

Whitepaper

Weltweite Belastung von Gewässern durch Mikroplastik

Mikroplastik (< 5 mm) ist weit in der Umwelt verbreitet und entsteht sowohl industriell (z. B. in Kosmetika oder Kunststoffpellets - primäres Mikroplastik) als auch durch Abrieb, Verwitterung oder Zersetzung (sekundäres Mikroplastik). Studien belegen, dass Mikroplastik sowohl ubiquitär in allen Umweltkompartimenten vorkommt als auch bereits im menschlichen Körper nachgewiesen wurde.

Besonders bedeutsam ist der Reifenabrieb, der rund 57 % der gesamten Mikroplastikemissionen verursacht und in Deutschland etwa 1 kg pro Kopf und Jahr ausmacht, wovon Schätzungen zufolge bis zu 19.800 t in das Abwasser eingetragen werden [1,2]. Sowohl Bestandteile, die bereits im Reifen enthalten sind, als auch solche, die während des Abriebprozesses auf dem Straßenbelag entstehen, können zur potenziellen Toxizität von Reifenabrieb beitragen.

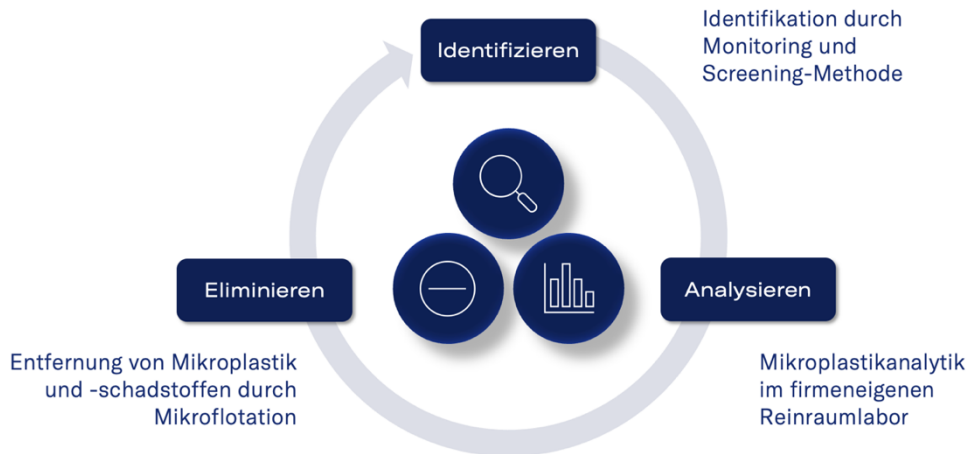
Urbane Oberflächenabflüsse enthalten Schadstoffe, darunter Schwermetalle, polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und mineralische Kohlenwasserstoffe (MKW), die überwiegend in partikulär gebundener Form vorliegen. Die Fraktion der AFS63 umfasst feine abfiltrierbare Stoffe < 63 µm, die in der Regel eine erhöhte Belastung mit diesen Mikroschadstoffen aufweisen.

Gleichzeitig zeigt sich eine strukturelle Schwäche bestehender Infrastrukturen: Ein Großteil der bestehenden Regenwasserbehandlungsanlagen (RWBA) haben nur einen unzureichenden Wirkungsgrad und verschlechtern so potenziell den ökologischen Zustand der Gewässer. Bei hydraulischer Belastung führen Mischwasserüberläufe ebenso erhebliche Schadstofffrachten direkt in die Gewässer ein sowie auch Regenwassereinleitungen aus Trennsystemen tragen kontinuierlich zur Belastung beitragen.

Diese Herausforderungen führen dazu, dass insbesondere die stark belastete Feinfraktion, einschließlich Mikroplastik, bislang nur unzureichend erfasst wird und somit ein Risiko für Gewässer und die menschliche Gesundheit darstellen. Vor diesem Hintergrund besteht ein großer Bedarf an leistungsfähigeren, auf die Entfernung von belasteten Feinfraktionen ausgerichtete Behandlungsverfahren.

