



**Mikroplastik
in Klärschlämmen**

MIKROPLASTIK IN KLÄRSCHLÄMMEN

Katharina Sexlinger
Bettina Liebmann

Projektleitung Bettina Liebmann

AutorInnen Katharina Sexlinger
Bettina Liebmann
Ievgeniia Lomako
Sebastian Köppel

Lektorat Patricia Erler

Satz/Layout Doris Weismayr

Umschlagfoto © Umweltbundesamt/B. Groeger

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

Danksagung Besonderer Dank gilt den Betreiberinnen und Betreibern und Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abwasserreinigungsanlagen für die Teilnahme am Projekt und die Durchführung der Probenahme sowie dem 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, 2021

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-596-1

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	3
ZUSAMMENFASSUNG	4
SUMMARY	5
1 EINLEITUNG	6
2 METHODEN	8
2.1 Auswahl der Kläranlagen	8
2.2 Probenahme	8
2.3 Analytik	9
2.3.1 Probenvorbereitung.....	9
2.3.2 Mikroplastik Quantifizierung.....	11
2.3.3 Quantifizierung Reifenabrieb.....	12
3 ERGEBNISSE	13
3.1 Mikroplastikkonzentrationen im Klärschlamm	13
3.1.1 Mögliche Einflüsse auf die Mikroplastikkonzentrationen	14
3.2 Kunststoffarten	17
3.3 Partikelformen	19
3.4 Reifenabrieb	20
4 LITERATUR	21
5 ANHANG	23

ZUSAMMENFASSUNG

Mikroplastik kann über unterschiedliche Pfade in das Abwasser und somit in Kläranlagen eingetragen werden. Mehrere Faktoren, wie Einzugsgebiet, angeschlossene Gebäude, Kanalsystem und das Vorhandensein gewerblicher oder industrieller Einleiter, haben dabei Einfluss auf die Menge an Mikroplastik im Abwasser. Obwohl es noch weiteren Forschungsbedarf gibt, konnten bereits beträchtliche Mengen an Mikroplastik im Klärschlamm nachgewiesen werden. Ziel der vorliegenden Studie war es, einen ersten Einblick in das Aufkommen von Mikroplastik in Klärschlämmen aus österreichischen Abwasserreinigungsanlagen zu erlangen. Dazu wurden Klärschlammproben aus 35 kommunalen Abwasserreinigungsanlagen mit unterschiedlichen Eigenschaften untersucht.

Die Ergebnisse bestätigen den Eintrag von Mikroplastik in Klärschlamm und liefern erste Hinweise auf Eintragspfade bzw. mögliche Einflüsse. Obwohl die Aussagekraft durch die begrenzte Anzahl der Proben beschränkt ist, lassen sich einige Trends erkennen.

dominierende Kunststoffarten

Es wurden insgesamt zwischen 2.339–633.414 Stück Mikroplastik pro kg Trockenmasse Klärschlamm gefunden. Als dominierende Kunststoffarten haben sich Polyurethan, Polyethylenterephthalat und Polypropylen herausgestellt. Bezogen auf die Form der Partikel im Größenbereich 1–5 mm wurden vor allem Fasern und Fragmente identifiziert.

Unterschiedliche Einflussfaktoren auf Mikroplastik-Konzentration

Kein Zusammenhang wurde zwischen Einwohnerwerten und Mikroplastikanzahl gefunden, dies deckt sich mit anderen Studien. Vor allem das Kanalsystem bzw. der Urbanisierungsgrad scheinen einen Einfluss auf die Menge an Mikroplastik zu haben. Sehr hohe Mikroplastikwerte sind vermutlich auf eine Belastung durch Einleiter mit Bezug zur Kunststoffindustrie zurückzuführen. Insgesamt ist jedoch anzunehmen, dass eine komplexe Vielfalt an Faktoren, wie das Einzugsgebiet, die umliegende Landnutzung, das Kanalsystem, spezifische Kläranlagenparameter sowie kommunale und industrielle Einleiter für die Menge und Art der Zusammensetzung von Mikroplastik im Klärschlamm verantwortlich sind.

Werte zu Mikroplastik in Klärschlämmen aus anderen Studien schwanken stark, je nach angewendeter Untersuchungsmethode, untersuchter Größenordnung der Mikroplastikpartikel etc., wodurch direkte Vergleiche der Ergebnisse nur eingeschränkt möglich und sinnvoll sind. Die Ergebnisse dieser Studie bewegen sich jedoch grundsätzlich im Rahmen von Literaturwerten.

Mikroplastik-Eintrag in die Umwelt durch Klärschlamm

Im Hinblick auf einen Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt, ist die Verwertung des Klärschlammes von Bedeutung. Wird dieser direkt oder über eine Kompostierung in der Landwirtschaft bzw. im Landschaftsbau verwendet, gelangt Mikroplastik auf diesem Weg in den Boden und durch Auswaschung, Erosion bzw. Windverfrachtungen in Gewässer. Um den Transfer von Mikroplastik durch Abwasser und Klärschlamm in die Umwelt zu reduzieren, sollten Maßnahmen ergriffen werden, die bereits beim Eintrag von Kunststoff in Kläranlagen ansetzen.

SUMMARY

Microplastics can enter wastewater and thus wastewater treatment plants via different pathways. Several factors, such as catchment area, connected buildings, sewer system and the presence of commercial or industrial dischargers influence the amount of microplastics in wastewater. Although there are still many uncertainties, it is now clear that considerable amounts of microplastics end up in sewage sludge. The aim of the present study was to gain a first insight into the occurrence of microplastics in sewage sludge from Austrian wastewater treatment plants. For this purpose, sewage sludge samples from 35 municipal wastewater treatment plants with different characteristics were investigated.

The results confirm the presence of microplastics in sewage sludge and provide first indications of input pathways and possible influences. Although the number of samples limits the significance of the results, some trends can be identified.

dominating types of plastics

A total of between 2,339–633,414 pieces of microplastics per kg dry mass of sewage sludge were detected. Polyurethane, polyethylene terephthalate and polypropylene were found to be the dominant plastic types. In terms of particle shape in the size range of plastics 1–5 mm, mainly fibers and fragments were identified.

different factors influencing microplastic concentrations

No correlation was found between population equivalents and the number of microplastics, which is in line with previous studies. The sewer system and the urbanization gradient seem to have a certain influence on the amount of microplastics. Very high microplastic levels are probably due to pollution from dischargers related to the plastics industry. Overall, however, it is likely that a complex variety of factors, such as the catchment area, surrounding land use, the sewer system, specific WWTP parameters, and municipal and industrial dischargers are responsible for the amount and type of microplastics in sewage sludge.

Values of microplastics in sewage sludge from other studies vary strongly, depending on the applied investigation method, analyzed size of microplastic particles etc. Direct comparisons of the results are therefore only possible and meaningful to a limited extent. However, the results of this study are generally within the range of literature values.

input of microplastics into the environment through sewage sludge

With regard to the input of microplastics into the environment, the utilization of sewage sludge is of importance. If the sludge is used directly or via composting in agriculture or landscaping, microplastics will enter the soil and water bodies through leaching, erosion or wind dispersal. In order to reduce the release of microplastics into the environment through wastewater and sewage sludge, measures should be taken that start at the point of plastic input into wastewater treatment plants.

1 EINLEITUNG

Mikroplastik im Abwasser

Das Vorkommen von Mikroplastik in der Umwelt (v. a. Meere, Oberflächenwasser) und Lebensmitteln erregte in den letzten Jahren immer häufiger Aufmerksamkeit. Seit kurzem rückt auch die Thematik von Mikroplastik in Klärschlämmen ins Bewusstsein. Mikroplastik kann durch unterschiedliche Quellen in das Abwasser gelangen. Mehrere Faktoren, wie Einzugsgebiet, angeschlossene Gebäude, Kanalsystem und das Vorhandensein gewerblicher oder industrieller Einleiter, haben Einfluss auf die Menge an Mikroplastik im Abwasser. In Haushalten stellen etwa das Waschen von synthetischer Kleidung und die falsche Entsorgung von Hygieneprodukten zwei maßgebliche Quellen für Mikroplastik dar. Ein Mischkanalnetz führt zu einer erhöhten Belastung von Mikroplastik im Abwasser, was unter anderem auf Reifenabrieb durch den Verkehr aber auch auf ungereinigte Abwässer als Folge von Starkniederschlägen zurückzuführen ist.

