



zukunft
SEIT 1909
denken

WASSER • ABWASSER • ABFALL

■ EXPERTINNENPAPIERE

des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)

ÖWAV-Expert:innenpapier

Mikroplastik im Wasser

Erstellt vom ÖWAV-Arbeitsausschuss „Spurenstoffe“ der Fachgruppe „Qualität und Hygiene“ im ÖWAV

Wien 2022

Dieses Expert:innenpapier ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher
Gemeinschaftsarbeit.

Dieses Expert:innenpapier ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für eine fachgerechte Lösung. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall. Eine etwaige Haftung der Urheber ist ausgeschlossen.

Hinweis:

Bei allen Personenbezeichnungen in diesem Expert:innenpapier gilt die gewählte Form für alle Geschlechter.

Impressum

Medieninhaber und Verleger: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien

Hersteller: druck.at Druck- und Handelsgesellschaft mbH, Leobersdorf

Es wird darauf hingewiesen, dass sämtliche Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Autoren oder des Verlages ausgeschlossen ist.

Dieses Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung werden ausdrücklich vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Redaktion, Satz und Layout: Mag. Fritz Randl (ÖWAV)

© 2022 by Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

VORWORT

Das ÖWAV-Expert:innenpapier über Mikroplastik (2021) wurde von Vertreter:innen aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft basierend auf dem derzeitigen Stand der Wissenschaft zusammengestellt. Ziel des Papiers ist die Zusammenfassung von derzeitigen Erkenntnissen und Fakten aus wissenschaftlichen Forschungsprojekten und bereits bestehenden bzw. geplanten Maßnahmen zur Verminderung des Eintrags von Mikroplastik in die aquatische Umwelt. Dadurch soll den in der Praxis der Wasserwirtschaft verankerten Personen der Stand des Wissens vermittelt werden, um Informationen für die Beantwortung von aktuellen Fragestellungen, wie sie an die Praktikerin/den Praktiker herangetragen werden, bereitzustellen.

Trotz der umfangreichen wissenschaftlichen Bearbeitung des Themas besteht in zahlreichen Teilaspekten weiterhin Forschungsbedarf und es ist laufend mit neuen Erkenntnissen und der Adaptierung des Standes des Wissens sowie von Regeln und gesetzlichen Rahmenbedingungen zu rechnen.

ÖSTERREICHISCHER
WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND

Wien, im Februar 2022

An der Erarbeitung dieses ÖWAV-ExpertInnenpapiers haben mitgewirkt:

Ausschussleitung:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Norbert KREUZINGER, Technische Universität Wien
a.o.Univ.-Prof. DI Dr. Maria FÜRHACKER, Universität für Bodenkultur Wien

Ausschussmitglieder:

AL DI Thomas BLANK, Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz
DI Dr. Rainer BRAUN, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz
DI Dr. Manfred CLARA, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien
MR Dr. Karin DEUTSCH, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien
AL DI Dr. Robert FENZ, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien
MAS Mag. Dr. Susanne GFATTER, Fachverband der Mineralölindustrie, Wien
Mag. Richard GUHSL, Wirtschaftskammer Österreich, Wien
Ing. Friedrich HOCHEGGER, Linz Service GmbH, Linz
em.o.Univ.-Prof. DI Dr. Dr. h.c. Helmut KROISS, Technische Universität Wien
DI Dr. Katharina LENZ, Umweltbundesamt, Wien
DI Christina LIPPITSCH, Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, Wien
AL DI Heide MÜLLER-RECHBERGER, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien
MR DI Alfred RAUCHBÜCHL, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien
Mag. Dr. Sigrid SCHARF, Umweltbundesamt, Wien
Dr. Christoph SCHEFFKNECHT, Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg, Bregenz
DI Dr. Vera SCHÖNGRUBER, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz
DI Dr. Reinhard THAYER, Fachverband der chemischen Industrie Österreich, Wien
DI Dr. Gerald WANDL, ebswien kläranlage & tierservice Ges.m.b.H, Wien
Dr. Markus WERDERITSCH, MA 31 Wiener Wasser, Wien
MR Mag. Dr. Martin WIMMER, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien

Unter Mitarbeit von:

DI Philipp HOHENBLUM, Umweltbundesamt, Wien
Ivo OFFENTHALER, Umweltbundesamt, Wien

Für den ÖWAV:

DI Philipp NOVAK, Bereichsleiter Abwasserwirtschaft im ÖWAV, Wien

INHALTSVERZEICHNIS

ÖWAV-EXPERTINNENPAPIER „MIKROPLASTIK IM WASSER“	5
Abstract.....	5
1. EINLEITUNG UND ZIELE DES EXPERTINNENPAPIERS.....	7
2. DEFINITIONEN UND KLASSIFIZIERUNGEN VON MIKROPLASTIK	8
3. UNTERSUCHUNGSMETHODEN	10
4. HERKUNFT UND EINTRAGSPFADE.....	12
4.1. Eintragsmenge durch absichtliche Freisetzung.....	12
4.2. Eintragsmengen durch unabsichtliche Freisetzung.....	12
5. MIKROPLASTIK IN ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN	14
6. BEDEUTUNG UND PROBLEMATIK (MENSCHLICHE GESUNDHEIT UND UMWELT).....	16
6.1. Exposition	16
6.2. Wirkungen von Mikroplastik	17
6.3. Vorläufige Risikoabschätzung	18
7. MASSNAHMEN	20
7.1. Maßnahmen zur Reduktion von primärem Mikroplastik (Typ-A).....	20
7.1.1. Beschränkung von absichtlich hinzugefügtem Mikroplastik	20
7.1.2. Verhinderung von Granulatverlust aus industriellen Anlagen.....	20
7.2. Maßnahmen zur Reduktion von primärem Mikroplastik (Typ-B).....	21
7.3. Maßnahmen zur Reduktion von sekundärem Mikroplastik	21
8. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSBEDARF	22
9. SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	23
10. LITERATUR	24
HÄUFIGE FRAGEN ZUM THEMA MIKROPLASTIK IM WASSER/ABWASSER	27

ÖWAV-EXPERTINNENPAPIER „MIKROPLASTIK IM WASSER“

Abstract

Das ExpertInnenpapier richtet sich an ExpertInnen in den Bereichen Trinkwasser, Abwasser und aquatische Umwelt mit dem Ziel einer Zusammenstellung von evidenzbasierten Fakten und Zahlen im Zusammenhang mit der Thematik Mikroplastik im anthropogenen Wasserkreislauf. Dafür werden der Stand des Wissens dargestellt und die mit der Thematik verbundenen methodischen Probleme diskutiert.

Mikroplastik umfasst Partikel unterschiedlichster Form mit einer Abmessung von 5 mm und geringer, allerdings wurde die untere Grenze für die Partikelgrößen nicht explizit definiert, weshalb auch Studienergebnisse sehr schwer zuordenbar, kaum vergleichbar und somit für die Beurteilung einer Auswirkung schlecht geeignet sind. Für eine Risikoabschätzung sind Informationen über die Umweltkonzentrationen der verschiedenen relevanten Partikelgrößen und deren auf die Partikelgrößen bezogenen schädigenden Wirkungen notwendig. Es wird zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik unterschieden. Primäres Mikroplastik bezeichnet direkt hergestelltes (Typ A) oder in der Nutzungsphase entstandenes Mikroplastik (Typ B), wogegen sekundäres Mikroplastik durch Zerkleinerung oder Zerfall größerer Plastikteile entsteht.

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass Mikroplastik (MP) in sämtlichen Umweltmedien wie Luft, Oberflächen- und Grundwasser, in Böden, Sedimenten, Korallenriffen, in der Tiefsee, Biota und sogar in einigen Lebensmitteln nachweisbar ist. Dieses Vorhandensein von Mikroplastik in Lebensmitteln und der Umwelt führt zur Besorgnis über eine direkte oder indirekte Wirkung auf Organismen in der Umwelt sowie den Menschen selbst. In diesem Beitrag soll die prinzipielle Problematik einer Beurteilung der Relevanz von Mikroplastik-Partikeln dargestellt werden und eine zusammenfassende Darstellung zum Wissensstand des Themas über Exposition und Wirkung erfolgen.

In Hann et al. (2018) werden die europaweiten Mikroplastikfreisetzungen aus verschiedenen Quellen abgeschätzt und deren Verbleib in der Umwelt dargestellt (s. Abb. 1).

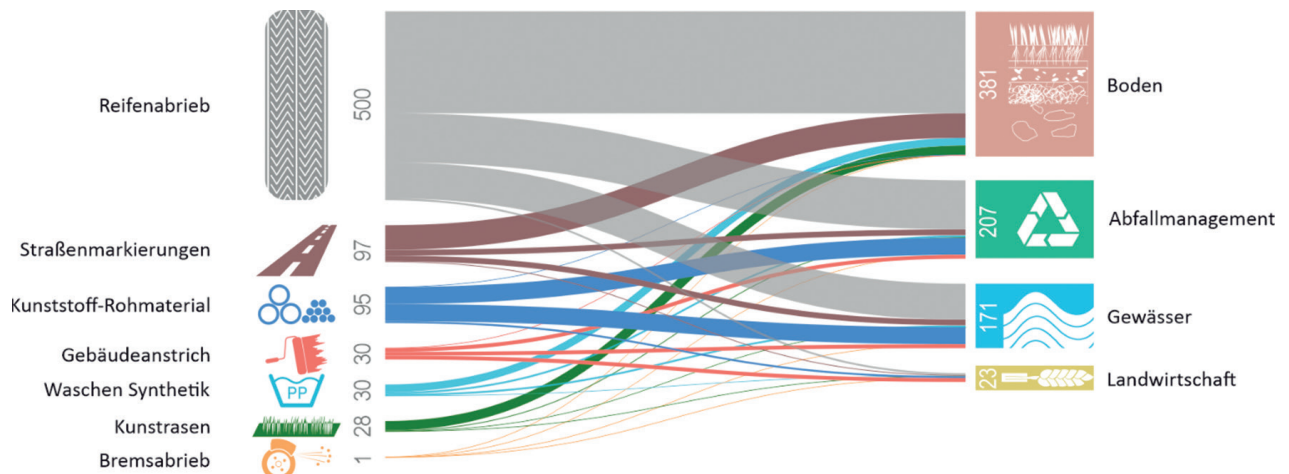


Abb. 1 Europaweite Mikroplastik-Freisetzungen (in kt/a) aus verschiedenen Quellen und deren Verbleib (Umweltbundesamt, verändert nach: Hann et al. 2018)

Von ca. 1 Mio. Tonnen Mikroplastik-Anfall pro Jahr werden europaweit demnach rund 200.000 Tonnen in die Gewässer verfrachtet, davon gelangen etwa 2/3 direkt in die Oberflächengewässer und 1/3 über Regen- und Mischwasserentlastungen bzw. Kläranlage.

In der aquatischen Umwelt sind Organismen durch die Nahrungsaufnahme (einschließlich Filtration, aktive Beweidung und Sedimentaufnahme) und über die Kiemen (Sauerstoffversorgung) Mikroplastik aus-

gesetzt. Aufnahme, Anreicherung und Exkretion sowie Wirkung von Mikroplastik hängen dabei wesentlich von der Partikelgröße ab. Zusätzliche relevante Faktoren sind: i) Anzahl der Partikel; ii) Art der Teilchen (z. B. Polymertyp, Größe, Form und Alter); iii) Expositionsdauer; iv) Konzentrationen und Art der mit dem Kunststoff verbundenen Verunreinigungen bzw. bei der Herstellung eingesetzte Formulierungsmittel; und v) Physiologie und Lebensgeschichte des Organismus. Erst nach der Abschätzung eines potenziellen Risikos kann an eine eventuell notwendige Festlegung von Grenzwerten herangegangen werden, um negative physikalische, chemische und ökologische Auswirkungen in verschiedenen Lebensräumen kausal zu verhindern.

Verschiedene Studien zur Risikoabschätzung (mit modellierten bzw. gemessenen Daten) zeigten, dass durch die Mikroplastik-Kontamination kein generelles Risiko darstellbar ist, weder für Meeresgewässer noch für Oberflächengewässer, und dass das Mikroplastik-Problem in Ozeanen hauptsächlich auf Emissions-„Hotspots“ (Flüsse, Ballungsräume an der Küste) beschränkt zu sein scheint.