MicroBubbles und die ganzheitliche Lösung

Die MicroBubbles GmbH widmet sich seit der Gründung im Jahr 2021 der Entwicklung und Anwendung von Technologien zur Eliminierung von Mikroplastik- und Schadstoffpartikeln aus Abwasser. Durch die Unterstützung und Finanzierung der Bundesagentur für Sprunginnovationen, SPRIND, konnte die Idee der MicroBubbles als eins der ersten Projekte umgesetzt werden. MicroBubbles ist als Start-up mit 37 Mitarbeitenden an zwei Standorten in Leipzig und Bad Lipspringe vertreten.



Die Innovationsstrategie von MicroBubbles basiert auf einem integrativen Ansatz mit drei Handlungsfeldern **Identifizieren**, **Analysieren** und **Eliminieren** (siehe Abbildung). Ziel im Bereich Identifizieren ist die Früherkennung von Herausforderungen für sauberes Wasser, um Belastungen frühzeitig sichtbar zu machen und somit eine Regulierungsgrundlage zu bieten. Ergänzend dazu schafft der Bereich Analysieren durch hochauflösende In-House-Laborverfahren eine fundierte, unabhängige Datengrundlage zur präzisen Bestimmung von Mikroplastik. Dies ermöglicht qualitativ hochwertige Ergebnisse und beschleunigte Problemlösungen. Das Handlungsfeld Eliminieren umfasst eine skalierbare Retrofit-Lösung, die je nach Bedarf modular angepasst werden kann und direkt *in situ* im Wasser eingesetzt wird. Dieses Verfahren wird im Folgenden als *in situ*-Mikroflotation (ISM) bezeichnet. Regenwasserbehandlungsanlagen (RWBA), wie Regenklärbecken können ohne bauliche Anpassungen um- und nachgerüstet werden. Da aktuell nur rund 38% der RWBA regelkonform sind und somit die Voraussetzungen für eine optimale Sedimentation erfüllen, adressiert die ISM sowohl die Effizienzsteigerung bestehender regelkonformer Anlagen als auch die Nachrüstung und Leistungsverbesserung nicht regelkonformer Altanlagen.

Mit der geschützten Mikroflotationstechnologie reinigen wir Wasser *in situ*, direkt vor der Einleitung in Gewässer, wie Flüsse, Seen und Meere. **Feinste, stabile Mikrogasblasen ($\varnothing 45 \mu\text{m}$)** binden partikuläre hydrophobe Stoffe, insbesondere Mikroplastik und transportieren sie so an die Wasseroberfläche. Die Anlagerung von Luftblasen an den Partikeln ermöglicht den Auftrieb, wodurch das Partikel-Blasen-Komplex flotiert. Die Entfernung dieser Stoffe (Flotat) erfolgt durch ein Abräumungsverfahren (Skimmer). Die *in situ*-Technologie kann aus mehreren Modulen bestehen, sodass eine Skalierung der Wasseraufbereitung möglich ist. Die Behandlungskapazität eines ISM-Moduls richtet sich nach der Beckengröße und kann entsprechend skaliert werden. Der Einsatz, der von MicroBubbles entwickelten ISM in RWBA im Untersuchungszeitraum von neun Monaten zeigt, dass sich bei der ISM keine signifikante Abhängigkeit des AFS63-Wirkungsgrads von der maximalen Oberflächenbeschickung ergab [10,11]. Die frachtgewichteten Wirkungsgrade liegen mit der ISM bei 59,3 % für AFS63 und 84,1 % bei Reifenabrieb. Die Nachrüstung des Regenklärbeckens mit der ISM führt zu einer signifikanten Verbesserung des Rückhalts von Reifenabrieb, welcher Bestandteil des AFS63 ist.



Zur prozessbegleitenden Analyse betreibt MicroBubbles eine **In-House-Analytik mit zertifizierten Reinräumen mit den ISO-Klassen 7 und 8**, welche mit hochauflösenden Analytik-Methoden ausgestattet sind. Die eingesetzte Spitzentechnologie ermöglicht kontaminationsarme Untersuchungen und zuverlässige Ergebnisse, selbst bei komplexen Proben. Hierzu gehören matrixangepasste Probenahmen, die Probenvorbereitung sowie passgenaue Auswahl der Analyseverfahren. Mit vielfältigen Analytikmethoden und fundiertem Fachwissen erfasst MicroBubbles Zusammensetzung, potenzielle Quellen und die Konzentration von Mikroplastik- und Schadstoffen in verschiedenen Gewässern.

