

Kurzstudie für den Runden Tisch Meeresmüll
im Rahmen des ReFoPlan-Vorhabens FKZ 3719 25 204 0

Abfallaufkommen an Wasserkraftwerken und mögliche Handlungsansätze



Bild: Kerstin Remke

Oberhausen, 22. Juni 2022

Erhebung des Aufkommens, der Zusammensetzung und der Herkunft von Zivilisationsabfällen im Rechengut von Wasserkraftwerken und mögliche Handlungsansätze zur Reduktion der Abfallmengen in Fließgewässern

vorgelegt von:

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing. Manfred Renner und Prof. Dr.-Ing. Christian Doetsch

Osterfelder Straße 3

46047 Oberhausen

Ihre Ansprechpartner für dieses Projekt:

Name	Telefon	E-Mail
Anna Schulte	0208 8598-1588	anna.schulte@umsicht.fraunhofer.de
Kerstin Remke	0152 5568-4455	kerstin.remke@yahoo.com

Auftraggeber:

Umweltbundesamt (UBA)

Vorhaben:

Unterstützung des Runden Tisch Meeresmüll bei der Operationalisierung der Maßnahmenvorschläge zu Umweltziel 5 der EU-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) »Reduktion von Müll im Meer« (FKZ 3719 25 204 0)

Dieser Bericht ist durch das Umweltbundesamt (UBA) zur Unterstützung des Runden Tisch Meeresmüll beauftragt worden. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autoren. Das UBA übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung der Rechte Dritter. Die Studie wurde durch Lisa Rödiger (Ökopol – Institut für Ökologie und Politik, Gesamtvorhabenleitung) koordiniert und begleitet.

Inhalt

Zusammenfassung	I
1 Einleitung	1
2 Methode und Vorgehen	3
2.1 Vorbereitung und Durchführung der Interviews	3
2.2 Auswertung der Interviews	4
2.3 Statistische Datenanalyse	5
2.4 Ableitung von Handlungsansätze	5
2.5 Gütekriterien der Datenerhebung und Analyse	6
3 Ergebnisse	7
3.1 Umgang mit Rechengut an Wasserkraftwerken	8
3.2 Zusammensetzung und Herkunft des Zivilisationsmülls	15
3.3 Einflussfaktoren für das Aufkommen von Rechengut und den Austrag von Zivilisationsmüll	20
3.4 Quantitative Abschätzung: Entnahme von Zivilisationsmüll an Wasserkraftwerken	26
3.5 Reduktionsmöglichkeiten des Abfallaufkommens in Flüssen	28
4 Diskussion und Ausblick	33
4.1 Validierung der Ergebnisse	33
4.2 Handlungsansätze und weiterer Forschungsbedarf	34
5 Fazit	42
I. Abbildungsverzeichnis	III
II. Tabellenverzeichnis	III
III. Abkürzungsverzeichnis	IV
IV. Literaturverzeichnis	V
V. Rechtsquellenverzeichnis	VIII

Zusammenfassung

Ziel Eintrags- und Austragspfade von Zivilisationsabfällen sowie Reduktionsmöglichkeiten des Mülleintrags in die Meeresumwelt an Wasserkraftwerken (WKW) wurden bisher nicht systematisch untersucht. Als Teil eines Forschungsvorhabens des Umweltbundesamts (UBA) zur Unterstützung des Runden Tisch Meeresmüll wird in dieser Arbeit untersucht, welchen Beitrag Wasserkraftwerkbetreibende zur potenziellen Reduktion von Meeresmüll leisten. Ziel der Arbeit ist die Erfassung von (Zivilisations-)müll an Wasserkraftwerken (WKW) zur weiteren Identifikation von Direkteinträgen in die (Meeres-)umwelt sowie möglicher Austragspfade und möglicher Rückhaltemöglichkeiten an WKW.

Vorgehen und Methode Anhand von Expert:innen-Interviews wurde dafür das Aufkommen von Rechengut bzw. darin enthaltenem Zivilisationsmüll an insgesamt 152 Wasserkraftwerken am Rhein und seinen Zuflüssen sowie der Weser erfasst. Diese Daten wurden über eine inhaltlich strukturierte qualitative Inhaltsanalyse ausgewertet. Darauf aufbauend wurden Reduktionsmöglichkeiten sowie weiterer Forschungsbedarf identifiziert, unter anderem in einem Dialogformat mit Expert:innen. Zur Reduzierung des Eintrags wurden Handlungsansätze und weitere Forschungsbedarfe hinsichtlich der Vermeidung, der Verhinderung des Eintrags und zur Entnahme, d. h. Austrag von Zivilisationsabfällen, an Wasserkraftwerken ausgesprochen.

Ergebnisse Die Ergebnisse zeigen, dass jährlich, je nach Angabe in den Interviews¹, ca. 80 bis 450 Tonnen und zusätzlich 810 bis 2020 Kubikmeter Zivilisationsabfälle an den untersuchten WKW entnommen werden, die anderenfalls potenziell ins Meer gelangen könnten. Bei ca. 80 Prozent der untersuchten WKW erfolgt die Entnahme des Zivilisationsmülls über eine vollständige Entnahme des Rechenguts, das anschließend ordnungsgemäß – häufig über beauftragte Dritte – entsorgt wird. Aber auch bei WKW mit grundsätzlicher Weitergabe des Treibguts im Gewässer wird Zivilisationsmüll manuell oder – im Falle von Hochwasser – über eine zeitweise Entnahme des gesamten Rechenguts entnommen.

In den Interviews wurden Verpackungen von Lebensmittelprodukten, Freizeit- und Sportgegenstände, weitere Kunststoffe und Verpackungen sowie Autoreifen am häufigsten hinsichtlich der Zusammensetzung des im Rechengut enthaltenen Zivilisationsmülls genannt. Den Einschätzungen der Interviewten zufolge gelangen die Abfälle überwiegend durch Littering der Bevölkerung in die Fließgewässer, z. B. wird hinsichtlich der Autoreifen von illegaler Müllentsorgung

¹ In die Abschätzung fließen Daten von 140 der 152 untersuchten WKW ein. Die Angaben sind jeweils auf 10 t bzw. m³ gerundet und wurden in den Interviews entweder in Tonnen oder Volumen angegeben. Aufgrund fehlender Kenntnisse zur mengen- bzw. volumenmäßigen Zusammensetzung des Zivilisationsabfalls ist eine Umrechnung auf eine Bezugseinheit nicht möglich.

ausgegangen. Ein Großteil des Zivilisationsmülls wird indirekt in die Fließgewässer eingetragen, d. h. Gegenstände werden an Ufern liegengelassen und später durch witterungsbedingte Ereignisse in den Fluss geweht oder eingespült. Entsprechend des Litterings und der Bevölkerung als Hauptverursachende haben die Gestaltung und Nutzung der unmittelbaren Umgebung eines WKW flussaufwärts und die Siedlungsstruktur bzw. -dichte einen zentralen Einfluss auf das Aufkommen von Zivilisationsmüll in Flüssen, der sich an WKW sammelt.

