



MIKROPLASTIK IN ABWASSER U. GEWÄSSERN

Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) hat erstmals die Abflüsse von Abwasserreinigungsanlagen (ARA), Oberflächengewässer sowie Grund- und Trinkwasser im Kanton Zürich auf Mikroplastik untersucht. Auf ARA werden durch die biologische Reinigung, Nachklärung und Filtration über 90% des Mikroplastiks aus dem Abwasser entfernt. Trotzdem tragen Zürcher ARA pro Tag insgesamt 30 Milliarden Teilchen Mikroplastik, umgerechnet 600 Gramm, in das Gewässersystem ein. Mikroplastik konnte in Oberflächengewässern, jedoch nicht im Grund- und Trinkwasser nachgewiesen werden.

Livia Cabernard; Edith Durisch-Kaiser*; Jean-Claude Vogel; Daniel Rensch und Pius Niederhauser, AWEL Gewässerschutz

RÉSUMÉ

MICROPLASTIQUES DANS LES STEP ET LES EAUX DU CANTON DE ZÜRICH

Les microplastiques (MP, < 5mm) proviennent de la décomposition d'objets en plastique de grande taille dans notre environnement; ils pénètrent nos systèmes hydrauliques via les eaux usées. Du fait de leur longévité, les MP peuvent se concentrer dans les écosystèmes et de petits organismes s'en nourrissent. Les substances toxiques contenus et stockés dans les MP pénètrent ainsi dans la chaîne alimentaire.

Pour la première fois, l'Office pour les déchets, l'eau, l'énergie et l'air du canton de Zurich (AWEL) a effectué des recherches dans les stations d'épuration (STEP), les eaux de surface, les nappes phréatiques et l'eau potable du canton de Zurich, sur les microparticules (MPT) d'un diamètre compris entre 8 µm et 5 mm. Au fil des étapes de nettoyage des STEP étudiées, le nombre de microparticules passent de 640 ± 240 (moyenne ± écart type) MPT/l à la sortie du traitement primaire à 120 ± 60 MPT/l à la sortie de la décantation secondaire et à 50 ± 30 MPT/l à la sortie de la filtration (valeur $p < 2 \times 10^{-16}$), ce qui représente une forte baisse. L'eau des lacs et des cours d'eau contient bien moins de MP qu'à la sortie des STEP (valeur $p < 2 \times 10^{-16}$), à savoir 7 ± 5 MPT/l. Aucun MP n'a été détecté dans les nappes phréatiques ni dans l'eau potable. Bien que la purification biologique et la décantation secondaire permettent de supprimer 80% des MP présents dans les STEP et la filtration 60% supplémentaires, les 28

EINLEITUNG

Mikroplastik (MP, < 5 mm) akkumuliert aufgrund seiner Langlebigkeit in den Gewässersystemen [1, 2]. Die Abbauphase von MP wird auf bis zu zehn Jahre geschätzt, wobei Alterungsschutzmittel die Lebensdauer um bis zu 50 Jahre verlängern können [3]. Das MP kann die Biota gefährden, da Lebewesen es fälschlicherweise als Nahrung aufnehmen, was bis zum Verhungern führen kann [4–6]. Ein weiteres Problem sind die toxischen Inhaltsstoffe und organischen Schadstoffe, die an die Oberfläche des MP zu adsorbieren vermögen [7]. Da das MP von Organismen an der Basis der Nahrungspyramide aufgenommen wird, kann es in der Nahrungskette akkumulieren [8–12].

Mikroplastik wird durch verschiedene Prozesse in die Umwelt eingebracht, wobei zwischen primärem und sekundärem MP unterschieden wird [13]. Primäres MP wird industriell hergestellt und findet unter anderem bei der Reinigung von Maschinenteilen sowie Farbentfernung von metallischen Oberflächen Verwendung [13, 14]. In Kosmetikprodukten werden beispielsweise in Deutschland jährlich 500 Tonnen primäres MP als Füllstoff und zur Verbesserung der Reinigungswirkung (beispielsweise Zahnpasta und Hautpeeling) eingesetzt [11, 15]. Sekundäres MP entsteht durch die Verwitterung von grösseren

* Kontakt: edith.durisch@bd.zh.ch

Plastikgegenständen in der Umwelt und durch die Ablösung von Kunstfasern beim Waschen von Textilien [2, 16]. So werden pro Waschgang bis zu 180 Fasern pro Liter (l) in das Waschwasser abgegeben, die durch den vermehrten Einsatz von Kunstfasern in Textilien zu einem wesentlichen Teil aus Plastik bestehen können [15].

MP wird mit häuslichem oder gewerblichem Abwasser in die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) transportiert. Dort wird es zu einem Grossteil abgetrennt und über den Klärschlamm entsorgt. Ein Teil davon gelangt jedoch über das gereinigte Abwasser in die Gewässer. Verschiedene Studien beziffern diesen Eintrag aus ARA zwischen 0,008 und 90 Mikroplastikteilchen (MPT)/l gereinigtes Abwasser, was eine hohe Variabilität aufzeigt [17–21].

Schweizer Gewässer und Sedimente wurden von der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Lausanne im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) auf MP untersucht, wobei im Mittel 91 000 MPT/km² Seeoberfläche, umgerechnet etwa 0,0005 MPT/l Seewasser, nachgewiesen wurden [22]. In den Flüssen Rhein (Schweiz, [23]), Maas (Holland, [24]), Seine (Frankreich) und Donau (Österreich, [25]) wurden 0,005 bis 0,15 MPT/l Wasser gemessen. Demgegenüber trägt der Los Angeles River im Mittel mit 14 MPT/l täglich bis zu einer Milliarde Teilchen in den pazifischen Ozean ein [26].

In dieser Studie wurden 28 ARA, 12 Fliessgewässer, drei Seen sowie drei Grund- und Trinkwasserbrunnen des Kantons Zürich auf MP mit einer Grösse zwischen 8 µm und 5 mm untersucht. Da noch keine standardisierte Methode zum Nachweis von MP in Umweltproben besteht, wurde ein eigener Ansatz zur Identifikation und Quantifizierung von MP in Gewässerproben entwickelt. Dieser Bericht präsentiert einen Leitfaden zur Methodik, die Resultate einer dreivierteljährigen Beprobungskampagne und eine Abschätzung der Menge MP, die aus Zürcher ARA in die Gewässer freigesetzt wird und in Seen und Fliessgewässern des Kantons gefunden wurde.

