

Ermittlung der „Plastikfracht“ der Warnow in die Ostsee

Endbericht



Auftraggeber: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern (LUNG M-V)

Auftragnehmer: Aqua Ecology GmbH & Co. KG und Wessling GmbH

PD Dr. Marcus Schulz, Uwe Raschka, Katharina Hellmann, Tobias Kockmann, Dr. Heidi Doose

Datum: 15.03.2023

AquaEcology GmbH & Co. KG · Amtsgericht Oldenburg HRA 201619
Komplementärin: **AquaEcology** Beteiligungs-GmbH · Amtsgericht Oldenburg HRB 202869
Geschäftsführer: Dipl.-Biol. Dr. Claus-Dieter Dürselen · Dipl.-Chem. Thomas Raabe
Steinkamp 19 · 26125 Oldenburg · Telefon: +49-441-55978-530 · Telefax: +49-441-55978-539
info@aquaecology.de · <http://www.aquaecology.de>

Wessling GmbH · Registergericht Steinfurt HRB 1953
Geschäftsführer: Florian Weßling Anna Weßling Sven Polenz
Oststraße 7 48341 Altenberge Telefon: +49-2505-89-0 Telefax: +49-2505-89-589
info@wessling.de <http://www.wessling.de>

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	4
1 Zusammenfassung.....	5
2 Einleitung	7
3 Methodik.....	8
3.1 Untersuchungsgebiet	8
3.2 Monitoringverfahren	10
3.2.1 Bestimmung der hydrologischen Rahmenbedingungen	10
3.2.2 Erfassung des Makroplastiks in der Wassersäule	10
3.2.3 Erfassung des auf der Wasseroberfläche treibenden Makroplastiks	12
3.2.4 Erfassung des in der Wassersäule schwebenden Mikro- und Mesoplastiks	12
3.2.5 Berechnung der Plastikfracht.....	14
4 Ergebnisse	16
4.1 Vermessung des Flussquerschnittes der Warnow am Aalhamen bei Kessin 16	
4.2 Erfassung des Makroplastiks in der Wassersäule	16
4.3 Erfassung des auf der Wasseroberfläche treibenden Makroplastiks	17
4.4 Erfassung des in der Wassersäule schwebenden Mikro- und Mesoplastiks 19	
4.5 Gesamtplastikfrachten	22
5 Diskussion	24
5.1 Diskussion der Methodik	24
6 Danksagung.....	27
7 Literatur	28

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Topographische Skizze des Einzugsgebietes der Warnow (Quelle: BUND, 2018). Blaue Flächen und Linien sind stehende und fließende Gewässer.. 8
- Abbildung 2: Topografische Skizze des mündungsnahen Teils des Untersuchungsgebietes (Quelle: geoportal-mv.de/gaia). 9
- Abbildung 3: Mikroplastikbeprobung mit einem Neustonnetz vom Steg des Olympischen Ruder-Clubs Rostock von 1956 e.V. in Kessin: a) Neustonnetz in einem Stahlrahmen mit montiertem Flowmeter, b) zu Wasser lassen des Neustonnetzes, c) im Stahlrahmen befestigtes Neustonnetz mit Netzbecher, d) Spülen des Neustonnetzes mit destilliertem Wasser nach einem Hol, e) Heraus-schrauben des Netzbechers, f) Abfüllen des Fanges aus dem Netzbecher in einen Probenbehälter aus Glas, g) Spülen des Netzbechers, h) Abfüllen der Blindprobe mit destilliertem Wasser aus einer Spritzflasche in einen Glasbehälter. 13
- Abbildung 4: Querprofil der Warnow am Aalhamen von Kessin. Das Querprofil beruht auf einer Vermessung am 18.11.2021. Die waagerechte obere Linie markiert den Wasserspiegel bei einer Höhe von 0,326 m..... 16
- Abbildung 5: Monatliche Plastikfrachten in der Warnow bei Kessin im Jahr 2022. Rote Umrandungen zeigen Zeiträume an, in denen der Aalhamen bei Kessin beprobt wurde. 23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittlere tägliche und monatliche Frachten von Makroplastik der Warnow am Aalhamen von Kessin im Jahr 2022. Gelbe Markierungen zeigen Zeiträume an, in denen der Aalhamen zur Bestimmung der Makroplastikfracht beprobt wurde. Frachten in farblich nicht markierten Monaten wurden anhand einer Regressionsbeziehung von Schulz (2019) hochgerechnet.	16
Tabelle 2: Metadaten der Erfassungen von an der Wasseroberfläche treibendem Makroplastik.	17
Tabelle 3: Ergebnisse der Erfassungen von an der Wasseroberfläche treibendem Makroplastik. Die Tagesfrachten ergaben sich aus dem Produkt der Tagesmassen und 24 h. Die Monatsfrachten ergaben sich aus dem Produkt der Tagesfrachten und der jeweiligen Anzahl der Tage des betreffenden Monats. ...	18
Tabelle 4: Netzdurchflüsse bei den Mikro- und Mesoplastikbeprobungen und zeitlich korrespondierende mittlere monatliche Warnowabflüsse am Pegel Rostock-Geinitzbrücke.	20
Tabelle 5: Ergebnisse der Erfassungen von Mikro- und Mesoplastik in der Wassersäule. Gelbe Markierungen zeigen den qualitativen Nachweis des Polymers an (BG: Bestimmungsgrenze). *: Die Berechnung erfolgte mit der Hälfte der Bestimmungsgrenze, wenn die Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze lagen.	20
Tabelle 6: Mittlere tägliche und monatliche Mikroplastikfrachten in der Warnow bei Kessin im Jahr 2022. Für Monate, in denen der Aalhamen nicht beprobt wurde, erfolgten Hochrechnungen der Frachten anhand einer Regressionsbeziehung von Schulz (2019).	22

1 Zusammenfassung

Meeresmüll wurde als wichtiger potenzieller Stressor für Meeresökosysteme diskutiert. Deskriptor 10 (Meeresmüll) der EG-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) zielt darauf ab, die Mengen von Meeresmüll signifikant zu verringern. Daher müssen Müllquellen und -transportpfade identifiziert und quantifiziert werden. Es wird angenommen, dass Flüsse ein bedeutender Eintragspfad von Meeresmüll sind. Vor diesem Hintergrund wird in einem Pilotvorhaben die Masse der „Plastikfracht“ der Warnow an einem Querschnitt ermittelt.

Dieses Projekt basiert auf einer Vorgängerstudie, in der ein Überblick über bestehende Monitoringmethoden, die in Flüssen weltweit angewendet werden, erarbeitet wurde. In dem Vorgängerprojekt wurde auf der Grundlage aktueller Literatur und Daten ein Monitoringkonzept abgeleitet, das alle Transportvorgänge und Flusskompartimente im und auf dem Wasser (der Sedimenttransport bleibt zunächst unberücksichtigt) sowie Größenklassen von Plastik abdeckt. Dieses Konzept ist Grundlage für das in dem vorliegenden Projekt durchzuführende Monitoring von Plastik in der Wassersäule und an der Wasseroberfläche der unteren Warnow bei Kessin. Die so erhobenen Daten mündeten in Berechnungen von Plastikfrachten der Warnow in die Ostsee.

Die in diesem Projekt anzuwendenden Monitoringverfahren beinhalten die Anwendungen von Hols mit Neustonnetzen für die Probenahme von Mikroplastik, das im Labor mittels Pyrolyse GC/MS auf seine Polymerzusammensetzung und Massen hin analysiert wurde. Visuelle Beobachtungen und Beprobungen treibenden Makromülls von einem Steg am Rande des Flussquerschnittes aus erfassten die Mengen an der Wasseroberfläche treibenden Makroplastiks. Daten zu Makroplastik, das in einem Aalhamen bei Kessin gefangen wurde, gingen darüber hinaus in die Berechnungen der Plastikfrachten ein.

Es wurde eine Vermessung des Flussquerschnitts der Warnow direkt am Aalhamen bei Kessin durchgeführt. Bei der Vermessung kam ein hochpräzises RTK GPS zum Einsatz. Zum Zeitpunkt der Vermessung wurde an zwei Punkten auch der Wasserspiegel aufgenommen. Anhand dieser Aufnahmen wurde der durchflossene Querschnitt ermittelt.

Weiterhin fanden monatlich in ca. vierwöchentlichen Abständen von Januar bis Dezember 2022 Probenahmen mit Neustonnetzen und visuelle Beobachtungen treibenden Mülls am eingemessenen Flussquerschnitt statt. Anhand der Analysenergebnisse der Netzfänge im Labor und von Abflussdaten am Pegel Geinitzbrücke wurden Mikroplastikfrachten berechnet. Ergebnisse der Hamenfänge von Juni 2016 bis Dezember 2022 sowie mittlere tägliche Abfluss- und Pegeldata der Warnow von den Pegeln Rostock-Geinitzbrücke und Bützow UP von 2022 wurden vom LUNG M-V bzw. dem Staatlichen Amt für Landwirtschaft und Umwelt (StALU MM) zur Verfügung gestellt. Anhand dieser Daten wurden Frachten von Makroplastik für 2022 berechnet.

Die monatlichen Frachten von Makroplastik in der Wassersäule bewegten sich zwischen 0,0 und 33,49 g Monat⁻¹. Die täglichen Frachten von Makroplastik lagen entsprechend zwischen 0,0 und 1,20 g d⁻¹. Die Jahresfracht von Makroplastik in der Wassersäule betrug im Jahr 2022 131,6 g Jahr⁻¹.