Insgesamt stellen WKW einen wichtigen Austragspfad für Zivilisationsmüll in Flüssen dar. Angesichts zunehmender Vorgaben für Rechenanlagen zur Verbesserung des Fischschutzes sowie aufgrund der hohen Entsorgungskosten für das Rechengut deutet sich jedoch der Trend an, dass kurz- und mittelfristig insbesondere Kleinwasserkraftwerke – sofern technisch und finanziell möglich – die Rechenanlagen auf Weiterleitung des Treibguts umstellen könnten. Längerfristig könnte dies auch auf größere WKW zutreffen. Durch entsprechende Änderungen der Rahmenbedingungen besteht das Potenzial, eine ökologische nachhaltige Bewirtschaftung der Flüsse durch Weiterleitung des biologischen Treibguts bei gleichzeitiger Reinhaltung der Flüsse durch Entnahme und Entsorgung des im Rechengut enthaltenen Zivilisationsmülls zu erreichen. Dies ist aufgrund gesetzlicher und politischer Vorgaben bisher nicht möglich.

Hinsichtlich dieser und weiterer Handlungsansätze bestehen Kenntnislücken, z. B. bezüglich der genauen Zusammensetzung und Herkunft der Zivilisationsabfälle. Sortieranalysen von Rechengut sowie Analysen der Daten von Entsorgern können diese Kenntnislücken beispielsweise adressieren. Insgesamt gilt jedoch zu bedenken, dass WKW nur *einen* möglichen Austragspfad und *einen* methodischen Ansatzpunkt für die Datenerfassung darstellen. Über Flüsse als Eintragspfad für Meeresmüll und die Bedeutung der verschiedenen Umweltkompartimente zur Reduzierung von Zivilisationsabfällen in Flüssen besteht Forschungsbedarf.

1 Einleitung

Die Vermüllung der Ozeane und Flüsse wird zunehmend als globales Umweltproblem wahrgenommen. Modellen zufolge werden weltweit jährlich 1,15 bis 2,41 Mio. t (Lebreton et al. 2017, S. 3) bzw. 0,41-4 Mio. t (Schmidt et al. 2017, S. 12246) Kunststoffabfälle in die Meere eingetragen. Aus Deutschland gelangen jährlich schätzungsweise zwischen 860 und 3.000 Tonnen Makro- (> 5 mm) und ca. 62 Tonnen Mikrokunststoffe (< 5 mm) vom Land überwiegend in die Nordsee (Conversio Market & Strategy GmbH 2020b, S. 43-46, 64). Rund ein Drittel des Gesamteintrags der Makrokunststoffe erfolgt den Schätzungen der Autor:innen zufolge dabei über Flüsse, die nach den Küstenregionen den Haupteintragspfad bilden. Meeresmüll stellt eine ernsthafte Gefahr für Tiere (vor allem durch Verheddern/Strangulieren, Verwechslung mit Futter), für die Biodiversität und – bedingt durch Mikroplastik und in Kunststoffen enthaltener Chemikalien – möglicherweise auch für Menschen dar (Galgani et al. 2021, S. 155–157; Wang et al. 2016, S. 3–10). Zudem geht Meeresmüll unter anderem aufgrund von Strandreinigungskosten mit bedeutenden sozioökonomischen Kosten einher (vergleiche Beaumont et al. 2019).

Mit Umsetzung der Europäischen Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (EU-MSRL) in das nationale Recht hat sich Deutschland dazu verpflichtet, einen guten Zustand der Meeresgewässer zu erhalten bzw. bis spätestens 2020 zu erreichen (Art. 1 Abs. 1 EU-MSRL, § 45a Wasserhaushaltsgesetz/WHG). Dieses Ziel wurde auch im Hinblick auf den Aspekt Meeresmüll bisher verfehlt (BLANO 2018b, S. 60, 2018a, S. 56). Die Formulierung von Maßnahmenvorschlägen zur Reduktion von Meeresmüll in Deutschland erfolgt durch die Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee (BLANO). Ihre Operationalisierung wird durch den »Runden Tisch Meeresmüll« als Multi-Stakeholder-Plattform unterstützt. Die Arbeitsgruppe des Runden Tisch Meeresmüll zu landbasierten Einträgen wird vom Umweltbundesamt (UBA) geleitet. Die vorliegende Masterarbeit ist Teil eines in diesem Kontext vom UBA finanzierten Forschungsvorhabens und wurde am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) erstellt, welches die Umsetzung der relevanten Komponente verantwortet.

Im Gegensatz zu Mikrokunststoffen ist bisher wenig über die Menge, Zusammensetzung und Herkunft von Makrokunststoffen bzw. Makroabfällen in Flüssen bekannt (Conversio Market & Strategy GmbH 2020b, S. 41–42; Breitbarth 2017, S. 110; Mayerhofer et al. 2021, S. 2). Ein Ansatzpunkt für die Erfassung von Makroabfällen sind Wasserkraftwerke (WKW), die durch Entnahme des Rechenguts vor den Turbinen einen wichtigen Austragspfad darstellen können (Conversio Market & Strategy GmbH 2020a, S. 18; Breitbarth 2017, S. 28; Schuchardt und Beilfuß 2013, S. 22; Lenz et al. o. J., S. 35). Maßgeblich dafür ist jedoch der Umgang der WKW-Betreibenden mit dem Rechengut, d. h., ob

das Rechengut bzw. der darin enthaltene Zivilisationsmüll entnommen und entsorgt oder »mit der fließenden Welle« flussabwärts am WKW vorbeigeleitet wird. An wie vielen WKW in Deutschland Rechengut entnommen oder weitergeleitet wird, ist nicht bekannt.

Vor diesem Hintergrund wird in dieser Arbeit mittels Expert:innen-Interviews folgende Hauptforschungsfrage adressiert: Welchen Beitrag leisten WKW-Betreibende zur potenziellen Reduktion von Meeresmüll und welche Reduktionsmöglichkeiten ergeben sich aus den Erkenntnissen der Erfassung von an WKW entnommenem Zivilisationsmüll? Um die Frage zu beantworten, werden folgende Subforschungsfragen untersucht: Wie gestalten WKW-Betreibende ihren Umgang mit Rechengut? Welche Mengen und Zusammensetzungen von Rechengut sowie darin enthaltener Makro-Zivilisationsabfälle werden an WKW erfasst und woher stammt der Zivilisationsmüll bzw. wie wird er in die Flüsse eingetragen? Welche Faktoren beeinflussen die Menge und Zusammensetzung des Rechengutaufkommens bzw. der darin enthaltenen Zivilisationsabfälle? Welche Möglichkeiten gibt es, das Abfallaufkommen in Flüssen zu reduzieren? Als exemplarische Untersuchungsgebiete werden der Rhein inkl. seiner großen Nebenflüsse sowie die Weser betrachtet. Für diese Flussgebiete liegen bisher keine umfassenden Daten zum Zivilisationsmüll im Rechengut von WKW vor.

Dieser Bericht basiert auf den Inhalten der Masterarbeit »Erfassung des Zivilisationsabfalls an Wasserkraftwerken zur Identifikation von Reduktionsmöglichkeiten des Mülleintrags in die Meeresumwelt« von Kerstin Remke im Studiengang »Interdisziplinäres Fernstudium Umweltwissenschaften« an der Hochschule Fernuniversität Hagen mit dem Abschlussdatum 31. März 2022 (Remke 2022). Um die Fragestellungen zu kontextualisieren, wird im zweiten Kapitel zunächst die Methodik zur Durchführung und zur qualitativen sowie quantitativen Auswertung der Expert:innen-Interviews dargelegt. Die aus den Interviews resultierenden Erkenntnisse zu den Forschungsfragen werden in Kapitel drei präsentiert. Diese Ergebnisse werden anschließend in Kapitel vier anhand bestehender Studien reflektiert und Limitationen der gewählten Methodik aufgezeigt. Auf Grundlage der Ergebnisse werden darüber hinaus Handlungsansätze bezüglich Reduktionsmöglichkeiten von Zivilisationsmüll in Flüssen abgeleitet und weiterer Forschungsbedarf identifiziert. Die Arbeit schließt mit einem zusammenfassenden Fazit der Analyse.