FRAGESTELLUNGEN

Für die Untersuchungen von Mikroplastik in Zürcher ARA und Gewässern waren folgende Fragestellungen von Interesse:

- Mittels welcher Methode kann MP einfach und zuverlässig in Abwasser und Gewässern bestimmt werden?
- Wie viel MP gelangt in Zürcher ARA (> 2000 Einwohnerwerte, EW) und wie viel wird in den verschiedenen Reinigungsstufen entfernt?
- Stellt die Filtration von gereinigtem Abwasser eine effiziente Technologie zur Entfernung von MP dar?
- Welche Menge MP wird täglich von Zürcher ARA in die Gewässer eingetragen?
- Wie viel MP befindet sich in Zürcher Gewässern?

PROBENAUFBEREITUNG UND QUANTIFIKATION

Abwasserproben von jeweils 100 ml wurden im Trockenschrank bei 80 °C behutsam eingedampft (Fig. 1). Der Rückstand wurde mit 60%-Schwefelsäure (30 ml, H₂SO₄) versetzt, um das

organische Material aufzulösen. Bei Gewässerproben wurden jeweils 2 Liter, bei Grund- und Trinkwasserproben 5 Liter über einen Membranfilter mit einem Porendurchmesser von 8 µm (*Schleicher & Schuell, Cellulose Nitrat*) filtriert. Das filtrierte Material konnte abgetrennt werden, indem der Filter verkehrt aufgelegt, mit 30 ml 60%-H₂SO₄ rückgespült und die Spüllösung aufgefangen wurde. Nach Einwirkung der Säure (30 min) wurden die Abwasser- und Gewässerproben in der Lösung zentrifugiert (3000 RPM, 30 min, 20 °C), um das MP mittels Dichteseparation vom anorganischen Material zu trennen. Die 60%-H₂SO₄ weist eine Dichte von 1,5 g/cm³ auf. Anorganisches Material, wie beispielsweise Glas und Sand, besitzt eine höhere Dichte (> 2 g/cm³) und sinkt auf den Gefässboden. Die Mehrheit der Plastiktypen besitzt eine viel geringere Dichte und schwimmt oben auf.¹ Der Überstand mit dem MP wurde durch einen Membranfilter mit einem Porendurchmesser von 0,45 µm (*Macherey-Nagel, Porafil Membranfilter, Cellulosemischester*) gefiltert und dieser Filter zur Auszählung der MPT verwendet. Die Zählung erfolgte mit einem Auflichtmikroskop (*Leica DM 2500*) bei

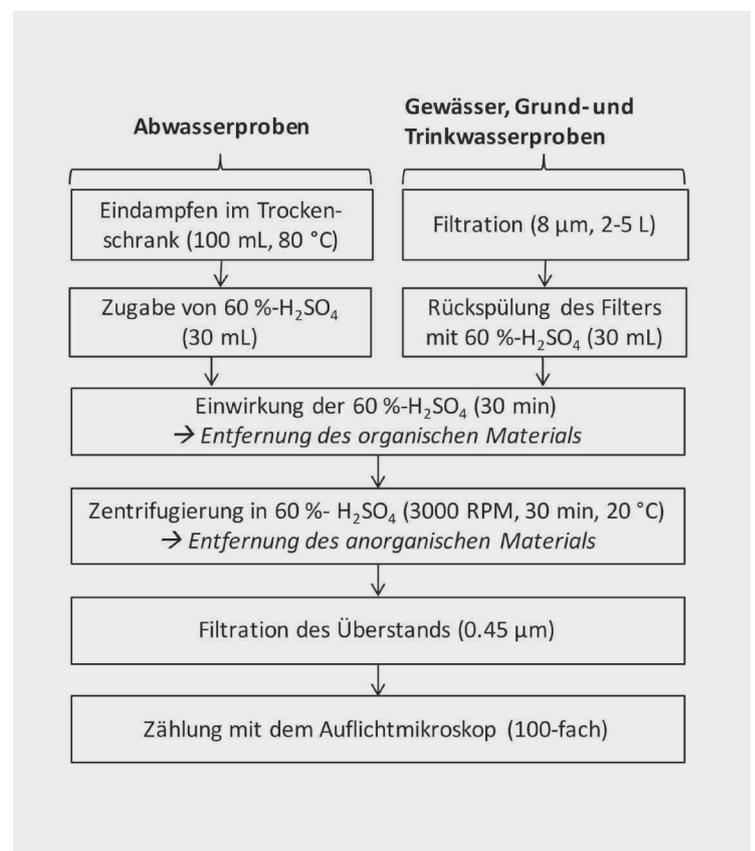


Fig. 1 Aufbereitungsschema der Abwasser-, Gewässer- und Trinkwasserproben
Schéma de préparation des échantillons d'eaux usées, de surface et potable

100-facher Vergrösserung, wobei eine zusätzliche Lichtquelle auf die Zählfläche fokussiert wurde. Bei der Zählung der MPT wurde zwischen Partikeln, Kugeln und Fasern unterschieden. Kontaminationen während der Laborarbeit wurden durch Kontrollversuche mit Reinstwasser (*Nanopur*) bestimmt.

Um den Effekt der 60%-H₂SO₄-Lösung auf MP zu prüfen, wurden jeweils Baumwoll- und Plastikfasern gemäss erwähnter Methodik mit Säure versetzt und anschliessend filtriert. Die

¹ www.ikr-schalles.de/Dichte_von_Kunststoffen

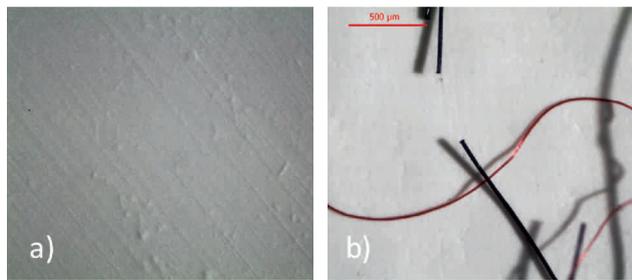


Fig. 2 Wirkung von 60%-H₂SO₄ auf Baumwollfasern (a, komplette Auflösung) und Plastikfasern (b, beständig)

Effet de 60%-H₂SO₄ sur des fibres de coton (a, dissolution intégrale) et des fibres plastiques (b, résistance)

Baumwollfasern lösten sich vollständig auf. Die Plastikfasern blieben unversehrt auf dem Filter zurück (Fig. 2).