Mit der EU-Kunststoffstrategie (EU 2018a) wurden bereits erste Schritte unternommen, um die aquatische Mikroplastik-Kontamination zu verringern. Darüber hinausgehend wird derzeit unter Federführung des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) ein Aktionsplan gegen Mikroplastik erstellt (siehe auch Regierungsprogramm 2020–2024).

Die Reduzierung von Mikroplastik in der Umwelt erfordert aufgrund der vielfältigen Quellen (primäre und sekundäre Quellen) einen sektorenübergreifenden Ansatz und es braucht einen Mix aus verschiedenen Maßnahmen.

1. EINLEITUNG UND ZIELE DES EXPERTINNENPAPIERS

Das ExpertInnenpapier richtet sich an ExpertInnen in den Bereichen Trinkwasser, Abwasser und aquatische Umwelt mit dem Ziel einer Zusammenstellung von evidenzbasierten Fakten und Zahlen im Zusammenhang mit der Thematik Mikroplastik im anthropogenen Wasserkreislauf. Dafür werden der Stand des Wissens dargestellt und die mit der Thematik verbundenen methodischen Probleme diskutiert.

Mikroplastik ist in sämtlichen Medien wie Luft, Oberflächen- und Grundwasser, in Böden, Sedimenten, Korallenriffen, in der Tiefsee (Woodall et al. 2014; Woodall et al. 2015), Biota und sogar in einigen Lebensmitteln (Trinkwasser, Schalentiere, Honig, Salz und Bier) nachweisbar (EFSA 2016a). Ausgehend von der Kontamination der Meeresumwelt hat die Diskussion über Mikroplastik-Verunreinigungen auch sämtliche andere Wasserkompartimente (Trinkwasser, Abwasser, Gewässer) erfasst.

Es wird zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik unterschieden. Primäres Mikroplastik bezeichnet direkt hergestelltes (Typ A) oder in der Nutzungsphase entstandenes Mikroplastik (Typ B), wogegen sekundäres Mikroplastik durch Zerkleinerung oder Zerfall größerer Plastikteile entsteht.

Mikroplastik bleibt nach der Freisetzung schließlich im Boden oder Meer zurück. Etwa 98 % des primären Mikroplastiks (Boucher und Friot 2017) und 70 bis 95 % des gesamten Mikroplastiks im Meer (Felsing et al. 2018) werden durch Aktivitäten an Land erzeugt. Der Beitrag von sekundärem Mikroplastik übersteigt deutlich jenen von primärem Mikroplastik. Jambeck et al. (2015) schätzten, dass allein aufgrund des fehlenden umfassenden Abfallmanagements weltweit jährlich 4,8 bis 12,7 Millionen Tonnen Plastikmüll in die Ozeane gelangen, wodurch eine große Menge Mikroplastik entstehen kann.

Dieses ExpertInnenpapier beschäftigt sich in erster Linie mit jenen Aspekten von Mikroplastik, die eine besondere Bedeutung für Gewässer darstellen.

2. DEFINITIONEN UND KLASSIFIZIERUNGEN VON MIKROPLASTIK

Eine international einheitliche Definition von Mikroplastik existiert zum jetzigen Zeitpunkt (Ende 2021) noch nicht. Die Definition von Mikroplastik ist breit und umfasst synthetische Polymerteilchen mit einer Abmessung von weniger als 5 mm, d. h., die: (a) klein (typischerweise mikroskopisch) und dadurch leicht verschluckbar sind und (b) einem (Bio-)Abbau widerstehen, wobei Substanz, Zustand, Morphologie und Dimension für ihre Eigenschaften wichtig sind. Diese Eigenschaften können zu einer Exposition gegenüber Biota wie Wirbellosen, Fischen, Reptilien, Vögeln und Säugetieren (entweder direkt oder durch Sekundärexposition über die Nahrungskette) und auch zu einer Exposition des Menschen führen (durch Nahrung oder Wasser, das Mikroplastik enthält). Allerdings wurde die untere Grenze für die Partikelgrößen noch nicht ausreichend definiert, wodurch auch die Studienergebnisse sehr schwer vergleichbar sind, da diese methodisch bedingt unterschiedliche Größenklassen einbeziehen. Nach Definition der Europäischen Lebensmittellagentur (European Food Safety Agency EFSA) (EFSA 2016b) hat Mikroplastik eine Größe von 0,1 bis 5.000 Mikrometer (μm), Nanokunststoffe zwischen 0,001 und 0,1 μm (1 bis 100 Nanometer). Der Fokus bei der Klassifizierung von Mikroplastik liegt auf jenen Kunststofftypen, die weltweit am häufigsten und in großen Mengen produziert werden, das sind z. B. Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol und Polyethylenterephthalat. Bei der Standardisierung im Rahmen der ISO/TC 61/SC14/WG 4 „Plastics in the environment“ (ISO/DTR 21960) wird Mikroplastik als wasserunlöslicher Kunststoff der Größe 1 μm – 1.000 μm definiert, wobei Gummi und Fasern explizit ausgenommen werden.

Die Europäische Chemikalienagentur (European Chemicals Agency ECHA) definiert Mikroplastik als wasserunlösliche (synthetische) Polymere oder polymerhaltige feste oder halbfeste Partikel, die (i) in allen Dimensionen zwischen $1 \text{ nm} \leq x \leq 5 \text{ mm}$ oder (ii) eine Länge von $3 \text{ nm} \leq x \leq 15 \text{ mm}$ aufweisen und ein Verhältnis von Länge zu Durchmesser > 3 haben. Diese Definition inkludiert sehr viele unterschiedliche synthetisch hergestellte feste Polymere, wie dies in dem aktuellen Beschränkungsvorschlag der Europäischen Chemikalienagentur für Mikroplastik als Produktzusatz (ECHA 2019) diskutiert wird. Allerdings gibt es derzeit keine Analysemethode, die eine so breite Vielfalt von Substanzen und Größenbereichen von Mikro- bis Nanoplastik in Umweltproben quantitativ nachweisen kann. Um die Performance unterschiedlicher Methoden vergleichen zu können wurde 2019/2020 vom Joint Research Center ein Ringversuch veranstaltet, bei dem zwischen 500 und 1.100 Mikroplastik-Partikel ($> 35 \mu\text{m}$) pro Probe verschickt wurden. Die Ergebnisse wiesen eine sehr hohe Streuung auf und zeigen die Probleme bei der Analytik auf (JRC 2020). Bis die entsprechende Analytik technologisch ausgereift ist, wird der untere Größenbereich in dem Beschränkungsvorschlag mit 100 nm festgelegt (ECHA 2020).

Vom deutschen BMBF (2018) wird eine Klassierung von Mikroplastik in Größenklassen 5.000 – 1.000 μm , $< 1.000 - 500 \mu\text{m}$, $< 500 - 100 \mu\text{m}$, $< 100 - 50 \mu\text{m}$, $< 50 - 10 \mu\text{m}$, $< 10 - 5 \mu\text{m}$, $< 5 - 1 \mu\text{m}$ vorgeschlagen. Partikel $> 5.000 \mu\text{m}$ ($> 5 \text{ mm}$) werden als Makroplastik bezeichnet. Wie wichtig die Definition der Größen bzw. Größenklassen ist, zeigt sich, wenn diese in weiterer Folge als Konzentration angegeben werden, weil ein Partikel mit einem Radius von 500 μm dasselbe Volumen bzw. Gewicht hat wie 10^6 Partikel mit einem Radius von 5 μm Partikel bzw. 10^9 mit einem Radius von 0,5 μm .

Die Wirkungen von kleinen Partikeln auf Organismen können auch stark von deren Größe abhängen. Daher werden zunehmend auch Untersuchungen von Plastikpartikeln im Nanobereich ($< 1 \mu\text{m}$) durchgeführt. Die dazu verwendeten Untersuchungsmethoden sind nicht nur sehr aufwendig, sondern stoßen immer wieder an Grenzen, da die chemische Identifizierung solch kleiner Teilchen schwierig und dadurch auch mit großer Unsicherheit behaftet ist. Für eine Routineuntersuchung sind diese Methoden daher heute noch nicht geeignet (Koelmans et al. 2015).

Das Fraunhofer-Institut hat Quellen und Mengen von Mikro- und Makroplastik in Deutschland analysiert und kategorisiert Mikroplastik infolgedessen folgendermaßen:

- **primäres Mikroplastik Typ-A**
wie z. B. Microbeads in Kosmetika,
- **primäres Mikroplastik Typ-B**
das erst in der Nutzungsphase etwa bei Abrieb oder Verwitterung entsteht,
- **sekundäres Mikroplastik** als fragmentierte Bruchstücke von größerem Makroplastik.

Eine Differenzierung zwischen absichtlicher und unabsichtlicher Freisetzung ist ebenso üblich wie die Kategorisierung in Typen, die als absichtlich erzeugte Produkte/Bestandteile (Pellets, Microbeads, Verkapselungen als Typ A lt. Fraunhofer (2018a)) oder erst in der Nutzungsphase (Typ B wie z. B. Abrieb, Zerfall) in die Umwelt gelangen. Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Umsicht) (Fraunhofer 2018a) gibt ein Verhältnis Typ A : Typ B von ca. 1 : 9 bei den emittierten Mengen an, was die Bedeutung der Freisetzung im Rahmen der Produktnutzung eindrucksvoll dokumentiert.

3. UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Derzeit sind die meisten Methoden zur Probenahme, Probenvorbehandlung, Kunststoffidentifizierung sowie -quantifizierung für Mikroplastik in Umweltproben im Entwicklungs- und Teststadium. Für die Vergleichbarkeit von Daten, insbesondere von kleinem Mikroplastik (< 1 mm), und in weiterer Folge für die Berechnung von Mengenströmen für Mikroplastik in der Umwelt, ist jedoch eine standardisierte Vorgehensweise dringend erforderlich.

So haben Probenahmestandort und -tiefe aufgrund der unterschiedlichen Dichteigenschaften der verschiedenen Kunststoffarten einen erheblichen Einfluss auf die Quantität und Qualität der gefundenen Kunststoffe. Bei der Probenahme werden vielfach Netze oder Pump-Filter-Systeme eingesetzt, deren Netz-/Filtergrößen maßgeblich die gefundenen Konzentrationen und die kleinste gefundene Partikelgröße beeinflussen. Eine Übersicht über unterschiedliche Methoden der Beprobung der einzelnen Umweltmedien ist im Statusbericht 2019 – Mikroplastik in der Umwelt (Liebmann et. al. 2020) angeführt.

Die quantitative Bestimmung von Mikroplastik erfolgt aktuell über:

1. Thermoanalytische Methoden, die einen Gesamtgehalt in Gewichtseinheit Kunststoff pro Volumen (z.B. Milligramm pro Liter) ermitteln. Die Partikelanzahl wird dabei nicht bestimmt; die Größenklassen können über eine vorgeschaltete Fraktionierung erfasst werden. Bei den thermoanalytischen Verfahren werden vorzugsweise Pyrolyse-GC-MS (Gas-Chromatographie-Massenspektrometrie), TED-GC-MS (Thermo-Extraktion-Desorption Gas-Chromatographie-Massenspektrometrie) bzw. CHNSO-Elementaranalysatoren eingesetzt.
2. Spektroskopische Verfahren, die Partikelanzahlen einzelner Kunststoffe in Anzahl pro Kilogramm oder Liter sowie die Partikelgröße bestimmen. Die Masse wird dabei nicht direkt bestimmt, kann aber aus der Größe abgeschätzt werden. Zu den spektroskopischen Verfahren zählen Raman-Spektroskopie und FT-IR Spektroskopie (Fourier Transformation Infrarot). Insbesondere Kombinationen der genannten spektroskopischen Methoden mit bildgebenden Verfahren sind vorteilhaft.
3. Es werden zum Teil auch rein bildgebende Verfahren (z. B. Licht-/Elektronenmikroskopie) ebenso wie reine Partikelzählverfahren (z. B. über Licht-/Laserstreuung) angewendet, welche den Nachteil haben, dass sie unspezifisch sind und keine Information über die chemische Zusammensetzung des Materials liefern. Zudem besteht die Gefahr der Fehlinterpretation bei Vorhandensein von anderen, z. B. anorganischen, Partikeln.