2 Methode und Vorgehen

Im Rahmen der Arbeiten erfolgte eine Beschreibung der rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen zur Reduzierung des landbasierten Meeresmülls an WKW sowie zum Umgang mit Rechengut an WKW (siehe Kapitel 2 in Remke 2022). Dort wird ebenfalls dargelegt, wie die Entnahme beziehungsweise Weiterleitung von Rechengut erfolgt und welche Erkenntnisse aus anderen Studien zur Erfassung des Abfallaufkommens in Flüssen bereits vorliegen.

Da bisher keine substantiierten Daten zu Abfällen im Rechengut von WKW am Rhein und seinen Zuflüssen sowie der Weser vorliegen, erfolgte die Datenerhebung mittels leitfadengestützter Expert:innen-Interviews per (Video-)Telefonie, überwiegend mit WKW-Betreibenden und Entsorgern von WKW-Rechengut. Durch die Interviews wird indirekt auf die passive Probennahme und optische Überwachung durch die Interviewten zurückgegriffen. Gegenüber einer eigenen Untersuchung bieten Interviews eine gute erste Wissensgrundlage bei relativ überschaubarem Zeitaufwand. Ursprünglich war neben WKW auch ein Fokus auf den Anfall von Rechengut bei der Brauchwasseraufbereitung für die Industrie vorgesehen, der jedoch aufgrund geringer Rückmeldequote während der Studie verworfen wurde (siehe Erläuterungen in Remke 2022).

Die zu untersuchenden Themenkomplexe (Beschreibung/Zusammensetzung, Abschätzung/Menge und Umgang mit dem Rechengut) sowie der Rhein mit seinen Zuflüssen und die Weser als Untersuchungsgebiete wurden in Abstimmung mit dem UBA festgelegt. Für den Rhein war angesichts des angedachten Fokus auch auf Industrieunternehmen vor allem das Industrieaufkommen ausschlaggebend. Darüber hinaus für die Auswahl der Untersuchungsgebiete leitend waren verschiedene Siedlungsdichten und große Auenbreiten als vom UBA vermutete Einflussfaktoren hinsichtlich des Abfallaufkommens an den WKW. Während der Rhein zweifellos durch Erstere geprägt ist, verfügt das deutsche Rheineinzugsgebiet über vergleichsweise geringe Auenbreiten. Vor diesem Hintergrund wurde die Weser als weiteres Untersuchungsgebiet aufgenommen.

2.1 Vorbereitung und Durchführung der Interviews

Um die zu untersuchenden Themenkomplexe zu operationalisieren und die Befragung durch Anzahl und Reihenfolge der Fragen zu strukturieren, wurden akteursspezifische Interview-Leitfäden für die zu interviewenden Expert:innen an WKW und Expert:innen aus der Industrie erstellt (siehe Anhang in Remke 2022). Zudem wurde ein weiterer Leitfaden für Entsorger ergänzt, da sie sich während der Durchführung der Interviews als zusätzlich interessante Gruppe herausstellten.

Die Auswahl von und Kontaktaufnahme mit den Expert:innen an WKW erfolgte durch bestehende Kontakte des UBA, über Internetrecherchen und über regionale Verbände von WKW-Betreibenden. Durch dieses Vorgehen konnten sowohl große WKW (> 1 MW) als auch Kleinwasserkraftwerke (≤ 1 MW) in der Studie berücksichtigt werden. Zudem wurde auf die Methode des Schneeballsystems zurückgegriffen, d. h. am Ende eines Interviews wurden die Interviewpartner:innen nach weiteren potenziellen Kontakten gefragt, wodurch die Kontakte zu Entsorgungsunternehmen entstanden. Eine schriftliche Einverständniserklärung zum Umgang mit den Forschungsdaten gemäß Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) wurde im Vorfeld von allen Interviewten unterschrieben. Weitere Informationen zur Kontaktaufnahme, der Durchführung und dem Umgang mit Daten aus den Interviews finden sich im Anhang in Remke (2022).

2.2 Auswertung der Interviews

Alle Interviews wurden mit Fokus auf Kommunikationsinhalte verschriftlicht, d. h. ohne Berücksichtigung verbaler und nicht-verbaler Merkmale – oder andernfalls weniger relevanter Passagen paraphrasiert. In einigen Fällen wurden Fragen zu den Inhalten der Interviews durch Nachfragen per E-Mail bei den Interviewpartner:innen verdichtet und ergänzt. Ergänzende Informationen über das Interview hinaus sind in der Verschriftlichung kenntlich gemacht.

Jedem Interview wurde zum Zweck der Anonymisierung ein dreigliedriger Code zugeordnet. Wir weisen darauf hin, dass in dieser Berichtsversion die Interviewcodes zur besseren Lesbarkeit nicht im Text mitaufgeführt werden, jedoch in Remke (2022) ausführlich erläutert und dokumentiert sind. Die Auswertung der Daten folgte dem Ablaufschema der inhaltlich strukturierenden, qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018, S. 97–121; siehe Abbildung 6) und wurde mithilfe von Software für die computergestützte qualitative Daten- und Textanalyse durchgeführt (MAXQDA).

Bei der Auswertung kam ein mehrstufiges Verfahren der deduktiv-induktiven Kategorienbildung und Codierung zur Anwendung. In einem ersten Schritt erfolgte eine Apriori-Kategorienbildung entlang der Forschungsfragen und des Leitfadens mit den sechs Hauptkategorien *Umgang mit Rechengut*, *Zusammensetzung des Rechenguts/Zivilisationsmülls*, *Herkunft des Zivilisationsmülls im Rechengut*, *Einflussfaktoren für Rechengut-/Abfallaufkommen*, *Abschätzung: Mengen von Rechengut/Zivilisationsmüll* sowie *Lösungsansätze und Empfehlungen*. Diese grobe Kategorisierung wurde im zweiten Schritt durch die induktive Bildung von Subkategorien aus den Interviewdaten ausdifferenziert (beispielsweise die Subkategorie *Witterung*, *Wetterereignisse* unter der Hauptkategorie

Einflussfaktoren für Abfallaufkommen). Entsprechend der deskriptiven Fragestellung wurden thematische Subkategorien gewählt (vergleiche Kuckartz 2018, S. 89).

Codiert wurden in der Regel Sinneinheiten, d. h. mindestens ein vollständiger Satz. Eine Ausnahme stellt die Codierung der Hauptkategorie *Zusammensetzung* dar. Weitere Informationen zur Codierung, zur Bildung der (Sub-)Kategorien und zur Klassifizierung befinden sich in Remke (2022). Dort sind auch das hierarchische Kategoriensystem und deren Definitionen im Anhang aufgeführt.

2.3 Statistische Datenanalyse

Zur Abschätzung der Rechengutmenge und des darin enthaltenen Zivilisationsmülls wurden statistische Datenanalysen bzw. Methoden der deskriptiven Statistik verwendet. Statistische Analysen und Visualisierungen wurden sowohl in Excel als auch in IBM SPSS, Version 27, durchgeführt. Für die statistische Auswertung mussten einige Vereinfachungen sowie Abstraktionen und Überführungen der Angaben unternommen werden, die sich aus den unterschiedlichen Angaben der qualitativen Interviews ergeben (siehe Remke 2022).

