

**UNIVERSITÄT
BAYREUTH**

**ORIENTIERENDE UNTERSUCHUNGEN ZUR
MIKROPLASTIKKONTAMINATION
IN FLIEßGEWÄSSERN THÜRINGENS
AM BEISPIEL DER SAALE**

2018/2019

- ERGEBNISBERICHT -



Durchführung der Studie & Bericht:

Dr. Martin Löder, Ursula Wilczek & Heghnar Martirosyan
Prof Dr. Christian Laforsch - Lehrstuhl für Tierökologie I
Universität Bayreuth
Universitätsstraße 30
D-95447 Bayreuth

Bayreuth, im April 2020

Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund	3
2. Projektziel.....	4
3. Material und Methoden	5
3.1 Probenahmestellen.....	5
3.2 Probenahme.....	6
3.3 Vermeidung von Kontaminationen	8
3.4 Aufbereitung der Proben	9
3.5 FTIR Analyse	9
3.5.1 Partikel > 500 µm	9
3.5.2 Partikel < 500 µm	9
3.5.3 Kategorisierung der Analyseergebnisse	10
3.6 Auswertung der Daten.....	10
4. Ergebnisse	11
4.1 Makro- und Mikroplastik-Konzentrationen	11
4.1.1 Probenahme 2018.....	11
4.1.2 Probenahme 2019.....	13
4.2 Vergleich der Gesamtplastikkonzentrationen 2018/2019.....	14
4.3 Mikroplastik-Polymerzusammensetzung.....	15
4.4 Mikroplastik-Partikelformen	17
5. Einordnung der Ergebnisse	19
6. Zusammenfassung	23
7. Literaturverzeichnis	25
8. Anhang - Tabellarische Übersicht der Ergebnisse	26

1. Hintergrund

Aufgrund ihrer vielen materialbedingten Vorteile finden sich Kunststoffe in einer enormen Vielzahl an Produkten unserer modernen Gesellschaft. Es ist daher davon auszugehen, dass der Bedarf an Kunststoffen in den kommenden Jahrzehnten sowohl global als auch national weiter stark ansteigen wird. Gleichzeitig wird auch das Aufkommen von Plastikmüll ebenfalls rapide zunehmen und damit leider auch der Anteil an Plastik, der in die Umwelt gelangt. Aufgrund der sehr langsamen Abbaudynamik von Kunststoffen, wird jeglicher bis dato in die Umwelt freigesetzte Plastikmüll allerdings voraussichtlich bis über mehrere hundert Jahre in der Umwelt nachweisbar sein.

Durch unterschiedliche Degradationsprozesse zerfällt größerer Kunststoffmüll in der Umwelt in immer kleinere Fragmente, zu sogenanntem sekundärem Mikroplastik (Partikel $< 5\text{mm}$). Eine zweite Kategorie sind eigens in der Größe von Mikroplastik hergestellte, sogenannte primäre Mikroplastikpartikel, wie z.B. Industriepellets, Strahlmittel, Zusätze in Kosmetika oder Reinigungsprodukten. Diese können mit sekundärem Mikroplastik wie Fasern aus Kleidung und Abrieb von Plastikprodukten des täglichen Lebens über das Abwasser und die Kläranlagen in Oberflächengewässer gelangen. Deswegen stellen Kläranlageneinleitungen eine wichtige Punktquelle für Mikroplastik dar. Beispiele für diffuse Eintragsquellen sind in der Landwirtschaft verwendete Kunststoffe, wie Mulchfolien, Foliengewächshäuser, Silagefolien etc. und über organischen Dünger wie Kompost oder Klärschlamm ausgebrachtes Mikroplastik sowie eine schwer quantifizierbare Menge an unsachgemäß entsorgtem Plastikmüll, der achtlos weggeworfen in der Umwelt landet. Mikroplastik aus diffusen Quellen kann über den Wind oder dem Abfluss von Regenwasser in Gewässer eingetragen werden. Die Liste mit potenziellen Quellen lässt sich beliebig erweitern, da fast überall wo Kunststoffe eingesetzt werden Abrieb - und damit Mikroplastik - produziert wird. Eine genauere Quantifizierung des Anteils bestimmter Quellen ist ebenso schwierig wie die Bestimmung der Herkunft des in der Umwelt vorgefundenen Mikroplastiks. Kugelförmige bunte Mikroplastikpartikel können mit einer gewissen Sicherheit Kosmetika zugeordnet werden - leider ist jedoch ein mikroskopisch kleines PE-Mikroplastikfragment aus der Landwirtschaft nicht von einem PE-Mikroplastikfragment einer Verpackung das z.B. im städtischen Bereich freigesetzt wurde, zu unterscheiden. Neben der groben Abschätzung bleibt deswegen derzeit nur die Möglichkeit z.B. an Punktquellen wie Kläranlagen direkt zu messen, um deren Wichtigkeit als Quelle zu beurteilen.

Auch zu den ökologischen Konsequenzen gibt es noch erheblichen Forschungsbedarf: Kunststoffpartikel können giftige Additive enthalten, organische Schadstoffe adsorbieren und als Vektoren für Pathogene dienen. Gerade Mikroplastikpartikel bergen die Gefahr von Organismen aufgenommen zu werden und können sich dadurch potenziell in höheren trophischen Ebenen der Nahrungskette anreichern, wobei sie dann eine potentielle Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen. In diesem Zusammenhang wurde die Belastung der Weltmeere mit Makro- und Mikroplastik in den letzten Jahren intensiv dokumentiert, wobei negative Auswirkungen vor allem auf die Fauna mariner Ökosysteme beobachtet wurden.

Bislang gibt es nur wenige Untersuchungen bezüglich der Kontamination limnischer Gewässer mit Kunststoffen.

Das Thema Mikroplastik findet in den letzten Jahren jedoch verstärkt in den Medien und der breiten Öffentlichkeit Beachtung. Der Grund hierfür sind veröffentlichte Studien zu Mikroplastik in Gewässern, in Wasserorganismen und sogar in Lebensmitteln wie Honig oder Trinkwasser.

Problematisch ist, dass die Untersuchungsergebnisse der Studien aufgrund der angewandten, auch qualitativ sehr unterschiedlichen Untersuchungsverfahren häufig nicht direkt miteinander vergleichbar sind und eine Interpretation der unterschiedlichen Berichte teilweise sehr schwierig ist. Bislang gibt es keine standardisierte Technik zur Probenahme, zur Probenaufbereitung wie auch zum Nachweis von Mikroplastik. Grundvoraussetzung zum verlässlichen Nachweis von Mikroplastikpartikeln in Umweltproben sind Analysenmethoden, die unzweifelhafte Daten liefern. Die in vielen älteren Studien angewandte rein visuelle Bestimmung von Mikroplastik ist stark fehlerbehaftet. Gegenwärtig ermöglichen nur spektroskopische Verfahren wie die FTIR (Fourier-Transformations-Infrarot)-Spektroskopie eine eindeutige Identifizierung und Charakterisierung einzelner Mikroplastikpartikel. Dabei werden Polymerzusammensetzung, Form und Größe der Mikroplastikpartikel ermittelt. Der Nachweis von Reifenabriebpartikeln in Umweltproben stellt derzeit generell noch eine große analytische Herausforderung dar, eine verlässliche Technik für Routineanalysen ist derzeit nicht verfügbar.

Um einen ersten Überblick über das Vorkommen von Mikroplastik in Binnengewässern zu erhalten, haben die fünf Bundesländer Baden- Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz zwischen 2014 und 2017 Untersuchungsprogramme in unterschiedlichen Fließgewässern initiiert (Heß et al. 2018). Eine länderübergreifende methodische Vergleichbarkeit der Daten wurde gewährleistet, da die Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse von Mikroplastikpartikeln mittels FTIR-Spektroskopie in den beteiligten Bundesländern komplett durch die Universität Bayreuth, Lehrstuhl Tierökologie I (AG Prof. Dr. Laforsch), durchgeführt wurde.

2. Projektziel

Ziel dieses Pilotprojektes war es, eine orientierende Wissensgrundlage über die bis dato nicht berücksichtigte Mikroplastikkontamination der Fließgewässer in Thüringen am Beispiel der Saale zu schaffen und somit eine erste Einschätzung des Ausmaßes der Mikroplastikbelastung der Saale in Thüringen zu ermöglichen. Hier wurde in enger Abstimmung mit dem Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz die Saale im Raum Jena an vier Messstellen zu zwei Zeitpunkten auf Mikroplastik hin untersucht. Die Arbeiten wurden in Anlehnung an die Mikroplastik-Untersuchungen in den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Hessen durchgeführt um eine größtmögliche Vergleichbarkeit der Thüringischen Mikroplastikdaten mit diesen Studien zu gewährleisten.

3. Material und Methoden

3.1 Probenahmestellen

Untersuchungsgewässer war die Saale in ihrem Mittellauf. Die Probenahme erfolgte an vier Standorten im Raum Jena (Abbildung 1).

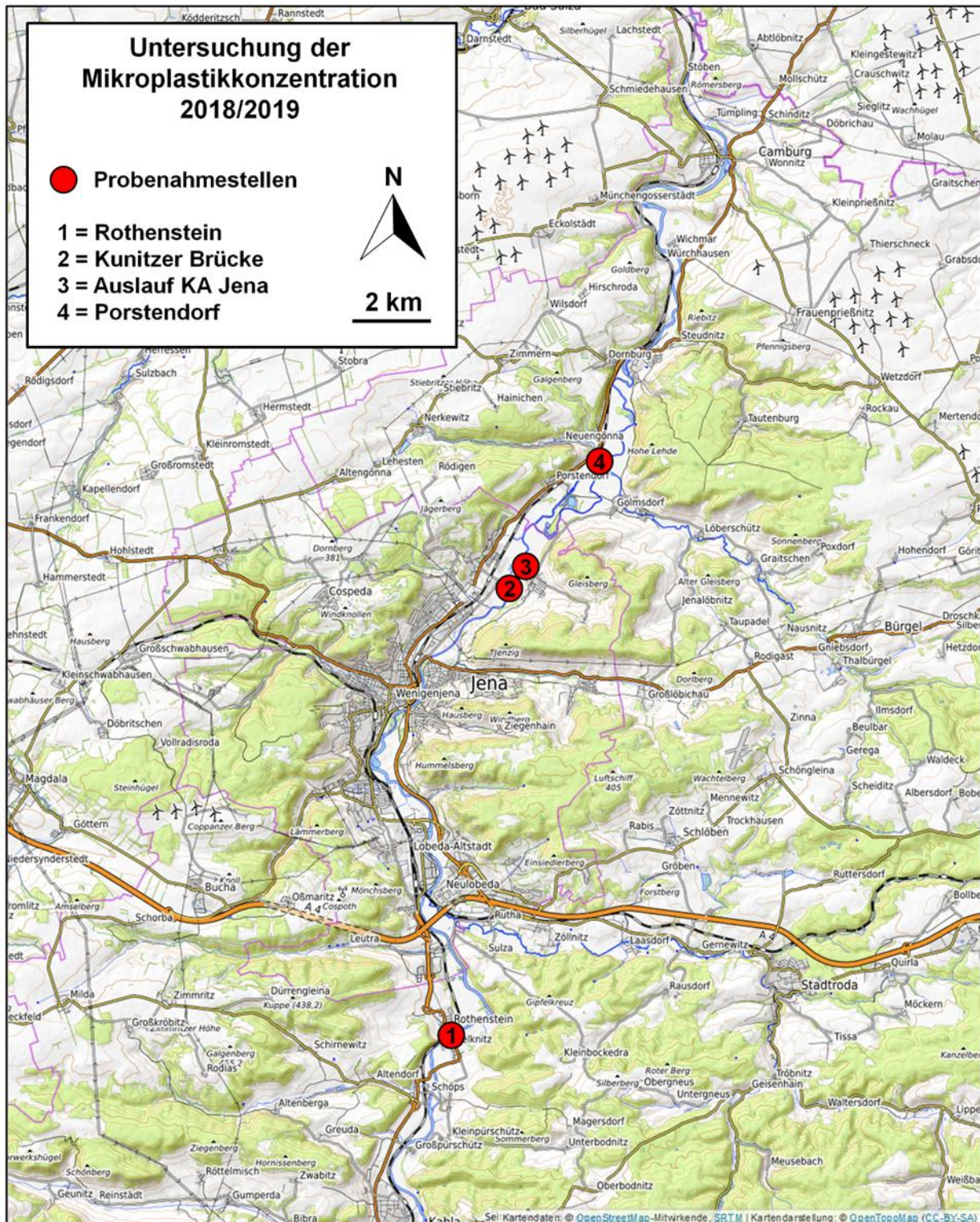


Abbildung 1: Probenahmestellen der Mikroplastik-Untersuchungen an der Saale 2018/2019.