Bei der Probenahme sowie der Aufbereitung der Proben für die Analytik muss gewährleistet sein, dass es zu keiner Veränderung, Zerstörung oder Verlusten der zu untersuchenden Kunststoffe kommt. Zugleich bedarf es Vorkehrungen, die eine zusätzliche Verunreinigung der Probe mit Kunststoffen (z. B. durch Laborequipment, synthetische Bekleidungsfasern, Staub) während der Aufbereitung und Analyse verhindern bzw. minimieren. Es wird empfohlen, zur Bewertung einer möglichen Plastikkontamination im Labor entsprechende Kontrollproben mitzuführen, um die interne Qualitätskontrolle zur Überprüfung von Präzision und Richtigkeit zu ermöglichen.

In der Studie TEMPEST (Clara et al. 2020) wurde Mikroplastik im Ablauf zweier österreichischer Kläranlagen jeweils durch das Umweltbundesamt (spektroskopisches Verfahren) und die TU Wien (thermoanalytisches Verfahren) gemessen. Die Resultate zeigen, dass die Ergebnisse beider Verfahren gut übereinstimmen. Geringe Abweichungen sind einerseits erklärbar durch die schwierige repräsentative Teilung der Feststoffproben aus dem Ablauf und andererseits dadurch, dass das thermoanalytische im Gegensatz zum spektroskopischen Verfahren auch kleinere Partikel miterfasst, die im Probenahmernetz der Maschenweite von 500 µm durch den Aufbau eines Filterkuchens abgeschieden wurden. In einer weiteren Studie hat die TU Wien Mikroplastik im Ablauf einer industriellen Anlage bestimmt (Mallow et al. 2020; Spacek et al. 2020). Eine Erkenntnis aus den beiden Studien ist, dass für eine routinemäßige und praxistaugliche Bestimmung von Mikroplastik im Ablauf von Abwasserreinigungsanlagen vor allem die Gewin-

nung und Aufbereitung der Feststoffproben für die Laboranalyse automatisiert bzw. vereinfacht werden muss. Die finale Messung der Mikroplastikkonzentration in der Laborprobe erfolgt mit dem an der TU Wien entwickelten Verfahren vergleichsweise rasch.

Für das Monitoring der Umweltbelastung mit Mikroplastik und die Überprüfung von etwaigen künftigen Grenzwerten werden, neben den schon angesprochenen Standards, Analysensysteme benötigt, die rasche und valide Ergebnisse liefern. Die gegenwärtig verfügbaren Methoden sind im Bereich einer aufwendigen Spezialanalytik abseits von Routinemessungen anzusiedeln.

In Österreich gibt es mit der Kompostverordnung 2001, der Düngemittelverordnung 2019 sowie dem Vorarlberger Gesetz zum Schutz der Bodenqualität (BSchG 2018) bereits vereinzelt Regelwerke, die auch auf Mikroplastik angewendet werden. Für die Überprüfung der dort für Fremdstoffe größer 2 mm (z. B. Glas, Metall, Kunststoffe) festgelegten Grenzwerte wird eine technisch einfach realisierbare, kostengünstige Untersuchungsmethode angewendet: Hierbei werden Partikel aufgrund des optischen Erscheinungsbilds (Form, Farbe, Struktur) aus der Probe aussortiert und gewogen bzw. deren Flächenausdehnung (cm^2 , zweidimensional) ermittelt, um einen optischen Verunreinigungsgrad zu ermitteln. Der Sortieraufwand steigt mit abnehmender Teilchengröße, zugleich wird auch die (subjektiv geprägte) optische Einordnung als Kunststoff schwieriger.

4. HERKUNFT UND EINTRAGSPFADE

Makro- und Mikroplastik können grundsätzlich durch

- Niederschlagswasser und Erosion von verunreinigten Böden,
- Oberflächenentwässerungen,
- geklärte und ungeklärte Abwässer oder
- Verwehungen

in die aquatische Umwelt gelangen.

Freisetzungen von Mikro- und Makroplastik im Rahmen der Siedlungswasserwirtschaft oder der Industrie können bereits heute deutlich (Schätzungen bzw. durchgeführte Messungen gehen bis über 95 %) durch Kläranlagen reduziert werden: Durch mechanischen Rückhalt oder den Übergang in den Klärschlamm werden nicht nur z. B. ein Großteil der Partikel aus Kosmetikprodukten oder Textilfasern zurückgehalten, sondern auch der nicht unbeträchtliche Straßen- oder Fassadenabrieb, der über die Kanalisationen und die Abwasserreinigungsanlagen eingefangen wird. Je größer die Partikel sind, desto wahrscheinlicher ist der Rückhalt bereits in Rechenanlagen oder Sandfängen. Wird der Klärschlamm verbrannt, wird das Mikroplastik endgültig entfernt. Die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen hat zwar bis dato keinen nachweislichen Eintrag in Grundwasser zur Folge, die Partikel gelangen jedoch dauerhaft in den Boden. Im Fall von Regenereignissen können im Freilandbereich Einträge aus z. B. Reifenabrieb in straßennahe Oberflächengewässer nicht ausgeschlossen werden. Vorkehrungen für Dach-, Straßen- und Parkplatzabwässer (Bodenfilter, Sinkkästen etc.) verhindern dies. Im urbanen Raum können Mischwasserentlastungen (bei Starkregenereignissen) oder Regenwasserentlastungen von Trennkanalisationen zu punktuell höheren direkten Emissionen führen. Makroplastik aus einer unsachgemäßen Abfallentsorgung („Wegwerfen“, „Littering“) ist typischen Zerkleinerungsprozessen ausgesetzt und führt ebenfalls zu Einträgen in Gewässer.

4.1. Eintragsmenge durch absichtliche Freisetzung

Im Rahmen des REACH-Beschränkungs dossiers wurde eine Auflistung von sektorspezifischen Produktgruppen vorgenommen. In der abschließenden Bewertung (ECHA 2020) werden für Europa folgende Zahlen genannt: Füllmaterial von Kunstrasen 16.000 t/a; Landwirtschaft (Verkapselungen für Düngemittel, Saatgut etc.) 10.000 t/a; Waschmittel 8.800 t/a; kosmetische Produkte 3.800 t/a. In Kosmetika und Reinigungsmitteln werden gelöste Polymere und feste Polymerpartikel als Verdicker, Reibmittel oder als Filmbildner (Fraunhofer 2018b) eingesetzt.

4.2. Eintragsmengen durch unabsichtliche Freisetzung

Fraunhofer (2018a) gibt für Deutschland folgende relevante Freisetzungen bzw. Eintragspfade an (Bezugsgröße g/E/a):

- Reifenabrieb:
Für Deutschland werden aktuell Werte im Rahmen der Converso-Studie erhoben, erste Ergebnisse zeigen zwischen 80.000 und 130.000 t/a Abrieb mit einem Anteil von 44 % Pkw und 25 % Lkw < 3,5 t. Das Converso-Modell geht von Gewässereinträgen von 6.200 bis 10.000 t/a in Deutschland aus, von denen ca. 3.000 bis 5.000 t/a ins Meer eingetragen werden. Einträge durch Reifenabrieb in Umwelt und insbesondere Meere sind aktuell Gegenstand von genaueren Untersuchungen. Die Abriebraten einzelner Fahrzeugtypen sind von vielen Faktoren (Fahrbahnbeschaffenheit, Reifendruck, Beladung, Geschwindigkeit, Achsgeometrie etc.) abhängig. Reifenabriebsmengen wurden für Österreich mit jährlich rund 6.800 t abgeschätzt. Keine Angaben wurden gefunden, wieviel davon z. B. in Boden oder Gewässer gelangt (Umweltbundesamt 2015). Andere modellhafte Be-

rechnungen ergeben 21.200 t/a aus Reifenabrieb bzw. 1.200 t/a (6 %) als emittiertes Mikroplastik (Prenner et al. 2021). Die beiden Studien liegen somit in einer ähnlichen Größenordnung.

- Emissionen aus der Abfallentsorgung, z. B. aus der Kompostbehandlung, der (Zwischen)lagerung von Abfällen oder aus der Zerkleinerung von Bauschutt.
- Abrieb von Polymeren und Bitumen in Asphalt.
- Pellets und Industrieprodukte.
- Kunstrasen-Plätze:
Diese werden aufgrund der hohen Anzahl und der jährlichen Granulat-Nachliefermengen mittlerweile ebenfalls als relevante Emissionsquelle angesehen. Eine noch nicht erlassene Beschränkung von PAK in Granulaten sieht im Wesentlichen vor, dass sehr alte Reifen hierfür nicht mehr wieder verwendet werden dürfen.
- Freisetzung aus Baustellen.
- Abrieb von Schuhsohlen.
- Littering:
Etwa 0,5 % der gesammelten Kunststoffabfall-Menge von 875.000 Jahrestonnen in Österreich (Umweltbundesamt 2015) fällt als achtlos weggeworfener Müll an, was etwa 4.400 t entspricht.
- Fahrbahnmarkierungen.
- Auswaschung von Fasern bei der Reinigung von Textilien.
- Abrieb von Farben und Lacken.
- Landwirtschaft:
Der Eintrag ergibt sich aus den in der Landwirtschaft eingesetzten Agrarfolien (Erntekunststoffe, Silo- und Stretchfolien, Pressgarne und Rundballennetze).

In Hann et al. (2018) werden die europaweiten Mikroplastikfreisetzungen aus verschiedenen Quellen abgeschätzt und deren Verbleib in der Umwelt dargestellt.

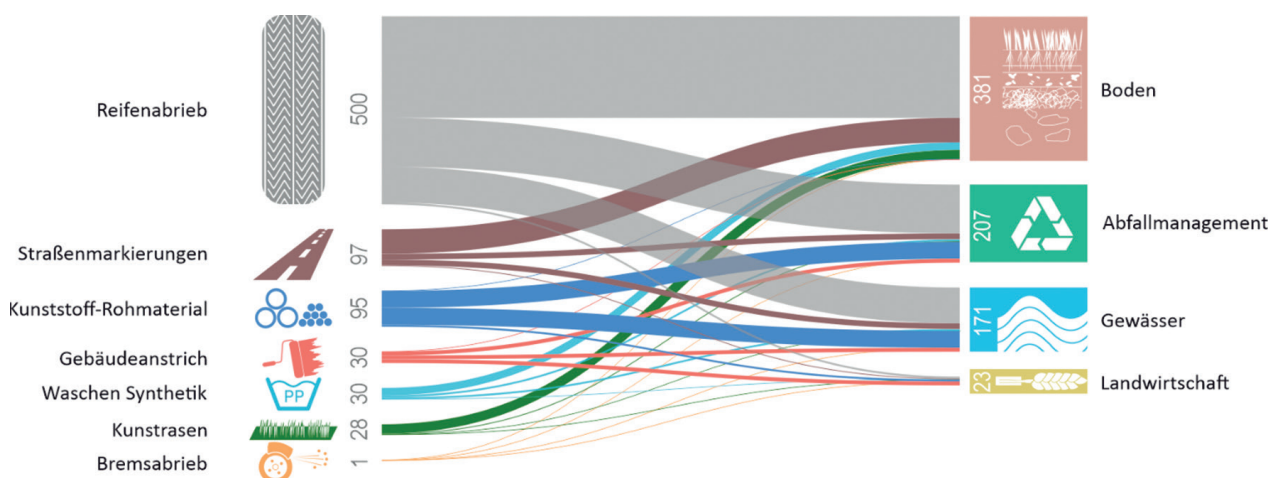


Abb. 2 Europaweite Mikroplastik-Freisetzungen aus verschiedenen Quellen und deren Verbleib (Umweltbundesamt, verändert nach Hann et al. 2018)

Von ca. 1 Mio. Tonnen Mikroplastik-Anfall pro Jahr werden europaweit demnach rund 200.000 Tonnen in die Gewässer verfrachtet, davon gelangen etwa 2/3 direkt in die Oberflächengewässer und 1/3 über Regen- und Mischwasserentlastungen bzw. Kläranlage.

