

Mikroplastik in Klärschlämmen



MIKROPLASTIK IN KLÄRSCHLÄMMEN

Ergänzende Studie

Helene Walch

REPORT
REP-0827

WIEN 2022

Projektleitung Helene Walch

Projektteam Sebastian Köppel, Ievgeniia Lomako, Evelin El Said, Maria Uhl

Autorin Helene Walch

Lektorat Ira Mollay

Layout Doris Weismayr

Umschlagfoto © Umweltbundesamt/B. Gröger

Auftraggeber Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Dank an die Betreiber:innen und das Personal der Abwasserreinigungsanlagen für die Teilnahme am Projekt und die Durchführung der Probenahme sowie das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie für die Finanzierung des Projekts.

Publikationen Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter:
<https://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <https://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2022

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-653-1

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----------|
| ZUSAMMENFASSUNG | 4 |
| SUMMARY | 6 |
| 1 EINLEITUNG | 8 |
| 2 METHODEN | 9 |
| 2.1 Auswahl der Kläranlagen und Probenahme | 9 |
| 2.2 Mikroplastik-Analytik | 9 |
| 2.2.1 Probenvorbereitung | 9 |
| 2.2.2 Mikroplastik-Quantifizierung | 10 |
| 2.2.3 Quantifizierung Reifenabrieb | 10 |
| 2.3 Herkunftsanalyse Polyurethan | 11 |
| 2.3.1 Recherchen | 11 |
| 2.3.2 Vergleichsmaterial-Analytik | 11 |
| 2.3.3 Versuch: Abrieb Topfchwamm | 11 |
| 3 ERGEBNISSE | 12 |
| 3.1 Vergleich der Mikroplastik-Konzentrationen | 12 |
| 3.2 Kunststoffarten | 17 |
| 3.3 Partikelformen | 19 |
| 3.4 Reifenabrieb | 20 |
| 3.5 Polyurethan Herkunftsanalyse | 21 |
| 3.5.1 PU Anwendungen und Markt | 22 |
| 3.5.2 Vergleichsmaterial-Analytik | 23 |
| 3.5.3 Versuch: Abrieb Topfchwamm | 26 |
| 4 ABKÜRZUNGEN | 27 |
| 5 LITERATUR | 28 |
| 6 ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 31 |

ZUSAMMENFASSUNG

Mikroplastik gelangt über Abwässer aus Industrie oder Haushalten sowie aus Oberflächenabläufen in die Kläranlagen. Dort wird es mit hoher Effizienz von meist über 80 % abgeschieden. Ein Großteil des Mikroplastiks landet im Klärschlamm, welcher zum Teil als Düngemittel auf Böden aufgebracht wird. Somit ist Klärschlamm ein Eintragspfad für Mikroplastik in Böden.

Ziel des vorliegenden Projektes war es, die Mikroplastik-Belastungen in Klärschlämmen, welche bei einer ersten Erhebung 2020 bei 35 Kläranlagen österreichweit erhoben wurden, auf Konsistenz zu prüfen. Dafür wurde bei 20 Kläranlagen 2021/22 eine erneute Beprobung durchgeführt. Es wurde auf eine möglichst breite Repräsentation verschiedener Anlagenparameter der ursprünglich beprobten Anlagen geachtet. Probenahme und Analytik wurden ident zur ersten Erhebung durchgeführt. Außerdem sollte dem auffallend hohen Anteil an Polyurethan (PU), welches bei der ersten Erhebung den dominanten Kunststofftyp darstellte, auf den Grund gegangen werden. Hierfür wurde nebst Recherchearbeiten eine umfassende Analytik verschiedener Vergleichsmaterialien durchgeführt.

Im Vergleich zur ersten Beprobung haben sich der Median und der Mittelwert der Mikroplastik-Anzahlkonzentration in etwa verdoppelt. Dies ergibt sich größtenteils aus einem sehr starken Anstieg in manchen Kläranlagen. In neun Anlagen haben sich die Werte mehr als verdoppelt; diese Anlagen werden meist von einem Mischkanalsystem gespeist und sind überwiegend städtisch geprägt. Da die Niederschläge in den vermeintlich relevanten Zeiträumen der aktuellen Beprobung erhöht waren, könnten niederschlagsbedingte Mikroplastikeinträge einen signifikanten Beitrag zum Anstieg geleistet haben. Zur Bestätigung wären aber genauere Informationen zu Durchlaufzeiten der Abwässer nötig. Weitere Ursachen können bei einzelnen Anlagen in industriellen oder tourismusbedingten Einflüssen liegen. Anlagen mit geringerer Zunahme (kleiner Faktor 2) oder Abnahme sind hingegen meist ländlich geprägt, werden meist über ein Trennkanalsystem gespeist und weisen überwiegend Einwohnerwerte <40.000 auf.

Zu beiden Probenahmezeitpunkten fanden sich mehr als 94 % des Mikroplastiks in der Fraktion 0,05–1 mm. Die Form-Zusammensetzung wurde in der größeren Fraktion (1–5 mm) bestimmt und ist konsistent zur Ersterhebung: Fasern und Fragmente dominieren, gefolgt von Folien. Auch die Kunststoffzusammensetzung (Fraktion 0,05–1 mm) war ähnlich zur Ersterhebung: Polyurethan (PU) dominiert, gefolgt von hohen Anteilen an Polyethylenterephthalat (PET) und Polypropylen (PP) sowie Polyethylen (PE) und Polystyrol (PS). Der generelle Anstieg der Mikroplastik-Konzentration spiegelte sich in den einzelnen Kunststoffarten wider: Mit Ausnahme von Polyamid (PA) haben alle Kunststoffe zugenommen. Die stärksten absoluten Anstiege verzeichneten PE > PS > PP > PU > PET; aber auch Polyvinylchlorid (PVC) nahm in zehn Anlagen um mehr als 20 % zu. Die Zunahmen von PE, PS und PP (43–65 %) konnten insbesondere auf zwei Anlagen zurückgeführt werden; Zunahmen bei PU, PET und PVC verteilten sich gleichmäßiger auf viele Anlagen. Generell variieren PET-, PS-, PU- und PP-Konzentrationen in den Anlagen in enger Korrelation mit der

Mikroplastik-Gesamtanzahl. PE und PVC hingegen haben in vielen Anlagen überproportional zugenommen. Da PVC und PE die im medizinischen Bereich am meisten eingesetzten Kunststoffe sind, könnten Anstiege eventuell auf einen erhöhten Verbrauch während der Pandemie zurückzuführen sein. Bei PE ist jedoch auch eine erhöhte Identifizierungsquote nicht ausgeschlossen.

Reifenabrieb wurde in Klärschlämmen von fünf Anlagen zu beiden Probenahmezeitpunkten durch ein Auftragslabor massenbasiert quantifiziert (mittels Pyrolyse-GC-MS). In Übereinstimmung mit Perioden von geringen Niederschlägen wurde in Klärschlämmen aus Mischkanalanlagen im Vergleich zur Ersterhebung weniger Reifenabrieb detektiert. Zwei Anlagen mit (überwiegend) Trennkanalsystem wiesen hingegen relativ konstante Konzentrationen auf.

Zu beiden Probenahmezeitpunkten stellte PU den dominanten Kunststofftyp in >70 % der Klärschlammproben dar. Die Eigenschaften von PU können stark variiert werden, weshalb es einen sehr vielseitigen Kunststoff darstellt. Einsatzformen umfassen Schaumstoffe, Formmassen, Gießharze, elastische Faserstoffe, Lacke, Beschichtungen und Klebstoffe. Die Hauptanwendungsgebiete sind Bau- und Automobilindustrie, Möbel/Betten, Maschinenbau, Geräte, Verpackungen, Textil und Bekleidung, Elektronik sowie Schuhe. Schäume dominieren den Markt, gefolgt von Beschichtungen, Elastomeren, Kleb- und Dichtstoffen. Von Vergleichsmaterialien und Produkten möglichst diverser Anwendungsbereiche wurden mittels Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FTIR) gesamt 68 PU-Spektren aufgenommen und zu fünf PU-Typen gruppiert. Eine erneute Auswertung dreier Klärschlammproben ergab, dass vor allem die Typen „Bauschaum“, „Beschichtungen/Prints“ und „Schaumstoffe“ zu finden waren; „Gummiartige“ und „Schaumgummiartige“ PU-Typen waren selten.

Beschichtungen und Prints, Bau-/Montageschäume, Schwämme/Schaumstoffe reiben sich eher ab oder fragmentieren und tragen somit stärker zum Eintrag ins Abwasser bei als festeres gummi- bis schaumgummiartiges PU, wie es z. B. als Dämmmaterial, in Maschinenbau und Logistik oder in Schuhen zum Einsatz kommt. Fragmentierung von fragilen Schaum-Strukturen ist vermutlich auch ein Grund für die hohen Anzahl-Konzentrationen; dies wurde durch einen Abwaschversuch mit einem PU-Topfchwamm demonstriert.

In den Einzugsgebieten der Anlagen mit den höchsten PU-Konzentrationen finden sich industrielle Einleiter, die mit PU in Verbindung gebracht werden können. Jedoch dominiert PU auch in kleinen kommunal geprägten Anlagen. Haushaltsabwässer können also signifikante Mengen PU in die Kläranlagen eintragen, etwa durch das Waschen von Textilien (Beschichtungen, Logo-Prints, Elasthanfasern enthalten PU); Dusch-, Putz- und Abwaschabwässer (Topf- bzw. Duschschwämme aus PU, Reibkörper in Handwaschpasten, Bodenpolituren etc.); oder Bauarbeiten (PU-Montageschäume, Dämmplatten etc.).

SUMMARY

Wastewater treatment plants receive microplastics through wastewaters from industry and households (separate sewer system) or additionally through surface-runoff (combined sewer system). During wastewater treatment, particles are efficiently reduced by more than 80 % up to almost complete removal, which means they concentrate in sewage sludge. Some sewage sludge is still applied to soils for fertilization and can constitute a pathway of microplastics into soils.

The aim of this project was to check whether microplastic loads in sewage sludge are consistent over time. For that, a second sampling campaign was carried out in 20 out of 35 wastewater treatment plants all over Austria, which were already assessed in 2020. The selection aimed at representing the broad spectrum of plant parameters covered by the original sample. Sampling and analytical procedures, employing Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), were identical to the first sampling campaign. Additionally, the origins of polyurethane (PU), which was the dominant plastic type during the first assessment, should be investigated. This involved a literature and general web research as well as analysing a plethora of reference materials and products.

Both, median and mean microplastic number-concentrations have approximately doubled as compared to the first sampling campaign, which largely results from a high increase in several plants. In nine plants the values more than doubled; these plants are mostly fed by combined sewer systems that drain mainly urban areas. Since precipitation during supposedly relevant periods was higher for the second sampling campaign, surface-runoff may have contributed significant amounts of microplastics. To confirm that, details on retention times in different plants would be required. Additional causes in individual plants can be impacts of industry or tourism. Plants which exhibited a lower increase (< factor 2) or a decrease in microplastics concentrations mainly drain rural areas with separate sewer systems and mostly exhibit population equivalents < 40,000.

For both sampling campaigns, more than 94 % of the microplastics were in the size-range 0.05–1 mm. Shapes, which were determined in the larger fraction (1–5 mm), were consistently dominated by fibres and fragments, followed by foils. The composition of plastics (fraction 0.05–1 mm) was also similar between the sampling campaigns: polyurethane (PU) dominated, followed by high fractions of polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP), as well as polyethylene (PE) and polystyrene (PS). An increase of all plastic types (except polyamide) reflects the total increase of microplastics. The absolute increase was highest for PE > PS > PP > PU > PET. Despite much lower absolute numbers, polyvinylchloride (PVC) as well increased by more than 20 % in ten plants. Two plants caused major fractions (43–65 %) of the increase in PE, PS and PP numbers, while the contributions to increased PU, PET and PVC numbers were more evenly distributed among plants. Generally, the PET, PS, PU and PP concentrations varied in close correlation with the total microplastics concentrations in the plants, but PE and PVC exhibited disproportionate

increases. The latter are the major plastic types used for medical purposes, which might indicate an impact of the pandemic. Besides, in the case of PE, an increased identification due to gained analytical experience cannot be excluded.

Tyre wear was analysed in sludge from five plants at both sampling occasions and quantified based on mass (employing Pyrolysis-GC-MS) by a contract laboratory. In accordance with little or no precipitation, combined sewer systems exhibited lower concentrations as compared to the first sampling campaign. The two plants with (mainly) separate sewers exhibited rather constant concentrations.