Um Informationen über das Aussehen von MP unter dem Mikroskop zu erlangen und um die entwickelte Methodik zum Nachweis von MP zu prüfen, wurden zusätzliche Versuche mit Kosmetikprodukten durchgeführt (herkömmliche Zahnpasta und Hautpeeling) (Fig. 3).

DATENANALYSE

Die Entfernungseffizienz beschreibt den Anteil MP, der in einer oder mehreren Reinigungsstufen der ARA entfernt und nach Gleichung 1 berechnet wird:

$$E = (1 - A / Z) \times 100 \quad (\text{Gl. 1})$$

Hierbei gilt:

E = Entfernungseffizienz (%)

A = mittlere Menge MP im Ablauf der Reinigungsstufe(n) (MPT/l)

Z = mittlere Menge MP im Zulauf der Reinigungsstufe(n) (MPT/l)

Die MP-Fracht aus ARA und in den beprobten Fließgewässern wurde unter Verwendung des Trockenwetterabflusses der letzten vier Jahre berechnet. Zur Abschätzung der täglichen MP-Fracht aus allen 64 Zürcher ARA (> 2000 EW) wurde die mittlere Menge MP im Ablauf mit der Abwassermenge aller ARA multipliziert (jeweils für ARA mit und ohne Filtration, Gl. 2):

$$F = (M_f \times A_f + M_o \times A_o) \times 1000 \quad (\text{Gl. 2})$$

Hierbei gilt:

F = MP-Fracht im Ablauf aller 64 ARA im Kanton Zürich (MPT/d)

M_f = mittlere Menge MPT im Abfluss der Filtration (MPT/l)

M_o = mittlere Menge MPT im Abfluss der Nachklärung (MPT/l)

A_f = Abwassermenge aller Zürcher ARA mit Filtration (m³/d)

A_o = Abwassermenge aller Zürcher ARA ohne Filtration (m³/d)

Für die Abschätzung der MP-Fracht bei einer Ausstattung aller Zürcher ARA mit einer Filtration wurde die mittlere Anzahl MPT im Ablauf der Filtration mit der gesamten Abwassermenge aller ARA multipliziert. Zur Berechnung der Menge MP im Zürichsee, Greifensee und Pfäffikersee wurde eine lineare Abnahme der Anzahl MPT von der Oberfläche bis zur Sprungschicht (ungefähr bei 10 m) angenommen und die Menge MP auf das gesamte Epilimnion (0–10 m) hochgerechnet.

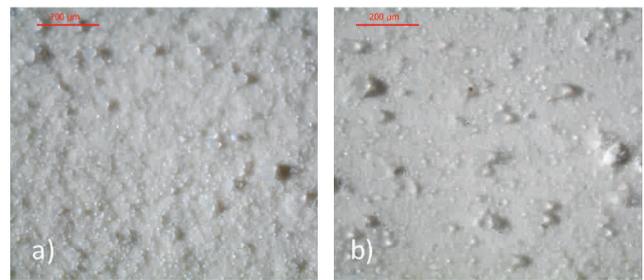


Fig. 3 Mikroplastik-Partikel in einer herkömmlichen Zahnpasta (a) und MP-Kugeln in einem Hautpeeling (b)

Particules de MP dans un dentifrice classique (a) et grains de MP dans un peeling (b)

Die Masse und die Oberfläche des MP wurden basierend auf den mikroskopischen Beobachtungen mithilfe von Modellmassen von Kugeln (Durchmesser ≈ 30 µm), würfelförmigen Partikeln (Seitenlänge ≈ 30 µm) und zylinderförmigen Fasern (Länge ≈ 500 µm, Durchmesser ≈ 5 µm) abgeschätzt. Die mittlere Dichte (ρ) der Kugeln ($\rho \approx 1 \text{ g/cm}^3$), Partikel ($\rho \approx 1 \text{ g/cm}^3$) und Fasern ($\rho \approx 1,4 \text{ g/cm}^3$) wurde einer Studie von Mintenig et al. [20] entnommen, welche MP im Ablauf von ARA mittels Fourier-Transform-Infrarot(FTIR)-Spektroskopie analysiert hat.

Die Menge MP im Ablauf der Vorklärung wurde mit der Schmutzstoffmenge im Zulauf der ARA verglichen, um zu bestimmen, ob die Menge MP im Abwasser von der Belastung der ARA abhängt. Der Einfluss von Industrie und Gewerbe auf die Menge an MP im Zulauf der ARA wurde geprüft, indem eine Liste relevanter Betriebe (Wäscherei, Kunststoff-Herstellung, Fahrzeugreparatur) im Einzugsgebiet der ARA erstellt wurde. Die Menge MP im Ablauf der Vorklärung wurde anschliessend mit der Anzahl Betriebe im Einzugsgebiet der ARA korreliert. Mittels Einweg-Varianzanalyse wurden die verschiedenen Reinigungsstufen der ARA und die Oberflächengewässer auf statistische Unterschiede in der Menge MP geprüft und die zugehörigen Probabilitätswerte (p-Werte) berechnet.

UNTERSUCHUNGSPROGRAMM

Im Zeitraum April bis Dezember 2015 wurden 28 ARA, 3 Seen, 12 Fließgewässer sowie 3 Grund- und Trinkwasserbrunnen des Kantons Zürich auf MP untersucht (Fig. 4). Bei den ARA wurden mengenproportionale 24-h-Mischproben aus dem Ablauf der Vorklärung (26 Proben), Nachklärung (24 Proben) und Filtration (14 Proben) entnommen. Drei ARA waren mit einer Membranfiltration ausgestattet, deren Poren gemäss Angaben der Hersteller eine Grösse von 0,4 µm aufweisen. Im Zürichsee, Pfäffikersee und Greifensee wurden an der Oberfläche und in der Sprungschicht (10 m Tiefe) 6 Proben entnommen und auf MP untersucht. Bei den Zürcher Fließgewässern Limmat, Sihl, Glatt, Reppisch, Furtbach, Jona, Töss, Kempt, Eulach, Jonen, Aabach und Aa wurden an 16 Hauptmessstellen des Kantons Zürich Momentanproben untersucht [27]. Das Grundwasser wurde aus Pumpwerken im Limmattal entnommen. Zusätzlich wurde auch das Trinkwasser des AWEL-Gewässerschutzlabors untersucht.