Auf Basis dieser Daten wird sichtbar, wie wichtig entsprechende Maßnahmen an der Quelle für die Reduktion von Mikroplastikemissionen in die Umwelt sind.

5. MIKROPLASTIK IN ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN

Insgesamt gehen Hann et al. (2018) nach ihren Berechnungen von einer Gesamtmenge für Deutschland von etwa 4 Kilogramm pro Person jährlicher Freisetzung von Mikroplastik in die Umwelt aus. Nur ein Teil des freigesetzten Mikroplastiks gelangt auch tatsächlich in die Gewässer, da ein signifikanter Teil über die Infrastruktur der Siedlungswasserwirtschaft von den Gewässern ferngehalten wird. Schätzungen von EurEau (EurEau 2019) bzw. Fraunhofer (2018a) gehen von einer massenbezogenen Entfernung von nahezu 100 % bei Makroplastik und bis zu 95 % bei Mikroplastik aus, sofern nicht Klärschlamm direkt auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht wird. Kläranlagen tragen somit sehr viel zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Abwasser bei, wobei darauf zu achten ist, ob sich die Untersuchungen auf die Partikelanzahl bzw. Partikelmasse beziehen.

In einem Review haben Sun et al. (2019) die Analytik, das Auftreten und die Entfernung von Mikroplastik in Kläranlagen umfassend untersucht. In der Abwasserbeprobung werden üblicherweise Maschen-/Porengrößen zwischen 1 mm und 500 µm verwendet, um Mikroplastik zu konzentrieren. Allerdings haben die Maschen-/Porengrößen von Sieben und Filtern einen tiefgreifenden Einfluss auf die Menge des gesammelten Mikroplastiks und damit die Ergebnisse. Die wichtigsten Erkenntnisse von Sun et al. (2019) sind, dass Mikroplastik sowohl im Zulauf als auch im Ablauf von Kläranlagen nachgewiesen wurde, wobei die angegebenen Zulaufkonzentrationen je nach verwendeter Maschenweite zwischen 1 und 10.044 Partikel/L und die Ablaufkonzentrationen im Bereich von 0 bis 447 Partikel/L variieren. Am häufigsten wurden Polyester, Polyethylen, Polyethylenterephthalat und Polyamid nachgewiesen, wobei die Fasern den größten Anteil des beobachteten Mikroplastiks ausmachten. Trotz der relativ geringen Konzentration von Mikroplastik im Ablauf von Kläranlagen weist die emittierte Menge von Mikroplastik somit für eine Kläranlage mit einem durchschnittlichen jährlichen Ablauf von $5 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{Jahr}$ (ca. 700.000 EW) einen Medianwert von $2 \cdot 10^6$ Partikeln/Tag auf. Dies entspricht ca. 2,8 Partikeln pro Einwohner pro Tag.

Im Projekt TEMPEST wurde eine Maschenweite von 500 µm für die Untersuchung des Ablaufs der beiden Kläranlagen eingesetzt. Für die Fraktion 5 mm bis 500 µm ergab sich ein Konzentrationsbereich zwischen 0,28 und 1,74 µg/L Kunststoff. Der Bereich für die Gesamtfraktion (5 mm – 500 µm und > 5 mm) betrug 0,5 – 2,6 µg/L. Hochgerechnet auf 24 h werden zwischen 876 und 7200 Kunststoffpartikel emittiert. Dies entspricht einer Tagesfracht zwischen 1,4 und 11,2 g (für die Fraktion 5 mm – 500 µm) und 1,9 bis 16 g für die Gesamtfraktion (5 mm – 500 µm und >5 mm) (Clara et al. 2020).

Unter der Annahme einer Plastik-Emission von 2,6 µg/L gemäß obiger Messergebnisse errechnen sich somit etwa 0,19 g Plastik/EW/a. Bei ca. 21,5 Mio. EW Gesamtabwasseranfall (ÖWAV-Branchenbild 2020, kommunale KA-Ausbaukapazität 2019) lässt sich für Österreich somit eine jährliche, emittierte Mikroplastik-Fracht von ca. 4 t Plastik/a aus kommunalen Kläranlagen abschätzen.

Sun et al. (2019) haben die Literatur zusammengestellt und berichten, dass ungefähr 35 bis 59 % des größeren Mikroplastiks während der Vorbehandlung auf der Kläranlage, besonders im Sand- und Fettfang, sowie 50 bis 98 % des Mikroplastiks nach der Vorklärung aus dem Zulauf entfernt werden. Dris et al. (2015) fanden heraus, dass der Anteil großer Partikel (1 – 5 mm) am Mikroplastikgehalt im Zulauf nach der ersten Klärstufe drastisch von 45 % auf 7 % abnahm. Durch die biologische Behandlung konnte das Mikroplastik im Abwasser durch Adsorption oder Fällung weiter auf 0,2 bis 14 % der Zulaufmenge gesenkt werden. Die Implementierung einer Filtrationsstufe (Discfilter (DF); Sandfilter (SF), Membranbioreaktor (MBR)) oder Druckentspannungsflotation (DEF)) konnte eine weitere Reduktion auf 0,2 bis 2 % bewirken. Sie fanden heraus, dass mit MBR die höchste Entfernungseffizienz (99,9 %) erzielt wurde, gefolgt von SF und DEF mit einer Entfernungseffizienz von 97 bzw. 95 %. Die Entfernungseffizienz von DF variierte von 40 bis 98,5 % (Talvitie et al. 2017). Es zeigte sich, dass die entfernte Mikroplastik-Fracht in den Klärschlamm verlagert wurde.

Mikroplastik: Partikelströme in Kläranlagen

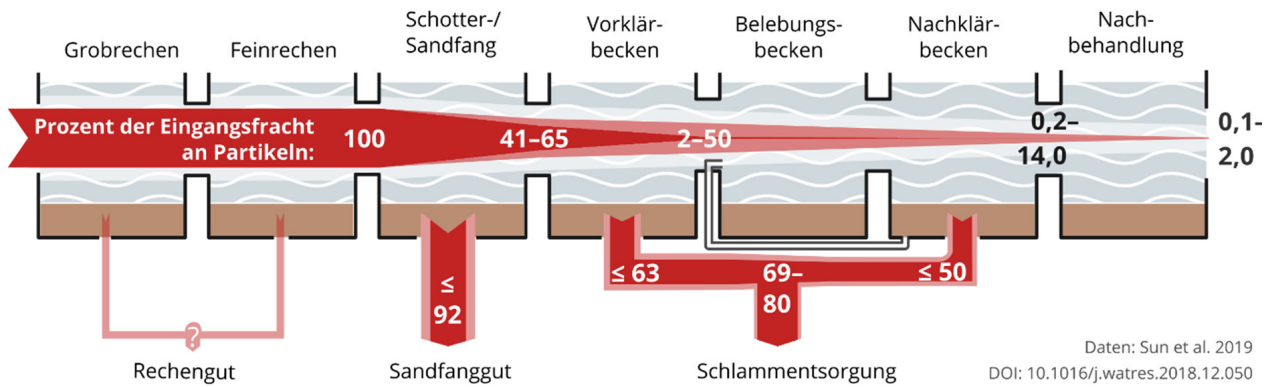


Abb. 3 Schematische Darstellung der Partikelströme von Kläranlagen (angegeben als Partikelanzahl) (Umweltbundesamt, verändert nach Sun et al. 2019)

6. BEDEUTUNG UND PROBLEMATIK (MENSCHLICHE GESUNDHEIT UND UMWELT)

Die Frage der Bedeutung und Problematik für die menschliche Gesundheit und die Umwelt stellt sich für Mikroplastik sehr komplex dar, weil die mit Mikroplastik verbundenen Gefahren physikalische, chemische und biologische Aspekte aufweisen, und ihre möglichen Auswirkungen auf das Ökosystem zudem abhängig von der exponierten Art sind sowie räumlich und zeitlich variieren. Auf der Grundlage einer Kombination aus Beobachtungen, Laborexperimenten und Expertenmeinungen können Gefahrentabellen für eine Reihe von Ökosystemkomponenten und Mikroplastik-Eigenschaften erstellt werden. Es ist jedoch sehr schwierig, im Sinne einer Risikobeurteilung Eintrittswahrscheinlichkeiten zuzuordnen. Von der GESAMP (2016) wird deshalb die Entwicklung eines einfachen Risikobewertungsrahmens vorgeschlagen, der den Prozess der Systemprüfung formalisiert, mögliche Konsequenzen beschreibt und die Eintrittswahrscheinlichkeit vorhersagt.

Ein zentrales Problem bei der Interpretation von Studienergebnissen in Hinblick auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt ergibt sich daraus, dass in Studien häufig weder eine untere noch eine obere Größenbeschränkung oder nur eine bestimmte Größenklasse angegeben wird. Studien, die kleinere Partikel erfassen, wie Untersuchungen in Flaschen- und Leitungswasser, ergeben naturgemäß höhere Partikelanzahlkonzentrationen und sind damit nicht mit Studien vergleichbar, die andere Partikelgrößen analysieren.

6.1. Exposition

Internationale Studien schätzen die Anzahl der Mikroplastik-Teilchen in den Meeren auf zwischen 5 und 50 Billionen Teilchen ($> 330 \mu\text{m}$ bzw. $280 \mu\text{m}$), wobei die Probenahmen üblicherweise mit Schleppnetzen erfolgen und die Daten sich auf die obersten 10 bis 15 m der Wassersäule beziehen (Eriksen et al. 2014). Zwei Studien zur Abschätzung der Häufigkeit von Mikroplastik auf der Meeresoberfläche gehen von einer 100-fach geringeren Zahl von kleinen Mikroplastik-Teilchen ($< 1 \text{ mm}$) im Vergleich zu größeren Mikroplastik-Teilchen (1 bis 5 mm) aus (Cózar et al. 2014; Eriksen et al. 2014).

Koelmans et al. (2019) untersuchten 50 Studien, von denen nur vier eine positive Bewertung für alle vorgeschlagenen Qualitätskriterien (z. B. Informationen über Probenahme, Analysenmethode, Probengröße, Probenverarbeitung und -lagerung, Laborvorbereitung und saubere Luftbedingungen, Negativkontrollen, Positivkontrollen, Probenbehandlung und Polymeridentifikation) erhielten. Die als Anzahl an Partikel angegebenen Mikroplastik-Konzentrationen umspannten insgesamt zehn Größenordnungen (1×10^{-2} bis 10^8 Partikel/ m^3), je nach Einzelprobe und Wasserart. In Oberflächengewässern decken Mikroplastik-Konzentrationen $> 300 \mu\text{m}$ mit 1×10^{-3} bis 10 Partikel/L einen weiten Konzentrationsbereich ab. Für Leitungswasser (Bereich 1×10^{-4} bis 100 Partikel/L) werden oft höhere Zahlen gemessen, weil sehr oft sehr kleine Partikel ab $1 \mu\text{m}$ oder ab $100 \mu\text{m}$ erfasst werden.

Eine österreichische Studie (Hohenblum et al. 2015) untersuchte Mikroplastik ($> 500 \mu\text{m}$) in der fließenden Welle der Donau und fand mittlere Jahresfrachten in Aschach $< 14 \text{ t}$ pro Jahr und in Hainburg $< 41 \text{ t}$ pro Jahr. Aus den oben angeführten Abschätzungen zu den Emissionen aus Kläranlagen würde das bedeuten, dass max. etwa 10 % der Mikroplastik-Fracht aus Kläranlagen eingetragen wird. Bei einem mittleren Durchfluss der Donau bei Wien von etwa $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ liegen die Konzentrationen somit bei ca. $0,0007 \text{ mg/L}$ oder $0,7 \mu\text{g/l}$ und damit weit unter der Konzentration von organischen Spurenstoffen wie bestimmten pharmazeutischen Wirkstoffen. Diese Studie untersuchte auch 30 Fische aus der Donau im Bereich der Messstelle Hainburg auf das Vorkommen von Plastik im Verdauungstrakt. Es konnten hierbei in den untersuchten Fischen keine Plastikteilchen identifiziert werden.