In der Kläranlage verteilen sich die eingetragenen Kunststoffe auf vier ausgehende Ströme: Rechengut, Sandfanggut, Klärschlamm und den Kläranlagenablauf. Große Plastikpartikel werden mit dem Rechengut ausgeschleust. Man geht davon aus, dass schwere Plastikpartikel im nachfolgenden Sandfang abgeschieden werden, und leichte Partikel eher im Fettfang aufschwimmen. Diese werden gemeinsam mit dem Fett in den Faulturm gepumpt und landen somit im Klärschlamm. Während der Abwasserbehandlung werden Mikroplastikpartikel zu einem großen Teil aus dem Abwasser entfernt. Insgesamt beträgt die Rückhaltekapazität in untersuchten Kläranlagen je nach Anzahl der Reinigungsstufen durchschnittlich über 95 %. Die hohe Abscheidefähigkeit von Kläranlagen bedingt, dass sich ein Großteil des Mikroplastiks im Klärschlamm wiederfindet (1).

Eintrag in den Boden

Da Klärschlämme häufig in der Landwirtschaft als Düngemittel sowie im Landschaftsbau verwendet werden, kommt es auf diesem Weg zu einem Eintrag von Kunststoffen in den Boden. In Österreich wird knapp die Hälfte des anfallenden Klärschlammes verbrannt, der Rest findet Verwendung in der Landwirtschaft, der Kompostierung, im Landschaftsbau, als Bauzuschlagstoff oder in der Zwischenlagerung (2).

Projektziele

Ziel des vorliegenden Projekts war es, einen ersten Einblick in das Aufkommen von Mikroplastik in Klärschlämmen aus Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in Österreich zu erlangen. Dazu wurden Klärschlammproben aus 35 kommunalen Abwasserreinigungsanlagen mit unterschiedlichen Eigenschaften in ganz Österreich untersucht. Der Schwerpunkt lag auf der Untersuchung von Klärschlämmen, die die ARA in entwässerter Form verlassen, sei es zur Verbrennung, zur direkten Verwendung in der Landwirtschaft oder zur weiteren Verwertung (Kompostierung, Biogas, mechanisch-biologische Behandlung). Eine ursprünglich geplante Untersuchung zu möglichen Einflüssen von Tourismusaktivitäten bei ausgewählten Kläranlagen mit touristisch geprägtem Einzugsgebiet, konnte aufgrund der veränderten Situation durch Covid-19 und deren Auswirkungen auf die Tourismusbranche nicht durchgeführt werden.

Die Klärschlammproben wurden im Umweltbundesamt auf Mikroplastik im Größenbereich 0,05 mm bis 5 mm quantitativ untersucht. Neben der Größenverteilung von Mikroplastik wurde das Vorkommen von zehn verschiedenen Kunststoffarten bestimmt. Weiters wurde in zehn ausgewählten Proben das Vorhandensein von Reifenabrieb untersucht, dessen Eintrag in den Klärschlamm insbesondere über die Mischkanalisation (Straßenabwässer) zu erwarten ist.

Die Ergebnisse wurden in Bezug auf die erhobenen Kläranlagenparameter und Einzugsgebiete analysiert und in Hinblick auf mögliche Quellen diskutiert. Außerdem wurden die Ergebnisse in Bezug zum aktuellen Stand des Wissens zu Mikroplastik im Zusammenhang mit Abwasserreinigung und Klärschlamm gesetzt und mit internationalen Literaturdaten verglichen.

2 METHODEN

2.1 Auswahl der Kläranlagen

Um eine große Bandbreite von Kläranlagen mit unterschiedlichen Einwohnerwerten¹ in verschiedenen Regionen abzudecken, wurden österreichweit 35 Kläranlagen ausgewählt. Es sind sowohl große Städte vertreten, als auch (von Tourismus geprägte) ländliche Standorte, Anlagen mit Misch- und/oder Trennkana- lisation und unterschiedlicher Klärschlammbehandlung. Die Einwohnerwerte der ausgewählten Kläranlagen reichen von 5.000 bis > 500.000.

In einer Vorerhebung wurden die Art der Klärschlammbehandlung (z. B. Fau- lung, Entwässerung, Zugabe von Zuschlagstoffen), die durchschnittliche Monats- menge von anfallendem (Überschuss-)Schlamm (kg Trockensubstanz/Jahr), so- wie Informationen zur Einleitercharakteristik (Misch-/Trennsystem, Industrieein- leiter etc.) abgefragt und dokumentiert.

2.2 Probenahme

Entwicklung einer Probenahme- strategie

Besonderes Augenmerk wurde auf die Probenahme des Klärschlammes gelegt, um möglichst repräsentative Schlammproben zu erhalten. Da es derzeit noch keine standardisierten Methoden zur Probenahme von Klärschlämmen für die nachfolgende Untersuchung auf Mikroplastik gibt, wurde, basierend auf den im Vorhinein erhobenen Informationen, eine eigene Probenahme-Methodik für dieses Projekt erarbeitet.

Die Mindestmenge von Trockensubstanz (TS) Klärschlamm, die im Rahmen der Probenahme beurteilt werden sollte, wurde mit 40 t festgelegt. Dies entspricht dem Medianwert des wöchentlichen Klärschlammmanfalls der teilnehmenden A- RAs. Aus dieser Mindestmenge wurde ein Probenahmezeitraum für die Herstel- lung einer Mischprobe von entweder 1 oder 2 Wochen festgelegt, je nach Menge des anfallenden Klärschlammes in den jeweiligen Kläranlagen. In diesem Zeitraum sollten an fünf Tagen (mind. 3 x täglich) Proben des entwässerten Klärschlammes entnommen und zu einer Mischprobe von 1 kg vereinigt werden. Bei diskontinuierlicher Entwässerung konnte die Anzahl der Probenahmetage reduziert und gleichzeitig die Menge und Anzahl der Entnahmen pro Tag erhöht werden.

Die Proben wurden, wenn möglich, direkt nach der Entwässerung entnommen. Es wurde versucht, auf eine Probenahme aus Lagerhallen bzw. Containern zu

¹ Vergleichswert für die in Abwässern enthaltenen Schmutzfrachten. Summe aus den tatsächlichen Einwohnern und Einwohnerinnen und den Einwohnergleichwerten (Maß für die Schmutzfracht, die mit gewerblichem Abwasser in eine Kläranlage gelangt).

verzichten, um unkontrollierbare Kontaminationsmöglichkeiten wie zum Beispiel Plastik aus Windverfrachtungen oder unbekannte Rückstände im Container zu vermeiden. In zwei Kläranlagen, die eine Klärschlamm-trocknung am Standort durchführen, wurde neben der Mischprobe nach der Entwässerung auch eine weitere Mischprobe nach dem Klärschlamm-trockner gezogen. Dies sollte evtl. Hinweise auf einen möglichen Einfluss des Trockners bzw. der Trocknungstemperatur auf den Kunststoffgehalt bzw. die Verteilung der Kunststoffarten im Klärschlamm liefern.

Die Probenahme wurde von den Mitarbeitern der jeweiligen Kläranlage durchgeführt. Die Kläranlagen erhielten dazu im Vorfeld eine detaillierte Probenahmeanleitung und ein Probenahmeprotokoll. Die Entnahme der Proben erfolgte ausschließlich mit Probenahmegeräten (Schaufeln, Schöpfer etc.) aus Metall, Glas oder Keramik. Die Teilproben wurden in einem 2 Liter-Glasgebinde gesammelt, welches vorher im Labor des Umweltbundesamts gereinigt und vorbereitet wurde. Um Kontaminationen zu vermeiden, wurden die Probenehmer überdies angewiesen, bei der Probenahme auf die Verwendung von synthetischer Kleidung zu verzichten. Die Probenahmen wurden von Februar bis August 2020 durchgeführt. Nach erfolgter Entnahme wurden die Proben zur Analyse an das Umweltbundesamt gesendet.

