

2. Das räumlich differenzierte Modell mGROWA-TeMBa zur Ermittlung von Mikroplastikeinträgen in die Flussläufe des Wesereinzugsgebiets

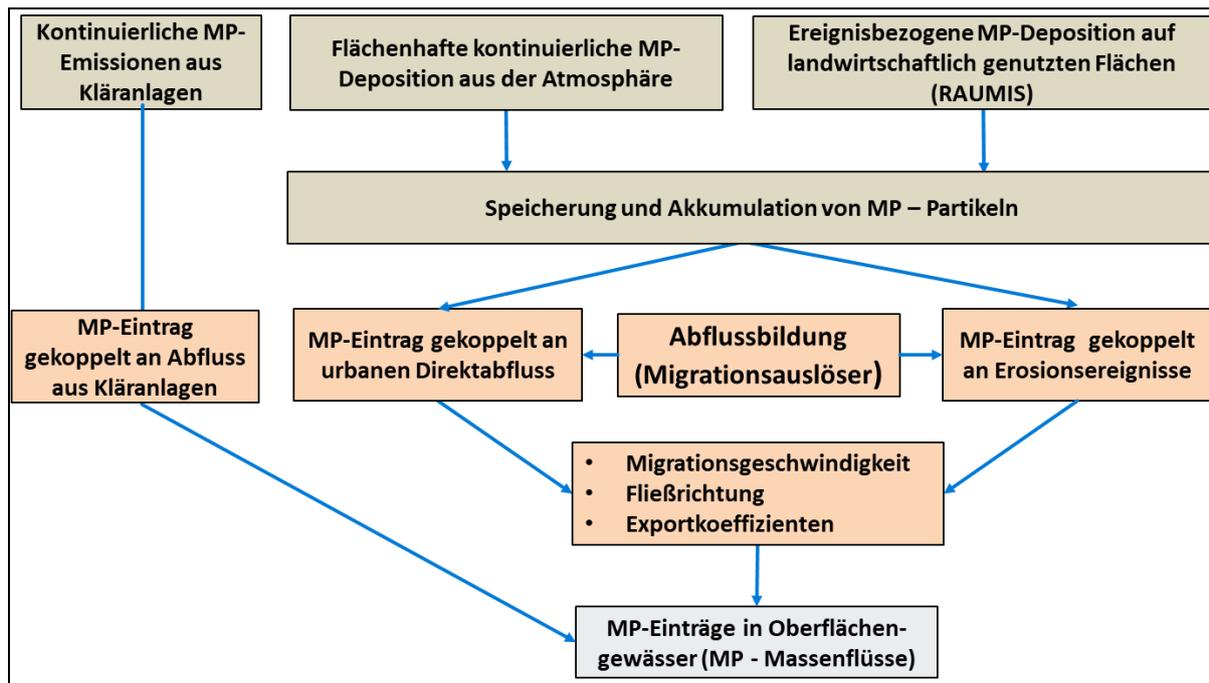
Im Verbundprojekt PLAWES wurde die Modellkette mGROWA-TeMBa (mGROWA = großräumiges Wasserhaushaltsmodell, TeMBa = Terrestrial Microplastics Balance) entwickelt. Mit mGROWA-TeMBa kann eine Simulation der Mikroplastikeinträge in die Oberflächengewässer des Wesereinzugsgebiets in täglichen Zeitschritten und in hoher räumlicher Auflösung vorgenommen werden. In beiden Modellteilen wurden die Modellierungen für das Wesereinzugsgebiet auf einem Raster von 100m x 100m durchgeführt. Dementsprechend wurde das Wesereinzugsgebiet in insgesamt ca. 4,7 Mio. Rasterzellen gegliedert, für die Mikroplastik bilanziert wurde.