Die monatlichen Frachten treibenden Plastiks in der Warnow bei Kessin bewegten sich zwischen 0,0 und 685,77 g Monat⁻¹. Entsprechend lagen die mittleren täglichen Frachten treibenden Plastiks in der Warnow im Jahr 2022 zwischen 0,0 und 22,12 g d⁻¹. Die Jahresfracht treibenden Plastiks betrug in der Warnow im Jahr 2022 950,3 g Jahr⁻¹.

Die monatlichen Mikroplastikfrachten bewegten sich im Jahr 2022 in der Warnow zwischen 0,0 und 5,776 kg Monat⁻¹. Entsprechend lagen die mittleren täglichen Mikroplastikfrachten im Jahr 2022 in der Warnow zwischen 0,0 und 190,01 g d⁻¹. Die Gesamtfracht an Mikroplastik betrug in der Warnow bei Kessin im Jahr 2022 12,71 kg Jahr⁻¹. Daraus ergibt sich eine Gesamtplastikjahresfracht der Warnow im Jahr 2022 von 13,79 kg Jahr⁻¹.

Das Ensemble der in dieser Pilotstudie angewandten Methoden erwies sich als geeignet, die Plastikfracht in der Warnow zu bestimmen. Die geringen Frachten erklären sich weniger durch mangelnde Effektivität des Monitorings als durch die geringe Plastikbelastung der Warnow.

2 Einleitung

Meeresmüll wird als ein potentiell wichtiger Stressor von marinen Ökosystemen diskutiert. Meerestiere sind einer Reihe von nachteiligen Auswirkungen von Meeresmüll ausgesetzt, beispielsweise der Ingestion von Plastikteilen (Kühn und van Franeker, 2012; Provencher et al., 2010; van Franeker et al., 2011), die sie versehentlich als Nahrung aufnehmen, und Verstrickungen in fädigem Müll (Derraik, 2002; Gregory, 2009; McIlgorm et al., 2011), wie Reste von Scheuerschutz von Grundschieppnetzen, Netzen und Seilen. Daher zielt Deskriptor 10 der europäischen Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie darauf ab, den weiteren Anstieg der Müllmengen im Meer zu bekämpfen und ggf. signifikant zu verringern (MSRL, 2008, 2010). Gemäß Deskriptor 10 „Meeresmüll“ der MSRL sollen *„die Eigenschaften und Mengen des Meeresmülls die Küsten- und Meeresumwelt nicht schädigen“*. Es müssen daher Maßnahmen eingeleitet werden, um den Eintrag von Müll in die Meeresumwelt zu verringern. Außerdem müssen Quellen und Wege von Meeresmüll identifiziert und quantifiziert werden, um die terrestrischen Emissionen von Müll in die Meere zu reduzieren.

Flüsse und Ästuare sind potentielle signifikante Eintragspfade von Müll. Insgesamt besteht ein großer Bedarf an einem strukturierten Monitoring von Müll in Flüssen. Vor diesem Hintergrund wird in dem vorliegenden Pilotvorhaben die Masse der „Plastikfracht“ der Warnow an einem Querschnitt ermittelt. In der Vergangenheit war die Warnow Gegenstand von einem pilotartigen Monitoring und von mehrdimensionaler Transportmodellierung von Müll (Schernewski, pers. Mitt.). Das vorliegende Projekt basiert auf einer Vorgängerstudie, in der ein Überblick über bestehende Monitoringmethoden, die in Flüssen weltweit angewendet werden, erarbeitet wurde und in der auf der Grundlage aktueller Literatur und Daten ein Monitoringkonzept abgeleitet wurde. Dieses Konzept umfasst alle Transportvorgänge und Flusskompartimente im und auf dem Wasser (ohne den Sedimenttransport) sowie Größenklassen von Plastik (Schulz, 2019). Es ist Grundlage für das in diesem Projekt durchzuführende Monitoring von Plastik in der Wassersäule und an der Wasseroberfläche der unteren Warnow bei Kessin. Die so erhobenen Daten münden in Berechnungen von Plastikfrachten der Warnow in die Ostsee.

3 Methodik

3.1 Untersuchungsgebiet

Die Warnow ist Teil der Flussgebietseinheit Warnow-Peene. Die mittlere langjährige Wasserführung beträgt im Unterlauf $19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Die mittlere Abflusspende beträgt $6,37 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Auf ihrem 3.304 km^2 großen Einzugsgebiet (Abbildung 1) befinden sich über 350 Seen, die größer als 1 ha sind. Die Warnow hat ein nival-pluviales hydrologisches Regime mit Abflussspitzen im zeitigen Frühjahr und Niedrigwasserphasen im Sommer.

Das Klima im Warnow-Einzugsgebiet ist atlantisch geprägt mit einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagshöhe von 647 mm und einer mittleren Jahrestemperatur von $9,1^\circ \text{ C}$. Das Einzugsgebiet ist durch Ackerland dominiert (58 %). Weitere bedeutende Landnutzungsformen sind Wald (21 %) und Grünland (13 %). Feuchtgebiete (4 %), besiedelte Gebiete (3 %) und offene Wasserflächen ($< 1 \%$) beanspruchen nur kleine Teile des Einzugsgebietes. Typisch für die Region sind künstliche Dränagen. Die Einwohnerdichte im Gebiet liegt in den meisten Gebieten zwischen 25 und 50 Einwohnern km^{-2} . Der Ballungsraum Rostock hat mit über 1000 Einwohnern km^{-2} eine hohe Bevölkerungsdichte.

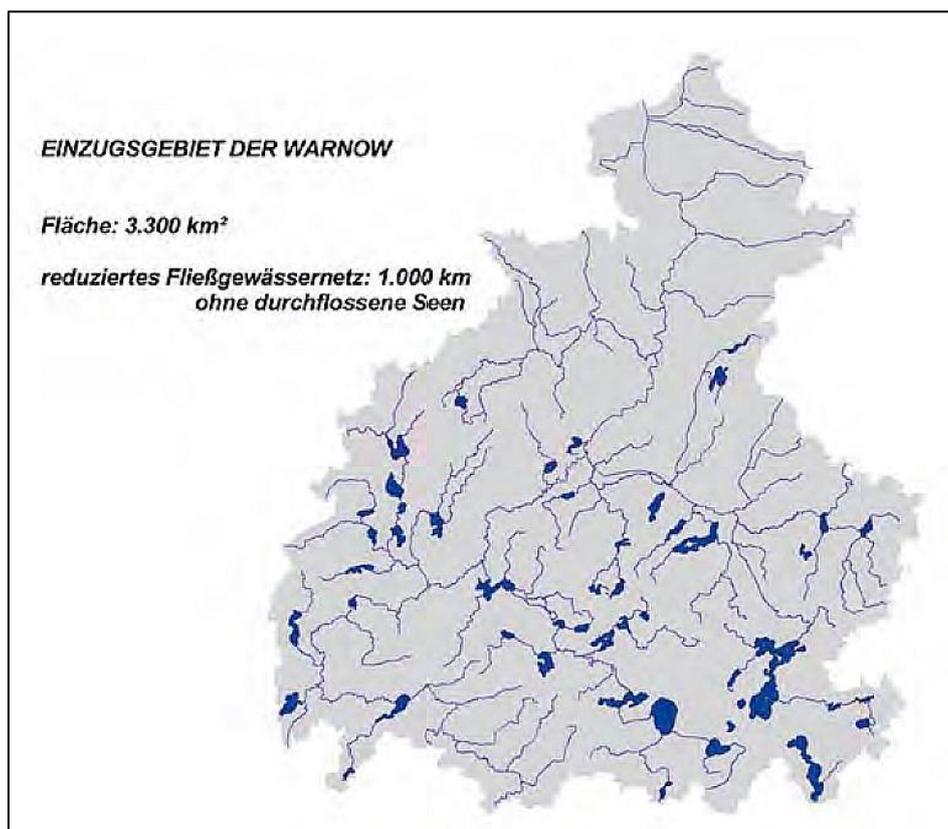


Abbildung 1: Topographische Skizze des Einzugsgebietes der Warnow (Quelle: BUND, 2018). Blaue Flächen und Linien sind stehende und fließende Gewässer.

Abbildung 2 zeigt den mündungsnahen Bereich des Untersuchungsgebietes. Die Warnow ist ein eutropher, teilweise staugeregelter Tieflandfluss. Das mittlere Sohlgefälle beträgt $0,42 \text{ ‰}$. Bis 1939 erfolgten erhebliche Begradigungen der Warnow zwischen Rostock und Bützow. Das letzte Stück der sich stromabwärts anschließenden Unterwarnow, die unterhalb des Mühlendamms beginnt, ist ein inneres Küstengewässer mit gegenüber den limnischen Abschnitten erhöhter Salinität. Die Warnow unterliegt starker Nutzung durch Boots- und Angeltourismus. Bei Kessin (siehe Abbildung 2) befindet sich ein stationärer Aalhamen, mit dem auch stromabwärts treibender Müll überwacht wird.

