendem Maße verfügbar. In limnischen und marinen Systemen können dauerhafte Deposition in Überflutungsgebieten, die derzeit nur im Ästuar berücksichtigt sind (PLAWES) und Sedimentation eine Rolle spielen. Bei der Sedimentation im marinen Bereich wurden die Ansätze für die Wechselwirkungen zwischen Biota und MP (Biofouling) sowie zwischen Feinsediment und MP im FSK Modell entwickelt. Allerdings besteht Untersuchungsbedarf der Wechselwirkungen zwischen abgelagertem MP und Bioturbation in den unteren Sedimentschichten. Der photochemische und mikrobielle Abbau von Plastik-Polymeren in ihre anorganischen Bestandteile ist vermutlich quantitativ im Kontext der großen Datenunsicherheiten als nicht relevant zu betrachten. Bei der Aufnahme durch Tiere wird davon ausgegangen, dass ein Großteil des Plastiks wieder ausgeschieden wird, was einen trophischen Transfer innerhalb von und zwischen Ökosystemen verursachen kann (siehe Abschnitt 5.2). Auch kann bei diesen Prozessen die Fragmentierung von Plastikpartikeln beschleunigt werden. Membrangängiges Nanoplastik kann von Pflanzen und Tieren aufgenommen und eingelagert werden. Über diese Prozesse ist in der wissenschaftlichen Literatur bisher hauptsächlich theoretisch berichtet worden.

## 6 Zukünftige Forschungsausrichtung

---

In der Mikroplastikforschung fehlen derzeit wichtige Informationen um ein belastbares Verständnis für das Gesamtsystem, unter Einbeziehung aller Quellen, Eintragspfade, und des Verbleibs von MP in der Umwelt entwickeln zu können. Die Mikroplastikanalytik wird auch in absehbarer Zukunft, bedingt durch die methodischen Herausforderungen, in erster Linie punktuelle Informationen liefern. So ist zum Beispiel die Hintergrundbelastung durch Mikroplastik aus Littering-Quellen, die diffus in Böden eingetragen wird, bisher nicht (flächendeckend) betrachtet worden. Es ist jedoch wichtig, die bisher betrachteten, ebenfalls noch mit großen Unsicherheiten behafteten Eintragsquellen über Kompost, Klärschlamm und Folien in den Kontext dieser Belastung einzuordnen. Gleiches gilt für den Reifenabrieb oder Lufteinträge aus Siedlungsgebieten.

## 6.1 Vorteile des harmonisierten Ausbaus der Analytik und der Modellierung

Bei der weiteren Forschungsentwicklung ist es eminent wichtig, die verschiedenen Modelle unter dem Gesichtspunkt eines verbesserten Systemverständnisses weiterzuentwickeln, während gleichzeitig die analytischen Methoden optimiert und die Datengrundlagen erweitert werden. Die Modellierung - als Werkzeug für ein besseres Systemverständnis und Hilfsmittel für die ersten Einschätzungen - kann nicht nur die Verknüpfungen zwischen den punktuellen Analyseergebnissen schaffen, sondern auch die gezielte Auswahl von geeigneten Probenahmestellen und der benötigten Frequenz der Probenahme unterstützen. So konnte für den marinen Bereich durch Einsatz des innerhalb des PLAWES Projekts entwickelten Modellansatzes bereits eine sinnvolle Priorisierung der Probenahmestandorte für die zweite Probenahmekampagne vorgenommen werden, nachdem deutlich wurde, dass die ursprünglich vorgesehene Probenanzahl die verfügbaren Analysekapazitäten überschritt. Das deterministische Transportmodell für den marinen Bereich erlaubt zudem die Abbildung von Jahresgängen und zyklischen Prozessen, so dass die prinzipbedingt punktuellen Proben (in Raum und Zeit) den natürlichen Prozessen deutlich besser zugeordnet werden können.

