

# **Mikroplastikentfernung aus kommunalem Abwasser – Rückhalt von Mikroplastikpartikeln in Kläranlagen**

---

**Tim Fuhrmann**  
**Peter Wulf**

**Emscher Wassertechnik GmbH**  
**Essen**

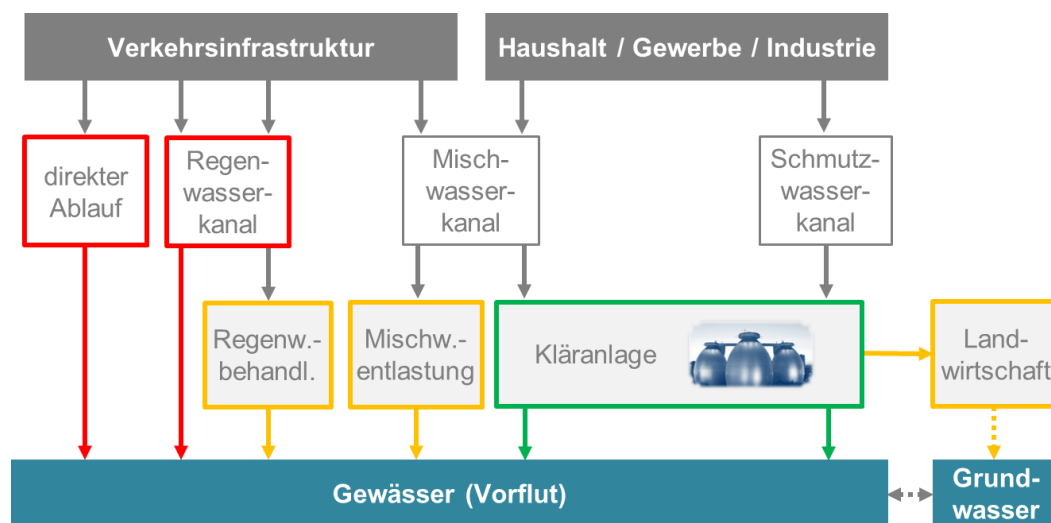
## **Einleitung**

Da Kunststoffe in stetig steigenden Mengen produziert werden und gleichzeitig sehr langlebig sind, ist eine zunehmende Anreicherung in der limnischen und maritimen Umwelt zu verzeichnen, auch in Form von Mikroplastik. Viele Kunststoffarten gelten zwar an sich als toxikologisch unbedenklich, allerdings sind die öko- und humantoxikologischen Risiken von immer weiter degradierenden Kunststoffpartikeln noch unklar, zumal die Partikel unterschiedlichste Additive enthalten und auch als Träger von Spurenstoffen und pathogenen Mikroorganismen dienen können (UBA, 2017). Eine Reduzierung der weiteren Kunststoffemissionen in die Umwelt erscheint schon aus Vorsorgegründen unabdingbar.

Schon vor Jahren haben Untersuchungen zu Kunststoff-Partikeln in deutschen Binnengewässern (UBA, 2017; Länderbericht, 2018) haben auf Kunststoffeinträge über unterschiedliche Abwasserpfade aufmerksam gemacht. Im Rahmen des BMBF-Forschungsschwerpunkts „Plastik in der Umwelt“ wurde dazu im REPLAWA-Verbundprojekt der Rückhalt von Mikroplastikeinträgen im Zusammenhang mit der kommunalen Abwasserbehandlung untersucht (Hinzmann et al., 2022; REPLAWA, 2022a).

## Eintragspfade von Mikroplastik in die aquatische Umwelt

Als Mikroplastik werden in der Regel Kunststoffpartikel in einem Größenbereich von 1 – 5.000 µm bezeichnet, teilweise wird jedoch auch der Größenbereiche 1 – 1.000 µm abgegrenzt, da dieser eine sinnvolle methodische Anwendbarkeit der Analyseverfahren für die massebezogene Mikroplastikdetektion ermöglicht (Braun et al., 2020; Bertling et al., 2022). Neben Einträgen durch Verwehungen, Littering und Bodenabtrag werden Mikroplastikpartikel auch über Schmutz-, Misch- und Niederschlagswasser in die aquatische Umwelt eingetragen.



**Abbildung 1:** Eintragspfade von Mikroplastik in die aquatische Umwelt (modifiziert nach Scheer und Fuhrmann, 2019)

Mikroplastik im Abwasser gelangt dabei grundsätzlich auf drei Wegen in die aquatische Umwelt (Abbildung 1):

- über das in Kläranlagen behandelte Schmutz- und Mischwasser (Eintrag in die Gewässer) bzw. über das Ausbringen von Klärschlamm in der Landwirtschaft (Eintrag in Böden),
- über Mischwasserentlastungen,
- über unbehandeltes oder durch Regenwasserbehandlungsanlagen aufbereitetes Niederschlagswasser.