RESULTATE

Mikroplastik konnte in allen Reinigungsstufen der ARA sowie in allen Seen und Fließgewässern des Kantons Zürich identi-

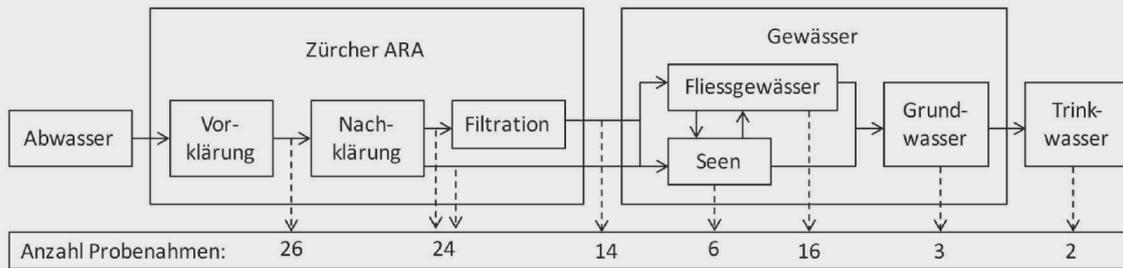


Fig. 4 Anzahl entnommener Proben aus Abwasser, Oberflächengewässer, Grund- und Trinkwasser im Kanton Zürich

Nombre d'échantillons prélevés dans le canton de Zurich: eaux usées, eaux de surface, nappes phréatiques et eau potable

fiziert werden (Fig. 5 und 6). Die gemessenen Mengen an MP zeigen eine hohe Variabilität bei den 28 untersuchten ARA (Fig. 6), die weder durch die allgemeine Schmutzstoffbelastung der ARA noch mit der Anzahl relevanter Betriebe (Wäschereien, Kunststoff-Herstellung, Fahrzeugreparatur) im Einzugsgebiet der ARA erklärt werden kann. Die verschiedenen Reinigungsstufen der beprobten ARA unterscheiden sich mit 640 ± 240 (Mittelwert \pm Standardabweichung) MPT/l Ablauf Vorklärung, 120 ± 60 MPT/l Ablauf Nachklärung und 50 ± 30 MPT/l Ablauf Filtration sehr stark in der Menge MP (p-Wert $< 2 \times 10^{-16}$). Der Ablauf von ARA mit Membranfiltration weist mit 60 ± 20 MPT/l ähnlich viel MP auf wie der Ablauf von ARA mit ein- oder mehrschichtiger Sandfiltration (40 ± 20 MPT/l; p-Wert $< 0,28$). Seen und Fließgewässer weisen mit durchschnittlich 7 ± 5 MPT/l signifikant weniger MP auf als der Ablauf der ARA (p-Wert $< 2 \times 10^{-16}$). Im Zürichsee, Pfäffikersee und Greifensee konnte an der Oberfläche (20 ± 4 MPT/l) signifikant mehr MP (p-Wert $< 2 \times 10^{-4}$) quantifiziert werden als in der Sprungschicht (6 ± 3 MPT/l) und in den Fließgewässern (6 ± 4 MPT/l). Im Grund- und Trinkwasser konnte kein MP nachgewiesen werden. Fasern, Partikel und Kugeln sind in den einzelnen Reinigungsstufen von ARA unterschiedlich verteilt und werden entlang der Abwasserreinigung verschieden effizient entfernt (Fig. 6, Tab. 1). In der Biologie und Nachklärung werden gesamthaft 81%, in der Filtration zusätzlich 61% des MP zurückgehalten. In Summe werden über diese Reinigungsstufen 93% des MP entfernt, wobei die Partikel am stärksten (97%) und die Fasern am schwächsten (76%) zurückgehalten werden (Tab. 1).