Die Modelle können z.B. genutzt werden, um die Sensitivität einzelner Parameter und Prozesse vorab abzuschätzen und so die vorhandenen Unsicherheiten in den datenbasierten Modellergebnissen durch zielgerichtete Analysen und Untersuchungen zu verringern. Die Konzentrationen von MP in Klärschlamm- und Kompostproben verschiedener Herkunft können zum Beispiel genutzt werden, um obere und untere Grenzen der MP-Belastung in Äckern abzuschätzen, die mit Klärschlamm gedüngt wurden. Diese Voraussagen können dann mit Messergebnissen von Bodenproben dieser Äcker verglichen werden, um die Prozesse von Anreicherung und Umlagerung im Boden abzuschätzen. Auch werden zurzeit viele Prozesse (z.B. Einschluss in Bodenaggregate, Interaktion mit mineralischer Substanz, Verhalten bei Wassererosion, hydrodynamisches Verhalten in Fließgewässern) empirisch untersucht. Aus den Ergebnissen hergeleitete Koeffizienten können durch Modellierung das Verständnis des Übergangs von MP zwischen Systemen (z.B. Boden und Gewässer) oder den Transport durch ein Fließgewässer verbessern.

Bei der weiteren Forschungsentwicklung ist die Koordination zwischen Datenerhebung und Modellierung wichtig, da in einem iterativen Prozess beide Disziplinen sich gegenseitig unterstützen können. Um mit den begrenzten analytischen Kapazitäten den größtmöglichen Erkenntnisgewinn zu erzielen, ist eine gezielte modellunterstützte Auswahl von geeigneten Probenahmestellen und der benötigten Frequenz der Probenahme unerlässlich. So können zum Beispiel durch räumlich differenzierte Modellierung MP-Hotspots auf übergeordneter Ebene identifiziert und damit die Beprobungsregionen stark eingengt werden. Ein zeitgleicher, ineinander verzahnter Prozess der empirischen und modellbasierten Forschung ist zudem effizienter als eine isolierte Entwicklung der Disziplinen. In der Modellierung wird zunächst ein Grundgerüst gebaut, in das schrittweise die vorliegenden Daten durch bessere ausgetauscht werden. So muss eine

Modellstruktur nicht grundsätzlich neu gestaltet werden. Die vorläufigen Modellergebnisse geben auch Aufschluss darüber, welche Kenngrößen noch fehlen, wodurch die weitere Beprobungsstrategie optimiert werden kann. Wenn sich zum Beispiel herausstellt, dass Vertikaltransport im Boden nicht zum MP-Austrag über Drainagerohre führt, dann ist dies eine wichtige Information hinsichtlich der Abreicherung von MP im Oberboden (Abnahme der MP-Erosion) ohne zusätzliches Verlustrisiko durch Dränagen.

## **6.2 Forschung zielgerichtet auf politische Handlungsoptionen**

(Mikro-)plastik wurde in zahlreichen Umweltkompartimenten nachgewiesen, dennoch ist das Wissen über die tatsächlichen in der Umwelt akkumulierenden Mengen und dessen Schadpotential begrenzt. Durch seine hohe chemische und physikalische Heterogenität ist die Risikoabschätzung von Mikroplastik als Grundlage der Gesetzgebung wie bei chemisch einheitlichen Schadstoffen jedoch nicht möglich. Unabhängig von der Frage, ob die Gesetzgebung auf evidenzbasierter Risikoabschätzung oder dem Vorsorgeprinzip basieren sollte, ist es zielführend, die Größenordnungen der verschiedenen Emissionsquellen und Eintragspfade in die Umwelt gegenüber zu stellen, um deren Relevanz einordnen zu können. Die Quantifizierung dieser Emissionsquellen, Eintragspfade, räumlichen Verdünnungs-, Abbau- und Depositionsraten, Anreicherungen und Verfrachtungen kann nicht allein aus der Analyse von Proben erfolgen. Eine wertvolle Unterstützung in diesem Zusammenhang können Simulationsmodelle darstellen, die durch Veränderung der Randbedingungen (Eingabedaten) in Szenarien-Analysen den Effekt von Einflussfaktoren, aber auch von Handlungsoptionen zur Minimierung des Eintrags abbilden können.