Mikroplastik ist in unserer mitteleuropäischen Umwelt mittlerweile ubiquitär, d.h. es ist allgegenwärtig und befindet sich in unterschiedlichen Konzentrationen in der Luft, in und auf den Böden und in unseren Gewässern. Transportiert wird Mikroplastik auf vielen Wegen, die gegenwärtig im Detail noch erforscht werden müssen. Beispielsweise entsteht Mikroplastik als Abrieb von unserer Kleidung in Waschmaschinen, gelangt dann über das Abwasser in die Kläranlagen, wird dort leider nur teilweise herausgefiltert und landet im Klärschlamm. Dieser Klärschlamm wird immer noch zur Düngung auf Ackerflächen aufgebracht. Dort kann Mikroplastik über viele Jahren verweilen, bis es durch ein starkes Niederschlagsereignis und die dann stattfindende Erosion in ein Gewässer transportiert wird, zum Beispiel in die Weser. Von dort gelangt es wahrscheinlich irgendwann in die Nordsee und evtl. landet es an einem Strand oder im Verdauungstrakt einer Nordseekrabbe. Viele andere solcher sogenannten Migrationspfade des Mikroplastiks sind denkbar und werden gegenwärtig erforscht. Mit mGROWA-TeMBa wird versucht, diese Migrationspfade auf eine generalisierte Weise abzubilden und die jeweilige Mikroplastikmenge zu bilanzieren. Dazu müssen die wichtigsten Quellen und Transportprozesse im Modell abgebildet werden und es braucht geeignete Messdaten, um das Modell zu kalibrieren, sodass es realistische Ergebnisse liefert. Die Gewinnung dieser Messdaten ist im Dokument „Mikroplastik-Probenahme im Projekt PLAWES: ein ganzheitlicher Ansatz“ beschrieben.

Die folgende Abbildung zeigt die Verfahrensschritte zur Bilanzierung von Mikroplastik im terrestrischen Wasserkreislauf, so wie sie im gegenwärtigen Entwicklungsstand in der Modellkette mGROWA-TeMBa implementiert sind. Danach werden einige exemplarische Migrationspfade erläutert.

Als kontinuierliche und direkte Eintragsquelle für Mikroplastik werden Kläranlagen berücksichtigt. Die Mikroplastikeinträge in Oberflächengewässer ergeben sich hier direkt aus den Mikroplastikgehalten im Auslauf von Kläranlagen. Die im Rahmen der Probennahme-Kampagnen und den umfangreichen Laboranalysen ermittelten Messdaten wurden hierzu auf alle im Wesereinzugsgebiet befindlichen Kläranlagen extrapoliert. Die Kläranlagen im TeMBa-Modell leiten dann gereinigtes Abwasser mit einer charakteristischen Menge und Zusammensetzung (verschiedene Polymertypen im Mikroplastik) in die Gewässer und ein Algorithmus bilanziert diese Mengen an den stromabwärts gelegenen Kontrollpunkten und Flusspegeln.

Die einzelnen Verfahrensschritte in der Modellkette mGROWA-TeMba



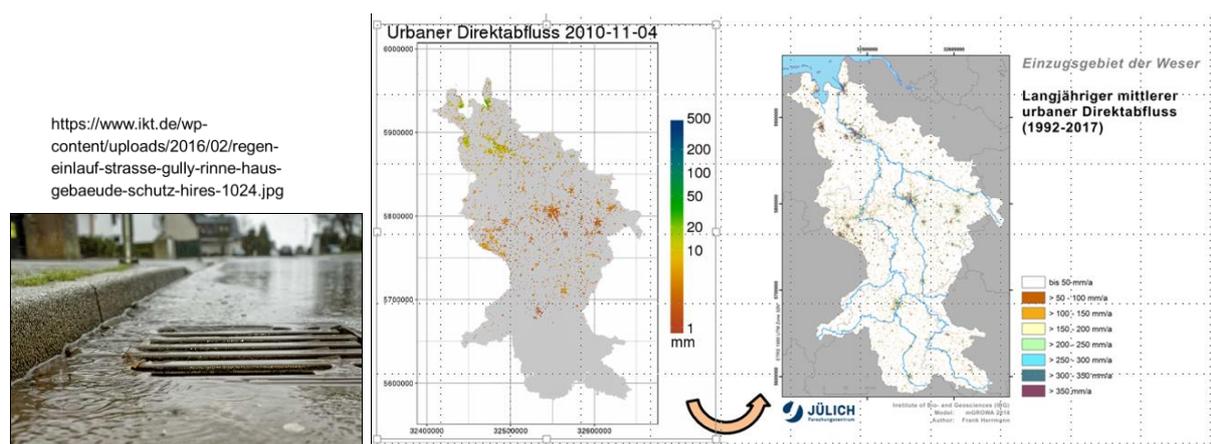
Sehr viel differenzierter ist die Ermittlung der Mikroplastik-Austräge aus flächenhaft wirkenden (diffusen) Quellen. In einem ersten Schritt wird mit dem TeMba-Modell die kontinuierliche Ablagerung von über die Luft transportierten Mikroplastikpartikeln auf Böden, versiegelten Oberflächen und Wasserflächen ermittelt. Dies erfolgt durch Übertragung der Messdaten für Mikroplastik- aus der atmosphärischen Deposition auf die Gesamtfläche des Wesereinzugsgebietes.