Bei der Berechnung der Menge des insgesamt entnommenen Rechenguts an den in der Studie berücksichtigten WKW wird eine Spanne angegeben, um jährliche Schwankungen zu berücksichtigen. Die Berechnung der entnommenen Mengen an Zivilisationsmüll an den in der Studie berücksichtigten WKW erfolgt – je nach Angabe im Interview – getrennt nach Gewicht in Tonnen [t] und Volumen in Kubikmeter [m³]. Besonderheiten zum Umgang mit verschiedenen Bezugsjahren, Spannbreiten und Umrechnung von Einheiten werden in Remke (2022) erläutert.

Das Gesamtergebnis als Spanne der jährlich an WKW entnommenen Zivilisationsabfälle ergibt sich aus der Summe der (minimalen und maximalen) absoluten Angaben und der berechneten Werte des entnommenen Zivilisationsmülls, getrennt nach Tonnen und Kubikmetern. Auf eine Umrechnung dieser Werte in dieselbe Einheit (entweder Gewicht oder Volumen) wird verzichtet, da diese eines weiteren Umrechnungsfaktors bedürfte und aufgrund fehlender Kenntnisse zur mengen- bzw. volumenmäßigen Zusammensetzung des Zivilisationsmülls im Rechengut mit einer noch größeren Unsicherheit einhergehen würde als bereits die Berechnung des entnommenen Zivilisationsmülls.

2.4 Ableitung von Handlungsansätze

Auf Grundlage der qualitativen Auswertung der Interviews wurden Hypothesen erstellt, die die zentralen Erkenntnisse aus den Interviews zusammenfassen und Handlungsansätze zur Reduktion von Eintragsquellen von Zivilisationsabfällen

identifiziert. Sowohl die Hypothesen als auch die Handlungsansätze wurden in einem Workshop mit Expert:innen diskutiert (siehe Anhang in Remke 2022). Eingeladen wurden alle Interviewpartner:innen sowie Mitglieder der Unterarbeitsgruppe Rückhaltung von Müll durch (Wasser-)Kraftwerke des Runden Tisch Meeremüll. Insgesamt nahmen ca. 25 Expert:innen an der Diskussion teil, darunter >10 WKW-Betreibende und ein Entsorger. Aufbauend auf den Ergebnissen des Workshops werden anschließend die Handlungsansätze und der Forschungsbedarf in Kapitel 4.2 formuliert.

2.5 Gütekriterien der Datenerhebung und Analyse

Um wissenschaftlichen Ansprüchen zu entsprechen, ist diese Arbeit durch eine bestmögliche Berücksichtigung der von Mayring (2002, S. 140–146) definierten sechs Gütekriterien qualitativer Forschung geprägt: Regelgeleitetheit, Verfahrensdokumentation, argumentative Interpretationsabsicherung, Nähe zum Gegenstand, kommunikative Validierung und Triangulation. Die Analyse ist durch eine systematische, d. h. schrittweise, sequenzielle Bearbeitung des Interviewmaterials bestimmt, wobei iterativ Anpassungen der Analysekategorien vorgenommen wurden. Um den Forschungsprozess für andere nachvollziehbar zu machen, wurden das Verfahren der Datenerhebung und -auswertung sowie die Nutzung des Analyseinstrumentariums detailliert dokumentiert.

Die Ergebnisse der Forschung werden argumentativ begründet und beispielhaft mit Zitaten aus den Interviews unterlegt. Negativfälle, d.h. solche, die den Erkenntnissen widersprechen, werden in der Analyse und Darstellung der Ergebnisse berücksichtigt (argumentative Interpretationsabsicherung). Um möglichst vielfältige Perspektiven auf den Forschungsgegenstand zu gewinnen und somit eine Triangulation der durch die Interviews erzielten Daten zu ermöglichen, wurden neben der Literaturrecherche und Interviews mit WKW-Betreibenden im Verlauf des Forschungsvorhabens auch Interviews mit Entsorgungsunternehmen von Rechengut als weitere Datenquelle aufgenommen. Im Sinne der kommunikativen Validierung wurden die Ergebnisse sowie mögliche Handlungsansätze und weiterer Forschungsbedarf zudem mit einigen der Forschungsteilnehmenden sowie weiteren Expert:innen aus dem Forschungsbereich diskutiert, um ihre Gültigkeit und Relevanz zu überprüfen. Eine detaillierte Beschreibung der Gütekriterien der Arbeiten befindet sich in Remke (2022).

3 Ergebnisse

Angesichts des ursprünglichen Fokus auf WKW und die Brauchwasseraufbereitung für die Industrie wurden insgesamt 49 WKW-Betreibende, fünf Entsorgungs- sowie 13 Industrieunternehmen angefragt. Im Bereich der Wasserkraft wurden zudem insgesamt zehn Verbände kontaktiert, von denen einige intensiv bei der Vermittlung von Interviews mit WKW-Betreibenden unterstützten (siehe **Tabelle 1**).² Aus dem Bereich der Wasserkraft wurden 30 Interviews mit WKW-Betreibenden sowie zwei Interviews mit Entsorgungsunternehmen geführt, ein weiterer Entsorger reichte eine schriftliche Beantwortung der Leitfragen ein. Unter den WKW-Betreibenden befanden sich 19, die mindestens ein WKW mit einer installierten Leistung von > 1 Megawatt betreiben, die übrigen elf betreiben WKW mit einer installierten Leistung ≤ 1 Megawatt.

Tabelle 1: Übersicht über angefragte und durchgeführte Interviews (35) und Hintergrundgespräche (5)

Akteursgruppen	Anfragen	Interviews/Hintergrundgespräche
WKW-Betreibende	49	30 <i>(19 mit mindestens 1 WKW > 1 MW, 11 mit WKW ≤ 1 MW)</i> <i>Insges. 150 WKW & 2 Wehre mit 1.338 MW (ca. 24 % der in Deutschland installierten Leistung)</i>
Verbände von WKW-Betreibenden	10	1 <i>(Informationen per E-Mail, Hintergrundgespräch)</i>
Entsorger	5	2 (+ 1 schriftlich)
Industrie	13	2
Sonstige Expert:innen	4	4 <i>(Hintergrundgespräche)</i>
SUMME	81	40

Insgesamt wurden in den Interviews Daten von 148 Laufwasserkraftwerken, je einem Pumpspeicher- und Talsperrenkraftwerk sowie zwei Wehren berücksichtigt (n = 152)³. Mit darunter 36 WKW ≤ 1 MW und 114 WKW > 1 MW wird eine installierte Leistung von insgesamt ca. 1.338 MW abgedeckt. Das entspricht ca. 24 Prozent der in Deutschland installierten Leistung von WKW⁴. In den Interviews mit WKW-Betreibenden wurden überwiegend WKW im Einzugsgebiet des Rheins berücksichtigt. Ein Interview fand mit einem Betreiber

² Teilweise haben sich auch Vorsitzende der Verbände für Interviews bereit erklärt. Da es in den Interviews um die Erfahrungen an den jeweils eigenen WKW ging, sind diese als Interview mit WKW-Betreibenden in der Studie berücksichtigt.

³ Im Folgenden ist vereinfachend von »Wasserkraftwerken« (WKW) die Rede, wobei – abweichend von den Interviewcodes – auch Kleinwasserkraftwerke (≤ 1 MW) und zudem auch die zwei Wehre eingeschlossen sind.