Während ökotoxikologische Untersuchungen Erkenntnisse über das Gefahrenpotential für Lebewesen liefern, kann die Modellierung dazu beitragen, ein Systemverständnis aufzubauen, Belastungshotspots abzugrenzen und Wirkungszusammenhänge zu identifizieren, die als Ansatzpunkte politischen Handelns dienen. Die Skalierung von Emissionsquellen und Prozessen auf die Landschaftsebene liefert zudem Informationen für politische Entscheidungen in einem räumlich differenzierten Kontext. Bei der Bewertung von Minderungsstrategien können zum einen die verschiedenen Sektoren (z.B. Landwirtschaft, Abfallwirtschaft, Konsum) und zum anderen die regionalen Gegebenheiten differenziert betrachtet werden. Dieses Wissen kann dann bei der Entwicklung von effektiven Handlungsoptionen einfließen.

## 7 Anhang

---

Steckbriefe der Modelle in den Verbundprojekten.

## I. Modell „GREAT-ER“

<b>Name</b>	<b>GREAT-ER 4</b>
<b>FONA PidU Projekt</b>	<b>MicBin</b>
Kurzbeschreibung	GREAT-ER ("Georeferenced Regional Exposure Assessment Tool for European Rivers") wurde ursprünglich zur Expositionsanalyse von Haushalts- und Industriechemikalien (sog. „down-the-drain chemicals) in Flussgebieten entwickelt. Das Modell berücksichtigt die sich überlagernden Effekte von Einträgen und Umweltverhalten durch Kombination eines Geoinformationssystems (GIS) mit einfachen Modellen. Unter Berücksichtigung lokaler Emissionsfrachten aus allen bekannten Quellen wird für jeden Flussabschnitt von max. 2 km Länge eine Massenbilanz unter Berücksichtigung von Verlustprozessen aufgestellt. Das Modell nimmt an, dass sich relativ schnell ein Fließgleichgewicht einstellt und berechnet räumlich aufgelöste Konzentrationen für verschiedene Durchfluss-Szenarien (MQ, Q50, MNQ).
Art	Georeferenziertes, mathematisches Programmierungsmodell
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Georeferenzierte Simulation ermöglicht gezielten lokalen Abgleich mit Messwerten aus Messkampagne innerhalb des Projektes oder anderen Quellen</li> <li>• Vielfältige aussagekräftige Optionen zur Ergebnisdarstellung</li> <li>• Möglichkeit zur Erstellung von Szenarien (z.B. verändertes Abflussregime, lokale oder regionale Minderungsmaßnahmen, Sensitivität von Substanzparametern)</li> <li>• Direkter Vergleich von Szenarien untereinander oder mit dem Referenzszenario</li> </ul>
Datenbasis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Georeferenziertes Fließgewässer-Netzwerk des gesamten Einzugsgebietes</li> <li>- Hydrologische Kenngrößen der Flussabschnitte (MQ, MNQ, mittlere Fließgeschwindigkeit und Tiefe)</li> <li>- Lage und Parameter von Seen &gt; 10 ha (Volumen, Abfluss, mittlere Tiefe)</li> <li>- Lage, Einleiterkoordinaten (Vorfluter) und Betriebsparameter aller Kläranlagen und anderer relevanter Punktquellen (z.B. industrielle Direkteinleiter)</li> <li>- Substanzparameter zu Eintragsmengen und Umweltverhalten</li> </ul>
Daten-Input Mikroplastik	Eintrag in bzw. Austrag aus Kläranlagen, Daten zur georeferenzierten Abschätzung von Eintragsfrachten über landseitigen Oberflächenabfluss, Daten zum Eintrag über atmosphärische Deposition, Sedimentationsraten
Geografische Dimension und Abgrenzung	Ganze Einzugsgebiete weltweit; im FONA Verbund: EZG Donau bis zur deutsch-österreichischen Grenze

Räumliche Auflösung	Flussabschnitte von 1 – 2 km Länge
Mikroplastik-Eintragspfade	Gereinigtes Abwasser von kommunalen Kläranlagen, andere relevante Punktquellen (z.B. Direkteinleiter), landseitige Einträge über Oberflächenabfluss (nur mittlere jährliche Eintragsfracht), ggf. Einträge über Deposition
Mikroplastik-Auswirkungen	Direkter räumlicher Vergleich mit Grenzwerten (wenn vorhanden) möglich
Berücksichtigte Partikelgrößen	Abhängig vom Daten-Input
Modell Output	Räumlich aufgelöste Vorhersagen von Mikroplastik-Konzentrationen in den Fließgewässern unter verschiedenen Randbedingungen
Schnittstellen zu anderen Modellen	Bei Bedarf ergänzbar
Wichtige Kooperationspartner	LfU, BfG, TZW, Uni Augsburg, BKV, TH Köln
Software	Add-In für ArcGIS®, programmiert in C#, .Net 3.5