At both sampling times, PU constituted the dominant plastic type in >70 % of the sludge samples. The properties of PU can be variably engineered, making it a versatile material. Use cases include foams, moulding materials, cast resins, elastic fibres, varnishes, coatings and adhesives; they find major applications in construction and automotive industries, furniture/beds, machinery, appliances, packaging, textiles and clothing, electronics and shoes. Foams dominate the market, followed by coatings, elastomers, adhesives and sealants. 68 PU-spectra from a wide selection of reference materials and products were collected and grouped into five PU-types. Re-evaluating three sludge samples employing these types revealed a dominance of three types: “spray foam”, “coatings/prints”, “flexible foams”. “Rubber-like” and “foam rubber” materials were rare.

Coatings and prints, spray foams, sponges and flexible foams are more easily abraded or fragmented and therefore more prone to be emitted, while rubber-like or foam rubber materials as used for example in machinery, logistics, or shoes, are more solid. Fragmentation of fragile foam structures is probably one reason for high PU-numbers, and was also demonstrated through a dishwashing experiment employing a PU kitchen sponge.

The wastewater treatment plants exhibiting the highest PU-concentrations receive emissions from companies that can be associated with PU. However, PU also dominates in small plants that mainly receive domestic sewage. Households can as well emit significant amounts of PU into wastewaters, e. g. by doing the laundry (textile coatings, logo-prints, elastane fibres contain PU); through showering, cleaning, dishwashing (kitchen and shower sponges or cleaning cloth made of PU, hand cleansers or floor polish may contain PU etc.); or construction works (employing spray foams, PU-based insulation panels, etc.)

1 EINLEITUNG

Mikroplastik im Klärschlamm

Die allgegenwärtige Verwendung von Kunststoffen führt unweigerlich zu Einträgen von Mikroplastik ins Abwasser. Je nach Kanalsystem sind Kunststoffeinträge durch gewerbliche und industrielle Einleiter sowie Haushalte gegeben (Trennkanalnetz) oder zusätzlich durch niederschlagsbedingte Oberflächenabläufe (Mischkanalnetz). Die Abscheidung von Mikroplastik in Kläranlagen (KA) ist mit meist über 80 % der Partikelanzahl bis hin zu beinahe vollständiger Entfernung sehr effizient (Bertling, Bertling und Hamann, 2018, Cristaldi et al., 2020). Ein Großteil des Mikroplastiks findet sich daher im Klärschlamm wieder. Ein Einsatz von Klärschlamm als Düngemittel führt in Folge zum Eintrag von Mikroplastikpartikel in den Boden. Die restlichen Partikel im Kläranlagenablauf werden in Gewässer eingetragen.

Projektziele

Im Rahmen des Projekts Mikroplastik in Klärschlämmen (Sexlinger et al., 2021) wurden 2020 erstmals 35 Klärschlämme untersucht, um eine erste, österreichweite Übersicht über das Aufkommen von Mikroplastik in Klärschlämmen aus unterschiedlichen Abwasserreinigungsanlagen zu erhalten.

In der vorliegenden Erweiterung wurde bei 20 Kläranlagen eine erneute Probenahme und Analytik auf Mikroplastik durchgeführt. Ziel war es zu untersuchen, ob die Mikroplastik-Konzentrationen und deren Zusammensetzung in Bezug auf Kunststoffarten in einem ähnlichen Bereich wie die Erststudie liegen, und damit eine Datengrundlage für Handlungsoptionen zur Reduktion von Mikroplastik in Klärschlämmen zu schaffen.

Da die Ergebnisse des Hauptprojektes einen auffallend hohen Anteil an Polyurethan in den Klärschlämmen zeigten, sollte außerdem festgestellt werden, ob sich diese Belastung bestätigt und die Quellen identifiziert werden können. Neben einer Recherche zur Verwendung von Polyurethan und den möglichen Eintragsquellen ins Abwasser sowie Recherchen zu Betrieben im Einzugsgebiet stark und kaum belasteter KA wurden auch verschiedenste Polyurethanbasierte Vergleichsmaterialien mit dem Ziel analysiert, Rückschlüsse auf die Eintragsquellen zu ziehen.

Die Probenahmen wurden ident zur Ersterhebung von qualifiziertem Betriebspersonal der Kläranlagen nach der vom Umweltbundesamt im Hauptprojekt erstellten Probenahmeanleitung durchgeführt und die Klärschlammproben im Umweltbundesamt auf Mikroplastik analysiert. Neben der Quantifizierung von Mikroplastik in den Größenbereichen 0,05–1 mm und 1–5 mm wurde die Kunststoffzusammensetzung hinsichtlich zehn gängiger Kunststoffarten bestimmt. In der größeren Fraktion wurde auch die Form der Partikel visuell charakterisiert. In fünf ausgewählten Proben wurde auch Reifenabrieb untersucht, der durch Straßenabläufe insbesondere in Mischkanalisationen zu erwarten ist.

2 METHODEN

2.1 Auswahl der Kläranlagen und Probenahme

***breites
Kläranlagenspektrum
aller Bundesländer***

Im Zuge des Erweiterungsprojektes wurden 20 der 35 im Hauptprojekt beprobten Kläranlagen erneut beprobt. Die Auswahl dieser Anlagen zielte auf eine möglichst breite Repräsentation der ursprünglichen Stichprobe ab. Es wurden Anlagen aus allen Bundesländern, mit einer hohen Bandbreite an Einwohnerwerten, mit städtischen und ländlichen Einzugsgebieten, mit Trenn- sowie Mischkanalsystemen und mit unterschiedlicher Schlammbehandlung (mit und ohne Faulung, diverse Entwässerungstechniken, Zuschlagstoffe) ausgewählt. Zusätzlich wurde darauf geachtet, fünf der zehn Kläranlagen zu inkludieren, bei welchen bei der ersten Beprobung auch Reifenabrieb im Klärschlamm gemessen wurde.

***Proben repräsentieren
40 t Klärschlamm-
Trockensubstanz***

Die Probenahme wurde im Zeitraum Dezember 2021 bis April 2022 vom Betriebspersonal der Kläranlagen durchgeführt. Es wurde ident zur ersten Erhebung nach der im Hauptprojekt erstellten Probenahmeanleitung vorgegangen (Liebmann und Sexlinger, 2020): Je nach anfallender Klärschlammmenge in den Anlagen wurden Inkremente (Teilproben) über ein oder zwei Wochen zu einer Mischprobe von ca. 1 kg kombiniert, sodass die genommenen Proben ca. 40 t⁻¹ Klärschlamm-Trockenmasse (TM) repräsentieren. Probeninkremente sollten im vorgegebenen Zeitraum an fünf Tagen dreimal täglich direkt nach der Entwässerung genommen werden. Es wurden Probenahmegeräte aus Glas oder Metall verwendet und am Umweltbundesamt vorgeereinigte Probengebinde aus Glas. Um Kontaminationen vorzubeugen, wurden die Probenehmer angewiesen, auf das Tragen von synthetischer Kleidung zu verzichten und auf potenzielle andere Kontaminationsquellen zu achten.

2.2 Mikroplastik-Analytik

Auch die Probenvorbereitung und Analytik wurde ident zum Hauptprojekt durchgeführt (Liebmann und Sexlinger, 2020) und wird nachfolgend kurz beschrieben.

2.2.1 Probenvorbereitung

***physikalisch-
chemische Extraktion
von Mikroplastik***

Die Proben wurden mit einer Sanitärflüssigkeit verflüssigt und homogenisiert; für die weitere Aufbereitung wurde Probenmaterial aus verschiedenen Tiefen des jeweiligen Gebindes eingewogen. Zum Entfernen der Klärschlammmatrix

¹ 40 t entsprechen dem Median der wöchentlich anfallenden Klärschlammmenge der 35 Kläranlagen im Hauptprojekt.

wurden mehrere chemisch-selektive Behandlungsschritte durchgeführt. Diese umfassten die Behandlung mit Wasserstoffperoxid (Entfernung leicht oxidierbarer Organik), Natronlauge (Entfettung), Salzsäure (Entfernung von Karbonaten) und Imidazolium-basierter ionischer Flüssigkeit (Lösen von Zellulose). Durch Siebung wurden zwei Größenfraktionen (0,05–1 mm und 1–5 mm) gewonnen. Die kleinere Fraktion wurde zur Extraktion der Mikroplastikpartikel einer Dichtentrennung mit Rizinusöl im Scheidetrichter unterzogen, die Probe zentrifugiert und danach abfiltriert. Letztlich wurde das aufgereinigte Probenmaterial für die Analytik auf einen Aluminiumoxid-Membranfilter aufgebracht und getrocknet. Alle Probenvorbereitungsschritte wurden unter Reinraumbedingungen durchgeführt.

2.2.2 Mikroplastik-Quantifizierung

zehn Kunststoffe mittels FTIR-Spektroskopie quantifiziert

Die Analytik erfolgte mittels Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FTIR): für die kleinere Größenfraktion (0,05–1 mm) auf den Aluminiumoxid-Filtern im Transmissions-Imaging Modus; für die größere Fraktion (1–5 mm) mittels abgeschwächter Totalreflexion (ATR) an Einzelpartikeln. In der kleineren Fraktion wurden die zehn gängigsten Kunststoffarten analysiert: Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyethylenterephthalat (PET), Polyurethan (PU), Polyvinylchlorid (PVC), Polyamid (PA), Polycarbonat (PC), Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polyoxymethylen (POM). Die Auswahl der zu analysierenden Einzelpartikel aus der größeren Fraktion (1–5 mm) erfolgte durch visuelle Identifikation potenzieller Kunststoffpartikel, wobei auch Formkategorien (Pellet, Fragment, Faser, Folie, Schaum) zugewiesen wurden. Mittels ATR-FTIR (ohne Einschränkung der Kunststoffarten) als Kunststoff bestätigte Partikel wurden zusätzlich gewogen.

Die Bestimmungsgrenze der Quantifizierung ergab sich aus der kleinsten bestimmbar Anzahl (d. h. ein Stück) von Mikroplastikteilchen im mittels FTIR analysierten Aliquot jeder Klärschlammprobe (3,5–10 g TM). Parallel zu den Proben wurde ein Verfahrensblindwert mitgeführt, um Kontaminationen auszuschließen.

2.2.3 Quantifizierung Reifenabrieb

Reifenabrieb mittels Pyrolyse-GC-MS

Im Rahmen des Hauptprojekts wurde in allen Klärschlammproben Reifenabrieb im Screening-Verfahren mittels FTIR-ATR-Imaging nachgewiesen. Für Proben von zehn Kläranlagen wurde die Massenkonzentration des Hauptpolymers im Reifen (Styrol-Butadien-Kautschuk, SBR) durch ein Auftragslabor mittels Pyrolyse-GC-MS ermittelt. Klärschlämme von fünf dieser Anlagen wurden im Rahmen der erneuten Beprobung vom selben Labor auf SBR untersucht.

2.3 Herkunftsanalyse Polyurethan

2.3.1 Recherchen

Recherchen zum Vorkommen von PU in Klärschlämmen und zu den Einsatzgebieten von PU umfassten einerseits wissenschaftliche Literaturquellen und andererseits Web-Recherchen zu PU-Herstellern, Produkten, die PU enthalten, und Anwendungsbereichen. Für Kläranlagen, die bei der ersten Beprobung sehr hohe PU-Werte aufwiesen, und solche mit sehr niedrigen PU-Werten wurde auch gezielt in den Einzugsgebieten nach potenziellen gewerblichen und industriellen Einleitern gesucht.

2.3.2 Vergleichsmaterial-Analytik

Analyse von 84 Vergleichsmaterialien

Auf Basis der Recherchen zum Einsatz von PU wurden Produkte und Materialmuster als Vergleichsmaterialien für die Analytik beschafft (gekauft oder von Herstellern und Verarbeitern erbeten). Insgesamt wurden 84 Proben mittels FTIR-ATR analysiert. Die gewonnenen IR-Spektren wurden nach Ähnlichkeit gruppiert, um verschiedene PU-Typen analytisch unterscheiden zu können. Für drei Klärschlammproben wurde PU auf diese Typen hin genauer ausgewertet.

2.3.3 Versuch: Abrieb Topfschwamm

diffuser Eintrag durch Fragmentierung bzw. Abrieb

Ein Demo-Versuch zum diffusen Eintrag von PU in Klärschlämme wurde wie folgt durchgeführt: Mit einem gebrauchten Topfschwamm (Abbildung 12), dessen raue und weiche Seite nachweislich aus PU bestehen, wurden drei Porzellanteller, Edelstahlbesteck (drei Gabeln, drei Löffel, drei Messer) sowie zwei Wassergläser (mit unebener Oberfläche) gereinigt. Dafür wurde ein mit filtriertem (<math><34 \mu\text{m}</math>) Reinstwasser vorgereinigter Metallbehälter mit warmem Leitungswasser befüllt und etwas Geschirrspülmittel zugegeben. Abgewaschen wurde händisch, ohne Handschuhe, mit einer Intensität, die starke Verschmutzung des Geschirrs simulieren sollte. Das Geschirr wurde mit Leitungswasser nachgespült, das gesamte Abwaschwasser (5,5 L) über ein 50 μm Metallsieb gegossen und die Rückstände mittels FTIR auf die beiden PU-Materialien des Schwammes (raue und weiche Seite) untersucht.