⁴ In Deutschland gibt es ca. 7 300 WKW, die zusammen über eine installierte Leistung von ca. 5 600 MW verfügen (BDW o. J.).

von Kraftwerken an der Weser statt (siehe **Bild 3-1**). Aus der Industrie gab es eine geringe Resonanz auf die Interviewanfragen (siehe Erläuterungen in Remke 2022). Die Interviews wurden im August bis Oktober 2021 durchgeführt. Im gleichen Zeitraum fanden drei Besichtigungen vor Ort statt, darunter zweier WKW sowie einer Wasseraufbereitungsanlage für die Industrie.

Bild 3-1: Geographische Verteilung der Interviews mit WKW-Betreibenden (im Falle mehrerer WKW der Betreibenden ist der Fluss mit der überwiegenden Mehrheit der WKW ausschlaggebend) (Quelle der Karte: BUND o. J.).



Nachfolgend werden auf Grundlage der Interviews der Umgang mit Rechengut (Kapitel 3.1), die Zusammensetzung und Herkunft von Zivilisationsmüll im Rechengut (Kapitel 3.2) sowie Einflussfaktoren für das Aufkommen und den Austrag von Rechengut bzw. Zivilisationsmüll im Rechengut (Kapitel 3.3) analysiert und anschließend die Menge des entnommenen Zivilisationsmülls quantitativ abgeschätzt (Kapitel 3.4). Zum Schluss werden die von den Interviewpartner:innen genannten Reduktionsmöglichkeiten des Abfallaufkommens betrachtet (Kapitel 3.5). An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die Nennung der Interviewcodes zur besseren Lesbarkeit in diesem Bericht fehlt, diese jedoch in Remke (2022) dokumentiert sind.

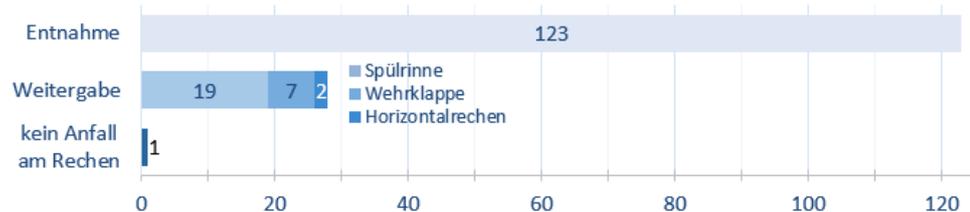
3.1 Umgang mit Rechengut an Wasserkraftwerken

Von den insgesamt 152 WKW, die in den 30 Interviews mit WKW-Betreibenden berücksichtigt wurden, wird das Rechengut in 123 Fällen vollständig entnommen. An dem Talsperrenkraftwerk fällt kein Treibgut an. An den übrigen 28 WKW wird das Treibgut entweder über eine Spülrinne⁵ (19 WKW), eine

⁵ Erläuterungen zur Konstruktion von Rechenanlagen an WKW befinden sich inklusive Abbildungen in Remke (2022) in Kapitel 2.2.

Wehrklappe (7 WKW) oder mithilfe eines Horizontalrechen (2 WKW) mit der fließenden Welle weitergegeben (siehe **Bild 3-2**)⁶.

Bild 3-2: Anzahl der WKW, die Rechengut entnehmen oder weiterleiten (per Spülrinne, Wehrklappe oder Horizontalrechen) bzw. an denen kein Rechengut anfällt



Vorgaben zum Umgang mit Rechengut

Bei einigen der in den Interviews berücksichtigten WKW sind Vorgaben zum Umgang mit dem Rechengut in der wasser- bzw. betriebsrechtlichen Genehmigung sowie in Zusatzvereinbarungen mit der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes festgehalten. So besteht bei einigen WKW explizit die Auflage, dass das Rechengut entnommen und entsorgt werden muss. Dies scheint insbesondere bei größeren WKW der Fall zu sein. Viele der Interviewten vermuten hinter der Vorgabe unter anderem schifffahrtstechnische Belange. Andere WKW-Betreibende wiederum berichteten von einer expliziten Auflage der Weiterleitung und betonten, dass sie dazu angehalten seien das Rechengut »im Sinne der Genehmigungsbehörde« möglichst im Fluss zu belassen. Weiter wurde hinsichtlich der Weiterleitung jedoch angemerkt, dass Spülrinnen zumindest in Nordrhein-Westfalen (NRW) und in Baden-Württemberg (BW) erst seit wenigen Jahren erlaubt seien und dass die Vorgabe zur Entnahme im Vergleich zur Weiterleitung immer von der Position der aktuellen Landesregierung abhinge:

»Alle zehn Jahre ändert sich da mal was. [...] Je nachdem, wer gerade an der Regierung ist, der schreibt sich dann das eine oder das andere aufs Tapet und dann müssen halt die organischen Stoffe im Gewässer verbleiben. Und andererseits – ja gut, dann müssen wir es halt rausnehmen und kompostieren.«

Während viele die Notwendigkeit der Entfernung von Zivilisationsmüll aus Flüssen aus Umweltgründen grundsätzlich anerkennen, wurde die Vorgabe zur gesamten Entnahme des Rechenguts mit anschließender Entsorgung bzw. das Verbot des Wiedereinbringens von biologischem Material ins Unterwasser aus verschiedenen Gründen wiederholt abgelehnt. Vor allem wurde diesbezüglich auf die ökologische Funktion von Treibgut verwiesen, die durch dessen Entnahme verloren geht. Kritisiert wurden auch die hohen und – angesichts der ökologischen Funktion – unbegründeten Kosten, zumal nicht die WKW-Betreibenden

⁶ Bezogen auf die 30 Interviews mit WKW-Betreibenden wird in 16 Fällen das Rechengut grundsätzlich entnommen (»Entnahme«) und in 9 Fällen das Rechengut weitergeleitet (»Weitergabe«). Bei fünf WKW-Betreibenden wird das Rechengut – je nach WKW – teilweise entnommen und teilweise weitergeleitet (»Entnahme/Weitergabe«).

benden die Verursachenden der Abfälle seien. Zudem stellte ein Interviewpartner den Beitrag zum Umweltschutz infrage, wenn bei – seiner eigenen stichprobenartigen Sortieranalyse zufolge – nur 0,2 Gewichtsprozent Zivilisationsmüll im Rechengut auch der Energieverbrauch für die Treibgutbehandlung vor Ort sowie der Transport und die Behandlung durch den Entsorger mit in die Ökobilanz einberechnet würden. Vor diesen Hintergründen wurde daher – analog zur diesbezüglich in der Literatur bestehenden Diskussion – neben einer allgemeinen Weiterleitung von einigen Interviewten auch die Zulässigkeit des Wiedereinbringens von biologischen Bestandteilen des Treibguts nach einer Vor-Ort-Sortierung gefordert. Jedoch nicht Alle erachten eine politische Diskussion in diese Richtung für realistisch.

Entnahme von Rechengut

Unter den 123 WKW mit Entnahme sind 21 Kleinwasserkraftwerke mit einer installierten Leistung von ≤ 1 MW. In zwei Fällen erfolgt die Entnahme an einem vorgelagerten Wehr, wobei bei einem der beiden zugehörigen WKW das Rechengut nach einem mehrere Kilometer langen Obergraben auch am WKW selbst noch einmal entnommen wird. An den großen WKW am Rhein wird das Treibgut erst seit den 90er Jahren entnommen, unter der früheren Betriebsbewilligung war eine Weiterleitung des Rechenguts möglich. Je nach Konstruktion des WKW wird das Rechengut von den Rechenreinigungsmaschinen über Förderbänder und -wagen entweder direkt in Container befördert oder zunächst auf Rechengutsammelplätzen abgeladen, von denen es dann zu einem späteren Zeitpunkt – teils unter körperlich schwerer Arbeit (mit Mistgabel) – in Container umgeladen wird.