## II. Modell „Speros-MP“

<b>Name</b>	<b>SPEROS-MP</b>
<b>FONA PidU Projekt</b>	<b>MicBin</b>
Kurzbeschreibung	SPEROS-MP ist eine Weiterentwicklung des Erosions- und Bodenkohlenstoffumsatzmodells SPEROS-C. Das Modell modelliert die Bodenerosion räumlich verteilt auf Basis der „Universal Soil Loss Equation“ und besonderer Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Aktivitäten. Der Transport von Sediment (und MP) erfolgt anhand eines Transportansatzes, der auf dem Model WATEM-SEDEM aufsetzt. Damit wird der MP Eintrag in Fließgewässer über den Pfad der Wassererosion modelliert
Art	Raster-basiertes, räumlich verteilt rechnendes Erosions- und Sedimenttransportmodell
Besonderheiten	
Datenbasis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Digitales Gelände Modell</li> <li>- Räumlich verteilte Landnutzungsdaten</li> <li>- Räumlich verteilte Daten zum landwirtschaftlichen Management (z.B. Fruchtfolgen etc.)</li> <li>- Räumlich verteilte Bodendaten</li> <li>- Räumlich verteilte Regenerositätsdaten</li> </ul>
Daten-Input Mikroplastik	- Abschätzungen zur MP-Belastung der landwirtschaftlichen Flächen anhand von Einträgen über (i) Klärschlamm, (ii) Kompost, (iii) Zerfallsprodukte von landwirtschaftlich genutzten Folien etc. (iv) evtl. Reifenabrieb entlang von Straßen
Geografische Dimension und Abgrenzung	Mesoskalige Einzugsgebiete (100 – 1000 km <sup>2</sup> )
Räumliche Auflösung	10 m x 10 m
Mikroplastik-Eintragspfade	Siehe Daten Input, wobei es sich in weiten Bereichen um relative ungenaue Abschätzungen handelt, die im Rahmen von Unsicherheitsanalysen im Rahmen der Modellierung analysiert werden
Mikroplastik-Auswirkungen	-
Berücksichtigte Partikelgrößen	Im Prinzip ist das Modell dazu in der Lage unterschiedliche Größen und Dichten des Material zu berücksichtigen. Da hier aber die Datenlage extrem schlecht ist und auch die Anhaftung der MP Partikel an die organischen und mineralische Substanz weitestgehend unbekannt ist, sind hier nur Abschätzungen möglich
Modell Output	MP Umlagerung in der Landschaft MP Eintrag in Fließgewässer

---

Schnittstellen zu anderen Modellen	Schnittstelle zum Model GREAT-ER (Universität Osnabrück) geplant
Wichtige Kooperationspartner	Universität Osnabrück, Dr. Klasmeier
Software	Model wurde zusammen mit der KU Leuven entwickelt, der source code (Programmiersprache Delphi) liegt vor