Eine besondere Rolle spielen Mikroplastikemissionen von Verkehrsflächen. Insbesondere der Reifenabrieb, der für Deutschland mit rund 100.000 t/a abgeschätzt wird (Bertling et al., 2018; Venghaus et al., 2021). Soweit die Entwässerung der Verkehrsflächen über die Mischwasserkanalisation erfolgt, sind entsprechende Frachten an Reifenabrieb und sonstigen verkehrsbezogenen Partikeln als eine der Mikroplastikfraktionen im Kläranlagenzulauf zu finden, von denen – wie in Abschn. 0

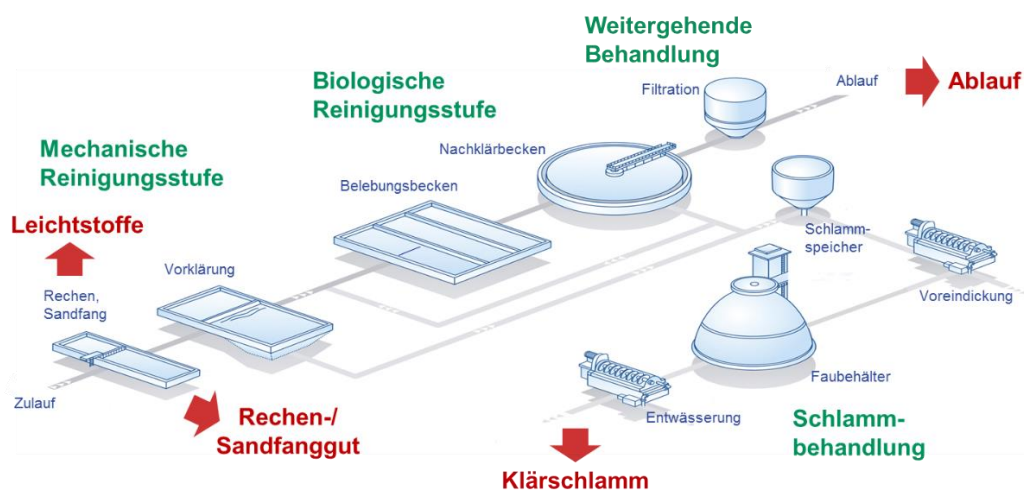
quantifiziert wird – der allergrößte Teil in den Kläranlagen jedoch zurückgehalten werden kann.

Bei Verkehrsflächen, die über die Regenwasserkanalisation entwässert werden, erfolgt ein gewisser Mikroplastikrückhalt über die Regenwasserbehandlung, sofern vorhanden. Belastbare Daten liegen hierzu bisher nicht vor; diese werden derzeit u. a. im Vorhaben ReMiPla (2023) erhoben. Über nicht erfasste Oberflächenabflüsse von Verkehrsflächen gelangen Mikroplastikpartikel ohne Frachtreduzierung in die aquatische Umwelt (Baensch-Baltrusch et al., 2021).

## Rückhalt von Mikroplastik in Kläranlagen

### Kläranlagen als Senke für Mikroplastik

Während des Reinigungsprozesses in der Kläranlage wird auch die Mikroplastikfracht im zufließenden Abwasser schrittweise reduziert. Als Senke wirken das Rechen- und Sandfanggut, das Leichtstoff-/Fettfanggut sowie der Klärschlamm (siehe Abbildung 2 und Kapitel „Mikroplastik im Klärschlamm“).



**Abbildung 2: Austragspfade von Mikroplastik auf Kläranlagen**

Größere Partikel (großes Mikroplastik > 1 mm und Makroplastik > 5 mm) lassen sich in der mechanischen Stufe von Kläranlagen generell besser abscheiden als kleines Mikroplastik. Schätzungsweise 80 – 90 % der Mikroplastikeinträge, vor allem größere Fraktionen, werden bereits vor der biologischen Stufe zurückgehalten (Talvitie und Heinonen, 2014; siehe auch Abbildung 3).

Kunststofffraktionen mit Partikelgrößen oberhalb des Mikroplastiks (> 5 mm) werden zu rund 100 % zurückgehalten (Breitbarth und Urban, 2018). Austräge größerer Kunststoffpartikel, wie sie 2018 an der Schlei zu beobachten waren, sind Ausnahmefälle, die auf unsachgemäße Betriebszustände oder im genannten Fall auf