In Bezug auf die Lebensmittelsicherheit hängen die möglichen Auswirkungen von Mikroplastik auf die menschliche Gesundheit von der Exposition durch die Nahrung und das Trinkwasser ab. In einer Studie der Universität für Bodenkultur (Vymetal 2016) wurden Oberflächenwässer, Uferfiltrate und abgefüllte

Flaschenwässer untersucht. Während in Oberflächenwässern Mikroplastik (> 30 µm Größe) gefunden wurde, konnten in den Uferfiltraten keine Mikroplastik-Partikel (> 30 µm Größe) detektiert werden. In abgefüllten Wässern reichten die Ergebnisse von 0 bis 10 Partikel/L. Fasern wurden nicht in jeder Flasche gefunden, aber wenn sie vorhanden waren, lagen diese in der Größe von 200 bis 800 µm. Auch eine norwegische Studie kommt zu dem Ergebnis, dass kein Mikroplastik im Trinkwasser aus dem Versorgungsnetz nachzuweisen war (Nachweisgrenze 4,1 Partikel/L) (Uhl und Eftekhardadkhan 2018).

Von der EFSA (2016a) sollte das Risiko durch Mikroplastik in Meeresfrüchten abgeschätzt werden. Die Konzentration von Mikroplastik wurde dabei im gesamten Verdauungstrakt der Tiere bestimmt. Bei Fisch liegt die durchschnittliche Anzahl zwischen 1 und 7 Partikel/g. In Garnelen werden durchschnittlich 0,75 Partikel/g und Muscheln 0,2 bis 4 Partikel (Medianwert)/g gefunden. Es werden aber nur Partikel < 150 µm in das Darmepithel und nur Partikel < 1,5 µm in die Organe der Tiere aufgenommen (EFSA 2016a).

6.2. Wirkungen von Mikroplastik

Wie bereits beschrieben, muss für die Ableitung eines Risikos zuerst eine Exposition erfolgen. Das Ausmaß des Risikos ist proportional zur Wirksamkeit des Stoffs und zum Ausmaß der Exposition. Es gilt der Grundsatz „Die Dosis macht das Gift“ (die Menge des Stoffs am Zielort bestimmt die Toxizität). Es stellt sich die Frage, welche adversen Wirkungen ausgelöst bzw. welche Zellfunktionen durch Mikroplastik gestört werden. Einige Substanzen verursachen Toxizität, indem sie an Proteine (strukturell, Enzyme), DNA (Mutationen) oder Lipide binden und diese schädigen, oder indem sie mit Sauerstoff freie Radikale bilden und so Lipide, Proteine und DNA schädigen. Für all diese Reaktionen ist die sogenannte biologisch effektive Dosis entscheidend, die von der Toxikokinetik, d. h. Adsorption, Distribution, Metabolismus und Exkretion und auch von der Toxikodynamik, der Reaktion im System selbst, abhängig ist.

Aquatische Organismen werden durch die Nahrungsaufnahme (einschließlich Filtration, aktive Beweidung, Sedimentaufnahme oder über die Nahrungskette) und über die Kiemen (Sauerstoffversorgung) Mikroplastik ausgesetzt. Mechanismen von Aufnahme, Anreicherung/Exkretion und Wirkung von Mikroplastik hängen dabei wesentlich von der Partikelgröße ab. Das entstehende Risiko hängt zusätzlich von i) der Anzahl der Partikel; ii) der Art der Teilchen (z. B. Polymertyp, Größe, Form und Alter); iii) der Expositionsdauer; iv) den Konzentrationen und der Art der mit dem Kunststoff enthaltenen Formulierungsmittel; und v) der Physiologie und Lebensgeschichte des Organismus ab (GESAMP 2016). Mikroplastik kann potenziell toxische Wirkungen wie einen Einfluss auf die Energieversorgung, Änderungen im Fütterungsverhalten, Bewegung, Wachstum und Reproduktionserfolg haben. Es sind zudem physikalische wie auch mechanische Probleme durch Verletzungen denkbar, z. B. kann Mikroplastik bei kleinen Lebewesen physikalisch den Darm perforieren und Zellschäden verursachen. Die Behinderung oder Störung der normalen Nahrungsaufnahme kann in Tieren dazu führen, dass Organismen, die sich satt fühlen, infolge von vollen, aber nicht entleerbaren Mägen verhungern. Es kann auch zu Schäden an den Kiemen durch Anlagerung von Plastikteilchen kommen. Darüber hinaus können kleine Mikroplastik-Teilchen durch Zellmembranen dringen und in Zellen und Geweben eine Immunantwort oder Entzündungen hervorrufen. Mikroplastik kann sich auch im Gewebe anreichern. Derartige Effekte konnten mit Tieren in Laborversuchen jedoch nur unter Exposition mit extrem hohen Mikroplastik-Mengen gezeigt werden. Es gibt jedoch nur wenig Hinweise aus Feldstudien, die diese Effekte unter natürlichen Bedingungen belegen (GESAMP 2016).

Neben der Besorgnis über eine direkte Wirkung durch das Vorhandensein von Mikroplastik in der Umwelt haben neuere Veröffentlichungen die Möglichkeit aufgeworfen, dass es durch die Anlagerung von hydrophoben organischen Verbindungen zu indirekten Wirkungen kommen kann, die nicht vom Mikroplastik selbst, sondern von den angelagerten Umweltschadstoffen herrührt. Indirekte Gefahren können mit der Anlagerung von Umweltschadstoffen wie z. B. Organochlor-Pestiziden (OCPs), polychlorierten Biphenylen (PCBs) und polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAHs), bromierten oder fluorierten Flammschutzmitteln, (polybromierten Diphenylethern (PBDEs), Hexabromcyclodecanen (HBCDs)

und Perfluoralkyl-Säuren (PFAAs)) und Zusatzstoffen (Bisphenol A (BPA), Nonylphenol (NP) und Octylphenol (OP)) verbunden sein (Ziccardi et al. 2016). (Öko-)Toxikologische Gefahren, können auch von den Polymeren selbst über Restmonomere oder Polymeradditive (z. B. Stabilisatoren, Weichmacher, Flammschutzmittel) ausgehen. Die Konzentrationen der Verunreinigungen waren im Hafengebiete oft um Größenordnungen höher als im offenen Meer (Lo et al. 2019).

In den meisten Labor- und Feldstudien wird die Aufnahme von Mikroplastik in den Darm betrachtet. Daten über die Translokation in den Blutkreislauf oder ins Gewebe sind sehr selten. Browne et al. (2008) waren die ersten, die mit Muscheln *Mytilus edulis* zeigten, dass kleine Polystyrol-Mikrokügelchen (3 und 10 µm; 40 Teilchen ml⁻¹) innerhalb von 3 Tagen das Potenzial haben, sich aus dem Verdauungstrakt in die Hämolymphe zu verlagern. Im Labor konnten letale Wirkungen vor allem durch kleine Partikelgrößen (< 1 µm) beobachtet werden, wobei in der Studie Konzentrationen weit über in der aquatischen Umwelt beobachteten eingesetzt wurden. Die Mehrzahl der veröffentlichten Wirkungen umfasst subletale Reaktionen von Organismen. Im Vergleich zu Laboruntersuchungen gibt es nur sehr wenige direkte Hinweise auf physikalische Einwirkungen von Mikroplastik in der Natur (GESAMP 2016).

Kritisch wird Mikroplastik in Nanogröße gesehen, weil diese Partikel hauptsächlich über Endozytose aufgenommen werden, wobei die Mikroplastik-Partikel in membranumschlossene Vesikel eingeschlossen und durch Fusion durch die Zellmembran transportiert werden und somit als zellulärer Vektor (Trojanisches Pferd) für andere Chemikalien oder Nano-Additive dienen können. Was das Vorkommen von Mikroplastik in Nanogröße in der Umwelt betrifft, sind die Konzentrationen aufgrund methodischer Einschränkungen unbekannt. Ohne ein Verständnis der Menge in der Umwelt ist es jedoch schwierig, eine umweltrelevante Dosis für Experimente oder Risikobewertungen zu identifizieren. Über die Auswirkungen von Mikro- und speziell sehr kleinen Mikroplastik-Teilchen (d. h. Nanokunststoffpartikel < 1.000 nm in mindestens einer ihrer Dimensionen) auf die menschliche Gesundheit ist wenig bekannt (Eerkes-Medrano et al. 2015; Van Cauwenberghe und Janssen 2014; Bouwmeester et al. 2015; GESAMP 2015). Lt. EFSA (2016) fehlen Angaben zur Toxizität und Toxikokinetik von Mikroplastik und Nanokunststoff für eine Risikobewertung beim Menschen. Experimente mit Nagetieren zeigen, dass Mikroplastik im Bereich von bis zu 3 bis 5 µm über die Lymphe in den Blutkreislauf gelangen, aber nicht tief in die Organe eindringen kann, während Nanokunststoffe alle Organe einschließlich Plazenta und Gehirn erreichen und durchdringen können (Bouwmeester et al. 2015; GESAMP et al. 2015). Eine indirekte Wirkung über lösliche oder adsorbierte Stoffe kann auch durch andere Partikelgrößen gegeben sein.

Es wird weiters diskutiert, dass Mikroplastik-Teilchen auch bakteriologische Krankheitserreger transportieren können, was ein Gesundheitsrisiko für Meeresorganismen und Menschen darstellen kann. Mikroplastik kann auch die Populationsgröße von Mikroorganismen sowie deren Ausbreitung beeinflussen (GESAMP 2016).

6.3. Vorläufige Risikoabschätzung

Basierend auf dem von der European Chemicals Agency (2016) beschriebenen Verfahren analysierten Everaert et al. (2018) das Risiko durch Mikroplastik für die Meeresumwelt, wobei die Umweltkonzentrationen auf der globalen Produktion (aus der Vergangenheit (1950 bis 2016), der Gegenwart (2018) und der Zukunft (2100)) und Umweltparametern für Kunststoff modelliert und die Toxizitätsdaten aus der Literatur gesammelt wurden. Auf dieser globalen Skala stellten die Autoren bis 2100 kein unmittelbares Risiko in Meeresgewässern, weder für die Wassersäule noch fürs Sediment, fest. Auch die EurEau (2019) hat sich mit der Thematik beschäftigt. Auch wenn im Meer selbst bis 2100 kein Risiko zu erwarten ist, werden die Strände bei Annahme einer gleichbleibenden aktuellen Kunststoffproduktion bereits 2040 „unsicher“. Das Mikroplastik-Problem in Ozeanen scheint dabei hauptsächlich auf „Hotspots“ beschränkt zu sein (EurEau 2019). Burns and Boxall (2018) veröffentlichten eine Risikobewertung von Mikroplastik in Süß- und Meerwasser. Im Vergleich der gemessenen Umweltkonzentrationen mit den in der Literatur angegebenen Öko-Toxizitätswerten scheint Mikroplastik kein Risiko für die aquatischen Organismen darzustellen.

Von Adam et al. (2019) wurde eine Risikoabschätzung für Süßwasser durchgeführt. Bevorzugte ökotoxikologische Endpunkte waren dabei Überleben, Wachstum, Fortpflanzung und Veränderungen wesentlicher Stoffwechselprozesse wie Photosynthese, die auf Ökosystemebene am bedeutendsten sind. Die Predicted-No-Effect-Konzentration (PNEC) wurde basierend auf 53 Werten aus 14 Süßwasserspezies mit einem Wert von $7,4 \times 10^5$ Teilchen/m³ nach dem üblichen Ansatz für gelöste Stoffe mit monotonen Dosis-Wirkungs-Beziehungen theoretisch abgeleitet. Allerdings ist es fraglich, ob dieser Ansatz bei einer derartig inhomogenen Matrix, deren Wirkung wesentlich von der Partikelgröße, einer Aufnahme ins System und der exponierten Spezies abhängig ist, überhaupt verwendbar ist. Die meisten gemessenen Mikroplastik-Konzentrationen im Süßwasser liegen zwischen 10^{-2} und 10^4 Teilchen/m³. In Europa wurde mehr als die Hälfte der Konzentrationen zwischen 0,1 und 10 Partikel/m³ gemessen. Die höchsten Konzentrationen von bis zu $5,2 \times 10^5$ Partikel/m³ wurden in Asien festgestellt. Allerdings wurden abermals unterschiedliche Grenzgrößen von 0,45 bis 500 µm verwendet, was die Ergebnisse nicht vergleichbar macht. Mehr als die Hälfte der Proben wurde mit Cutoff-Größen > 100 µm gesammelt, aber mehr als ein Viertel bestand auch aus Fraktionen < 50 µm. Die Risikocharakterisierung ergab für Europa und Nordamerika derzeit kein Risiko (Adam et al. 2019).

