

MIKROPLASTIK

in Kärntner Gewässern



Impressum - Mikroplastik in Kärntner Gewässern

Herausgeber:

Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination
Flatschacher Straße 70
9021 Klagenfurt am Wörthersee
Telefon: +43 (0)50 536 18002
Fax: +43 (0)50 536 18000
E-Mail: abt8.post@ktn.gv.at
Internet: umwelt.ktn.gv.at

Abteilungsleiter:

Günther Weichlinger

Koordination:

Thomas Friedl (Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination)
Franko Humer (Umweltbundesamt GmbH)

Probenahme: (Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination)

Thomas Millonig, Alfred Kikel, Christoph Koller, Josef Koller

Analytik: (Umweltbundesamt GmbH)

Ievgeniia Lomako, Carla Schachner, Evelin El Said, Sebastian Köppel

Berichterstellung:

Thomas Friedl (Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination)
Thomas Millonig (Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination)
Philipp Hohenblum (Umweltbundesamt GmbH)
Sebastian Köppel (Umweltbundesamt GmbH)
Helene Walch (Umweltbundesamt GmbH)
Franko Humer (Umweltbundesamt GmbH)

Grafik und Layout Inhalt:

Umweltbundesamt GmbH

Grafik und Layout Umschlag/Impressum:

Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 8 - Öffentlichkeitsarbeit

Umschlagfoto:

Gurk Maitratten, © Amt der Kärntner Landesregierung

Vorwortfoto:

Umwelt-Landesrätin Mag.^a Sara Schaar, © Gleiss

Stand: Juli 2023

Das Amt der Kärntner Landesregierung hat keinen Einfluss auf die Gestaltung und den Inhalt von anderen Webseiten, auf die im Folgenden verwiesen wird. Für diese fremden Inhalte wird daher keine Verantwortung übernommen.



Mikroplastik ist heutzutage fast überall in Umwelt und Natur zu finden, so der einhellige Tenor von Expert:innen weltweit. Grund genug, dieser Aussage im Hinblick auf Kärntens Fließgewässer und Sedimente genauer auf den Grund zu gehen. Denn in einer Zeit, in der unsere Gesellschaft immer sensibler für die ökologischen Herausforderungen unserer Umwelt wird, gewinnt die Thematik von Mikroplastik immer größere Bedeutung.

Mikroplastik hat sich von einem weitgehend unbekanntem Umwelt-Problem zu einem Schwerpunkt öffentlicher Diskussion entwickelt. Die zunehmende Verwendung von Kunststoffen in einer Vielzahl von Produkten, kombiniert mit mangelnder Aufklärung über den Umgang mit Kunststoffabfällen, hat dazu geführt, dass Mikroplastik in unsere Gewässer gelangt. Die Auswirkungen dieser winzigen Partikel auf aquatische Ökosysteme, auf die Wasserversorgung und letztendlich auf die menschliche Gesundheit werden bisher nur in Ansätzen verstanden.

Die vorliegende Studie präsentiert einen ersten Überblick auf das Vorkommen von Mikroplastik in Kärntens Fließgewässern.

Damit ist Kärnten Vorreiter in der Forschung, denn es handelt sich um das erste Projekt, das in Österreich in dieser Form durchgeführt wurde. Die Ergebnisse offenbaren ein alarmierendes Bild: Mikroplastik ist tatsächlich allgegenwärtig. Selbst in scheinbar unberührte und entlegene Flüsse haben die winzigen Plastikfragmente ihren Weg gefunden.

Die Erforschung von Mikroplastik ist nicht nur ein akademisches Unterfangen, sondern eine drängende Notwendigkeit für den Schutz unserer natürlichen Umwelt. Die Erkenntnisse aus dieser Studie sollen nicht nur das Bewusstsein für die weite Verbreitung von Mikroplastik schärfen, sondern auch den aktuellen Wissensstand vertiefen. Derzeit gibt es keine standardisierten Beprobungen oder Auswertungen und auch keine Grenzwerte in Österreich, in der EU oder weltweit. Die Kärntner Studie soll auch dazu beitragen, österreich- bzw. EU-weite Standards für die Probenahme und Auswertung von Mikroplastik in Fließgewässern auszuarbeiten. Möge sie ebenso dazu beitragen, die Dringlichkeit der Situation zu verdeutlichen und den Weg für nachhaltige Lösungen zu ebnet.

Umwelt-Landesrätin

Mag.^a Sara Schaar

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG	6
1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	7
2. UNTERSUCHUNGSPROGRAMM.....	8
2.1 Ziel der Untersuchungen	8
2.2 Untersuchte Parameter.....	8
2.2.1 Polyethylen (PE).....	8
2.2.2 Polypropylen (PP).....	9
2.2.3 Polyvinylchlorid (PVC).....	9
2.2.4 Polystyrol (PS).....	9
2.2.5 Polyethylenterephthalat (PET)	9
2.2.6 Polyamid (PA)	10
2.2.7 Polyurethan (PU).....	10
2.2.8 Polycarbonat (PC).....	10
2.2.9 Polymethylmethacrylat (PMMA).....	10
2.2.10 Polyoxymethylen (POM)	11
2.3 Messstellen	11
2.3.1 Drau	13
2.3.1.1 Drau – Oberdrauburg	13
2.3.1.2 Drau – Rosegg	13
2.3.1.3 Drau – Lavamünd	14
2.3.2 Gurk.....	15
2.3.2.1 Gurk – Maitratten	15
2.3.2.2 Gurk – Mölbling	16
2.3.2.3 Gurk – Gumisch	17
2.3.3 Malta – Gmünd	18
2.3.4 Glanfurt.....	20
2.3.5 Rababach	20
2.3.5.1 Rababach – Gottesbichl.....	20

2.3.5.2	Rababach – Niederdorf	21
2.3.6	Peratschitzenbachzubringer	22
3.	PROBENAHPME.....	23
3.1	Wasserproben.....	23
3.1.1	Entwicklung der Probenahmeapparatur.....	23
3.2	Sedimentproben	28
4.	ANALYTIK	29
4.1	Probenvorbereitung von Wasserproben	29
4.2	Probenvorbereitung von Sedimentproben	31
4.3	Quantifizierung von Mikroplastik.....	33
4.4	Qualitätssichernde Maßnahmen	34
5.	ANALYSENERGEBNISSE	35
5.1	Drau	35
5.1.1	Drau – Oberdrauburg	35
5.1.2	Drau – Rosegg	35
5.1.3	Drau – Lavamünd	36
5.1.4	Drau zusammenfassende Beurteilung	36
5.2	Gurk	37
5.2.1	Gurk – Mairatten	37
5.2.2	Gurk – Mölbling	37
5.2.3	Gurk – Gumisch	37
5.2.4	Gurk zusammenfassende Beurteilung	37
5.3	Malta – Gmünd	38
5.4	Glanfurt – Klagenfurt	38
5.5	Rababach – Gottesbichl.....	38
5.6	Rababach – Niederdorf	39
5.7	Peratschitzenbachzubringer	39
6.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE.....	40
6.1	Vergleich der Kärntner Fließgewässer mit anderen Fließgewässern.....	44

7.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	48
8.	REFERENZEN.....	49
8.1	Literaturverzeichnis.....	49

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Studie wurden Fließgewässer im Bundesland Kärnten auf Mikroplastik untersucht, um einen Überblick über eine mögliche Belastung zu erlangen. Es wurden 21 Wasser- und 11 Sedimentproben von 11 Messstellen an 6 verschiedenen Fließgewässern untersucht. Bei Drau und Gurk wurden im Verlauf mehrere Messstellen untersucht. Die Wasserprobenahmen fanden zwischen Mai und Juli 2022, die Sedimentprobenahmen zwischen Juni und August 2022 statt.

Für die Probenahme von Mikroplastik aus der fließenden Welle stand kein Normverfahren zu Verfügung, sodass vom Land Kärnten in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt eine mobile Probenahmeapparatur mit Pumpe entwickelt und gebaut wurde. Zur Gewinnung einer Probe wurden jeweils rund 15 m³ Wasser über Edelstahlnetze (50 µm und 500 µm Maschenweite) gepumpt. Die Probenahme der Sedimente erfolgte nach DIN 38414 Teil 11. Die Analytik der Proben erfolgte im Labor des Umweltbundesamtes in Wien. Es wurden 10 Kunststoffarten untersucht, die zu den Massenkunststoffen gezählt werden können und somit die Mehrheit der weltweit produzierten Kunststoffe ausmachen. Diese sind in Kapitel 2 detailliert beschrieben. Die Belastung wurde in Anzahl der Kunststoffpartikel pro m³ Probe bzw. Anzahl pro kg Sediment-Trockenmasse (TM) bestimmt und berücksichtigt nicht die Größe der Partikel, sodass die Ergebnisse eine zu Massenkonzentrationen unterschiedliche Information liefern.

In allen untersuchten Wasser- und Sedimentproben wurde Mikroplastik nachgewiesen. Die Ergebnisse der Drau zeigen im Verlauf, dass trotz Zunahme der Emissionsquellen sowohl bei den Wasser- als auch bei den Sedimentproben eine Abnahme der Belastung zu beobachten war. Dies kann auf die zahlreichen Staustufen entlang der Fließstrecke zurückgeführt werden, in denen sich Mikroplastik absetzt. Die Messwerte betragen zwischen 6 und 30 Stk/m³ bzw. 1.260 und 8.920 Stk/kg TM Sediment. In der Gurk konnte eine Zunahme der Mikroplastik-Belastung entlang der Fließstrecke beobachtet werden. Dies ist auf die weitgehend freie Fließstrecke ohne Staustufen zurückzuführen. Die Anzahl der Mikroplastikteile betrug zwischen 208 und 668 Stk/m³ im Wasser und zwischen 448 und 4.970 Stk/kg TM Sediment. Obwohl für die Malta aufgrund des inneralpinen, wenig beeinflussten Oberlaufs eine geringe Belastung anzunehmen war, wurden 668 Stk/m³ im Wasser gemessen. Dieser im Vergleich zu Drau und Gurk hohe Wert ist wahrscheinlich auf einen Emittenten im Nahbereich, v. a. durch Polyurethan (PU) und Polyamid (PA) zurückzuführen. Im Sediment wurden 250 Stk/kg TM ermittelt und damit deutlich weniger als in Gurk und Drau. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Sedimentprobe flussauf des Emittenten lag. Ein relativ geringer Mikroplastikgehalt im Wasser (50 Stk/m³) wurde im Abfluss des Wörthersees gemessen, der aber mit einem im Vergleich hohen Sedimentwert (2.960 Stk/kg TM) einhergeht. Dies dürfte auf das landwirtschaftliche Einzugsgebiet zurückzuführen sein, in dem Klärschlammkompost aufgebracht wird. Der höchste Messwert dieser Studie in einer Wasserprobe wurde im Rababach mit 879 Stk/m³ ermittelt. Hier sind Einträge durch die Autobahn und einzelne Betriebe denkbar, sowie die Ausbringung von Klärschlammkompost. Die Ergebnisse sind in Kapitel 5 detailliert beschrieben und werden in Kapitel 6 diskutiert.

Obwohl in den letzten Jahren vermehrt Studien zu Mikroplastik in Fließgewässern und Sedimenten durchgeführt werden, ist bei einem Vergleich der Ergebnisse zu berücksichtigen, dass meist unterschiedliche Messmethoden eingesetzt und/oder unterschiedliche Partikelgrößen untersucht wurden. Die vorliegenden Studienergebnisse liefern jedoch sowohl in Bezug auf die Gehalte an Mikroplastik im Fließgewässer als auch im Sediment keine unerwarteten bzw. außergewöhnlichen Ergebnisse. Auch wenn Vergleiche aufgrund der unterschiedlichen Methoden nur sehr schwer angestellt werden können, kann davon ausgegangen werden, dass in den Kärntner Fließgewässern keinesfalls eine höhere Mikroplastikbelastung als in Gewässern anderer (Bundes-) Länder vorliegt.

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Kunststoffe sind seit dem 20. Jahrhundert Teil unserer Gesellschaft und aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie gelangen durch falsche Handhabung und unsachgemäßes Management von Abfällen sowie Abnutzung oder Verwitterung bei exponierter Verwendung in die Umwelt und verteilen sich dort in Wasser, Luft und Boden. Dies kann durch die Ballung anthropogener Faktoren wie Industrie, Siedlungen oder Verkehr verstärkt werden. Die Verunreinigung der Umwelt mit Kunststoffen (umgangssprachlich als Plastik bezeichnet) und Mikroplastik im Speziellen wird als eine der großen Herausforderungen im Umweltschutz und Management aquatischer Ressourcen betrachtet (Cera et al. 2020).

Mikroplastik bezeichnet Kunststoffteilchen verschiedener Arten, welche kleiner als 5 mm sind. Partikel im Nanometer-Bereich (meist < 100 nm) werden als Nanoplastik abgegrenzt. Es wird zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik unterschieden. Primäres Mikroplastik sind Kunststoffteilchen im Bereich weniger μm , die z. B. Kosmetika oder Reinigungsmitteln bewusst zugesetzt werden, um eine spezielle Wirkung (z. B. Abrasion) zu erzielen, aber auch Granulate, wie sie etwa zur Herstellung von Kunststoffprodukten, zur Oberflächenbehandlung oder als Füllmaterialien in Kunstrasen eingesetzt werden. Sekundäres Mikroplastik sind im Wesentlichen Plastikteilchen, die durch Verwitterung oder Abnutzung entstehen.

Fließgewässer sind im Vergleich zu den Meeren bisher wenig auf das Vorkommen von Mikroplastik untersucht, allerdings werden vermehrt Studien durchgeführt. Da jedoch noch immer keine einheitlichen Methoden für die Probenahme und Messung von Mikroplastik angewendet werden, sind Ergebnisse oft schwer miteinander vergleichbar.

Mit der gegenständlichen Studie sollte eine erste Bestandsaufnahme von Mikroplastik in Kärntner Fließgewässern und Sedimenten durchgeführt werden. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Probenahme unter Berücksichtigung der Qualitätssicherung. Damit trägt die Studie zur Vertiefung des aktuellen Wissensstandes hinsichtlich Mikroplastik bei und kann als Grundlage für weitere Projekte in der aquatischen Umwelt gesehen werden.

Die Studie umfasst große Kärntner Fließgewässer wie z. B. die Drau und die Gurk, aber auch kleinere Bäche. Insgesamt wurden 21 Wasser- und 11 Sedimentproben von 11 Messstellen an 6 verschiedenen Fließgewässern in Kärnten untersucht.

2. UNTERSUCHUNGSPROGRAMM

2.1 Ziel der Untersuchungen

Nach einem Auftrag des Kärntner Landtages im Jahre 2018 wurde überblicksmäßig die Belastung der Kärntner Fließgewässer mit Mikroplastik erhoben.

Dabei wurden sowohl Gewässer, bei denen keine Belastungen zu erwarten waren, als auch Gewässer im Einzugsgebiet von Siedlungen und Betrieben sowie von Oberflächenentwässerungen beprobt. Dies sollte Aufschluss über die Eintragspfade von Mikroplastik in die Gewässer geben.

An den Messstellen wurden Wasserproben und zusätzlich Sedimentproben genommen, um auch den abgesetzten Teil des Mikroplastiks, der erst bei Hochwasser mobilisiert wird, festzustellen.

Die vorliegende Studie soll einen Einblick geben, ob die Kärntner Gewässer, und wenn ja, wie stark, mit Mikroplastik belastet sind und worauf die Belastung zurückgeführt werden könnte.

In weiterer Folge wäre über entsprechende Maßnahmen zur Minimierung bzw. Verhinderung des Eintrages zu diskutieren, auch wenn es derzeit noch keine entsprechenden gesetzlichen Vorgaben gibt.

Bei Oberflächenentwässerungen wäre zu prüfen, ob der Stand der Technik bei der Vorreinigung der eingeleiteten Wässer auch für den Rückhalt von Mikroplastik ausreicht, oder ob weitere Reinigungsmaßnahmen notwendig sind.

Bisherige Untersuchungen von Mikroplastik in Fließgewässern in Europa bzw. weltweit weisen häufig methodische Mängel auf. Die vorliegende Studie soll daher auch als Grundlage für die Ausarbeitung österreich- bzw. EU-weiter Standards für die Probenahme und Auswertung von Mikroplastik in Fließgewässern und für die Einstufung der Belastung herangezogen werden können.

Die Untersuchung gibt jedoch nur einen ersten groben Überblick über die Mikroplastiksituation in den Kärntner Fließgewässern, da die ausgewählten Probenahmestellen jeweils nur an einem Tag beprobt wurden und auch keine Beprobungen von Einleitungen in die Gewässer vorgenommen wurden. Nähere Untersuchungen wären über den zeitlichen und den finanziellen Probenahme- und Untersuchungsrahmen dieser Bestandsaufnahme hinausgegangen. Die Bearbeitung spezieller Fragestellungen wäre die Aufgabe von Folgeuntersuchungen.

2.2 Untersuchte Parameter

Es wurden die, am Marktanteil gemessen, wichtigsten Kunststoffarten untersucht. Die nachfolgende Beschreibung der untersuchten Parameter wurde Stoifl, et al. (2017) bzw. NABU (2015) und KUNSTSTOFFE.DE (2015 und 2016) entnommen.

2.2.1 Polyethylen (PE)

Polyethylen ist der in Europa meistproduzierte Kunststoff. PE wird in vier wesentliche Typen unterteilt: (1) PE-High Density (PE-HD) mit schwach verzweigten Polymerketten und daher mit einer hohen Dichte, (2) PE-Low Density (PE-LD) mit stark verzweigten Polymerketten und daher mit einer geringen Dichte sowie (3) PE-Linear Low Density (PE-LLD), ein lineares Polyethylen niedriger Dichte. (4) PE-Medium Density (PE-MD) ist eine Mischung und bietet die Haltbarkeit von PE-HD und die Haptik von PE-LD (NABU 2015).