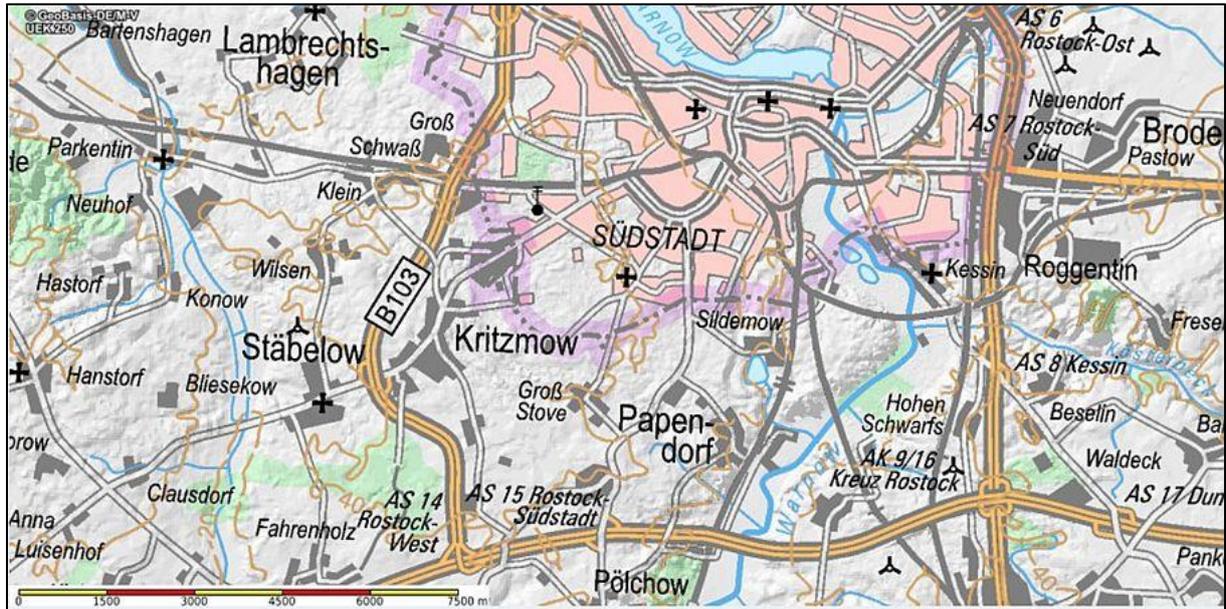


Abbildung 2: Topografische Skizze des mündungsnahen Teils des Untersuchungsgebietes (Quelle: geoportal-mv.de/gaia).

3.2 Monitoringverfahren

3.2.1 Bestimmung der hydrologischen Rahmenbedingungen

Für die Ermittlung der „Plastikfracht“ wurden neben der Masse schwebender und treibender Plastikpartikel

- der durchflossene Querschnitt der Warnow am Aalhamen Kessin,
- der Querschnitt der Öffnung des Aalhamens und
- der Durchfluss am Standort herangezogen.

Am Aalhamen wurden mittels RTK GPS am 18.11.2021 die Geländekoordinaten im Querprofil der Warnow beginnend in Fließrichtung gesehen am rechten Rand (Start ca. 5 m im Vorland des Gewässerprofils) in Abständen von < 1 m zuzüglich markanter Punkte wie Böschungs- und Uferober- oder -unterkanten aufgenommen. Die Flussachse diente hierbei als Bezugspunkt. Die Geländekoordinaten wurden im Koordinatenreferenzsystem ETRS89 / UTM Zone 33N (zE-N) (EPSG-Code 5650) und im Höhensystem DHHN 2016 aufgenommen. An zwei Punkten am rechten Ufer wurde der Wasserspiegel aufgenommen. Anhand dieser Vermessungen wurde der durchflossene Querschnitt mit der Software ®Surfer Version 8.0 (Golden Software, Golden, USA) berechnet.

Vom LUNG M-V wurden korrigierte Querschnittsflächendaten und eine Schlüsselkurve zur Berechnung der durchflossenen Warnowquerschnitte am Aalhamen in Kessin zur Verfügung gestellt. Mittlere tägliche Abfluss- und Pegelraten der Pegel Bützow und Rostock Geinitzbrücke wurden vom StALU MM ebenfalls zur Verfügung gestellt.

Die Wasserstände an den o.g. Pegeln [m NHN] ergaben sich als Summen aus den Pegelnullpunkten [m NHN] und den Pegelwerten [m]. Die Wasserstände in Kessin [m NHN] wurden anschließend mittels linearer Interpolation der Wasserstände an den beiden Pegeln bestimmt. Mit der o.g. Schlüsselkurve wurden dann die durchflossenen Querschnitte der Warnow [m²] bestimmt. Die effektive Fangöffnung des Aalhamens besitzt eine Querschnittsfläche von 36 m². Es wurden schließlich die Quotienten der Querschnittsflächen des Aalhamens und der Warnow berechnet. Die mittleren täglichen Abflüsse vom Pegel Rostock-Geinitzbrücke [m³ s⁻¹] wurden mit dem Quotienten zur Berechnung der Hamendurchflüsse multipliziert.

3.2.2 Erfassung des Makroplastiks in der Wassersäule

Der Aalhamen bei Kessin wurde vom Institut für Fischerei der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) regulär zweimal wöchentlich im Mai, Juni, September, Oktober und November 2022 geleert. Für das Monitoring von Makroplastik in der Wassersäule wurde der dabei als „Beifang“ aufgefangene Müll gesammelt und der ARSU GmbH Oldenburg zur Auswertung überlassen. Die Proben wurden nach der aktuellen an die Ostsee angepassten OSPAR-Methode klassifiziert und luftgetrocknet gewogen. Die Gesamtfracht des in der Wassersäule schwebenden Makroplastiks der Warnow wurde für

die Monate, in denen Beprobungen stattfanden, mit folgender Gleichung berechnet:

$$L_{\text{schw}} = \frac{Q_{\text{Warnow}}}{Q_{\text{Hamen}}} \cdot M_{\text{Hamen}} \quad (1)$$

Dabei ist

- L_{schw} die tägliche Fracht des in der Wassersäule schwebenden Makroplastiks [g d^{-1}],
- Q_{Warnow} der mittlere tägliche Durchfluss der Warnow [$\text{m}^3 \text{d}^{-1}$] am Pegel Rostock-Geinitzbrücke,
- Q_{Hamen} der mittlere tägliche Hamendurchfluss [$\text{m}^3 \text{d}^{-1}$], und
- M_{Hamen} die mittlere tägliche Makroplastikfangrate [g d^{-1}].

L_{schw} wird zusätzlich in g m^{-3} angegeben.

Für die Monate, in denen keine Beprobungen des Aalhamens stattfanden, wurden anhand einer linearen Regressionsbeziehung zwischen den Fangraten des Hamens und mittleren monatlichen Abflüssen nach Schulz (2019) monatliche Fangraten [Teile Monat^{-1}] aus den mittleren monatlichen Abflüssen der Warnow bei Rostock-Geinitzbrücke hochgerechnet. Die Regressionsbeziehung von Schulz (2019) lautet:

$$\text{Fangraten} = 0,041 \cdot Q_{\text{Warnow-M}} \quad (2)$$

- Dabei ist $Q_{\text{Warnow-M}}$ der mittlere monatliche Abfluss am Pegel Rostock-Geinitzbrücke [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$],
- Fangraten sind angegeben in [$\text{Teile Stelltag}^{-1}$].

Aus den Fangdaten des Hamens von 2016 bis 2022 wurde der Median als konservativer Schätzwert der mittleren Massen der Müllteile mit $0,8 \text{ g Teil}^{-1}$ bestimmt. Die monatlichen Makroplastikfrachten ergaben sich wie folgt:

$$L_{\text{schw}} = 0,8 \text{ g Teil}^{-1} \cdot \text{Fangraten} \cdot \text{Monatstage} \quad (3)$$

- Dabei ist Monatstage die Anzahl der Tage des jeweiligen Monats [-].

Die jährliche Fracht von Makroplastik wurde als Summe der monatlichen Makroplastikfrachten im Jahr 2022 berechnet.

3.2.3 Erfassung des auf der Wasseroberfläche treibenden Makroplastiks

Das auf der Wasseroberfläche an einem Querschnitt nahe des Aalhamens bei Kessin durchtreibende Makroplastik wurde von einem Steg aus in Perioden von 60 min erfasst. Dazu wurden an der Wasseroberfläche beobachtete Müllteile aufgenommen und eingesammelt. Alle Müllteile wurden mit Hilfe des Erfassungsprotokolls für das Strandmüll-Spülsaummonitoring M-V kategorisiert, gezählt und lufttrocken gewogen (Genauigkeit 0,01 g).

Die Erfassungen erfolgten im vierwöchentlichen Rhythmus von Januar bis Dezember 2022 hinweg. Insgesamt waren zwölf Erfassungen zwischen dem 01.01. und 31.12.2022 mit jeweils einer Erfassung pro Monat in ca. vierwöchentlichen Abständen geplant. Die Lichtverhältnisse und die Trübung des Wassers wurden hierbei als mögliche die Beobachtungen beeinflussende Faktoren dokumentiert.

Die Berechnung der Fracht des auf der Wasseroberfläche treibenden Makroplastiks erfolgte anhand folgender Gleichung:

$$L_{tr} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \cdot 24h \quad (4)$$

Dabei ist

- L_{tr} die Fracht des auf der Wasseroberfläche treibenden Makroplastiks [$g d^{-1}$],
- m die Masse des auf der Wasseroberfläche treibenden Makroplastiks in den einzelnen Erfassungen [g] und
- n die Anzahl der Erfassungen [-].

L_{tr} wird zusätzlich in $g m^{-3}$ angegeben.