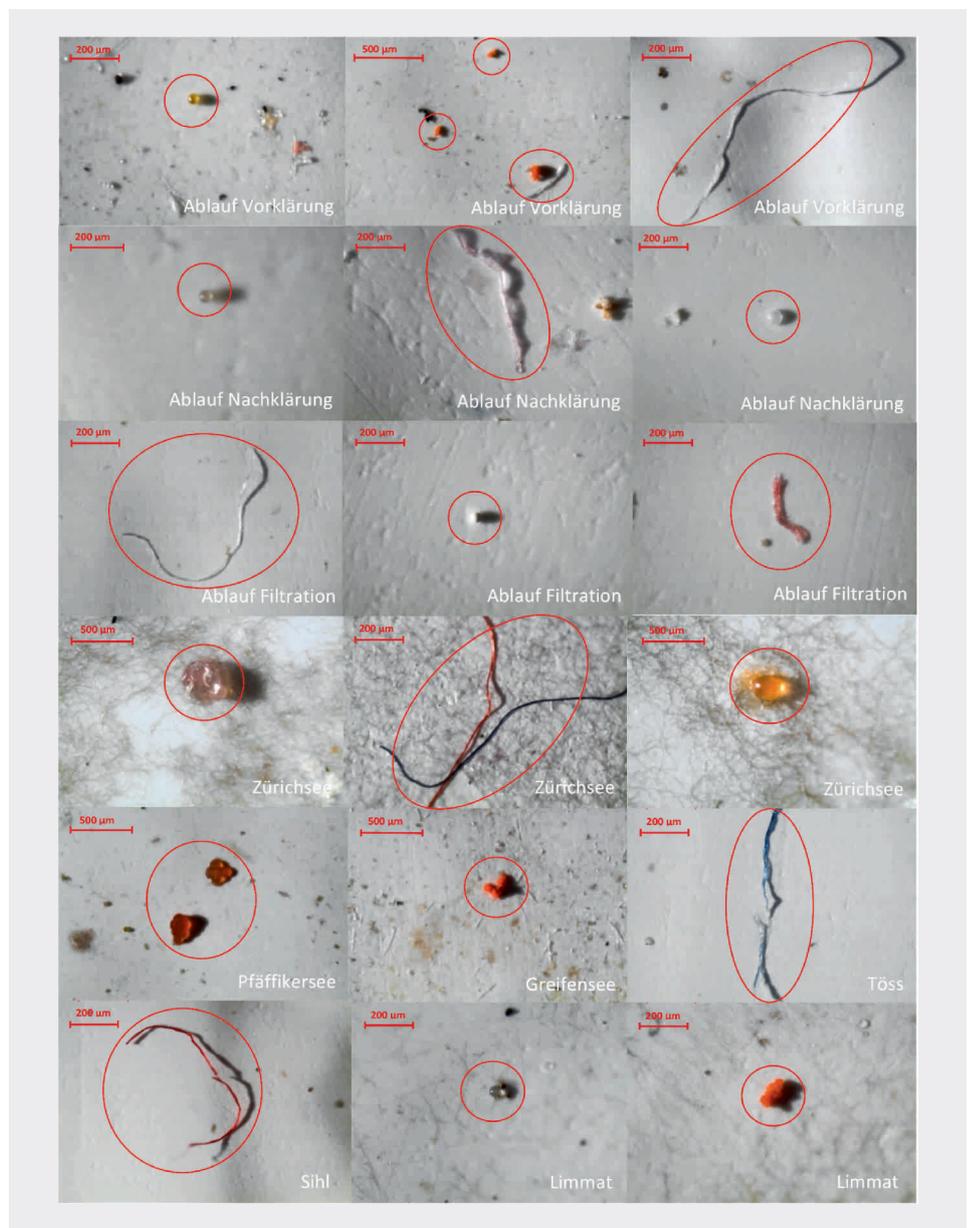


Fig. 5 Identifiziertes MP in den verschiedenen Reinigungsstufen von Zürcher ARA und in Zürcher Oberflächengewässern

Microplastiques identifiés aux différentes étapes de nettoyage des STEP et dans les eaux de surface de Zurich

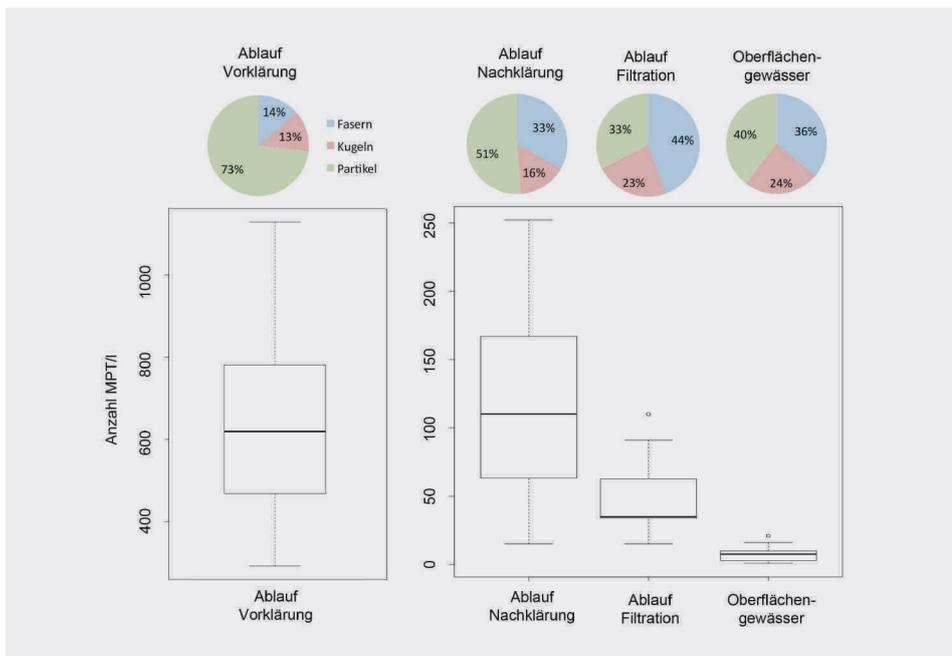


Fig. 6 Menge MP und Verteilung der Partikel, Fasern und Kugeln in den verschiedenen Reinigungsstufen von ARA und in Oberflächengewässern des Kantons Zürich. Der Ablauf der Vorklärung ist aufgrund höherer Anzahl Teilchen separat aufgeführt

Die dicke horizontale Linie beschreibt den Median. In der Box liegen jeweils die mittleren 50% der Daten. Somit begrenzt die Box das 25%-Quantil und das 75%-Quantil. Ausreisser sind als Punkte dargestellt

Quantité de MP et répartition des particules, fibres et grains aux différentes étapes de nettoyage des STEP et dans les eaux de surface du canton de Zurich. La quantité importante de particules à la sortie du traitement primaire est présentée séparément

La ligne épaisse horizontale représente la médiane. La boîte va du premier au troisième quartile. Ainsi, elle englobe le pourcentage moyen des données (50%). Les points représentent des valeurs aberrantes

Entfernungseffizienz	Fasern	Kugeln	Partikel	Total
Biologie und Nachklärung	54%	78%	87%	81%
Filtration	48%	41%	75%	61%
Biologie, Nachklärung und Filtration	76%	87%	97%	93%

Tab. 1 Entfernungseffizienz der MP-Fasern, -Kugeln und -Partikel in der Biologie, Nachklärung und Filtration von Zürcher Abwasserreinigungsanlagen

Efficacité de l'élimination des fibres, grains et particules de MP lors du nettoyage biologique, de la décantation secondaire et de la filtration des STEP zurichoises

Partikel sind im Ablauf der Vorklärung am prominentesten vertreten (73%), machen im Ablauf der Nachklärung noch die Hälfte und im Ablauf der Filtration nur noch einen Drittel des MP aus (Fig. 6). Die Kugeln stellen in allen Reinigungsstufen die kleinste Fraktion dar. Den grössten relativen Anteil erreichen sie im Ablauf der Filtration (23%). Der relative Anteil an Fasern nimmt im Verlauf der Abwasserreinigung zu. Im Ablauf der Vorklärung machen sie nur 14% und im Ablauf der Nachklärung einen Drittel des MP aus. Am stärksten sind die Fasern im Ablauf der Filtration vertreten (44%). Die Anteile der Partikel, Fasern und Kugeln im Ablauf der Filtration sind vergleichbar mit der Verteilung in den untersuchten Ober-

flächengewässern (40% Partikel, 36% Fasern, 24% Kugeln). Es konnte jedoch keine Korrelation zwischen der Menge MP in den Fließgewässern und deren Abwasseranteil festgestellt werden.