Das wichtigste Anwendungsgebiet von PE-HD sind im Blasformverfahren hergestellte Hohlkörper, wie z. B. Flaschen, aber auch großvolumige Behälter wie Kanister oder Abfalltonnen. Außerdem werden aus PE-HD im Extrusion- und Vakuumverfahren spezielle Fasern, Folien und Rohre hergestellt, die z. B. in der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung eingesetzt werden. PE-LD und PE-LLD hingegen werden vor allem in der Folienproduktion verwendet. Anwendungsbeispiele sind Agrar-, Frischhalte-, Schrumpf- und Mehrschichtfolien sowie Beschichtungen von Gebrauchsartikeln, wie z. B. Kabelummantelungen, Textilien oder Papier. PE-Pulver werden zur Beschichtung von Textilien oder Papier verwendet (Stoifl, et al. 2017).

2.2.2 Polypropylen (PP)

Auch PP gehört zu den häufig eingesetzten Polymeren und verfügt über unterschiedlichste Materialeigenschaften. PP weist eine hohe Steifigkeit, Härte und Festigkeit auf und kann mit mineralischen Füllstoffen wie z. B. Kreide oder Glasfasern angereichert werden. Zusätzlich ist PP bei Raumtemperatur gegen Fette und organische Lösungsmittel beständig.

Dies erlaubt einen breiten Einsatz. Zu den wichtigsten Anwendungsbereichen gehören Verpackungsfolien sowie starre Verpackungen, gefolgt von Faserprodukten. Jedoch findet PP auch Einsatz in medizinischen Produkten, wie z. B. Einwegspritzen sowie als Sicherheitsfolie für Banknoten (NABU 2015).

Im Bausektor findet PP unter anderem für Rohre, Heißwasserbehälter und Gartenmöbel Verwendung. PP wird auch als Gehäusewerkstoff für Klein elektrogeräte, Formteile für Haushaltsgeräte sowie für Karosserieteile (Stoßfänger) und Formteile im Innenraum von Kraftfahrzeugen eingesetzt (Stoifl, et al. 2017).

2.2.3 Polyvinylchlorid (PVC)

PVC ist ein thermoplastischer Kunststoff mit harten bis spröden Eigenschaften, welche durch die Zugabe von Weichmachern und Stabilisatoren an die Produktanforderungen angepasst werden. Ein großer Anteil der PVC-Produkte (ca. 40 %) entfällt auf den Bausektor, wo sie vor allem als Fensterprofile, Rohre, Fußbodenbeläge oder Dachbahnen zum Einsatz kommen. Des Weiteren wird PVC als Beschichtung oder Isoliermaterial für Produkte in der Automobil-, Bau und Konsumgüterindustrie oder in der Medizintechnik eingesetzt (NABU 2015).

2.2.4 Polystyrol (PS)

PS ist ein transparenter, weiß geschäumter Thermoplast. PS-E ist eine expandierte Version von PS und wird als Schaumstoff eingesetzt (auch als Styropor bekannt). Nachteilig sind die eingeschränkte Temperatur- und Spannungsbeständigkeit sowie die UV-Empfindlichkeit. Hauptanwendungsbereich ist die Verpackungsindustrie, v. a. für Lebensmittelverpackungen (z. B. Joghurtbecher), aber auch in Gehäusen von Monitoren, TV-Geräten, Druckern und anderen elektrischen Geräten sowie verschiedenen Konsumprodukten kommt PS zur Anwendung. In der Elektrotechnik wird PS wegen seiner Isolationseigenschaft eingesetzt und im Bauwesen als Dämmstoff verwendet (NABU 2015).

2.2.5 Polyethylenterephthalat (PET)

PET ist ein thermoplastischer Kunststoff und wird heute neben der Produktion von Fasern für eine Vielzahl von Verpackungen eingesetzt. Hauptanwendungsgebiet von PET sind im Blasformverfahren hergestellte Flaschen mit unterschiedlichen Wanddicken. PET-A wird z. B. auch für Elektroisierfolien oder Magnetbänder eingesetzt. PET-

C hingegen findet u. a. häufig Verwendung für Formteile in elektrischen Kleingeräten. PET-Fasern werden mittlerweile auch aus recycelten PET-Flaschen gewonnen, um daraus u. a. Fasern für Fleecestoffe herzustellen (NABU 2015).

2.2.6 Polyamid (PA)

Polyamide sind Materialien mit hoher Festigkeit und Steifigkeit, ausgezeichneter Schlagzähigkeit sowie guter Abrieb- und Verschleißfestigkeit. Polyamide werden durch ihre hohe mechanische Festigkeit vor allem im Fahrzeugbau, aber auch im Elektro- und Elektronikbereich sowie im Maschinen- und Apparatebau eingesetzt. Typische Anwendungsbeispiele sind Lampengehäuse, starre Kraftstoffleitungen und Tanks, Gas- und Kupplungspedale, Gehäuse von Elektrowerkzeugen und Gehäuse für elektronische Bauelemente. Polyamide dienen auch als Werkstoff für Filtergewebe, z. B. bei Dialysefiltern. Glasfaserverstärkte Polyamide weisen eine deutlich höhere Wärmeformbeständigkeit auf als unverstärkte Typen und werden daher für viele Anwendungen im KFZ-Motorraum eingesetzt (KUNSTSTOFFE.DE 2016).

2.2.7 Polyurethan (PU)

Polyurethane sind Kunstharze und können – je nach Herstellung – hart und spröde, aber auch weich und elastisch sein. In aufgeschäumter Form kommt PU als dauerelastischer Weichschaum (z. B. für Matratzen, Möbelpolster, Autositze) oder als harter Montageschaum (z. B. als Isolationsmaterial in Gebäuden oder in Kühlgeräten) zum Einsatz. Ein weiteres Anwendungsbiet von PU ist der Einsatz in Lacken und Beschichtungen, wo es als Grundierung, Deck- und Beschichtungslack oder Klebstoff verwendet wird (NABU 2015). Harte PU-Gießharze haben sich vor allem als Formstoffe für die Elektrotechnik (z. B. Isolatoren, Schalterbau, Bauteile für Niederspannungstechnik und Elektronik) bewährt. Darüber hinaus werden Composite-Bauteile beispielsweise im Fahrzeug- und Anlagenbau aus PU hergestellt (KUNSTSTOFFE.DE 2016).

2.2.8 Polycarbonat (PC)

Polycarbonate zählen chemisch zu den Polyestern und zeichnen sich durch die Kombination folgender Eigenschaften aus: hohe Transparenz, hohe Wärmeformbeständigkeit und sehr gute Schlagzähigkeit. Anwendungsgebiete von PC sind optische Speichermedien wie CDs, DVDs und Blu-ray Discs. Im Fahrzeugbau kommen starre Seiten- und Heckscheiben sowie Dachmodule aus PC zum Einsatz. PC-Platten werden im Bausektor als Dach-Abdeckungen (z. B. Bahnhöfe, Sportstadien) und für Verglasungen z. B. bei Gewächshäusern verwendet (KUNSTSTOFFE.DE 2016).

2.2.9 Polymethylmethacrylat (PMMA)

PMMA ist ein amorpher Thermoplast mit ausgezeichneten optischen Eigenschaften. PMMA ist fest, hart, steif und sehr witterungs- und alterungsbeständig. Eingesetzt wird der Kunststoff in der Optik zur Herstellung von optischen Elementen wie Brillengläsern, Linsen oder Prismen. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Fahrzeugindustrie mit der Produktion von Rück- und Blinklichtabdeckungen, Wohnwagenfenstern, Rückstrahlern oder z. B. Flugzeugverglasungen. In der Bauindustrie wird PMMA beispielsweise für Schallschutzwände, Leuchten und Leuchtdecken, Lichtkuppeln sowie WCs, Badewannen und Duschkabinen verwendet (KUNSTSTOFFE.DE 2015).

2.2.10 Polyoxymethylen (POM)

Polyoxymethylen (POM) zählt zu den technischen Thermoplasten. Das heißt, dass POM im Vergleich zu Standardkunststoffen bessere mechanische Eigenschaften hat und auch für technische Anwendungen und teilweise Konstruktionsanwendungen (tragende Teile) geeignet ist. Die wichtigsten Einsatzgebiete sind die Automobilindustrie und die Elektrotechnik (KUNSTSTOFFE.DE 2015).

2.3 Messstellen

Insgesamt wurden 21 Wasser- und 11 Sedimentproben von 11 Messstellen an 6 verschiedenen Fließgewässern genommen. An den größeren Gewässern (Drau, Gurk – Möbling und Gurk – Gumisch) fand die Wasserprobenahme auf beiden Uferseiten und in der Flussmitte statt.

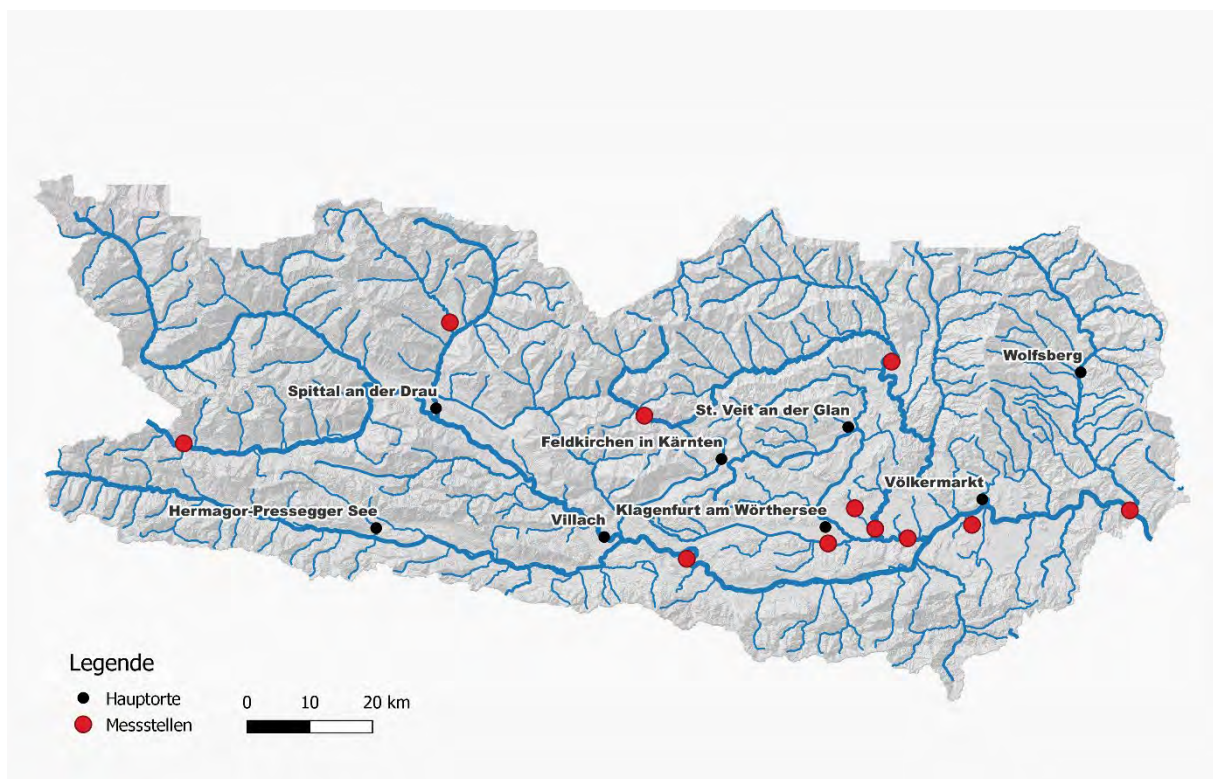


Abbildung 1: Messstellen und Bezirksstädte (© Amt der Kärntner Landesregierung)

Eine Übersicht über die Messstellen, gereiht nach Größe der Fließgewässer beginnend mit dem Kärntner Hauptfluss, der Drau, findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Messstelle, Verortung, Probenahmedatum und Abflüsse (m³/s) – Wasserproben

Messstelle	Rechtswert	Hochwert	PN-Datum	MQ	NQT	Abflussmenge zum Zeitpunkt der Probenahme (m³/s)
Drau – Oberdrauburg	422311	178768	07.07.2022	61	11	70
Drau – Rosegg	502503	160355	13.07.2022	180	40	120
Drau – Lavamünd	573135	168084	14.07.2022	270	58	200
Gurk – Mairtatten	495742	183192	09.05.2022	3,77	0,53	5
Gurk – Mölbling	535150	191807	07.06.2022	12,6	2,52	7,5
Gurk – Gumisch	537733	163633	08.06.2022	29,14	8,85	17
Malta – Gmünd	464732	198055	10.05.2022	3,52	0,52	2,9
Glanfurt – Klagenfurt	525041	162811	04.05.2022	2,7	0,5	1,6
Rababach – Gottesbichl	529285	168416	01.06.2022	0,05	0,01	0,02
Rababach – Niederdorf	532538	165153	07.07.2022	0,22	0,03	0,037
Peratschitzenbachzubringer	547964	165777	02.06.2022	0,012	0,012	0,012

PN... Probenahme; MQ... Mittlerer Abfluss; NQT... kleinste Niederwasseremenge der Tagesmittel

Die Sedimentbeprobungsstellen befinden sich möglichst nahe bei den Wasserbeprobungsstellen der jeweiligen Fließgewässer, können aber bei Fehlen geeigneter Sedimente im Einzelfall bis zu 1 km von der jeweiligen Entnahmestelle der Fließgewässer entfernt sein. Die Entfernungen der Sedimentbeprobungsstellen von den Wasserbeprobungsstellen sind in Tabelle 2 angeführt.

Tabelle 2: Messstelle, Ort und Probenahmedatum der Sedimentprobenahme

Probestelle	Ort der Probenahme	Probenahmedatum
Drau – Oberdrauburg	direkt bei der Messstelle, linksufrig	07.07.2022
Drau – Rosegg	250 m flussaufwärts der Messstelle, rechtsufrig	28.06.2022
Drau – Lavamünd	100 m flussabwärts der Messstelle, rechtsufrig	28.06.2022
Gurk – Mairtatten	500 m flussaufwärts der Messstelle, rechtsufrig	13.07.2022
Gurk – Mölbling	direkt bei der Messstelle, rechtsufrig	27.06.2022
Gurk – Gumisch	250 m flussaufwärts der Messstelle, rechtsufrig	11.07.2022
Malta – Gmünd	1000 m flussaufwärts der Messstelle, rechtsufrig	04.08.2022
Glanfurt – Klagenfurt	direkt bei der Messstelle, rechtsufrig	01.07.2022
Rababach – Gottesbichl	70 m bachabwärts der Messstelle	03.06.2022
Rababach – Niederdorf	direkt bei der Messstelle	03.06.2022
Peratschitzenbachzubringer	50 m bachabwärts der Messstelle	27.06.2022

2.3.1 Drau

Die Drau ist der größte Fluss Kärntens und durchfließt das gesamte Landesgebiet. An ihr liegen die Bezirksstädte Spittal, Villach und Völkermarkt. Die Landeshauptstadt Klagenfurt entwässert über die Glan in die Gurk, die in die Drau mündet.

Die Drau wurde an 3 Messstellen beprobt. Beginnend bei der Kärntner Landesgrenze zu Osttirol in Oberdrauburg, in Mittelkärnten bei Rosegg und in Lavamünd an der Grenze zu Slowenien.

2.3.1.1 Drau – Oberdrauburg

Die Drau weist in diesem Bereich eine freie Fließstrecke mit schottrigem Substrat auf. Die Gewässerbreite beträgt rund 35 m, die Tiefe ca. 1 m. Die Mittelwasserführung liegt bei $61 \text{ m}^3/\text{s}$, der Niederwasserabfluss bei $11 \text{ m}^3/\text{s}$. Zum Zeitpunkt der Probenahme betrug die Wasserführung $70 \text{ m}^3/\text{s}$.

An der Probenahmestelle des linken Ufers liegt der Hauptstromstrich, rechtsufrig befindet sich eine Schotterbank mit geringerer Fließgeschwindigkeit.

Ca. 20 km flussauf befindet sich die Stadt Lienz mit rund 12.000 Einwohnern. In die Drau gelangen die Oberflächenwässer der Stadt sowie von Straßenabschnitten der Drautal-Bundesstraße. Weiters werden die Abwässer des Abwasserverbandes Lienzer Talboden mit einem Ausbaugrad von 56.800 Einwohnerwerten (EW) eingeleitet.



Abbildung 2: Drau – Oberdrauburg (© Amt der Kärntner Landesregierung)

2.3.1.2 Drau – Rosegg

Bei Rosegg münden als größere Flüsse die Möll, die Lieser und die Gail in die Drau. Flussauf befinden sich die Laufstaukraftwerke Paternion, Kellerberg, Villach und Rosegg, die für eine Sedimentation von Geschiebe sorgen, welches erst bei Hochwässern weitertransportiert wird.

Die Drau fließt in diesem Bereich in einem im Uferbereich etwas naturnah ausgestalteten, ansonsten betonierten Werkskanal (siehe Abbildung 3) mit kiesig-schlammigem Untergrund. Davor werden 5 m³/s in das Hauptbett der Drau, die sogenannten Rosegger Schleife, abgeleitet. Die Breite des Werkskanales beträgt rd. 35 m, die Tiefe rd. 3 m.