Die Rechenreinigung erfolgt an den untersuchten WKW mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden. An vielen WKW werden die Rechenreinigungsprozesse vollständig automatisiert über eine Pegeldifferenzsteuerung in Betrieb gesetzt, sodass bei geringem Treibgutanteil nur alle paar Tage eine Reinigung stattfindet. Andere Rechenreinigungsmaschinen laufen zeitgesteuert, d. h., unabhängig vom Treibgutanteil findet beispielsweise eine tägliche oder sogar halbstündige Rechenreinigung statt. Bei einigen WKW hingegen wird die Rechenreinigung ausschließlich manuell je nach Treibgutanteil gesteuert. Bei extremem Treibgutanteil bei Hochwasser oder in Hochzeiten der Wasserpest (Elo-dea) sind die Rechenreinigungsmaschinen über Tage pausenlos in Betrieb, auch bei normalerweise automatisiert betriebenen Rechenreinigungsanlagen ist dann unter Umständen eine personengesteuerte Reinigung notwendig.

Ca. drei Viertel der Befragten (16 von 21 Interviews) beauftragen externe Entsorgungsunternehmen mit einer manuellen Sortierung und Verwertung bzw. Entsorgung des entnommenen Rechenguts. In vier weiteren Fällen übernehmen WKW-Betreiber zumindest einzelne Schritte des Verwertungs- bzw. Entsorgungsprozesses und überlassen den Rest externen Dienstleistern. Bei den selbst wahrgenommenen Schritten handelt es sich entweder um die Sortierung und

das Schreddern des organischen Materials sowie die Separierung von großen Holzstücken von dem restlichen organischen Material oder um einen Teil der Verwertung, d. h. Kompostierung auf eigener Kompostierungsanlage bzw. Verbrennung großer Holzstücke in einer eigenen Biomassekraftanlage. Lediglich in einem Fall eines kleinen WKW erfolgt die gesamte Verwertung des organischen Materials vollständig durch den Betreiber auf dem Gelände (Kompostierung der feineren biologischen Materialien und Aufschichtung des Totholzes zur Verrottung in eigenem Waldstück), aussortierter Zivilisationsmüll wird privat über den Gelben Sack oder den Restmüll entsorgt.

Die gesetzlich vorgegebene Trennung der Zivilisationsabfälle vom organischen Material stellt für viele eine große Herausforderung dar, eine Sortierung der einzelnen Abfallfraktionen innerhalb des Zivilisationsmülls findet offensichtlich weitestgehend nicht statt. Einige merkten an, dass keine Anlagentechnik verfügbar sei, um die Trennung des Treibguts weitestgehend automatisiert vorzunehmen. Insgesamt geschieht das Sortieren in der Regel mit Minibaggern oder tatsächlich händisch, was nicht nur eine »Knochenarbeit«, sondern zeit- und personalaufwendig ist und mit entsprechend hohen Kosten einhergeht. Ein Entsorger greift auf Windsichtung zurück, um Kunststoffe vom Rest zu trennen. Diese Trennung wird jedoch signifikant erschwert, wenn viel feines organisches Material wie Laub im Treibgut enthalten ist. Über den Aufwand bzw. die notwendige Technik hinaus erfordert die Trennung einen großen Platz, an dem das entnommene Rechengut ausgebreitet werden kann.

Nach dem Sortierprozess werden die verschiedenen Bestandteile des Rechenguts unterschiedlich verwertet bzw. entsorgt. Von einem Recycling der entnommenen Kunststoffe war in keinem Interview die Rede. Den Aussagen der drei befragten Entsorgungsunternehmen zufolge, werden der holzige Anteil und größere Bestandteile der Organik sowie der Zivilisationsmüll thermisch verwertet, das feinere organische Material des Treibguts (Laub, Seegrass, kleine Äste) wird, soweit möglich, kompostiert. Dies deckt sich weitestgehend mit den Angaben der WKW-Betreibenden, denen Informationen zur Verwertung bzw. Entsorgung ihres Rechenguts vorlagen. Darüber hinaus wurden neben der bereits genannten Verrottung des Totholzes im eigenen Waldstück die Verarbeitung der groben holzigen Bestandteile für die Gartenpflege sowie die fast vollständige Verbrennung des gesamten organischen Materials als Nassbrennstoff zur Temperaturregelung genannt.

Eine Kompostierung des feineren organischen Materials ist aufgrund der Zusammensetzung des Rechenguts und der einzuhaltenden hohen Qualitätsstandards von Kompost jedoch nicht immer möglich, sodass hier oft die nachrangig zulässige thermische Verwertung zum Zuge kommt. Entsprechend der Zusammensetzung und Verwertungsmöglichkeit des Rechenguts vergeben Entsorger unterschiedliche Abfallschlüssel gemäß Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV). In

einem Fall wird 20 02 01 – biologisch abbaubare Abfälle – für einen »sauberen« Container und 20 03 01 – gemischte Siedlungsabfälle – für einen »nicht-sauberen« Container verwendet. Die Vergabe dieser unterschiedlichen Abfallschlüssel suggeriert, dass bei hoher Verschmutzung evtl. keine Sortierung mehr vorgenommen wird, sondern alles gemeinsam thermisch verwertet wird. Die Entsorgung von Containern mit größeren Anteilen nicht-biologischer Fremdstoffe geht mit höheren Entsorgungskosten einher als eine Entsorgung des Rechenguts als biologischer Abfall. Dies dürfte der Grund sein, warum vor Abholung durch Entsorgungsunternehmen neben Sondermüll, der gesetzlich getrennt werden muss, zumindest grobe Störstoffe wie Fahrräder, Autoreifen oder Stühle, jedoch keine Plastikflaschen oder Folien von einigen Betreibenden aussortiert und separat entsorgt werden, um den Container als Grünschnitt entsorgen zu können.

Insgesamt wurden in fast allen Interviews die Kosten für die Abfuhr, Behandlung und Entsorgung des Treibguts sowie in vielen Interviews der mit der Entnahme verbundene Personalaufwand als Herausforderungen für die Betreibenden von WKW thematisiert. In verschiedenen Gesprächen wurde in diesem Kontext zudem die fehlende gesellschaftliche Honorierung der Beseitigung der Zivilisationsabfälle aus den Gewässern als Beitrag zum Umweltschutz moniert. Nicht alle WKW-Betreibenden jedoch sehen die Entsorgungskosten als eine Herausforderung, solange sich die Kosten im Rahmen halten. Weitere, in einigen Fällen genannte Herausforderungen betreffen den Umgang mit sperrigem Treibgut – insbesondere großes Totholz, aber auch großen Zivilisationsmüll wie Mülltonnen oder Einkaufswagen – sowie den Arbeitsschutz bzw. das Gefährdungspotenzial der Arbeitenden, die mit der Entnahme von verkeiltem sperrigem Rechengut befasst sind und teilweise Gefahren durch Gegenstände im Rechengut, wie Spritzen oder scharfe Metallteile, ausgesetzt sind. Aber auch der für das Handling des Rechenguts benötigte Platz auf dem Gelände der WKW wurde als Herausforderung benannt.