3 ERGEBNISSE

3.1 Vergleich der Mikroplastik-Konzentrationen

Mittel und Median verdoppelt

Im Jahr 2022 reicht die Gesamtanzahl der Mikroplastikpartikel (0,05–5 mm) in den Proben der 20 Kläranlagen (KA) von rund 13.000 bis 1.300.000 Stk/kg TM. Mit einem Median von 105.630 Stk/kg TM hat sich die Anzahl-Konzentration im Vergleich zur ersten Beprobung (Median 53.660 Stk/kg TM) in etwa verdoppelt (Tabelle 1). Dies ergibt sich größtenteils aus dem sehr starken Anstieg der Konzentrationen in manchen Kläranlagen (Abbildung 1).

Tabelle 1: Statistische Kennwerte der Mikroplastikanzahl-Konzentrationen in 20 Klärschlämmen 2022 vs. 2020.

| Jahr | 2022 | | | 2020 | | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| | Größenfraktion [Einheit] | 0,05–1 mm [Stk/kg TM] | 1–5 mm [Stk/kg TM] | gesamt [Stk/kg TM] | 0,05–1 mm [Stk/kg TM] | 1–5 mm [Stk/kg TM] | gesamt [Stk/kg TM] |
| Mittelwert | | 176 388 | 740 | 177 128 | 91 802 | 517 | 92 320 |
| Standardabweichung | | 278 219 | 708 | 278 767 | 136 751 | 545 | 136 758 |
| Median | | 105 630 | 519 | 106 008 | 53 186 | 414 | 53 660 |
| Minimum | | 13 270 | <BG | 13 387 | 2 202 | <BG | 2 339 |
| Maximum | | 1 273 000 | 2 947 | 1 275 947 | 632 852 | 2 347 | 633 414 |
| 1. Quartil | | 53 740 | 296 | 54 483 | 38 589 | 208 | 39 288 |
| 3. Quartil | | 148 968 | 994 | 149 846 | 75 663 | 640 | 76 158 |

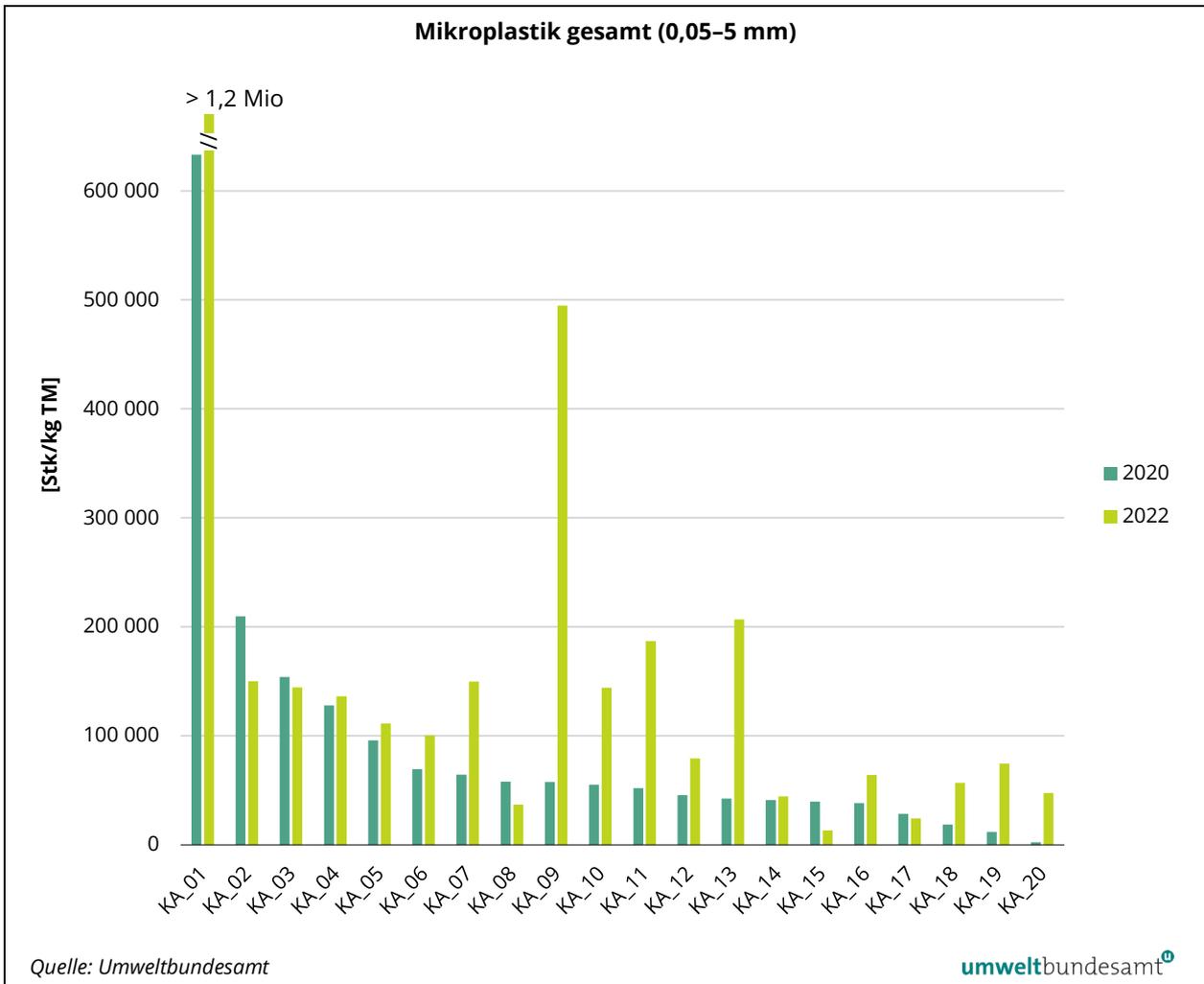
über 94 % in der kleineren Fraktion 0,05–1 mm

In beiden Jahren findet sich der Großteil (über 94 %) der Partikel in der kleineren Fraktion von 0,05–1 mm. Dies erklärt sich einerseits dadurch, dass rein rechnerisch im Zuge des Zerfalls eines Plastikstückes zu Teilchen der Größe von einem Zehntel der Ursprungsgröße die Anzahl-Konzentration mit einer Potenz von 3, also um den Faktor 1000, steigen müsste. Andererseits kann das Abscheiden von größeren Partikeln im Sandfang zu geringen Konzentrationen in der Fraktion 1–5 mm beitragen.

konstante Konzentrationen in vielen KA, hohe Anstiege in anderen

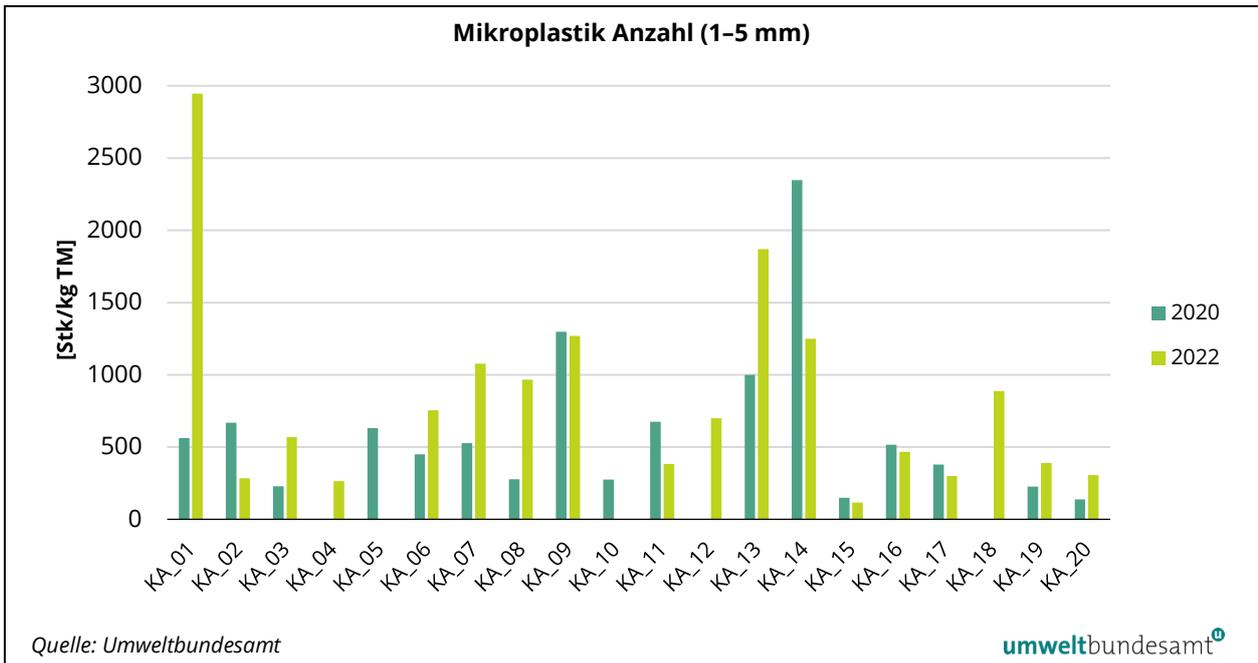
Im Vergleich der einzelnen Kläranlagen (Abbildung 1) ist ersichtlich, dass die Klärschlämme vieler Anlagen recht konstante Mikroplastik-Gesamtanzahl-Konzentrationen aufweisen. Hohe absolute Anstiege verzeichnen vor allem die KA 1, 9, 13 und 11, aber auch 7 und 10. Da die Gesamtanzahl bei allen KA zu über 94 % aus der kleineren Fraktion (0,05 1 mm) besteht, ergibt sich für diese das gleiche Bild.

Abbildung 1: Mikroplastik-Gesamtanzahl-Konzentrationen in Klärschlämmen der Jahre 2020 und 2022.



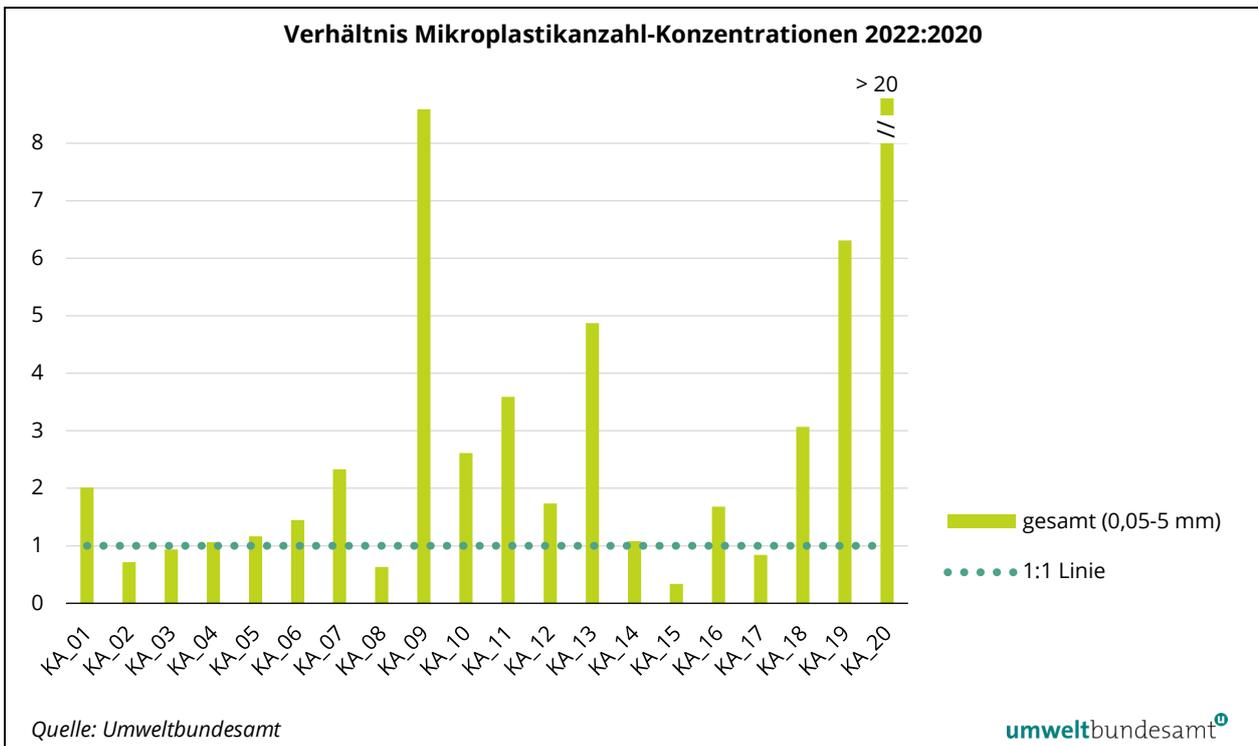
Auch die Mikroplastikanzahlen in der größeren Fraktion (Abbildung 2) sind, trotz der viel geringeren Konzentrationen, zwischen den Jahren gut vergleichbar. Einen auffallend hohen Anstieg verzeichnet KA 1 – eine Anlage, deren Abwässer stark von der Kunststoffindustrie geprägt sind. Da die Anzahl-Konzentrationen teils nahe an den Bestimmungsgrenzen (BG) liegen, kommt es auch vor, dass nur in einem Jahr Partikelzahlen >BG gefunden wurden (KA 4, 5, 10, 12, 18).