3.2.4 Erfassung des in der Wassersäule schwebenden Mikro- und Mesoplastiks

Die Beprobung von schwebendem Mikro- und Mesoplastik erfolgte mit Neustonnetzen mit einer Maschenweite von 330 μm . Es wurden an einem Fließquerschnitt nahe des Aalhamens bei Kessin von einem verankerten Boot und von einem Steg aus mehrere Hols mit Neustonnetzen gegen die Strömung der Warnow durchgeführt. Es erfolgten sechs bis acht Hols regelmäßig über den Fließquerschnitt verteilt, davon wurden zwei Hols in unterschiedlichen Wassertiefen jeweils vom Steg aus durchgeführt. An den Enden der Neustonnetze war ein Durchflussmesser angebracht, um Durchflussmengen zu bestimmen und damit die Fangraten F in [$g m^{-3}$] zu standardisieren. Die Hols dauerten jeweils acht bis 20 Minuten in Abhängigkeit von den Netzdurchflüssen und den Schwebstofffangraten, d.h. bei hohen Netzdurchflüssen und Fangraten war die Dauer jeweils gering. Es fanden insgesamt zwölf Beprobungskampagnen zwischen dem 01.01. und 31.12.2022 mit jeweils einer Kampagne pro Monat in ca. vierwöchentlichen Abständen statt.

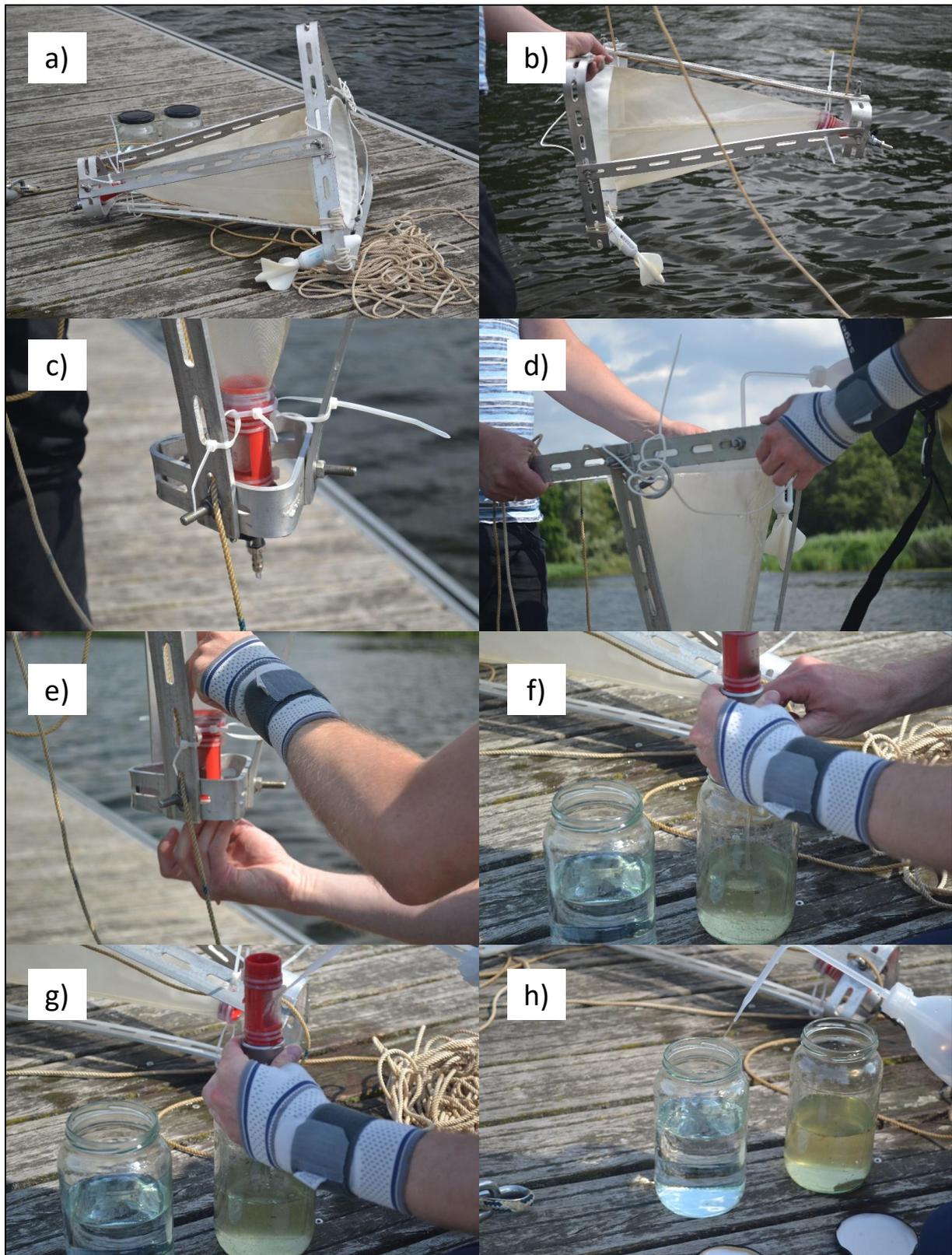


Abbildung 3: Mikroplastikbeprobung mit einem Neustonnetz vom Steg des Olympischen Ruder-Clubs Rostock von 1956 e.V. in Kessin: a) Neustonnetz in einem Stahlrahmen mit montiertem Flowmeter, b) zu Wasser lassen des Neustonnetzes, c) im Stahlrahmen befestigtes Neustonnetz mit Netzbecher, d) Spülen des Neustonnetzes mit destilliertem Wasser nach einem Hol, e) Herausschrauben des Netzbechers, f) Abfüllen des Fanges aus dem Netzbecher in einen Probenbehälter aus Glas, g) Spülen des Netzbechers, h) Abfüllen der Blindprobe mit destilliertem Wasser aus einer Spritzflasche in einen Glasbehälter.

Abbildung 3 dokumentiert die Probenahme mit einem Neustonnetz. Aus den Hols wurden Plastik- und andere Müllteile mit einer Größe > 2,5 cm manuell separiert. Diese Fraktion wurde anschließend gewogen.

Die einzelnen Hols einer Kampagne wurden anschließend gepoolt und kühl und feucht ins Labor transportiert. Im Labor erfolgte der Probenaufschluss mit 10 %-iger KOH-Lösung. Die so behandelten Proben wurden über 24 Stunden in einem Oszillationsinkubator (145 rpm) bei 60°C inkubiert, um eine vollständige Oxidation partikulärer organischer Substanz zu erreichen, welche die Messergebnisse beeinflussen könnte. Anschließend erfolgte eine Vakuumfiltration mit einem Mikrofasertfilter. Bei allen Schritten der Probenahme und der Probenbehandlung im Labor wurde eine Blindprobe mitgeführt und bestimmt, um die Kontaminationen zu quantifizieren. Die Bestimmung der Massen von Mikro- und Mesoplastik wurde mittels Pyrolyse GC/MS vorgenommen.

Die Gesamtfracht des in der Wassersäule schwebenden Mikro- und Mesoplastiks der Warnow wurde mit folgender Gleichung berechnet:

$$L_M = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n Q_{Hol i}} \cdot Q_{Warnow} \quad (5)$$

Dabei ist

- L_M die Fracht des in der Wassersäule schwebenden Mikro- und Mesoplastiks [g d^{-1}],
- m die Masse des in der Wassersäule schwebenden Mikro- und Mesoplastiks in den einzelnen Hols [g],
- Q_{Hol} der Durchfluss während der einzelnen Hols [m^3] und
- Q_{Warnow} der mittlere tägliche Durchfluss der Warnow [$\text{m}^3 \text{d}^{-1}$] am Pegel Rostock-Geinitzbrücke.

L_M wird zusätzlich in $\mu\text{g l}^{-1}$ angegeben.

Die Massen der zuvor separierten Plastikteile > 2,5 cm (Makroplastik) wurden in gleicher Weise zu einer Fracht verrechnet. Das Ergebnis ging jedoch nicht in die Summe der „Plastikfracht“ der Warnow (L_{Warnow}) ein, da das schwebende Makroplastik (L_{schw}) bereits mit den Daten aus dem Aalhamen berücksichtigt wird. Die Information dient der Überprüfung von L_{schw} . Für die Berechnungen der Plastikfrachten wurde jeweils die Hälfte der Bestimmungsgrenze herangezogen, wenn die Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, das jeweilige Polymer jedoch nachweisbar war.

3.2.5 Berechnung der Plastikfracht

Die „Plastikfracht“ der Warnow wurde mit folgender Gleichung berechnet:

$$L_{Warnow} = L_{schw} + L_{tr} + L_m \quad (6)$$

Dabei ist

- L_{Warnow} die „Plastikfracht“ der Warnow [g d^{-1}]. L_{Warnow} wird zusätzlich in g m^{-3} angegeben.
- L_{schw} die tägliche Fracht des in der Wassersäule schwebenden Makroplastiks [g d^{-1}],
- L_{tr} die Fracht des auf der Wasseroberfläche treibenden Makroplastiks [g d^{-1}] und
- L_{M} die Fracht des in der Wassersäule schwebenden Mikro- und Mesoplastiks [g d^{-1}].