Als weitere diffuse Quelle wird die ereignisbezogene Deposition von Mikroplastik auf landwirtschaftlich genutzten Böden berücksichtigt. Relevant sind in diesem Zusammenhang die vom Thünen-Institut ermittelten Mengen an Mikroplastik, die im Wesereinzugsgebiet durch die Aufbringung von Klärschlamm und Kompost in die Böden eingetragen wurden. Für diese Flächen wurde davon ausgegangen, dass die aus der Literatur entnommenen Mikroplastikgehalte in Klärschlamm und Kompost typisch sind und somit auf die Mikroplastikgehalte des im Wesereinzugsgebiet aufgebrauchten Klärschlammes und Komposts übertragen werden können.

Sowohl die kontinuierliche wie auch die ereignisbezogene Deposition von Mikroplastik führen zu einer zwischenzeitlichen Akkumulation der Mikroplastikpartikel in Böden bzw. auf versiegelten Flächen. Um die Mikroplastikpartikel aus diesen Zwischenspeichern freizusetzen, bedarf es eines spezifischen migrationsauslösenden Ereignisses. Tritt ein solches Ereignis auf, dann kann Mikroplastik über entsprechende Migrationspfade in Oberflächengewässer gelangen. Im Modell werden die Mikroplastikpartikel als sogenanntes Mikroplastik-Inventar in den Rasterzellen gespeichert und warten dort auf ein hydrologisches Ereignis (z.B. Starkregen und Erosion), das zu einem Weitertransport führt.

Die Simulation der Migrationsereignisse und der Migrationspfade erfolgt über das Wasserhaushaltsmodell mGROWA. Mit diesem Modell wird die räumliche Variabilität der migrationsauslösenden Ereignisse in hoher räumlicher (100 m Raster) und zeitlicher (täglicher) Auflösung abgebildet. Die nachfolgende Abbildung zeigt als Beispiel für einen Migrationspfad den Direktabfluss von urbanen Flächen. Versiegelte Flächen, hierzu gehören asphaltierte Straßen, betonierte Flächen und Gehwege, stellen in Ortschaften und Städten relevante Mikroplastikquellen dar. Durch Kanalsysteme gelangen die dort zur Ablagerung gekommenen Mikroplastikpartikel mit dem urbanen Direktabfluss in Kläranlagen oder direkte in die Flüsse (Abb. links).

Urbaner Direktabfluss als migrationsauslösendes Ereignis für den Mikroplastikeintrag (links), der mit dem mGROWA-Modell exemplarisch für den 11.04.2010 (Mitte) sowie für die Periode 1992-2017 (rechts) simulierte mittlere urbane Direktabfluss