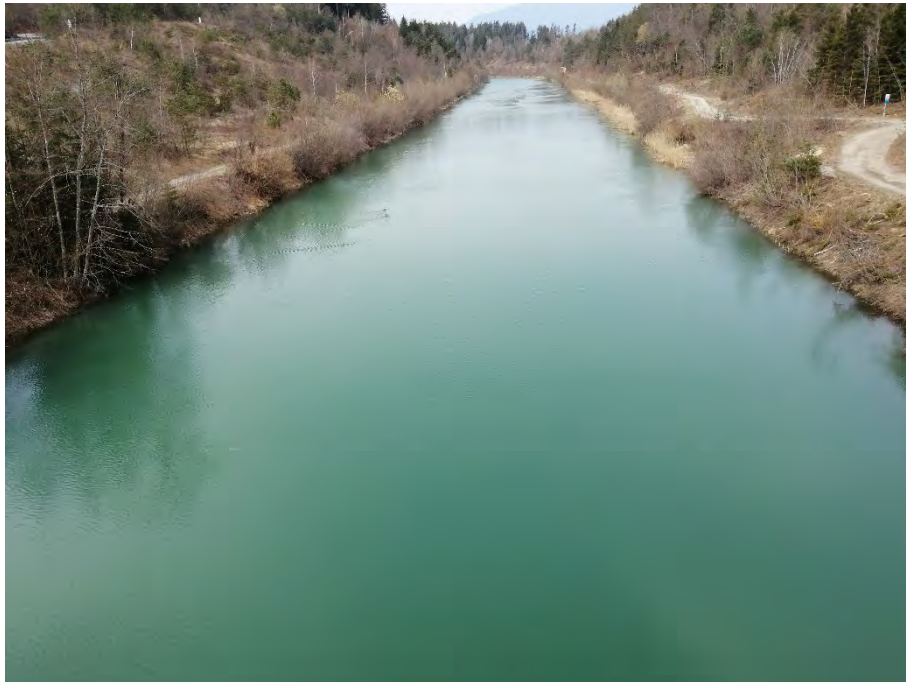


Abbildung 3: Drau – Rosegger Werkskanal (© Amt der Kärntner Landesregierung)

Die Mittelwasserführung der Drau liegt bei 180 m³/s, der Niederwasserabfluss bei 40 m³/s. Zum Zeitpunkt der Probenahme betrug die Wasserführung 120 m³/s.

Die Probenahmestellen weisen an beiden Ufern eine ähnliche Charakteristik auf, in der Mitte liegt der Hauptstromstrich.

Ca. 15 km flussauf befindet sich die 64.000 Einwohner:innenstadt Villach mit Oberflächenwassereinleitungen in Drau und Gail. Die häuslichen Abwässer werden über die 235.000 EW Kläranlage entsorgt. Dabei kommt es bei Starkregenereignissen zu Mischwasserentlastungen der Schmutzwasserkanäle in die Drau. Zum Teil finden Einleitungen der Straßenabwässer des Autobahnknotenpunktes A2-A10 ohne Vorreinigung in die Drau statt.

Ca. 50 km flussauf befindet sich die 15.000 Einwohner:innenstadt Spittal/Drau mit einer 130.000 EW Kläranlage.

2.3.1.3 Drau – Lavamünd

Die Drau hat bei Lavamünd das Bundesland Kärnten auf einer Länge von 200 km durchflossen. Auf dieser Strecke hat die Drau 6 weitere Laufstaukraftwerke (Feistritz, Ferlach, Annabrücke, Völkermarkt, Schwabeck und Lavamünd), die kettenförmig hintereinanderliegen, passiert. Die Mittelwasserführung liegt bei 270 m³/s, der Niederwasserabfluss bei 58 m³/s. Zum Zeitpunkt der Probenahme betrug die Wasserführung 200 m³/s. Die Gewässerbreite beträgt rd. 100 m, die Tiefe rd. 3,5 m.

Das Substrat im Unterwasserbereich des Staubereichs Lavamünd besteht hauptsächlich aus Steinen und Schotter.

Die Probenahmestellen in Ufernähe sind in ihrer Charakteristik an beiden Ufern gleich, in der Mitte liegt der Hauptstromstrich.

Die Lavant mündet flussab der Probenahmestellen in die Drau.

An Hauptzubringern mündet ca. 40 km flussauf die Gurk ein, über welche auch die Oberflächenwässer und Abwässer der 100.000 Einwohner:innen zählenden Landeshauptstadt Klagenfurt über die Glan und in der Folge über die Gurk in die Drau gelangen.

Die Kläranlage der Landeshauptstadt ist auf 300.000 EW ausgelegt, da auch mehrere andere Siedlungsgebiete angeschlossen sind.

Die Abwässer der Stadt Völkermarkt gelangen über die Kläranlage Kohldorf mit rd. 46.000 EW in die Drau.



Abbildung 4: Drau – Lavamünd (© Amt der Kärntner Landesregierung)

2.3.2 Gurk

Die Gurk ist nach der Drau der zweitlängste Fluss Kärntens. Sie entspringt in den Gurktaler Alpen und mündet im Klagenfurter Becken in die Drau. An ihr liegen direkt keine größeren Städte, jedoch die Industriebetriebe der Fa. Treibacher AG in Treibach-Althofen und der Fa. Donauchemie in Brückl. Die Abwässer der Bezirkshauptstädte St. Veit und Feldkirchen sowie der Landeshauptstadt Klagenfurt gelangen über die Glan in die Gurk.

Die Gurk wurde an 3 Stellen beprobt. Die Messstelle Maitratten liegt im oberen Gurktal und dient als „unbeeinflusste“ Referenz, die Messstelle Mölbling umfasst die Einleitungen der Treibacher Industrie-AG und der Stadt Treibach-Althofen, die Messstelle Gumisch liegt flussab der Glanmündung.

2.3.2.1 Gurk – Maitratten

Die Gurk weist in diesem Bereich eine Mittelwasserführung von 3,77 m³/s auf. Der Niederwasserabfluss liegt bei 0,53 m³/s. Zum Zeitpunkt der Probenahme betrug die Wasserführung 5 m³/s. Die Gewässerbreite liegt bei 10 m, die Tiefe bei rd. 0,8 m. Das Substrat setzt sich hauptsächlich aus Steinen und Schotter zusammen.

Im landwirtschaftlich, v. a. als Viehweide, und forstwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet, liegen einige Ortschaften und Siedlungen. Unmittelbar flussauf der Probenahmestelle befindet sich das Gelände einer größeren Holz- und Metallbaufirma mit Verarbeitungshallen und Parkplätzen (Betriebsfläche ca. 4 ha). Das betriebliche Abwasser wird zur Kläranlage Feldkirchen geleitet, die Oberflächenwässer gelangen in die Gurk.



Abbildung 5: Gurk – Maitratten (© Amt der Kärntner Landesregierung)

2.3.2.2 Gurk – Mölbling

Die Gurk weist in diesem Bereich eine Mittelwasserführung von $12,6 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Der Niederwasserabfluss liegt bei $2,52 \text{ m}^3/\text{s}$. Zum Zeitpunkt der Probenahme betrug die Wasserführung $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Gewässerbreite liegt bei 20 m, die Tiefe bei rd. 0,8 m. Das Substrat setzt sich hauptsächlich aus Schotter und Kies zusammen.

Die Probenahmestellen in Ufernähe sind in ihrer Charakteristik an beiden Ufern gleich, in der Mitte liegt der Hauptstromstrich.

Unmittelbar flussauf befindet sich eine Wasserkraftanlage mit kleiner Stauhaltung. Weiter flussauf befinden sich einige Ortschaften und Siedlungen. Das Einzugsgebiet ist von Viehweiden, Forstwirtschaft und Ackerbauflächen geprägt.



Abbildung 6: Gurk – Möbling (© Amt der Kärntner Landesregierung)

Die Messstelle liegt unmittelbar flussab der Einleitungen der Oberflächenwässer der Fa. Treibacher Industrie-AG, einem chemisch-metallurgischen und abfallbehandelnden Betrieb (Betriebsfläche ca. 36 ha). Weiters gelangen unmittelbar flussauf die Oberflächenwässer der Stadt Treibach-Althofen und die gereinigten Abwässer des Abwasserverbandes Friesach-Althofen mit 32.000 EW in die Gurk.

2.3.2.3 Gurk – Gumisch

Die Gurk weist in diesem Bereich eine Mittelwasserführung von 29,14 m³/s auf. Der Niederwasserabfluss liegt bei 8,85 m³/s. Zum Zeitpunkt der Probenahme betrug die Wasserführung 17 m³/s. Die Gewässerbreite liegt bei 25 m, die Tiefe bei rd. 0,8 m. Das Substrat setzt sich hauptsächlich aus Schotter und Kies zusammen.

An der Probenahmestelle des rechten Ufers liegt der Hauptstromstrich, linksufrig liegt eine geringere Fließgeschwindigkeit vor.



Abbildung 7: Gurk – Gumisch (© Amt der Kärntner Landesregierung)

Über die Glan münden in diesem Bereich die Oberflächenwässer und Abwässer der 100.000 Einwohner:innen zählenden Landeshauptstadt Klagenfurt ein.

Die Kläranlage der Landeshauptstadt ist auf 300.000 EW ausgelegt, da auch mehrere andere Siedlungsgebiete angeschlossen sind.

Ca. 32 km flussauf befindet sich der chemische Industriebetrieb der Fa. Donauchemie mit Betriebshallen und Manipulationsflächen im Ausmaß von ca. 5 ha. In diesem Bereich befindet sich auch die Kläranlage des Abwasserverbandes Görtschitztal mit rd. 10.000 EW.

Größere Städte unmittelbar an der Gurk sind keine vorhanden. Das Einzugsgebiet unterliegt einer stärkeren landwirtschaftlichen Nutzung durch den Anbau diverser Feldfrüchte (Getreide, Mais).

2.3.3 Malta – Gmünd

Die Malta liegt in Oberkärnten im Bezirk Spittal und ist der Abfluss der Kölnbreinsperre. Sie mündet bei Gmünd in die Lieser. Es wurde eine Stelle flussauf des Ortskerns von Gmünd beprobt.

Der Fluss weist in diesem Bereich eine Mittelwasserführung von 3,52 m³/s auf. Der Niederwasserabfluss liegt bei 0,52 m³/s. Zum Zeitpunkt der Probenahme betrug die Wasserführung 2,9 m³/s. Die Gewässerbreite liegt bei 20 m, die Tiefe bei rd. 0,8 m.

Das Substrat setzt sich hauptsächlich aus Steinen und Schotter zusammen. Die Probenahme erfolgte im linksufrigen Stromstrich.



Abbildung 8: Malta – Gmünd (© Amt der Kärntner Landesregierung)

Im landwirtschaftlich, v. a. als Viehweide, und forstwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet liegen einige Ortschaften und Siedlungen. Unmittelbar flussauf der Probenahmestelle befindet sich das Gelände einer größeren Erdbau- und Steinbruchfirma mit Baurestmassenaufbereitung, Verarbeitungshallen, Manipulationsflächen und Parkplätzen (Betriebsfläche ca. 4 ha). Für diesen Betrieb wurde eine Autowaschanlage mit einer Einleitungsmenge von maximal 7 l/s über eine Mineralölabscheideranlage in die Malta genehmigt. Es liegt somit eine Einleitung auch außerhalb von Regenereignissen in die Malta vor.



Abbildung 9: Einleitung Wasch-/Oberflächenwässer in die Malta (© Amt der Kärntner Landesregierung)

2.3.4 Glanfurt

Die Glanfurt ist der Abfluss des Wörthersees in Klagenfurt. Der Fluss weist eine Mittelwasserführung von $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Der Niederwasserabfluss liegt bei $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Zum Zeitpunkt der Probenahme betrug die Wasserführung $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Gewässerbreite liegt bei 8 m, die Tiefe bei rd. 0,8 m. Das Substrat setzt sich hauptsächlich aus Steinen und Kies zusammen.

Die Probenahmestelle liegt ca. 5 km flussab des Wörthersees. Unmittelbar flussauf befindet sich eine Wasserkraftanlage mit einem kleinen Rückstau.



Abbildung 10: Glanfurt – St. Ruprecht (© Amt der Kärntner Landesregierung)

Entlang der Glanfurt verläuft ein Radweg und es gibt Einfamilien- bzw. Gartenhäuser. Das unmittelbare Einzugsgebiet unterliegt einer stärkeren landwirtschaftlichen Nutzung durch den Anbau diverser Feldfrüchte (Getreide, Mais). Auf die Flächen wird Klärschlammkompost aufgebracht.

2.3.5 Rababach

Der Rababach entspringt nördlich von Klagenfurt als Drainagegraben und mündet nach 9 km Fließstrecke bei Niederdorf in die Gurk.

2.3.5.1 Rababach – Gottesbichl

Der Bereich liegt am Ende einer kleinen Siedlung und ist im Einzugsgebiet durch eine landwirtschaftliche Nutzung in Form von (gedüngten) Wiesen geprägt. Die landwirtschaftlichen Flächen reichen direkt bis zum Bach. Auf die Flächen wird Klärschlammkompost aufgebracht.

Die Mittelwasserführung beträgt $0,05 \text{ m}^3/\text{sec}$, die Niederwasserführung $0,010 \text{ m}^3/\text{s}$.

Der Bach ist rund 1 m breit und 0,2 m tief, das Sediment besteht aus Kies und Sand. Die Wasserführung zum Zeitpunkt der Probenahme betrug 0,02 m³/s.



Landwirtschaftliche Nutzung beim Ursprung



Messstelle Gottesbichl

Abbildung 11: Rababach – Gottesbichl (© Amt der Kärntner Landesregierung)

2.3.5.2 Rababach – Niederdorf

Im Mittellauf gelangen die Fahrbahnwässer des Autobahnknotens Klagenfurt Ost der A2 und die Oberflächenwässer eines Möbelhauses und von zwei Großhandelsketten mit einer Gesamtfläche von rd. 15 ha über großzügig angelegte Reinigungsteiche bzw. Reinigungsanlagen in den Bach. Weiters liegt die Abfallentsorgungsanlage der Stadt Klagenfurt mit einer Fläche von rd. 10 ha direkt neben dem Bach. Die Oberflächenwässer gelangen in eine Bodenfilteranlage. Eine direkte Einleitung der Wässer der Manipulationsflächen findet nicht statt. In einiger Entfernung befindet sich ein Betrieb zur Verwertung von Baurestmassen.

Die Mittelwasserführung beträgt 0,216 m³/s, die Niederwasserführung 0,030 m³/s.

Der Bach ist rund 2 m breit und 0,3 m tief. das Sediment besteht aus Kies und Sand. Die Wasserführung zum Zeitpunkt der Probenahme betrug 0,037 m³/s.



Abfallbeseitigungsanlage Klagenfurt



Messstelle Niederdorf

Abbildung 12: Rababach – Niederdorf (© Amt der Kärntner Landesregierung)

2.3.6 Peratschitzenbachzubringer

Der Peratschitzenbach entspringt als stark schüttende Quelle an einer Abbruchkante des Jauntaler Feldes.

Es wurde nicht der Bach selbst, sondern ein rechtsufriger, dort entspringender Zubringer beprobt. Der Zubringer (Quelle) weist eine relativ konstante Schüttung von 0,012 m³/s auf.

Die Gewässerbreite liegt bei 1 m, die Tiefe bei 0,2 m. Das Substrat setzt sich hauptsächlich aus Kies und Sand zusammen.

Unmittelbar bei der Probenahmestelle befindet sich die Einleitungsstelle einer Oberflächenentwässerung eines Kunststoffrecyclingbetriebes. Der Betrieb hat eine Gesamtfläche von rd. 12 ha, wobei 3 ha Betriebsgebäude und 9 ha nicht überdachte Manipulationsflächen und Lagerflächen sind. In der Vergangenheit traten in diesem Bereich bei Regenereignissen vermehrte Einträge von Plastikpartikeln aus der Manipulationsfläche des Betriebes auf. Aus diesem Grund wurde 2012 eine Filteranlage in Form eines Kastens aus Lochblechen mit einem Lochdurchmesser von 2 mm errichtet, die der Reinigung der Oberflächenwässer von Plastikpartikeln dienen sollte.



Abbildung 13: Peratschitzenbachzubringer mit Kasten aus Lochblechen (© Amt der Kärntner Landesregierung)

3. PROBENAHME

3.1 Wasserproben

3.1.1 Entwicklung der Probenahmeapparatur

Bereits im März 2019 wurde mit dem Umweltbundesamt in Wien über die anzuwendende Probenahmemethode intensiv diskutiert. Es gibt derzeit noch kein genormtes Probenahmeverfahren. Bisher wurde bei den meisten Studien in Fließgewässern mit Treibnetzen gearbeitet, so z. B. auch in der Donau, wo diese mittels LKW-Kran eingebracht wurden (Hohenblum et al. 2015). Diese Methodik war aber in Kärnten aufgrund des zu geringen Durchflusses und der zu geringen Wassertiefe vieler Fließgewässer nicht geeignet.

Das vorrangige Ziel bei der Entwicklung der Probenahmeapparatur war die größtmögliche Mobilität beim Transport sowie bei der Probenahme vor Ort. Es sollte die Möglichkeit bestehen, die Apparatur mit den bestehenden Ressourcen der Ökologischen Gewässeraufsicht des Landes Kärnten (Dienstkraftwagen mit Anhänger), ohne großen Aufwand zu transportieren und möglichst überall aufstellen zu können.