2.3 Analytik

2.3.1 Probenvorbereitung

chemische Aufbereitung der Klärschlammproben

Vor der Untersuchung der Klärschlammproben auf Mikroplastik wurden mehrere chemisch-selektive Behandlungsschritte sowie eine Dichtentrennung zur Extraktion von Kunststoffpartikeln durchgeführt. Als erster Schritt der Probenvorbereitung wurde die gesamte Klärschlammprobe zur Verflüssigung und Desinfektion mit einer Sanitärflüssigkeit versetzt und homogenisiert. Mehrere aus verschiedenen Schichten entnommene Probenportionen dienten zur Einwaage für die weitere Probenvorbereitung. Zur Lösung von mikrobiologischen bzw. leicht oxidierbaren Matrixbestandteilen erfolgte eine Behandlung mit Wasserstoffperoxid (H₂O₂) für das entnommene Aliquot. Als nächstes folgten chemische Behandlungen zur Entfernung von Fett sowie zum Lösen von Karbonaten und Zellulose. Anschließend wurde die Probe über eine Siebkaskade, bestehend aus je einem 1 mm und 50 µm Sieb, gespült. Für die Fraktion > 50µm erfolgte eine Extraktion der Mikroplastikpartikel. Als letzten Schritt der Probenaufbereitung wurde die Probe über einen Aluminiumoxid-Membranfilter filtriert und mit Reinstwasser und Ethanol nachgespült. Das anorganische Filtermedium wurde anschließend bei maximal 60 °C getrocknet. Alle Probenvorbereitungsschritte wurden in einer Reinraumbank durchgeführt, um Kontaminationen zu vermeiden.

Abbildung 1:
von oben links:
Probe in Originalgebinde;
Probe nach 3-wöchiger
Behandlung in H_2O_2 ; Siebkaskade;
Fraktion > 1mm nach chemischer
Behandlung.



2.3.2 Mikroplastik Quantifizierung

Bestimmung der Mikroplastikanzahl und -art

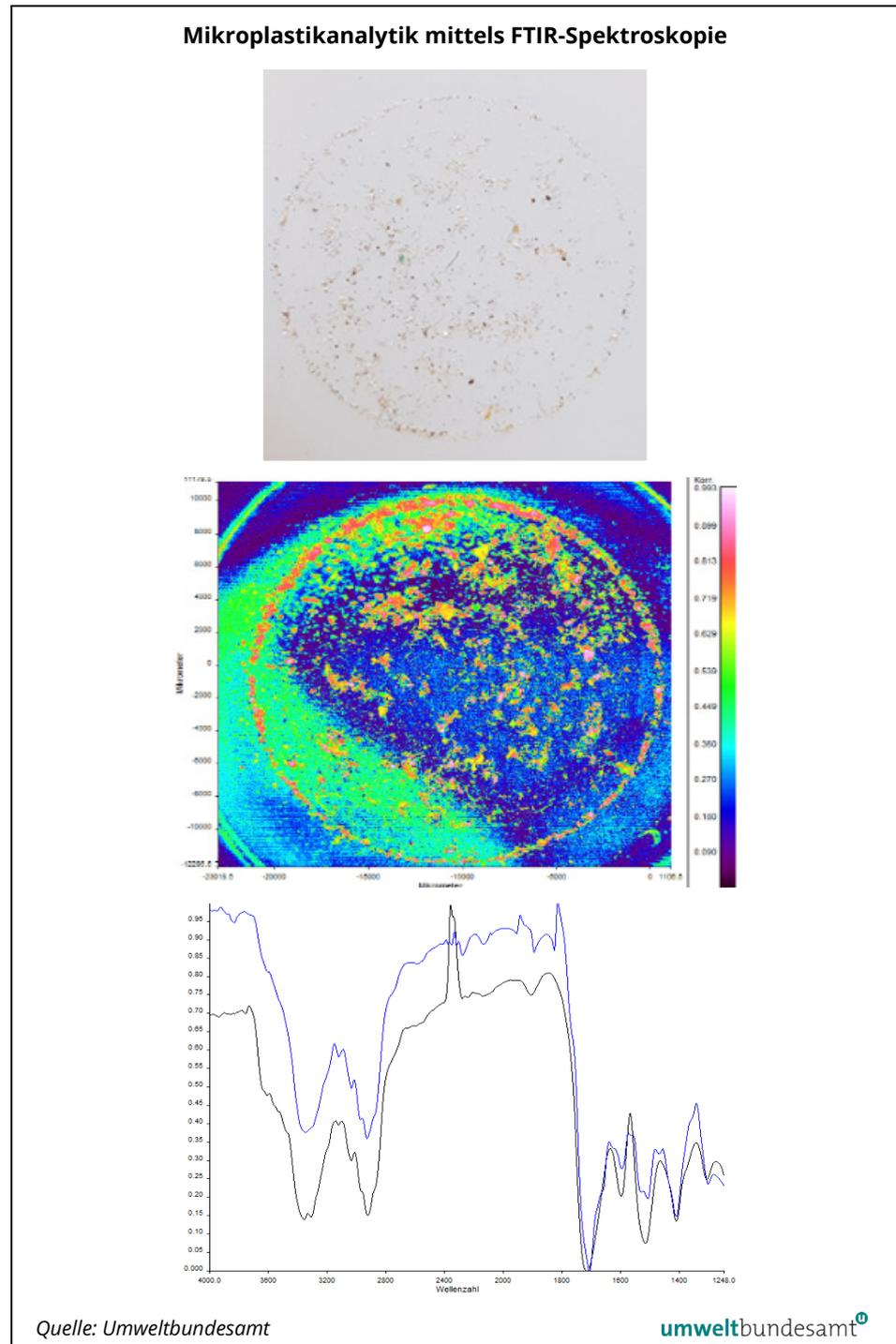
Die chemische Zusammensetzung des Mikroplastik-Materials wurde mittels Fourier-Transformation-Infrarot-(FTIR)-Spektroskopie bestimmt. Je nach Partikelgröße kommen unterschiedliche Messsysteme zum Einsatz: Für die Quantifizierung im Größenbereich von 0,05–1 mm wurde mittels FTIR-Mikrospektroskopie in Transmission im Imaging Modus gemessen. Das Imaging-Verfahren liefert neben der chemischen Information über das Mikroplastikmaterial auch die optische Information über die Mikroplastik-Teilchengröße und -form. Es wurde auf 10 Kunststoffarten getestet, die häufig in Gebrauch sind: Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polystyrol (PS), Polyethylenterephthalat (PET), Polyamid (PA), Polyurethan (PU), Polycarbonat (PC), Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polyoxymethylen (POM).

Die Quantifizierung von Mikroplastik im Größenbereich von 1–5 mm erfolgte mittels ATR-FTIR-Spektroskopie anhand von Einzelpartikeln. In diesem Größenbereich wurde neben der Partikelanzahl auch das Gewicht der Mikroplastikteilchen ermittelt. Für die Abschätzung des Kunststoffgewichts wurde eine visuelle Sortieranalyse auf mögliche Kunststoffe (Folien, Fragmente, Fasern, Pellets, Schaum) durchgeführt. Zusätzlich zur visuellen Selektion wurden Stichproben mittels ATR-FTIR-Spektroskopie gemessen, um eine fundierte Materialidentifizierung als Kunststoff bzw. Nicht-Kunststoff zu ermöglichen. Bei der anschließenden Wägung der vorsortierten Kunststofffraktion wurden alle Teilchen exkludiert, die sich nicht als Kunststoff bestätigt hatten.

Eine Massenbestimmung von Mikroplastik im Größenbereich 0,05–1 mm ist mit dem angewandten spektroskopischen Bestimmungsverfahren nicht möglich. Zu diesem Zweck sind thermoanalytische Methoden, wie zum Beispiel die Pyrolyse-GC-MS, geeignet. Die manuelle, visuelle Sortierung und anschließende Massenbestimmung ist für Teilchen unter 0,5 mm mit großen Unsicherheiten verbunden und wurde nicht durchgeführt.