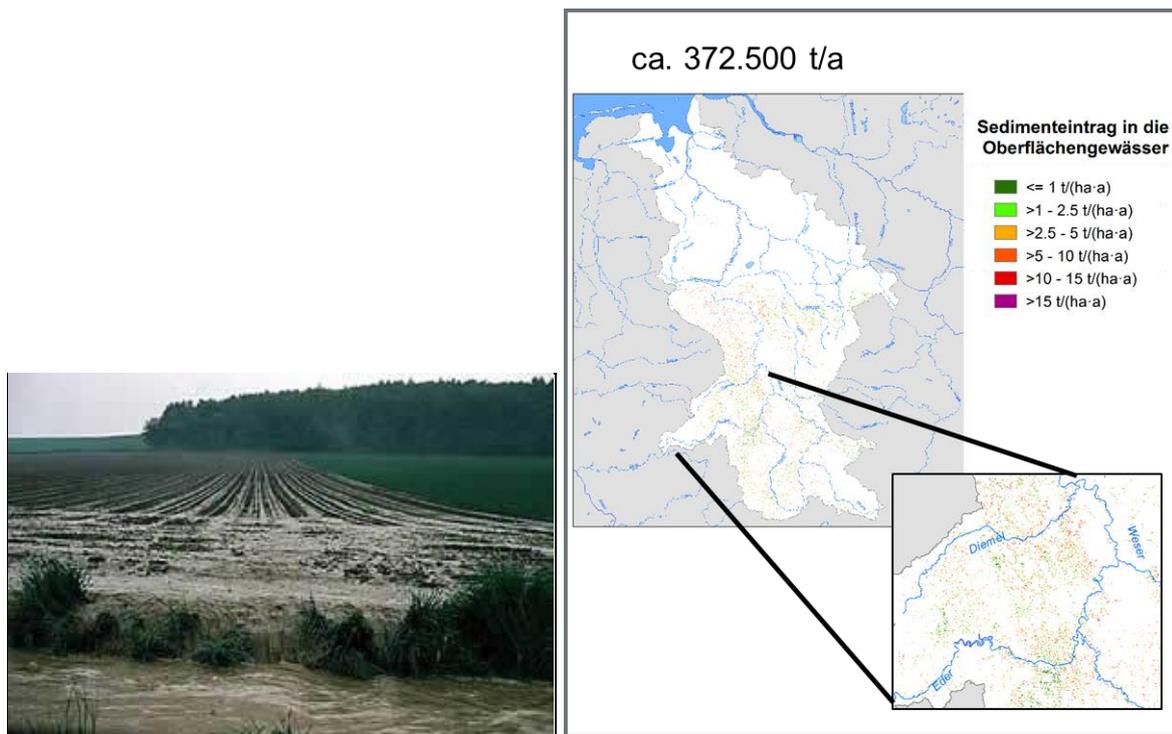


Von allen versiegelten Flächen, für die mit dem mGROWA-Modell mehr als 1 mm Direktabfluss am Tag simuliert wird, kommt es zum Austrag von Mikroplastik. Die mittlere Abbildung zeigt den simulierten urbanen Direktabfluss für einen exemplarischen Tag, den 11.04.2010. Vor allem im Nordteil des Wesereinzugsgebiets ist die Bildung von urbanem Direktabfluss an diesem Tag relevant, während es im Südteil zu keiner Bildung von urbanem Direktabfluss kommt, so dass das migrationsauslösende Ereignis an diesem Tag dort fehlt. Wie die Abbildung rechts zeigt, kommt es bei der Modellierung längerer Zeiträume aber von allen Siedlungsflächen zur Bildung von urbanem Direktabfluss und damit zur Migration von Mikroplastik. Im Modell wird dann ganz explizit abhängig vom bilanzierten urbanen Direktabfluss an einem Tag eine spezielle Entfernung berechnet, die das jeweilige Mikroplastik-Inventar einer Rasterzelle transportiert werden kann. Nach einem leichten Regenereignis werden sie dann nur ein paar Meter transportiert und wieder abgelagert, nach einem Starkregen jedoch innerhalb kurzer Zeit über die Kanalisation in die Kläranlagen oder die Gewässer gespült.

Zur Berechnung des Mikroplastikeintrags in die Oberflächengewässer aus landwirtschaftlich genutzten Flächen wird zunächst davon ausgegangen, dass sich die mit dem Klärschlamm und dem Kompost applizierte Mikroplastikmenge durch das Umpflügen des Bodens homogen in den obersten 20 cm des Bodens verteilt hat. Der wichtigste Migrationspfad für

die Freisetzung des Mikroplastiks aus landwirtschaftlich genutzten Böden und den Eintrag in die Oberflächengewässer ist dann die Erosion. Für die Modellierung des Mikroplastikeintrags über den Migrationspfad Erosion sind die landwirtschaftlich genutzten Flächen mit direkter Gewässeranbindung relevant. Denn nur von diesen Flächen kann Bodenmaterial mit Mikroplastik abgetragen und in die Oberflächengewässer gelangen. Die Abbildung rechts veranschaulicht diese Situation. Fehlt eine direkte Gewässeranbindung, so wird zwar Bodenmaterial abgetragen, aber vor Erreichen eines Oberflächengewässers in Mulden oder Geländeverebnungen erneut sedimentiert.