Daher erfolgte die Probenahme mittels einer Schmutzwasserpumpe Flygt 2610 mit einer Leistung von 1,2 kW, einer maximalen Förderhöhe von 17 m und einer maximalen Fördermenge von 35,28 m³/h bzw. 9,8 l/sec (Abbildung 14). Die Pumpe wurde an einem Dreibein befestigt. Die tatsächliche Pumpleistung lag bei 0,5 bis 1 l/s.

Die Filtration erfolgte über ein eigens dafür angefertigtes Gerät. Die größten Probleme bei der Herstellung bereiteten die Filtrationsapparatur sowie die Schläuche, mit welchen das Wasser transportiert wird, da die verwendeten Materialien die Probe nicht kontaminieren durften. Schlussendlich wurde Edelstahl verwendet, der kostengünstig (im Gegensatz zu Teflon), relativ leicht verfügbar und sehr gut zu bearbeiten ist.

Edelstahlsiebe wurden aufgrund der immensen Kosten und der technischen Probleme bei der Herstellung runder Siebe nicht verwendet, sondern Meterware von Edelstahlnetzen mit den Porengrößen von 500 µm und 50 µm. Die Apparatur wurde daraufhin von einem kreisrunden Entwurf zur einem quadratischen umgestaltet (Abbildung 15).

Die eigentliche Filtration fand in einem abgeschlossenen, transportierbaren Edelstahlkasten statt. Um die Filtration, welche sich über mehrere Stunden erstreckt, zu überwachen, wurde an der Front ein Sichtfenster eingebaut (Abbildung 15).



Abbildung 14: Schmutzwasserpumpe (© Amt der Kärntner Landesregierung)



Abbildung 15: Filtrationsapparatur mit Zulaufschlauch und Pumpe (Hintergrund) (© Amt der Kärntner Landesregierung)



Abbildung 16: Filter nach Beprobung Gurk – Gumisch (© Amt der Kärntner Landesregierung)

Arbeitsanweisung

Es wurde die folgende Arbeitsanweisung zur Probenahmemethode erstellt:

Die Probenahme erfolgt mittels Pumpe. Das Wasser wird je nach Flussbreite in der Flussmitte oder an den Flussrändern im Teil mit der höchsten Fließgeschwindigkeit entnommen und über Edelstahlschläuche in eine Filtrationsapparatur gepumpt. In dieser Apparatur wird zuerst die Fraktion $>500\ \mu\text{m}$ abgetrennt. Das Filtrat wird dann über ein $50\ \mu\text{m}$ Sieb geschickt. Dieser Filterkuchen wird nach Abschluss der Probenahme mitsamt dem Sieb in ein Gebinde verpackt und an das analysierende Labor geschickt.

Vor der Probenahme muss das gesamte System etwa 10 bis 15 min mit dem zu beprobenden Wasser gespült werden. Danach werden die Filter eingesetzt und die Probenahme kann beginnen. Für eine Probe sollten 10 bis $15\ \text{m}^3$ Wasser filtriert werden.

Dabei muss man auf die jeweilige Flussbreite und Tiefe eingehen. In größeren Flüssen sollten drei Proben gezogen werden: linksufrig, rechtsufrig und in der Flussmitte. Dabei sollte die Pumpe in verschiedenen Tiefenstufen positioniert werden. Wenn ein Fluss z. B. eine Tiefe von 1,5 m aufweist, dann sollte eine Mischprobe aus den Stufen knapp unter der Oberfläche, in ca. 1 m Tiefe und knapp über der Sohle gezogen werden. Dabei ist auf die Gesamtwassermenge zu achten.

Nach der Probenahme bzw. am Ende eines Probenahmetages sollte das gesamte System mit Leitungswasser gespült werden.

Vor der ersten Probenahme und nach der letzten Probenahme sollten Blindwertproben mit Leitungswasser (ca. 200 l) unter möglichst gleichen Bedingungen wie bei der Realprobenahme genommen werden.

Mögliche Störungen:

- *Zu starke Trübungen oder eine zu hohe Wasserführung können zu Problemen bei der Filtration führen. Die Filtration muss ständig über das Sichtfenster überwacht werden.*
- *Die Kleidung der Probenehmer könnte ein Grund für Kontaminationen sein und sollte deshalb aus Naturfaser sein.*

Blindwertermittlung

Anfänglich wurde eine im Labortrakt des Landes Kärnten befindliche, große, sorgfältig gereinigte und mit Leitungswasser gespülte und aufgefüllte Edelstahlwanne verwendet. Das Wasser wurde über die Apparatur gepumpt und gefiltert. Es war zu erwarten, dass keine Mikroplastikteile nachzuweisen sind.

Bei der Auswertung der Blindwertprobe wurden jedoch verschiedenste Kunstfasern und Kunststoffteile gefunden. Vermutlich stammten diese aus der allgegenwärtigen Kontamination in den Räumlichkeiten (z. B. Kleidungsfasern) und gelangten durch Luftzug bzw. Bewegung der Mitarbeiter:innen in die Wanne, was zur Kontamination der „Blindprobe“ führte.

Aus diesem Grund wurde der zweite Versuch einer „sauberen“ Blindwertprobe beim Quellüberlauf der Peratschitzenquelle in Wasserhofen durchgeführt. Bei der erneuten Auswertung wurden zwar wieder Plastikteile im Filterkuchen gefunden, allerdings in einem so geringen Ausmaß, dass die Probe als Referenz verwendet werden konnte.



Abbildung 17: Blindwert-Probenahme beim Quellüberlauf der Peratschitzenquelle (© Amt der Kärntner Landesregierung)

Probenahme

Je Probe wurden zwischen 11 und 17 m³ (im Schnitt 15 m³) Wasser über die Filter gepumpt.

Der Zeitaufwand pro Probe betrug dabei zwischen fünf und acht Stunden, je nachdem, welche Trübung das Gewässer hatte. Je trüber das Gewässer, desto geringer war die Pumpleistung. Im besten Fall wurde mit einer Pumpleistung von 1 l/sec gearbeitet im schlechtesten Fall mit 0,5 l/s.

Bei der Probenahme wurde der momentane Abfluss des Gewässers ermittelt. Bei größeren Flüssen wie der Drau oder der Gurk erfolgte dies mittels kontinuierlicher Abflussmessung durch den Hydrographischen Dienst Kärnten. Dazu erfolgte die Probenahme im Bereich bestehender Abflussmesspegel. Bei kleineren Gewässern wurde die Abflussmenge mittels Salzverdünnungsmethode oder Ultraschallmessung nach dem Dopplerprinzip (ÖNORM B2401) ermittelt.

Schlussfolgerung

Der große Vorteil der Methode besteht darin, dass sie an Gewässern jeder Größenordnung einsetzbar ist. Bei größeren Gewässern kann die Apparatur und das Dreibein für die Pumpe auf einer Brücke aufgestellt werden. Bei der Beprobung von Gewässern mit geringer Breite und Abfluss kann das Dreibein und die Pumpe direkt im

Gewässer aufgestellt werden. Mit dem Dreibein kann die Pumpe in verschiedene Wassertiefen eingebracht werden.



Abbildung 18: Pumpe direkt im Rababach – Gottesbichl (© Amt der Kärntner Landesregierung)



Abbildung 19: Probenahme Gurk – Mairatten von der Brücke aus (© Amt der Kärntner Landesregierung)

Die von der Ökologischen Gewässeraufsicht des Landes Kärnten entwickelte Methode eignet sich hervorragend für ein zukünftiges Monitoring von Mikroplastik in Fließgewässern. Auch kann die Maschenweite der Filter variabel gestaltet werden, um bei Bedarf verschiedene Fraktionen von Mikroplastik zu untersuchen. Es besteht auch

die Möglichkeit einer Erweiterung der Filteranzahl, sodass verschiedenste Partikelgrößen schon bei der Probenahme aufgetrennt werden können.

Ein großes Problem besteht jedoch derzeit in der Vergleichbarkeit mit anderen Methoden. Deshalb wäre es von höchster Priorität, ein genormtes Verfahren für die Probenahme zu entwickeln, um eine Vergleichbarkeit von verschiedensten internationalen Studien zu ermöglichen. Eine derartige ISO-Norm befindet sich derzeit im Entwurfsstadium.

3.2 Sedimentproben

Zusätzlich zur Bestimmung von Mikroplastik in der fließenden Welle wurden auch Sedimentproben im Nahbereich der Messstellen genommen, um den abgesetzten Teil des Mikroplastiks zu erfassen.

Die Probenahme wurde nach der DIN 38414 Teil 11 Schlamm und Sedimente – Probenahme von Sedimenten durchgeführt. Da sich das Messprogramm bei Sedimenten normalerweise auf die Analyse von Metallen konzentriert, musste für diese Beprobung neues Equipment angekauft werden.

Die Probenahme erfolgte an Stellen, an welchen sich Feinsedimente (< 500 µm) abgesetzt hatten.

Das Sediment wurde an verschiedenen Stellen im Uferbereich mit einer Edelstahlschaufel entnommen und mit Hilfe eines Metallsiebes mit der Maschenweite 500 µm aufgeschlämmt und aufgetrennt. Die Partikel < 500 µm wurden in einem Edelstahlkübel aufgefangen und gesammelt.

Nachdem genug Sediment für die erforderliche Probenmenge durchgeschlämmt wurde, wurde das Material < 500 µm solange im Kübel belassen, bis es sich vom Wasser absetzen konnte. Danach wurde das überstehende Wasser dekantiert. Dieser Vorgang musste bei Bedarf mehrmals wiederholt werden. Das Sediment wurde danach für den Versand in ein Glasgebinde gefüllt.

4. ANALYTIK

Die Analytik der untersuchten Kunststoffarten erfolgte in der Prüfstelle des Umweltbundesamtes.

4.1 Probenvorbereitung von Wasserproben

Die Proben gelangten auf 50 μm (0,05 mm) Edelstahlnetzen in das Labor. Je nach Beladung der Netze wurde die gesamte Probenmenge bzw. ein Probenaliquot für die weitere Probenvorbereitung eingesetzt. Hierzu wurde zuerst das Probenmaterial mittels Metallspatel bzw. Löffel vom Probenahmesieb abgenommen und im Anschluss das Probenahmesieb mit Reinstwasser rückgespült. Die Spülfraction wurde nach nochmaliger Absiebung bei 50 μm mit dem Rest der Probe vereinigt. Etwaige Aliquotierungen wurden nach manueller Durchmischung der Proben durch Entnahme und Vereinigung mehrerer kleinerer Aliquote, entnommen an verschiedenen Stellen der Probe, durchgeführt.



Abbildung 20: Wasserprobe vor der Probenvorbereitung (© Umweltbundesamt)

Zum Entfernen der Probenmatrix wurden mehrere chemisch-selektive sowie physikalische Behandlungsschritte durchgeführt. Diese umfassten die Behandlung mit Wasserstoffperoxid (Entfernung leicht oxidierbarer Organik), Imidazol-basierter ionischer Flüssigkeit (Lösen von Zellulose), Natronlauge bzw. Lipase (Entfettung), Salzsäure (Entfernung von Karbonaten) sowie mehrere Siebschritte und einen Schritt zur Dichtentrennung.

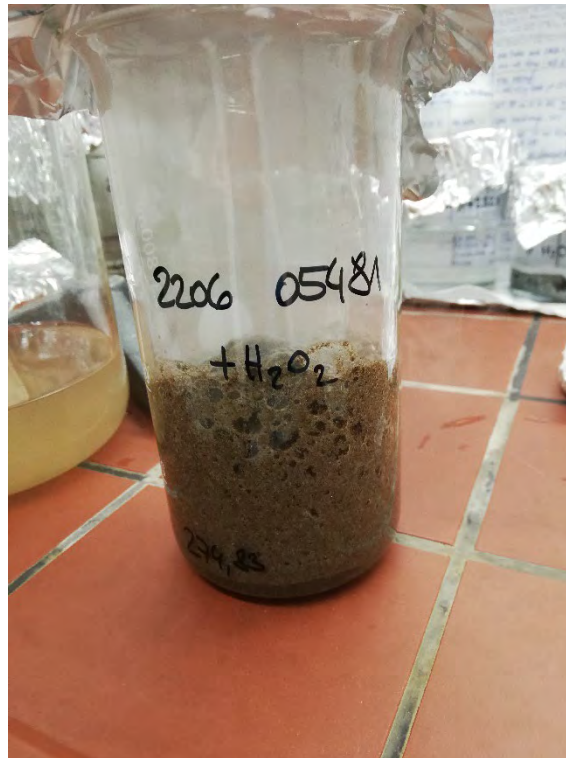


Abbildung 21: Oxidation organischer Matrixbestandteile (© Umweltbundesamt)

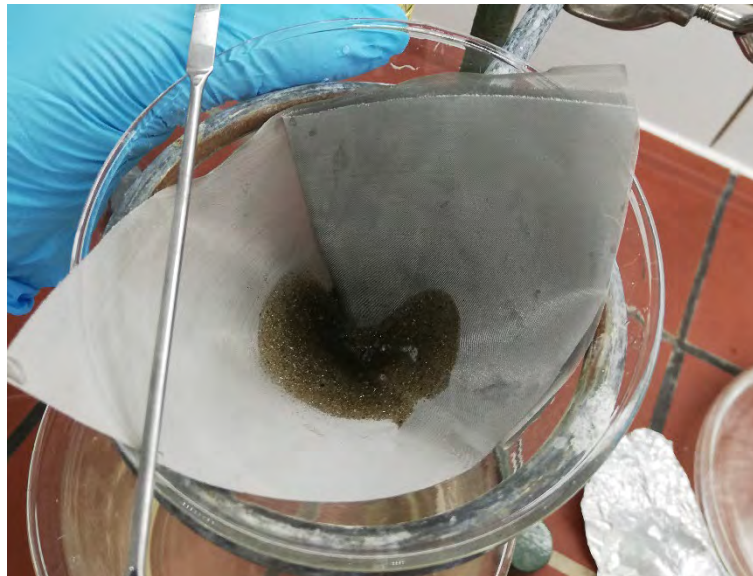


Abbildung 22: Zwischenfraktion nach der Oxidation (© Umweltbundesamt)

Letztlich wurde das aufgereinigte Probenmaterial der Größenfraktion 0,05-0,5 mm für die Analytik auf einen Aluminiumoxid-Membranfilter aufgebracht und getrocknet.

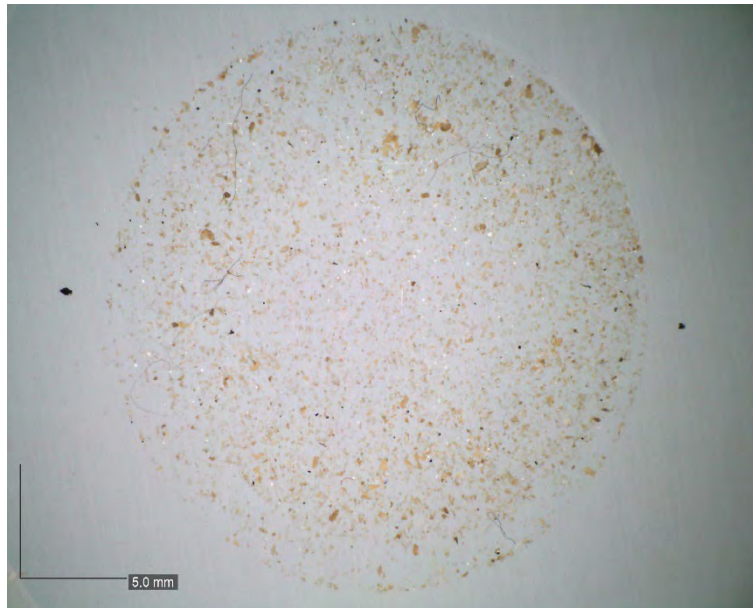


Abbildung 23: Messfertige Probe auf Filter, Wasserprobe Rababach – Niederdorf (© Umweltbundesamt)

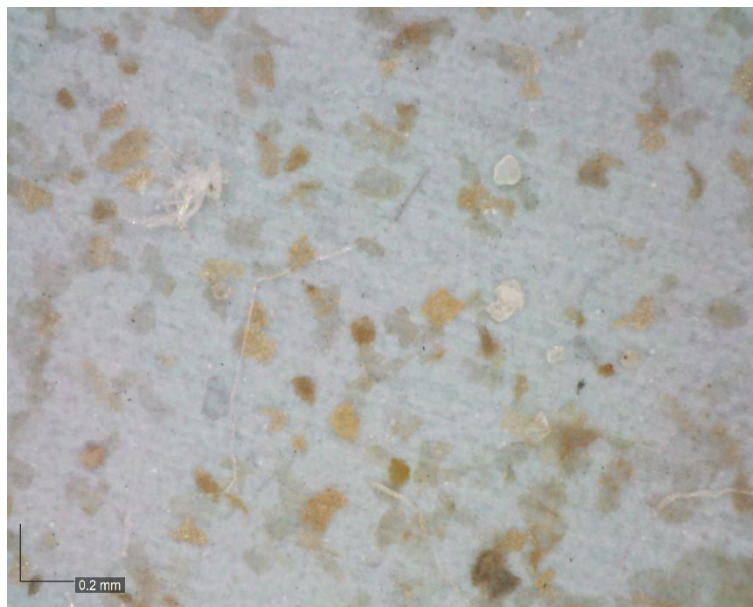


Abbildung 24: Detailaufnahme messfertige Probe auf Filter, Wasserprobe Rababach – Niederdorf (© Umweltbundesamt)

4.2 Probenvorbereitung von Sedimentproben

Die Proben gelangten in 1 Liter Glasgebinden (Weckgläser, aluminiumkaschiert) in das Labor. Überstehendes Wasser wurde dekantiert und aus dem zurückgebliebenen Sediment ein Probenaliquot von ca. 150 g entnommen (an verschiedenen Stellen über das gesamte Gebindevolumen). Dieses wurde manuell durchmischt und im Anschluss drei Aliquote entnommen, von denen zwei separate Aliquote zu je rd. 20 g der weiteren Probenvorbereitung zugeführt und das dritte Aliquot zur Bestimmung der Trockenmasse herangezogen wurde.