Abbildung 2: Anzahl-Konzentrationen Mikroplastik 1–5 mm in Klärschlämmen der Jahre 2020 und 2022.



Relativ gesehen (Abbildung 3) waren die Gesamt-Konzentrationen in fünf Kläranlagen (KA 3, 4, 5, 14, 17) sehr konstant (Abweichung $\leq 20\%$), in zwölf Kläranlagen kam es zu einem Anstieg ($>20\%$) und in drei Anlagen (KA 2, 8, 15) ist die Konzentration um $>20\%$ gesunken.

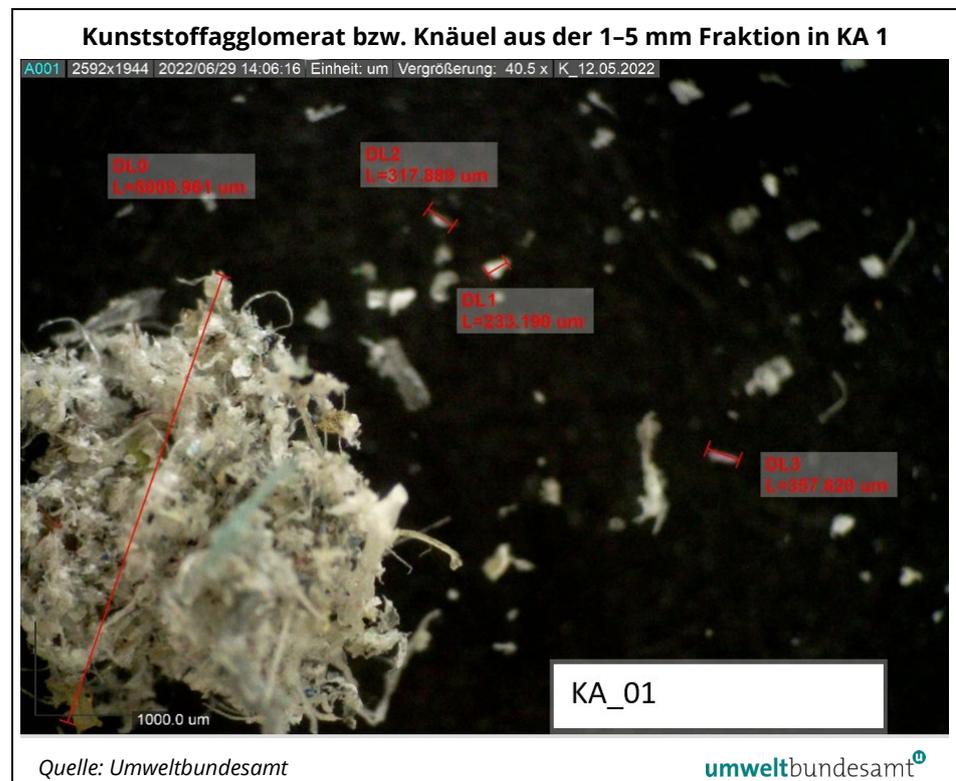
Abbildung 3: Verhältnis der Mikroplastikanzahl-Konzentrationen 2022 zu 2020, je Größenfraktion und gesamt.



**Zunahmen in
industriell und/oder
städtisch geprägten
Anlagen mit
Mischkanalsystem**

Mehr als verdoppelt haben sich die Werte auch in den KA 1, 7, 9, 10, 11, 13, 18, 19 und 20. Bei den meisten dieser Anlagen handelt es sich um städtisch und/oder industriell geprägte Kläranlagen: KA 1 ist stark von Abwässern aus einem Betrieb der Kunststoffindustrie geprägt. Die Partikelzunahme in dieser Anlage in der Fraktion 0,05–1 mm wurde vermutlich noch stark unterschätzt (und liegt eher bei einem Faktor von 7), denn bei der Analytik der Fraktion 1–5 mm wurden viele Agglomerate bzw. Knäuel, die aus vielen kleineren Kunststoffpartikeln bestehen, identifiziert (Abbildung 4.) Die Einzugsgebiete von KA 7, 9, 11, 13 und 18 umfassen je eine Stadt mit einer Bevölkerung von >20.000 Einwohner:innen. Alle diese Kläranlagen werden über ein Mischkanalsystem gespeist, weshalb auch Einträge aus niederschlagsbedingtem Oberflächen-Ablauf eine Rolle spielen können. Vergleiche der Niederschlagssummen im vermeintlich relevanten Zeitraum vor den jeweiligen Probenahmen deuten darauf hin, dass Niederschläge relevante Mikroplastikeinträge liefern. Zur Bestätigung des Zusammenhangs wären jedoch genauere Informationen zu Aufenthalts- bzw. Durchlaufzeiten der Abwässer in den jeweiligen Kläranlagen nötig, um die tatsächlich relevanten Zeiträume genauer zu bestimmen. Bei KA 13 könnte laut Rückfrage auch eine Änderung im Faulprozess zur Lösung von Verzopfungen und vermehrtem Austrag an Mikroplastik mit dem Schlamm beigetragen haben. Bei KA 9 war laut Rückfrage die CSB-Fracht 2022 höher als 2020, jedoch vermag dies nicht den gesamten Anstieg zu erklären.

Abbildung 4:
Agglomerat bzw. Knäuel
aus vielen kleineren
Kunststoffteilchen,
welche häufig in der
Fraktion 1–5 mm der
Klärschlammprobe aus
KA 1 vorkamen.



**Einfluss des
Tourismus?**

Der starke relative Anstieg in den KA 19 und 20 (Abbildung 3) ergibt sich aus deren äußerst niedrigen Konzentrationen bei der ersten Beprobung. Absolut gesehen befinden sich die Konzentrationen auch 2022 im niedrigeren bis

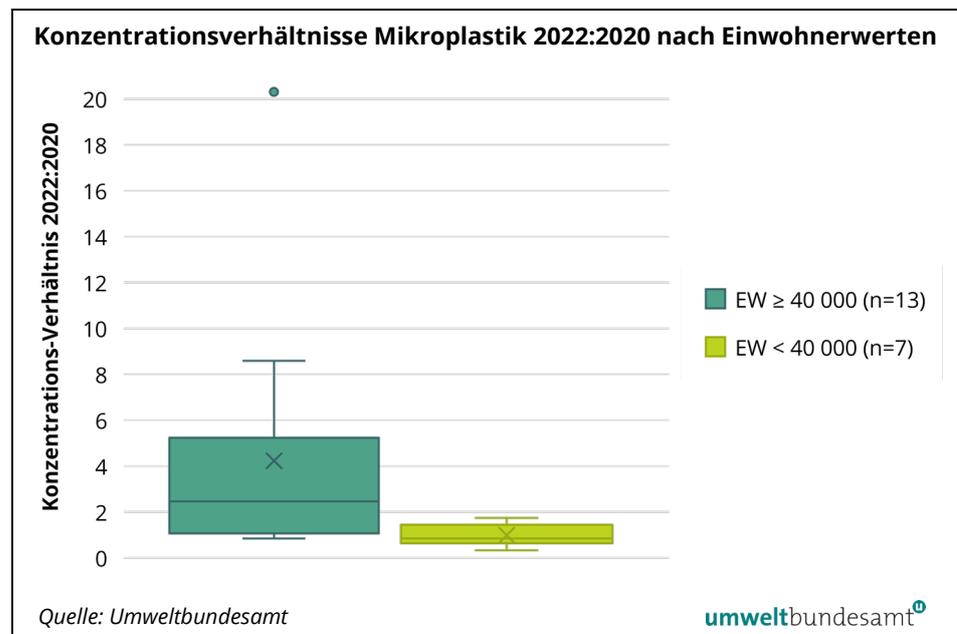
mittleren Bereich (Abbildung 1). Anstiege in der KA 19 könnten eventuell saisonal bedingt sein, da es sich um eine Tourismusregion handelt. Die erste Probenahme im August 2020 wurde bei ca. zehnmal höheren Nächtigungszahlen durchgeführt als die zweite Probenahme im April 2022. Die hohen Nächtigungszahlen könnten bei der Trennkanal-Anlage 2020 zu einer Verdünnung mit relativ unbelasteten Wässern geführt haben. Um generell Schlüsse auf den Einfluss des Tourismus ziehen zu können, wären jedoch Daten mehrerer tourismusgeprägter Anlagen aus verschiedenen Zeiträumen nötig.

Bei KA 20 kann ein Einfluss der Schlammbeschaffenheit auf die Probenvorbereitung nicht ausgeschlossen werden. Feste, sich teils schlecht auflösende Klumpen könnten durch verbleibende Inhomogenität zum Konzentrationsunterschied beigetragen haben. Zudem können auch bei KA 20 höhere Niederschlagssummen 2022 zum Anstieg des Mikroplastiks beigetragen haben, da die Anlage trotz ländlicher Prägung von einem Mischkanalsystem gespeist wird.

konstante bzw. gesunkene Anzahlen in meist ländlich geprägten KA mit EW <40.000 und Trennsystem

Gruppiert man die relativen Änderungen der Mikroplastik-Konzentrationen aus Abbildung 3 nach den Einwohnerwerten (EW) der Kläranlagen, so weisen alle sieben Anlagen mit einem EW <40.000 Mikroplastik-Zunahmen kleiner Faktor 2 bzw. Rückgänge des Mikroplastiks auf. Hingegen verzeichnen neun von 13 Anlagen mit einem EW ≥40.000 Anstiege größer Faktor 2 (Abbildung 5). Die Signifikanz des Unterschiedes wurde mittels t-Test ($p < 0,05$) bestätigt. Die Anlagen mit geringer Zunahme (< Faktor 2) oder Abnahme umfassen vor allem ländlich geprägte Einzugsgebiete und werden überwiegend (fünf von sieben) von einem Trennkanalsystem gespeist, was auch für einen Einfluss von Niederschlagseinträgen bei Mischkanal-Anlagen spricht.

Abbildung 5: Verhältnisse der Mikroplastik-Konzentrationen 2022 zu 2020 gruppiert nach Einwohnerwerten (EW) <40.000 und ≥40.000.