Die Bestimmungsgrenze der Quantifizierung berechnet sich aus der kleinsten bestimmbaren Anzahl von Mikroplastikteilchen (das ist ein Stück) bezogen auf die im FTIR-Spektrometer analysierte Teilmenge der Klärschlammprobe (3–7 g TM). Zur Qualitätskontrolle wurden zwei Verfahrensblindwerte parallel zu den Analysenproben mitgeführt. Eine der beiden mitgeführten Blindwertproben wurde positiv auf Mikroplastikpartikel getestet. Die gefundenen Partikel liegen jedoch in der Größenordnung der Bestimmungsgrenze. Aufgrund der hohen Anzahl der gefundenen Mikroplastikpartikel in den Klärschlammproben ergeben sich keine Auswirkungen auf die Ergebnisse.

Abbildung 2:
 Oben: Klärschlammprobe (Fraktion 50 µm–1 mm) auf Aluminiumoxid Filter; Mitte: Darstellung des gesamten Filters im Spectrum IMAGE, Korrelationsvergleich mit Polyurethan (PU); Unten: Abgleich eines PU Referenzspektrums (blau) mit dem gemessenen Spektrum (schwarz).



2.3.3 Quantifizierung Reifenabrieb

Bei zehn ausgewählten Proben wurde die Menge an Reifenabrieb durch ein Auftragslabor untersucht. Die Analyse erfolgte nach einer physikalischen, chemischen und enzymatischen Aufreinigung mittels Pyrolyse-GC/MS. Als Leitparameter diente SBR (Styrol-Butadien-Kautschuk).

3 ERGEBNISSE

3.1 Mikroplastikkonzentrationen im Klärschlamm

Die Anzahl der gefundenen Mikroplastikpartikel in den Klärschlammproben reichte von 2.339–633.414 Stk./kg. Die durchschnittliche Konzentration lag bei 85.221 ± 103.175 Stk./kg. Die Ergebnisse beziehen sich auf die Trockenmasse des Klärschlammes.

Alle Proben enthielten Mikroplastik im Größenbereich 0,05–1 mm. Die Mikroplastikkonzentration lag in dieser Fraktion zwischen 2.202 und 632.852 Stk./kg. 29 der 35 untersuchten Schlammproben enthielten Mikroplastik im Größenbereich von 1–5 mm. Die Mikroplastikkonzentration lag hier zwischen 138 und 3289 Stk./kg. Die Massenbestimmung ergab zwischen 3 und 4.520 mg Kunststoff pro Kilogramm Klärschlamm.

Im Vergleich zu den restlichen Proben zeigte Probe 2003 01178 einen deutlich niedrigeren Gesamtgehalt an Mikroplastik. Ein Unterschied zu den anderen Proben zeigte sich bereits bei der Probenvorbereitung in der Beschaffenheit des Klärschlammes. Bezogen auf den Einwohnerwert handelt es sich um eine kleinere, ländlich geprägte Kläranlage, was jedoch auch auf weitere Kläranlagen zutrifft. Weiters konnten keine eindeutigen Unterschiede zu anderen Kläranlagen welche den, im Vergleich zu den anderen Proben, geringen Wert erklären können identifiziert werden.

Probe 2004 01587 hingegen wies mit 633 414 Stk./kg im Vergleich einen sehr hohen Wert an Mikroplastik auf. Dieser könnte auf die starke Belastung der Kläranlage mit industriellen Einleitern mit Kunststoffbezug zurückzuführen sein.

Vergleich mit Literaturwerten

Obwohl es bereits einige Untersuchungen zur Belastung von Klärschlämmen mit Mikroplastik gibt, sind Vergleiche von gefundenen Mikroplastikkonzentrationen zwischen Studien aufgrund mehrerer Faktoren nur eingeschränkt möglich. Zum einen wurden aufgrund fehlender Standards unterschiedliche Probenahme- sowie Analysemethoden angewendet und unterschiedliche Größenklassen analysiert. Zum anderen wurden Klärschlämme aus Kläranlagen mit unterschiedlichen Behandlungsverfahren und Einzugsgebieten untersucht (3). Da all diese Faktoren die Konzentration von Mikroplastik in Klärschlämmen beeinflussen können, schwanken die Werte von Mikroplastik in Klärschlämmen in verschiedenen Studien stark.

Die Werte der untersuchten Proben dieser Studie bewegen sich jedoch grundsätzlich im Rahmen von Werten aus anderen Untersuchungen. Tabelle 1 zeigt eine Auswahl an Studien, in denen Klärschlamm auf Mikroplastik untersucht wurde. Die Konzentrationen schwanken dabei zwischen einigen Tausend und mehreren hundert Tausend Partikeln pro kg Klärschlamm.

Tabelle 1:
Literaturwerte zu Mikro-
plastikkonzentrationen
in Klärschlämmen.

Mikroplastik (Stk./kg TM)	kleinste analysierte Partikelgröße	gefundene Polymerarten	Quelle
1.701–19.837	>50 µm	PE, PET, PP, PU,...	(4)
2.933 ± 611–5.333 ± 1.501	> 50 µm	PBA, Rayon, PA, PBMA, PE, PET, PP,...	(5)
8.678–14.407	k. A.	PE, PP, Polyester,...	(6)
10.120 ± 1.020 bzw. 12.340 ± 570	< 100 µm	PP, PE, PS,...	(7)
Ø 1.000.000–4.000.000	> 25 µm	PE, PP	(8)
Ø 133.000 ± 59.000	> 25 µm	Polyester, Acrylfasern, PE, PP	(9)

3.1.1 Mögliche Einflüsse auf die Mikroplastikkonzentrationen

Die Quellen des Abwassers (Einzugsgebiet, Industrieeinleiter etc.) sowie Behandlungsmethoden des Abwassers bzw. des Klärschlammes können die Konzentration von Mikroplastik im Klärschlamm beeinflussen.

Im Zuge der Datenauswertung wurden die Ergebnisse mit unterschiedlichen Parametern, welche einen Einfluss auf die Menge an gefundenem Mikroplastik haben können, verglichen.

Einfluss von Kanalsystem und Urbanisierungsgrad

Im Rahmen dieser Studie wiesen die Einwohnerwerte und somit die Größe der Kläranlagen keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtmenge an gefundenem Mikroplastik auf. Diese Erkenntnis deckt sich mit anderen Studien (10, 11). Der Urbanisierungsgrad zeigte ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtmenge an Mikroplastik im Bereich 0,05–5 mm, jedoch konnte ein Einfluss auf großes Mikroplastik (1–5 mm) festgestellt werden. In Schlämmen aus Kläranlagen mit vorwiegend urbanem Einzugsgebiet wurden größere Mengen an Mikroplastik > 1 mm festgestellt, als in Schlämmen aus Kläranlagen mit vorwiegend ländlichem Einzugsgebiet. Dies könnte jedoch auch mit dem vorhandenen Kanalsystem zusammenhängen. Bei Kläranlagen mit vorwiegend urbanem Einzugsgebiet ist ein Mischsystem häufiger, bei Kläranlagen mit vorwiegend ländlichen ein Trennsystem. Ein signifikant höherer Anteil an Mikroplastik > 1 mm wurde bei Kläranlagen festgestellt, bei denen Mischsysteme vorherrschen (Abbildung 3).

Im Vorfeld der Untersuchung wurden Besonderheiten in der Einleitercharakteristik der jeweiligen Kläranlagen erhoben. Hierbei war auffallend, dass jene drei Kläranlagen, bei denen mit Abstand die höchsten Konzentrationen an Mikroplastik im Klärschlamm gefunden wurden, stark von Einleitern mit Bezug zur Kunststoffindustrie geprägt sind (Kunststoffproduktion, -recycling, Pulverbeschichtungen etc.).

Einsatz von Co-Substraten

Ein Eintrag von Kunststoffen in den Klärschlamm kann auch durch den Einsatz von Co-Substraten erfolgen. Dabei werden zerkleinerte Speise- und Lebensmittelreste zur Erhöhung der Gasproduktion in den Faulturn geleitet. Verpackungsreste können hier zu einem erhöhten Kunststoffeintrag beitragen. Im

Vorfeld der Untersuchung wurde erhoben, ob eine Co-Fermentation von Bio-Abfällen mit dem Klärschlamm durchgeführt wurde. Über die Auswirkungen können aufgrund der wenigen Fälle mit Co-Fermentation keine definitiven Aussagen gemacht werden. Bei Kläranlagen, in denen Bioabfälle gemeinsam mit dem Klärschlamm behandelt wurden, lag die Anzahl an Mikroplastik > 1 mm jedoch über dem Durchschnitt.