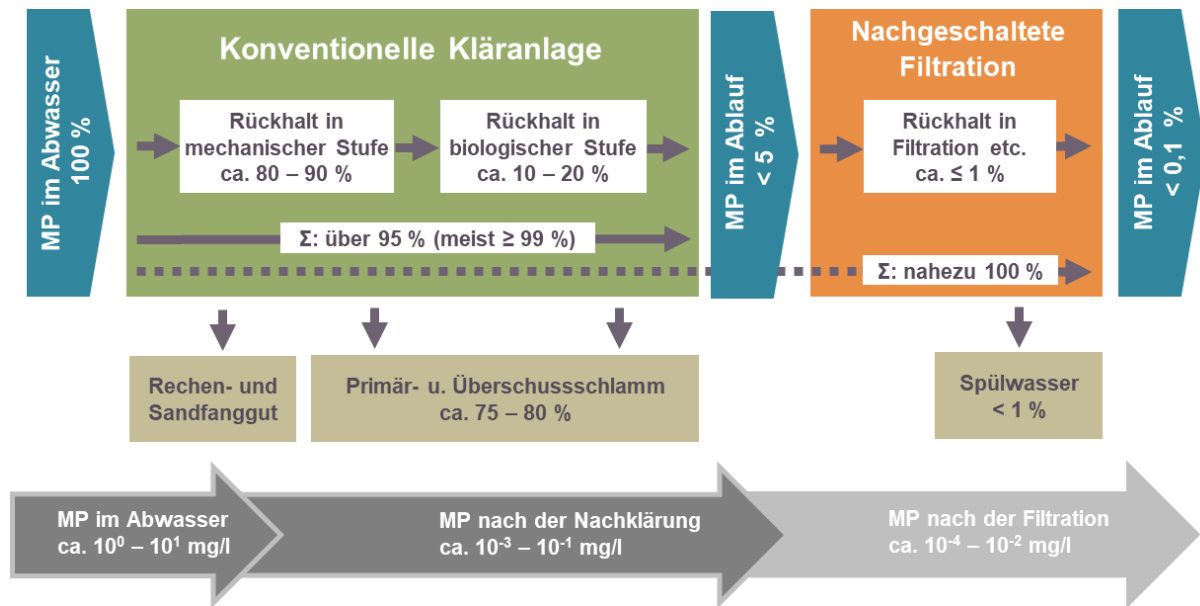
die unregelmäßige Zuführung von Kunststoffpartikeln über Co-Substrate zurückzuführen sind.

Da Kunststoffpartikel mit größerer Dichte eher durch Sedimentationsprozesse bei der Abwasserreinigung entfernt werden, gelangen Kunststoffpartikel mit einer geringen Dichte eher in den Ablauf. Die Größenverteilung dreht sich zum Ablauf hin nahezu um, insbesondere bei Vorhandensein einer weitergehenden Filtration. Untersuchungen von Spelthahn et al. (2019) zeigen bspw. im Zulauf für Partikelgrößen von 1 – 5 mm einen Anteil von 45 % und für < 63 µm von 10 %, jedoch im Ablauf nach einer Sandfiltration Werte von < 10 % für Partikelgrößen von > 1 mm und 40 % für 20 – 63 µm.

## **Quantifizierung des Mikroplastikrückhalts in Kläranlagen**

Wegen fehlender Standards bei der Mikroplastikbestimmung und fehlenden Detailangaben zu Probenahme, -aufbereitung und Analytik sind publizierte Messergebnisse von Mikroplastikkonzentrationen meist nicht direkt vergleichbar. Die Eliminationsraten für die gesamte Kläranlage oder einzelne Behandlungsstufen liegen allerdings oftmals in vergleichbaren Größenordnungen.

So deuten frühere Untersuchungen, fast ausschließlich auf Basis von Partikelzahlen, in die Richtung, dass Mikroplastikpartikel im konventionellen Klärprozess (Rechen, Sandfang, ggf. Vorklärung, Belebungsverfahren) in Größenordnungen von mindestens 90 – 96 % zurückgehalten werden (z. B. Mintenig et al., 2014; Talvitie und Heinonen, 2014; Klasmeier und Wissing, 2017; Frehland et al., 2018; Siegel und Thyen, 2020). Aktuellere massenbezogene Messwerte u. a. aus Aachen, Berlin und Braunschweig (Spelthahn et al., 2019; REPLAWA, 2022 und Abbildung 4) zeigen jedoch höhere Eliminationsgrade bei konventioneller mechanisch-biologischer Abwasserreinigung in einer Größenordnung von über 99 % (entspricht Reduzierung um ca. 2 – 3 Log-Stufen) sowie Größenordnungen um 99,9 – 99,99 % (ca. 3 – 4 Log-Stufen) bei nachgeschalteten Filtrationsverfahren (Sand- und Tuchfilter) (siehe Abbildung 3).