---

---

### III. Modell „Vom Land ins Meer“

Name	„Vom Land ins Meer – Modell zur Erfassung landbasierter Kunststoffabfälle“
FONA PidU Projekt	MicBin
Kurzbeschreibung	<p>Das BKV-Modell erfasst erstmals systematisch Einträge von nicht ordnungsgemäß entsorgten Kunststoffabfällen aus Deutschland, die in die Nordsee, die Ostsee und das Schwarze Meer gelangen. Dabei werden alle Eintragspfade und -quellen berücksichtigt. Unterschieden wird zwischen Einträgen von Mikro- und Makroplastik.</p> <p>Das Modell differenziert räumlich zwischen Einträgen aus Binnengewässern und küstennahen Einträgen. Des Weiteren werden europäische Statistiken, Gebietseinteilungen von Küstenregionen gemäß europäischer Klassifikation, Bevölkerungsdichte und sozioökonomische Daten berücksichtigt. Diese Informationen fließen in die Berechnungen der Einträge der jeweiligen Eintragspfade mit ein.</p> <p>Für dieses Gesamtbild über die Einträge aus Deutschland in die Meere wurden Daten und Studien von Umweltbehörden, Fachverbänden, Kläranlagenbetreibern, internationalen Forschungseinrichtungen und Statistikämtern, Unternehmensberatungen etc. einbezogen und ausgewertet. Die offene Struktur der Methodik macht es grundsätzlich möglich, sie auch auf andere Regionen/Staaten anzuwenden sowie weitere Eintragspfade einzubeziehen. Der Vorteil des Modells liegt insbesondere in der leichten und flexiblen Anpassung von Variablen und Berechnungen. Dies erhöht die Nachvollziehbarkeit und Transparenz.</p> <p>Neben der kontinuierlichen Anpassung der oben genannten Rahmenbedingungen werden auch die Modellparameter weiter überprüft und – soweit erforderlich – modifiziert. Dabei wird die Evaluation des Modells von externen Experten begleitet.</p> <p>Das Modell ist für jeden Interessierten kostenfrei erhältlich. Bericht und Handbuch zu dem Modell liegen in Deutsch und Englisch vor und können auf der BKV-Website bestellt werden:</p> <p><a href="http://www.bkv-gmbh.de/infothek/studien.html">www.bkv-gmbh.de/infothek/studien.html</a>  <a href="http://www.bkv-gmbh.de/en/info-zone/studies.html">http://www.bkv-gmbh.de/en/info-zone/studies.html</a></p>
Art	Hybrid-Modell
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur Kunststoffe iSv polymeren Werkstoffen</li> <li>• Methodische Herangehensweise</li> <li>• Gesamtbild für alle Eintragspfade und -quellen</li> <li>• Transparente Berechnungen</li> <li>• Kontinuierliche Weiterentwicklung</li> <li>• Übertragbarkeit auf andere Regionen/Meere</li> <li>• Engagement der Kunststoffindustrie</li> <li>• Sonderbetrachtungen zu Kompost und Gärrückständen, zum Littering, zum Reifenabrieb (in Arbeit) als Ergänzung</li> </ul>

Datenbasis	Interne und externe Studien
Daten-Input Mikroplastik	Auf Basis interner und externer Studien
Geografische Dimension und Abgrenzung	Großräumiges Modell; Einträge ins Meer, die Deutschland zugerechnet werden können; Berechnungen basierend u.a. auf Flussgebietseinheiten, NUTS-Regionen; derzeit nur landbasierte Einträge bei MicBin: Donauregion
Räumliche Auflösung	Beschreibung der mengenmäßigen Einträge von Mikro- und Makroplastik, die Deutschland zugerechnet werden können, in die Nordsee, die Ostsee und das Schwarze Meer
Mikroplastik-Eintragspfade	5 Haupteintragspfade und -quellen für Mikro- und Makroplastik: Flüsse, Häfen, Küsten, Flussschifffahrt und Deponie
Mikroplastik-Auswirkungen	-
Berücksichtigte Partikelgrößen	Unterscheidung zwischen Mikroplastik (< 5 mm) und Makroplastik; einzelne Partikel stehen nicht im Fokus des Modells
Modell Output	Eintragungsmengen von Mikroplastik und Makroplastik, ausgewiesen für Nordsee, Ostsee und Schwarzes Meer
Schnittstellen zu anderen Modellen	bei MicBin: Anknüpfung an das Modell GREAT-ER der Uni Osnabrück
Wichtige Kooperationspartner	bei MicBin: LfU, BfG, TZW, Uni Augsburg, TH Köln, Uni Osnabrück
Software	Excel