Aufgrund der begrenzten Anzahl an untersuchten Kläranlagen und den unterschiedlichen Behandlungsprozessen konnten in dieser Untersuchung keine Unterschiede zwischen den Entwässerungssystemen festgestellt werden.

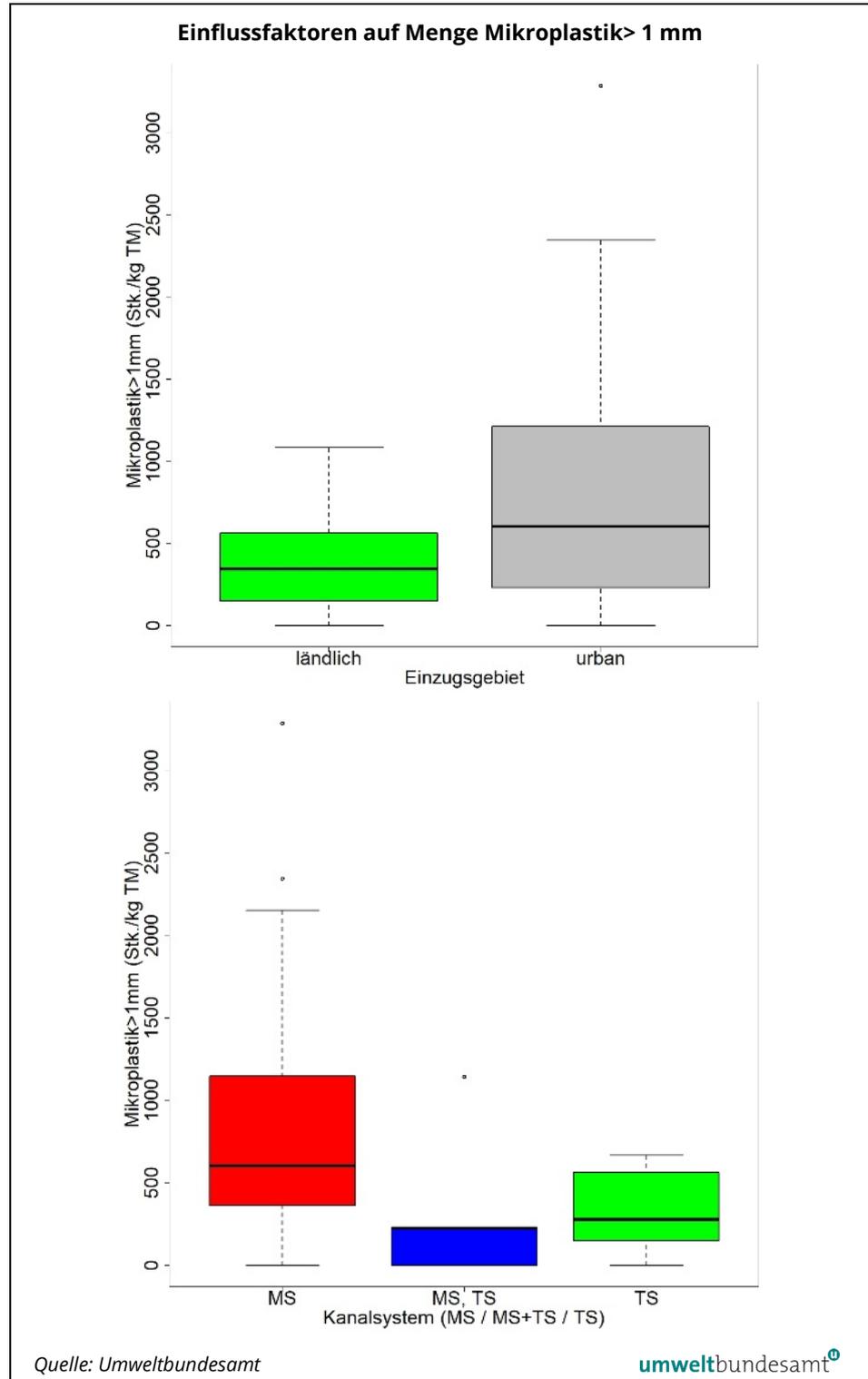
Um einen möglichen Einfluss von Klärschlamm-Trocknungsanlagen auf den Kunststoffgehalt bzw. die Verteilung der Kunststoffarten im Klärschlamm zu identifizieren, wurde bei zwei Kläranlagen, die eine Klärschlamm-Trocknung am Standort durchführen, neben der Mischprobe nach der Entwässerung auch eine weitere Mischprobe nach dem Klärschlamm-Trockner analysiert.

**kein Einfluss durch
Schlamm-Trocknung**

Die Temperaturen der beiden Trocknungsanlagen schwankten zwischen 80 und 140 bzw. 90 und 150 °C. Der Vergleich der analysierten Mikroplastikpartikel des entwässerten bzw. getrockneten Klärschlammes zeigte hinsichtlich Menge bzw. Kunststoffart keinen eindeutigen Einfluss des Trockners. Auch konnten keine morphologischen Auffälligkeiten entdeckt werden. Die Temperaturen der Trocknungsanlagen waren offenbar zu niedrig, um die Beschaffenheit der Mikroplastikpartikel zu verändern.

Die Datenlage zum Einfluss von Klärschlamm-Trocknungen ist derzeit noch gering. Morphologische Unterschiede in Form von Schmelzen und Bläschenbildung an PE-Partikeln nach der Trocknung wurden in einer Studie aus 2017 beobachtet (10). Eine andere Studie, in der Nassschlamm und getrocknete Schlamm-Pellets untersucht wurden, zeigte ebenfalls ähnliche Mikroplastikkonzentrationen in beiden Schlammformen. Auch hier wurde die Prozesstemperatur der Trockner als zu niedrig erachtet, um die Partikel zu verändern (9).

Abbildung 3:
Einfluss von Urbanisierungsgrad bzw. Kanalsystem auf Menge Mikroplastik > 1 mm. Urban: vorw. urbanes Einzugsgebiet (n = 18); ländlich: vorw. ländliches Einzugsgebiet (n = 17); MS: vorw. Mischsystem (n = 20); TS: vorw. Trennsystem (n = 10) MT + TS: sowohl Misch- als auch Trennsystem (n = 5).



3.2 Kunststoffarten

PU, PET und PP als dominierende Kunststoffarten

Im Größenbereich 0,05–1 mm wurden alle Partikel auf die 10 am häufigsten vorkommenden Kunststoffarten getestet: Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polystyrol (PS), Polyethylenterephthalat (PET), Polyamid (PA), Polyurethan (PU), Polycarbonat (PC), Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polyoxymethylen (POM). Für alle diese Kunststoffe wurden positive Nachweise erbracht. In den einzelnen Proben wurden mindestens sechs und bis zu zehn verschiedene Kunststoffarten nachgewiesen. Den größten Anteil an der Gesamtmenge der gefundenen Partikel machte Polyurethan (PU) aus. 36,14 % der insgesamt gefundenen Partikel waren auf diese Kunststoffart zurückzuführen. Danach folgten PET und PP welche mit 24,86 % und 20,55 % in ähnlich großem Ausmaß analysiert wurden. PS und PE machten jeweils einen Anteil von 7,98 % bzw. 7,20 % aus. PVC, PA, PMMA und POM wurden nur in geringen Mengen gefunden. Insgesamt stellten nur drei verschiedene Polymerarten rund 80 % der gesamten gefundenen Mikroplastikpartikel dar (Abbildung 4).