Abbildung 25: Sedimentprobe (© Umweltbundesamt)

Die weitere Probenvorbereitung erfolgte bei den Sedimentproben analog zu den Wasserproben wie oben beschrieben.

Letztlich wurde das aufbereitete Probenmaterial der Größenfraktion 0,05-0,5 mm für die Analytik auf einen Aluminiumoxid-Membranfilter aufgebracht und getrocknet.

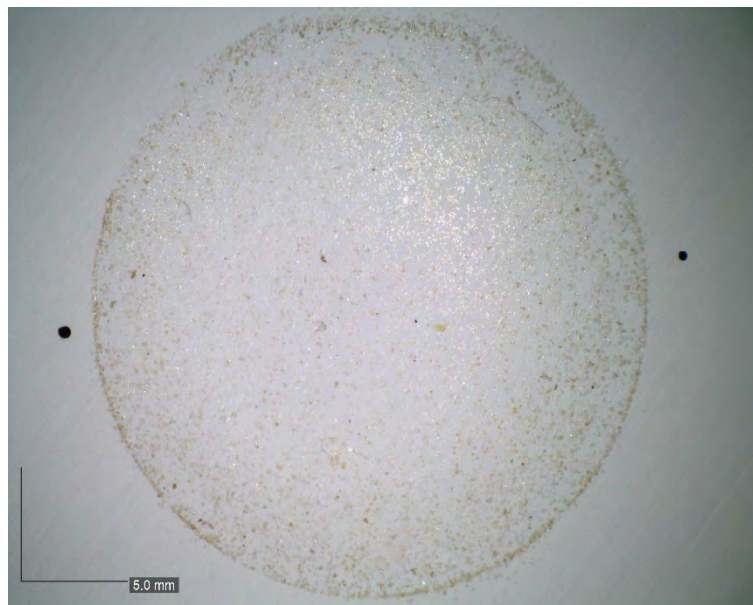


Abbildung 26: Messfertige Probe auf Filter, Sediment Malta – Gmünd (© Umweltbundesamt)

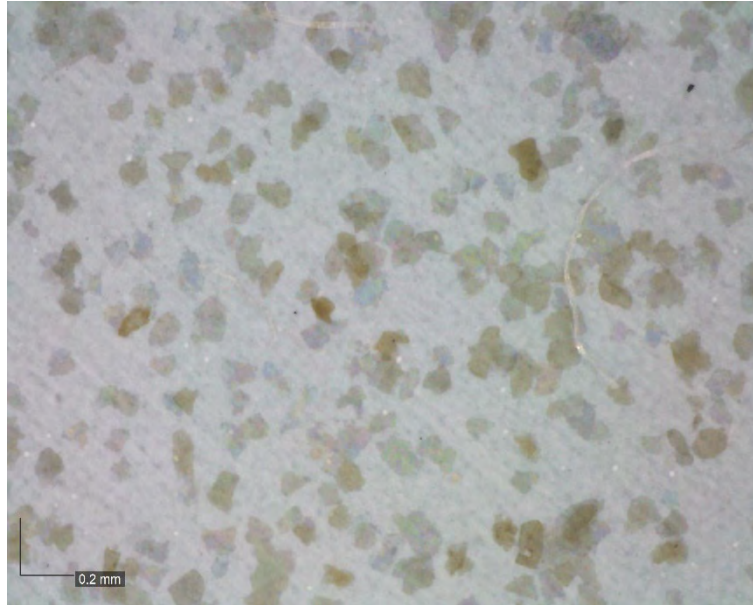


Abbildung 27: Detailaufnahme der messfertigen Probe auf Filter, Sediment Malta – Gmünd (© Umweltbundesamt)

4.3 Quantifizierung von Mikroplastik

Die Analytik erfolgte mittels FTIR-Mikroskopie auf den Aluminiumoxidfiltern im Transmissions-Imaging Modus. Es wurde auf 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 Auswertung erfolgte durch softwareunterstützten Korrelationsvergleich mit entsprechenden Referenzspektren der jeweiligen Polymertypen. Die Ergebnisse des Korrelationsvergleichs wurden durch erfahrenes Laborpersonal überprüft und verifiziert.

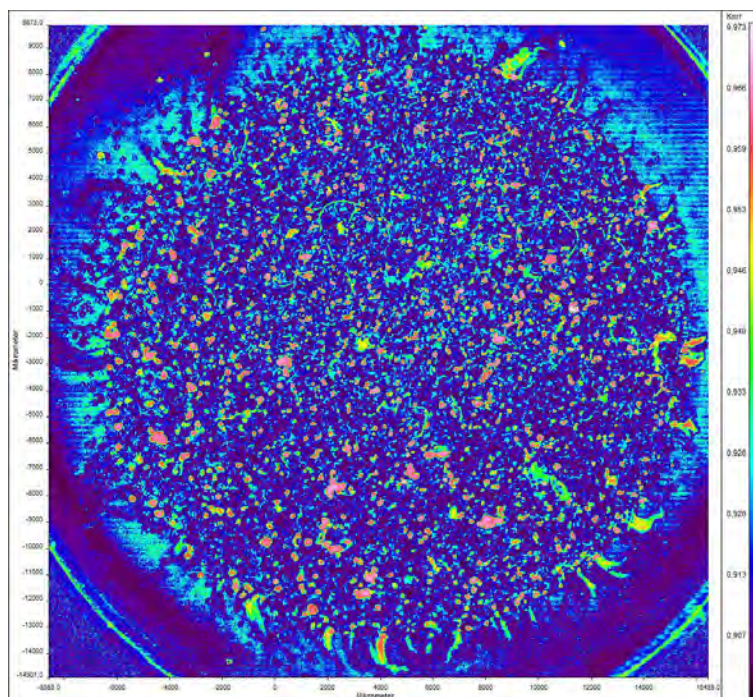


Abbildung 28: FTIR-Image – Falschfarbendarstellung, Korrelation PS (Beispielfoto) (© Umweltbundesamt)

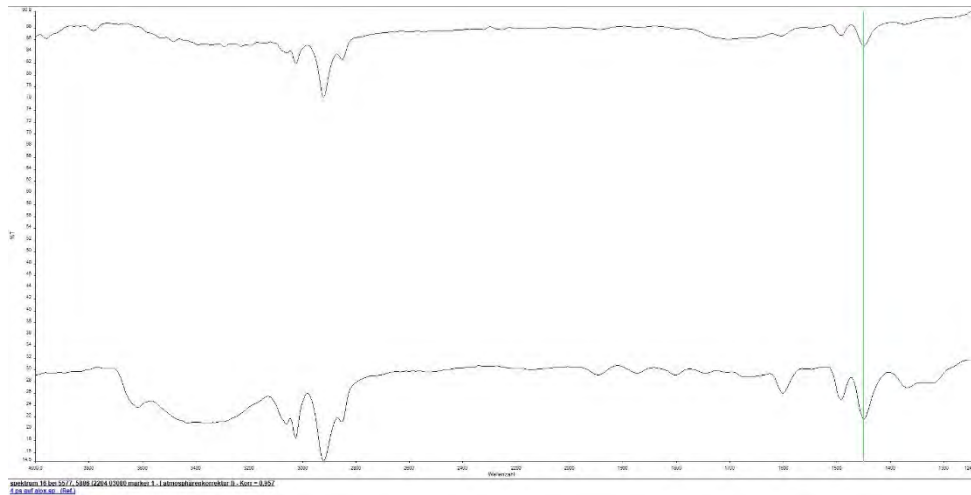


Abbildung 29: Spektrenvergleich PS (Beispielfoto) (© Umweltbundesamt)

Die Bestimmung der Partikelanzahl erfolgte bevorzugt manuell. Bei Proben mit hohen Partikelkonzentrationen auf dem Analysenfilter wurde die Zählung der Partikel softwareunterstützt mit Bildanalysesoftware durchgeführt.

Die Bestimmungsgrenze der Quantifizierung ergab sich aus der kleinsten bestimmbaren Anzahl (d. h. ein Stück) von Mikroplastikteilchen im mittels FTIR analysierten Aliquot.

4.4 Qualitätssichernde Maßnahmen

Alle Arbeiten zur Probenvorbereitung erfolgten innerhalb eines ausschließlich für die Probenvorbereitung von Mikroplastikanalysen eingerichteten Raums mit eigener, gefilterter Luftzufuhr. Zusätzlich wurden die Proben innerhalb dieses Raums in einer Reinraumwerkbank bearbeitet.

Sämtliche verwendete Chemikalien wurden vor der Verwendung über ein 34 µm Edelstahlsieb filtriert. Gemeinsam mit den Proben wurden zwei Verfahrensblindwerte analysiert. Etwaig aufgetretene Blindwerte wurden von den Probenergebnissen in Abzug gebracht.

5. ANALYSENERGEBNISSE

Die Ergebnisse wurden bei den Wasserproben in Stück pro m³ (Stk/m³) angegeben. Für die Sedimente wurde die Angabe in Stück pro kg Trockenmasse (Stk/kg TM) gewählt. Dies berücksichtigt nicht die Größe der Partikel, so dass die Ergebnisse eine zu Massenkonzentrationen unterschiedliche Information liefern. In den beiden nachfolgenden Abbildungen sind die gemessenen Konzentrationen im Wasser jenen im Sediment gegenübergestellt. Die genauen Messwerte (Größe 0,05-0,5 mm) sind Tabelle 3 und Tabelle 4 zu entnehmen.

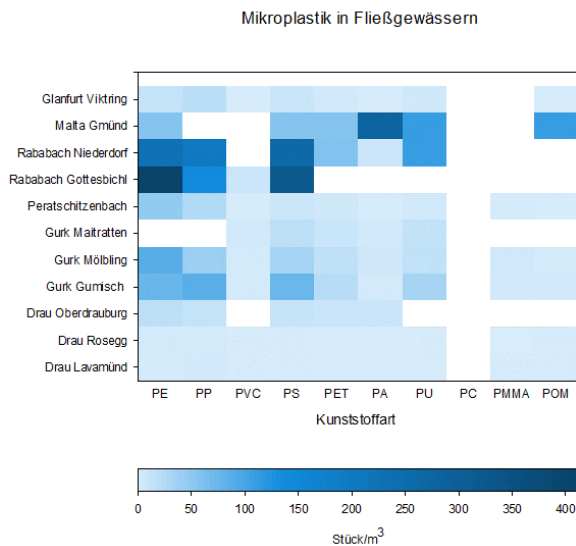


Abbildung 30: Farbliche Darstellung der gemessenen Konzentrationen von Mikroplastik in Fließgewässern bei allen Messstellen.

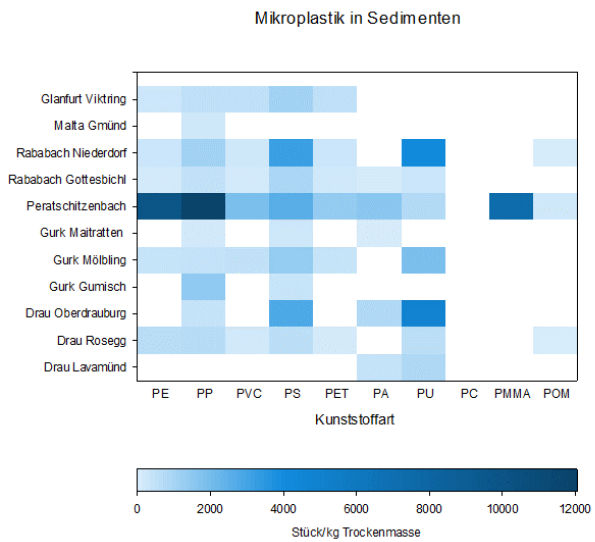


Abbildung 31: Farbliche Darstellung der gemessenen Konzentrationen von Mikroplastik in Sedimenten bei allen Messstellen.

5.1 Drau

5.1.1 Drau – Oberdrauburg

Die Probenahme fand bei einer Wasserführung etwas über dem Mittelwasser statt. Im Schnitt wurden 30 Mikroplastikteile pro m³ Wasser festgestellt. Dominierend war Polyethylen (PE), der in Europa meistproduzierte Kunststoff, der in der Verpackungs- und Textilindustrie Anwendung findet. An beiden Ufern wurde ein gleicher Gehalt an Mikroplastik festgestellt, obwohl der Stromstrich linksufrig lag. In der Flussmitte waren die Konzentrationen geringer.

Die Sedimentproben wurden linksufrig direkt bei der Messstelle entnommen und ergaben einen Gehalt von 8.920 Stk/kg TM. In der fließenden Welle wurden dagegen nur 30 Stk/m³ gemessen. Auffallend waren die hohen Anteile an Polyurethan (PU), welches v. a. in der Baubranche verwendet wird (Lacke, Dämmmaterial), und an Polystyrol (PS) (Verpackungen, Dämmstoff). Daneben kamen noch Polypropylen (PP) und Polyamid (PA) vor.

Es dürfte ein Einfluss der an der Drau liegenden Bezirksstadt Lienz vorliegen.

5.1.2 Drau – Rosegg

Die Probenahme fand bei einer Wasserführung unter dem Mittelwasser statt.

Im Schnitt wurden 6 Mikroplastikteile pro m³ Wasser festgestellt. Dominierend war, wie in Oberdrauburg, Polyethylen (PE). Die Gehalte aller Kunststoffe insgesamt waren jedoch gering. An beiden Ufern und auch in der Mitte wurde ein geringer Gehalt von jeweils unter 10 Stk/m³ vorgefunden.

Die Sedimentproben wurden 250 m flussauf der Messstelle rechtsufrig entnommen und ergaben einen Gehalt von 2.833 Stk/kg TM. In der fließenden Welle wurden 6 Stk/m³ bestimmt. Es wurden verschiedenste Kunststoffarten festgestellt. Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polystyrol (PS), Polyethylenterephthalat (PET), und Polyurethan (PU). Der Einfluss der Stadt Villach, weiterer Städte im Oberlauf und des Autobahnknotenpunktes macht sich an dieser Probestelle bemerkbar.

Die Konzentration im Sediment war jedoch geringer als an der Messstelle Oberdrauburg, wobei Sedimente kein statisches Archiv für Mikroplastik darstellen und Schwankungen der (vorhergehenden) Abflussmengen und eine damit verbundene Remobilisierung der Sedimente die gemessenen Konzentrationen beeinflussen.

5.1.3 Drau – Lavamünd

Die Probenahme fand bei einer Wasserführung unter dem Mittelwasser statt.

Im Schnitt wurden so wie in Rosegg 6 Mikroplastikteile pro m³ Wasser festgestellt. Dominierend war, wie in Oberdrauburg und Rosegg, Polyethylen (PE). Die Gehalte aller Kunststoffe insgesamt sind jedoch gering. An beiden Ufern und auch in der Mitte wurde ein geringer Gehalt von jeweils unter 10 Stk/m³ vorgefunden, wobei rechtsufrig doppelt so viele Teilchen enthalten waren, als linksufrig oder in der Mitte.

Die Sedimentproben wurden 100 m flussab der Messstelle rechtsufrig entnommen und ergaben einen Gehalt von 1.260 Stk/kg TM. Es wurden jedoch nur 2 Kunststoffarten festgestellt. Polyamid (PA) (Anwendung im Fahrzeug-, Maschinen- und Gerätebau) und Polyurethan (PU).

Nachdem die Drau an dieser Messstelle das Einzugsgebiet von fast ganz Kärnten aufgenommen hat, waren weit aus höhere Werte und sämtliche Kunststoffarten sowohl in der fließenden Welle als auch v. a. im Sediment zu erwarten. Die Konzentration im Sediment war jedoch geringer als an der Messstelle Drau – Oberdrauburg. Dies könnte auf die Probenahmestelle im Unterwasserbereich des Kraftwerkes Lavamünd, an welchem geringere Sedimentationen stattfinden, zurückzuführen sein.

5.1.4 Drau zusammenfassende Beurteilung

In der Drau zeigt sich mit zunehmendem Einzugsgebiet eine Abnahme von Mikroplastik im Wasser und im Sediment. Dies dürfte daran liegen, dass sich trotz erheblicher Zunahme von Emissionsquellen ein Großteil des Mikroplastiks im Sediment der großflächigen Stauräume der Drau absetzt. Ein Absetzen und Herausfiltern maßgeblicher Mikroplastikteile wurde z. B. bereits im Klärschlamm der Kläranlagen festgestellt.

Die Probenahmestellen selbst lagen nicht in den Stauräumen. Eine Mobilisierung dürfte erst wieder bei Hochwässern stattfinden. Auch der potentielle Einfluss stärkerer Verdünnung im Flussverlauf sollte diesbezüglich nicht außer Acht gelassen werden.

Eine Bilanz, wie viel Mikroplastik im Draueinzugsgebiet in Kärnten in die Gewässer gelangt bzw. weitertransportiert wird, konnte daher nicht erstellt werden.

5.2 Gurk

5.2.1 Gurk – Mairatten

Die Probenahme fand bei einer Wasserführung über dem Mittelwasser statt.

Es wurden 48 Mikroplastikteile pro m³ Wasser festgestellt, vergleichbar mit der Drau in Oberdrauburg. Dominierend waren Polystyrol (PS), Polyurethan (PU) und Polyethylenterephthalat (PET). Weiters wurde Polyvinylchlorid (PVC) und Polyamid (PP) nachgewiesen.