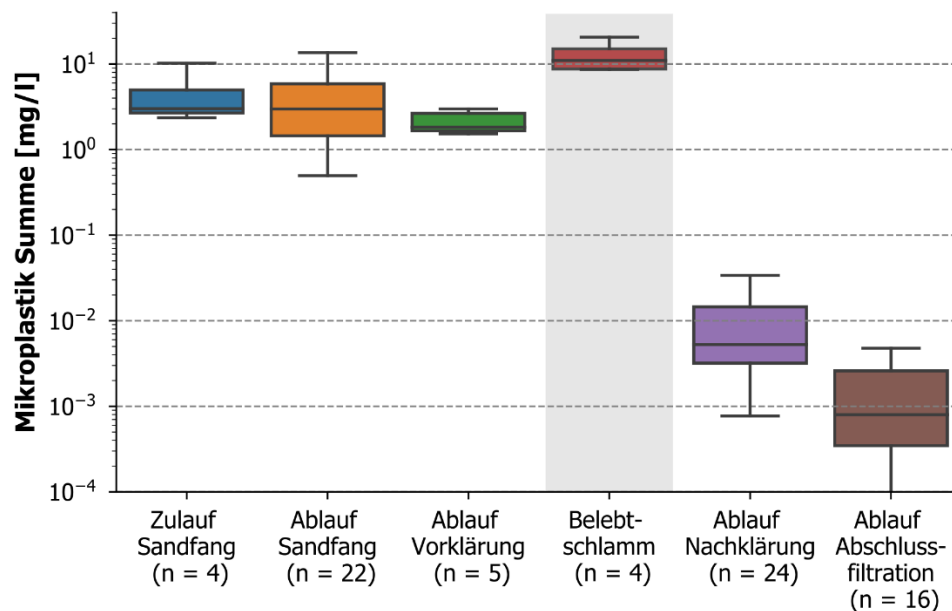


**Abbildung 3: Größenordnungen von Eliminationsraten und Massenkonzentrationen für Mikroplastik in kommunalen Kläranlagen (REPLAWA, 2022a; modifiziert in Hinzmann et al., 2022)**

Diese Elimination wird durch die in Abbildung 4 dargestellten Werte bestätigt, die auf Untersuchungsergebnissen zu acht Kläranlagen (mechanisch-biologische Reinigung, tlw. Sand- und Tuchfiltration) im Rahmen des REPLAWA-Projekts (REPLAWA, 2022a) basieren. Die Proben wurden mittels 24-h-Mischproben durch ein rotierendes Sieb mit 10  $\mu$ m Maschenweite gewonnen und mittels Gefriertrocknung und Mahlen für die Analytik in der TED-GC/MS an der TU Berlin aufbereitet (Fuhrmann et al., 2021; REPLAWA, 2022a).

Die relativen Mikroplastikeliminationen auf den acht Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen zeigen jeweils die gleiche Größenordnung und werden durch Untersuchungen von anderen Forschungsvorhaben im BMBF-Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“ (Hinzmann et al., 2022) sowie von Spelthahn et al. (2019) in Aachen größenordnungsmäßig bestätigt. Die Ergebnisse aus dem REPLAWA-Projekt wie auch von Spelthahn et al. (2019) ergeben Zulaufkonzentrationen in einer Größenordnung um  $10^1$  mg/l. Im Ablauf der mechanisch-biologischen Behandlung werden Größenordnungen von  $10^{-3}$  bis  $10^{-1}$  mg/l erreicht. PE und PP bilden den größten Anteil unter den untersuchten Kunststoffen, zusammen meist deutlich über 90 %. Von Funck et al. (2020) publizierte Vergleichswerte für den Einzelkunststoff PS von 0,072  $\mu$ g/l im Kläranlagenablauf liegen in ähnlicher Größenordnung wie der REPLAWA-Wert von 0,115  $\mu$ g/l, obwohl erstgenannte mit einem anderen Verfahren analysiert wurden (Py-GC/MS). Dagegen weisen unveröffentlichte Daten aus Berlin große Unterschiede bis zum Faktor  $10^3$  auf. Dies macht deutlich, dass Messergebnisse, die mit unterschiedlichen Messmethoden ermittelt wurden, oftmals nicht direkt vergleichbar sind. Solche Abweichungen sind auf unterschiedliche Probenahme-, Probenaufbereitungs- und Analysemethoden

zurückzuführen. Dies betrifft bspw. die Reduzierung der in der Probenmatrix enthaltenen Organik (z. B. über Fenton-Auflösung).



**Abbildung 4:** Mikroplastik-Massenkonzentrationen (PE, PP, PS, PMMA, PET; 10 – 1.000 µm) in den einzelnen Reinigungsstufen von acht Kläranlagen in Deutschland (in Klammern: Anzahl der Proben n); deutlich erkennbar ist die Anreicherung im Belebtschlamm

Auch wenn weitere Validierungen und die Verdichtungen von Messwerten noch nötig sind, zeigt sich bereits, dass der Kläranlagenablauf als Eintragspfad für Mikroplastik in die aquatische Umwelt nur eine untergeordnete Rolle spielt. Bei üblichen 5 – 6 mg/l AFS im Kläranlagenablauf entspräche eine Mikroplastikkonzentration gemäß Abbildung 4 einem Anteil von grob 1 % der Feststoffe im Ablauf.

Ein Abgleich mit den vorliegenden Messwerten zu Mikroplastikfrachten in Gewässern (z. B. aus Länderbericht, 2018) ist nur begrenzt möglich, da im Gewässerbereich bisher überwiegend die Partikelanzahlen statt der Massengehalte als Messgröße sowie abweichende Messbereiche der Partikelgröße zur Anwendung kamen.

## Maßnahmen zum weitergehenden technischen Rückhalt von Mikroplastik

Um in Kläranlagen einen weitergehenden Rückhalt von Mikroplastikpartikeln zu erzielen, können Filtrationsverfahren wie Tuchfiltration, Mikrosiebung, Raumfiltration (Sand- bzw. DynaSand-Filter) und Membranverfahren eingesetzt werden. Mintenig et al. (2014) berichteten für die Kläranlage Oldenburg mit einer Tuchfiltration als nachgeschalteter Verfahrensstufe von einem Mikroplastikrückhalt von 97 %. Neuere Daten von großtechnischen Kläranlagen aus dem REPLAWA-Projekt (2022a) und auch von Spelthahn et al. (2019) zeigen die oben genannten, deutlich höheren massebezogenen Eliminationsraten von rund 99,9 – 99,99 % (3 – 4 Log-Stufen), siehe

Abbildung 3 und Abbildung 4. Der Gesamteliminationsgrad für Mikroplastik in der Kläranlage kann durch nachgeschaltete Filtration somit um rund 1 – 2 Log-Stufen gegenüber der konventionellen mechanisch-biologischen Behandlung erhöht werden.