Für den Größenbereich 1–5 mm wurden die aussortierten Partikel einzeln mittels ATR-FTIR Spektroskopie untersucht. Dabei wurden 11 verschiedene Kunststoffarten gefunden.² PE und PET waren hierbei die dominierenden Polymerarten (31,03 bzw. 25,29 %) gefolgt von PP und PS (18,39 bzw. 11,49 %). Interessanterweise wurde in diesem Größenbereich kein Polyurethan identifiziert. Eine mögliche Erklärung könnte in der Eigenschaft des Kunststoffs zu finden sein. Polyurethan wird häufig für Schaumstoffe eingesetzt. Bei der Analyse der Fraktion 0,05–1 mm war auffallend, dass PU-Partikel auf dem Filter sehr klein und regelmäßig waren, was auf eine Fragmentierung hindeuten kann.

In bisher durchgeführten Studien zu Mikroplastik in Klärschlämmen waren vor allem PE, PET und PP unter den am häufigsten gefundene Polymerarten (4, 6). Eine Dominanz von PU wie in dieser Untersuchung, ist in anderen Studien nicht dokumentiert.

Eine genaue Zuordnung der gefundenen Polymerarten auf potentielle Eintragspfade ist aufgrund der Vielfalt an Quellen und der ubiquitären Verwendung von Kunststoffen nur begrenzt möglich.

² Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS), Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM), Ethylen-Vinylacetat-Copolymere (EVA), Polybutylenterephthalat (PBT), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polyoxymethylen (POM), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polysulfon (PSU), Polyurethan-Akrylharz (PU-Akrylharz).

Abbildung 4:
Anteil der Kunststoffarten an der Gesamtzahl der analysierten Mikroplastikpartikel im Größenbereich 0,05–1 mm.

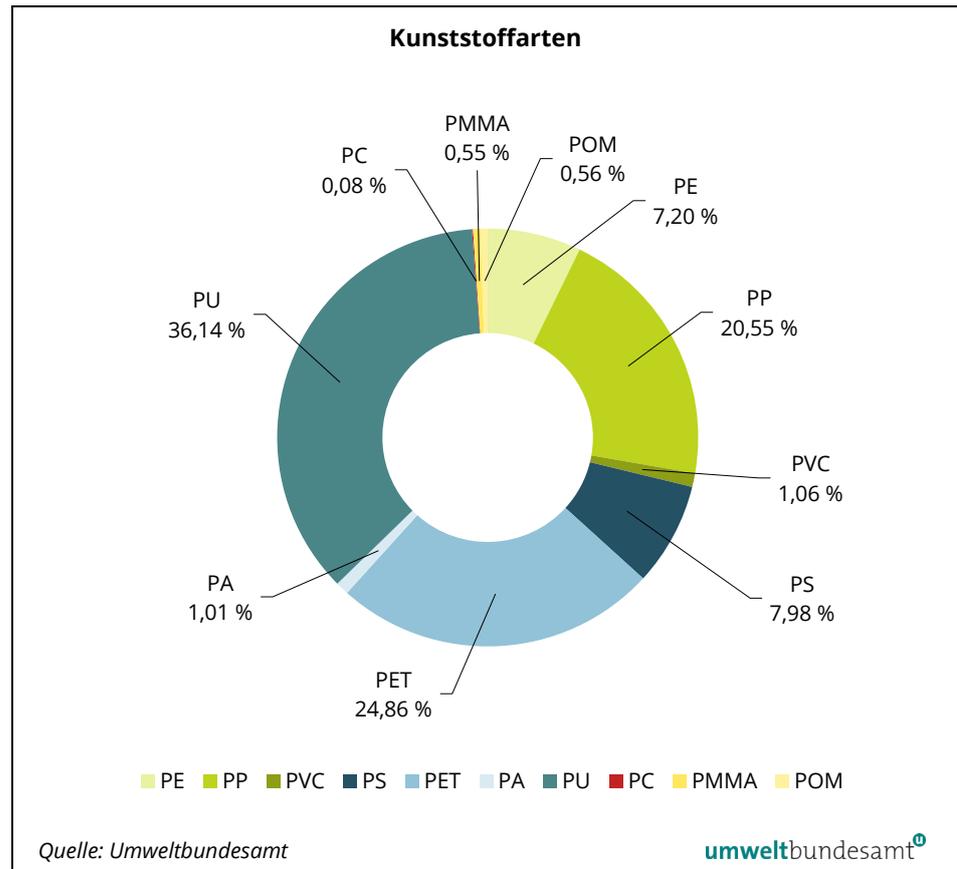


Tabelle 2 zeigt Beispiele für das Vorkommen und die Anwendung von häufigen Kunststoffarten.

Tabelle 2:
Beispiele für Vorkommen und Anwendung von häufigen Kunststoffarten.

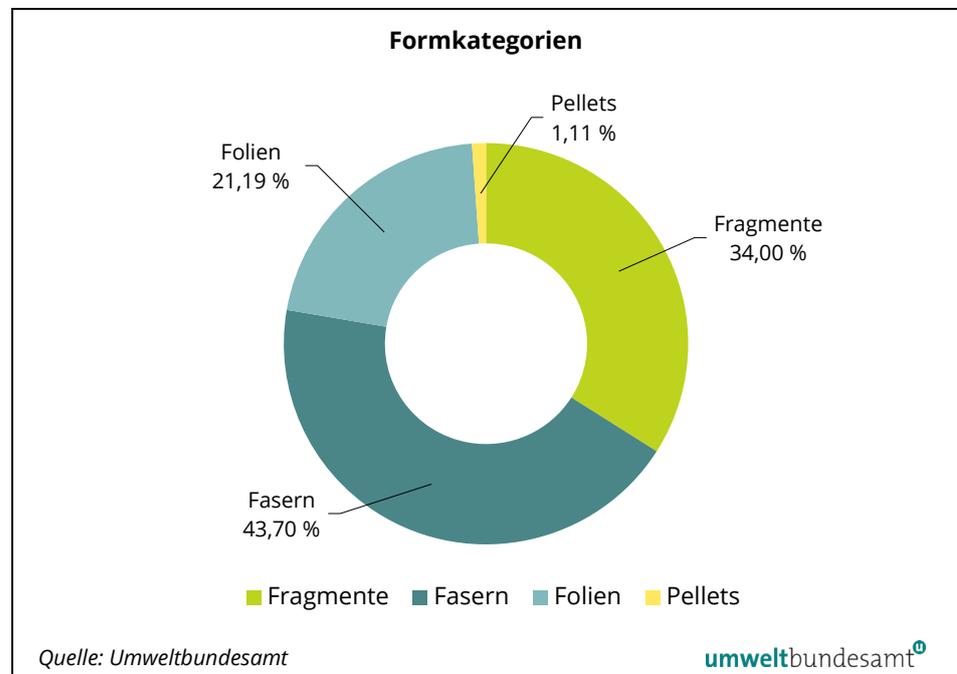
Kunststoff	Beispiele für Vorkommen und Anwendung
PE Polyethylen	Folien, Verpackungen, einfache Spritzgussteile
PP Polypropylen	Folien, Verpackung, Schäume, Fasern, Gehäusewerkstoff, Karosserieteile
PVC Polyvinylchlorid	Bausektor (Fenster, Bodenbelag, Rohre), Isolationsmaterial
PS Polystyrol	Verpackung, Dämmstoff; Elektronikgehäuse
PET Polyethylen-terephthalat	Kunststoffflaschen, Textilfasern, Folien
PA Polyamid	Fasern (Bekleidung, techn. Gewebe), Fahrzeugbau, Isolatoren
PU Polyurethan	Schaumstoff (Polstermaterial, Wärmedämmung), Dichtungsmasse, Klebstoffe, Lacke, Schuhsohlen
PC Polycarbonat	Glasalternative, Speichermedien, Bauwesen
PMMA Polymethyl-methacrylat	Glasalternative (Handelsname „Plexiglas“)
POM Polyoxymethylen	Spritzgussteile für Maschinen-/Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Lebensmittelindustrie

3.3 Partikelformen

Im Größenbereich 1–5 mm wurden die selektierten Partikel in fünf Formkategorien sortiert: Folien, Fragmente, Fasern und Pellets. Hierbei dominierten, bezogen auf Stück pro Kilogramm, Fasern (43,70 %) gefolgt von Fragmenten (34,00 %). Folien machten einen Anteil von 21,19 % aus, Pellets wurden hingegen nur in 1,11 % der Fälle gefunden.