#### IV. Modell „RAUMIS“

<b>Name</b>	<b>RAUMIS</b>
<b>FONA PidU Projekt</b>	<b>MicroCatch_Balt, PLAWES</b>
Kurzbeschreibung	<p>Das <u>R</u>egionalisierte <u>A</u>grar- und <u>U</u>mwelt<u>i</u>nformationssystem RAUMIS bildet die deutsche Landwirtschaft flächendeckend und auf der Basis von rund 50 Produktionsverfahren differenziert und konsistent zur Officialstatistik ab. Darüber hinaus ist das Modell szenariofähig und kann regionale Anpassungen der Landwirtschaft in Deutschland auf agrar- und agrarumweltpolitischen Maßnahmen im Rahmen einer komparativ-statischen Betrachtung abbilden.</p> <p>In den Projekten wird es eingesetzt zur räumlich differenzierten Berechnung von MP-Belastungspotenzialen auf landwirtschaftlichen Flächen</p>
Art	Mathematisches Programmierungsmodell
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsistenz zur Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung: umfasst die landwirtschaftliche Produktion, den gesamten Faktoreinsatz sowie die landwirtschaftlichen Einkommen.</li> <li>• Möglichkeit zur Ergänzung der Datenmatrix mit spezifischen Daten zur MP-Modellierung</li> <li>• Abbildung von Umweltindikatoren (Nährstoffbilanzen, Schadgasemissionen, Bewirtschaftungsintensitäten...)</li> <li>• Koppelung mit unterschiedlichen Modelltypen bspw. allgemeinen Gleichgewichtsmodellen, hydro(geo)logische Modellen (z.B. mGROWA/WEKU), naturwissenschaftlichen Modellen</li> </ul>
Datenbasis	Bodennutzungshaupterhebung, Viehzählung, regionale Ertragsschätzung, landwirtschaftliche Arbeitskräftestatistik, Betriebsstrukturhebung, Landwirtschaftliche Gesamtrechnung, Statistik zum Düngemittelhandel, KTBL-Daten, Ergebnisse anderer Modelle (z.B. Agrarpreise) Expertenbefragung (überwiegend zur Referenzgenerierung), Klärschlamm- und Kompostaufbringung
Daten-Input Mikroplastik	MP Konzentrationen (Masse, Partikelanzahl) in Klärschlamm, Kompost, Ackerboden
Geografische Dimension und Abgrenzung	Deutschland; im FONA Verbund: Weser bzw. Warnow EZG
Räumliche Auflösung	Gemeinde (NUTS3 und NUTS4) und darunter, je nach Datenlage
Mikroplastik-Eintragspfade	Landseitige, diffuse Einträge auf landwirtschaftliche Flächen

---

Mikroplastik-Auswirkungen	-
Berücksichtigte Partikelgrößen	Abhängig vom Daten-Input
Modell Output	Potentiell austragsfähiges MP in landwirtschaftlichen Flächen
Schnittstellen zu anderen Modellen	mGROWA
Wichtige Kooperationspartner	FZJ
Software	GAMS, R

---

---

## V. Modelle „mGROWA“, „MEPhos“

<b>Name</b>	<b>mGROWA, MEPhos</b>
<b>FONA PidU Projekt</b>	<b>MicroCatch_Balt, PLAWES</b>
Kurzbeschreibung	<p>mGROWA: Mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA werden die räumliche Variabilität der hydrologischen Verhältnisse in hoher räumlicher (100m-Raster) und zeitlicher (täglich) Auflösung abgebildet und die gesamten in die Küstenregion gelangenden Wassermengen quantifiziert. Zunächst werden über ein Mehrschichtbodenwasserhaushaltsmodell die tatsächliche Evapotranspiration und der Gesamtabfluss berechnet. Anschließend erfolgt die Separierung des Gesamtabflusses in die Grundwasserneubildung und die Direktabflusskomponenten mit gesonderter Ausweisung anthropogen induzierter Abflüsse über künstliche Entwässerungssysteme und aus urbanen Räumen.</p> <p>MEPhos: Das Modell MEPhos basiert auf einem pfad- und flächendifferenzierten Emissionsansatz und dient dazu, Stoffeinträge in Oberflächengewässer über diffuse und punktuelle Quellen zu quantifizieren. Dies erfolgt über Exportkoeffizienten. Grundlage für die Ableitung von MP-Exportkoeffizienten für die MP-Austräge aus Siedlungsflächen sind die exemplarisch quantifizierten MP-Mengen aus kommunalen Kläranlagen und der Trennkanalisation, welche mit den Direktabflusshöhen aus Siedlungsflächen (mGROWA Modellergebnis) verknüpft und durch Übertragungsfunktionen auf das Gesamteinzugsgebiet hochskaliert Grundlage für die Ableitung von MP-Exportkoeffizienten für Landwirtschaftsflächen sind die für verschiedene diffuse Eintragspfade exemplarisch beprobten und quantifizierten MP-Mengen</p>
Art	Mathematisches Programmierungsmodell
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koppelung mit unterschiedlichen Modelltypen möglich, z.B. mit agrarökonomischen Modellen (z.B. RAUMIS) oder Küstenmodellen.</li> <li>• Möglichkeit zur Ankopplung anderer Stoffklassen (Schwermetalle, Pharmazeutika, Nährstoffe).</li> <li>• Aussagen zur Stoffbelastung von Grundwasser, Oberflächen gewässern und Randmeeren.</li> <li>• Identifizierung von "Hot spot areas" im Binnenland</li> <li>• Szenarienfähig, d.h. Analyse der Auswirkung von Maßnahmen</li> </ul>