Alle 28 untersuchten Zürcher ARA setzen täglich etwa 18 Milliarden MPT in die Umwelt frei. Dies ergibt umgerechnet eine freigesetzte Masse MP von 330 g mit einer Oberfläche von 106 m² (Tab. 2). Die vier abflussstärksten ARA machen die Hälfte dieser Fracht aus (Fig. 7). Hochgerechnet auf alle 64 ARA im Kanton Zürich (>2000 EW) ergibt sich eine Menge von 31 Milliarden MPT, mit einer Masse von 600 g und einer Oberfläche von 182 m², die täglich in die Zürcher Gewässer freigesetzt wird (Tab. 2). Die täglichen

MP-Frachten in den Fließgewässern bewegen sich ebenfalls im Millionen- bis Milliardenbereich (Fig. 7). So weisen die Limmat und die Töss MP-Frachten von 30 Milliarden respektive 3 Milliarden Teilchen pro Tag auf (Fig. 7). Nach den in dieser Studie durchgeführten Berechnungen haben sich im Zürichsee 8 Billionen MPT angesammelt, die ein Gewicht von 141 kg und eine Oberfläche von 4 Hektaren aufweisen (Tab. 3). Der Greifensee und der Pfäffikersee weisen etwa 850 respektive 360 Milliarden MPT auf (Tab. 3). Im Vergleich zur natürlichen lebenden Biomasse (Algen und Kleinkrebse) ist der Anteil von MP jedoch verschwindend klein. So beträgt er im Zürichsee etwa 0,01% der vorhandenen Partikel (Algen, Zooplankton).² In den untersuchten Seen wurde die höchste Menge an MP jeweils an der Oberfläche nachgewiesen. In der Sprungschicht war die Menge MP etwa um einen Faktor 3 geringer.

FAZIT UND AUSBLICK

Die in der Studie entwickelte Methodik ist gut geeignet, um MP in Abwasser- und Gewässerproben schnell und einfach zu identifizieren und zu quantifizieren. Durch die Behandlung der Abwasserproben mit 60%iger Schwefelsäure und anschließendem Zentrifugieren kann ein Grossteil des organischen und anorganischen Materials vor der mikroskopischen Analyse entfernt werden, was Fehlbeurteilungen stark reduziert. Eine zusätzliche spektroskopische Analyse der Proben wäre zu empfehlen, um eine Fehlidentifikation weitgehend auszuschliessen. Aus der Literatur ist eine Fehlerrate von 20% [28] bis 70% [29] bekannt, die mit abnehmender Partikelgrösse zunimmt. Der Fehlerbereich dieser Studie ist höchstwahrscheinlich im unteren Bereich anzusetzen, da möglichst wenige Analyse-schritte während der Probenaufbereitung erfolgten, um Verluste und Kontaminationen zu minimieren.

In der vorliegenden Studie wurden erstmals Abwasserproben von Zürcher ARA und Gewässerproben systematisch auf MP untersucht. Die Menge MP im Ablauf der Nachklärung (15–250 MPT/l) und Filtration (15–110 MPT/l) von Zürcher ARA bewegt sich im oberen Bereich bisheriger Studien (0,008–91 MPT/l, [17–21]). Auch die Menge MP in Oberflächengewässern