4 Ergebnisse

4.1 Vermessung des Flussquerschnittes der Warnow am Aalhamen bei Kessin

Abbildung 4 zeigt den Flussquerschnitt der Warnow am Aalhamen von Kessin. Das Querprofil basiert auf der Vermessung am 18.11.2021. Der Wasserspiegel lag am 18.11.2021 um 11:10 Uhr im Höhensystem DHHN 2016 bei 0,326 m. Die maximale Wassertiefe betrug 4,30 m. Die mit der geostatistischen Software Surfer (Version 8.0, Golden Software, Colorado, USA) berechnete Fläche des durchflossenen Flussquerschnittes betrug 103,92 m². Dieser Wert weicht von den Ergebnissen anderer Berechnungen des LUNG M-V ab, deren Ergebnisse für weitere Berechnungen herangezogen wurden.

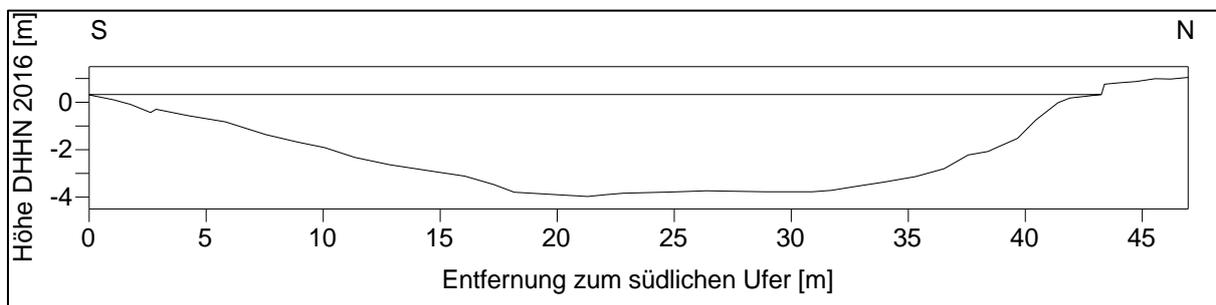


Abbildung 4: Querprofil der Warnow am Aalhamen von Kessin. Das Querprofil beruht auf einer Vermessung am 18.11.2021. Die waagerechte obere Linie markiert den Wasserspiegel bei einer Höhe von 0,326 m.

4.2 Erfassung des Makroplastiks in der Wassersäule

Tabelle 1 fasst die Ergebnisse der Erfassung der monatlichen Makroplastikfrachten im Jahr 2022 zusammen. Die monatlichen Frachten von Makroplastik bewegten sich zwischen 0,0 und 33,49 g Monat⁻¹. Die täglichen Frachten von Makroplastik lagen zwischen 0,0 und 1,20 g d⁻¹. Die Jahresfracht von Makroplastik betrug im Jahr 2022 131,6 g Jahr⁻¹.

Tabelle 1: Mittlere tägliche und monatliche Frachten von Makroplastik der Warnow am Aalhamen von Kessin im Jahr 2022. Gelbe Markierungen zeigen Zeiträume an, in denen der Aalhamen zur Bestimmung der Makroplastikfracht beprobt wurde. Frachten in farblich nicht markierten Monaten wurden anhand einer Regressionsbeziehung von Schulz (2019) hochgerechnet.

Monat	Monatsfracht [g Monat ⁻¹]	mittlere Tagesfracht [g d ⁻¹]
1	23,78	0,77
2	33,49	1,20
3	27,90	0,90
4	15,55	0,52
5	16,70	0,54
6	1,39	0,05
7	3,37	0,11
8	2,31	0,07

Monat	Monatsfracht [g Monat ⁻¹]	mittlere Tagesfracht [g d ⁻¹]
9	0,00	0,00
10	0,00	0,00
11	0,00	0,00
12	7,12	0,23
Mittelwert	10,97	0,36

4.3 Erfassung des auf der Wasseroberfläche treibenden Makroplastiks

Die Beobachtungen von treibendem Makroplastik ergaben sehr geringe Befunde. Bei den meisten Beobachtungen wurde kein treibendes Makroplastik entdeckt. Tabelle 2 zeigt die Metadaten der Erfassungen. Tabelle 3 gibt die Ergebnisse der Beobachtungen wieder. Die monatlichen Frachten treibenden Plastiks in der Warnow bei Kessin bewegten sich zwischen 0,0 und 685,77 g Monat⁻¹. Entsprechend lagen die mittleren täglichen Frachten treibenden Plastiks in der Warnow im Jahr 2022 zwischen 0,0 und 22,12 g d⁻¹. Die Jahresfracht treibenden Plastiks betrug in der Warnow im Jahr 2022 950,3 g Jahr⁻¹.

Tabelle 2: Metadaten der Erfassungen von an der Wasseroberfläche treibendem Makroplastik.

Datum	Uhrzeit	Teilnehmende	Wellenbewegung/Strömung	Wind	Regen/Schneefall	Temperatur	Wolkenbedeckung/Nebel	Eisgang	Wassertrübung
20.01.2022	9:10 - 14:45	Marcus Schulz, Uwe Raschka, Dennis Gräwe	deutlich, Wellenhöhe 20 cm	NW 5-6	nein	2 °C	60%	nein	mäßig - stark
16.02.2022	13:00 - 14:00	Marcus Schulz, Uwe Raschka	gering, Wellenhöhe 5-10 cm	W 5-6, böig	Starke Regenschauer	8°C	100%	nein	stark
16.03.2022	14:37 - 15:37	Marcus Schulz, Uwe Raschka, Dennis Gräwe	mäßig, Wellenhöhe < 5 cm	W 2-3	nein	5°C	100%	nein	stark
21.04.2022	14:20 - 15:20	Marcus Schulz, Uwe Raschka	kaum Wellenbewegung, Strömung mäßig	O 3-4	nein	12°C	80%	nein	stark
18.05.2022	13:00 - 14:00	Marcus Schulz, Uwe Raschka, Dennis Gräwe, NDR	kaum Wellenbewegung, Strömung schwach bis mäßig	SW 2-3	nein	25°C	5%	nein	stark
15.06.2022	13:00 - 14:00	Marcus Schulz, Eva	kaum Wellenbewe-	SW 2	nein	20°C	50%	nein	stark

Datum	Uhrzeit	Teilnehmende	Wellenbewegung/Strömung	Wind	Regen/Schneefall	Temperatur	Wolkenbedeckung/Nebel	Eisgang	Wassertrübung
		Maria Meckel	gung, Strömung sehr schwach						
13.07.2022	13:00 - 14:00	Marcus Schulz, Uwe Raschka, Dennis Gräwe	kaum Wellenbewegung, Strömung sehr schwach, nach zwei Stunden auftretende leichte Wellenbewegung	W 1, nach zwei Stunden auffrischend W 4-5	nein	25°C	100%, nach einer Stunde aufklarend bis zu 20%	nein	stark
17.08.2022	12:00 - 15:00	Marcus Schulz, Uwe Raschka	kaum Wellenbewegung, Strömung sehr schwach	W 1	nein	29°C	50%	nein	stark
15.9.2022	09:00 - 10:00	Marcus Schulz, Uwe Raschka	Mäßige Wellenbewegung, an der Oberfläche windinduzierte stromaufwärtige Strömung	W 4-5	nein	16°C	60%	nein	stark
13.10.2022	14:00 - 15:00	Marcus Schulz, Uwe Raschka	Keine Wellenbewegung, sehr schwache Strömung	W 2-3	nein	14°C	60%	nein	stark
9.11.2022	14:37 - 15:37	Marcus Schulz, Uwe Raschka	Kaum Wellenbewegung, sehr schwache Strömung	W 3	nein	16°C	50%	nein	stark
7.12.2022	14:30 - 15:30	Marcus Schulz, Uwe Raschka, Dennis Gräwe	Mäßige Wellenbewegung, schwache Strömung	W 4-5	Graupelschauer	1°C	88%	nein	mäßig

Tabelle 3: Ergebnisse der Erfassungen von an der Wasseroberfläche treibendem Makroplastik. Die Tagesfrachten ergaben sich aus dem Produkt der Tagesmassen und 24 h. Die Monatsfrachten ergaben sich aus dem Produkt der Tagesfrachten und der jeweiligen Anzahl der Tage des betreffenden Monats.

Datum	Müllteil	Farbe	Größe [cm] (ca.)	Material	J-Listenkategorie (falls erkennbar)	Masse [g]	Fracht [g d ⁻¹]	Fracht [g Monat ⁻¹]	Bemerkungen
20.01.2022	-						0,00	0,0	
16.02.2022	-						0,00	0,0	
16.03.2022	4	weiß	3,5	Celluloseacetat	Zigarettenkippe	0,9217	22,12	685,77	ließen sich nicht mehr

Datum	Müllteil	Farbe	Größe [cm] (ca.)	Material	J-Listen-Kategorie (falls erkennbar)	Masse [g]	Fracht [g d ⁻¹]	Fracht [g Monat ⁻¹]	Bemerkungen
									einzeln wiegen
21.04.2022	1	weiß	4,0	Celluloseacetat	Zigarettenkippe	0,3587	8,6088	258,264	
21.04.2022	1	weiß	4,0	Plastik	Bonbonverpackung				Das Müllteil ließ sich nicht einfangen.
21.04.2022	1	weiß	3,0	Plastik	Plastikfragment 2,5-50 cm				Das Müllteil ließ sich nicht einfangen.
18.05.2022	1	farblos	2,0	Plastik	Plastikfragment < 2,5 cm	0,0087	0,21	6,5	
15.06.2022	-						0,00	0,0	
13.07.2022	-						0,00	0,0	
17.08.2022	-						0,00	0,0	
15.9.2022	-						0,00	0,0	
13.10.2022	-						0,00	0,0	
09.11.2022	-						0,00	0,0	
07.12.2022	-						0,00	0,0	
Mittelwert							2,61	79,21	

4.4 Erfassung des in der Wassersäule schwebenden Mikro- und Mesoplastiks

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Netzdurchflüsse bei den Beprobungen von Mikro- und Mesoplastik und die zeitlich korrespondierenden Warnowabflüsse. Das Maximum der Warnowabflüsse im Winter und zeitigen Frühjahr und niedrige Abflüsse im Sommerhalbjahr entsprechen dem typischen mitteleuropäischen nivalpluvialen Abflussregime. Die Netzdurchflüsse korrelierten positiv mit den Warnowabflüssen.