In Abstimmung mit dem Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz wurden als Probenahmestellen an der Saale die drei Standorte Rothenstein - flussaufwärts von Jena, Kunitzer Brücke in Jena - vor dem Einlauf der Kläranlage Jena, sowie Porstendorf - flussabwärts von Jena, gewählt. Um den möglichen Eintrag von Mikroplastik in die Saale durch die Kläranlage Jena zu untersuchen wurde als vierte Probenahmestelle der Ablauf der Kläranlage Jena ausgewählt.

Die Probenahmen bei denen jeweils alle vier Stellen beprobt wurden, erfolgten in zwei unterschiedlichen Probenahmekampagnen, Ende November 2018 und Mitte April 2019. Wenn möglich sollten sich die beiden Kampagnen hinsichtlich ihrer hydrologischen Bedingungen unterscheiden um gegebenenfalls Rückschlüsse auf die Auswirkungen der Abflussmenge auf die Mikroplastikkonzentration ziehen zu können. Obwohl der Abfluss am jeweiligen Tag der Probenahme in einem ähnlichen Bereich lag (Abbildung 2) ging der Probenahme im November 2018 eine längere Trockenperiode mit geringen Abflüssen und konstantem Wasserstand voraus, wohingegen die Probenahme im April nach einer niederschlagsreichen Zeit mit hohen Abflüssen bei sinkendem Wasserstand erfolgte.

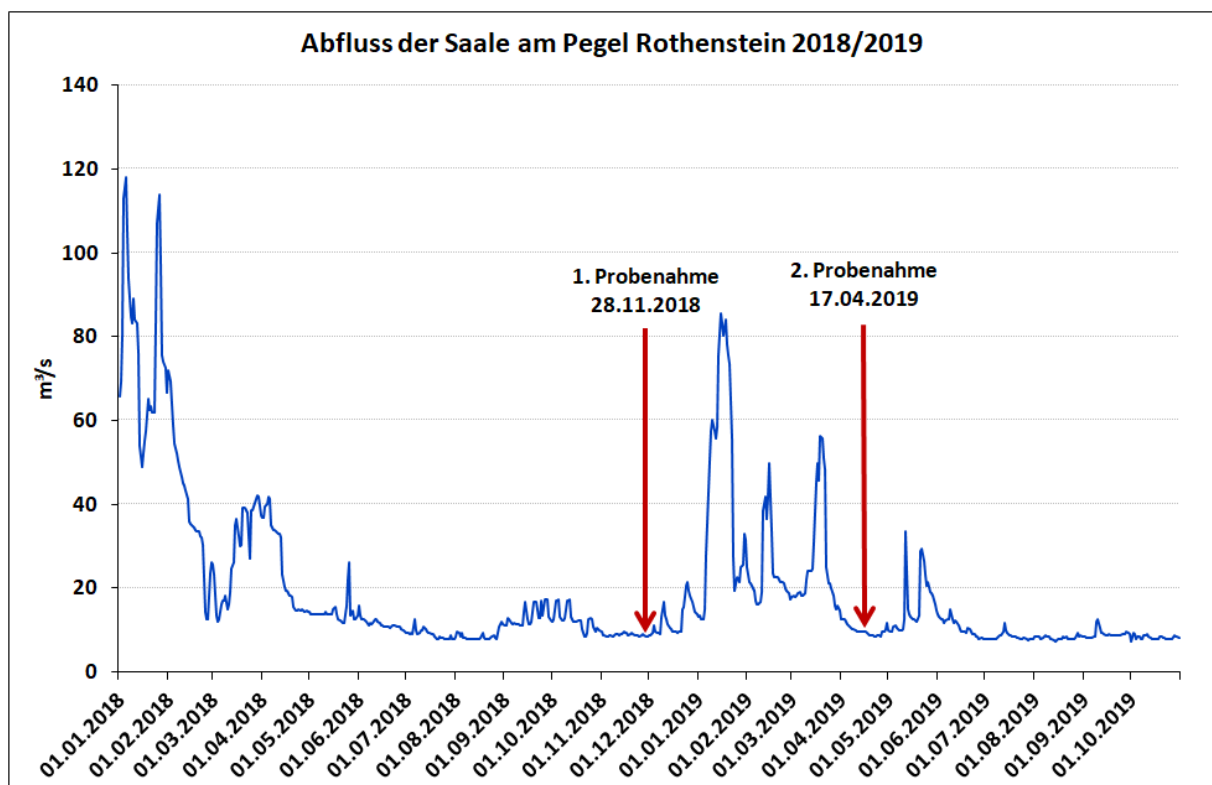


Abbildung 2: Darstellung des Abflusses [m³/s] der Saale von Januar 2018 bis November 2019. Die Probenahmezeitpunkte sind jeweils mit roten Pfeilen markiert.

3.2 Probenahme

Die Beprobung des Oberflächenwassers für die Mikroplastik Fraktion $> 500 \mu\text{m}$ erfolgte mittels eines Manta-Netzes mit einer Maschenweite von $300 \mu\text{m}$ für jeweils 15 bis 30 Minuten (Abbildung 3).



Abbildung 3: Manta-Netz bei der Beprobung des Ablaufes in der Kläranlage Jena.



Abbildung 4: Großflächenfiltrationseinheit bei der Beprobung des Ablaufes in der Kläranlage Jena.

Mit dem Manta-Netz wurde an jeder Stelle im Jahr 2018 und 2019 jeweils eine Beprobung durchgeführt, mit Ausnahme der Beprobung 2019, wo aufgrund des strömungsbedingt relativ geringen Probenvolumens an der Kunitzer Brücke zwei Manta-Beprobungen nacheinander erfolgten. Das beprobte Wasservolumen lag bei der Manta-Beprobung zwischen 8.910 und 40.406 Litern.

Die Mikroplastik-Fraktion 10 - 500 µm wurde mittels eines Pumpenstandes mit einem 500 µm Vorfilter und Edelstahl-Großflächenfiltern mit einer Maschenweite von 10 µm beprobt (Abbildung 4). Hier wurden an jeder Probenahmestelle jeweils zwei Großflächenfilter produziert, wobei pro Filter ca. 300 Liter Wasser in 20 bis 30 Minuten filtriert wurden. Zusätzlich wurde pro Probenahmestelle ein leerer Blindwertfilter genommen.

Alle Netz-Proben und Filter wurden in vorgereinigte Weckgläser überführt und bis zur weiteren Aufbereitung dunkel und kühl gelagert. Insgesamt ergaben sich in den zwei Probenahmekampagnen 25 Mikroplastikproben und 8 Blindwertproben, die eine erste orientierende Einschätzung der Mikroplastikkontamination der Saale in Thüringen ermöglichen.

In der vorliegenden Studie unterscheidet sich die Herangehensweise von den vorherigen Länderprojekten in der Hinsicht, dass durch die zusätzliche Beprobung mittels Großflächenfiltration erstmals eine voll-quantitative Bestimmung der Mikroplastik-Konzentrationen bis zu einer Größe von 20 µm möglich ist. Im Gegensatz dazu wurde in den Vorgänger-Studien der Länder ausschließlich mit dem Manta-Netz beprobt und aus den Netzproben zusätzlich die Fraktion 20-300 µm analysiert, die aufgrund der Netzmaschenweite von 300 µm natürlicherweise nicht quantitativ erfasst wird. Durch die Einteilung in die gleichen Größenklassen ist die Vergleichbarkeit der vorliegenden Studie mit den vorherigen Untersuchungen aus den Länderprojekten bis zu einer Mikroplastik-Größe von 300 µm dennoch gewährleistet.

3.3 Vermeidung von Kontaminationen

Gerade bei der Größenfraktion < 500 µm besteht ein hohes Risiko der Probenkontamination durch Mikroplastik aus der Luft oder Abrieb von Laborutensilien. Aus diesem Grund wurde Probenahme und Laborzubehör wo möglich durch Glas oder Metall ersetzt, oder Sonderkunststoffe wie PTFE eingesetzt. Alle Medien und Chemikalien wurden vor der Benutzung filtriert und Zubehör vor und während der Arbeiten gereinigt. Um luftbürtige Kontaminationen zu vermeiden erfolgten die Arbeiten im Labor - wo möglich - in Laminar Flow Boxen. Während der Laborarbeiten wurde stets Schutzkleidung aus Baumwolle getragen. Mögliche Kontaminationen wurden über Blindwertproben aus filtriertem Reinstwasser erfasst, diese wurden den gleichen Aufbereitungsschritten wie die Mikroplastikproben unterzogen.

3.4 Aufbereitung der Proben

Die Netzproben wurden über ein 500 µm - Edelstahlsieb größenfraktioniert und alle potenziellen Mikroplastikpartikel aus der Größenfraktion > 500 µm unter dem Stereomikroskop aus den Proben aussortiert, einzeln fotodokumentiert und bis zur Analyse mittels Attenuated Total Reflectance - Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (ATR-FTIR) einzeln in Probenröhrchen aufbewahrt.

Die Probenaufbereitung der Größenfraktion < 500 µm auf den Großflächenfiltern erfolgte mittels einer sequentiell-enzymatischen Aufreinigung, welche die effiziente Entfernung der Organik ermöglicht und gleichzeitig Plastikpolymere nicht beeinträchtigt (Löder et al. 2017). In Verbindung mit einer anschließenden Dichtentrennung wurden zudem mineralische Bestandteile effektiv entfernt und die aufgereinigten Mikroplastikproben abschließend auf Probenmessfilter für die nachfolgende Messung am FTIR-Mikroskop aufgebracht.

3.5 FTIR Analyse

Bei den hier angewendeten FTIR-Methoden werden Informationen zur Kunststoffsorte, der Partikelgröße und Form generiert. Allerdings ermöglicht die Methode nicht die Analyse von eventuell vorhandenen Reifenabrieb-Partikeln.

3.5.1 Partikel > 500 µm

Die aus den Netzproben aussortierten potenziellen Mikroplastikpartikel wurden einzeln mittels ATR-FTIR gemessen. Die Auswertung der ATR-FTIR Daten hinsichtlich Polymerzugehörigkeit der Partikel erfolgte mittels Abgleich mit spektralen Datenbanken. Mikroplastikpartikel wurden anhand der vorher erstellten Mikroskopie-Bilder vermessen und die Daten zu Polymer, Größe und Form zur weiteren Auswertung in Tabellen übertragen.