Bodenerosion als migrationsauslösendes Ereignis für den Mikroplastikeintrag (links), sowie der für die Periode 1992-2017 (rechts) simulierte mittlere jährliche Sedimenteintrag in die Oberflächengewässer



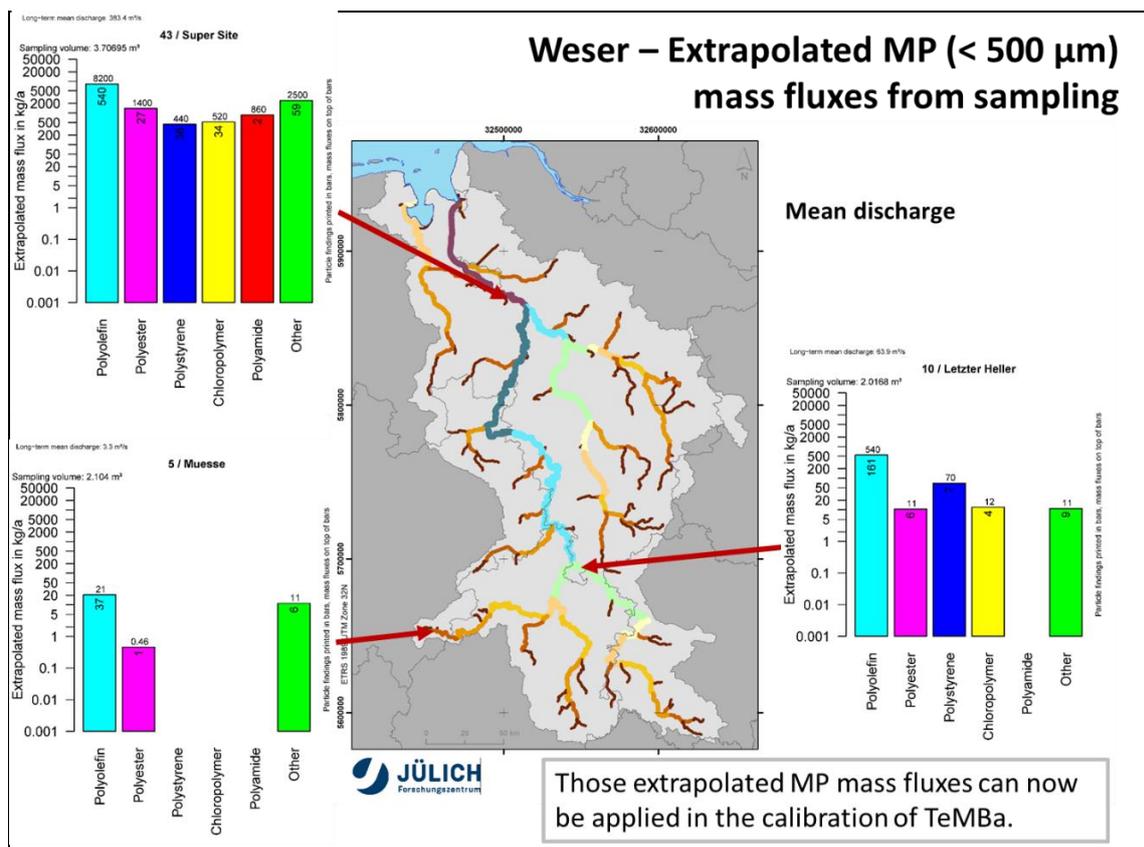
<https://www.lbeg.niedersachsen.de/assets/image/736/1068>

Für die Modellierung des erosiven Mikroplastikeintrags wurden die landwirtschaftlich genutzten Flächen mit direkter Gewässeranbindung über eine Reliefanalyse mithilfe eines geografischen Informationssystems identifiziert. Wie die Abbildung rechts zeigt, sind es immer nur einzelne landwirtschaftlich genutzte Flächen, die eine direkte Gewässeranbindung aufweisen. Der für diese Flächen über die allgemeine Bodenabtragungsgleichung ermittelte Bodenabtrag im Wesereinzugsgebiet liegt bei ca. 372.500 t/a. Sobald bodenerosionsauslösende Abflussereignisse (Starkregen über kurze Zeitperioden, Dauerregen) auftreten, kommt es von diesen Flächen ausgehend zu einem Mikroplastikeintrag in Oberflächengewässer. Die genauen Mikroplastikmengen sind jedoch noch unbekannt und konnten bisher auch noch nicht direkt gemessen werden. Mit dem TeMBa-Modell soll es jedoch in naher Zukunft möglich werden, dazu eine erste realistische Schätzung abzuliefern.