Die Beprobungen der Wassersäule mit einem Neustonnetz ergaben nur in einem Fall Konzentrationen eines Polymers oberhalb der Bestimmungsgrenze. In allen anderen Ergebnissen lagen die ermittelten Polymerkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Jedoch konnten in der Regel mehrere Plastikpolymere in den Proben qualitativ nachgewiesen werden. Die Bestimmungsgrenzen der Sammelproben waren abhängig von den Netzdurchflüssen. In den Blindproben konnten ebenfalls keine Plastikpolymere quantifiziert werden. Tabelle 5 fasst die Ergebnisse der Beprobungen der Wassersäule zusammen. Aus diesen Ergebnissen folgen die in Tabelle 6 gezeigten mittleren täglichen und monatlichen Mikroplastikfrachten. Die monatlichen Mikroplastikfrachten bewegten sich im Jahr 2022 in

der Warnow zwischen 0,0 und 5,776 kg Monat⁻¹. Entsprechend lagen die mittleren täglichen Mikroplastikfrachten im Jahr 2022 in der Warnow zwischen 0,0 und 190,01 g d⁻¹. Die Gesamtfracht an Mikroplastik betrug in der Warnow bei Kessin im Jahr 2022 12,71 kg Jahr⁻¹.

Tabelle 4: Netzdurchflüsse bei den Mikro- und Mesoplastikbeprobungen und zeitlich korrespondierende mittlere monatliche Warnowabflüsse am Pegel Rostock-Geinitzbrücke.

Datum	Netzdurchfluss [m ³]	Warnowabfluss [m ³ s ⁻¹]
20.01.2022	28,39	23,39
16.02.2022	28,90	36,46
16.03.2022	14,76	27,44
21.04.2022	17,43	15,80
18.05.2022	2,01	8,21
15.06.2022	0,23	5,66
13.07.2022	0,59	3,31
17.08.2022	0,25	2,27
15.09.2022	1,08	3,59
13.10.2022	0,28	3,79
09.11.2022	0,30	4,48
07.12.2022	1,42	7,01

Tabelle 5: Ergebnisse der Erfassungen von Mikro- und Mesoplastik in der Wassersäule. Gelbe Markierungen zeigen den qualitativen Nachweis des Polymers an (BG: Bestimmungsgrenze). *: Die Berechnung erfolgte mit der Hälfte der Bestimmungsgrenze, wenn die Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze lagen.

Datum	Polymer	Probe [µg l ⁻¹]	Blindwert [µg l ⁻¹]	Fracht* [mg s ⁻¹]	Fracht* [g d ⁻¹]	Fracht* [g monat ⁻¹]
20.01.2022	Polypropylen	< 0,001	< BG	0,0088	0,76	23,0
	Polyethylen	0,05	< BG	0,8770	75,77	2303,5
	Polyethylenterephthalat	< 0,001	< BG			
	Polystyrol	< 0,001	< BG	0,0088	0,76	23,0
16.02.2022	Polymethylmethacrylat	< 0,001	< BG			
	Polypropylen	< 0,001	< BG	0,0158	1,37	41,5
	Polyethylen	< 0,001	< BG	0,0158	1,37	41,5
	Polyethylenterephthalat	< 0,001	< BG			
	Polystyrol	< 0,001	< BG	0,0158	1,37	41,5
16.03.2022	Polymethylmethacrylat	< 0,001	< BG			
	Polypropylen	< 0,002	< BG	0,0244	2,10	64,0
	Polyethylen	< 0,002	< BG	0,0244	2,10	64,0
	Polyethylenterephthalat	< 0,002	< BG			
	Polystyrol	< 0,002	< BG	0,0244	2,10	64,0

Datum	Polymer	Probe	Blindwert	Fracht*	Fracht*	Fracht*
		[$\mu\text{g l}^{-1}$]	[$\mu\text{g l}^{-1}$]	[mg s^{-1}]	[g d^{-1}]	[g monat^{-1}]
	Polymethylmethacrylat	< 0,002	< BG			
21.04.2022	Polypropylen	< 0,002	< BG			
	Polyethylen	< 0,002	< BG	0,0211	1,82	55,5
	Polyethylenterephthalat	< 0,002	< BG			
	Polystyrol	< 0,002	< BG			
	Polymethylmethacrylat	< 0,002	< BG			
18.05.2022	Polypropylen	< 0,015	< BG	0,0515	4,45	135,3
	Polyethylen	< 0,015	< BG	0,0515	4,45	135,3
	Polyethylenterephthalat	< 0,015	< BG			
	Polystyrol	< 0,015	< BG			
	Polymethylmethacrylat	< 0,015	< BG			
15.06.2022	Polypropylen	< 0,13	< BG			
	Polyethylen	< 0,13	< BG	0,5376	46,45	1412,1
	Polyethylenterephthalat	< 0,13	< BG			
	Polystyrol	< 0,13	< BG			
	Polymethylmethacrylat	< 0,13	< BG			
13.07.2022	Polypropylen	< 0,05	< BG	0,0305	2,63	80,1
	Polyethylen	< 0,05	< BG	0,0305	2,63	80,1
	Polyethylenterephthalat	< 0,05	< BG			
	Polystyrol	< 0,05	< BG			
	Polymethylmethacrylat	< 0,05	< BG			
17.08.2022	Polypropylen	< 0,14	< BG			
	Polyethylen	< 0,14	< BG			
	Polyethylenterephthalat	< 0,14	< BG			
	Polystyrol	< 0,14	< BG			
	Polymethylmethacrylat	< 0,14	< BG			
15.09.2022	Polypropylen	< 0,34	< BG			
	Polyethylen	< 0,34	< BG	0,4804	41,51	1261,9
	Polyethylenterephthalat	< 0,34	< BG			
	Polystyrol	< 0,34	< BG			
	Polymethylmethacrylat	< 0,34	< BG			
13.10.2022	Polypropylen	< 0,45	< BG			
	Polyethylen	< 0,45	< BG			
	Polyethylenterephthalat	< 0,45	< BG			
	Polystyrol	< 0,45	< BG			

Datum	Polymer	Probe	Blindwert	Fracht*	Fracht*	Fracht*
		[$\mu\text{g l}^{-1}$]	[$\mu\text{g l}^{-1}$]	[mg s^{-1}]	[g d^{-1}]	[g monat^{-1}]
	Polymethylmethacrylat	< 0,45	< BG			
09.11.2022	Polypropylen	< 0,82	< BG			
	Polyethylen	< 0,82	< BG	2,1992	190,01	5776,4
	Polyethylenterephthalat	< 0,82	< BG			
	Polystyrol	< 0,82	< BG			
	Polymethylmethacrylat	< 0,82	< BG			
07.12.2022	Polypropylen	< 0,13	< BG			
	Polyethylen	< 0,13	< BG	0,4749	41,04	1247,50
	Polyethylenterephthalat	< 0,13	< BG			
	Polystyrol	< 0,13	< BG			
	Polymethylmethacrylat	< 0,13	< BG			

Tabelle 6: Mittlere tägliche und monatliche Mikroplastikfrachten in der Warnow bei Kessin im Jahr 2022.

Monat	Fracht	Fracht
	[g d^{-1}]	[g Monat^{-1}]
1	77,29	2349,56
2	4,04	122,93
3	6,18	188,00
4	1,26	38,37
5	9,87	300,18
6	30,17	917,31
7	16,55	503,12
8	0,00	0,00
9	41,51	1261,85
10	0,00	0,00
11	190,01	5776,44
12	41,04	1247,50
Mittelwert	34,83	1058,77

4.5 Gesamtplastikfrachten

Die monatlichen Gesamtplastikfrachten bewegten sich in der Warnow im Jahr 2022 zwischen 0,01 und 5,78 kg Monat^{-1} . Die Gesamtjahresfracht an Plastik betrug im Jahr 2022 in der Warnow 13,79 kg Jahr^{-1} . Der größte Anteil des in der Warnow transportierten Plastiks entfiel auf Mikroplastik (Abbildung 5).