Die Verteilung der Formkategorien stimmt mit Daten aus anderen Studien überein. In den meisten Untersuchungen wurden neben Fragmenten und Folien hauptsächlich Fasern gefunden. Die große Menge an Fasern kann durch Grauwasser der Haushalte (Kleidung aus Kunststofffasern) und industrielle Einleiter erklärt werden (12, 13).

Abbildung 5:
Anteil der jeweiligen
Formkategorien an der
Gesamtanzahl der Mikro-
plastikpartikel im Grö-
ßenbereich 1–5 mm (ba-
sierend auf Stk./kg).



3.4 Reifenabrieb

Mikroplastik kann durch viele unterschiedliche Quellen in die Umwelt gelangen. Einer der Hauptverursacher von Mikroplastik ist der Abrieb von Reifen durch den Verkehr. Der Großteil wird innerhalb von fünf Metern links und rechts neben Straßen deponiert, ein weiterer Teil gelangt in Oberflächengewässer und der Rest wird in den Boden eingetragen. Es wird davon ausgegangen, dass ein bedeutender Teil schlussendlich in Kläranlagen landet (14, 15).

Eintrag von Reifenabrieb über Mischsystem

Für alle Klärschlammproben wurde ein Screening auf Reifenabrieb durchgeführt. Bei zehn ausgewählten Kläranlagen wurde zusätzlich die Menge an Reifenabrieb in $\mu\text{g/g}$ quantifiziert. In allen Klärschlammproben konnte Reifenabrieb nachgewiesen werden. Für die Quantifizierung wurden die Kläranlagen nach Kanalsystem ausgewählt, um einen möglichen Einfluss auf die Menge an Reifenabrieb zu ermitteln. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass Mischsysteme zu einem erhöhten Eintrag von Reifenabriebspartikeln in die Kläranlage und somit in den Klärschlamm führen.

Obwohl die Quantifizierung nur an zehn Proben durchgeführt wurde, zeigte sich, dass Proben aus Kläranlagen mit einem vorrangig aus einem Mischsystem bestehenden Kanalsystem, verglichen mit Kläranlagen mit Trennsystem, vermehrt eine erhöhte Menge an Reifenabrieb aufweisen. Es wurden Mengen zwischen $2,56 \mu\text{g/g}$ und $45,06 \mu\text{g/g}$ analysiert (Tabelle 3).

*Tabelle 3:
Menge an Reifenabrieb
($\mu\text{g/g}$) in zehn ausge-
wählten Proben.*

LABOR- NUMMER.	REIFENABRIEB $\mu\text{g/g}$			
	> 20 μm	> 50 μm	> 100 μm	Gesamt
2003 01169	0,32	0,24	7,71	8,27
2003 01174	0,26	0,6	5,68	6,54
2003 01179	0,16	0,09	6,33	6,58
2004 01586	2,41	2,46	7,27	12,14
2004 01587	0,08	0,02	9,09	9,19
2005 01758	0,65	0,05	4,28	4,98
2005 01921	0,03	0,03	2,5	2,56
2005 01925	0,93	0,56	43,57	45,06
2006 02382	0,88	0,75	20,76	22,39
2008 03525	1,96	0,73	10,52	13,21

4 LITERATUR

1. BERTLING, J., R. BERTLING und L. HAMANN. Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung der Konsortialstudie. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- Und Energietechnik -UMSICHT, Hg. Oberhausen, 2018.
2. BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE (BMK). Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017. Wien, 2017.
3. LUSHER, A.L., R.R. HURLEY und C. VOGELSANG. Microplastics in sewage sludge: Captured but released? In: H.K. Karapanagioti und I.K. Kalavrouziotis, Hg. Microplastics in Water and Wastewater: IWA Publishing, 2019, S. 85-100. ISBN 9781789060034.
4. LUSHER, A., R. HURLEY, C. VOGELSANG, L. NIZZETTO und M. OLSEN. Mapping microplastics in sludge, Norwegian Institute for Water Research, 2018.
5. XU, Q., Y. GAO, L. XU, W. SHI, F. WANG, G.A. LEBLANC, S. CUI, L. AN und K. LEI. Investigation of the microplastics profile in sludge from China's largest Water reclamation plant using a feasible isolation device. Journal of hazardous materials, 2020, 388, 122067. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jhazmat.2020.122067
6. Crossman, J., R.R. Hurley, M. Futter und L. Nizzetto. Transfer and transport of microplastics from biosolids to agricultural soils and the wider environment. The Science of the total environment, 2020, 724, 138334. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138334
7. YANG, Z., S. LI, S. MA, P. LIU, D. PENG, Z. OUYANG und X. GUO. Characteristics and removal efficiency of microplastics in sewage treatment plant of Xi'an City, northwest China. The Science of the total environment, 2021, 771, 145377. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145377
8. BALL, H., R. CROSS, E. GROVE, A. HORTON, A. JOHNSON, M. JÜRGENS, D. READ und C. SVENDSEN. Sink To River – River To Tap. A Review of Potential Risks From Nanoparticles and Microplastics. UK Water Industry Research Limited, London, 2019.
9. EDO, C., M. GONZÁLEZ-PLEITER, F. LEGANÉS, F. FERNÁNDEZ-PIÑAS und R. ROSAL. Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. Environmental pollution, 2020, 259, 113837. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.envpol.2019.113837
10. MAHON, A.M., B. O'CONNELL, M.G. HEALY, I. O'CONNOR, R. OFFICER, R. NASH und L. MORRISON. Microplastics in Sewage Sludge: Effects of Treatment. Environmental science & technology, 2017, 51(2), 810-818. Verfügbar unter: doi:10.1021/acs.est.6b04048

11. LI, X., L. CHEN, Q. MEI, B. DONG, X. DAI, G. DING und E.Y. ZENG. Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water research*, 2018, 142, 75-85. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.watres.2018.05.034
12. LARES, M., M.C. NCIBI, M. SILLANPÄÄ und M. SILLANPÄÄ. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water research*, 2018, 133, 236-246. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.watres.2018.01.049
13. SUN, J., X. DAI, Q. WANG, M.C.M. VAN LOOSDRECHT und B.-J. NI. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water research*, 2019, 152, 21-37. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.watres.2018.12.05014. SIEBER, R., D. KAWECKI und B. NOWACK. Dynamic probabilistic material flow analysis of rubber release from tires into the environment. *Environmental pollution*, 2020, 258, 113573. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.envpol.2019.113573
15. BAENSCH-BALTRUSCHAT, B., B. KOCHER, C. KOCHLEUS, F. STOCK und G. REIFFERSCHIED. Tyre and road wear particles - A calculation of generation, transport and release to water and soil with special regard to German roads. *The Science of the total environment*, 2021, 752, 141939. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141939

5 ANHANG

Tabelle 4: Mikroplastikanzahl in Stück/kg und mg/kg in den einzelnen Klärschlammproben.

LABOR- NUMMER	MIKROPLASTIK			
	Stück/kg TM			mg/kg TM
	0,05–1 mm	1–5 mm	0,05–5 mm	1–5 mm
2003 01169	101176	1212	102388	101
2003 01170	70694	899	71593	18
2003 01171	81910	745	82654	130
2003 01172	56307	1297	57604	354
2003 01173	68669	264	68933	5
2003 01174	45794	223	46017	8
2003 01175	90304	3289	93593	767
2003 01176	38861	2347	41208	511
2003 01178	2202	138	2339	14
2003 01179	47067	0	47067	0
2003 01180	37460	388	37849	4
2003 01181	98685	344	99029	7
2003 01182	128020	0	128020	0
2003 01183	28221	379	28600	17
2003 01184	208899	667	209566	71
2004 01519	48799	394	49192	13
2004 01586	42534	0	42534	0
2004 01587	632852	562	633414	53
2005 01758	45677	0	45677	0
2005 01774	95279	631	95910	25
2005 01918	124952	1081	126032	65
2005 01919	54934	275	55208	42
2005 01920	125698	1143	126841	73
2005 01921	57793	278	58070	3
2005 01922	108284	2155	110439	63
2005 01923	69124	449	69573	17
2005 01924	32192	0	32192	0
2005 01925	18526	0	18526	0
2006 02382	41462	999	42462	4520
2006 02384	51439	674	52112	18
2006 02386	39472	150	39621	4
2006 02387	153812	230	154041	8
2007 02738	63826	527	64354	15
2008 03525	37775	515	38290	24
2008 03747	11571	227	11798	3

Abbildung 6: Verteilung der Kunststoffarten in den jeweiligen Proben.