Bei der Simulation des gesamten Mikroplastikmassenstroms im Wesereinzugsgebiet wird nach den Polymertypen unterschieden, die bei den Probennahmekampagnen an den Flussläufen festgestellt wurden (Messdaten). Im Idealfall, d.h. bei Vorliegen einer ausreichend großen Anzahl von Beprobungen, repräsentiert jeder der ausgewählten Probennahmepunkte ein dahinterliegendes Teileinzugsgebiet von beträchtlicher Größe mit einer repräsentativen gebietstypischen Mikroplastikfracht. Diese Gesamtfracht am Probennahmepunkt ist gleich der Summe der über die einzelnen Migrationspfade eingetragenen Mikroplastikfrachten. Anhand der gefundenen Mikroplastikpartikel in den Gewässern kann man jedoch meist nicht eindeutig nachvollziehen, aus welcher Quelle die Partikel stammen. Eine Schätzung dazu wird erst durch die Modellierung mit TeMBa möglich. Dazu wird TeMBa derzeit weiterhin kalibriert. Das Ziel ist dabei, zukünftig die aus den Messdaten resultierenden Mikroplastikmassenströme zu reproduzieren.

In der folgenden Abbildung sind exemplarisch die Mikroplastikmassenströme von drei der beprobten Pegel, nämlich „Letzter Heller“, „Muesse“ sowie „Intschede“ aufgeführt. Der Pegel „Intschede“ war der „Supersite“ im PLAWES-Projekt, d.h. der Pegel mit den meisten Beprobungen. Zur Ermittlung der Mikroplastikmassenströme dieser drei Teileinzugsgebiete werden die in den Stichproben aufgefundenen Mikroplastikpartikel gegliedert nach den Polymertypen auf den mittleren langjährigen mit dem Modell mGROWA modellierten Abfluss extrapoliert. Hieraus ergibt sich ein Massenstrom in Kilogramm pro Jahr für jeden Polymertyp.

Extrapolierte Mikroplastikmassenströme für die Teileinzugsgebiete der Pegel „Letzter Heller“, „Muesse“ sowie „Intschede“



Auf der x-Achse sind die verschiedenen Polymere, die bei den Beprobungen festgestellt wurden, dargestellt. In den Balken ist jeweils die gefundene Anzahl der Partikel eines Polymers aufgeführt. Auf der y-Achse ist der Mikroplastikmassenstrom der einzelnen Polymere aufgeführt, der sich ergeben würde, wenn die bei der Beprobung festgestellte Partikelzahl auf das am Pegel innerhalb eines Jahr im Mittel durchströmende Wasservolumen extrapoliert würden.

Wie zu erwarten, ist der Auslasspegel der Weser in Intschede im Hinblick auf die Polymertypen vielfältiger und im Hinblick auf die gesamten Mikroplastikmassenströme bedeutsamer. So dominieren am Auslasspegel die Polymere Polyolefin, Polyester, Polystyrene, Chlorpolymer und Polyamide, während am Kopfpegel Muesse lediglich Polyolefin, und Polyester festgestellt wurden. Auch im Hinblick auf die extrapolierten absoluten Mikroplastikmassenströme ragt der Pegel Intschede heraus. So ergeben sich dort bei einem Beprobungsvolumen von insgesamt 3,71 m³ beispielsweise 540 Polyolefin-Partikel < 500 µm, was einem Massenfluss von 8200 kg/a entspricht, während für den Pegel Muesse (Einzugsgebietsgröße ca. 125 km²) bezogen auf ein Beprobungsvolumen von 2,1 m³ lediglich 37 Polyolefin-Partikel < 500 µm festgestellt wurden, was einem Massenfluss von 21 kg/a entspricht. Der Pegel Letzter Heller subsummiert den Abfluss eines 5500 km² großen dahinterliegenden Teil-Einzugsgebietes der Werra. Im Hinblick auf die festgestellten Polymertypen und die Mikroplastikmassenströme liegt dieses Einzugsgebiet zwischen dem des Pegels Intschede (Supersite) und dem des Pegels Muesse.

Das Forschungsfeld zu Mikroplastik in der Umwelt ist noch sehr jung und es bleiben für die Zukunft viele weitere Fragen, die im Detail noch zu beantworten sind. Dafür müssen auch weiterhin Messdaten erhoben werden, mit denen eine Modellkette wie mGROWA-TeMBA kalibriert werden kann.

Kontakt:

Dr. Frank Herrmann & Prof. Dr. Frank Wendland
Forschungszentrum Jülich
Institut für Bio- und Geowissenschaften
Institut 3: Agrosphäre
52425 Jülich
E-Mail: f.herrmann@fz-juelich.de / f.wendland@fz-juelich.de