Die EFSA hat die vorhandene Literatur zum Thema Mikroplastik umfassend ausgewertet und befand, dass die Daten über Auftreten, Toxizität und Verbleib im Körper nach der Verdauung für eine vollständige Risikobewertung unzureichend sind. Es zeigte sich auch, dass Nanokunststoffe besondere Aufmerksamkeit verlangen. Für den Menschen schätzte die EFSA, ausgehend von den wenigen vorliegenden Daten, dass eine Portion Muscheln (225 g) 7 µg Mikroplastik enthalten könnte. Doch selbst wenn diese Menge an Kunststoff die höchsten je gemessenen Konzentrationen an PCB oder BPA enthielte, wäre dies nur ein kleiner Beitrag zur Gesamtexposition gegenüber diesen Stoffen: Die PCB-Exposition würde sich um weniger als 0,01 Prozent erhöhen, die BPA-Exposition um weniger als zwei Prozent. Hierbei handelt es sich gleichzeitig jedoch um ein Worst-Case-Szenario (EFSA 2016a).

Der Wissenschaftsrat für die Politik der Europäischen Akademiker (The Science Advice for Policy by European Academics SAPEA) schrieb kürzlich in einem Bericht für die Europäische Kommission: „Die besten verfügbaren Erkenntnisse legen nahe, dass Mikroplastik und Nanokunststoff kein weit verbreitetes Risiko für Mensch und Umwelt darstellen, außer in kleinen Nischen.“ SAPEA weist jedoch auch auf Wissenslücken und das Risiko hin, dass sich die Situation ändern könnte (EurEau 2019).

7. MASSNAHMEN

Auch wenn erste Risikoabschätzungen zumindest für Mikroplastik kein besorgniserregendes Bild zeichnen, ist es doch wichtig, an strategischen Konzepten zu arbeiten, um den Eintrag von Plastik insgesamt und von Mikroplastik im Besonderen zu minimieren.

So hat beispielsweise die Europäische Kommission mit der EU-Kunststoffstrategie (EU 2018a) erste Schritte unternommen, z. B. mit

- Maßnahmen zur Senkung des Verbrauchs von Einmalkunststofftragtaschen,
- Förderung höherer Recyclingquoten und bessere Abfallsammelsysteme,
- Erhöhung der Wiederverwendung von Verpackungen
- Verringerung des Verpackungsbedarfs für Flaschenwasser,
- Förderung eines umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffungswesens und
- Überwachung und Reduzierung von Meeresmüll.

Unter Federführung des BMK wird derzeit ein Aktionsplan gegen Mikroplastik erstellt (siehe auch Regierungsprogramm 2020–2024).

Seitens des Europäischen Wasserver-/entsorgungsverbandes EurEau wird gefordert, dass die Europäische Kommission strengere Maßnahmen gegen die Mikroplastik-Verunreinigungen einführen soll. Dies umfasst zum Beispiel eine generelle Herstellerverantwortung und Maßnahmen an der Quelle, die Einführung einer obligatorischen Umweltverträglichkeitsprüfung für alle Produkte (mit Einschränkungen), die Kunststoffe enthalten und dem Wasserkreislauf ausgesetzt sind (z. B. Ionentauscher, Rohrmaterialien), bzw. dass Kunststoffhersteller sich an der Anpassung der Abwasserinfrastruktur beteiligen, wenn keine anderen Lösungen möglich sind (EurEau 2019).

7.1. Maßnahmen zur Reduktion von primärem Mikroplastik (Typ-A)

7.1.1. Beschränkung von absichtlich hinzugefügtem Mikroplastik

Im Rahmen der REACH-Verordnung wird derzeit auf EU-Ebene an einem weitreichenden Verbot von absichtlich hinzugefügtem Mikroplastik in Produkten wie Kosmetika, Reinigungs- oder Anstrichmitteln, Düngemitteln und im Füllmaterial von Kunstrasen gearbeitet. Ein Kommissionsvorschlag auf Basis der Meinung der wissenschaftlichen Ausschüsse der ECHA ist für Ende 2021 zu erwarten. In Peeling- und Reinigungsprodukten wurden synthetische Microbeads bereits im Rahmen einer freiwilligen Selbstverpflichtung der Kosmetikindustrie zwischen 2012 und 2017 zu rund 98 % ersetzt.

7.1.2. Verhinderung von Granulatverlust aus industriellen Anlagen

Seit 2015 engagiert sich die Kunststoffbranche im Rahmen des Pakts „Zero Pellet Loss“, der 90 % des österreichweit gehandhabten industriellen Kunststoffgranulats umfasst, für eine Vermeidung von Granulatverlusten. Folgende innerbetriebliche Maßnahmen sollen Kunststoffverluste in Gewässer verhindern:

1. Sicherstellung, dass an allen Ladestellen Auffangkörbe verwendet werden.
2. Strategische Platzierung von Granulatbehältern zur Entsorgung vor Ort.
3. Überprüfung aller Gullys auf korrekt installierte Siebe.
4. Sorgfältige Versiegelung von Massengutbehältern vor der Verschiffung.
5. Kontrolle von Massengutbehältern auf saubere Leerung.
6. Sicherstellung, dass das Dach der Silowagen nach dem Beladen frei von Granulat ist.
7. Installation zentraler Absaugsysteme, wo dies praktikabel ist.
8. Sorgfältige Entsorgung von losem Granulat.

9. Schulungen der MitarbeiterInnen.
10. Information der Logistikpartner.

7.2. Maßnahmen zur Reduktion von primärem Mikroplastik (Typ-B)

Mikroplastik, das in der Nutzungsphase entsteht, kann in mehreren Anwendungen reduziert werden. Initiativen, an denen bereits intensiv geforscht wird, sind folgende:

- Produktentwicklung zur Verhinderung von Farbabrieb,
- abriebfeste Beschichtungen von Kunststoff,
- Bitumen im Asphalt: Entwicklung von dauerhaften, abriebfesten und wetterbeständigen Beschichtungen.

7.3. Maßnahmen zur Reduktion von sekundärem Mikroplastik

Maßnahmen zur Verringerung von sekundärem Mikroplastik in Form fragmentierter Kunststoffprodukte setzen hauptsächlich an einer optimierten Abfallbehandlung an. Zur Verhinderung von Einträgen in Gewässer wurden EU-weit sowie national zahlreiche Schritte gesetzt:

- Sammlung von Plastikabfällen:
Bis zum Jahr 2030 müssen 55 Prozent der Kunststoffverpackungen recycelt sowie bis 2029 90 Prozent der Kunststoff-Einweggetränkeflaschen getrennt gesammelt werden (EU 2019). Das setzt verstärkte Bemühungen zur Sammlung in Gang, die sich in den kommenden Jahren positiv auf den Anteil von Makroplastik in Gewässern auswirken werden.
- Kunststoffabfälle auf Baustellen:
Die Recyclingbaustoff-Verordnung sieht vor, dass bestimmte Fraktionen von Kunststoffprodukten, wie EPS, Rohre oder Fenster auf Baustellen getrennt gesammelt und einer gezielten Verwertung zugeführt werden (Recycling-Baustoffverordnung – RBV, BGBl. II Nr. 290/2016).
- Reduktion von Kunststoffprodukten:
Seit dem 1. Jänner 2020 gilt in Österreich ein Verbot von Kunststoff-Tragetaschen, die an Letztverbraucher abgegeben werden. Ausgenommen von dem Verbot sind Obstbeutel aus bioabbaubarem und biobasiertem Kunststoff.
Seit dem 3. Juli 2021 ist in den EU-Mitgliedstaaten das Inverkehrbringen bestimmter Einweg-Kunststoffartikel und von Artikeln aus oxo-abbaubarem Kunststoff verboten:
 - Wattestäbchen,
 - Besteck, Teller, Trinkhalme, Rührstäbchen,
 - Luftballonstäbe,
 - bestimmte Lebensmittel- und Getränkeverpackungen aus Polystyrol.
- Kennzeichnung von Kunststoffprodukten:
Für Hygieneartikel, Feuchttücher, Tabakprodukte und Getränkebecher werden Kennzeichnungsvorschriften eingeführt (Referenz: Durchführungsverordnung (EU) 2020/2151 der Kommission zur Festlegung harmonisierter Kennzeichnungsvorschriften für in Teil D des Anhangs der Richtlinie (EU) 2019/904 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt aufgeführte Einwegkunststoffartikel (17.12.2020).

8. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSBEDARF

Obwohl bereits viele Studien in Hinblick auf Mikroplastik durchgeführt wurden und werden, bleiben zahlreiche sehr wichtige Fragen offen: Wie bewirkt welche Konzentration von Mikroplastik welcher Partikelgröße (insbesondere im Nanobereich) welche umweltrelevanten Auswirkungen auf höheren Ebenen der biologischen Organisation (z. B. Population, Spezies, Artengesellschaft, Ökosystem)? Offen sind auch Erkenntnisse zum Transport von Mikroplastik durch die Nahrungskette, ebenso wie das Verhalten der sorbierten Chemikalien und Zusatzstoffe und der adsorbierten Mikroorganismen. Jedenfalls ist es zurzeit schwierig, die Wirkungen und Umwelteinflüsse von Mikroplastik zu interpretieren, da weder die verwendeten toxikologischen Testsysteme noch die Analysemethoden einheitlich sind.

Die EFSA (2016) empfiehlt daher, in einem ersten Schritt die Analysemethoden für Mikroplastik weiterzuentwickeln und für Nanokunststoffe neu zu entwickeln und zu standardisieren, um das Vorhandensein, die Identität und die Menge in Lebensmitteln aber auch in der Umwelt zu bestimmen. Eine Reihe von Faktoren kann die Repräsentativität von Daten zu Mikroplastik beeinflussen, darunter räumliche und zeitliche Variabilität, Partikelarten, Flussnähe, verschiedene Ansätze, Methoden der Probenahme, Größenauswahl, Extraktionsmethoden, Charakterisierung und Berichtseinheiten. Da Probenahme-, Extraktions-, Nachweismethoden und -techniken weltweit entwickelt werden, ist eine Harmonisierung und Standardisierung der Techniken und Protokolle dringend erforderlich, wobei kleine Partikel z. B. mit einer Größe $< 150 \mu\text{m}$ bzw. von 20 bis 30 μm und Nanopartikel charakterisiert und quantifiziert werden können, um das Risiko reproduzierbar besser einschätzen zu können. Zusätzlich sind Untersuchungen zur Toxizität und vor allem Toxikokinetik erforderlich.

9. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Zahlen und Informationen zu Konzentrationen in Umweltmedien und Entfernungsgraden, die sich in Literatur und Studien finden, sind sehr unterschiedlich und hängen von den untersuchten Parametern (Partikelgröße, Partikelzahl bzw. Partikelmasse) und der gewählten Einheit (Anzahl/L oder Masse/L) bei der Angabe der Ergebnisse ab.

Der bloße Nachweis von Mikroplastik-Partikeln in der Umwelt bedeutet noch kein Risiko. Für eine Risikoabschätzung sind einerseits die Umweltkonzentrationen der verschiedenen relevanten Partikelgrößen und deren schädigende Wirkungen, ebenfalls bezogen auf Partikelgrößen, ev. Formen, Materialien und Verunreinigungen notwendig. Erst, wenn Standards zu Probenahme-, Extraktions-, Nachweismethoden und -techniken feststehen, kann eine Festlegung von Grenzwerten erfolgen, um negative physikalische, chemische und ökologische Auswirkungen in verschiedenen Lebensräumen, die auf die weit verbreitete Kontamination von Mikroplastik in der Umwelt zurückzuführen sind, zu verhindern. Vorhandene Informationen über die Menge der Mikroplastik-Verschmutzung auf globaler Ebene soll zur Entwicklung einer Karte genutzt werden, um „Hotspots“ zu identifizieren, damit adäquate Risikomanagementmaßnahmen ergriffen werden können.