Halbtechnische Untersuchungen zur Nachfiltration über Tuch- und Sandfilter sowie die Mikrosiebung mit Dotierung von fluoreszierendem Mikroplastik und Detektion über Fluoreszenzmikroskopie konnten Abscheidegrade von insgesamt bis zu 99,9 %, bzw. bezogen auf den Filterzulauf von 80 – 98 %, bestätigen (Meyer und Bauerfeld, 2020; REPLAWA, 2022a).

## **Mikroplastik im Klärschlamm**

Bilanziert man den Verbleib der Mikroplastikpartikel im Zulauf der Kläranlage über den Gesamtprozess der Abwasserbehandlung (Abbildung 3), so lässt sich die in der mechanischen Reinigungsstufe inkl. Rechen und Sand-/Fettfang entfernte Mikroplastikfracht nach Spelthahn et al. (2019) sowie Talvitie und Heinonen (2014) grob auf 80 bis 90 % des Zulaufs beziffern, für die biologische Stufe auf 10 % (Talvitie und Heinonen, 2014) bis 20 % (Meyer und Bauerfeld, 2020). Insgesamt werden rund 75 – 80 % der Zulaufmengen im Rohschlamm inkorporiert. Zu beachten ist, dass diese Werte auf unterschiedlichen Messmethoden beruhen, sodass die absoluten Messwerte teilweise nicht vergleichbar sind; die relativen Größenordnungen korrelieren jedoch zueinander.

Eine zuverlässige Bilanzierung der Mikroplastikfrachten für einzelne Prozessschritte der Klärschlammbehandlung wird durch die Herausforderungen, die die komplexe Klärschlammmatrix an die Probenaufbereitung und Detektion von Mikroplastikpartikeln stellt, erschwert. Auch hier widerspricht die Heterogenität der Untersuchungsansätze internationaler Studien klaren Aussagen zum Mikroplastikverbleib (Bauerfeld, 2020). Nach bisherigem Stand des Wissens scheint die Klärschlammstabilisierung, selbst unter thermophilen Randbedingungen, die Mikroplastikfracht im Rohschlamm nicht signifikant zu verändern, kann aber die Partikelgrößenverteilung beeinflussen. Dieser Zusammenhang lässt sich beispielsweise auch für die Biobabfallvergärung aufzeigen (Kranert, 2020). Für den Verfahrensschritt der Klärschlammmentwässerung ist davon auszugehen, dass Mikroplastikpartikel aus der Feststoffmatrix entzogen und dem Schlammwasser zugeführt werden.

Neben den grundsätzlichen Überlegungen zum Verbleib des Mikroplastiks bei der Schlammbehandlung lassen bis dato lediglich einige wenige Einzelmessungen zu Massenkonzentrationen eine Einschätzung der Mikroplastikfracht im zu entsorgenden Klärschlamm zu und erlauben damit direkte Rückschlüsse auf eine potenzielle Befrachtung der aufnehmenden Umweltkompartimente. So beschreiben Dierkes et al. (2019) für die Polymere PE, PP und PS Konzentrationen im Klärschlamm von 3,7 – 3,9 mg MP/ g TR. Vorläufige Ergebnisse großtechnischer Beprobungskampagnen auf

kommunalen Kläranlagen im REPLAWA-Projekt liegen vergleichbar im ein- bis zweistelligen Promillebereich der Massenkonzentration. Eine weitaus umfangreichere Datenlage zeigt sich in Studien mit Mikroplastikpartikelzählungen. Diese Daten lassen allerdings keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Mikroplastikfracht im Klärschlamm zu.

## **Mikroplastikeinträge über Mischwasserabschläge und Regenüberläufe**

Wie in Abbildung 1 dargestellt, stellt der Eintrag von Mikroplastik über die Schmutz- oder Mischwasserkanalisation und die Kläranlage nur einen von mehreren siedlungswasserwirtschaftlichen Eintragspfaden in die aquatische Umwelt dar. Wie oben ausgeführt, zeigen die bisherigen Untersuchungen, dass der Eintrag von Mikroplastik über Kläranlagen nur eine untergeordnete Rolle spielt und mit technischen Mitteln (Filtrationsstufen) weitgehend beherrschbar ist. Überschlägige Abschätzungen zeigen für die Kläranlagenabflüsse vermutlich einen Anteil von unter 3 % an den gesamten direkten Mikroplastik-Emissionen in die aquatische Umwelt (REPLAWA, 2022a).