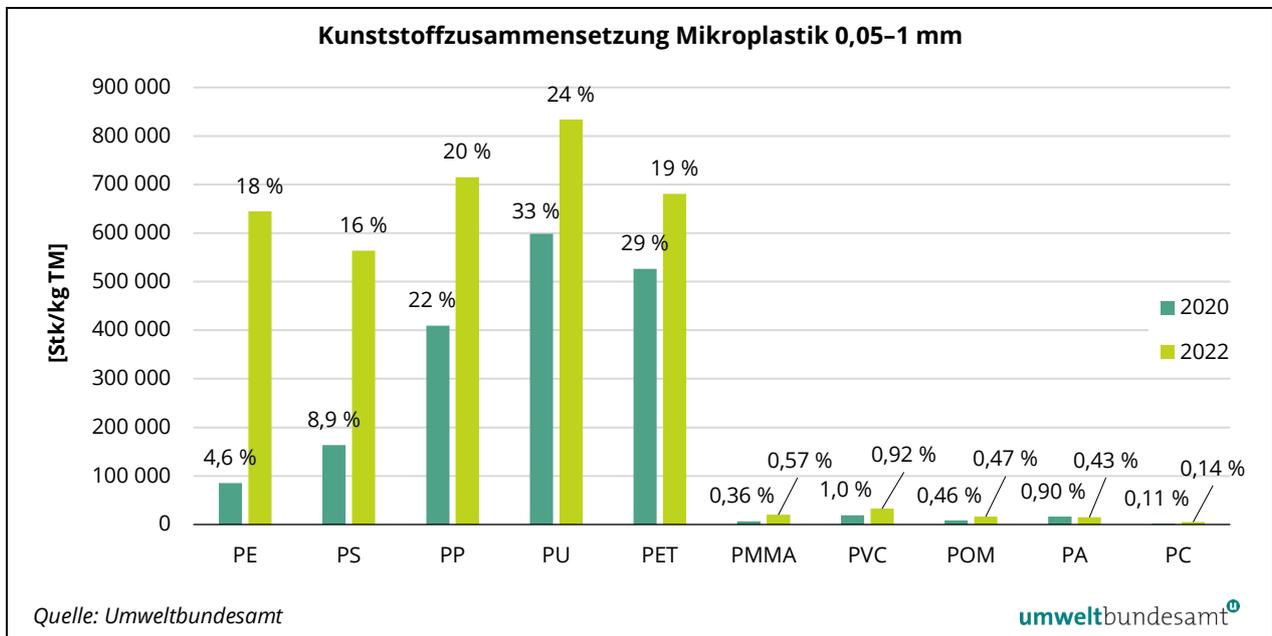


3.2 Kunststoffarten

Zusammensetzung der Kunststoffe konsistent zur ersten Erhebung

Die Zusammensetzung der Mikroplastik-Fraktion 0,05–1 mm 2022 über alle 20 Kläranlagen ist ähnlich zur ersten Beprobung 2020 (Abbildung 6). Es dominiert PU (23,6 %), gefolgt von PP, PET und PE zu fast gleichen Teilen (18,3–20,3 %) sowie PS (16 %). Auch 2020 dominierte PU (32,6 %), gefolgt von PET (28,7 %) und PP (22,3 %). PE und PS waren 2020 mit Anteilen von 4,6 % und 8,9 % jedoch weniger prominent. Die gegenüber 2020 gestiegene absolute Mikroplastikanzahl zeichnet sich auch in den einzelnen Kunststoffarten ab. Mit Ausnahme von PA haben alle Kunststofftypen zugenommen. Die stärksten Zunahmen verzeichnen PE > PS > PP > PU > PET.

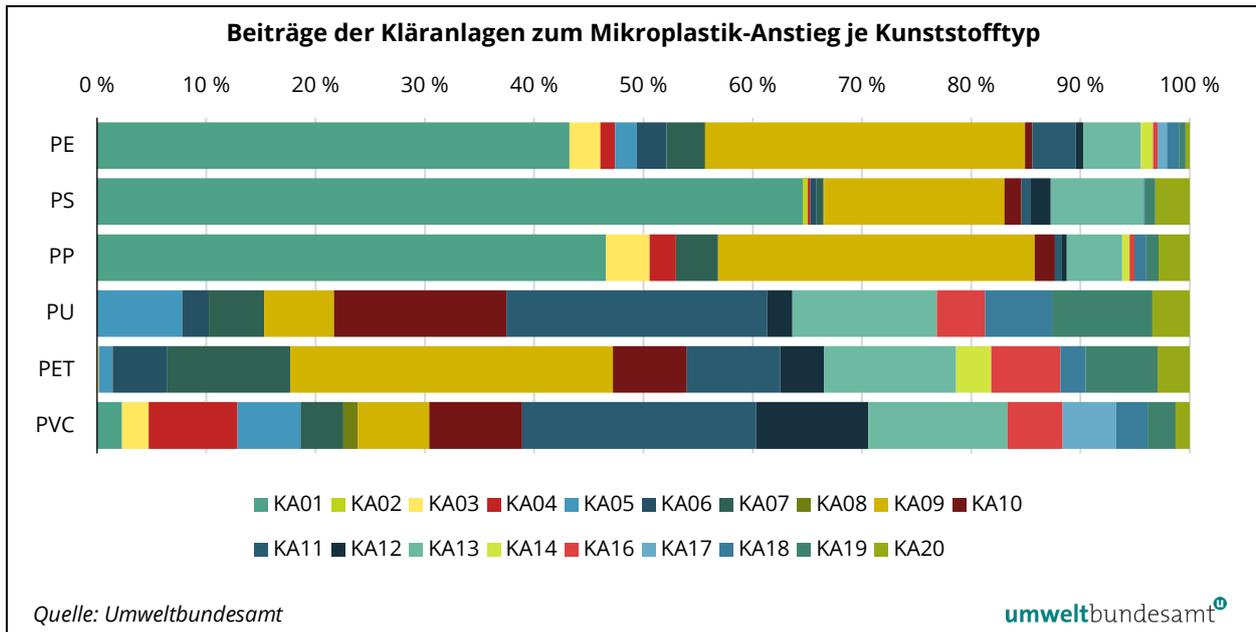
Abbildung 6: Jahresvergleich der Stückzahlen je Kunststofftyp in der Mikroplastik-Fraktion 0,05–1 mm. Datenbeschriftungen geben die prozentuelle Verteilung wieder.



hohe Beiträge weniger Anlagen zum Anstieg bei PE, PS und PP

Ein Blick auf die Beiträge der einzelnen Kläranlagen zur absoluten Zunahme der Hauptkunststoffe lässt teilweise Hauptverursacher erkennen (Abbildung 7): Zunahmen bei PE, PS und PP erklären sich zu 43–65 % durch Anstiege in KA 1, einer stark von der Kunststoffindustrie geprägten Anlage. Weitere große Beiträge (17–29 %) gehen auf KA 9 zurück, gefolgt von KA 13 (5,1–8,6 %). Die Anstiege bei PU, PET und PVC sind gleichmäßiger über verschiedene Anlagen verteilt.

Abbildung 7: Prozentuelle Beiträge der Kläranlagen zum Anstieg von Mikroplastik (0,05–1 mm) je Kunststofftyp.



Ungeachtet starker Beiträge einzelner Kläranlagen haben PE, PS, PET, PU und PP in mehr als der Hälfte der Kläranlagen um >20 % zugenommen (Tabelle 2). Auch PVC ist in zehn Anlagen >20 % gestiegen – jedoch ist der Anteil von PVC am Gesamt-Mikroplastik sehr gering.

Tabelle 2:
Anzahlen der Kläranlagen mit Zunahme (>20 %), Abnahme (>20 %) bzw. konstanter (±20 %) Mikroplastikanzahl je Kunststofftyp.

| Anzahl Kläranlagen (20 gesamt) | Partikel-Zunahme (>20 %) | Partikel-Abnahme (>20 %) | konstante Anzahl (±20 %) | nicht nachgewiesen oder nahe BG ¹ |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| PE | 18 | 2 | 0 | 0 |
| PS | 13 | 4 | 3 | 0 |
| PET | 13 | 5 | 2 | 0 |
| PU | 12 | 5 | 3 | 0 |
| PP | 10 | 6 | 4 | 0 |
| PVC | 10 | 3 | 2 | 5 |
| PA | 7 | 8 | 0 | 5 |
| POM | 7 | 2 | 1 | 10 |
| PMMA | 6 | 3 | 0 | 11 |
| PC | 1 | 0 | 0 | 19 |

¹ „nahe BG“ bezieht sich auf Kläranlagen mit Konzentrationen ≤ zweifacher Bestimmungsgrenze, welche keine belastbaren Aussagen über Zu-/Abnahme zulassen

Anstiege bei PE und PVC eventuell pandemiebedingt?

Lineare Korrelationen der Konzentrationsverhältnisse 2022:2021 der einzelnen Kunststoffe mit jenen der Mikroplastik-Gesamtbelastung der Klärschlämme ergeben hohe Korrelationskoeffizienten für PET (0,95), PS (0,95), PU (0,90) und

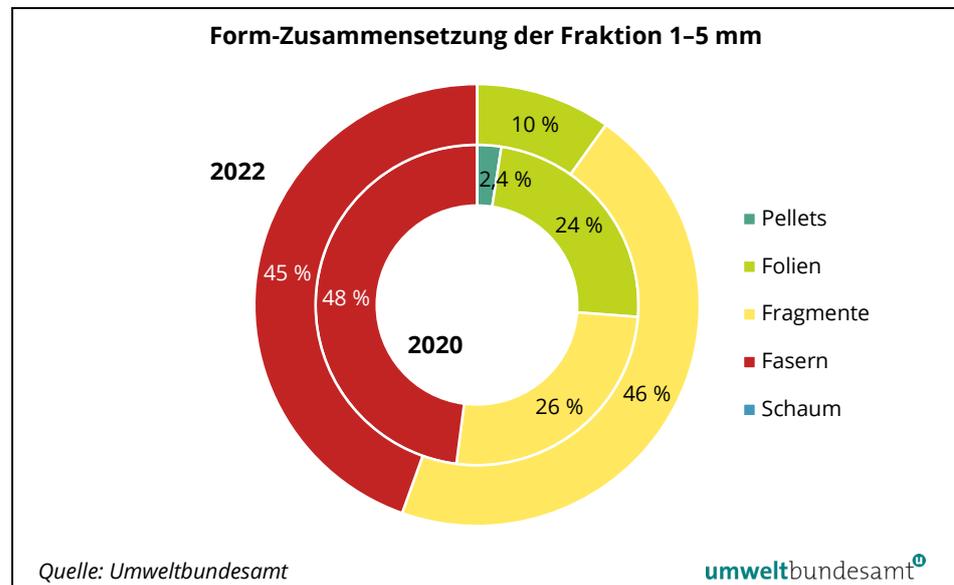
PP (0,82). Anstiege dieser Kunststoffe sind also überwiegend im Anstieg der Gesamtbelastung begründet. Die Korrelationskoeffizienten für PE (0,38) und PVC (0,32) sind hingegen gering. PVC und PE, gefolgt von PS und PP, zählen zu den meisteingesetzten Kunststoffen im medizinischen Bereich (Nuyken, Samarian und Wurdack, 1999–2016). Da die relevanten Probenahmezeiträume 2020 großteils noch vor dem ersten Lockdown lagen oder in der Frühphase der Pandemie, können Einflüsse der Covid19-Pandemie und ein damit verbundener erhöhter Verbrauch dieser Kunststoffe 2022 nicht ausgeschlossen werden. Auch laut Literatur lässt die gestiegene Verwendung von medizinischem und persönlichem Schutz- bzw. Hygieneequipment sowie von Verpackungen (z. B. durch Take-away-Speisen, Online-Einkäufe) insbesondere einen Anstieg der Verwendung bzw. der Abfälle von PE, PVC, PP, PS und PET erwarten (Klemeš et al., 2020, Teymourian et al., 2021). Gesicherte Zusammenhänge können jedoch nicht abgeleitet werden. Nach Rücksprache mit dem Labor-Team könnte bei PE – trotz gleicher Vorgehensweise bei Probenvorbereitung und Analytik – auch die gewonnene Erfahrung in der Analytik zu einer gesteigerten Identifizierungsquote geführt haben. Jedoch kam es nicht systematisch in allen Anlagen zu einem Anstieg.

3.3 Partikelformen

Fasern und Fragmente dominieren zu beiden Probenahmezeiten

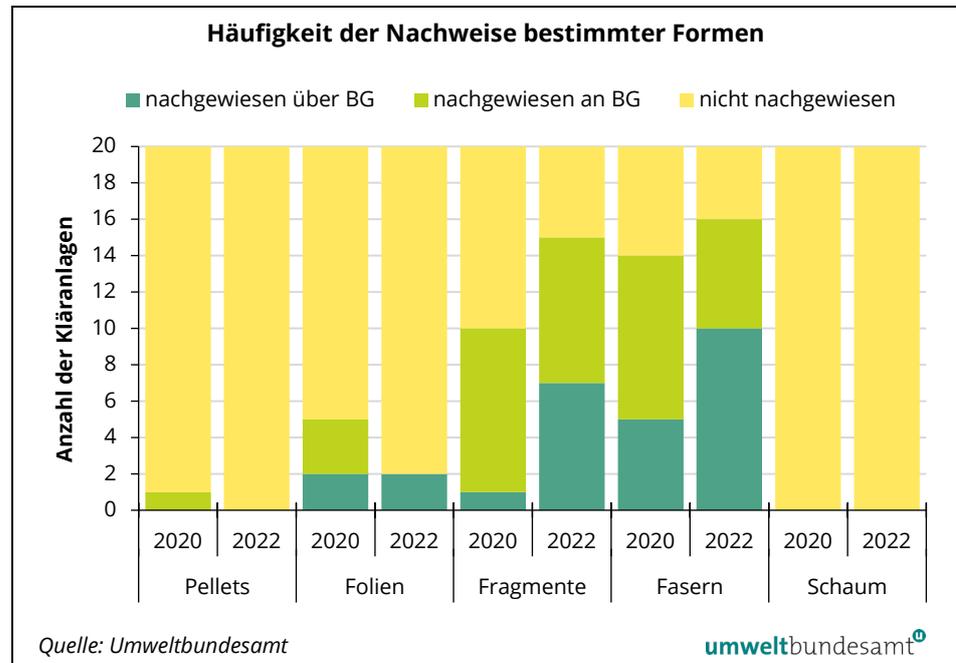
Die Zusammensetzung hinsichtlich der Partikelformen in der Mikroplastik-Fraktion 1–5 mm ist in beiden Jahren sehr ähnlich (Abbildung 8). Es dominieren Fasern und Fragmente, gefolgt von Folien. Schäume wurden nicht nachgewiesen und Pellets nur 2020 in einer Kläranlage. Da insgesamt nur 42 (2020) bzw. 77 (2022) Partikel mittels ATR als Kunststoffe identifiziert wurden und die Nachweise oft an der Bestimmungsgrenze lagen (Abbildung 9), ist ein detaillierter Vergleich nach Kläranlagen nicht sinnvoll.