3.5.2 Partikel < 500 µm

Die Probenmessfilter wurden mittels Focal Plane Array-basierter Mikro-FTIR Spektroskopie am FTIR-Mikroskop gemessen (Löder et al. 2015). Mit dieser Methode wird eine chemische Landkarte des Probenfilters anhand von IR-Spektren erstellt. Hierbei beträgt die Pixelgröße der ein Spektrum entspricht 11,05 µm und es entstehen Datensätze mit bis zu 1 Millionen Spektren pro Probe. Da eine manuelle Auswertung solcher Datenmengen kaum möglich ist, erfolgt die Mikroplastik-Analyse hinsichtlich der 20 wichtigsten Kunststoffe (siehe Tabelle 1) automatisiert mittels Random Forest Decision Classifiers (Hufnagl et al. 2019). Die Resultate der automatisierten Analyse wurden auf Plausibilität hin überprüft und die Ergebnisse zu Polymer, Größe und Form der Partikel zur weiteren Auswertung in Tabellen festgehalten. Partikel deren Größe nur einem Pixel des chemischen Bildes entsprach wurden aufgrund der Unschärfe bei der lateralen Auflösung der FTIR- Messung in diesem Größenbereich ebenfalls der Kategorie > 20 µm und der Form „Fragment“ zugewiesen.

3.5.1 Kategorisierung der Analyseergebnisse

Die Mikroplastikpartikel wurden der Übersichtlichkeit halber und zur Vergleichbarkeit mit den anderen Länderstudien nach der FTIR-Analyse in Polymerkategorien eingeordnet. Hierbei wurden häufige Polymere Einzel- oder Doppelkategorien zugeordnet. Polymere die seltener gefunden wurden, wurden der Übersichtlichkeit halber in der Kategorie „andere“ zusammengefasst. Zusätzlich zu den 11 so gebildeten Kategorien wurde die Kategorie Lack gebildet. Hier basiert die Einordnung nicht auf IR Spektren, sondern auf rein optischen Merkmalen (unnatürliche Farbe), für diese Kategorie wurden jedoch keine Partikel in den hier untersuchten Proben gefunden.

Random Decision Forest Classifier		Einordnung in	
Abkürzung	Kunststoffsorte	Einzelkategorie	Summenkategorie
PA	Polyamid	PA	
PAN	Polyacrylnitril	PAN	
PE	Polyethylen	PE	
PMMA	Polymethylmethacrylat	PMMA	
PP	Polypropylen	PP	
PS	Polystyrol	PS	
PUR	Polyurethan	PUR	
PVC	Polyvinylchlorid	PVC	
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer		SAN*/ABS
PET	Polyethylenterephthalat		PET/PES**
PBT	Polybutylenterephthalat		PET/PES**
PC	Polycarbonat		andere
POM	Polyoxymethylen		andere
PPSU	Polyphenylsulfon		andere
CA	Celluloseacetat		andere
EVAc	Ethylen-Vinylacetat-Copolymer		andere
PEEK	Polyetheretherketon		andere
EVOH	Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer		andere
PSU	Polysulfon		andere
SI	Silikon		andere

Tabelle 1: Übersicht über die 20 Polymere auf die die Proben der Partikel < 500 µm mittels Random Forest Decision Classifiers untersucht wurden und deren nachträgliche Einordnung in Kategorien für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse. *SAN = Styrol-Acrylnitril-Copolymer in Doppelkategorie mit ABS, da in Umweltproben schlecht unterscheidbar. **PES = Gruppe der PET ähnlichen (Co-) Polyester in Doppelkategorie mit PET, da in Umweltproben schlecht unterscheidbar.

3.6 Auswertung der Daten

Die Auswertung der Tabellen erfolgte in Microsoft Excel. Die Ergebnisse zu den jeweiligen Polymeren und Partikelformen aus den Netz- und Filterproben wurden in vier Größenklassen eingeteilt: Makroplastik > 5 mm, großes Mikroplastik 1 - 5 mm, kleines Mikroplastik I 300 - 1000 µm und kleines Mikroplastik II 20 – 300 µm. Die Ergebnisse der Blindproben wurden von den Filterproben in den jeweiligen Größenklassen für die Kategorien Polymersorte und Form abgezogen. Die korrigierten Ergebnisse der Filterproben wurden für die jeweilige Größenklasse über die gefundenen Polymersorten aufsummiert und auf Konzentration pro m³ Ausgangsprobe normiert.

Diese Normierung wurde auch für die Netzproben durchgeführt. Somit konnten die Ergebnisse zu den jeweils quantitativ erfassten Mikroplastikkonzentration beider Beprobungsarten aufsummiert werden um die Gesamtkonzentration an Mikroplastik im kompletten Größenbereich 20 μm – 5 mm zu errechnen: hierbei stammen die Ergebnisse zu Makroplastik > 5 mm und großem Mikroplastik 1 - 5 mm rein aus den Netzproben, die Größenklasse kleines Mikroplastik I 300 - 1000 μm setzt sich aus den Ergebnissen der Netzproben im Größenbereich 500 - 1000 μm und aus den Ergebnissen der Filterproben im Größenbereich 300 - 500 μm zusammen, und kleines Mikroplastik II 20 – 300 μm stammt nur aus den Filterproben. Da pro Probenahmestelle jeweils zwei Filterproben vorhanden waren, wurden zu beiden die jeweiligen Einzelwerte der Netzprobe addiert (bzw. der Mittelwert bei der Doppelbeprobung Kunitzer Brücke 2019). Die Darstellung der Anteile der Polymersorten und Partikelformen erfolgte aus der Summe der gefundenen Partikel in beiden Probenahmearten ohne vorherige Normierung auf m^3 .

4. Ergebnisse

4.1 Makro- und Mikroplastik-Konzentrationen

4.1.1 Probenahme 2018

Die Gesamtkonzentration an gefundenem Plastik in den sechs Proben der Probenahmekampagne an der Saale bewegte sich zwischen 146 und 448 Partikeln pro m^3 (Abbildung 5). Weit höhere Werte wurden am Auslauf der Kläranlage gefunden hier lagen die Werte bei 2173 und 2269 Partikeln pro m^3 . Generell ist festzustellen, dass die beiden gemessenen Werte an der jeweiligen Probenahmestelle einer gewissen Schwankung unterliegen.

Betrachtet man die Werte im Verlauf des Flusses wird klar, dass die Konzentration an Mikroplastik nicht kontinuierlich ansteigt, sondern an der Stelle Porstendorf, die am weitesten flussabwärts nach Jena liegt, eher geringer ausfallen. In den Werten dieser Stelle spiegelt sich der Zufluss des Kläranlagenabwassers der Kläranlage Jena, wo eine relativ hohe Partikelkonzentration gemessen wurde, nicht wider.

In Bezug auf die gefundenen Partikelgrößen ist zu verzeichnen, dass Makroplastik nur im Kläranlagenablauf, und dort in sehr niedrigen Konzentrationen gefunden wurde (0,12 Partikel pro m^3) (Abbildung 6). In den Proben der Stellen Rothenstein, Kunitzer Brücke und der Kläranlage Jena wurde großes Mikroplastik (1-5mm) gefunden, allerdings machte dieses nur an der Stelle Kunitzer Brücke mit 0,20 und 0,16 % mehr aus, in den anderen Proben lag diese Größenkategorie immer unter 0,06 %. Kleines Mikroplastik der Größe 300 – 1000 μm wurde mit Anteilen zwischen 0,03 % und 3,1 % nur an der Kunitzer Brücke und im Ablauf der Kläranlage Jena gefunden. Der Großteil der gemessenen Plastikpartikel lag im kleinsten Größenbereich zwischen 20 und 300 μm und machte zwischen 97 und 100 % des gefundenen Plastiks aus.

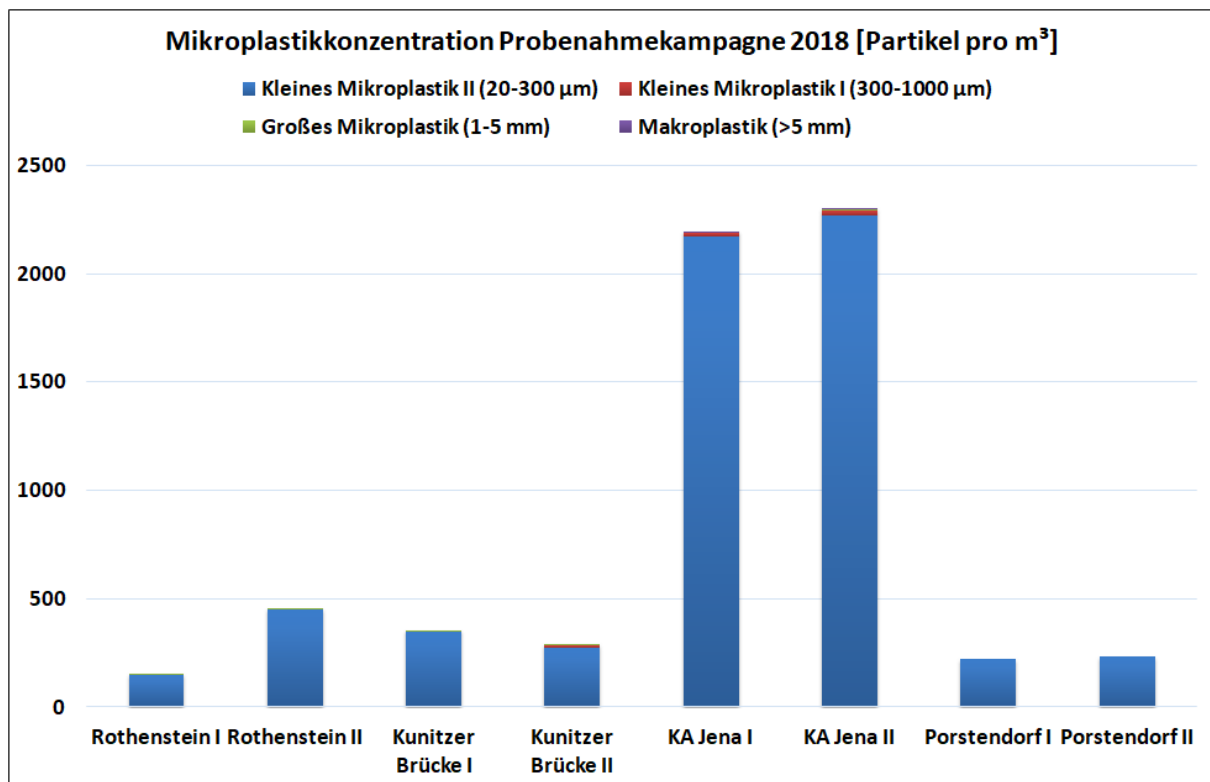


Abbildung 5: Mikroplastikkonzentration in den Proben der Probenahmekampagne 2018 an den vier Probenahmestellen Rothestein, Kunitzer Brücke, Kläranlage Jena und Porstendorf.