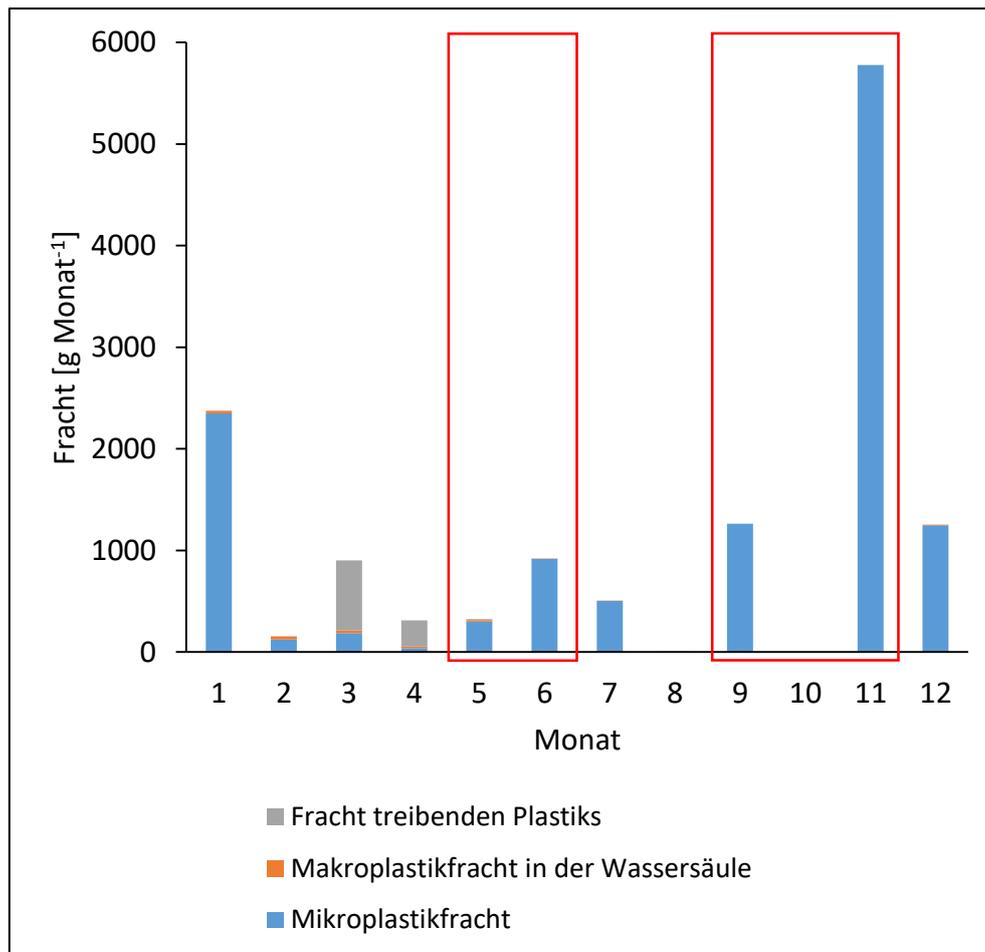


Abbildung 5: Monatliche Plastikfrachten in der Warnow bei Kessin im Jahr 2022. Rote Umrandungen zeigen Zeiträume an, in denen der Aalhamen bei Kessin beprobt wurde. Für Monate, in denen der Aalhamen nicht beprobt wurde, erfolgten Hochrechnungen der Frachten von Makroplastik in der Wassersäule anhand einer Regressionsbeziehung von Schulz (2019).

5 Diskussion

Die Frachten sämtlicher Plastikfraktionen, ermittelt durch Stichproben und Hochrechnungen, lassen den Schluss zu, dass diese im Beprobungszeitraum sehr gering waren. So lagen die Konzentrationen von Mikro- und Mesoplastik in der Wassersäule bis auf eine Ausnahme unter der Bestimmungsgrenze, obwohl beinahe regelmäßig ein oder drei Polymere in den Sammelproben nachgewiesen werden konnten. Diese waren die häufig verwendeten Standard- bzw. Massenkunststoffe Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS). In den Blindproben konnten keine Plastikpolymere quantifiziert werden.

Die geringen Gesamt-Plastikfrachten stehen im Gegensatz zu anderen Studien in Flüssen und Ästuarien in Europa und weltweit. So schätzten Tramoy et al. (2019) die Makroplastikfracht in der Seine auf 1.100 bis 5.900 t Jahr⁻¹. In einem kleinen Fluss bei Marseille, der Huveaune, betrug die Plastikfracht zwischen 1,1 und 5,8 t Jahr⁻¹ (Tramoy et al., 2022). Dabei bewegten sich die Abflüsse zwischen 0,1 und 70,2 m³ s⁻¹ und erreichten im arithmetischen Mittel 2,4 m³ s⁻¹. Damit liegen sie in derselben Größenordnung wie die mittleren täglichen Abflüsse in der Warnow bei Rostock-Geinitzbrücke, die sich im Beobachtungszeitraum zwischen 0,04 und 57,3 m³ s⁻¹ bewegten. Die Plastikfrachten in der Huveaune sind um mehrere Größenordnungen höher als in der Warnow. Dabei ließ die oben genannte Studie von Tramoy et al. (2022) sogar die Mikro- und Mesoplastikfrachten außer Acht.

Die Beprobungen mit dem Aalhamen erzielten Makroplastikfrachten, die zumeist geringer waren als die ohnehin niedrigen Mikro- und Mesoplastikfrachten. Das weist darauf hin, dass die Warnow bei Kessin tatsächlich sehr geringe Plastikfrachten aufweist. Die ländliche Prägung des Einzugsgebietes der Warnow mit einer geringen Besiedlungsdichte ist eine wahrscheinliche Erklärung dafür, dass die Plastikemissionen über Oberflächenabfluss in die Warnow sehr gering sind (Zhang, 2017). Siegfried et al. (2017) führen zudem die regional variierenden Mikroplastikbelastungen von Flüssen in Europa auf unterschiedliche Stände der Abwasserbehandlung zurück.

5.1 Diskussion der Methodik

Der vorliegende Bericht zur „Plastikfracht“ der Warnow stellt eine Pilotstudie dar. Deshalb sollen die angewandten Methoden nachfolgend einer kritischen Betrachtung unterzogen werden.

Die geringen Frachten in der Warnow mögen auf die Probenahme mit Neustonnetzen in einigen Sommermonaten mit geringen Durchflüssen zurückzuführen sein, bei denen das filtrierte Volumen weniger als 1 m³ betrug. Jedoch lagen auch bei wesentlich höheren Volumina bis zu 30 m³ filtrierten Flusswassers die Konzentrationen von Mikro- und Mesoplastik unter der Bestimmungsgrenze. Mit einer kleineren Maschenweite des Netzes wäre es eventuell möglich gewesen, höhere Fangraten zu erreichen, aber dann hätten sich die Netzmaschen sehr viel schneller mit natürlichen Schwebstoffen zugesetzt. Die ursprünglich vorgesehenen Holzzeiten

von einer halben Stunde wurden ohnehin nach den ersten Probenahmen wegen hoher Fangraten natürlicher Schwebstoffe auf 8 bis 20 Minuten verkürzt.

Der Einsatz des Flowmeters zur Bestimmung der Netzdurchflüsse hat sich in den meisten Fällen bewährt. Auffallend geringe Netzdurchflüsse wurden bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten ermittelt. Das mag in Zusammenhang mit der Tatsache stehen, dass das Flowmeter laut Herstellerangaben unter $0,5 \text{ m s}^{-1}$ Strömungsgeschwindigkeit nicht mehr linear misst. Die optimale Position des Flowmeters zum Neustonnetz wurde erst durch Versuche während der ersten Probenahmen bestimmt.

Der Einsatz einer Zentrifuge für die Beprobung von Mikro- und Mesoplastik war aus Kostengründen nicht möglich, und die damit filtrierte Wasservolumina hätten in den meisten Fällen unter den mit Neustonnetzen erzielten gelegen. Andere Methoden wie der Einsatz eines Hydrozyklons haben sich nicht bewährt (Schulz et al., 2021). Als eine vielversprechende neuartige alternative Methode hat sich die „Rakete“ erwiesen, eine mobile Probenahmeplattform für den Feldeinsatz, die die Anforderungen zur Herstellung brauchbarer Mikroplastikproben mit einer unteren Größengrenze von $10 \mu\text{m}$ unter Verwendung eines gekapselten Durchflussfiltrationskonzepts erfüllt (Lenz und Labrenz, 2018). Die Autoren und Entwickler dieses Gerätes empfehlen es für den weiteren Einsatz im Rahmen eines Monitorings von Mikroplastik.

Die Aufbereitung und Oxidation der Proben mit KOH entspricht dem Vorgehen, das von Lusher et al. (2013) für ein Monitoring von Mikroplastik in Fischen erfolgreich angewandt wurde. Die Aufbereitung der Proben mit KOH ist unter anderen Vorgehensweisen eine gängige Methode zur Reduktion der organischen Matrixbestandteile in der Mikroplastik-Probenvorbereitung. Alternativ können zur Reduktion der Organik oxidative, enzymatische oder saure Aufschlüsse herangezogen werden (Hurley et al., 2018; Lorenz et al., 2019; Pfeiffer und Fischer, 2020; Zarfl, 2019). Das analytische Verfahren der Pyrolyse GC-MS hat sich in Vorgängerstudien zur Massenbestimmung von Mikroplastik bewährt (Fries et al., 2013; Nuelle et al., 2014; Pojar et al., 2021). Gleichwohl war die Empfindlichkeit der Analysenmethode in dieser Studie meistens nicht ausreichend, um die sehr geringen Mikroplastikkonzentrationen in den Netzfängen zu quantifizieren.

Für die Berechnung von Mikroplastikfrachten wurde in dieser Studie bei Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze jeweils die Hälfte der Bestimmungsgrenze verwendet. Dieses Verfahren stellt einen Kompromiss mit anderen Verfahren dar, welche eine Konzentration von null oder in Höhe der Bestimmungsgrenze verwenden. Letzteres wäre vorzuziehen, wenn eine „worst case“-Betrachtung erfolgen soll. Das war jedoch nicht Ziel der vorliegenden Studie. Die hohen berechneten Mikroplastikfrachten im November 2022 beruhen auf der hohen Bestimmungsgrenze bei dieser Sammelprobe. Eine Möglichkeit, solchen Ausreißern zu begegnen, ist, Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze gleich null zu setzen. Dann wären jedoch die Mikro- und Mesoplastikfrachten bis auf eine Ausnahme nicht mehr abschätzbar.