Abbildung 8: Zusammensetzung der mittels FTIR-ATR als Kunststoff identifizierten Fraktion 1–5 mm nach Formen über alle 20 Kläranlagen 2022 (n=77) vs. 2020 (n=42).



Fasern und Fragmente wurden 2020 und 2022 in mindestens der Hälfte der Anlagen nachgewiesen (Abbildung 9). In elf Anlagen konnten Fasern in den Proben beider Jahre detektiert werden, Fragmente in sieben Anlagen. Die Folien stammen in beiden Jahren überwiegend aus zwei Anlagen (KA 13 und 14); 2020 wurden aber auch in drei weiteren Anlagen Folien an der Bestimmungsgrenze detektiert.

Abbildung 9:
Übersicht der Anzahl der Kläranlagen, in denen bestimmte Formkategorien an Mikroplastik der Größenfraktion 1–5 mm nachgewiesen wurden.



3.4 Reifenabrieb

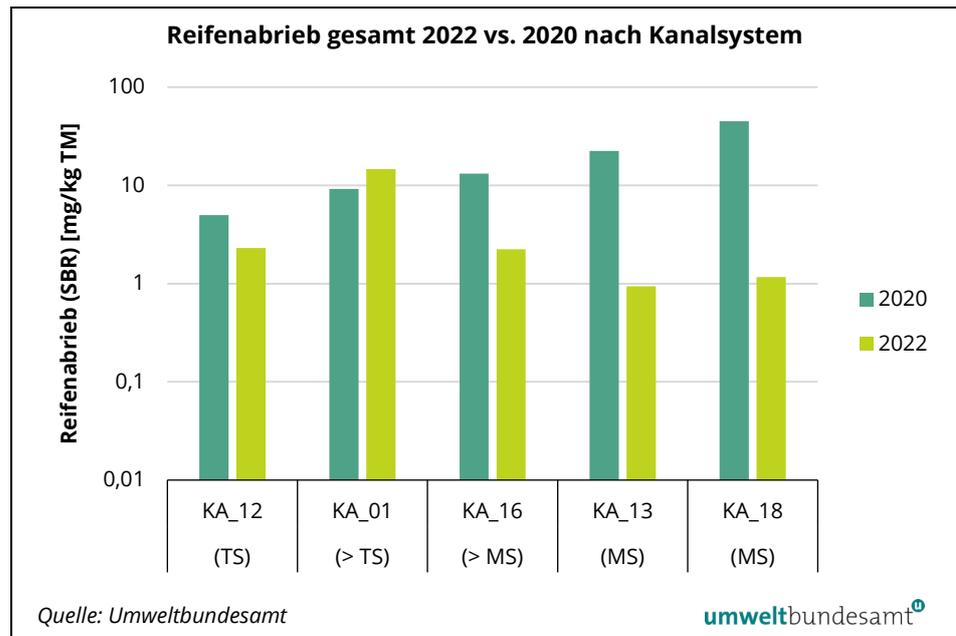
Einträge von Reifenabrieb bei Mischkanalsystemen niederschlagsabhängig

Die Ergebnisse der quantitativen Reifenabriebs-Analytik mittels Pyrolyse-GC-MS lagen in beiden Jahren unterhalb oder nahe der Bestimmungsgrenzen; sie sind aber dennoch größenordnungsmäßig belastbar ², weshalb die Datenachse in Abbildung 10 logarithmiert dargestellt ist. In Summe wurde 2022 um rund Faktor 4,5 weniger Reifenabrieb in den Klärschlämmen gemessen als 2020, mit Gesamt-Konzentrationen von ca. 1–15 mg/kg TM 2022 und 5–45 mg/kg TM 2020. Die einzelnen Kläranlagen verzeichneten Abnahmen von 54–97 % im Vergleich zur ersten Beprobung, nur in einer Kläranlage (KA 1) kam es zu einer Zunahme um ca. 60 %. Ein Vergleich der Reifenabriebs-Konzentrationen 2022 vs. 2020 zeigt stärkere Abweichungen für die drei Kläranlagen mit Mischsystem (MS) bzw. überwiegend Mischsystem (>MS) (Abbildung 10). Die Anlagen mit Trennsystem (TS) wiesen konstantere Reifenabriebs-Konzentrationen auf. Dies lässt sich durch das Vorkommen stärkerer Niederschlagsereignisse in den für die erste Probenahme relevanten Zeiträumen erklären, wohingegen in den für die zweite Probenahme relevanten Zeiträumen keine stärkeren

² Rücksprache mit dem Auftragslabor.

Niederschlagsereignisse stattfanden. Untermauert wird das auch dadurch, dass die Anlagen mit Mischsystem bzw. überwiegendem Mischsystem einen Rückgang in allen Größenfraktionen verzeichnen, die Gesamtabnahme sich aber zu 89–98 % durch Reduktionen in der größeren Fraktion (>100–500 µm) erklärt. Größere Partikel, die bei stärkeren Regenereignissen vermehrt ins Abwasser gelangen, wirken sich überproportional auf die Massenkonzentration aus.

Abbildung 10:
Vergleich Konzentrationen von Reifenabrieb (SBR) 2022 vs. 2021 nach Kanalsystem



3.5 Polyurethan Herkunftsanalyse

Polyurethan dominiert in >70 % der Kläranlagen

Zu beiden Probenahmezeitpunkten stellt PU den dominanten Kunststofftyp in >70 % der Klärschlammproben dar (d. h. in 14 bzw. 15 der 20 Kläranlagen). Vergleichsdaten aus der Literatur zu PU in Klärschlämmen sind rar. In mehreren Studien wurde PU im Klärschlamm, Kläranlagenzulauf oder -ablauf nachgewiesen (Schwinghammer, Krause und Schaum, 2021, Crossman et al., 2020, Simon, van Alst und Vollertsen, 2018, Mintenig et al., 2017, Zeri et al., 2021, Liu et al., 2020). In keiner Studie war PU der dominante Kunststofftyp, sondern umfasste meist nur geringe Anteile (bis zu ca. 10 %, bei unteren Größenlimits von 0,01 bzw. 0,1 mm) des Mikroplastiks (Xu, Bai und Ye, 2021, Simon, van Alst und Vollertsen, 2018, Zeri et al., 2021). Oft werden hohe Konzentrationen an Polyester/PET, PE, PP berichtet, zudem auch PS, PA, Acryl, PVC, Nylon und Alkyd. Mitunter stand PU auch nicht im Fokus und wurde in den Studien nicht analysiert (Lares et al., 2018, Lusher et al., 2018, Xu et al., 2020). Lediglich im Kläranlagenzulauf einer Kläranlage in Hong Kong wurde PU, nebst PP, als dominant berichtet, jedoch nur in Proben, die abends (17:00 Uhr) genommen wurden; tagsüber (9:30-15:00 Uhr) dominierten PE und PP (Cao et al., 2020). Letzteres

könnte ein Hinweis darauf sein, dass Einträge aus Haushaltsaktivitäten nach Feierabend signifikante PU-Beiträge leisten.

**Fragmentierung kann
hohe PU-Anzahlen
bedingen**

Da Polyurethan überwiegend als Schaum verwendet wird (siehe 3.5.1), könnte die Struktur dieses Kunststoffes maßgeblich für dessen hohe Anteile am Mikroplastik im Klärschlamm sein. Durch eine hohe spezifische Oberfläche und Porosität bilden PU-Schäume ein gutes Substrat für Mikroorganismen (Al-Amshawee et al., 2020, Paul et al., 1977). Eine rasche Besiedelung durch Mikroorganismen in der Kläranlage kann einerseits die Inkorporation von PU-Schäumen in Klärschlammflocken begünstigen und damit die Abscheidung mit dem Klärschlamm, andererseits aber auch einen mikrobiellen Abbau. Insbesondere Ester-Bindungen können mikrobiell aufgebrochen werden (Howard, 2002) und zu einer Fragmentierung und damit einer erhöhten Anzahl-Konzentration an PU führen. Für Sedimente wurde auch gezeigt, dass PU-Schäume die mikrobielle Nitrifikation und Denitrifikation fördern können, wobei die Hypothese aufgestellt wurde, dass die Mikroorganismen im PU vorhandenen Stickstoff nützen könnten (Seeley et al., 2020). Nebst einer Fragmentierung durch mikrobiellen Abbau kann sich auch mechanischer und chemischer Stress im Zuge der Abwasserbehandlung (Xu, Bai und Ye, 2021) stärker auf fragile Kunststoffstrukturen auswirken. Kleinere Größen von PU im Vergleich zu anderen Kunststoffen (Liu et al., 2020), bzw. höhere PU-Konzentrationen in der kleineren (<0,5 mm) gegenüber der größeren (>0,5 mm) Fraktion im Kläranlagen-Ablauf (Mintenig et al., 2017) untermauern eine Fragmentierung von PU. Sowohl in der aktuellen Erhebung als auch 2020 weisen das Fehlen von PU-Partikeln in der Fraktion 1–5 mm und die Beobachtung überwiegend sehr kleiner PU-Partikel im Rahmen der FTIR-Auswertungen ebenfalls auf PU-Fragmentierung hin. Jedoch bleibt die Frage offen, warum PU in keiner anderen Studie bisher so prominent war.

3.5.1 PU Anwendungen und Markt

**vielfältige
Anwendungen
für PU**

PU ist ein sehr vielseitiger Kunststoff, dessen Eigenschaften vielfältig variiert werden können, um Duroplaste, Thermoplaste oder Elastomere zu erhalten. Entsprechend vielfältig sind auch die Einsatzformen von PU: Schaumstoffe, Formmassen, Gießharze, elastische Faserstoffe, Lacke und Klebstoffe. Anwendungen weicher Schaumstoffe reichen von Polsterungen (Möbel, Matratzen, Autositze etc.), Verpackungsmaterialien und Schall- und Stoßdämmmaterialien über Putzschwämme und Medizinprodukte (Wundauflagen, Zehenschutzschläuche, Filtermaterialien) bis hin zu Textilkaschierungen (z. B. Teppichrückenschaum). Hartschäume sind gute Isolatoren und werden vor allem in Bausektor (z. B. Dämmplatten, in Tür-/Fensterprofilen, Rohrdämmungen, Montageschaum, Leichtbau-Sandwichelemente etc.) sowie für Kühl- und Gefriergeräte bzw. -transporter eingesetzt, aber auch für Formteile (z. B. im Modell- und Werkzeugbau). Aufgrund der Leichtigkeit und der Schall- und Stoßdämmung findet PU-Schaum viele Anwendungen im Fahrzeugbau. Schäume und gummiartige PU-Materialien (Elastomere) sowie Mikroschäume (Membranen) finden auch in der Schuhindustrie Anwendung in Schuhsohlen

(Lauf- und Zwischensohlen) oder als wasserabweisende, atmungsaktive Membranen; aber auch Gummistiefel können aus PU hergestellt werden. Eine weitere Hauptanwendung von PU sind (Pulver-)Lacke, Beschichtungen und Klebstoffe sowie Bindemittel. Diese können auf allen Oberflächen (Metall, Holz, Textilien, Leder, Kunststoffen, Steingut etc.) zum Einsatz kommen und können auch lebensmittelecht sein. Beschichtungen und Lacke dienen dem Korrosions-, UV- und Verwitterungsschutz sowie der Verschleißfestigkeit (z. B. für Gartenmöbel, Zäune, Fenster, Böden, Fahrzeuge, Schiffe, Lebensmittelverpackungen etc.). Zudem können sie rutschhemmende Eigenschaften erzielen (z. B. auf Böden, Strümpfen, Teppichrücken, Kunstrasen etc.) und bei Outdoor-Textilien für Wasserdichtheit sorgen. PU-Klebstoffe und -Bindemittel erlauben elastische Verklebungen, z. B. für Schuhe, Sportequipment, Fahrzeuginnenausstattung, Composite-Materialien (von Lebensmittelverpackungen bis hin zu Böden und Möbelteilen), und werden auch zum Verkleben von Reifengranulaten für Sport- und Spielplätze verwendet. Auch flexible Drucke auf Textilien oder Verpackungen sind häufig PU-basiert. In der Textilindustrie kommen außerdem elastische PU-Fasern (z. B. Elasthan, Lycra, Spandex), aber auch PU-Membranen (in Regenkleidung) zum Einsatz. PU-Elastomere werden aber auch für Rollen, Räder und Walzen (vom Skateboard bis zur Industrielanze), für Förderriemen und -bänder, abriebfeste Schläuche, Lagerungen im Maschinenbau und Dichtungen eingesetzt. Abdichtung gegen Feuchte und Wärmeverluste sollen auch PU-Vergussmassen sicherstellen, wenn sie im Bau (z. B. bei Fenstern oder Beton-Dehnungsfugen) und in der Elektronik (zur Ummantelung) zum Einsatz kommen. PU-Gussmassen werden auch im Werkzeugbau und für Modelle sowie Serien-Formteile verwendet. In Kosmetika und Haarpflegeprodukten wird vor allem flüssiges PU (als Filmbildner), teilweise jedoch auch Partikel (z. B. als Reibkörper in Handwaschpasten), eingesetzt.