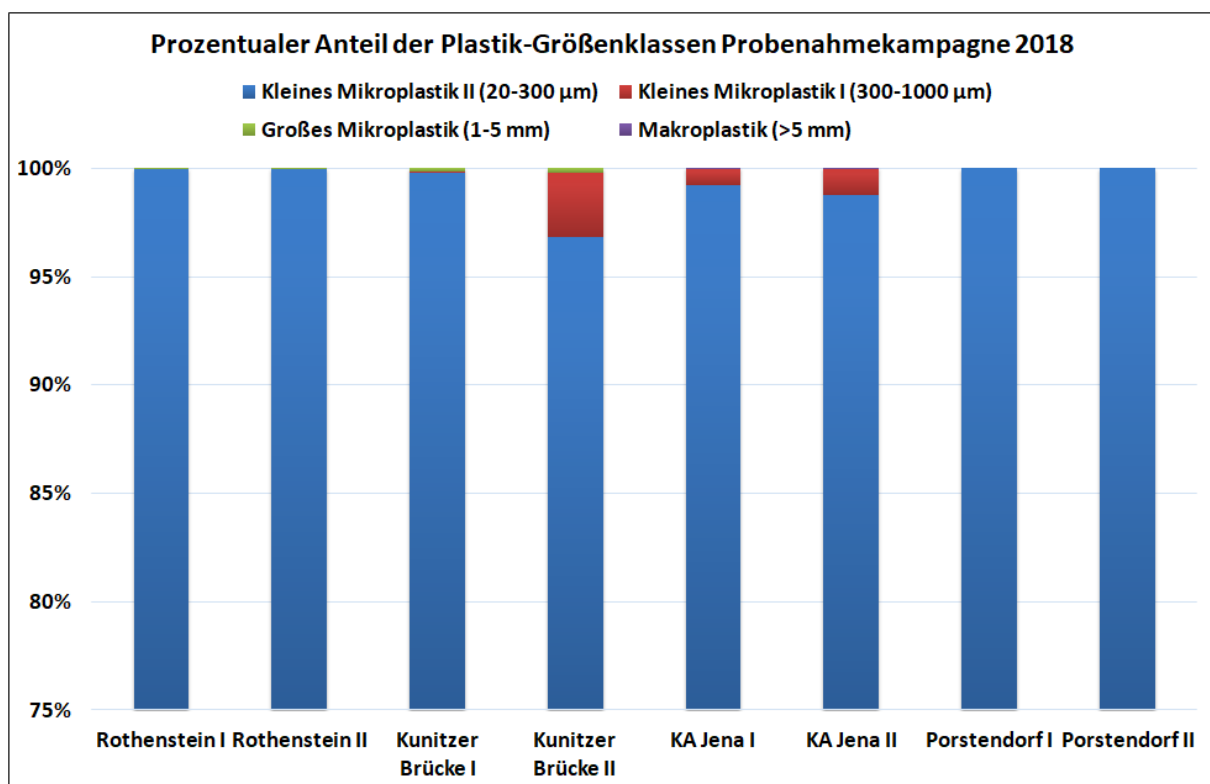


Abbildung 6: Prozentualer Anteil der Plastik-Größenklassen in den Proben der Probenahmekampagne 2018 an den vier Probenahmestellen. Zur Übersichtlichkeit beginnt die prozentuale Darstellung bei 75 %.

4.1.2 Probenahme 2019

Bei der Probenahmekampagne 2019 bewegte sich die Gesamtkonzentration an gefundenem Plastik in den sechs Proben der Saale zwischen 308 und 826 Partikeln pro m³ insgesamt höher als bei der ersten Probenahme (Abbildung 7). Die Werte am Auslauf der Kläranlage lagen mit 794 und 1291 Partikeln pro m³ nur leicht höher als in Fluss selbst und damit im Vergleich mit den Werten aus 2018 geringer. Generell ist auch bei der zweiten Kampagne festzustellen, dass die beiden nacheinander gemessenen Werte an der jeweiligen Probenahmestelle einer gewissen Schwankung unterliegen.

In den Kontext des Flussverlaufes gesetzt wird auch bei dieser Kampagne klar, dass die Konzentration an Mikroplastik nicht kontinuierlich ansteigt, sondern an der Stelle Porstendorf, die am weitesten flussabwärts nach Jena liegt, sogar eher geringer ausfallen. Da die Werte im Ablauf der Kläranlage nur leicht über der Belastung der Saale vor dem Zufluss des Ablaufes liegen, liegt es nahe, dass kein größerer Einfluss dieser Punktquelle zu verzeichnen ist.

In Bezug auf die gefundenen Partikelgrößen ist bei der zweiten Kampagne festzustellen dass Makroplastik an allen Probenahmestellen gefunden wurde, allerdings nur in einem prozentualen Anteil von weit unter 1 % (0,004 – 0,06 %) (Abbildung 8). Großes Mikroplastik (1 – 5 mm) wurde an allen Stellen gefunden, jedoch nur an der Kläranlage Jena in einem Bereich zwischen 0,5 und 0,8 %, in den anderen Proben lag diese Größenkategorie immer unter 0,05 %. Kleines Mikroplastik der Größe 300 – 1000 µm spielte in dieser Probenahmekampagne mit Anteilen zwischen 3 % und 17 % im Fluss eine größere Rolle, im Ablauf der Kläranlage Jena wurden mit 0,3 und 1,7 % geringere Anteile gefunden. Der Großteil der gemessenen Plastikpartikel lag auch hier im kleinsten Größenbereich zwischen 20 und 300 µm und machte zwischen 83 und 99 % des gefundenen Plastiks aus.

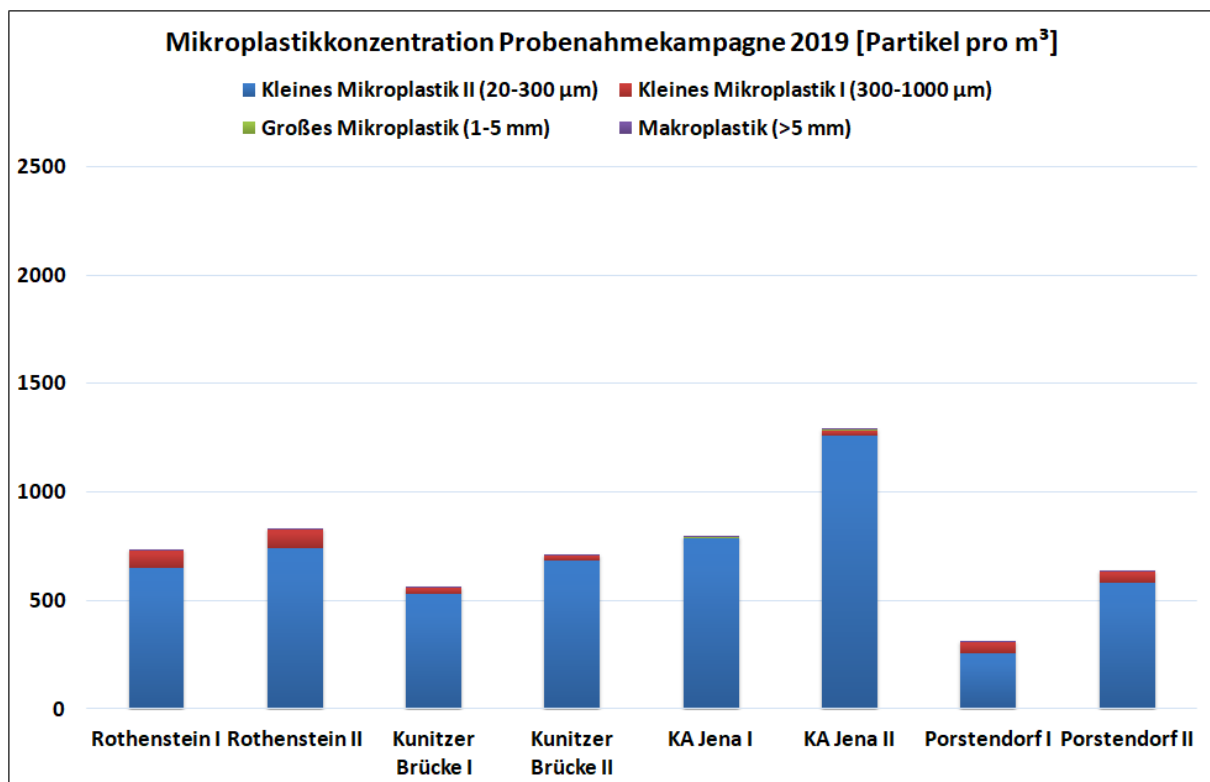


Abbildung 7: Mikroplastikkonzentration in den Proben der Probenahmekampagne 2019 an den vier Probenahmestellen Rothenstein, Kunitzer Brücke, Kläranlage Jena und Porstendorf.

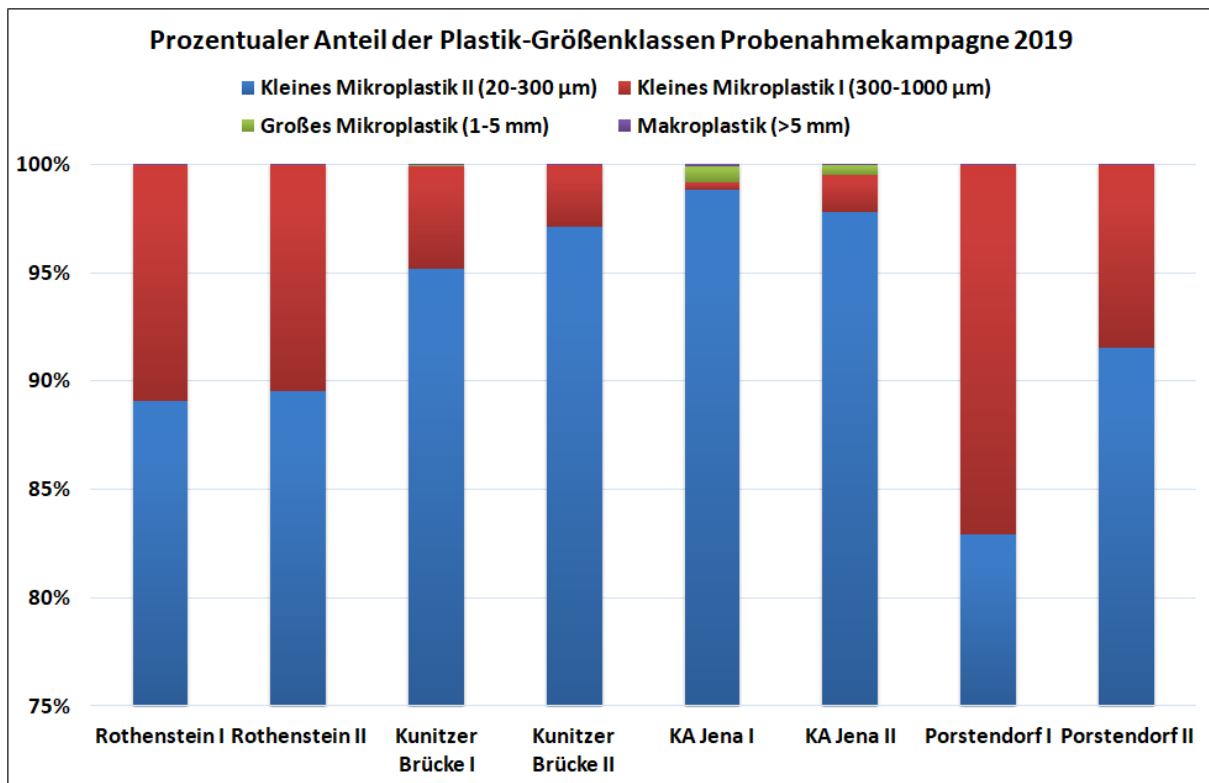


Abbildung 8: Prozentualer Anteil der Plastik-Größenklassen in den Proben der Probenahmekampagne 2019 an den vier Probenahmestellen. Zur Übersichtlichkeit beginnt die prozentuale Darstellung bei 75 %.

4.2 Vergleich der Gesamtplastikkonzentrationen 2018/2019

Im direkten Vergleich der beiden Beprobungen fällt auf, dass sich die Mittelwerte der parallel an einer Stelle gezogenen Proben an den drei Probenahmestellen in der Saale selbst zum jeweiligen Zeitpunkt der Probenahme nicht gravierend unterscheiden (Abbildung 9). Die Mittelwerte liegen zum jeweiligen Zeitpunkt der Probenahme in einem ähnlichen Bereich und aufgrund der Standardabweichung der Parallelen liegt es nahe, dass es keine statischen Unterschiede zwischen den Probenahmestellen gibt. Nichtsdestotrotz ist eine statistische Absicherung dieser Beobachtung aufgrund des geringen Stichprobenumfanges nicht möglich.