Die Sedimentproben wurden 500 m flussauf rechtsufrig der Messstelle entnommen. Die Probenahmestelle lag noch flussab eines Betriebes. Die Sedimente ergaben einen Gehalt von 448 Stk/kg TM, in der fließenden Welle wurden 48 Stk/m³ gemessen. Auch in den Sedimenten war Polystyrol dominierend, weiters wurde Polypropylen (PP) und Polyamid (PA) nachgewiesen.

5.2.2 Gurk – Möbling

Die Probenahme fand bei einer Wasserführung unter dem Mittelwasser statt.

Im Schnitt wurden 208 Mikroplastikteile pro m³ Wasser festgestellt. Deutlich mehr als bei Mairatten. Zwischen linkem und rechtem Ufer gab es keinen Unterschied der Konzentration. So wie in Oberdrauburg an der Drau war in der Flussmitte der Gehalt deutlich geringer. Dominierend waren Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS).

Die Sedimentproben wurden bei der Messstelle rechtsufrig entnommen. Sie ergaben einen Gehalt von 4.970 Stk/kg TM. Somit waren die Konzentrationen 10-mal so hoch wie in Mairatten. In den Sedimenten dominierte erneut Polystyrol (PS), daneben Polyurethan (PU). Insgesamt zeigt sich der Einfluss diverser Einleitungen in die Gurk.

5.2.3 Gurk – Gumisch

Im Schnitt wurden 300 Mikroplastikteile pro m³ Wasser festgestellt, deutlich mehr als bei Mairatten und etwas mehr als bei Möbling. Das strömungsberuhigte linke Ufer und die Flussmitte wiesen gegenüber dem rechtsufrigen Hauptstromstrich die höchsten Gehalte auf. Dominierend waren so wie in Möbling Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS).

Die Probenahme fand bei einer Wasserführung deutlich unter dem Mittelwasser statt.

Die Sedimentproben wurden 250 m flussauf der Messstelle rechtsufrig entnommen. Sie ergaben einen Gehalt von 1.860 Stk/kg TM und die Konzentrationen waren 4-mal so hoch wie in Mairatten, betragen aber weniger als die Hälfte von Möbling. In den Sedimenten dominierte Polypropylen. Insgesamt zeigt sich auch hier der Einfluss diverser Einleitungen in die Gurk. Durch die Landeshauptstadt Klagenfurt im Einzugsgebiet wären jedoch durchaus höhere Werte zu erwarten gewesen.

5.2.4 Gurk zusammenfassende Beurteilung

In der Gurk zeigt sich mit der fließenden Welle eine zu erwartende Zunahme von Mikroplastik. Diese deutliche Zunahme dürfte durch die im Vergleich zur Drau fehlenden Staubereiche begründet sein, in welchen große Mengen an Mikroplastik sedimentieren. Im Sediment hebt sich ganz klar der weitgehend unbeeinflusste Bereich von Mairatten mit geringer Konzentration von den beeinflussten Bereichen Möbling und Gumisch ab.

5.3 Malta – Gmünd

Die Probenahme fand bei einer Wasserführung unter dem Mittelwasser statt.

In der Malta war aufgrund des inneralpinen, wenig beeinflussten Oberlaufs eine geringe Konzentration von Mikroplastik im Wasser und Sediment zu erwarten. Tatsächlich wurden im Wasser 668 Mikroplastikteile pro m³ festgestellt, also deutlich mehr als in der Drau und in der Gurk.

Dies dürfte auf eine Betriebsanlage mit Baurestmassenverwertung und KFZ-Waschanlage mit regelmäßiger (be- willigter) Einleitung der Waschwässer in die Malta zurückzuführen sein. Dominierend waren Polyamid (PA), Polyurethan (PU) und Polymethylmethacrylat (PMMA).

PU wird im Bauwesen und Fahrzeugbau verwendet, PA und PMMA im Fahrzeugbau, was für den gewerblichen Betrieb und dessen Einleitungen spricht.

Die Sedimentproben wurden 1.000 m flussauf rechtsufrig der Messstelle und damit oberhalb des Einflussbereiches des o. a. Betriebes entnommen. Sie ergaben einen Gehalt von 250 Stk/kg TM und lagen damit deutlich unter den Gehalten, die an Drau und Gurk nachgewiesen wurden. Es wurde lediglich Polypropylen (PP) nachgewiesen.

5.4 Glanfurt – Klagenfurt

Die Probenahme des Wörthersee-Abflusses fand bei einer Wasserführung unter dem Mittelwasser statt.

Im Wasser wurde ein relativ geringer Gehalt von 50 Stk/m³ – ähnlich wie im Oberlauf der Gurk – festgestellt. Dominierend waren Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP).

Die Sedimentproben wurden direkt bei der Messstelle entnommen. Sie ergaben im Vergleich zu den anderen Messstellen einen relativ hohen Gehalt von 2.960 Stk/kg TM und lagen damit in etwa im Bereich von Gewässern mit Beeinflussungsquellen.

Dies dürfte auf das landwirtschaftliche Einzugsgebiet flussab des Wörthersees zurückzuführen sein. Im Einzugsgebiet wird Klärschlammkompost wie im Rababach (vgl. nachfolgende Messstelle Rababach – Gottesbichl) auf die landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht.

Es kamen ähnlich wie im Oberlauf des Rababaches Polystyrol (PS), Polypropylen (PP), Polyethylenterephthalat (PET) und Polyethylen (PE) in der Probe vor.

5.5 Rababach – Gottesbichl

Die Probenahme fand bei einer Wasserführung unter dem Mittelwasser statt.

Diese Messstelle im Oberlauf sollte als Referenz zur Messstelle im Unterlauf dienen, da dazwischen verstärkte Einträge durch Autobahn, Abfallwirtschaftsbetriebe und große Handelsketten zu erwarten waren.

Tatsächlich wurde im Wasser ein ungewöhnlich hoher Gehalt von 879 Stk/m³ und damit der höchste Wert im Untersuchungsprogramm festgestellt. Als wahrscheinliche Ursache kann die großflächige Aufbringung von Klärschlammkompost auf den unmittelbar angrenzenden Äckern und Wiesen gesehen werden. Klärschlamm ist üblicherweise stark mit Mikroplastik angereichert. Das Mikroplastik wird ausgeschwemmt und gelangt über die Drainagen in das Gewässer.

Dominierend waren Polystyrol (PS), Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP).

Die Sedimentproben wurden 70 m bachab der Messstelle entnommen. Sie ergaben einen Gehalt von 2.259 Stk/kg TM und lagen damit in etwa im Bereich von Gewässern mit Beeinflussungsquellen. Es wurden verschiedenste Kunststoffarten festgestellt. Es dominierte wie im Wasser Polystyrol (PS), weiters kamen – in absteigender Reihenfolge – Polypropylen (PP), Polyurethan (PU), Polyethylenterephthalat (PET), Polyethylen (PE) bzw. Polyvinylchlorid (PVC) und Polyamid (PA) vor.

Diese vielfältige Mischung stützt die Annahme, dass die Belastung durch die Klärschlammkompostaufbringung verursacht wird.

5.6 Rababach – Niederdorf

Die Probenahme fand bei einer Wasserführung unter dem Mittelwasser statt.

Im Wasser wurde ein ähnlich hoher Gehalt von 869 Stk/m³ wie bei der Messstelle im Oberlauf festgestellt. Dieser Gehalt war jedoch zu erwarten, da sich inzwischen im Einzugsgebiet verstärkte Einträge von (größtenteils vorgereinigten) Oberflächenwässern durch Autobahn, Abfallwirtschaftsbetriebe und große Handelsketten ergeben. Dazu kommen noch landwirtschaftliche Flächen mit Klärschlammkompostaufbringung.

Dominierend war Polystyrol (PS), Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP). Daneben wurden weitere Kunststoffarten nachgewiesen: Polyurethan (PU), Polyethylenterephthalat (PET) und Polyamid (PA).

Die Sedimentproben wurden direkt bei der Messstelle entnommen. Sie ergaben im Vergleich zu den anderen Messstellen einen (erwartungsgemäß) sehr hohen Gehalt von 9.432 Stk/kg TM. Ein ähnlicher Gehalt wurde an der Drau bei Oberdrauburg festgestellt.

Dominierend war Polyurethan (PU), Polystyrol (PS) und Polypropylen (PP). Vor allem die erstgenannten deuten auf einen Eintrag aus der Baurestmassenverwertung hin. Daneben wurden auch weitere Kunststoffarten nachgewiesen: Polyethylen (PE), Polyvinylchlorid (PVC) und Polyethylenterephthalat (PET).

5.7 Peratschitzenbachzubringer

Im Wasser wurde ein im Vergleich zu anderen Probenahmestellen eher geringer Gehalt von 91 Stk/m³ festgestellt. Die Messstelle befindet sich unmittelbar bachab einer Oberflächenwassereinleitung eines Kunststoffrecyclingbetriebes, die jedoch erst bei entsprechenden Regenereignissen stattfindet.

Es wurden bis auf Polycarbonat (PC) sämtliche Kunststoffe nachgewiesen. Dominierend war Polyethylen (PE).

Die Sedimentproben wurden direkt bei der Messstelle entnommen. Sie ergaben trotz Vorreinigung in einem Filterkorb einen extrem hohen Gehalt von 37.760 Stk/kg TM und lagen damit 10-mal so hoch wie an anderen Gewässern mit Belastungsquellen.

Wie in den Wasserproben wurden bis auf Polycarbonat (PC) sämtliche Kunststoffarten nachgewiesen.

Der Filterkorb mit Lochdurchmessern von 2 mm, welche über der Größe der in der Studie untersuchten Fraktionen lag, erfüllt demnach seine Reinigungsfunktion nicht.

6. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die Datenlage zu Mikroplastik in Oberflächengewässern hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert. So hat sich allein die Anzahl der Publikationen, die z. B. beim Wissenschaftsverlag Elsevier unter den Schlagworten Fluss/Oberflächengewässer/Süßwasser zu finden sind, zwischen 2020 und 2022 verdoppelt. Dennoch sind Vergleiche einzelner Studien aufgrund der unterschiedlichen Konzeptionen und Messmethoden schwierig. Deshalb wäre es von höchster Priorität, ein genormtes Verfahren für die Probenahme sowie Probenaufbereitung und Analytik zu entwickeln, um eine Vergleichbarkeit von verschiedensten internationalen Studien zu ermöglichen. In Bezug auf die Probenahme von Mikroplastik in Wasser befindet sich derzeit eine entsprechend ISO-Norm in Ausarbeitung.

Die von der Ökologischen Gewässeraufsicht des Landes Kärnten entwickelte Methode eignet sich für ein zukünftiges Monitoring von Mikroplastik in Fließgewässern. Auch ist die Maschenweite der Filter sehr variabel gestaltbar, um bei Bedarf verschiedene Fraktionen von Mikroplastik zu untersuchen. Es besteht auch die Möglichkeit einer Erweiterung der Filteranzahl, sodass gleichzeitig verschiedene Partikelgrößen schon vor der Analyse physikalisch aufgetrennt werden können.

An sämtlichen Messstellen und in allen Proben der in der vorliegenden Studie untersuchten Fließgewässer wurde Mikroplastik nachgewiesen. Bei einem geradlinigen Verlauf des Gewässers gibt es kaum Unterschiede zwischen linkem und rechtem Uferbereich. In Abhängigkeit zum jeweiligen Hauptstromstrich erscheint es ausreichend, die Flussmitte und eine Uferseite zu beproben. Die Probenahmestelle sollte daher unter diesem Aspekt gewählt werden.

Des Weiteren sollten Sedimentprobenahmestellen und Wasserprobenahmestellen möglichst gering voneinander entfernt sein bzw. keine Emittenten auf der Zwischenstrecke liegen, da dies sonst zu unterschiedlichen Ergebnissen führen könnte.

Um die Dauerbelastung eines Gewässers mit Mikroplastik zu erfassen, sind Sedimentproben den Wasserproben vorzuziehen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Sedimentprobenahme nicht unmittelbar während oder nach einem Hochwasser durchgeführt werden sollte.

Die Ergebnisse der Mikroplastikuntersuchungen von Wasser und Sediment in Kärntner Fließgewässern sind in den beiden folgenden Tabellen und den nachfolgenden drei Abbildungen dargestellt.

Tabelle 3: Anzahl von Mikroplastikteilen (Größe 0,0–0,5 mm) der unterschiedlichen Kunststoffarten und insgesamt in den untersuchten Wasserproben in Stk/m³.

Probestelle	PE	PP	PVC	PS	PET	PA	PU	PC	PMMA	POM	Gesamt
Drau Oberdrauburg rechtsufrig	41	< 41	< 41	< 41	< 41	< 41	< 41	< 41	< 41	< 41	41
Drau Oberdrauburg Flussmitte	< 4,4	< 4,4	< 4,4	4,4	4,4	< 4,4	< 4,4	< 4,4	< 4,4	< 4,4	8,8
Drau Oberdrauburg linksufrig	10	15	< 5,2	10	< 5,2	5,2	< 5,2	< 5,2	< 5,2	< 5,2	40
Drau Oberdrauburg Mittelwert	17	5	0	4,8	1	2	0	0	0	0	30
Drau Rosegg rechtsufrig	5,8	1,1	0,066	0,79	0,93	0,2	0,4	< 0,066	0,066	0,26	9,6
Drau Rosegg Flussmitte	1,2	3,1	0,062	0,19	0,062	< 0,062	0,93	< 0,062	< 0,062	< 0,062	5,5
Drau Rosegg linksufrig	1,2	1	< 0,062	0,25	0,56	< 0,062	0,25	< 0,062	< 0,062	0,062	3,3
Drau Rosegg Mittelwert	3	2	0	0	1	0	1	0	0	0	6
Drau Lavamünd rechtsufrig	1,1	5,2	< 0,066	0,4	0,66	0,5	0,26	< 0,066	< 0,066	< 0,066	8,1
Drau Lavamünd Flussmitte	1,4	2	0,14	0,28	0,35	< 0,069	< 0,069	< 0,069	< 0,069	< 0,069	4,2
Drau Lavamünd linksufrig	1,5	1,8	< 0,077	0,54	0,31	0,1	0,23	< 0,077	0,077	0,077	4,6
Drau Lavamünd Mittelwert	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Gurk Maitratten	n.a.	n.a.	3,5	17	10	3,5	14	< 3,5	< 3,5	< 3,5	48
Gurk Möbling rechtsufrig	160	31	< 3,5	42	21	3,5	14	< 3,5	6,9	< 3,5	278
Gurk Möbling Flussmitte	38	13	1,6	6,6	8,2	3,3	< 1,6	< 1,6	1,6	1,6	74
Gurk Möbling linksufrig	67	80	4,5	54	18	13	31	< 4,5	4,5	< 4,5	272
Gurk Möbling Mittelwert	88	41	2	34	16	7	15	0	4	1	208
Gurk Gumisch rechtsufrig	38	38	< 1,5	38	12	< 1,5	34	< 1,5	1,5	1,5	163
Gurk Gumisch Flussmitte	89	89	< 4,7	130	28	< 4,7	51	< 4,7	< 4,7	4,7	392
Gurk Gumisch linksufrig	100	130	5	60	25	5	15	< 5	5	< 5	345
Gurk Gumisch Mittelwert	76	86	0	76	22	0	33	0	0	0	300
Malta Gmünd	56	< 56	< 56	56	56	280	110	< 56	< 56	110	668
Glanfurt Klagenfurt	12	20	0,25	9,2	3	0,2	5,1	< 0,062	< 0,062	0,31	50
Rababach Gottesbichl	410	140	8,6	320	< 8,6	< 8,6	< 8,6	< 8,6	< 8,6	< 8,6	879
Rababach Niederdorf	230	200	< 8,5	260	60	8,5	110	< 8,5	< 8,5	< 8,5	869
Peratschitzenbach-zubringer	47	25	0,21	8,4	5,3	0,5	4	< 0,069	0,76	0,14	91