² www.gewaesserqualitaet.zh.ch

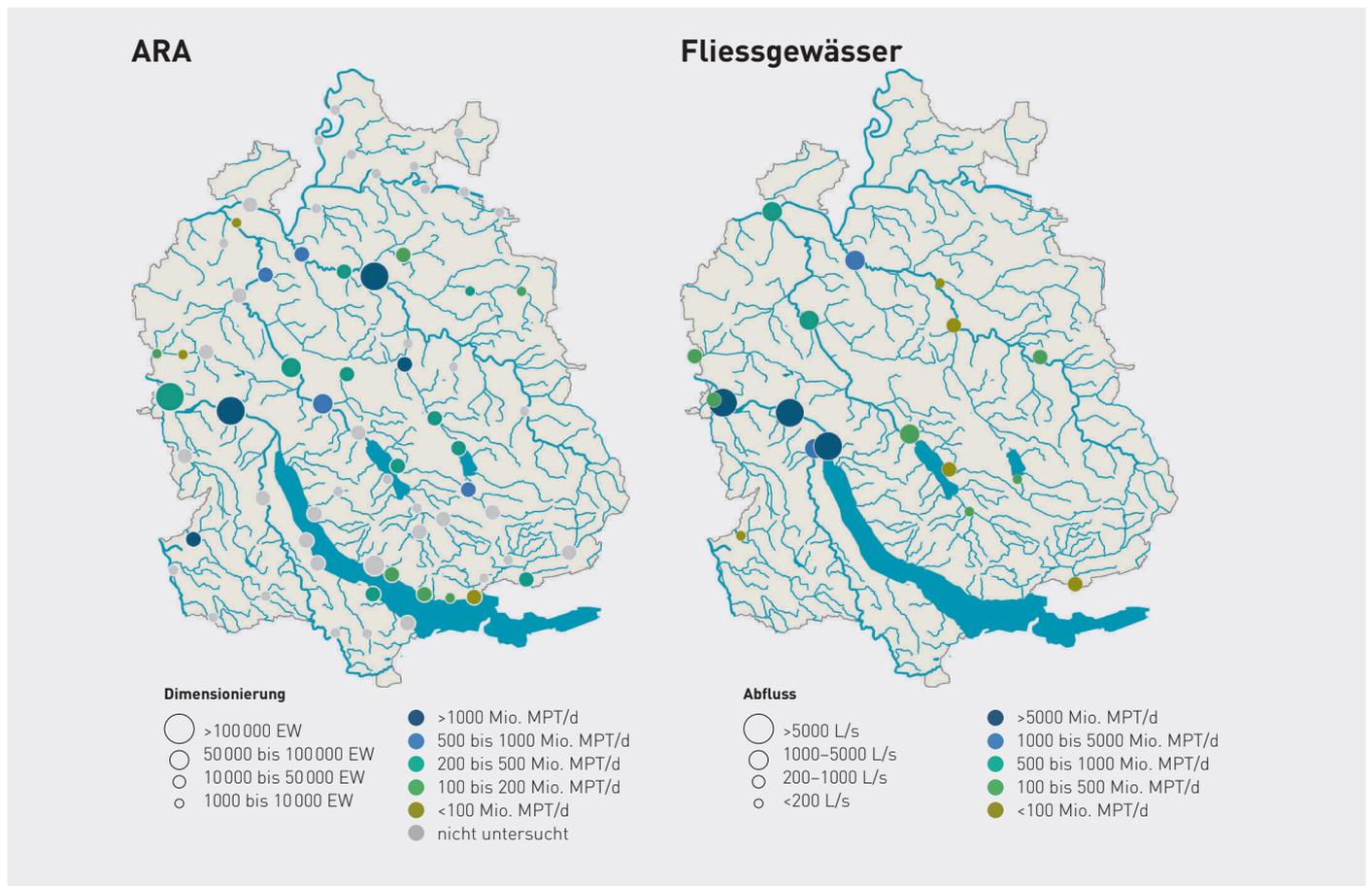


Fig. 7 Tägliche MP-Fracht im Ablauf der 28 untersuchten ARA und in den Fließgewässern
 Transport quotidien de MP dans les 28 STEP étudiées et dans les cours d'eau

liegt mit 1-21 MPT/l höher als bei bisherigen Studien (0,005-14 MPT/l, [23-26]). Diese vergleichsweise hohen Mengen an nachgewiesenem MP lassen sich vor allem auf die bei dieser Studie untersuchte Grössenfraktion zwischen 8 µm und 5 mm zurückführen. Bisherige Arbeiten haben hauptsächlich MP > 300 µm, 500 µm und 1 mm untersucht. Die Anzahl MPT in der Umwelt nimmt jedoch mit abnehmender Partikelgrösse sehr stark zu [2, 13]. Beispielsweise wurde in einer schwedischen Studie gereinigtes Abwasser auf MP > 0,7 µm geprüft und dabei bis zu 100 000 Mal mehr MP nachgewiesen als in einer holländischen Studie, welche gereinigtes Abwasser auf MP > 300 µm untersuchte [19, 21]. Die MPT aus den Zürcher ARA und den untersuchten Kosmetikprodukten wiesen primär eine Grösse zwischen 8 und 300 µm auf, die in vielen bisherigen Studien nicht erfasst wurde.

Zusammengefasst resultiert aus dieser Studie, dass die 28 untersuchten Zürcher ARA im Mittel 93% des MP aus dem Abwasser entfernen, das nicht schon in der mechanischen Reinigung (Rechen,

	Anzahl (Mia. MPT/d)	Gewicht (g/d)	Oberfläche (MPT) (m²/d)
Untersuchte ARA (28)	18	330	106
Alle ARA im Kanton ZH (64)	31	600	182

Tab. 2 Tägliche MP-Fracht (Anzahl, Gewicht und Oberfläche) im Ablauf der untersuchten ARA, hochgerechnet auf alle Zürcher ARA (> 2000 EW) und bei Ausstattung aller ARA mit einer Filtration
 Transport quotidien de MP (nombre, poids et surface) dans les STEP étudiées, extrapolé pour toutes les STEP de Zurich (> 2000 EH), toutes les STEP procédant à une filtration

	Anzahl (Mia. MPT)	Gewicht (kg)	Oberfläche (MPT) (m²)
Zürichsee	8133	141	41 199
Greifensee	845	17	4009
Pfäffikersee	364	7	1955

Tab. 3 Menge MP (Anzahl, Masse und Oberfläche) im Zürichsee, Greifensee und Pfäffikersee
 Quantité de MP (nombre, masse et surface) dans les lac de Zurich, de Greifen et de Pfäffikon

Sandfang und Vorklärung) abgeschieden wird. Sie leisten damit einen substanziellen Beitrag zum Rückhalt von MP aus dem Abwasser. Trotz dieser effizienten Elimination leiten alle 64 ARA im Kanton Zürich (>2000 EW) täglich 31 Milliarden MPT in die Gewässer ein, was in etwa der Menge an MP entspricht, die täglich in der Limmat abtransportiert

wird. Im Zürichsee befinden sich rund 8000 Milliarden MPT.

Der Eintrag von MP in die Gewässersysteme ist langfristig keine nachhaltige Entsorgung eines der am häufigsten verwendeten Konsumprodukte. Im Sinne eines vorsorgenden Gewässerschutzes soll der Eintrag von MP über die ARA in die Umwelt deshalb möglichst vermieden

DANK

Ein grosser Dank für die Mithilfe bei der Probenahme und bei Laboranalysen geht an *Fredi Bichsel, Dieter Sennhauser, Alexander Öhler, Markus Blum* und *Thomas Reimann* sowie an *Urs Holliger* (AWEL, Abteilung Gewässerschutz) für die Dateninterpretation.

werden. Ein hoher Feststoffrückhalt in der Nachklärung von ARA kommt dem Rückhalt von MP entgegen. Mit einer Abwasserfiltration kann die MP-Entfernung zusätzlich gesteigert werden. Abschätzungen aus den Resultaten dieser Studie zeigen, dass eine Ausstattung aller ARA im Kanton Zürich mit einer Filtration den Eintrag von MP in die Gewässersysteme im Vergleich zur aktuellen Situation um 23% reduzieren würde. Eine komplette Entfernung von Feststoffen und damit auch von MP aus dem gereinigten Abwasser ist jedoch sowohl aus technischer als auch wirtschaftlicher Sicht nicht machbar. Aus diesem Grund erscheinen Massnahmen zur Elimination von MP an der Quelle zielführender als eine technische Aufrüstung von ARA. So könnte MP in Kosmetikprodukten durch natürlich vorkommende Stoffe substituiert, Waschmaschinen mit effizienteren Faserrückhaltfiltern ausgerüstet und die Freisetzung von MP aus industriellen Prozessen so weit als möglich verhindert werden. Schliesslich gilt es auf die Eintragswege von MP in die Gewässer aufmerksam zu machen, um eine Änderung im Produktions-, Konsum- und Entsorgungsverhalten anzustossen.