Die In-House-Analytik der MicroBubbles ermöglicht eine effiziente Einhaltung der in der Kommunalabwasserrichtlinie geforderten Monitoring-Pflichten für Mikroplastik und Mikrotoxine. Präzise Datenerhebungen und -auswertungen schaffen eine belastbare Grundlage für Ursachenanalysen und Maßnahmenbewertung. So lässt sich die Wirksamkeit von Behandlungsverfahren, wie der Mikroflotation, gezielt belegen und optimieren. Die Mikroflotationstechnologie ist sowohl für Becken in konstruktiver Bauweise wie Betonbecken, naturnahe Bauweisen, wie Erdbecken sowie für Mischwasserüberläufe und Entlastungsanlagen im Trennsystem geeignet und stellt eine effektive und praxisnahe Maßnahme zur Reduktion des Eintrags von Mikroplastik und weiteren Schadstoffen in die aquatische Umwelt dar.

Mikro- und Nanoplastik: Toxikologische Risiken und Eintrag in Gewässer

Mikro- und Nanoplastikpartikel (MNP) entfalten eine physikalische und chemische Toxizität. Während größere Partikel meist ausgeschieden werden, können Nanopartikel ($< 1 \mu\text{m}$) Zellmembranen durchdringen und sich in Organen wie Leber, Lunge, Plazenta oder Gehirn anreichern [4,9]. MNP absorbieren Schadstoffe wie POPs (engl. persistent organic pollutants, persistente organische Schadstoffe) oder PCB (Polychlorierte Biphenyle) und setzen Additive wie Weichmacher frei [14,15]. Nachgewiesene Effekte umfassen Entzündungen, oxidativen Stress, DNA-Schäden und Zelltod, wobei Nanopartikel im Allgemeinen ein höheres toxisches Potenzial aufweisen [8,12,13]. Eine Analyse von 3000 Studien zeigt Zusammenhänge mit Atemwegs- und Verdauungserkrankungen sowie einer möglichen Assoziation mit Dickdarmkrebs [3]. Auch für Reifenabrieb werden toxische Effekte auf verschiedene Organismen

in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen nachgewiesen. Ursache hierfür sind die Partikel selbst sowie die Auslaugung von Additiven in Straßenabflüssen [7].

Bei Niederschlagsereignissen gelangen MNP, insbesondere in Form von Reifenabrieb, mit dem anfallenden Regenwasser von der Straße in das Kanalnetz. Von dort werden sie dem Mischsystem (Kläranlagen) und dem Trennsystem (RWBA) oder direkt dem Gewässer durch die Entlastung von Mischwasserüberläufen zugeführt. RWBA, wie beispielsweise Regenklärbecken, weisen häufig nur geringe Wirkungsgrade für AFS63 auf (vgl. DWA-A 102-2). Zudem wird der Wirkungsgrad der RWBA durch häufigere Starkregenereignisse zusätzlich vermindert. Starke Turbulenzen und hydraulische Belastungen beeinträchtigen den Sedimentationsprozess. Dies betrifft insbesondere die Feinfraktion der Partikeln inkl. Mikroplastik, die aufgrund ihrer geringen Größe eine längere Sinkgeschwindigkeit aufweisen. Mikroplastik, wie Reifenabrieb als ein Teil von AFS und AFS63, gelangt somit trotz RWBA in die Gewässer. Es ist absehbar, dass dieser Effekt durch die Folgen des Klimawandels verstärkt wird. Besonders veraltete RWBA (ein Großteil bestehender Anlagen), haben einen geringen Wirkungsgrad und verschlechtern potenziell den ökologischen Zustand der Gewässer. Auch Mischwasserüberläufe tragen bei hydraulischer Belastung erhebliche Schadstofffrachten direkt in die Gewässer ein. Regenwassereinleitungen aus dem Trennsystem und durch Mischwasserüberläufe mit Mikroschadstoffen belastete Siedlungsabflüsse stellen ein Risiko für die Umwelt und die menschliche Gesundheit dar. Innovative Technologien wie die ISM von MicroBubbles ermöglichen eine effiziente Entfernung der belasteten Feinfraktion, insbesondere Mikroplastik wie Reifenabrieb und leisten einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der Gewässerbelastung.