Weitergabe von Rechengut mit der fließenden Welle

Unter den Befragten betreiben zwölf mindestens ein WKW mit Spülrinne (insg. 19 Bauwerke), ein Betreiber überflutbare Anlagen mit Weitergabe des Rechenguts über Wehrklappen (insges. sieben Bauwerke) und zwei Befragte jeweils ein WKW mit Horizontalrechen (insges. zwei Bauwerke). Bei den Anlagen mit Spülrinne oder Horizontalrechen handelt es sich um WKW mit einer maximalen installierten Leistung von 1,5 MW (Horizontalrechen) bzw. 1,7 MW (Spülrinne). Die WKW mit Weitergabe über eine Wehrklappe sind hingegen in der Regel etwas größer und liegen zwischen 1,4 und 12,1 MW installierter Leistung.

Kleinere WKW könnten mit Entnahme und Entsorgung des Rechenguts ggf. nicht wirtschaftlich betrieben werden. Die Motivation für die Weitergabe des Rechenguts ist vor allem ökonomisch bedingt, denn die Weitergabe ist wesentlich weniger personal- und kostenintensiv als die Entnahme des Treibguts:

»So eine Spülrinne kostet einmal Geld in der Investition, aber bei der Betriebsdauer kostet die Unterhaltung natürlich sehr viel weniger auf Dauer, als die Reinigungsanlage der Ruhr zu spielen. «

Neben ökonomischen Gründen sind auch Auflagen hinsichtlich des Fischschutzes ursächlich für den Umbau von Rechenanlagen. Umbaumaßnahmen für den Flussschutz implizieren einen Weggang von der Entnahme und hin zur Weitergabe des Treibguts mit der fließenden Welle. In einigen Interviews wurde die Weitergabe explizit als Auflage bezüglich des Fischschutzes bzw. zur Sicherstellung des Fischabstiegs genannt. In anderen Fällen wurde die Weiterleitung nicht als Auflage selbst angeführt, aber der Umbau im Rahmen von Auflagen bzw. notwendigen Umbauten bzgl. des Fischschutzes getätigt:

»Der Umbau kommt ja vom Regierungspräsidium her, dass man gehalten wird, die Anlagen zu optimieren, auch die Stababstände zu verringern, um besser Fische zu kriegen. Die Aufforderung ist schon da und in dem Zuge guckt man natürlich auch, dass man dann die Müllentsorgung auch noch wegfallen lässt, weil es sind dann doch immense Kosten im Jahr, die wir da tragen. «

Weitere betonten darüber hinaus die ökologische Funktion des Treibguts als Grund für die Weiterleitung des Rechenguts. Vor diesen Hintergründen haben weitere Betreibende den Umbau (einiger) ihrer Rechenreinigungsanlagen hin zur Weitergabe des Rechenguts bereits angestoßen, beabsichtigen dies kurz- bis mittelfristig oder gehen langfristig davon aus, dass zukünftige Fischschutzaufgaben bei Konzessionsverlängerung der WKW einen solchen Umbau der Anlagen notwendig machen werden. Jedoch geht der Umbau – hin zu Horizontalrechen – mit signifikanten Eingriffen in das Bauwerk einher. Die Realisierbarkeit einer Rechengutweitergabe ist abhängig von den baulichen Gegebenheiten am jeweiligen Kraftwerk (Größe bzw. Durchfluss des WKW, Platz im Einlauf). Nicht überall – insbesondere bei großen, teils aber auch kleineren Kraftwerken – lassen sich Konstruktionen mit Weitergabe des Rechenguts technisch umsetzen.

Trotz grundsätzlicher Weitergabe des Treibguts wird an einigen WKW mit Spülrinne das gesamte Rechengut bei Hochwasser oder Starkregen entnommen. Zudem wird bei Weiterleitung Zivilisationsmüll – zumindest teilweise – aus dem Treibgut entfernt. In drei Fällen ist der Rechenreinigungsanlage mit Spülrinne ein manuell zu reinigender Grobrechen vorgeschaltet, an denen großer Zivilisationsmüll, wie Fässer/Regentonnen oder zerstörte Bierkisten, entnommen und entsorgt wird. Darüber hinaus gaben neun Betreibende an, Zivilisationsmüll händisch an den WKW auszusortieren, entweder bei jedem Reinigungsvorgang, der grundsätzlich manuell durchgeführt wird, bei automatisierten Reinigungsprozessen bzw. vor der Wegspülung, sofern Personal vor Ort ist und den Zivilisationsmüll verfolgt, oder unabhängig vom Reinigungsvorgang am Wehr bzw. Einlauf des Obergrabens zum WKW. Als Motivation für die Entnahme des

Zivilisationsmülls nannten die Befragten den Umweltschutz, Idealismus oder die eigene Erziehung zu diesem Verhalten. Der Umfang und die Menge des entfernten Zivilisationsmülls unterscheidet sich jedoch stark (weitere Informationen siehe Remke 2022).

Die Entsorgung von manuell entnommenen Zivilisationsabfällen erfolgt in der Regel über den Restmüll, d.h. bei privat betriebenen Kleinwasserkraftwerken auf eigene Kosten über die private Hausmülltonne oder per privatem Transfer des Abfalls zu den Entsorgungsbetrieben:

»Also, ich habe immer wieder Diskussionen, wenn ich mein Zeug Richtung Wertstoffhof bringe, weil das teils so vermischtes Zeug ist. Zum Teil haben die sich geweigert, das anzunehmen. Da habe ich gesagt: Leute, das hole ich aus dem Fluss raus. Den Abfall habe ich nicht verursacht, sondern ich beseitige nur den Abfall, jetzt helft mir halt mal. Aber dann fehlt da auch bei der Abnahme am Wertstoffhof das Verständnis.«

Nur ein Betreiber gab an, den aussortierten Plastikmüll über den Gelben Sack abholen zu lassen und betonte dabei den Kostenvorteil gegenüber einer Entsorgung über den Hausmüll. Unklar ist dabei, ob tatsächlich nur Leichtverpackungen entsorgt werden oder auch andere Kunststoffe, deren Entsorgung nicht über Lizenzentgelte des Dualen Systems abgedeckt ist. Vereinzelt Betreibende bemühen sich darüber hinaus noch Glas- oder Mehrwegflaschen separat auszusortieren und im Altglascontainer zu entsorgen oder im Laden zurückzugeben.

Im Falle von Anlagen mit einer Wehrklappe wird das Treibgut »bei geringen anfallenden Mengen« zielgerichtet durch das Öffnen der Klappe weitergeleitet, Zivilisationsmüll wird dabei nicht entnommen. Wenn jedoch bei größerem Treibgut anfall bei Hochwasser die Rechen verlegt sind oder ein Treibzeugteppich vor dem WKW schwimmt, wird das Treibgut an fünf der sieben in den Interviews berücksichtigten WKW mit Wehrklappen über die Rechenreinigungsmaschine entnommen und entsorgt, um den Betrieb der Kraftwerke aufrechtzuerhalten. Die anderen zwei WKW hingegen werden aufgrund der geringen Fallhöhe bei großen Wasserabflüssen und einhergehendem stärkerem Treibgut anfall relativ schnell abgeschaltet, sodass dort kein Treibgut entnommen wird, sondern dieses an den Wehren und Schleusen hängenbleibt bzw. über die Wehre abfließt.