Allerdings liegen laut UNEP in Hinblick auf den Vorsorgeansatz im Fall von Kunststoffen und Mikroplastik genügend Informationen vor, um zu rechtfertigen, dass Maßnahmen ergriffen werden, den Einsatz von Mikroplastik und die Exposition zu verringern (UNEP 2016). Die Ad-hoc-Expertengruppe der UNEP zu Meeresabfall und Mikroplastik hat nach vier Verhandlungsrunden im Dezember 2020 vorgeschlagen, ein neues internationales Übereinkommen zu diesem Thema zu verhandeln, was auch von der EU unterstützt wird.

Die ECHA (2019) prüft die Notwendigkeit einer REACH-Beschränkung für die absichtliche Verwendung von Mikroplastik. Unter Federführung des BMK wird ein Aktionsplan gegen Mikroplastik erstellt (siehe auch Regierungsprogramm 2020–2024). Zudem wird das Thema Mikroplastik auch in anderen wasserrelevanten Gesetzesmaterien behandelt.

Die Reduzierung von Mikroplastik in der Umwelt erfordert aufgrund der vielfältigen Quellen (primäre und sekundäre Quellen) einen sektorenübergreifenden Ansatz und es braucht einen Mix aus verschiedenen Maßnahmen.

10. LITERATUR

- Adam, V., Yang, T. and Nowack, B. (2019): Toward an ecotoxicological risk assessment of microplastics: Comparison of available hazard and exposure data in freshwaters. *Environmental Toxicology and Chemistry* 38(2), 436-447.
- BKV GmbH (2020): Diskussionspapier Eintrag Reifenabrieb aus Deutschland in die Meere.
- BMBF (2018): Diskussionspapier – Mikroplastik-Analytik“. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Deutschland. <https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2018-10/Diskussionspapier%20Mikroplastik-Analytik.pdf>
- BMK (2021): Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Aktionsplan Mikroplastik (Zugriff 06.09.2021). https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/kunststoffe/mikroplastik.html
- Boucher J, Friot D (2017): Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources. IUCN, Gland
- Bouwmeester, H., P. C. Hollman and R. J. Peters (2015): Potenzial health impact of environmentally released micro- and nanoplastics in the human food production chain: Experiences from nanotoxicology. *Environmental Science & Technology* 49(15): 8932-8947.
- BKV Kunststoff Konzepte Verwertung GmbH: „Diskussionspapier Eintrag Reifenabrieb aus Deutschland in die Meere“ im Auftrag von FCIO, Plastics Europe und VDMA; dzt. noch keine Publikation.
- Browne, M. A., A. Dissanayake, T. S. Galloway, D. M. Lowe and R. C. Thompson (2008): Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology* 42(13): 5026-5031.
- Browne, M. A., S. J. Niven, T. S. Galloway, S. J. Rowland and R. C. Thompson (2013). Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Curr Biol* 23(23): 2388-2392.
- Burns E, Boxall ABA (2018): Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. *Environ Toxicol Chem* 37:2776–2796.
- Clara, M., Gruber, G., Hohenblum, P., Hofer, T., Kittlaus, S., Lenz, K., Liebmann, B., Maier, R., Mallow, O., Pichler, M., Rechberger, H., Scheffknecht, C., Spacek, S., Steidl, C., Zessner, M. (2020): Erfassung von Emissionen ausgewählter Spurenstoffe aus Kanalsystemen, Handlungsoptionen zu deren Minderung und Optimierung einer alternativen Nachweismethode für Kunststoffpartikel in Wasserproben (TEMPEST). Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien.
- Cózar, A., F. Echevarría, J. I. González-Gordillo, X. Irigoien, B. Úbeda, S. Hernández-León, Á. T. Palma, S. Navarro, J. García-de-Lomas and A. Ruiz (2014): Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(28): 10239-10244.
- Erkes-Medrano, D., R. C. Thompson and D. C. Aldridge (2015): Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research* 75: 63-82.
- ECHA (2011): Leitlinien zu Informationsanforderungen und Stoffsicherheitsbeurteilung Teil B: Ermittlung schädlicher Wirkungen Referenz: ECHA-11-G-09-DE Ausgabedatum: Dezember 2011, Europäische Chemikalienagentur <https://echa.europa.eu/de/guidance-documents/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment>
- ECHA (2018): Europäische Chemikalienagentur. Note on substance identification and the potential scope of a restriction on uses of ‘microplastics’ Version 1.1 –16/10/2018 (Zugriff 05.08.2019) https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/note_on_substance_identification_potential_scope_en.pdf/6f26697e-70b5-9ebe-6b59-2e11085de791
- ECHA (2019): Europäische Chemikalienagentur. Annex XV Restriction Report - Proposal for a restriction: Intentionally added microplastics. Helsinki, Finland. <https://www.echa.europa.eu/web/guest/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18244cd73>
- ECHA (2020): Europäische Chemikalienagentur. Annex XV dossier proposing restrictions on intentionally added microplastics (Zugriff 14.06.2021). <https://echa.europa.eu/documents/10162/a513b793-dd84-d83a-9c06-e7a11580f366>
- EFSA (2016a): Mikro- und Nanokunststoffe in Lebensmitteln – einzunehmendes Problem <https://www.efsa.europa.eu/de/press/news/160623> (Zugriff 17.09.2021)

- EFSA (2016b): Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA Journal 2016;14(6):4501, 30 pp. <https://doi:10.2903/j.efsa.2016.4501>
- Eriksen, M., L. C. Lebreton, H. S. Carson, M. Thiel, C. J. Moore, J. C. Borerro, F. Galgani, P. G. Ryan and J. Reisser (2014): Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. PLoS One 9(12): e111913.
- EU (2018a): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions: A European Strategy for Plastics in a Circular Economy (Zugriff 17.09.2021)
- EU (2018b): Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, geändert durch Richtlinie (EU) 2018/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018, Artikel 6.
- EU (2019): Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt, Artikel 9.
- EurEau (2019): Briefing Note, Microplastics and the water sector – Current knowledge, challenges and possible solutions, 24. April 2019
- Everaert G, Van Cauwenberghe L, De Rijcke M, Koelmans A A, Mees J, Vandegehuchte M, Janssen CR (2018): Risk assessment of microplastics in the ocean: Modelling approach and first conclusions. Environ. Pollut 242:1930–1938.
- Felsing S, Kochleus C, Buchinger S, Brennholt N, Stock F, Reifferscheid G (2018): A new approach in separating microplastics from environmental samples based on their electrostatic behavior. Environ Pollut 234:20–28.
- Fraunhofer UMSICHT (2018a): „Kunststoffe in der Umwelt. Mikro- und Makroplastik“; Kurzfassung der Konsortialstudie; Oberhausen 2018
- Fraunhofer UMSICHT(2018b): „Mikroplastik und synthetische Polymere in Kosmetikprodukten sowie Wasch-, Putz- und Reinigungsmittel; Oberhausen Sept. 2018
- Gauquie, J., L. Devriese, J. Robbens and B. De Witte (2015): A qualitative screening and quantitative measurement of organic contaminants on different types of marine plastic debris. Chemosphere 138: 348-356.
- GESAMP (2015): Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. (ed. P. Kershaw). Rep. Stud. GESAMP, IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection: 96.
- GESAMP (2016): “Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment” (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, 220 p.
- Hann, S., C. Sherrington, O. Jamieson, M. Hickman, P. Kershaw, A. Bapasola, G. Cole (2018): Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products, eunomia, Final Report Report for DG Environment of the European Commission
- Hohenblum, P., H. Frischenschlager, H. Reisinger, R. Konecny, M. Uhl, S. Mühlegger, H. Habersack, M. Liedermann, P. Gmeiner, B. Weidernhiller, N. Fischer, R. Rindler (2015): Plastik in der Donau. Untersuchungen zum Vorkommen von Kunststoffen in der Donau in Österreich Reports, REP-0547 Umweltbundesamt, Vienna, Austria
- ICPDR (2021): Joint Danube Survey 4 Scientific Report: A shared analysis of the Danube River. Eds.: Liška, I., Wagner, F., Sengl, M., Deutsch, K., Slobodnik, J., Paunovic, M. <http://www.danubesurvey.org/jds4/publications/scientific-report>
- ISO/DTR 21960: Plastics in the Environment — Current state of knowledge and methodologies.
- Jambeck JR et al (2015): Plastic waste inputs from land into the ocean. Science 347:768–771
- JRC (2020): Interlaboratory comparison on microplastic in water: first compilation of results. Joint Research Center JRC-MP-ILC Feedback to participants (16.10.2020)
- Koelmans A.A., Besseling E., Shim W.J. (2015): Nanoplastics in the Aquatic Environment. Critical Review. In: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (eds) Marine Anthropogenic Litter. Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_12
- Koelmans, A.A., Mohamed Nor, N.H., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S.M. and De France, J. (2019): Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. Water Research 155, 410-422. Kosuth et al. 2018.
- Kosuth, M., S.A. Mason, E.V. Wattenberg (2018): Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt PLoS One, 13 (4).

- Liebmann, B., Sexlinger K. (2020): Mikroplastik in der Umwelt. Statusbericht 2019. (2020 REP-0727).
- Lo, H.-S., Wong, C.-Y., Tam, N.F.-Y. and Cheung, S.-G. (2019): Spatial distribution and source identification of hydrophobic organic compounds (HOCs) on sedimentary microplastic in Hong Kong. *Chemosphere* 219, 418-426.
- Mallow, O., Spacek, S., Schwarzböck, T., Fellner, J., Rechberger H. (2020): A new thermoanalytical method for the quantification of microplastics in industrial wastewater. *Environmental Pollution* 259, 113862.
- Mason, S.A., V. Welch, J. Neratko (2018): *Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water* Fredonia- State University of, New York (2018).
- ÖWAV (2019): Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2020.
- Prenner, S., Allesch, A., Staudner, M., Rexeis M., Schwingshackl, M., Huber-Humer, M., Part, F. (2021): Static modelling of the material flows of micro- and nanoplastic particles caused by the use of vehicle tyres. *ScienceDirect, Environmental pollution, Volume 290*.
- Rani, M., W. J. Shim, G. M. Han, M. Jang, N. A. Al-Odaini, Y. K. Song and S. H. Hong (2015). Qualitative analysis of additives in plastic marine debris and its new products. *Archives of environmental contamination and toxicology* 69(3):352-366.
- Rochman, C. M., E. Hoh, T. Kurobe and S. J. Teh (2013a): Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific reports* 3.
- Spacek, S., Mallow, O., Schwarzböck, T., Fellner, J., Rechberger, H. (2020): Eine neue Methode für die Bestimmung des Mikroplastikmassenanteils in Umweltproben. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 72, 403-409.
- Sun, J., X. Dai, Q. Wang, M.C.M. van Loosdrecht, B. Ni (2019): Microplastics in wastewater treatment plants: detection, occurrence and removal *Water Res.*, 152 (2019), pp. 21-37
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., Koistinen, A. (2016): How well is microlitter purified from wastewater? - a detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Res.* 109, 164e172.
- Uhl, W., und M. Eftekhardakhah, (2018): Mapping microplastic in Norwegian drinking water, *Norwegian Water Report 241*, Norwegian Institute for Water Research (NIVA). Camilla Svendsen, Norwegian Institute of Public Health.
- Umweltbundesamt GmbH (2015): „Mikroplastik in der Umwelt, Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf“ Wien, 2015 (2015REP-0550).
- UNEP (2016): Marine plastic debris and microplastics: global lessons and research to inspire action and guide policy change. A report prepared for the Second United Nations Environment Assembly. *United Nations Environment Programme, Nairobi*, 274 pp.
- Van Cauwenberghe, L. and C. R. Janssen (2014): Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ Pollut* 193: 65-70.
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Pflichten bei Bau- oder Abbruch Tätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- oder Abbruch Tätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen (Recycling-Baustoffverordnung – RBV), StF: BGBl. II Nr. 181/2015, Änderung BGBl. II Nr. 290/2016
- Vymetal, U. (2016): Microplastics in bank filtrated Danube Water, Master thesis, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Department of Water, Atmosphere and Environment Institute of Sanitary Engineering and Water Pollution Control.
- Woodall, L. C., A. Sanchez-Vidal, M. Canals, G. L. J. Paterson, R. Coppock, V. Sleight, A. Calafat, A. D. Rogers, B. E. Narayanaswamy and R. C. Thompson (2014): The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science* 1(4): 140317.
- Woodall, L. C., L. F. Robinson, A. D. Rogers, B. E. Narayanaswamy and G. L. Paterson (2015): Deep-sea litter: a comparison of seamounts, banks and a ridge in the Atlantic and Indian Oceans reveals both environmental and anthropogenic factors impact accumulation and composition. *Frontiers in Marine Science* 2: 3.
- Ziccardi, L.M., Edgington, A., Hentz, K., Kulacki, K.J. and Kane Driscoll, S. (2016): Microplastics as vectors for bioaccumulation of hydrophobic organic chemicals in the marine environment: A state-of-the-science review. *Environmental Toxicology and Chemistry* 35(7), 1667-1676.