	zur Reduktion von Stoffeinträgen möglich. • Modelle werden aktiv zur Politikberatung eingesetzt, z.B. Um setzung EU – WRRL, EU-MSRL, Klimawandel
Datenbasis	Klimadaten, Abflussdaten, Bodendaten, hydrogeologische Daten, topographische Daten, Daten zur Bodenbedeckung, siedlungswasserwirtschaftliche Daten, Ergebnisse anderer Modelle (z.B. RAU MIS-Modell) etc.
Daten-Input Mikroplastik	MP-Messgrößen (MP- Typen, MP – Dichten, MP- Frachten, MP Fraktionen, MP-Partikelanzahl, Durchflussmessungen)
Geografische Dimension und Abgrenzung	Flusseinzugsgebiete, Deutschland, Bundesländer; im FONA Verbund: Weser bzw. Warnow EZG
Räumliche Auflösung	je nach Datenlage, im FONA Verbund für Weser bzw. Warnow 100 x 100m- Raster
Mikroplastik-Eintragspfade	Landseitige, punktförmige und diffuse MP-Einträge in Flusssysteme über die Eintragspfade (optional): Kommunale Kläranlagen, (industrielle Direkteinleiter), Trennkanalisation, Mischwasserentlastung, Erosion, Dränagen, (atmosphärische Deposition), Zwischenabfluss, (Grundwasser)
Mikroplastik-Auswirkungen	-
Berücksichtigte Partikelgrößen	Abhängig vom Daten-Input
Modell Output	Potentiell austragsfähiges MP über die o.a. Mikroplastik Eintragspfade
Schnittstellen zu anderen Modellen	RAUMIS, Küstenmodelle IOW und NLWKN
Wichtige Kooperationspartner	TI, IOW, NLWKN
Software	JAVA

## VI. Modell „Massenkonsistenter ästuariner Mikroplastik-Transport“

Name	Massenkonsistenter ästuariner Mikroplastik-Transport
FONA PidU Projekt	PLAWES
Kurzbeschreibung	<p>Mehrere gekoppelte pDGL zur massenkonsistenten Transportmodellierung für Mikroplastik im Ästuar unter Berücksichtigung komplexer Interaktion mit den ästuarinen Sedimenten wurden im D3D-WAQ – Rahmenwerk (open-source, Deltares, Niederlande) implementiert. Dazu wird MP-Transport mit Hydrodynamik (D3D-FLOW) sowie Sedimentdynamik/Morphologie (D3D-MOR) gekoppelt. Die MP-Konzentration wird anhand von Transportgleichungen für mehrere Größen- und Dichteklassen berechnet.</p> <p>Das Modell berechnet den Transport und die dreidimensionale Verteilung unterschiedlicher MP-Polymere mit spezifischen physikalischen Eigenschaften (z. B. Dichte und Sinkgeschwindigkeit) sowie ihren Wechselwirkungen mit Mikroorganismen („Biofouling“) und Sediment</p>
Art	Numerisches Modell (gekoppelte pDGL)
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OpenMP für shared memory Parallelsisierung auf HLR</li> <li>• Dreidimensionaler Ansatz, hohe zeitliche Auflösung, stringente Massenkonsistenz</li> <li>• open-source, Implementierung in modelltechnisches Rahmenwerk, daher leichte Erweiterbarkeit um neue physikalische Aspekte oder weitere MP-Klassen.</li> </ul>
Datenbasis	Dyn. Randbedingungen aus Ergebnissen anderer Modelle für MP-Quellen (mGROWA), Ergebnisse aus Messkampagnen Dritter für MP-Konzentration aus Abwasserkläranlagen und atmosphärischer Deposition, Ablaufmengen der Abwasserkläranlagen, Aufgenommene Wasserstanddaten sowie Durchfluss aus den bestehenden Pegeln, Modellergebnisse für Windgeschwindigkeit sowie Windrichtung (DWD-ICON-Modell), gemessene Salzgehalte und Wasserstände als Pegelganglinien für die Modellvalidierung
Daten-Input Mikroplastik	<p>Zeitreihe der MP-Eintragsmengen (modellbasiert AP 3), reale Durchflusszeitreihen, MP-Messdaten aus Abwasseraufbereitung, atmosphärische Deposition als Input.</p> <p>Model-Kalibrierung anhand MP-Messwerten aus Wasserkörper, Schwebstoffe und Sohlsedimente</p>
Geografische Dimension und Abgrenzung	Gezeitenbeeinflusster Bereich der Weser von der offenen Nordsee bis zur Tidegerenze in Bremen. Dazu Jadebusen und angrenzendes Wattenmeer