Sektoren und ihre Marktanteile

Die globale PU-Produktion umfasst vor allem Schäume (weiche und harte), gefolgt von Beschichtungen, Elastomeren, Kleb- und Dichtstoffen (Grand View Research, 2022). Hohe Anteile an der PU-Nachfrage am europäischen Markt 2020 werden dem Bausektor und der Automobilindustrie zugeordnet, gefolgt von Elektronik sowie kleinen Anteilen für Verpackungen und die Sektoren Haushalt, Freizeit und Sport (Plastics Europe, 2021). Ein weiterer großer Anteil fällt in die Kategorie "andere", was die breit gestreuten Anwendungsgebiete für PU widerspiegelt. Daten zum US-Markt 2012 schlüsseln neben den Hauptanwendungen Bau (36 %) und Transport (20 %) auch Möbel/Betten (18 %), Maschinenbau (7,0 %), Geräte (5,2 %), Verpackungen (3,6 %), Textil und Bekleidung (0,9 %), Elektronik (0,8 %), Schuhe (0,3 %) und andere (7,6 %) Anwendungen auf (Das und Mahanwar, 2020).

3.5.2 Vergleichsmaterial-Analytik

68 Spektren von Vergleichsmaterialien als PU bestätigt

Im Hinblick auf die vielfältigen Anwendungen von PU wurde ein möglichst breites Spektrum an Vergleichsmaterialien bzw. Produkten ausgewählt (insgesamt 84) und mittels FTIR-ATR analysiert. Darunter waren Dusch-

schwämme (4), Geschirrspülschwämme (2), Schaumstoff-Muster (23), Verpackungsschaumstoffe (3), Schaumstoff-Schläuche (2), Memory-Foam-Kissen (1), Dämmstoff-Muster (5), ETPU³-Muster (4), Kunstleder-Muster (8), Sohlen (7), PU-Montageschäume (5), beschichtete Arbeitshandschuhe (1), beschichtete Mikrofaser-Tücher (2), Elastikbänder (für bzw. in Textilien) (3), Regenbekleidung (2), Sportbekleidung (5), (Pulver-)Lacke (3), Holzboden-Pflege (PU-Dispersion) (1), beschichtete Kaffee-Kapsel (1) sowie Handwaschpasten (2). Da an manchen Produkten mehrere Material-Komponenten gemessen wurden, wurden gesamt 98 Spektren aufgenommen. 68 dieser Spektren (von 67 Vergleichsmaterialien) wurden eindeutig als PU identifiziert. In einigen Fällen handelt es sich zwar um PU, jedoch verhindern Interferenzen die eindeutige Zuordnung. Dies trifft insbesondere auf Textil-Prints bzw. Formulierungen (z. B. Lacke, Farben, Kosmetik) zu, in denen Farbstoffe bzw. andere Formulierungsbestandteile stören. Aufgrund der Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede konnten die Spektren fünf PU-Typen zugeordnet werden (Tabelle 3). Jedoch sind die Übergänge teils fließend, insbesondere zwischen den Typen II, III und IV gibt es Doppelzuordnungen von Materialien (z. B. Memory-Foam-Kissen, Handwaschpasten).

*Tabelle 3:
Gruppierung der PU-
Vergleichsmaterialien
bzw. -produkte nach
Ähnlichkeit der
FTIR-Spektren.*

| | Typ | Vergleichsmaterialien bzw. -produkte |
|-------------------------------|------------|--|
| Gummiartige | Typ I | ETPU-Muster (Anwendungen: Maschinen- und Fahrzeugbau, Logistik, Schuhe, Sport- und Freizeit-Equipment); Laborschuh-Sohlen; gummiartige, feste Dämmstoff-Muster; Elasthan |
| Schaumgummiartige | Typ II | schaumgummiartige, weiche Dämmstoff-Muster; Schaumstoff-Schlauch; Topfschwamm raue Seite; Memory-Foam-Kissen |
| Bauschaum | Typ III | diverse PU-Montageschäume; Memory-Foam-Kissen; Handwaschpasten |
| Beschichtungen/ Prints | Typ IV | PU-Beschichtungen bzw. -prints (auf Sport- und Regenbekleidung; Kunstleder; Mikrofaser-Tüchern; Arbeitshandschuhen; Kaffeekapseln); Hausschuh-Sohlen; Handwaschpasten |
| Schaumstoffe | Typ V | weiche Schaumstoffe (Dusch- und Geschirrspülschwämme; diverse Schaumstoff-Muster; Verpackungs-Schaumstoffe) |

Im Vergleich zum standardmäßig als Referenz eingesetzten PU-Spektrum erzielt Typ III als Referenz teils etwas mehr und Typ V ähnlich viele PU-Partikel-Treffer. Die Typen I und II weisen eher geringe Korrelationen auf und Typ IV ergibt viele falsch positive Treffer, weshalb sich diese Typen nicht als Referenzen eignen. Da Typ III (Bauschaum) dem Standard-Referenzspektrum sehr ähnlich ist, sind signifikante Über- bzw. Unterbefunde aufgrund des verwendeten Referenzspektrums auszuschließen. Die glückliche Wahl eines sehr universellen

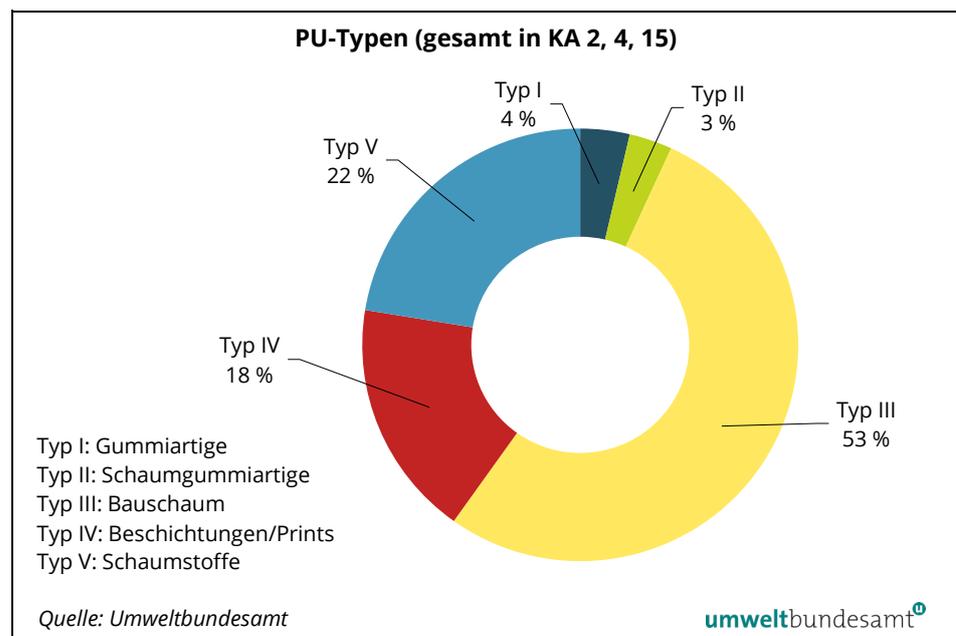
³ expandiertes thermoplastisches Polyurethan

Standard-Referenzspektrums könnte zu einer sehr hohen Detektion von PU beigetragen haben.

fragmentierende oder sich eher abreibende PU-Typen dominieren

Eine erneute Auswertung von drei Klärschlammproben (KA 2, 4, 15) auf eine möglichst exakte Übereinstimmung mit den Spektren der fünf PU Typen hin (Abbildung 11) ergab die meisten Treffer für die Typen III (Bauschaum), IV (Beschichtungen/Prints) und V (Schaumstoffe); die Typen I und II (Gummi- bzw. Schaumgummiartige) lagen an den jeweiligen Bestimmungsgrenzen. Die zugehörigen analysierten Materialien und Produkte (Tabelle 3) erlauben den Schluss, dass Anwendungen wie Beschichtungen bzw. Prints auf Textilien und Verpackungsmaterialien, Kosmetika (bzw. andere Formulierungen die PU-Partikel enthalten), Montageschäume sowie PU-Schwämme und -Schaumstoffe stärker zum Eintrag in Abwässer beitragen als Anwendungen, die festere gummi- bis schaumgummiartige PU-Materialien involvieren, die im Maschinenbau, in der Logistik, in Schuhen, Sportequipment etc. zum Einsatz kommen. Durch ihre Struktur bzw. Anwendungsbereiche sind die Typen III–V anfälliger für Fragmentierung oder Abrieb.

Abbildung 11:
Zusammensetzung der eindeutig einem der fünf PU-Typen zuordenbaren PU-Partikel (0,05–1 mm) aus den Kläranlagen 2, 4 und 15.



diffuse Einträge als signifikante Quelle

Da auch in Kläranlagen mit sehr geringen EW, geringer Mikroplastik-Gesamtbelastung und ohne nennenswerte industrielle Einleiter (z. B. KA 15, 17, 12) PU der dominante Kunststofftyp ist, sind diffuse Einträge von sich eher abreibenden oder fragmentierenden PU-Materialien der Typen III–V mit Haushaltsabwässern (durch Waschen von Wäsche, Geschirrspülen, Duschen, aber auch Bauarbeiten) vermutlich die Haupteintragsquelle. Einträge aus Haushaltsabwässern würden auch zu den in Hong Kong beobachteten hohen abendlichen PU-Frachten passen (Cao et al., 2020). Auch eine Materialfluss-Analyse (Liu und Nowack, 2022) für Europa kommt zu dem Schluss, dass PU Mikroplastik-Emissionen ins (Ab-)Wasser vor allem aus Textilien (Bekleidung, Textilbeschichtun-

gen) und Bauarbeiten stammen. Die Autoren weisen dabei auch auf Mikroplastik-Innenraumemissionen in die Luft hin, welche über das Putzwasser ins Abwasser gelangen. Analog dazu können auch im Freien, etwa bei der Verwendung von PU-Schäumen und Dämmplatten unter teils spanender Bearbeitung (also durch Sägen, Schleifen, Fräsen etc.) auf Baustellen, Emissionen in die Luft zu diffusen Einträgen, insbesondere über Niederschläge in Mischkanalsysteme, führen.

**hohe Belastungen
Industriell bedingt**

Beschichtungen, PU-Schäume, Schaumstoffe etc. finden aber auch industrielle Anwendungen, wie etwa in der Textilindustrie, der Oberflächenveredelung (Metall-, Holz-, Kunststoffbeschichtung etc.), der Verpackungsindustrie (Materialbeschichtungen und -verklebungen, Schaumstoffverpackungsmaterial), aber auch als "Ortschaum" (vor Ort aufgetragen und ausgehärtet) in der Industrie (z. B. zum Füllen von Profilen, Bauteilen etc.) und natürlich direkt am Bau. Hohe PU-Konzentrationen in Kläranlagen mit hoher Mikroplastik-Gesamtbelastung bei teils niedrigen EW stammen vermutlich aus industriellen Punktquellen. Dies ist z. B. für die KA 2, 4 und 1 sehr wahrscheinlich. Diese Anlagen hatten 2020 die höchsten PU-Werte und weisen 2022 fast gleiche Werte auf, was auch für konstante industrielle Punktquellen spricht; zudem finden sich in den jeweiligen Einzugsgebieten Betriebe, die PU verarbeiten.