HÄUFIGE FRAGEN ZUM THEMA MIKROPLASTIK IM WASSER/ABWASSER

Wurde Mikroplastik bereits in unseren Gewässern nachgewiesen?

2018 wurde im Rahmen der alle 6 Jahre stattfindenden Donau-Untersuchung (Joint Danube Survey 4) das Vorkommen von Mikroplastik in Wasser und in Muscheln untersucht (ICPDR 2021). Die Erfassung von Mikroplastik in Wasser erfolgte über Sedimentationskästen mit einer anschließenden thermoanalytischen Aufarbeitung. Bei den Muscheln wurden natürlich vorhandene Muscheln untersucht. Hierbei wurden Mikroplastikpartikel entlang der gesamten Donau (einschließlich der 2 Stellen in Österreich) zwar in geringer Konzentration, jedoch überall gefunden. Bei den Wasserproben wurde Polyethylen als häufigste Komponente von Mikroplastik in fast allen Wasserproben nachgewiesen. Das Screening von Muscheln zeigte das Vorhandensein von Mikroplastik in Individuen an allen Standorten mit Polyethylenterephthalat (PET) als dem dominierenden Kunststoff.

Woher stammt das Mikroplastik in der Umwelt?

In einer 2018 vom Fraunhofer-Institut veröffentlichten Studie wurden insgesamt 51 Quellen für Mikroplastikemissionen ermittelt und die damit einhergehenden Emissionen errechnet. Besonders hoch sind hier Reifenabrieb, Freisetzung bei der Abfallentsorgung, Abrieb von Bitumen in Asphalt, Pelletverluste aus der Produktion sowie Verwehungen aus Sport- und Spielplätzen. Emissionen durch Faserabrieb bei der Textilwäsche etwa liegen bei diesem Ranking auf Platz 10, Emissionen durch Mikroplastikbeimengungen in Kosmetika auf Platz 17.

Nur ein Teil des freigesetzten Mikroplastiks gelangt auch tatsächlich in die Gewässer, da ein signifikanter Teil über die Infrastruktur der Siedlungswasserwirtschaft von den Gewässern ferngehalten wird. Schätzungen von EurEau (EurEau 2019) bzw. vom Fraunhofer-Institut (2018a) gehen von einer massenbezogenen Entfernung von nahezu 100 % bei Makroplastik und bis über 95 % bei Mikroplastik aus, sofern nicht Klärschlamm direkt auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht wird.

In welchem Ausmaß kann Mikroplastik in kommunalen Kläranlagen zurückgehalten werden? Welche Menge Mikroplastik ist im Abwasser enthalten und gelangt in unsere Gewässer? Tragen KA selbst Mikroplastik ein (organische Flockungshilfsmittel)?

In einer 2019 publizierten Überblicksstudie (Sun et al. 2019) zu Auftreten und Entfernung von Mikroplastik wird gezeigt, dass Mikroplastik sowohl im Zulauf als auch im Ablauf von Kläranlagen nachgewiesen werden kann. Dabei variieren die Konzentrationen zwischen einzelnen und 10.044 Partikel/L im Zulauf bzw. 0 bis 447 Partikel/L im Ablauf, was einem Rückhalt von über 95 % entspricht.

Müssen Kläranlagen nachgerüstet werden, um Mikroplastik zu entfernen?

Kläranlagen entfernen mit den bisherigen Reinigungsmethoden (3. Reinigungsstufe) bis über 95 % des im Zulauf zur Kläranlage enthaltenen Mikroplastiks. Eine Nachrüstung zu einer noch weitergehenden Entfernung wird in Zusammenschau mit anderen Herausforderungen (z. B. Arzneimittel) der Siedlungswasserwirtschaft zu diskutieren sein. Eine entsprechende Diskussion unter Berücksichtigung von Kosten und Wirksamkeit findet im Rahmen der Überarbeitung der kommunalen Abwasserrichtlinie auf EU-Ebene derzeit statt.

Gibt es Grenzwerte für Mikroplastik das über Abwasser in Gewässer gelangt?

In den Abwasseremissionsverordnungen wird der Stand der Technik u. a. durch Emissionsbegrenzungen für Abwasserparameter und Abwasserinhaltsstoffe festgelegt. Ungelöste Stoffe werden über den Abwasserparameter abfiltrierbare Stoffe erfasst und überwacht, womit zumindest größere Mikroplastikpartikel berücksichtigt werden. Ein etablierter Abwasserparameter, der es gezielt erlauben würde, eine

Emissionsbegrenzung von Mikroplastik zu überwachen, ist derzeit nicht verfügbar. Voraussetzung für die Einführung einer Emissionsbegrenzung sind unter anderem standardisierte Methoden, die vom Aufwand her einen Einsatz in Bezug auf Abwassereinleitungen rechtfertigen. An der Entwicklung solcher Methoden wird derzeit weltweit gearbeitet.

Wieviel Mikroplastik befindet sich im Klärschlamm? Was passiert mit dem mit Mikroplastik belasteten Klärschlamm?

Die hohe Rückhaltefähigkeit in Kläranlagen bedingt, dass sich ein Großteil des eingetragenen Mikroplastiks im Klärschlamm wiederfindet. Verfügbare Studien zum Vorkommen von Mikroplastik im Klärschlamm zeigen sehr unterschiedliche Werte. Die Konzentrationen reichen dabei von einigen Tausend bis mehreren Hunderttausend Partikeln pro Kilogramm Klärschlamm (TS) (Sun et al. 2019; Liu et al. 2021; Rolsky et al. 2020). Die Schwankungen sind auf die derzeit noch sehr unterschiedlichen Analysemethoden sowie unterschiedliche Abwasserquellen, Einzugsgebiete, Klärschlammbehandlung etc. der untersuchten Kläranlagen zurückzuführen.

Eine erste Studie zur Mikroplastikbelastung von Klärschlämmen aus 35 österreichischen Kläranlagen zeigte eine durchschnittliche Belastung von $85,221 \pm 103,175$ Mikroplastikpartikeln pro kg Klärschlamm (TS). Die Bandbreite der Werte schwankte dabei von 2.339 bis 633.414 Partikeln pro kg Klärschlamm.

In Österreich wird derzeit etwa die Hälfte des anfallenden Klärschlammes thermisch behandelt, ca. 19 % wird auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht und rund 29 % werden einer sonstigen Behandlung unterzogen (z. B. mechanisch-biologische Behandlung, Kompostierung, Vererdung) (Bundesabfallwirtschaftsplan 2017).

Gibt es Grenzwerte für Mikroplastik in Klärschlamm für eine zulässige Kompostierung oder landwirtschaftliche Verwertung? – Wird es solche geben?

Die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm steht derzeit aufgrund mehrerer problematischer Inhaltsstoffe in der Kritik. Mikroplastik stellt einen Aspekt dar. Das Regierungsprogramm 2020–2024 sieht vor, die Ausbringung von Klärschlamm bei Belastung durch Mikroplastik und anderen Schadstoffen gänzlich zu unterbinden.

Stellt das Thema „Mikroplastik“ ein Problem in unseren Gewässern dar?

Verschiedene Studien zur Risikoabschätzung (mit modellierten bzw. gemessenen Daten) zeigten, dass durch die Mikroplastik-Kontamination ein generelles Risiko weder für Meeresgewässer noch für Oberflächengewässer darstellbar ist und dass das Mikroplastik-Problem in Ozeanen hauptsächlich auf Emissions-„hot spots“ (Flüsse, Ballungsräume an der Küste) beschränkt zu sein scheint.

Auch wenn diese Risikoabschätzungen zumindest für Mikroplastik kein besorgniserregendes Bild zeichnen, ist es doch wichtig, an strategischen Konzepten zu arbeiten, um den Eintrag von Plastik insgesamt und von Mikroplastik im Besonderen zu minimieren.

Was kann jeder einzelne dazu beitragen, um Mikroplastik im Abwasser zu vermeiden?

Wichtig ist es, auf eine sachgerechte Müllentsorgung zu achten und beim Einkauf Produkte zu vermeiden, die Mikroplastik enthalten.



zukunft
SEIT 1909
denken

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

Gegründet 1909

1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5

Tel. +43-1-535 57 20, Fax +43-1-535 40 64, buero@oewav.at, www.oewav.at

Das österreichische **Kompetenz-Zentrum**
für **Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft**.

Veranstaltungen

- Österreichische Abfallwirtschaftstagung
- Österreichische Wasserwirtschaftstagung
- Österreichische Umweltrechtstage
- Seminare und Fortbildungskurse zu aktuellen Themen der Wasser- und Abfallwirtschaft
- Erfahrungsaustausch für Betreiber von Abfallbehandlungsanlagen
- Kurse für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen, Praktikum auf Lehrklär- und Lehrkanalanlagen, Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften
- Kurse für das Betriebspersonal von Abfallbehandlungsanlagen
- Kurse in den Bereichen Gewässerpflege, kleine Stau- und Sperrenanlagen, Hochwasserschutz- und Beschneigungsanlagen, Wildbachaufsicht und Neophytenmanagement
- Kurse in den Bereichen Recht & Wirtschaft
- Gemeinsame Veranstaltungen mit in- und ausländischen Fachorganisationen
- Exkursionen

Fachgruppen und Arbeitsausschüsse

- Ausarbeitung von Regelblättern, Arbeitsbehelfen und Merkblättern
- Erarbeitung von ExpertInnen-, Positions- und Ausschusspapieren sowie Stellungnahmen zu Gesetzesvorhaben

Beratung und Information

- Auskünfte und individuelle Beratung
- Wasser- und abfallwirtschaftliche Informationsschriften und Beiträge, Öffentlichkeitsarbeit

Veröffentlichungen

- Fachzeitschrift „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ (ÖWAW)
- ÖWAV-Homepage (www.oewav.at)
- ÖWAV-News (HTML-Newsletter)
- Tätigkeitsbericht des ÖWAV
- Veröffentlichungen zu Tagungen und Seminaren des ÖWAV
- Regelblätter^{*)}, Arbeitsbehelfe^{*)} und Merkblätter des ÖWAV, Positions- und Ausschusspapiere
- Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen^{*)}
- ÖWAV-WKO-Umweltmerkblätter für Gewerbebetriebe
- KA-Betriebsinfo¹⁾
- Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer¹⁾

Verbindungsstelle (Nationalkomitee) der

- European Water Association – EWA

Mitglied der österreichischen Vertretung zur

- European Union of National Associations of Water Suppliers and Waste Water Services – EurEau (gem. mit ÖVGW)
- International Solid Waste Association – ISWA
- International Water Association – IWA (gem. mit ÖVGW)

^{*)} in Kommission bei Austrian Standards plus GmbH, Wien

¹⁾ Mitherausgeber