Vor diesem Hintergrund kommt dem regulatorischen Rahmen eine zentrale Bedeutung zu. Der Runderlass „Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren“ (26.05.2004) des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz konkretisiert die Anforderungen an die Behandlung von Niederschlagswasser aus Trennsystemen mit dem Ziel, stoffliche Belastungen vor der Einleitung in Gewässer wirksam zu reduzieren, sodass ausreichend gereinigtes Regenwasser in Gewässer gelangt. Ergänzend definiert die Selbstüberwachungsverordnung von Abwasseranlagen Nordrhein-Westfalen (SüwVO Abw NRW) grundlegende Anforderungen an Betrieb, Kontrolle und Dokumentation entsprechender Anlagen. Betreiber sind demnach verpflichtet, die ordnungsgemäße Funktion von Niederschlagswasserbehandlungsanlagen, wie Regenklärbecken, Durchlaufbecken oder Bodenfilter, sicherzustellen und die geforderten Reinigungsleistungen kontinuierlich nachzuweisen. In der praktischen Umsetzung zeigt sich jedoch, dass ein signifikanter Anteil bestehender Anlagen diese Anforderungen insbesondere im Hinblick auf die Abscheidung der Feinfraktion (AFS63) nicht zuverlässig erfüllt.

Daraus ergibt sich ein zentraler Hebel zur Verbesserung der Gewässerqualität: die gezielte Erhöhung der tatsächlichen Reinigungsleistung bestehender Anlagen, insbesondere im Hinblick auf die Entfernung feinpartikulärer, schadstoffbeladener Fraktionen.

Richtlinie des europäischen Parlaments und Rates über die Behandlung von kommunalem Abwasser (KARL)

Die Novellierung der EU-Richtlinie zur Behandlung kommunalen Abwassers adressiert zentrale Umwelt- und Gesundheitsaspekte, weist jedoch Nachbesserungsbedarf auf. So fordert Artikel 5 der Kommunalabwasserrichtlinie die Identifikation von Einzugsgebieten mit umwelt- oder gesundheitsgefährdenden Einleitungen bis 2028, lässt aber offen, wie relevante Überwachungsstellen definiert und wie häufig diese Messungen erfolgen sollen. Angesichts

signifikanter saisonaler Schwankungen ist für eine repräsentative Überwachung mindestens eine vierteljährliche Probenahme erforderlich.

Der Artikel 21 der Richtlinie fordert die Untersuchung auf Mikroplastik, doch fehlen standardisierte Analyseverfahren und Grenzwerte. In Anhang 1, Teil C bleibt unbeachtet, dass kommunale Abwasserbehandlungsanlagen Mikroplastik nicht vollständig zurückhalten. Daher sind spezifische Vorgaben für Partikel kleiner als 63 µm sowie ein verbindlicher Grenzwert für Mikroplastik in Gewässern erforderlich.

Anhang V setzt die Verschmutzung durch Mischwasserüberläufe auf maximal 2 % der jährlichen Abwasserfracht im Trockenwetterabfluss, jedoch nur als unverbindliches Richtziel. Diese Begrenzung sollte folglich verpflichtend sein. Zudem steht die geforderte Reduktion von Makroplastik im Widerspruch zu einer auf Mikroplastik fokussierten Überwachung, weshalb eine einheitliche Regulierung notwendig ist.

Die Richtlinie stellt einen Fortschritt dar, bleibt allerdings in entscheidenden Punkten unpräzise. Verbindliche Überwachungsvorgaben, standardisierte Analytik und klare Grenzwerte für Mikroplastik sind essenziell, um die Umwelt- und Gesundheitsziele zu erreichen.

Hier bietet MicroBubbles eine vielversprechende Lösung, mit der durch eine hocheffiziente Mikroflotation kleinste Partikel gezielt aus Gewässern entfernt und neue Grenzvorgaben zuverlässig erfüllt werden können. Eine präzise Regulierung in der Richtlinie ermöglicht eine einheitliche Überwachung und fördert den Einsatz innovativer Technologien.