Beim Vergleich der Mittelwerte der beiden Jahre fällt auf, dass die Werte im Fluss im Jahr 2019 an allen drei Probenahmestellen deutlich höher liegen als im Jahr 2018 – sie sind an allen Stellen konsistenter Weise jeweils doppelt so hoch. Mit Ausnahme der Werte an der Probenahmestelle Porstendorf im Jahr 2018, an der die beiden Werte sehr eng beieinander liegen, streuen die Parallelen der anderen Proben ungefähr in ähnlichen Bereichen.

Ein komplett gegenteiliges Bild hinsichtlich der Unterschiede zwischen beiden Jahren ist bei den Werten im Ablauf der Kläranlage Jena zu verzeichnen. Hier liegen die Werte im Jahr 2018 ungefähr doppelt so hoch wie im Jahr 2019. Die Standardabweichungen der beiden Probenparallelen in den Kläranlagenproben liegen in einem ähnlichen Bereich wie die sechs Probenparallelen in der Saale.

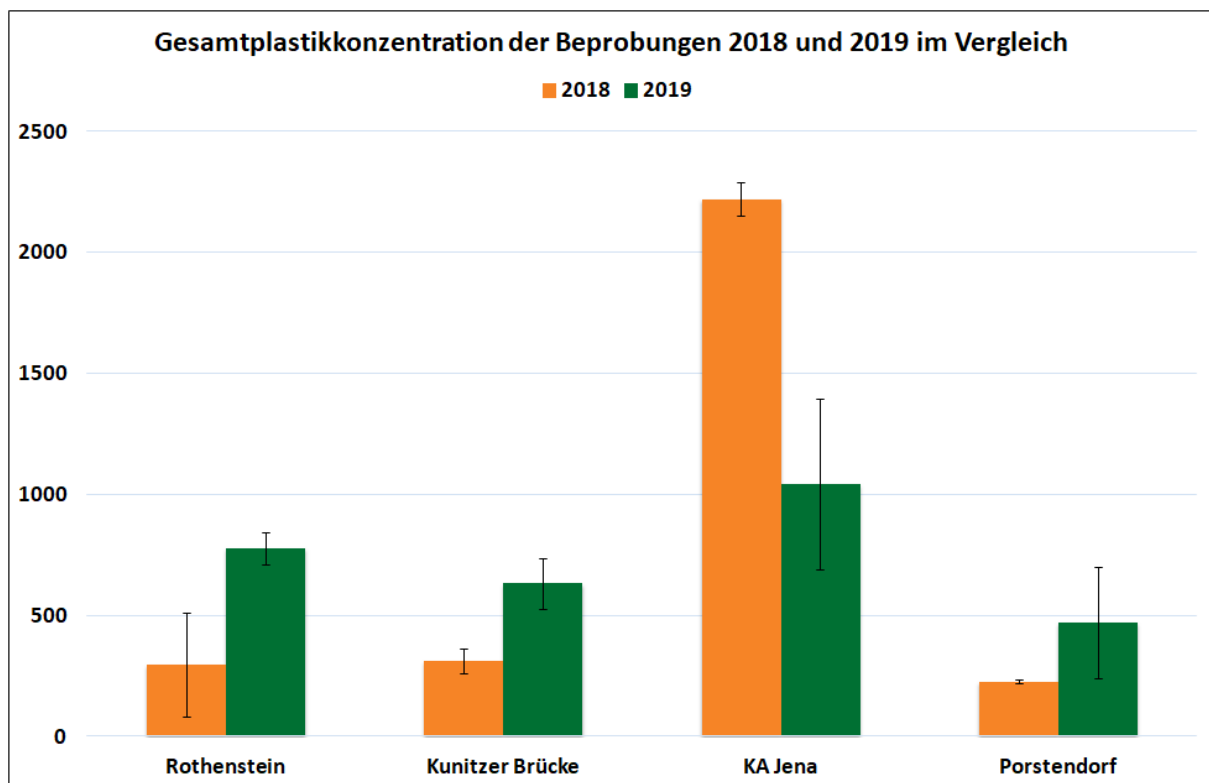


Abbildung 9: Mittelwerte der Gesamtplastikkonzentrationen der Beprobungen 2018 und 2019 im Vergleich. Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung der beiden jeweiligen Parallelproben dar.

4.3 Mikroplastik-Polymerzusammensetzung

Insgesamt wurden die in den beiden Probenahmekampagnen gefundenen Kunststoffpartikel in 12 Kategorien von Polymersorten eingeteilt: Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Styrol-Acrylnitril/Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (SAN/ABS), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polyurethan (PUR), Polyamid (PA), Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylenterephthalat/Polyester (PET/PES), Lacke (Fragmente mit auffällig unnatürlicher Farbe), Polyacrylnitril (PAN) und die Summenkategorie andere, seltenere Polymere (andere) (Abbildung 10 & 11). Partikel der Kategorie Lacke wurden in den Proben nicht gefunden.

Bei den gefundenen Polymeren machen PE und PP immer den weitaus größten Anteil aus. Zusammen lag deren Anteil zwischen 62 und 94 %. Hierbei lag PP (28 – 69 %) meist etwas höher als PE (14 – 49 %), generell kommt den beiden Polymeren eine sehr ähnliche Bedeutung zu. Das in Bezug auf sein Vorkommen dritthäufigste Polymer war PS mit einem Anteil zwischen 2 und 13 % - es fehlte nur in einer Probe. Die Kategorie PET/PES war in 11 der 16 Proben vorhanden mit bis zu 21 % Anteil. PVC erreichte einen Anteil von bis zu 8 % und war in neun der Proben zu finden. Alle übrigen Polymere waren in veränderlichen Anteilen zwischen 0 und 3 % vorhanden. Auf die Summenkategorie „andere“ entfielen bis zu 23 %, nur in drei Proben waren keine Polymere, die dieser Kategorie zugeordnet wurden, zu finden. Generell ist festzustellen, dass in beiden Probenahmekampagnen die Polymerzusammensetzung der beiden nacheinander gemessenen Werte an der jeweiligen Probenahmestelle in der Saale einer relativ starken Schwankung unterliegt.

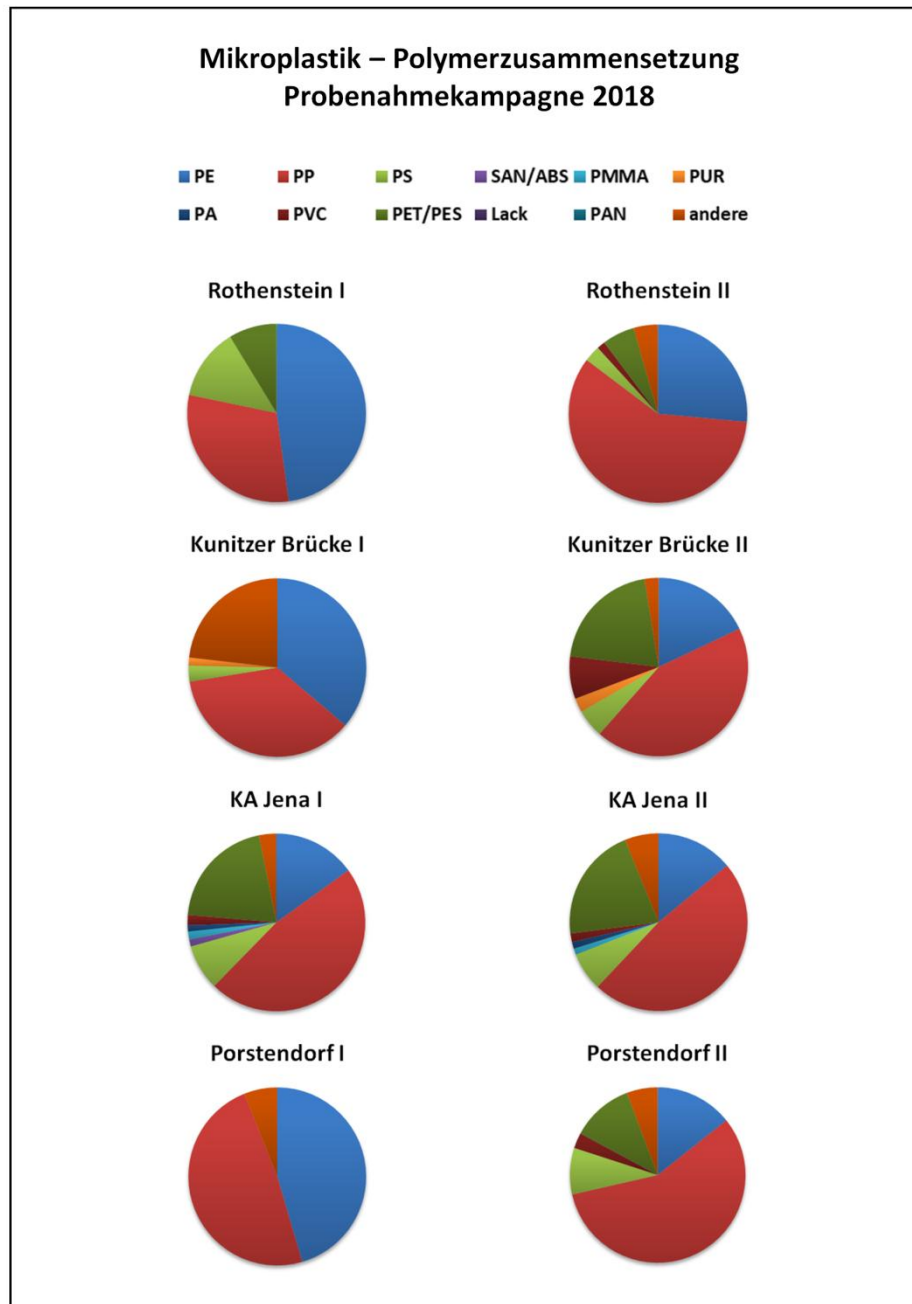


Abbildung 10: Anteil der unterschiedlichen Kunststoffpolymere in den Proben der Probenahmekampagne 2018 an den vier Probenahmestellen.

Im Gegensatz dazu sind sich die Proben im Ablauf der Kläranlage in beiden Probenahmekampagnen sehr ähnlich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, gleichzeitig weist der Ablauf der Kläranlage jeweils eine hohe Diversität an gefundenen Polymersorten auf. Diese Beobachtung ist vermutlich auf eine relativ homogene Plastikzusammensetzung im Kläranlagenablauf zurückzuführen, wohingegen die Partikelzusammensetzung im fließenden Fluss anscheinend mehr oder weniger stark variiert.