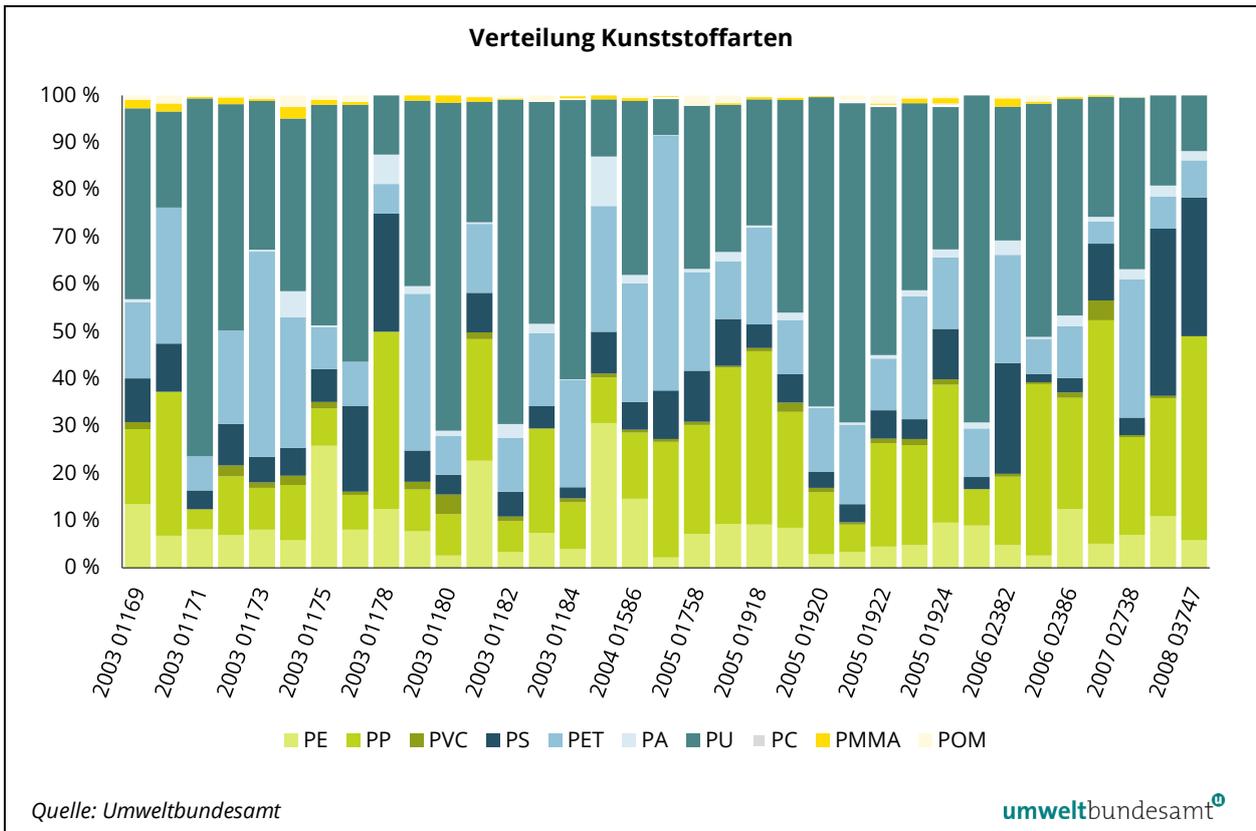
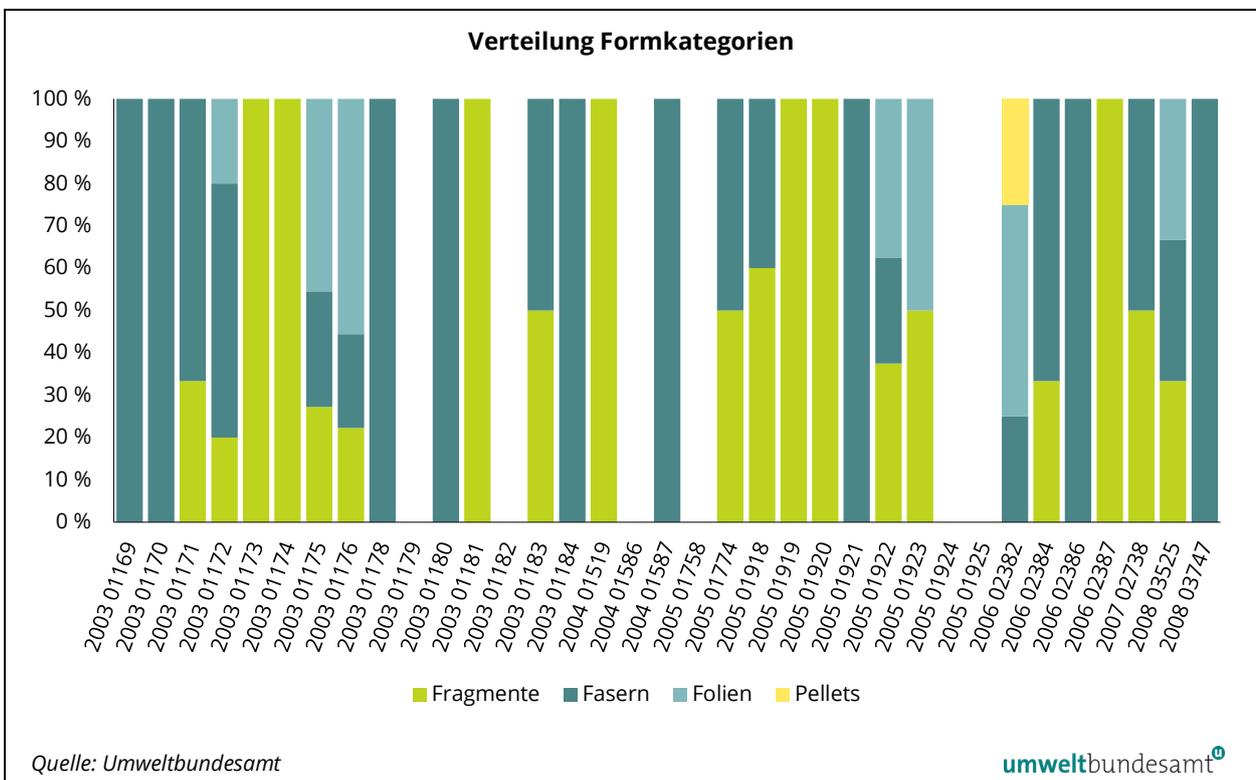


Abbildung 7: Verteilung der Formkategorien in den jeweiligen Proben.



Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

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

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Mikroplastik gelangt durch verschiedene Quellen in das Abwasser und somit in den Klärschlamm. Diese Studie gibt einen ersten Einblick in das Aufkommen von Mikroplastik in Klärschlämmen aus österreichischen Kläranlagen. Dazu wurden Proben aus 35 kommunalen Abwasserreinigungsanlagen untersucht. Als dominierende Kunststoffarten wurden PU, PET und PP nachgewiesen. Ein Zusammenhang zwischen Einwohnerwerten im Einzugsgebiet der Kläranlage und Anzahl der Mikroplastikteilchen konnte nicht festgestellt werden. Für Kunststoffpartikel > 1 mm wurde ein möglicher Einfluss durch das Kanalsystem (Misch- oder Trennsystem) bzw. durch den Urbanisierungsgrad festgestellt. Sehr hohe Mikroplastikwerte sind vermutlich auf industrielle Einleiter zurückzuführen. Insgesamt ist anzunehmen, dass eine Vielfalt an Faktoren für die Menge und Art der Zusammensetzung von Mikroplastik im Klärschlamm verantwortlich ist.