Deutlich größeres Potential für Emissionsminderungen stellt der Eintrag über Mischwasser- und Regenwasserabschläge oder der direkte Abfluss von Verkehrsflächen dar. Nach Bertling et al. (2018) sind über 50 % (1.548 von 2.880 g/(E·a)) der erfassten Mikroplastikemissionen dem Verkehrssektor zuzurechnen (Abrieb von Reifen, Fahrbahnen und Markierungen). Der Niederschlagswasserabfluss von diesen Flächen wird aber nur zu einem Teil den Kläranlagen zugeführt, sodass insbesondere im Bereich der Niederschlagswasserbehandlung weiterer Handlungsbedarf besteht. Jedoch stehen gerade für diesen Bereich belastbare Daten zu Mikroplastikstoffströmen noch weitgehend aus bzw. sind noch Gegenstand weiterer Untersuchungen (ReMiPla, 2023).

Die Erfassung von Verkehrsflächen außerhalb der Siedlungsbebauung, deren Abflüsse weder gefasst noch gereinigt werden, aber auch die große Zahl an einzelnen Austragsquelle aus der Misch- und Regenwasserkanalisation stellt eine besondere Herausforderung für mögliche Maßnahmen zur Verringerung von Mikroplastikeinträgen dar: Während die Anzahl der öffentliche Kläranlagen mit rund 9.105 angegeben wird, gibt es nach offiziellen Zahlen 45.508 erfasste Regenüberlaufbecken, Stauraumkanäle und Regenwasserüberläufe im Mischsystem sowie 4.133 Regenklärbecken in der Regenwasserkanalisation (Dettmar und Brombach, 2019; Datengrundlage 2016). Und viele Abflüsse von Verkehrsflächen gerade im ländlichen Bereich sind dabei noch gar nicht erfasst.

## Fazit und Ausblick

Mikroplastik wird über Schmutz-, Misch- und Niederschlagswasser in die aquatische Umwelt eingetragen und betrifft daher direkt die Abwasserentsorgung. Für die Bewertung der Mikroplastikemissionen über das Abwasser bestehen noch große Herausforderungen aufgrund unterschiedlicher Messgrößen (Partikelzahl/Massengehalt) sowie fehlender Standardisierung der Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse von Umweltproben auf Mikroplastik. Daher sind Publikationen zu Mikroplastikkonzentrationen in Abwasserströmen und Gewässern in Bezug auf absolute Messwerte nur bedingt miteinander vergleichbar.

Die Untersuchungen zu massenbezogenen Eliminationsraten von Mikroplastik in Kläranlagen im Rahmen des BMBF-Forschungsschwerpunkts „Plastik in der Umwelt“ zeigen, dass bei der konventionellen mechanisch-biologischen Abwasserreinigung Mikroplastik zu über 99 % (ca. 2 – 3 Log-Stufen) aus dem Abwasserstrom eliminiert wird. Mit zusätzlichen technischen Maßnahmen wie Filteranlagen werden Eliminationsraten von bis zu 99,99 % (ca. 3 – 4 Log-Stufen) erzielt. Diese relativen, massebezogenen Eliminationsraten decken sich größenordnungsmäßig mit anderen Literaturdaten, liegen aber über den bisherigen partikelbezogenen Auswertungen. Ein kritischer Punkt sind die teilweise erheblichen Unterschiede in den publizierten Absolutwerten der Massenkonzentrationen, die mehrere Zehnerpotenzen betragen können. Diese werden insbesondere auf unterschiedliche Probenahme- und Probenaufbereitungsmethoden zurückgeführt.

Auch wenn weitere Validierungen noch ausstehen, kann zusammenfassend davon ausgegangen werden, dass unter den Eintragspfaden für Mikroplastik in die aquatische Umwelt die Kläranlagen aufgrund der hohen Eliminationsleistungen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Für den Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sind daher zukünftig verstärkt die Eintragspfade über Mischwasserentlastungen und Regenwasserabflüsse in den Blick zu nehmen.

Mit der Entfrachtung des Mikroplastiks aus dem Abwasserstrom in den Kläranlagen ist eine Belastung des Klärschlammes als Senke der partikulären Polymere unmittelbar verknüpft. Die Aufkonzentration im Klärschlamm wird relevant, wenn dieser bodenbezogen verwertet wird und Mikroplastikpartikel damit in Böden eingetragen werden. Die noch wenig belastbare Datengrundlage zu Massenkonzentrationen im Klärschlamm erlaubt aktuell nur näherungsweise Abschätzungen der Verfrachtung von Mikroplastik über Klärschlamm in die Umwelt. Von Interesse kann auch die Qualität der zukünftig steigenden Mengen an Phosphor-Rezyklaten in Bezug auf eine mögliche Mikroplastikkontamination sein.

Für kleinere Partikel unterhalb der bis dato probenahmetechnisch erfassbaren Grenze von 5 – 10 µm (also von Sub-Mikroplastik bzw. Nanoplastik), denen ein höheres

ökotoxikologisches Potenzial zugeschrieben wird, liegen bisher kaum belastbare Daten vor. Diese sehr kleinen Partikel sind, wie auch flüssige, gelöste und gelartige Polymere, zudem mit vielen bisher eingesetzten technischen Filtrationssystemen kaum zu eliminieren. Es besteht also weiterhin vielfältiger Forschungsbedarf zum Mikroplastik in der Siedlungswasserwirtschaft (REPLAWA, 2022b).