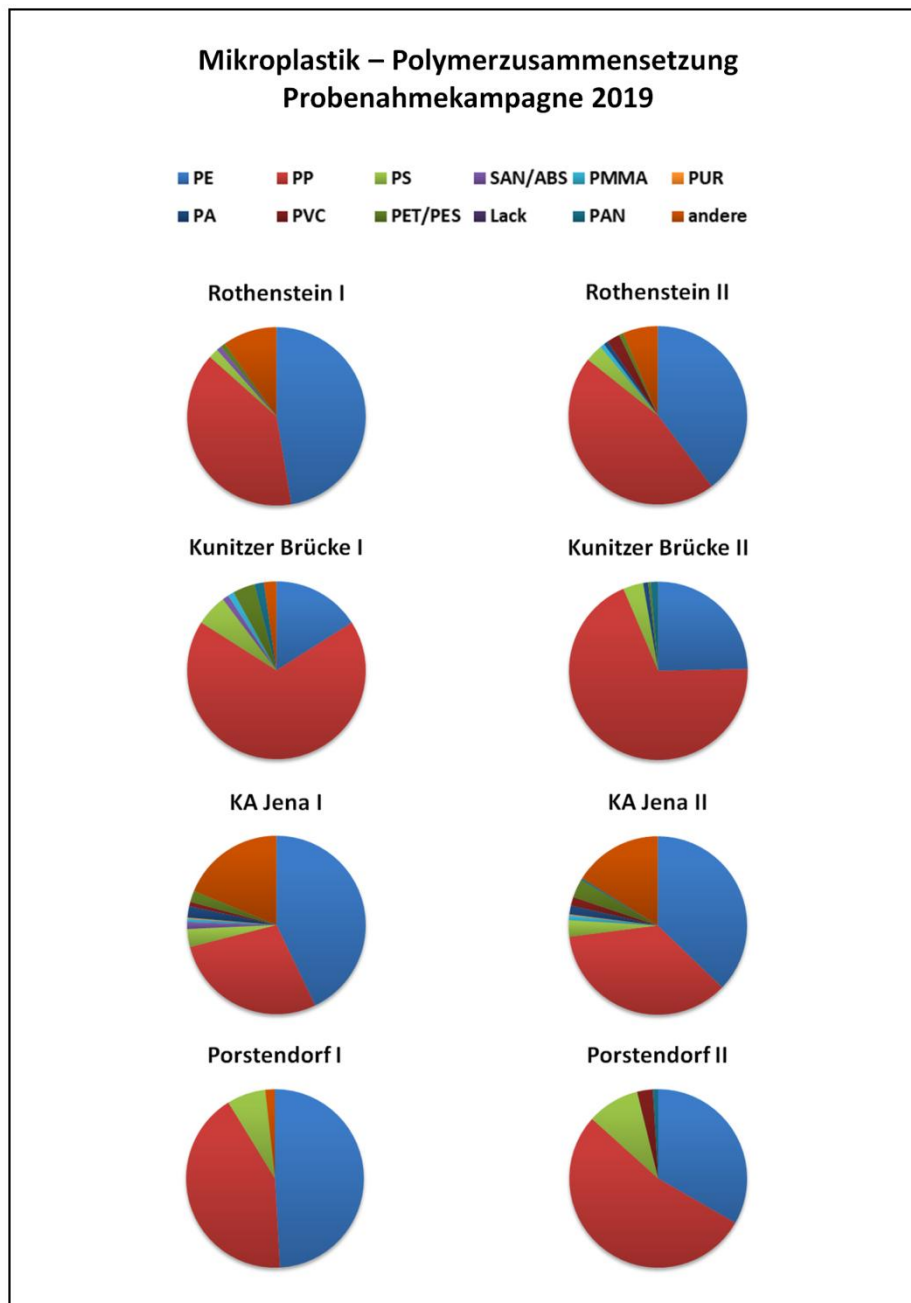


Abbildung 11: Anteil der unterschiedlichen Kunststoffpolymere in den Proben der Probenahmekampagne 2019 an den vier Probenahmestellen.

4.4 Mikroplastik-Partikelformen

Insgesamt wurden die in den beiden Probenahmekampagnen gefundenen Kunststoffpartikel in 5 Kategorien hinsichtlich ihrer Partikelform eingeteilt: Fasern, Fragmente, Pellets, Beads und Folien. Es wurde in keiner der Proben Plastikpartikel gefunden, die den Formkategorien Pellet oder Folie zuzuweisen waren (Abbildung 12 & 13).

Die bei weitem häufigste Partikelform die innerhalb beider Probenahmekampagnen gefunden wurde waren Fragmente. Diese Kategorie war in allen Proben zu finden und wies Anteile von 96 bis 100 % auf.

Fasern wurden in 11 der 16 Proben gefunden in Anteilen zwischen 1 und 4 %. Interessanterweise fehlten Fasern in der ersten Kampagne in der Hälfte der Proben, wohingegen sie in der zweiten Kampagne in fast allen Proben zu finden waren. Die Partikelform Bead – also kugelförmige Partikel, wie sie gerade in Kosmetika eingesetzt werden – war nur 2019 in drei Proben in Anteilen zwischen 1 und 3 % zu finden und kam bis auf eine Ausnahme nur in den Proben des Kläranlagenablaufes vor. Die Variabilität zwischen den Proben einer Probenahmestelle war viel geringer als die bei den Polymersorten beobachtete. Auch hier fällt auf, dass sich die Proben im Ablauf der Kläranlage Jena innerhalb der einzelnen Kampagne sehr ähneln.

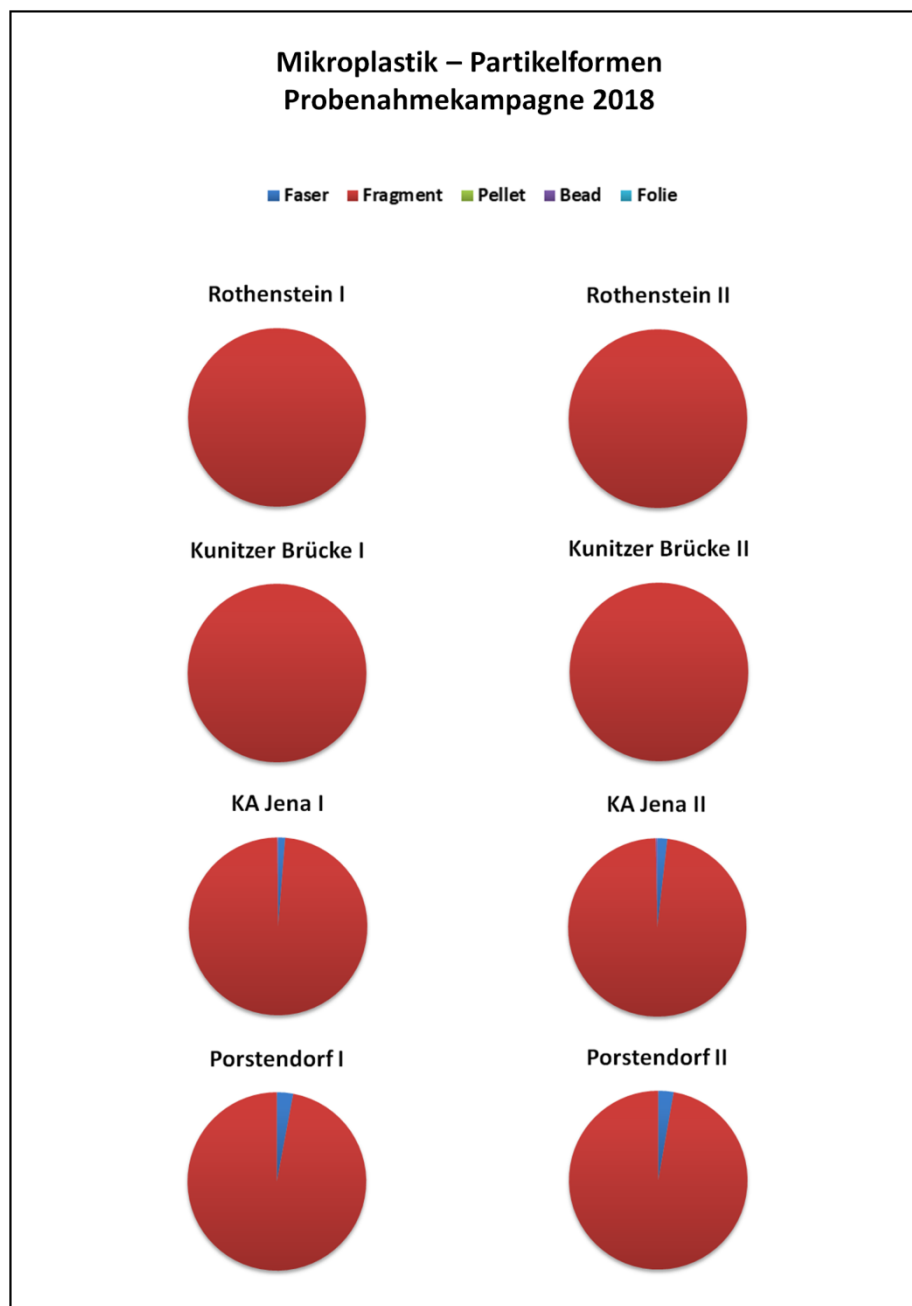


Abbildung 12: Anteil der unterschiedlichen Partikelformen in den Proben der Probenahmekampagne 2018 an den vier Probenahmestellen.

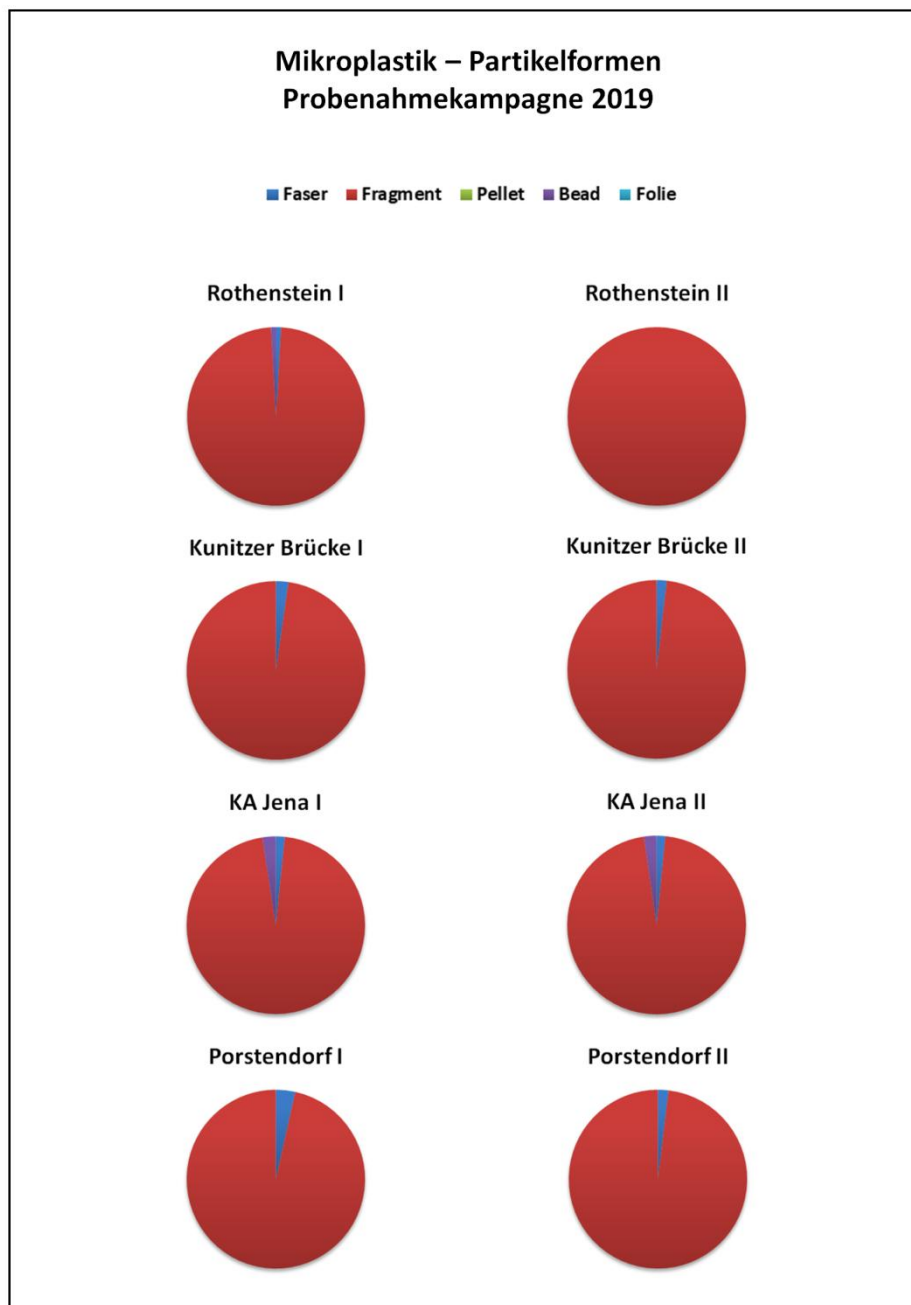


Abbildung 13: Anteil der unterschiedlichen Partikelformen in den Proben der Probenahmekampagne 2019 an den vier Probenahmestellen.