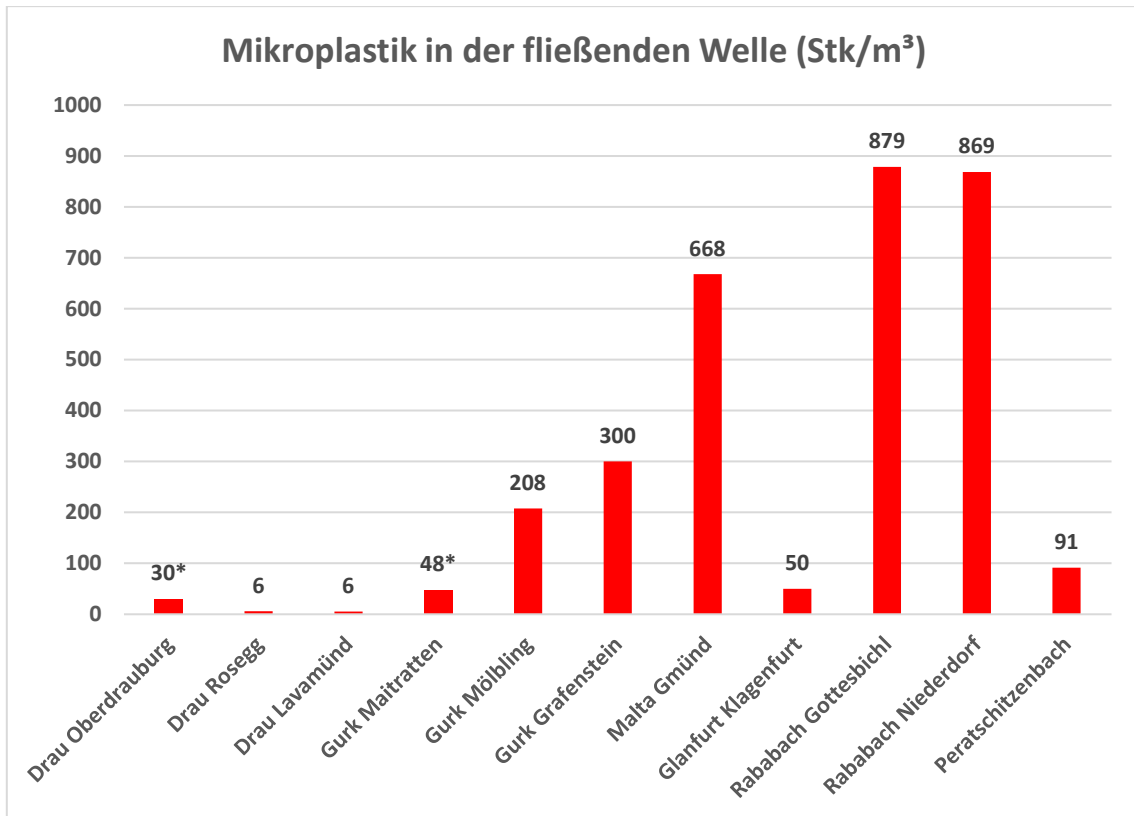


Abbildung 32: Anzahl von Mikroplastikteilen (Größe 0,05–0,5 mm) in den untersuchten Wasserproben in Stk/m³. (*Wasserführung über dem Mittelwasser)

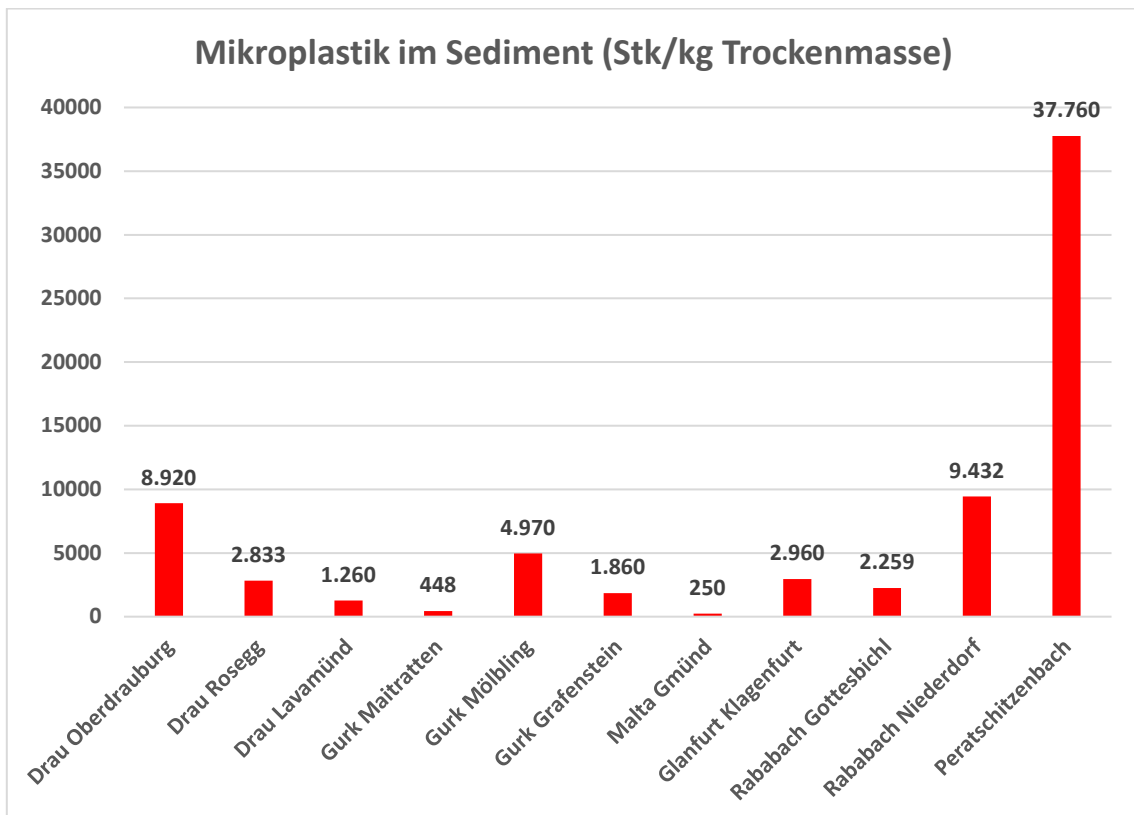


Abbildung 33: Anzahl von Mikroplastikteilen (Größe 0,05–0,5 mm) in den untersuchten Sedimentproben in Stk/kg Trockenmasse.

Tabelle 4: Anzahl von Mikroplastikteilen (Größe 0,05–0,5 mm) der unterschiedlichen Kunststoffarten und insgesamt in den untersuchten Sedimentproben in Stk/kg Trockenmasse.

Probestelle	PE	PP	PVC	PS	PET	PA	PU	PC	PMMA	POM	Gesamt
Drau Oberdrauburg	< 410	410	< 410	2.800	< 410	810	4900	< 410	< 410	< 410	8.920
Drau Rosegg	640	690	160	590	110	< 53	590	< 53	< 53	53	2.833
Drau Lavamünd	< 140	< 140	< 140	< 140	< 140	420	840	< 140	< 140	< 140	1.260
Gurk Mairatten	< 34	140	< 34	240	< 34	68	< 34	< 34	< 34	< 34	448
Gurk Mölbling	380	430	480	1.400	380	< 48	1900	< 48	< 48	< 48	4.970
Gurk Gumisch	< 360	1.500	< 360	360	< 360	< 360	< 360	< 360	< 360	< 360	1.860
Malta Gmünd	< 250	250	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250	250
Glanfurt-Klagenfurt	270	530	530	1.100	530	< 270	< 270	< 270	< 270	< 270	2.960
Rababach Gottesbichl	130	490	130	930	180	89	310	< 44	< 44	< 44	2.259
Rababach Niederdorf	310	1.100	250	3200	310	< 62	4.200	< 62	< 62	62	9.432
Peratschitzenbach-zubringer	10.000	12.000	1.900	2.600	1.400	1.600	760	< 46	7.300	200	37.760

Aus der Studie geht hervor, dass sich Mikroplastik in den Sedimenten von Stauräumen absetzt. Dies dürfte insbesondere in den Stauräumen der Drau der Fall sein, sodass das Wasser der Drau beim Verlassen des Bundeslandes einen nur sehr geringen Gehalt an Mikroplastik aufweist. Bei Hochwässern kann es dann zur Weiterverfrachtung der Mikroplastikfraktionen kommen (z. B. bei Stauraumpülungen). Jene Proben, bei welchen die Probenahme bei einer Wasserführung über dem Mittelwasser, jedoch noch nicht bei Hochwasser stattfand, weisen allerdings keine erhöhten Werte auf.

In Untersuchungen an Kläranlagen konnte bereits festgestellt werden, dass Mikroplastik zu über 90 % über Klärschlamm aus dem Abwasser eliminiert wird. Wird jedoch der Klärschlamm z. B. als Klärschlammkompost auf Flächen aufgebracht, gelangt das Mikroplastik über Entwässerungen und bei Regenereignissen wieder ins Gewässer. Dies konnte sehr anschaulich bei der Glanfurt und am Rababach dokumentiert werden.

Im Wasser dominiert meist Polyethylen (PE), in den Sedimenten aber andere Kunststoffe. Das könnte auf die unterschiedlichen Dichten der Kunststoffe zurückzuführen sein.

Die Gurk zeigt im Verlauf eine zunehmende Gesamtbelastung und weist ab Mölbling eine deutliche Belastung auf. Die kontinuierliche Zunahme der Belastung dürfte darauf zurückzuführen sein, dass es in der Gurk im Vergleich zur Drau keine entsprechenden Staubereiche gibt.

Bei der Malta und am Peratschitzenbachzubringer wurde nachgewiesen, dass durch betriebliche Emittenten Mikroplastik in erheblichen Mengen ins Gewässer gelangt.

Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylenterephthalat (PET) und Polystyrol (PS) sind Massenkunststoffe, die rund 75 % des Kunststoffverbrauchs ausmachen. Generell fällt auf, dass im Vergleich zu diesem Verwendungsmuster Polystyrol (PS) und Polyurethan (PU) in den Messergebnissen überrepräsentiert

sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Einzugsgebiet einiger Messstellen (Malta, Rababach – Niederdorf) Betriebe mit Baurestmassenverwertung liegen und Polyurethan (PU) aufgrund der z. T. geringen Stabilität des Ausgangsmaterials (z. B. Bauschäume) ggf. deutlich stärker fragmentiert als andere Kunststoffe.

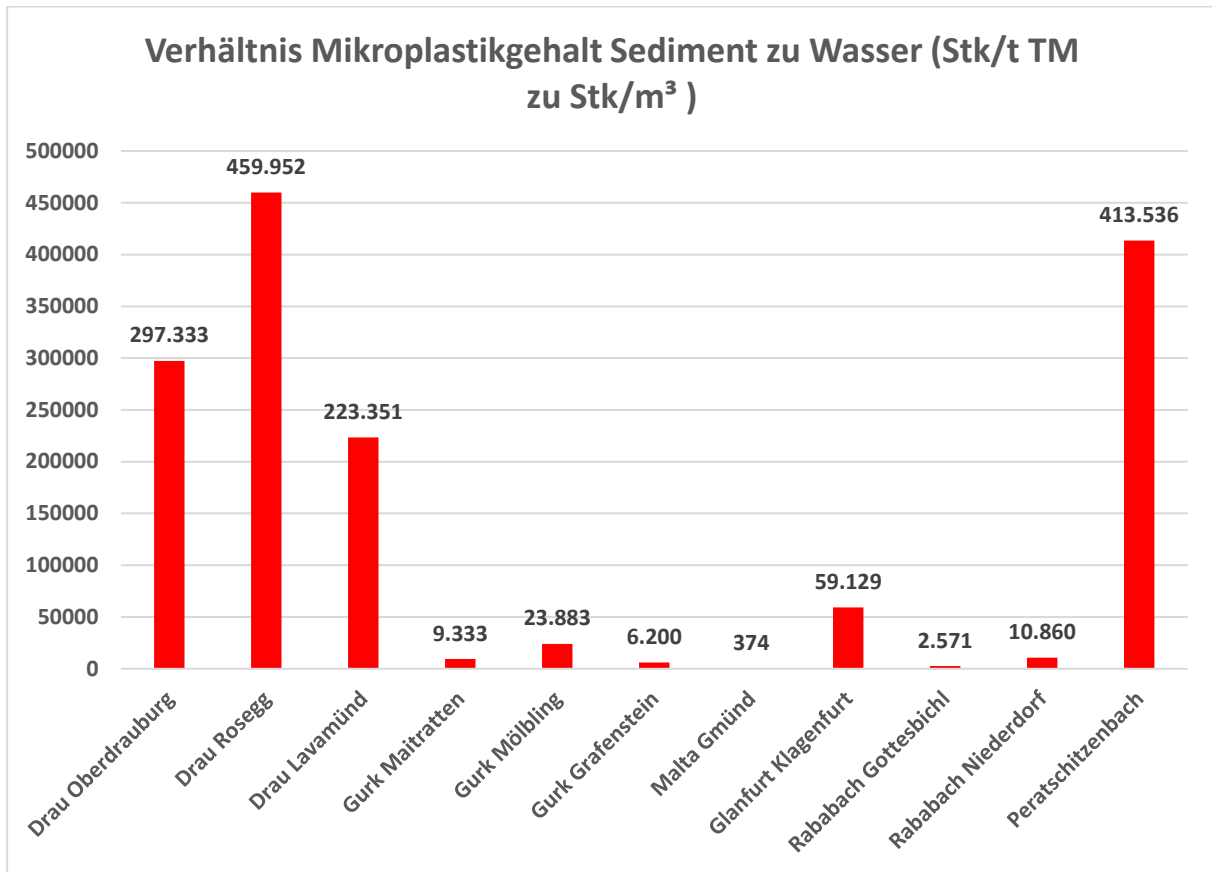


Abbildung 34: Verhältnis der Anzahl von Mikroplastikteilen (Größe 0,0–0,5 mm) von Sediment zu Wasser.

6.1 Vergleich der Kärntner Fließgewässer mit anderen Fließgewässern

6.1.1 Wasser

Bei einem Vergleich der Ergebnisse mit Werten aus der internationalen Literatur ist zu berücksichtigen, dass die angewendeten Methoden und Rahmenbedingungen der einzelnen Studien nur sehr eingeschränkt vergleichbar sind. Dies zeigt sich auch in der Bandbreite der Ergebnisse, die in Review-Artikeln zusammengestellt sind, wie z. B. bei Cera et al. (2020). In 168 untersuchten, weltweiten Studien in Flüssen wurden Ergebnisse im Bereich von 0 und 510.140 Partikel/m³, im Schnitt 11.128 Partikel/m³, ermittelt. In Sedimentproben wurden im Mittel 1.161,5 Partikel/kg (0-32.947 Partikel/kg) gemessen.

Aus einigen Studien lassen sich aber interessante Vergleiche ziehen:

Correa-Araneda et al. (2022) zeigten am Rio Bio-Bio in Chile, dass im Schnitt entlang des gesamten Flusslaufes 22 Partikel/m³ gemessen wurden. Es zeigte sich auch, dass die Zahl mit zunehmender Flusslänge zunahm und in

stehenden Teilen des Gewässers (Staubereiche) die höchsten Konzentrationen gemessen wurden. Selbst in unberührten Bereichen des Oberlaufs wurde Mikroplastik nachgewiesen. Dominante Kunststoffarten waren Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE) und Polyethylenterephthalat (PET).

Bordós et al. (2019) fanden in 92 % der Wasserproben aus Fischteichen und Gewässern der Karpaten (n = 13) Mikroplastik > 100 µm zwischen 3,52 und 32,05 Partikel/m³. In Sedimenten (n = 12) wurde Mikroplastik in 69 % der Proben im Bereich von 0,46 bis 1,62 Partikel/kg nachgewiesen. Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) waren im Wasser dominant, Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS) in den Sedimenten.

Kiss et al. (2021) untersuchten Wasserproben entlang der Theiss (Tisza). Dort wurden im Schnitt 3.177 Partikel/kg im Sediment nachgewiesen und in den Zuflüssen 3.808 Partikel/kg. Das Einzugsgebiet der Theiss erstreckt sich über fünf Staaten mit unterschiedlichen Lebensstandards und Abwasserreinigungspraktiken.

Kittner, M et al. (2022) beschreiben die Belastung der Donau bei 18 Stellen im gesamten Verlauf. Die Proben wurden in Fraktionen < 100 µm und > 100 µm unterteilt, die kleinste Größe wird als < 5 µm angegeben. In allen Proben fand sich Mikroplastik, wobei Polyethylen (PE) dominierte mit 22,24 mg/kg, daneben Polystyrol (PS) mit 3,23 mg/kg und Polypropylen (PP) mit 0,45 mg/kg.

In einer Review-Arbeit von Li et al. (2020) wurden die Ergebnisse zahlreicher Studien zusammengestellt und u. a. die Haupteintragsquellen zusammengefasst. Als solche werden v. a. synthetische Textilien, Körperpflegeprodukte, industrielles Rohmaterial und nicht sachgerechte Entsorgung von Kunststoffen beschrieben. Die große Bandbreite an Mikroplastik-Konzentrationen in Oberflächengewässern zeigen Studien an Seen, wie beispielsweise am Lake Huron (USA) mit 3.500 Partikel/L beschrieben. In Gebieten spärlicher Besiedlung, wie am Beispiel des Hovsgolsees in der Mongolei, wurden 0,0001 Partikel/L gemessen. Die Hauptkomponenten sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polyethylenterephthalat (PET), welche zusammen rund 70 % des Gesamt-Kunststoffaufkommens ausmachen.

Li et al. (2020) präsentieren Ergebnisse verschiedener Studien, welche aber alle um Größenordnungen höher liegen (siehe Tabelle 5). Tabelle 6 zeigt Ergebnisse weiterer Studien. Die Ergebnisse dieser Untersuchung liegen im groben Mittelfeld der dort dargestellten Werte und zeigen außerdem die enorme Bandbreite von unterschiedlichen Studiendesigns und deren Ergebnissen. Für einen Vergleich von Studienergebnissen müssen jedenfalls Studienparameter (Größenordnung der Partikel, geografische Parameter, Probenahme, -aufbereitung und Analytik) mitberücksichtigt werden.