## Danksagung

Um dem großen Klärungsbedarf zu den Eintragspfaden von Kunststoffen in die Umwelt zu untersuchen, ist vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) der Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“ aufgesetzt worden (PlastikNet, 2023). Die Autoren danken dem BMBF für die Unterstützung des Forschungsprojekts REPLAWA (Förderkennzeichen 02WPL1445A ff.) im Rahmen dieses Forschungsschwerpunkts.

## Literatur

- Baensch-Baltrusch et al. (2021): Tyre and road wear particles – A calculation of generation, transport and re-lease to water and soil with special regard to German roads, *Science of the Total Environment*, 752, 2021, 141939
- Bauerfeld, K. (2020): Klärschlamm als Senke für Mikroplastik jetzt und in Zukunft? Fachtagung der Kommission Bodenschutz beim UBA (KBU) zum Weltbodentag 2020: Kunststoffe in der Umwelt – Ein Problem für unsere Böden, oder nur falscher Alarm? 03.12.2020, online
- Bertling, J., Bannick, C. G., Brinkmann, L., Barkmann, L., Braun, U., Knoblauch, D., Kraas, C., Mederake, L., Nosić, F., Philipp, B., Sartorius, I., Schmitt, H., Stein, U., Wencki, K., Wendt-Potthoff, K., Woidasky J. (2022): Kunststoff in der Umwelt – ein Kompendium, 2. Auflage 2022, <https://doi.org/10.24406/umsicht-n-647638>, online verfügbar unter [https://bmbf-plastik.de/de/Publikation/Kompendium\\_Kunststoff-in-der-Umwelt\\_2022](https://bmbf-plastik.de/de/Publikation/Kompendium_Kunststoff-in-der-Umwelt_2022)
- Bertling, J., Bertling, R. und Haman, L. (2018): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Kurzfassung der Konsortialstudie, Hrsg.: Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, Juni 2018
- Braun, U. et al. (2020): Mikroplastik-Analytik, Probenahme, Probenaufbereitung und Detektionsverfahren. Statuspapier im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „Plastik in der Umwelt - Quellen • Senken • Lösungsansätze“, Stand: November 2020, [https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2020-11/Statuspapier\\_Mikroplastik%20Analytik\\_Plastik%20in%20der%20Umwelt\\_2020.pdf](https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2020-11/Statuspapier_Mikroplastik%20Analytik_Plastik%20in%20der%20Umwelt_2020.pdf)

- Breitbarth, M., Urban, A. I. (2018): Kunststoffe in kommunalen Kläranlagen – Eintrag und Verteilung in ausgewählten Kläranlagen. In: KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2018 (65), Nr. 9, S. 800-807
- Dettmar, J., Brombach, H. (2019): Im Spiegel der Statistik: Abwasserkanalisation und Regenwasserbehandlung in Deutschland. In: KA Korrespondenz Abwasser, 2019 (66), Nr. 5, S. 354-364
- Dierkes, G., Lauschke, T., Becher, S., Schumacher, H., Földi, C., Ternes, T. (2019): Quantification of microplastics in environmental samples via pressurized liquid extraction and pyrolysis-gas chromatography, Anal. Bioanal. Chem., 411, 2019, S. 6959–6968, <https://doi.org/10.1007/s00216-019-02066-9>
- Frehland, S., Schmiedgruber, M., Kägi R., Mitrano, D. (2018): Fate and Transport of Particulate Plastics in a Pilot Scale Wastewater Treatment Plant (WWTP). Vortrag bei der Konferenz MICRO 2018, Lanzarote, 19.-23.11.2018
- Fuhrmann, T., Urban, I., Scheer, H., Lau, P., Reinhold, L., Barjenbruch, M., Bauerfeld, K., Meyer, S. (2021): Mikroplastik-Emissionen aus Kläranlagen - Welche Rolle spielt die Abwasserbehandlung? KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, Jg. 68, Nr. 9, pp. 730-741
- Funck, M., Yildirima, A., Nickela, C., Schramc, J., Schmidt, T. C., Türk, J. (2020): Identification of microplastics in wastewater after cascade filtration using Pyrolysis-GC-MS, MethodsX, 7, 2020, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mex.2019.100778>
- Hinzmann, M., Knoblauch, D., Mederake, L., Schritt, H., Stein, U. (Hrsg.) (2022): Kernbotschaften zum Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“. Download unter <https://bmbf-plastik.de/de/Publikation/Kernbotschaften>
- Klasmeier, J., Wissing, M. (2017): Waschmaschinenablauf als mögliche Eintragsquelle von Textilfasern (Mikroplastik) in Gewässer, Abschlussbericht, Universität Osnabrück, 2017, [https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/presse\\_und\\_offentlichkeitsarbeit/pressemitteilungen/neue-studie-klaeranlagen-bremsen-mikrofasern-aus-154426.html](https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/presse_und_offentlichkeitsarbeit/pressemitteilungen/neue-studie-klaeranlagen-bremsen-mikrofasern-aus-154426.html)
- Kranert, M. (2020): Mikrokunststoffe in Produkten aus Bioabfall – Einträge in Böden, Fachtagung der Kommission Bodenschutz beim UBA (KBU) zum Weltbodentag 2020: Kunststoffe in der Umwelt – Ein Problem für unsere Böden, oder nur falscher Alarm? 03.12.2020
- Länderbericht (2018): Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands. Bundesländerübergreifende Untersuchungen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Teil 1: Kunststoffpartikel in der oberflächennahen Wasserphase. Karlsruhe, Augsburg, Wiesbaden,