3.5.3 Versuch: Abrieb Topfchwamm

**Abwaschversuch
demonstriert Abrieb
von PU-Schwämmen**

Zur Demonstration des diffusen Eintrags leicht fragmentierender PU-Materialien wurde ein Abwaschversuch mit einem gebrauchten PU-Schwamm durchgeführt (Abbildung 12). Ein händischer Abwasch von drei Porzellantellern, dreimal Edelstahl-Besteck (Gabel, Löffel, Messer) und zwei Wassergläsern in 5,5 L Wasser ergab einen Abrieb von 140 PU-Partikeln >0,05 mm; 90 % von der weichen Seite (PU-Typ V) und 10 % von der rauen Seite (PU-Typ II) des Schwamms.

Abbildung 12:
Zusammensetzung des Abriebs eines gebrauchten Topfchwamms aus einem Abwasch von je drei Tellern, Gabeln, Messern, Löffeln und zwei Wassergläsern.



4 ABKÜRZUNGEN

| | |
|-----------|--|
| ATR | abgeschwächte Totalreflexion |
| BG | Bestimmungsgrenze |
| EW | Einwohnerwert |
| FTIR..... | Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie |
| KA | Kläranlage |
| MS..... | Mischkanalsystem |
| PA | Polyamid |
| PC | Polycarbonat |
| PE..... | Polyethylen |
| PET..... | Polyethylenterephthalat |
| PMMA..... | Polymethylmethacrylat |
| POM | Polyoxymethylen |
| PP | Polypropylen |
| PS..... | Polystyrol |
| PU | Polyurethan |
| PVC | Polyvinylchlorid |
| SBR | Styrol-Butadien-Kautschuk |
| TM..... | Trockenmasse |
| TS..... | Trennkanalsystem |

5 LITERATUR

- AL-AMSHAWEE, S., M.Y.B.M. YUNUS, D.-V.N. VO und N.H. TRAN, 2020. Biocarriers for biofilm immobilization in wastewater treatments: a review [online]. *Environmental Chemistry Letters*, **18**(6), 1925-1945. ISSN 1610-3653. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10311-020-01049-y
- BERTLING, J., R. BERTLING und L. HAMANN, 2018. *Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen*. Kurzfassung der Konsortialstudie. Oberhausen.
- CAO, Y., Q. WANG, Y. RUAN, R. WU, L. CHEN, K. ZHANG und P.K.S. LAM, 2020. Intra-day microplastic variations in wastewater: A case study of a sewage treatment plant in Hong Kong [online]. *Marine pollution bulletin*, **160**, 111535. Marine pollution bulletin. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111535
- CRISTALDI, A., M. FIORE, P. ZUCCARELLO, G. OLIVERI CONTI, A. GRASSO, I. NICOLOSI, C. COPAT und M. FERRANTE, 2020. Efficiency of Wastewater Treatment Plants (WWTPs) for Microplastic Removal: A Systematic Review [online]. *International journal of environmental research and public health*, **17**(21), 8014. International journal of environmental research and public health. Verfügbar unter: doi:10.3390/ijerph17218014
- CROSSMAN, J., R.R. HURLEY, M. FUTTER und L. NIZZETTO, 2020. Transfer and transport of microplastics from biosolids to agricultural soils and the wider environment [online]. *The Science Of The Total Environment*, **724**, 138334. The Science Of The Total Environment. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138334
- DAS, A. und P. MAHANWAR, 2020. A brief discussion on advances in polyurethane applications [online]. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, **3**(3), 93-101. ISSN 2542-5048. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.aiepr.2020.07.002
- GRAND VIEW RESEARCH, 2022. *Bio-based Polyurethane Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Rigid Foam, Coatings, Adhesives & Sealants, Flexible Foam), By End Use (Packaging, Building & Construction), And Segment Forecasts, 2021–2028* [online] [Zugriff am: 8. September 2022]. Verfügbar unter: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/bio-based-polyurethane-industry>
- HOWARD, G.T., 2002. Biodegradation of polyurethane: a review [online]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **49**(4), 245-252. ISSN 09648305. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0964-8305(02)00051-3
- KLEMEŠ, J.J., Y. VAN FAN, R.R. TAN und P. JIANG, 2020. Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19 [online]. *Renewable & sustainable energy reviews*, **127**, 109883. Renewable & sustainable energy reviews. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.rser.2020.109883

- LARES, M., M.C. NCIBI, M. SILLANPÄÄ und M. SILLANPÄÄ, 2018. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology [online]. *Water Research*, **133**, 236-246. Water Research. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.watres.2018.01.049
- LIEBMANN, B. und K. SEXLINGER, 2020. *Mikroplastik in der Umwelt – Statusbericht 2019*. Wien. REP-0727.
- LIU, F., N. NORD, K. BESTER und J. VOLLERTSEN, 2020. Microplastics Removal from Treated Wastewater by a Biofilter [online]. *Water*, **12**(4), 1085. Water. Verfügbar unter: doi:10.3390/w12041085
- LIU, Z. und B. NOWACK, 2022. Probabilistic material flow analysis and emissions modeling for five commodity plastics (PUR, ABS, PA, PC, and PMMA) as macroplastics and microplastics [online]. *Resources, Conservation and Recycling*, **179**, 106071. ISSN 09213449. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.resconrec.2021.106071
- LUSHER, A., R. HURLEY, C. VOGELANG, L. NIZZETTO und M. OLSEN, 2018. *Mapping microplastics in sludge*.
- MINTENIG, S.M., I. INT-VEEN, M.G.J. LÖDER, S. PRIMPKE und G. GERDTS, 2017. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging [online]. *Water Research*, **108**, 365-372. Water Research. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.watres.2016.11.015
- NUYKEN, O., H. SAMARIAN und I. WURDACK, 1999–2016. *Polymere in der Medizintechnik* [online] [Zugriff am: 23. September 2022]. Verfügbar unter: <http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/9/mac/neu/medizin/medizin.vlu.html>
- PAUL, R.W., D.L. KUHN, J.L. PLAFKIN, J. CAIRNS und J.G. CROXDALE, 1977. Evaluation of Natural and Artificial Substrate Colonization by Scanning Electron Microscopy [online]. *Transactions of the American Microscopical Society*, **96**(4), 506. ISSN 00030023. Verfügbar unter: doi:10.2307/3225669
- PLASTICS EUROPE, 2021. *Plastics – The Facts 2021* [online] [Zugriff am: 8. September 2022]. Verfügbar unter: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf
- SCHWINGHAMMER, L., S. KRAUSE und C. SCHAUM, 2021. Determination of large microplastics: wet-sieving of dewatered digested sludge, co-substrates, and compost [online]. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, **84**(2), 384-392. ISSN 0273-1223. Verfügbar unter: doi:10.2166/wst.2020.582
- SEELEY, M.E., B. SONG, R. PASSIE und R.C. HALE, 2020. Microplastics affect sedimentary microbial communities and nitrogen cycling [online]. *Nature communications*, **11**(1), 2372. Nature communications. Verfügbar unter: doi:10.1038/s41467-020-16235-3

- SEXLINGER, K., B. LIEBMANN, I. LOMAKO und S. KÖPPEL, 2021. *Mikroplastik in Klärschlämmen* [online]. rep0773 [Zugriff am: 20. Juli 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0773.pdf>
- SIMON, M., N. VAN ALST und J. VOLLERTSEN, 2018. Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging [online]. *Water Research*, **142**, 1-9. Water Research. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.watres.2018.05.019
- TEYMOURIAN, T., T. TEYMOORIAN, E. KOWSARI und S. RAMAKRISHNA, 2021. Challenges, Strategies, and Recommendations for the Huge Surge in Plastic and Medical Waste during the Global COVID-19 Pandemic with Circular Economy Approach [online]. *Materials Circular Economy*, **3**(1). ISSN 2524-8146. Verfügbar unter: doi:10.1007/s42824-021-00020-8
- XU, Q., Y. GAO, L. XU, W. SHI, F. WANG, G.A. LEBLANC, S. CUI, L. AN und K. LEI, 2020. Investigation of the microplastics profile in sludge from China's largest Water reclamation plant using a feasible isolation device [online]. *Journal of hazardous materials*, **388**, 122067. Journal of hazardous materials. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jhazmat.2020.122067
- XU, Z., X. BAI und Z. YE, 2021. Removal and generation of microplastics in wastewater treatment plants: A review [online]. *Journal of Cleaner Production*, **291**, 125982. ISSN 09596526. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jclepro.2021.125982
- ZERI, C., A. ADAMOPOULOU, A. KOI, N. KOUTSIKOS, E. LYTRAS und E. DIMITRIOU, 2021. Rivers and Wastewater-Treatment Plants as Microplastic Pathways to Eastern Mediterranean Waters: First Records for the Aegean Sea, Greece [online]. *Sustainability*, **13**(10), 5328. Sustainability. Verfügbar unter: doi:10.3390/su13105328

6 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | | |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1: | Mikroplastik-Gesamtanzahl-Konzentrationen in Klärschlämmen der Jahre 2020 und 2022. | 13 |
| Abbildung 2: | Anzahl-Konzentrationen Mikroplastik 1–5 mm in Klärschlämmen der Jahre 2020 und 2022. | 14 |
| Abbildung 3: | Verhältnis der Mikroplastikanzahl-Konzentrationen 2022 zu 2020, je Größenfraktion und gesamt. | 14 |
| Abbildung 4: | Agglomerat bzw. Knäuel aus vielen kleineren Kunststoffteilchen, welche häufig in der Fraktion 1–5 mm der Klärschlammprobe aus KA 1 vorkamen. | 15 |
| Abbildung 5: | Verhältnisse der Mikroplastik-Konzentrationen 2022 zu 2020 gruppiert nach Einwohnerwerten (EW) <40.000 und ≥40.000. | 16 |
| Abbildung 6: | Jahresvergleich der Stückzahlen je Kunststofftyp in der Mikroplastik-Fraktion 0,05–1 mm. Datenbeschriftungen geben die prozentuelle Verteilung wieder. | 17 |
| Abbildung 7: | Prozentuelle Beiträge der Kläranlagen zum Anstieg von Mikroplastik (0,05–1 mm) je Kunststofftyp. | 18 |
| Abbildung 8: | Zusammensetzung der mittels FTIR-ATR als Kunststoff identifizierten Fraktion 1–5 mm nach Formen über alle 20 Kläranlagen 2022 (n=77) vs. 2020 (n=42). | 19 |
| Abbildung 9: | Übersicht der Anzahl der Kläranlagen, in denen bestimmte Formkategorien an Mikroplastik der Größenfraktion 1–5 mm nachgewiesen wurden. | 20 |
| Abbildung 10: | Vergleich Konzentrationen von Reifenabrieb (SBR) 2022 vs. 2021 nach Kanalsystem. | 21 |
| Abbildung 11: | Zusammensetzung der eindeutig einem der fünf PU-Typen zuordenbaren PU-Partikel (0,05–1 mm) aus den Kläranlagen 2, 4 und 15. | 25 |
| Abbildung 12: | Zusammensetzung des Abriebs eines gebrauchten Topfschwamms aus einem Abwasch von je drei Tellern, Gabeln, Messern, Löffeln und zwei Wassergläsern. | 26 |

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Mikroplastik gelangt über Abwässer in den Klärschlamm. Eine Verwertung als Düngemittel führt zum Eintrag von Mikroplastik in Böden. Diese Studie gibt einen Überblick über die Mikroplastik-Belastung von Klärschlämmen und deren zeitliche Variabilität. Ausgangspunkt ist eine Ersterhebung im Jahr 2020 bei 35 Kläranlagen in Österreich. Dafür wurden in den Jahren 2021/22 Klärschlämme von 20 Anlagen wiederholt beprobt und analysiert. Auch der Herkunft von Polyurethan, dem dominanten Kunststoff der Ersterhebung, wurde nachgegangen.

Die Zusammensetzung der Kunststoffe war konsistent. Zeitliche Abweichungen der Mikroplastik-Konzentrationen hingen mit der Art des Kanalsystems, einer städtischen oder ländlichen Prägung des Einzugsgebiets sowie den Einwohner:innen-Werten der Anlagen zusammen. Hohe Polyurethan-Belastungen gehen vermutlich auf industrielle Einleiter zurück, allerdings sind auch Einträge aus Haushalten signifikant.