5. Einordnung der Ergebnisse

Beim Vergleich der Mittelwerte der beiden Beprobungen in der Saale selbst fällt auf, dass diese zum jeweiligen Zeitpunkt der Probenahme zwar etwas streuen, aber prinzipiell in einem ähnlichen Bereich liegen (vgl. Abbildung 9). Es kommt über den Verlauf des Flusses von Rothenstein über Jena nach Porstendorf zu keiner Zunahme, sondern an der am weitesten flussabwärts gelegenen Stelle werden im Mittel die niedrigsten Werte verzeichnet. Dieses Muster könnte dadurch entstehen, dass die Saale in Porstendorf vor der Probenahmestelle durch ein Wehr gestaut wird und es in Folge der Stauhaltung und Strömungsberuhigung zu einer vermehrten Sedimentation von Mikroplastikpartikeln kommt,

wie es von Watkins et. al (2019) für mehrere untersuchte Stauhaltungen bei Flüssen berichtet wird. Ein Einfluss der im Vergleich zum Fluss sehr viel höheren Mikroplastikkonzentration im Ablauf der Kläranlage Jena, auf die Konzentration im Fluss könnte gerade deswegen nicht sichtbar werden, da die Kläranlageneinleitung oberhalb des Wehres Porstendorf liegt. Ob die Einleitung der Kläranlage zu einer messbaren Erhöhung der Mikroplastikkonzentration führt könnte durch eine Probenahmestelle zwischen der Einleitung der Kläranlage und der Stauhaltung aufgeklärt werden. Dass es tatsächlich zu einer Sedimentation und Akkumulation von Mikroplastik oberhalb des Wehres kommt, ist nur durch weiterführende Sedimentanalysen ober- und unterhalb des Wehres aufzudecken.

Im Fluss zeigen sich zwischen den Parallelen einer Probenahmestelle sowohl in Bezug auf die Konzentration als auch auf die Polymerzusammensetzung gewisse Schwankungen. Diese deuten auf eine inhomogene Verteilung von Plastikpartikeln im Flussverlauf hin. In diesem Zusammenhang muss man beachten dass es sich bei Mikroplastik nicht um einen einheitlichen gelösten Stoff handelt, der nach einer gewissen Fließstrecke relativ homogen im Wasserkörper verteilt vorliegt, sondern um Partikel unterschiedlichster Form, Größe und Dichte. Diese können abhängig von Ihren jeweiligen Partikel-Charakteristika durch die variablen und turbulenten Strömungsmuster im Flussverlauf an bestimmten Stellen konzentriert und unterschiedlich weiter transportiert werden, wodurch es naturgemäß zu gewissen Inhomogenitäten in der Polymer-, Größenverteilung und Konzentration von Mikroplastik kommt. Diese Muster spiegeln sich zwangsläufig auch in den für diese Studie nacheinander genommenen Parallelproben im Fluss wider. Auch in den untersuchten Flüssen der Länderstudie (Heß et al. 2018) waren keine eindeutigen Zunahmen der Mikroplastikkonzentration im Flussverlauf, sowie mehr oder weniger starke Schwankungen zwischen den Probenahmestellen zu verzeichnen.

Im Gegensatz zur Saale selbst erweisen sich die hier untersuchten Kläranlagenablaufproben in Hinblick auf die Polymerverteilung in beiden Kampagnen als sehr ähnlich. Dieses Muster liegt höchstwahrscheinlich in der technisch beabsichtigten, sehr homogenen Durchmischung in der Kläranlage begründet, die dann wohl auch zu einer relativ homogenen Verteilung von Mikroplastik im Ablauf führt. Dass diese Homogenität in den jeweiligen Parallelen selbst bei unterschiedlicher Konzentration besteht, bestätigt die Robustheit der hier eingesetzten Untersuchungsmethoden.

Um unterschiedliche Abflussbedingungen abzubilden und gegebenenfalls Rückschlüsse auf die Auswirkungen der Abflussmenge auf die Mikroplastikkonzentration ziehen zu können wurden die beide Kampagnen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt. Obwohl der Abfluss in der Saale am jeweiligen Tag der Probenahme in einem ähnlichen Bereich lag (vgl. Abbildung 2) ging der Probenahme im November 2018 eine längere Trockenperiode mit geringen Abflüssen und konstantem Wasserstand voraus, wohingegen die Probenahme im April 2019 nach einer niederschlagsreichen Zeit mit hohen Abflüssen bei sinkendem Wasserstand erfolgte. Beim Vergleich der Mittelwerte der beiden Jahre fällt auf, dass die Werte in der Saale im Jahr 2019 nach dem Zeitraum mit hohen Abflüssen an allen drei

Probenahmestellen konsistenter Weise jeweils doppelt so hoch liegen, als im Jahr 2018 nach der Trockenabflussperiode. Wodurch dieses Muster hervorgerufen wurde kann bislang nicht eindeutig aufgedeckt werden. Es könnte jedoch sein, dass absedimentiertes und im Sediment der Saale temporär festgelegtes Mikroplastik im Zuge von Sedimentumlagerungen durch die hohen Abflüsse im März/April 2019 resuspendiert wurde und dies zu den doppelt so hohen Werten in den Proben von 2019 geführt hat. In einer Studie von Hurley et al. (2018) wurde bestätigt, dass Hochwasserereignisse durch Sedimentumlagerungen zu einen signifikanten Export von Mikroplastik aus Sedimenten führt.

Ein komplett gegenteiliges Bild ist im Vergleich der beiden Jahre bei den Werten im Ablauf der Kläranlage Jena zu verzeichnen. Hier liegen die Werte nach der Trockenperiode 2018 ungefähr doppelt so hoch wie im Jahr 2019 nach dem Zeitraum mit hohen Abflüssen in der Saale. Dies könnte an einem Verdünnungseffekt in Verbindung mit den Regenereignissen, welche auch zu den hohen Abflüssen in der Saale im Frühling 2019 geführt haben, liegen. Eine Verdünnung durch vermehrtes Regenwasseraufkommen in der Kläranlage führt zwangsläufig auch zu einer Verdünnung der Mikroplastikkonzentration. Tatsächlich zeigt sich, dass in den letzten 14 Tagen vor der Probenahme im April 2019 mit 17.390 m³ eine größere Abflussmenge an der Kläranlage Jena zu verzeichnen war als im November 2018. Ob dies der alleinige Grund für die beobachteten Unterschiede ist, kann leider nicht abschließend festgestellt werden.

Mintenig et al. (2017) untersuchten 12 Kläranlagen mit einer Methodik, die einen Vergleich zu der vorliegenden Studie zulässt: bei deren Untersuchungen wurden zwischen 0 und 50 Mikroplastikpartikel > 500 µm pro m³ gefunden und zwischen 10 und 9.000 Mikroplastikpartikel < 500 µm pro m³, synthetische Fasern waren in Konzentrationen zwischen 90 und über 1.000 pro m³ in den Proben vorhanden. Die in der Kläranlage Jena gefundenen 794 - 2269 Plastikpartikel pro m³ liegen deswegen in einem erwartbaren Bereich und die Proben der Kläranlage Jena unterscheiden sich auch hinsichtlich der Polymerverteilung kaum von den bei Mintenig et al. (2017) berichteten Polymeren.

Die vorliegende Studie stellt eine orientierende Wissensgrundlage über die bis dato nicht berücksichtigte Mikroplastikkontamination der Fließgewässer in Thüringen am Beispiel der Saale dar. Die Arbeiten wurden bewusst in Anlehnung an die Mikroplastik-Untersuchungen in den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Hessen durchgeführt, um eine größtmögliche Vergleichbarkeit der Thüringischen Mikroplastikdaten mit diesen Studien zu gewährleisten. In Thüringen wurde – im Gegensatz zu den vorangegangenen Länderstudien - zudem erstmalig auch die Größenfraktion 20-300 µm vollquantitativ erfasst, wodurch weitergehende Daten gewonnen wurden, die eine hohe Kontamination in diesem Größenbereich zeigen und bislang einzigartig sind. Zum Vergleich der vorliegenden Studie mit den vorangegangenen Studien der anderen Bundesländer eignet sich deswegen aber in Bezug auf die Konzentration von Plastik nur der Größenbereich bis 300 µm.

Makroplastik wurde in der Länderstudie in Konzentrationen zwischen 0 und 4,14 Teilen pro m^3 gefunden, im Mittel lag die Konzentration bei 0,24 Teilen pro m^3 . In den in der vorliegenden Studie untersuchten Proben der Saale lagen die Maximalwerte bei 0,05 Teilen pro m^3 , und somit weit unterhalb des Mittelwertes aus der Länderstudie. Nur die Proben aus der Kläranlage Jena wiesen höhere Werte auf, diese lagen aber im Maximum bei 0,47 Teilen pro m^3 .

Die Größenklasse des großen Mikroplastiks zwischen 1 und 5 mm schwankte bei der Länderstudie zwischen 0 und 48,14 Partikeln pro m^3 und lag im Mittel bei 4,08 Partikeln pro m^3 . Diese Größenkategorie wurde, außer in den Proben der Stelle Porstendorf im Jahr 2018, in allen Saaleproben in Konzentrationen zwischen 0,03 und 0,55 Partikeln gefunden, die Konzentrationen liegen somit im Vergleich zu anderen untersuchten Fließgewässern sehr niedrig. Wiederum wurde in den Kläranlagenproben, mit Werten zwischen 0,8 und 5,96 Partikeln pro m^3 , mehr dieser Größenklasse gefunden.

In der Länderstudie trat die Größenklasse kleines Mikroplastik I 300 – 1000 μm in Konzentrationen zwischen 0 und 117,49 Partikel pro m^3 auf. Im Mittel lagen die Werte hier bei 9,29 Partikeln pro m^3 . Im Gegensatz dazu wurde in der ersten Kampagne in der Saale nur in zwei der sechs Proben mit Konzentrationen von 0,11 und 8,46 Partikeln pro m^3 relativ wenig Mikroplastik dieser Größenklasse gefunden. In der zweiten Kampagne war diese Größenklasse in allen Saaleproben vorhanden. Die Werte lagen mit einem Mittelwert von 53,15 und einer Schwankungsbreite zwischen 20 und 86,58 Partikeln pro m^3 höher als in den Fließgewässern der Länderstudie.

In der Gesamtsumme über die drei quantitativ erfassten Größenklassen (300 μm - > 5 mm) bewegten sich die Werte in der Länderstudie zwischen 0 und 167,21 Partikeln pro m^3 und lagen im Mittel bei 13,61 Partikeln pro m^3 . An der Saale schwankten die Werte in der Summe dieser Größenklassen insgesamt zwischen 0 und 86,65 Partikeln pro m^3 . Generell spiegelt der Vergleich der Mittelwerte das Bild der Größenklasse kleines Mikroplastik I 300 – 1000 μm in beiden untersuchten Jahren wider: im Jahr 2018 lag der Mittelwert an der Saale mit 1,64 Partikeln pro m^3 weit unter dem Durchschnitt der Länderstudie, im Jahr 2019 lag er mit 53,34 Partikeln pro m^3 über dem Durchschnitt.