Abschliessend ist zu erwähnen, dass diese Studie einen Beitrag zur Vertiefung eines Umweltthemas bieten soll, über welches es noch wenige sachbezogene Informationen gibt. Es bedarf nun an weiterführender Forschung zu den Stoffflüssen sowie gesundheitlichen und ökotoxikologischen Effekten von MP auf Mensch und Umwelt.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Arthur, C.; Baker, J. (2011): *Proceedings of the Second Research Workshop on Microplastic Debris. November 5–6, 2010. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-39*
- [2] Barnes, D. K. et al. (2009): *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526), 1985–1998*
- [3] Gregory, M. R. (1978): *Accumulation and distribution of virgin plastic granules on New Zealand beaches. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 12(4), 399–414*
- [4] Thompson, R. C. et al. (2004): *Lost at sea: where is all the plastic? Science, 304(5672), 838–838*
- [5] Spear, L. B. et al. (1995): *Incidence of plastic in seabirds from the Tropical Pacific, 1984–1991: relation with distribution of species, sex, age, season, year and body weight. Marine Environmental Research, 40(2), 123–146*
- [6] Carpenter, E. J. et al. (1972): *Polystyrene spherules in coastal waters. Science, 178(4062), 749–750*
- [7] Mato, Y. et al. (2001): *Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. Environmental science & technology, 35(2), 318–324*
- [8] Farrell, P.; Nelson, K. (2013): *Trophic level transfer of microplastic: Mytilus edulis (L.) to Carcinus maenas (L.). Environmental Pollution, 177, 1–3*
- [9] Fossi, M. C. et al. (2012): *Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (Balaenoptera physalus). Marine Pollution Bulletin, 64(11), 2374–2379*
- [10] Oliveira, M. et al. (2012): *Effects of exposure to microplastics and PAHs on microalgae Rhodomonas baltica and Tetraselmis chuii. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 163, S19–S20*
- [11] Fendall, L. S.; Sewell, M. A. (2009): *Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. Marine Pollution Bulletin, 58(8), 1225–1228*
- [12] Eriksen, M. et al. (2013): *Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. Marine Pollution Bulletin 77, 177–182*
- [13] Holm, P. et al. (2013): *Mikroplastik – ein unsichtbarer Störenfried. Biologie in unserer Zeit, 43(1), 27–33*
- [14] Gregory, M. R. (1996): *Plastic «scrubbers» in hand cleansers: a further (and minor) source for marine pollution identified. Marine Pollution Bulletin, 32(12), 867–871*
- [15] Essel, R. et al. (2015): *Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz in Deutschland. Umweltbundesamt*
- [16] Browne, M. A. et al. (2011): *Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. Environmental science & technology, 45(21), 9175–9179*
- [17] Dris, R. et al. (2015): *Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. Environmental Chemistry*
- [18] HELCOM (2014): *BASE project 2012–2014: Preliminary study on synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment plant, Helsinki Region Environmental Services HSY, State Unitary Enterprise «Vodokanal of St. Petersburg», Russland*
- [19] Magnusson, K.; Norén, F. (2014): *Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant*
- [20] Mintenig, S. et al. (2014): *Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen. Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum*

> SUITE DU RÉSUMÉ

installations étudiées (avec et sans filtration) rejettent quelque 18 milliards de MPT dans l'environnement. Extrapolé sur les 64 STEP zurichoises (> 2000 équivalents habitants), il reste au quotidien pas moins de 31 milliards de MPT et ce, malgré l'élimination totale de près de 90%. Exprimé en poids et en surface, cela représente 600 grammes de plastique, couvrant une surface de 180 m², qui sont déversés chaque jour dans les eaux du canton de Zurich. Par comparaison, le lac de Zurich, le lac de Greifen et le lac de Pfäffikon contiennent jusqu'à 9000 milliards de MPT (165 kg et 4,7 hectares); chaque jour, la Limmat charrie environ 30 milliards de MPT. La proportion de MP dans les eaux de surface n'est que de 0,01% des particules. Etant donné la longueur du séjour des MP dans les eaux, il faudrait limiter autant que possible leur pénétration dans les cours d'eau via les STEP. Comme le montre cette étude, les mesures prises dans les STEP sont limitées. En ajoutant à toutes les STEP de Zurich un nouvel équipement de filtration, la quantité de MP transportée quotidiennement serait réduite de 23% supplémentaires, mais la charge de travail nécessaire serait excessivement élevée. Il serait plus judicieux de prendre des mesures à la source. Il faudrait notamment renoncer à employer les MP dans la cosmétique et empêcher que les lave-linge et les processus industriels ne libèrent des fibres plastiques.

für Polar- und Meeresforschung (AWI), Biologische Anstalt Helgoland

- [21] Leslie, H. A. et al. (2013): Microplastic survey of the Dutch environment. Novel data set of microplastics in North Sea sediments, treated wastewater effluents and marine biota
- [22] Faure, F.; de Alencastro, F. (2014): Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. Bericht für das Bundesamt für Umwelt
- [23] Mani, T. et al. (2015): Microplastics profile along the Rhine River. Scientific reports, 5
- [24] Urgert, W. (2015): Microplastics in the rivers Meuse and Rhine
- [25] Lechner, A. et al. (2014): The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. Environmental pollution, 188, 177–181
- [26] Moore, C. J. et al. (2005): Working our way upstream: a snapshot of land based contributions of plastic and other trash to coastal waters and beaches of Southern California. In Proceedings of the Plastic Debris Rivers to Sea Conference, Algalita Marine Research Foundation, Long Beach, CA
- [27] Niederhauser, P. et al. (2006): Wasserqualität der Seen, Fließgewässer und des Grundwassers im Kanton Zürich. Statusbericht 2006. Baudirektion Kanton Zürich, AWEL
- [28] Hidalgo-Ruz, V. et al. (2012): Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. Environmental Science & Technology 46, 3060–3075
- [29] Eriksson, C.; Burton, H. (2003): Origins and biological accumulation of small plastic particles in fur seals from Macquarie Island. AMBIO: A Journal of the Human Environment, 32(6), 380–384

Betriebs- und Produkthaftpflicht

Attraktive Branchenlösung für Gas- Wasser und Fernwärmeversorgungen

Aon Schweiz AG
Vulkanstrasse 106, PF 1893
8048 Zürich

Rolf Eberli
Tel. +41 58 266 82 79
E-Mail: rolf.eberli@aon.ch