- Recklinghausen, Mainz, 2018, [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/6\\_sonderreihen/L%C3%A4nderbericht\\_Mikroplastik\\_in\\_Binnengew%C3%A4ssern.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/6_sonderreihen/L%C3%A4nderbericht_Mikroplastik_in_Binnengew%C3%A4ssern.pdf)
- Meyer, S., Bauerfeld, K. (2020): Mikroplastikverbleib in kommunalen Kläranlagen und im Klärschlamm. DWA-Seminar „Mikroplastik im Abwasser – ein Problem?“, 01.10.2020, Kassel
- Mintenig, S., Int-Veen, I., Löder, M., Gerds, G. (2014): Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen. Probenanalyse mittels Mikro-FTIR Spektroskopie. Abschlussbericht, 2014
- PlastikNet (2023): Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Website des übergreifenden Vernetzungsprojekts PlastikNet, [www.bmbf-plastik.de](http://www.bmbf-plastik.de)
- ReMiPla (2023): Untersuchung von Mikroplastik-Einträgen über Misch- und Niederschlagswassereinleitungen in Gewässer. Website des vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen geförderten Verbundprojekts, [www.ewlw.de/remipla](http://www.ewlw.de/remipla)
- REPLAWA (2022a): Verbundprojekt REPLAWA: Reduktion des Eintrags von Plastik über das Abwasser in die aquatische Umwelt. Schlussbericht zum BMBF-geförderten FuE-Vorhaben, Juli 2022, online verfügbar unter <http://www.replawa.de/publikationen/>.
- REPLAWA (2022b): Mikroplastik-Einträge über das Abwasser in die aquatische Umwelt – Handlungsempfehlungen und Erkenntnisse aus dem REPLAWA-Vorhaben zur Ermittlung und Verringerung von Mikroplastik-Einträgen im Bereich der Abwasserentsorgung. August 2022, online abrufbar unter <https://www.replawa.de/publikationen> und <https://bmbf-plastik.de/de/ergebnisse>.
- Scheer, H.; Fuhrmann, T. (2019): Rückhalt von Mikroplastik in Kläranlagen. Vortrag und Beitrag in: Tagungsband zum 37. Bochumer Workshop Siedlungswasserwirtschaft „Mikroplastik – Herausforderungen und Lösungen für die Siedlungswasserwirtschaft“ am 05.09.2019 in Bochum, Schriftreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 79, S. 41-48, ISSN 0178-0980.
- Siegel, H., Thyen, E. (2020): Pilotscreening nach Mikroplastik am Zentralkläwerk Lübeck – Aufkommen und Verteilung von Mikroplastik in einer kommunalen Kläranlage. In: KA Korrespondenz Abwasser Abfall, Jg. 67, Nr. 2, 2020, S. 105-111

- Spelthahn, V., Dolny, R., Giese, C., Giebel, K., Leuchthaler, S., Pinnekamp, J., Linnemann, V. (2019): Mikroplastik aus Mischsystemen. Beitrag zur 52. Essener Tagung am 20.-22.03.2019. In: GWA - Gewässerschutz, Wasser & Abwasser, Bd. 250, Ges. zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft a. d. RWTH Aachen
- Talvitie, J., Heinonen, M. (2014): Preliminary study on synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment plant, Hrsg.: HELCOM – Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki, 2014
- UBA (Hrsg.) (2017): Wasserwirtschaft in Deutschland, Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen. Hrsg.: Umweltbundesamt und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2017, ISSN 2363-832X, Download unter [www.umweltbundesamt.de/publikationen](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen), Kap. 3.8 Einträge von Kunststoffen in die Umwelt
- Venghaus, D., Schmerwitz, F., Reiber, J., Sommer, H., Lindow, F., Herper, D., Barjenbruch, M. (2021): Reifenabrieb Hot Spots im urbanen Straßenraum – Möglichkeit zur Identifizierung und Bewertung, im Begutachtungsprozess bei GWF Wasser/Abwasser, 2021

**Anschrift der Verfasser:****Tim Fuhrmann**

Emscher Wassertechnik GmbH  
Brunnenstraße 37  
45128 Essen

Tel. +49 201 3610 - 555  
Fax: +49 201 3610 - 100  
E-Mail: [fuhrmann@ewlw.de](mailto:fuhrmann@ewlw.de)

**Peter Wulf**

Emscher Wassertechnik GmbH  
Brunnenstraße 37  
45128 Essen

Tel. +49 201 3610 - 120  
Fax: +49 201 3610 - 100  
E-Mail: [wulf@ewlw.de](mailto:wulf@ewlw.de)