Die an der Saale gefundene Polymerzusammensetzung entspricht der in der Länderstudie: PE und PP sind auch hier die häufigsten Polymere und machen zusammen den weitaus größten Anteil der Polymere aus, gefolgt von PS in geringeren Anteilen. Der Anteil an anderen selteneren Kunststoffen ist in der vorliegenden Studie teilweise höher als in der Länderstudie, was dadurch zu erklären ist, dass die Analyse mittlerweile auf einer automatisierten Auswertesoftware beruht, die 20 Polymere beinhaltet, d.h. Polymere gefunden wurden, die vorher nicht berücksichtigt waren.

Auch in Bezug auf die gefundenen Partikelformen ist festzustellen, dass sich die Untersuchung der Saale und die Proben der Länderstudie stark ähneln. Fragmente stellen in der Regel den weitaus größten Anteil dar, gefolgt von Fasern und selten Beads. In der

Länderstudie wurden zusätzlich ab und an Folien detektiert und in zwei Proben Pellets gefunden – beide Kategorien fehlten an der Saale.

Wie bereits in der Einleitung beschrieben kann über die Analyseergebnisse zu Polymerzusammensetzung und die Partikelform keine eindeutige Aussage zum Ursprung der Mikroplastikpartikel getroffen werden. Aufgrund der Tatsache, dass die häufigsten Mikroplastikpartikel Fragmente aus PE und PP sind - den am häufigsten für Einmalverpackungen eingesetzten Polymeren - lässt sich spekulieren, dass die Fragmente aus diesem Bereich stammen. Ob sie nun diffus über Regenabfluss und Windverfrachtung oder punktuell über Kläranlagen eingetragen wurden, lässt sich nicht nachvollziehen. Nur Beads können mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit der Quelle Kosmetika und dem Eintragspfad Kläranlagenablauf zugeordnet werden und solche Partikel wurden in geringen Mengen auch in den Kläranlagenproben 2019 gefunden. Bis auf eine Ausnahme (Rothenstein 2019) waren sie aber in der Saale nicht nachzuweisen.

6. Zusammenfassung

Ziel dieses Pilotprojektes war es, eine orientierende Wissensgrundlage über die bis dato nicht berücksichtigte Mikroplastikkontamination der Fließgewässer in Thüringen am Beispiel der Saale zu schaffen, was durch die zweimalige Beprobung der Saale im Raum Jena an drei Messstellen erreicht wurde. Zusätzlich wurde während der Probenahmekampagnen der Ablauf der Kläranlage Jena beprobt. Die Arbeiten wurden aus Vergleichsgründen in Anlehnung an die Mikroplastik-Untersuchungen der Länderstudien (Heß et al. 2018) durch die Universität Bayreuth durchgeführt. In Thüringen wurde zudem erstmalig auch die Größenfraktion 20-300 µm vollquantitativ erfasst, wodurch detailliertere zusätzliche Daten gewonnen wurden, die es so bislang nicht gab. Interessanterweise spielt genau diese Größenklasse mit meist weit mehr als 80 % Anteil die größte Rolle bei der Mikroplastikbelastung der Saale. Hier unterscheiden sich die dadurch viel höheren Werte an der Saale stark von der Länderstudie, sind aber aus Gründen der unterschiedlichen Erfassung dieser Größenklasse bei den Probenahmen nicht vergleichbar.

Insgesamt liegt die Saale im Bereich der Makroplastikbelastung weit unter dem Länderdurchschnitt und im Bereich des großen Mikroplastiks 1 – 5 mm auch bei sehr niedrigen Werten. Die Größenklasse 300 – 1000 µm zeigt zwischen den beiden Kampagnen starke Unterschiede, wobei im Jahr 2018 die Werte unter und im Jahr 2019 über dem Durchschnitt der Länderstudie liegen, was durch die unterschiedlichen Abflussbedingungen vor der jeweiligen Probenahme bedingt sein könnte. Die Anteile der gefundenen Polymere und Partikelformen sind vergleichbar mit denen der Länderstudie. Auch an der Saale sind PE und PP weitaus am häufigsten, gefolgt von PS. In Bezug auf die Partikelform überwiegen auch hier mit über 96 % Fragmente, gefolgt von Fasern. Im Fluss zeigen sich zwischen den Doppel-Proben einer Probenahmestelle Konzentrations- und Zusammensetzungsschwankungen, die auf eine inhomogene Verteilung von Plastik im Flussverlauf hindeuten. Im Gegensatz dazu erweisen sich die Kläranlagenproben in Hinblick auf die Polymerverteilung in beiden

Kampagnen sehr ähnlich. Dass diese Homogenität in den Kläranlagenproben selbst bei unterschiedlicher Konzentration besteht, bestätigt die Robustheit der eingesetzten Untersuchungsmethoden. Eine Mikroplastikzunahme im Flussverlauf ist nicht zu verzeichnen – die niedrigen Werte an der am weitesten flussabwärts gelegene Stelle Porstendorf könnten durch die oberhalb gelegene Stauhaltung bedingt sein.

Die gewonnenen Daten erlauben eine erste Einschätzung des Ausmaßes der Mikroplastikbelastung der Saale in Thüringen, stellen aber dennoch eine Momentaufnahme dar, was durch die Unterschiede der Plastikkonzentrationen in den beiden Kampagnen untermauert wird. Für eine detailliertere Analyse der Plastikkontamination der Saale sind weitere Beprobungen an mehreren Orten zu unterschiedlichen Zeiten und bei unterschiedlichen Abflussbedingungen nötig.

7. Literaturverzeichnis

Heß M., Diehl, P., Mayer J., Rahm H., Reifenhäuser W., Stark J., Schwaiger J., 2018. Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands - Bundesländerübergreifende Untersuchungen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Teil 1: Kunststoffpartikel in der oberflächennahen Wasserphase. Herausgeber: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RLP). Karlsruhe, Augsburg, Wiesbaden, Recklinghausen, Mainz.

Hufnagl B., Steiner D., Renner E., Löder M.G.J., Laforsch C., Lohninger H., 2019. A Methodology for the Fast Identification and Monitoring of Microplastics in Environmental Samples using Random Decision Forest Classifiers. *Analytical Methods*, 11, 2277-2285.

Hurley R., Woodward J., Rothwell J.J., 2018. Microplastic Contamination of River Beds Significantly Reduced by Catchment-Wide Flooding. *Nature Geoscience*, 4, 251-257.

Löder M.G.J., Kuczera M., Mintenig S., Lorenz C., Gerdts G., 2015. Focal Plane Array Detector-Based Micro-Fourier-Transform Infrared Imaging for the Analysis of Microplastics in Environmental Samples. *Environmental Chemistry*, 5, 563-581.

Löder M.G.J., Imhof H.K., Ladehoff M., Löschel L.A., Lorenz C., Mintenig S., Piehl S., Primpke S., Schrank I., Laforsch C., Gerdts G., 2017. Enzymatic Purification of Microplastics in Environmental Samples. *Environmental Science & Technology*, 24, 14283-14292.

Mintenig S.M., Int-Veen I., Löder M.G.J., Primpke S., Gerdts G., 2017. Identification of Microplastic in Effluents of Waste Water Treatment Plants Using Focal Plane Array-Based Micro-Fourier-Transform Infrared Imaging. *Water Research*, 365-372.

Watkins L., McGrattan S., Sullivan P.J., Walter M.T., 2019. The Effect of Dams on River Transport of Microplastic Pollution. *Science of the Total Environment*, 834-840.

8. Anhang – Tabellarische Übersicht der Ergebnisse

Probenahmedaten			Plastik-Konzentration [n/m³]					Plastik-Polymerzusammensetzung [%]												Plastik-Partikelformen [%]				
Probenahmezeitpunkt	Oberflächenwasserproben	Gewässer	Makroplastik > 5 mm Anzahl/m³	Großes Mikroplastik 1 - 5 mm Anzahl/m³	Kleines Mikroplastik I 300 - 1000 µm Anzahl/m³	Kleines Mikroplastik II 20 - 300 µm Anzahl/m³	Plastik Gesamtkonzentration > 5 mm - 20 µm pro m³	PE	PP	PS	SAN/ABS	PMMA	PUR	PA	PVC	PET/PES	Lack	PAN	andere	Faser	Fragment	Pellet	Bead	Folie
28.11.2018	Rothenstein I	Saale	0,00	0,08	0,00	146,08	146,16	47,8	30,4	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
28.11.2018	Rothenstein II	Saale	0,00	0,08	0,00	448,01	448,09	26,5	58,8	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	5,9	0,0	0,0	4,4	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
28.11.2018	Kunitzer Brücke I	Saale	0,00	0,55	0,11	349,13	349,79	36,2	36,2	2,9	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,2	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
28.11.2018	Kunitzer Brücke II	Saale	0,00	0,55	8,46	267,34	276,35	17,9	43,6	5,1	0,0	0,0	2,6	0,0	7,7	20,5	0,0	0,0	2,6	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
28.11.2018	KA Jena I	x	0,12	0,81	16,39	2156,16	2173,48	15,0	47,3	8,3	1,3	1,4	0,0	1,1	1,9	20,5	0,0	0,0	3,2	1,3	98,6	0,0	0,1	0,0
28.11.2018	KA Jena II	x	0,12	0,81	26,70	2241,02	2268,65	14,0	48,0	7,0	0,0	1,1	0,0	1,3	1,5	20,9	0,0	0,0	6,2	1,8	97,9	0,0	0,3	0,0
28.11.2018	Porstendorf I	Saale	0,00	0,00	0,00	219,71	219,71	45,5	48,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	2,9	97,1	0,0	0,0	0,0
28.11.2018	Porstendorf II	Saale	0,00	0,00	0,00	233,26	233,26	14,3	57,1	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	11,4	0,0	0,0	5,7	2,8	97,2	0,0	0,0	0,0
17.04.2019	Rothenstein I	Saale	0,03	0,03	79,79	651,60	731,45	47,3	39,3	1,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	9,8	0,9	98,2	0,0	0,9	0,0
17.04.2019	Rothenstein II	Saale	0,03	0,03	86,58	739,26	825,91	39,7	46,0	3,2	0,0	0,8	0,0	0,8	2,4	0,8	0,0	0,0	6,3	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
17.04.2019	Kunitzer Brücke I	Saale	0,05	0,28	26,65	531,91	558,90	16,0	68,0	5,7	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	1,7	2,3	2,3	97,7	0,0	0,0	0,0
17.04.2019	Kunitzer Brücke II	Saale	0,05	0,28	20,00	684,84	705,17	24,7	68,9	3,7	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,5	0,0	1,4	0,0	1,8	98,2	0,0	0,0	0,0
17.04.2019	KA Jena I	x	0,47	5,96	2,77	784,31	793,52	42,9	28,2	3,3	1,2	0,6	0,2	2,0	0,8	2,0	0,0	0,0	18,8	1,6	95,9	0,0	2,4	0,0
17.04.2019	KA Jena II	x	0,47	5,96	22,19	1262,14	1290,76	37,2	35,8	3,0	0,0	0,9	0,2	1,6	1,6	3,3	0,0	0,4	16,1	1,6	96,1	0,0	2,3	0,0
17.04.2019	Porstendorf I	Saale	0,03	0,14	52,49	255,32	307,98	49,1	42,1	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	3,5	96,5	0,0	0,0	0,0
17.04.2019	Porstendorf II	Saale	0,03	0,14	53,41	579,61	633,20	33,3	53,3	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	1,0	0,0	1,9	98,1	0,0	0,0	0,0