Literaturverzeichnis

- [1] Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Kochleus, C., Stock, F., & Reifferscheid, G. (2021). Tyre and road wear particles – A calculation of generation, transport and release to water and soil with special regard to German roads. *Science of the Total Environment*, 752, 141939. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141939> Europe PMC+1
- [2] Bertling, J., Bertling, R., & Hamann, L. (2018). *Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik – Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen (Kurzfassung der Konsortialstudie)*. Fraunhofer UMSICHT. <https://doi.org/10.24406/UMSICHT-N-497117>
- [3] Chartres, N., Cooper, C. B., Bland, G., Pelch, K. E., Gandhi, S. A., BakenRa, A., & Woodruff, T. J. (2024). Effects of microplastic exposure on human digestive, reproductive, and respiratory health: A rapid systematic review. *Environmental Science & Technology*, 58(52), 22843–22864. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c09524>
- [4] Cho, Y., Seo, E. U., Hwang, K. S., Kim, H., Choi, J., & Kim, H. N. (2024). Evaluation of size-dependent uptake, transport and cytotoxicity of polystyrene microplastic in a blood-brain barrier (BBB) model. *Nano Convergence*, 11, Article 40. <https://doi.org/10.1186/s40580-024-00448-z>
- [5] Gehrke, I., & UMSICHT, F. (2018). *TyreWearMapping: Einfluss von Reifenabrieb auf die Umwelt*. Fraunhofer UMSICHT, Bad Langensalza.
- [6] Hann, S., Sherrington, C., Jamieson, O., Hickman, M., Kershaw, P., Bapasola, A., & Cole, G. (2018). *Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products – Final Report*. ICF / Eunomia (für die Europäische Kommission). https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2018-04/microplastics_final_report_v5_full.pdf
- [7] Hansen, S. F. (2025). *Strengthening EU Action on Micro- and Nanoplastics from Tyre and Road Wear Particles, Toxicity, Regulation and Policy Recommendations*. Regulation & Science Advisory. Im Auftrag von MicroBubbles GmbH.
- [8] Lamichhane, G., Acharya, A., Marahatha, R., Modi, B., Paudel, R., Adhikari, A., ... & Parajuli, N. (2023). Microplastics in environment: global concern, challenges, and controlling measures. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(4), 4673–4694. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04261-1>
- [9] Liebmann, B. (2015). *Mikroplastik in der Umwelt – Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf (REP-0550)*. Umweltbundesamt, Wien. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0550.pdf>

[10] Löffler M., Rischmüller S., Wenzel M., Sawadski B., Sander S., Brackmann P., Gruner M., Oldenburg M., Pick V., Altensell N., Hoppe H., Huber-Gedert M. and Marx Ch. (2025). Entfernung von AFS63 und Reifenabrieb in Niederschlagswasserbehandlungsanlagen mittels in situ-Mikroflotation. KA-Korrespondenz Abwasser (eingereicht).

[11] Rischmüller S., Böckmann D., Altensell N., Pecher K., Hoppe H., Löffler M., Marx C. (2025). Entfernung von AFS und Mikroplastik in neuen und bestehenden Regenwasserbehandlungsanlagen mittels Mikroflotation. Hrsg. Scientific Board der Aqua Urbanica. <https://doi.org/10.3217/6nqta-ter74>

[12] Sangkham, S., Faikhaw, O., Munkong, N., Sakunkoo, P., Arunlertaree, C., Chavali, M., Mousazadeh, M., & Tiwari, A. (2022). A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health. *Marine Pollution Bulletin*, 181, 113832. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113832>

[13] Vogel, A., Tentschert, J., Pieters, R., Bennet, F., Dirven, H., van den Berg, A., ... Haase, A. (2024). Towards a risk assessment framework for micro- and nanoplastic particles for human health. *Part Fibre Toxicol*, 21(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00602-9>

[14] Waldschläger, K., Lechthaler, S., Stauch, G., & Schüttrumpf, H. (2020). The way of microplastic through the environment—Application of the source-pathway-receptor model. *Science of the Total Environment*, 713, 136584. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136584>

[15] Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*, 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>