Auch die sehr kleinen Frachten des an der Wasseroberfläche treibenden Plastiks sind im Kontext geringer Plastikemissionen in die Warnow zu interpretieren. Die Beobachtung von einem Boot aus hat sich als nicht praktikabel erwiesen, da die Beobachtungshöhe zu gering war und durch die Spiegelung des Wassers so kein treibendes Makroplastik erkannt werden konnte. Da das Boot zudem wegen der Strömung verankert sein musste, konnte treibendes Makroplastik insbesondere bei hoher Wasserführung und somit großen Strömungsgeschwindigkeiten nicht eingefangen werden. Daher wurde der Beobachtungsstandpunkt auf den Steg des Olympischen Ruder-Clubs Rostock von 1956 e.V. verlegt, so dass zumindest das in der Nähe des Stegs treibende Plastik gezählt, gefangen und anschließend im Labor gewogen werden konnte. Es wäre für die Beobachtungen wünschenswert gewesen, die Erfassungen von einem erhöhten und zentralen Standpunkt wie einer Brücke durchzuführen (González-Fernández & Hanke, 2017). In Ermangelung dessen war die Beobachtung vom Steg aus die bestmögliche Methode.

Die geringen Frachten von Makroplastik in der Wassersäule stehen im Kontext der geringen Frachten der anderen beiden Fraktionen. Im Jahr 2022 waren die ermittelten Makroplastikfrachten vermutlich wegen der sehr geringen Abflüsse der Warnow im Sommerhalbjahr besonders niedrig im Vergleich zu den Frachten der Vorjahre (Schulz, 2019). Die Hochrechnung der Makroplastikfrachten für Monate, in denen der Aalhamen nicht beprobt wurde, basiert auf einer Regressionsbeziehung von Schulz (2019), welche statistische Unsicherheiten birgt. Das Heranziehen des Medians der Massen von Müllteilen aus den Vorjahren bedeutet eine konservative Schätzung, da durch Ausreißer und nicht normal verteilte Daten der Mittelwert der Massen sehr viel höher als der Median ist. Die Frachten der Hochrechnungen sind insgesamt unsicherer als die Frachten, die anhand von tatsächlichen Hamenfängen berechnet wurden.

Zusammenfassend war das Ensemble der in dieser Pilotstudie angewandten Methoden geeignet, um eine Abschätzung der Plastikfracht in der Warnow zu erhalten. Die geringen Frachten erklären sich weniger durch mangelnde Effektivität des Monitorings als durch die geringe Plastikbelastung der Warnow. Gleichwohl gibt es derzeit kaum Vergleichsmöglichkeiten, da bisherige Studien andere Systeme untersuchten und andere Methoden verwendeten. Bisherige Studien zur Mikroplastikbelastung von Fließgewässern erfassten nur Partikelkonzentrationen und –frachten und keine Massenfrachten. Daher ist ein Vergleich mit anderen Studien nur sehr bedingt möglich.

6 Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Dennis Gräwe vom LUNG M-V für die persönliche Unterstützung bei den Probenahmen an der Warnow bei Kessin, für die Bereitstellung hydrologischer Daten und für die Betreuung des Projektes. Unser Dank gilt weiterhin Jens Frankowski vom Institut für Fischerei der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern für die Bereitstellung der Fangdaten des Aalhamens bei Kessin. Wir danken dem Olympischen Ruder-Club Rostock von 1956 e.V. für die großzügige regelmäßige Bereitstellung eines Ruderbootes und für die Nutzung des Steges an der Warnow. Das Projekt wurde finanziert vom LUNG M-V.

7 Literatur

BUND, 2018. Bio-Modellregion Warnow. Studie des BUND Landesverbandes Mecklenburg-Vorpommern, 28 pp.

Derraik J. G. B., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44, 842-852.

EU, 2008. Marine Strategy Framework Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:164:0019:0040:EN:PDF> (accessed 28.2.2013).

EU, 2010. Commission Decision of 1 September 2010 on criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters (2010/477/EU). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:232:0014:0024:EN:PDF> (accessed 28.2.2013).

Fries E., Dekiff J. H., Willmeyer J., Nuelle M.-T., Ebert M., Remy D., 2013. Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. *Environmental Science: Processes Impacts* 15, 1949–1956.

González-Fernández D., Hanke G., 2017. Toward a Harmonized Approach for Monitoring of Riverine Floating Macro Litter Inputs to the Marine Environment. *Frontiers in Marine Science*, doi: 10.3389/fmars.2017.00086.

González-Fernández D., Hanke G., and the RiLON network, 2018. Floating Macro Litter in European Rivers - Top Items, EUR 29383 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-96373-5, doi:10.2760/316058, JRC108172.

Gregory M. R., 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364, 2013–2025.

Hurley R. R., Lusher A. L., Olsen M., Nizzetto L., 2018. *Environmental Science & Technology* 52 (13), 7409-7417. DOI: 10.1021/acs.est.8b01517

Kühn S., van Franeker J. A., 2012. Plastic ingestion by the northern fulmar (*Fulmarus glacialis*) in Iceland. *Marine Pollution Bulletin* 64, 1252–1254.

Lenz R.; Labrenz M., 2018. Small Microplastic Sampling in Water: Development of an Encapsulated Filtration Device. *Water* 10, 1055. DOI: 10.3390/w10081055; URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/8/1055>.

Lorenz C., Roscher L., Meyer M. S., Hildebrandt L., Prume J., Löder M. G. J., Pimpke S., Gerdts G., 2019. Spatial distribution of microplastics in sediments and

surface waters of the southern North Sea. *Environmental Pollution*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.093>.

Lusher A.L., McHugh M., Thompson R.C., 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin* 67, 94–99.

McIlgorm A., Campbell H. F., Rule M. J., 2011. The economic cost and control of marine debris damage in the Asia-Pacific region. *Ocean & Coastal Management* 54, 643-651.

Nuelle M.-T., Dekiff J. H., Remy D., Fries E., 2014. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution* 184, 161-169.

OSPAR, 2010. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area. OSPAR Commission, ISBN 90-3631-973. URL: https://www.ospar.org/ospar-data/10-02e_beachlitter%20guideline_english%20only.pdf

Pfeiffer F., Fischer E. K., 2020. Various Digestion Protocols Within Microplastic Sample Processing—Evaluating the Resistance of Different Synthetic Polymers and the Efficiency of Biogenic Organic Matter Destruction. *Front. Environ. Sci., Sec. Toxicology, Pollution and the Environment* 8, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.572424>

Pojar I., Kochleus C., Dierkes G., Ehlers S. M., Reifferscheid G., Stock F., 2021. Quantitative and qualitative evaluation of plastic particles in surface waters of the Western Black Sea. *Environmental Pollution* 268, 115724.

Provencher J. F., Gaston A. J., Mallory M. L., O'hara P. D., Gilchrist H. G., 2010. Ingested plastic in a diving seabird, the thick-billed murre (*Uria lomvia*), in the eastern Canadian Arctic. *Marine Pollution Bulletin* 60, 1406–1411.

Schulz M., 2019. Konzeption zur Ermittlung der „Plastikfracht“ der Warnow in die Ostsee. Bericht im Auftrag des LUNG M-V, 45 pp.

Schulz M., Dürselen C.-D., Haseler M., Piehl S., Felsing S., Schernewski G., Weiel S., Guse N., Garthe S., Siebert U., Unger B., Philipp C., Förster T., Pohland J., Obst R., Bär T., Rixen A., Renner D., Weiß F., Gerdtts G., 2021. Assessment and implementation of long-term monitoring of pollution of diverse marine compartments and biota with marine litter. R&D project of the Federal Environmental Agency, final report, 256 pp.

Siegfried M., Koelmans A. A., Besseling E., Kroeze C., 2017. Export of microplastics from land to sea. A modelling approach. *Water Research*, DOI: 10.1016/j.watres.2017.10.011.

Tramoy R., Blin E., Poitou I., Noûs C., Tassin B., Gasperi J., 2022. Riverine litter in a small urban river in Marseille, France: Plastic load and management challenges. *Waste Management* 140, 154–163.

Tramoy R., Gasperi J., Dris R., Colasse L., Fisson C., Sananes S., Rocher V., Tassin B., 2019. Assessment of the Plastic Inputs from the Seine Basin to the Sea Using Statistical and Field Approaches. *Frontiers in Marine Science* 6, article 151.

van Franeker J. A., Blaize C., Danielsen J., Fairclough K., Gollan J., Guse N., Hansen P.-L., Heubeck M., Jensen J.-K., Le Guillou G., Olsen B., Olsen K.-O., Pedersen J., Stienen E. W. M., Turner D. M., 2011. Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar *Fulmarus glacialis* in the North Sea. *Environmental Pollution* 159, 2609–2615.

Zarfl C., 2019. Promising techniques and open challenges for microplastic identification and quantification in environmental matrices. *Anal Bioanal Chem* 411, 3743–3756. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01763-9>

Zhang H., 2017. Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, doi: 10.1016/j.ecss.2017.09.032.