Tabelle 5: Auszugsweiser tabellarischer Vergleich von Untersuchungen zu Mikroplastik in Gewässern (Li et al. 2020)

Land	Messstelle	durchschnittliche Konzentration	Partikel/m ³ geschätzt	Größe	Methode
UK	Kelvin River	0,267 g/L	296.500	2,8 mm–11µm	SEM-EDS
China	Poyang Lake	0,203 g/L	226.000	< 0,5 mm	Raman
Europe	Carpathian basin	0,472 g/L	524.000	< 0,3 mm	FTIR
China	Wei River	0,918 g/L	1.020.000	< 5 mm	FTIR
Belgium	Flamish Rivers	0,015 g/L	17.000	< 5 mm	FTIR and Raman
Australia	Bloukrans River	0,216 g/L	240.000	500 µm	Visual
Canada	Lake Winnipeg	1,74 g/L	1.933.000	< 5 mm	SEM-EDS
Netherlands	WWTP effluent	0,00297 g/L	3.300	< 5 mm	Visual
Italy	Lake Chiusi and Bolsena	2,5 Partikel/m ³	25	< 5mm	Visual

Tabelle 6: Vergleich von Messwerten unterschiedlicher Mikroplastik-Untersuchungen (Liebmann & Sexlinger 2020)

Gewässer	Mikroplastik-Konzentration	Partikelgröße	Probenahme (Tiefe)	Analytik	Quelle
Donau (AT)	Aschach: 0,039–0,205 mg/m ³ Hainburg: 0,029–0,516 mg/m ³	> 500 µm	Netze (Wassersäule)	visuelle Vorselektierung; ATR-FT-IR Spektroskopie	UMWELT- BUNDESAMT (2015a)
Meuse (NL) Rhein (DE)	0,14 mg/m ³ 0,56 mg/m ³	> 125 µm	Pumpe + Siebkaskade (0,8–3 m)	Raman/FT-IR Spektroskopie	URGERT (2015)
Flüsse (CH)	1,4 mg/m ³	> 300 µm	Netze (Oberflächenwasser)	ATR-FT-IR Spektroskopie	FAURE et al. (2015)
Rhein (CH, FR, DE, NL)	4,7 Stk/m ³	> 300 µm	Netze (0,18 m)	FT-IR Spektroskopie	MANI et al. (2015)
Fließgewässer (DE)	2,9–214 Stk/m ³	> 300 µm	Netze (0,15 m)	ATR-FT-IR Spektroskopie FPA-FT-IR- Mikrospektroskopie	HEß et al. (2018)
Seine, Mame (FR)	0,35 (30) Stk/m ³	> 330 (> 80) µm	Netze (0,1–0,35 m)	visuell (Stereomikroskop)	DRIS et al. (2015)
Ottawa Fluss (CAN)	1,35 Stk/m ³	> 100 µm	Netze (Oberflächenwasser)	visuell (Stereomikroskop)	VERMAIRE et al. (2017)
Gardasee, Lago Maggiore, Iseosee (ITA)	4.000–57.000 Stk/km ²	> 300 µm	Manta Netz (Oberflächenwasser)	visuelle Vorselektierung; FT-IR Spektroskopie	SIGHICELLI et al. (2018)
Ausgehobene Seen/Fischteiche Große Ungarische Tiefebene (HUN)	3,52–32,05 Stk/m ³	> 100 µm	Pumpe (0,1–0,7 m)	FT-IR Spektroskopie	BORDÓS et al. (2019)
Oberer See (USA)	0–110.000 Stk/km ² 0,26 Stk/m ³	> 333 µm	Netze (Oberflächenwasser)	Pyr-GC/MS ATR-FT-IR Spektroskopie	HENDRICKSON et al. (2018)
Drei-Schluchten- Damm (CHN)	4.700 Stk/m ³	> 48 µm	Teflon Pumpe + Edelstahlsieb (1 m)	visuelle Vorselektierung; Ramanspektroskopie	DI & WANG (2018)
Dongting See und Hong See (CHN)	1.200 und 2.300 Stk/m ³	> 50 µm	Teflon Pumpe + Edelstahlsieb (0–0,2 m)	visuelle Vorselektierung; Ramanspektroskopie	WANG et al. (2018)
Qinghai See (CHN)	5.000–758.000 Stk/km ²	> 112 µm	Netze (Oberflächenwasser)	Stereomikroskop; Ramanmikroskop	XIONG et al. (2018)

Aus der Bandbreite dieser Vergleichsdaten kann geschlossen werden, dass die in der vorliegenden Studie gemessenen Werte im Wesentlichen erwartbare Ergebnisse darstellen. Es ist jedoch Vorsicht beim Vergleich der Ergebnisse mit Literaturdaten geboten, da die Vergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher untersuchter Größenfraktionen sowie unterschiedlicher Probenahme- und auch Analysemethoden nur bedingt gegeben ist.

6.2 Sediment

Auch beim Sediment ist ein Vergleich der Ergebnisse mit Literaturdaten schwierig, da die Beprobungsmethoden und Studiendesigns teils nicht miteinander vergleichbar sind. Hier stehen Maßeinheiten wie Partikel/m², Partikel/m³ oder Partikel/kg einander gegenüber.

Die in dieser Studie höchsten Messwerte im Sediment (37.360 Stück/kg) wurden im Peratschitzenbachzubringer bestimmt, in dem gleichzeitig in der entsprechenden Wasserprobe relativ geringe Mikroplastik-Gehalte gemessen wurden (81 Stück/m³). In dieser Studie wurden hingegen die geringsten Gehalte im Sediment in der Malta (250 Stück/kg) ermittelt. Allerdings beruhen diese auf nur einem Messwert mit Polypropylen (PP), da sich die restlichen Kunststoffarten unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG) befanden.

Im Rababach stehen hohe Werte sowohl im Gewässer als auch im Sediment gegenüber. Die Dominanz von Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS) im Gewässer ist auch im Sediment nachvollziehbar. Zusätzlich wurde bei der Messstelle unterhalb von Niederdorf auch Polyurethan (PU) in der Wasserprobe gemessen, welches auch im Sediment nachweisbar war.

Es kann jedoch aus den Messdaten nicht generell abgeleitet werden, ob eine hohe Gewässerbelastung und niedrige Sedimentbelastung (und umgekehrt) im Zusammenhang stehen. Dies müsste mit morphologischen und zeitlichen Faktoren (Abflussmengen und Remobilisierung) und möglichen Einleitern abgeglichen werden.

Partikel > 1 mm, also nur ein geringer Anteil am Größenspektrum von Mikroplastik, wurde in Sedimenten eines Londoner Sees untersucht. Hier wurden Gehalte von 250-300 Partikel/kg gemessen (Vaughan et al. 2017).

In Sedimenten des Rheins wurden Mikroplastikpartikel > 11 µm gemessen. Es wurden zwischen 260 und 11.070 Partikel/kg ermittelt. Neben 18 identifizierten Kunststoffarten konnte Acryl/Polyurethan-Lack an allen Standorten nachgewiesen werden, was auf eine Verschmutzung durch Anwuchs-verhindernde Farben von Schiffen hindeutet (Mani et al. 2019).

In den Niederlanden wurde Mikroplastik > 10 µm untersucht und in Sedimenten von Amsterdamer Kanälen Anzahlen von 680 bis 10.500 Partikel/kg gemessen (Leslie et al. 2017). In Sedimenten aus Flussbetten in England bestimmte Hurley et al. (2018) Mikroplastik > 63 µm im Bereich von 300 bis 4.800 Partikel/kg. Diese Studie konnte außerdem feststellen, dass Überschwemmungen einen Großteil des Mikroplastiks aus den Flussbetten wieder austrugen.

In weiteren Studien wurden folgende Vergleichswerte bestimmt:

- Im Rhein bis zu 4.000 Partikel/kg (Klein et al., 2015),
- in der Tisza zwischen 0,4 und 1,62 Partikel/kg (Bordós et al. 2019),
- in einer weiteren Studie an der Tisza aber zwischen 2.004 und 3.810 Partikel/kg; in dieser Studie wurde außerdem ein Messwert von 4.684 Partikel/kg in der Nähe einer Ortschaft bestimmt (Kiss et al. 2021)
- und in Bangladesh zwischen 143 und 1.240 Partikel/kg (Hossain et al. 2022).

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lassen sich einige wertvolle Schlüsse ziehen:

Vorab ist vor allem bei der Wahl der Referenzstellen sehr sorgsam zu eruieren, ob nicht irgendwelche Einflüsse durch Betriebe oder landwirtschaftliche Flächen vorliegen, die auf den ersten Blick gar nicht auszumachen sind.

Es wurde bei allen Messstellen Mikroplastik sowohl in der fließenden Welle als auch im Sediment nachgewiesen. Mit zunehmendem Einzugsgebiet stieg auch die Belastung mit Mikroplastik in beiden Medien an und zeigte, dass Emissionsquellen vorhanden sind. Je nach Messstelle konnten z. B. Betriebsgebiete, einzelne Betriebe oder Kläranlagen oder Abschwemmungen von mit Klärschlamm versetzten landwirtschaftlichen Flächen als potenzielle Ursachen ermittelt werden. Es hat sich gezeigt, dass bei Vorhandensein entsprechender naher Eintragsquellen vor allem auch kleinere Gewässer (z. B. Rababach) stark belastet sein können. Klärschlamm ist eine Senke für Mikroplastik im Zuge der Abwasserreinigung. Wenn Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht wird, so wird das dem Abwasser entnommene Mikroplastik auf die Böden ausgebracht. Die derzeit laufende Studie PLASBo erarbeitet Daten zum Vorkommen von Mikroplastik in Böden und bewertet die Ergebnisse in Hinblick auf die Geschichte der Standorte und deren Charakteristik (PLASBo 2023). Durch Abschwemmung kann Mikroplastik aus den Böden in die Oberflächengewässer gelangen.

Die beiden großen Flüsse Drau und Gurk, die in ihrem Verlauf untersucht wurden, zeigen eine unterschiedliche Belastungscharakteristik. Während die Drau durch mehrere Staustufen unterbrochen ist, in denen eine Sedimentation stattfinden kann, fehlt diese Absetzmöglichkeit weitgehend im Verlauf der Gurk. Trotz zunehmender Einzugsgebietsgröße im Verlauf der Drau nimmt die Belastung im Wasser ab. Umgekehrt zeigt sich durch das Fehlen dieser Sedimentationsmöglichkeit im Verlauf der Gurk eine Zunahme der Belastung. Dieser Effekt ist sowohl im Sediment als auch in der fließenden Welle abgebildet. Ergänzende Sedimentuntersuchungen aus den Stauräumen würden weiteren Aufschluss darüber bringen, was wichtig wäre, um zu klären, ob und in welchem Ausmaß Hochwasserereignisse zu einer Remobilisierung der Mikrokunststoffe aus dem Sediment führen.

Der höchste Messwert im Sediment wurde im Peraschitzenbachzubringer gemessen, in dessen fließender Welle aber ein geringer Gehalt an Mikroplastik gemessen wurde. Untersuchungen bei unterschiedlichen Abflüssen wären interessant, um Aufschluss über dieses Gleichgewicht bzw. über die Remobilisierung sedimentierter Kunststoffe gewinnen zu können. Eine Studie in der Donau zeigte, dass ein zunehmender Abfluss einen höheren Transport an Mikroplastik verursacht (Hohenblum et al. 2015). Gleichzeitig konnte das Auftreten von Kunststoffarten, die durch spezifische Emittenten im Einzugsbereich charakteristisch und/oder dominant sind, sowohl in der fließenden Welle als auch im Sediment nachgewiesen werden.

Messungen von Mikroplastik im Sediment geben die Belastung über längere Zeiträume wieder. Die Messung in der Wasserphase ist eine Momentaufnahme und stellt hohe Anforderungen an die Repräsentativität einer Wasserprobe, da Mikroplastik im Gewässer nicht gleich verteilt ist. Dies muss bei der Auswahl der Messstelle berücksichtigt werden, da es je nach der Morphologie des Gewässers zu unterschiedlichen Belastungen an den Ufern und im Hauptstromstrich kommen kann. Es hat sich in dieser Studie gezeigt, dass bei geradlinigem Flusslauf nur ein geringer Unterschied zwischen der Flussmitte und den beiden Ufern in Bezug auf den gemessenen Mikroplastikgehalt besteht.

Es ist anzumerken, dass es derzeit keine Norm gibt, welche ein einheitliches Vorgehen bei der Projektplanung (Messstellenauswahl, Probenahme, Partikelgröße, Messmethode) unterstützt und Ergebnisse damit vergleichbar machen würde.

8. REFERENZEN

8.1 Literaturverzeichnis

- Bordós, Gábor; Urbányi, Béla; Micsinai, Adrienn; Kriszt, Balázs; Palotai, Zoltán; Szabó, István et al. (2019): Identification of microplastics in fish ponds and natural freshwater environments of the Carpathian basin, Europe. In: *Chemosphere* 216, S. 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.110>
- Cera, Alessandra; Cesarini, Giulia; Scalici, Massimiliano (2020): Microplastics in Freshwater: What Is the News from the World? In: *Diversity* 12 (7), S. 276. <https://doi.org/10.3390/d12070276>
- Correa-Araneda, Francisco; Pérez, Javier; Tonin, Alan M.; Esse, Carlos; Boyero, Luz; Díaz, María Elisa et al. (2022): Microplastic concentration, distribution and dynamics along one of the largest Mediterranean-climate rivers: A whole watershed approach. In: *Environmental research* 209, S. 112808. <https://doi.org/10.1016/j.env-res.2022.112808>
- DIN 38414-11:1987-08: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Probenahme von Sedimenten (S 11)
- Hohenblum et al. 2015: Plastik in der Donau. In: *Umweltbundesamt Report 2015* (REP0547). <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0547.pdf>
- Hossain, Md. Jaker; AftabUddin, Sheikh; Akhter, Farjana; Nusrat, Nabila; Rahaman, Atikur; Sikder, Mohammad Nurul Azim et al. (2022): Surface water, sediment, and biota: The first multi-compartment analysis of microplastics in the Karnafully river, Bangladesh. In: *Marine Pollution Bulletin* 180, S. 113820. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113820>
- Hurley, R.; Woodward, J. & Rothwell, J.J. (2018): Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nature Geoscience* 11 (4), pp. 251-257.
- Kiss, Tímea; Fórián, Szilveszter; Szatmári, Gábor; Sipos, György (2021): Spatial distribution of microplastics in the fluvial sediments of a transboundary river - A case study of the Tisza River in Central Europe. In: *The Science of the total environment* 785, S. 147306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147306>
- Kittner, Maria; Kerndorff, Alexander; Ricking, Mathias; Bednarz, Marius; Obermaier, Nathan; Lukas, Marcus; Asenova, Mina; Bordós, Gábor; Eisentraut, Paul; Hohenblum, Philipp; Hudcova, Hana; Humer, Franko; Tóth, György István; Kirchner, Michal; Marushevska, Olena; Nemejcová, Denisa; Oswald, Peter; Paunovic, Momir; Sengl, Manfred; Slobodnik, Jaroslav; Spanowsky, Karl; Tudorache, Madalina; Wagensonner, Helmut; Liska, Igor; Braun, Ulrike & Bannick, Claus G. (2022): Microplastics in the Danube River Basin: A First Comprehensive Screening with a Harmonized Analytical Approach. *ACS EST Water* 2022, 2, 7, 1174–1181. Publication Date: June 24, 2022. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.1c00439>
- Klein, S., Worch, E., Knepper, T.P. (2015): Occurrence and spatial distribution of microplastics in river shore sediments of the rhine-main area in Germany. *Environ. Sci. Technol.* 49, 6070–6076.
- KUNSTSTOFFE.DE – Medienverbund Fachzeitschrift Kunststoffe, Fachbuch-bereich Carl Hanser Verlag und Kunststoffe.de-Team (2015): Auszug aus: Wolfgang Kaiser, *Kunststoffchemie für Ingenieure* 11/2015, S. 355–356. <https://www.kunststoffe.de/themen/basics/>

KUNSTSTOFFE.DE – Medienverbund Fachzeitschrift Kunststoffe, Fachbuch-bereich Carl Hanser Verlag und Kunststoffe.de-Team (2016): Auszug aus: Georg Abt, Kunststoff-Wissen für Einsteiger 09/2016.

<https://www.kunststoffe.de/themen/basics/>

Leslie, H.A.; Brandsma, S.H.; van Velzen, M.J.M. & Vethaak, A.D. (2017): Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International* 101, pp. 133-142.

Li, Chaoran; Busquets, Rosa; Campos, Luiza C. (2020): Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. In: *The Science of the total environment* 707, S. 135578. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135578>

Liebmann, Bettina & Sexlinger, Katharina (2020): Mikroplastik in der Umwelt. Statusbericht 2019. Wien (Report / Umweltbundesamt, REP-0727). https://www.umweltbundesamt.at/studien-reports/publikationsdetail?pub_id=2327&cHash=04c78f16fb427e5d5e371b4e5f5f1ad0.

Mani, T.; Primpke, S. Lorenz, C.; Gerdt, G. & Burkhardt-Holm, P. (2019): Microplastic Pollution in Benthic Midstream Sediments of the Rhine River. *Environmental Science & Technology* 53 (10), pp. 6053-6062.

NABU – NABU-Bundesgeschäftsstelle (2015): Wilts, H.; Gries, N.; Rademacher, B. & Peters, Y. (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH): Einsparpotenziale beim Kunststoffeinsatz durch Industrie, Handel und Haushalte in Deutschland. Berlin. https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/150414_nabu_plastikvermeidungsstudie.pdf

ÖNORM B2401:2019 04 15: Hydrologie - Methoden zur Bestimmung des Durchflusses und der Geschwindigkeit in offenen Gerinnen

PLASBo, 2023: Harmonisierte Methoden für Plastik und Mikroplastik in Böden - PLASBo. Projekt der Forschungsplattform DaFNE des BML. <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/stoffradar/plasbo>

Stoifl, Barbara; Bernhardt, Antonia; Karigl, Brigitte; Lampert, Christoph; Neubauer, Milla & Thaler, Peter (2017): Kunststoffabfälle in Österreich – Aufkommen & Behandlung. Report / Umweltbundesamt, REP-0650): Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0650.pdf>.

Vaughan, R.; Turner, S.D. & Rose, N.L. (2017): Microplastics in the sediments of a UK urban lake. *Environmental Pollution* 229, pp. 10-18.