Räumliche Auflösung	Von 20 m bis 400 m je nach hydrodynamischem Erfordernis. Modellaggregation für MP-Rechen möglich
Mikroplastik-Eintragspfade	Punktförmiges aus Abwasserkläranlagen, Zufluss aus dem Binnenbereich, Nebenflüssen, sowie diffuse Einträge aus der Atmosphäre
Mikroplastik-Auswirkungen	Massenkonzentrationen in jeder Berechnungszelle des Gebiets (Wasserkörper und Boden)
Berücksichtigte Partikelgrößen	Derzeit 11 $\mu\text{m}$ bis 5mm (Keine grundsätzliche Beschränkung, Euler'sche Modellformulierung)
Modell Output	Massenkonzentration der berücksichtigten MP-Fraktionen und MP-Polymersorte, Größenfraktionen
Schnittstellen zu anderen Modellen	Übergabe der MP-Massenflusses aus der Modellkette der AP3 als Randbedingung. Da quelloffenes Rahmenwerk leichte Anpassbarkeit an weitergehende Anforderungen
Wichtige Kooperationspartner	FZJ, AWI und ICBM-Universität Oldenburg
Software	MATLAB zur Visualisierung der Modellergebnisse, Fortran-Compiler, Fortran-Programmierung

## VII. Modell „GETM-GITM“

<b>Name</b>	<b>GETM-GITM</b>
<b>FONA PidU Projekt</b>	<b>MicroCatch_Balt</b>
Kurzbeschreibung	The General Estuarine Transport Model (GETM), a 3D flow model, allows reliable and spatially high resolved flow and transport simulations in shallow systems with a complex bathymetry and coastline. The General Individuals Tracking Model (GITM) a Lagrangian particle-tracking tool allows to simulate transport and behaviour of particles and can be linked to it
Art	Physikalisches Modell
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hohe räumliche Auflösung</li> <li>• Berücksichtigung von Resuspension</li> <li>• Variable Partikeleigenschaften</li> </ul>
Datenbasis	Emissionsszenarien
Daten-Input Mikroplastik	Anzahl, Größe, Form, Dichte, Abbau
Geografische Dimension und Abgrenzung	Warnow-Ästuar – westliche Ostsee - Ostsee
Räumliche Auflösung	Abhängig vor Fragestellung 10 m – 200 m horizontal, variabel vertikal
Mikroplastik-Eintragspfade	Alle – diffus und punktförmig
Mikroplastik-Auswirkungen	-
Berücksichtigte Partikelgrößen	>300 µm, abhängig vom Daten-Input
Modell Output	Transport und Verbleib von MP
Schnittstellen zu anderen Modellen	-
Wichtige Kooperationspartner	Gerald Schernewski, Sarah Piehl: Emissionsszenarien, Warnow-Ästuar, IOW  Frank Wendland, Emissionsszenarien, Flusseinzugsgebiet der Warnow, FZJ
Software	Host/developer/maintenance: Hans Burchard, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research, Seestrasse 15, D-18119 Rostock, Germany, hans.burchard@io-warnemuende.de  Documentation: Burchard, H., Bolding, K., 2002. GETM e a General Estuarine Transport Model. Scientific documentation. Technical Report EUR 20253 EN. Tech. rep.. European Commission