Anstelle der Entnahme oder Weitergabe über eine Spülrinne werden vor allem aufgrund des Fischschutzes zunehmend Horizontalrechen⁷ verbaut, an denen

⁷ Erläuterungen zur Konstruktion von Rechenanlagen an WKW befinden sich inklusive Abbildungen in Remke (2022) in Kapitel 2.2.

nicht nur die Fische, sondern auch das Rechengut weitergeleitet wird. Im Untersuchungsgebiet betreiben die Interviewten bisher jedoch erst zwei solcher Anlagen. Im Falle von Horizontalrechen wird zu keiner Zeit das Treibgut entnommen. Im Gegensatz zur Weitergabe des Rechenguts mit der Spülrinne gibt es zudem bei einem Horizontalrechen keinerlei Möglichkeit, Zivilisationsmüll manuell aus dem Fluss zu entfernen.

3.2 Zusammensetzung und Herkunft des Zivilisationsmülls

Die Zusammensetzung des Zivilisationsmülls im Rechengut von WKW ist unweigerlich mit dessen Herkunft verknüpft.

Zusammensetzung des Zivilisations- mülls im Treibgut

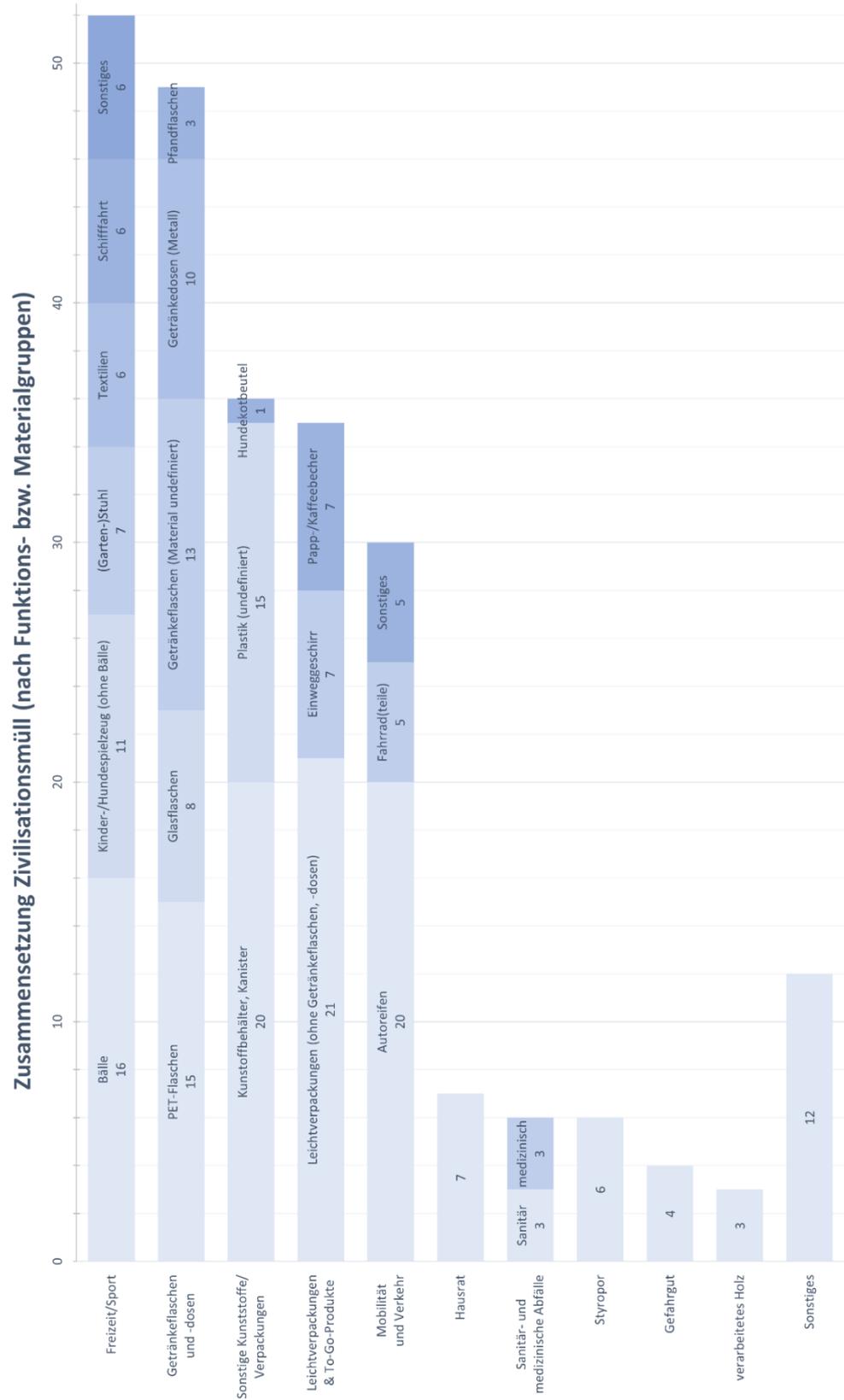
Unter den in den Interviews genannten Bestandteilen des Zivilisationsmülls werden überwiegend Freizeit- und Sportgegenstände (ca. 21,6 %; insbesondere Bälle und sonstiges Kinder- oder Hundespielzeug), Getränkeflaschen und -dosen (Einweg und Mehrweg; insg. ca. 20,4 %), Leichtverpackungen und To-go-Produkte (14,6 %), weitere Kunststoffe und Verpackungen (15,0 %) sowie Abfälle aus dem Bereich Mobilität und Verkehr (12,5 %; vor allem Autoreifen) aufgeführt. Hingegen werden Hausrat, Sanitär- und medizinische Abfälle (inkl. Covid-Masken), Styropor, Gefahrgut und verarbeitetes Holz weitaus seltener genannt (siehe **Bild 3-3**). Teilweise in der Literatur, aber in keinem Interview wurden Zigarettenstummel oder große Folien genannt.

Gesamt gesehen bilden jedoch Verpackungen von Lebensmittelprodukten, d. h. jegliche Getränkeflaschen und -dosen sowie Leichtverpackungen und To-go-Produkte (Einweggeschirr und Papp-/Kaffeebecher) mit 35,0 Prozent aller Nennungen die größte Gruppe. Auch wenn Leichtverpackungen grundsätzlich von anderen Produkten als Lebensmitteln stammen können, wurden darunter häufig explizit Lebensmittelverpackungen genannt.

Grundsätzlich ist jedoch zu bedenken, dass die Häufigkeit der Nennung der Gegenstände noch nichts über die tatsächliche Häufigkeit ihres Vorkommens (stückzahlenmäßig) bzw. über die mengenmäßige oder gewichtsmäßige Zusammensetzung des Zivilisationsmülls im Treibgut aussagt. Auch wenn Lebensmittelverpackungen entsprechend ihrer häufigen Nennung mutmaßlich eine stückzahlmäßig große Relevanz aufweisen, machen sie gewichtsmäßig nur einen geringen Teil des Zivilisationsmülls im Rechengut aus. Dies ist aus der Übersicht einer von einem Betreiber stichprobenartig durchgeführten Sortieranalyse eines Containers ersichtlich (siehe Anhang in Remke 2022)⁸.

⁸ Die Sortieranalyse wurde durch den WKW-Betreiber durchgeführt (26-WKW-HE). Die Kategorien entsprechen daher nicht den in dieser Studie gewählten Funktions- bzw. Materialgruppen. Zudem ist davon auszugehen, dass bei der Sortierung nur eines Containers nicht alle über das Jahr angetriebenen Abfallgruppen vorgefunden werden.

Bild 3-3: Häufigkeit der Nennung von Gegenständen im Zivilisationsmüll in den 35 durchgeführten Interviews (nach Funktions- beziehungsweise Materialgruppen sortiert)



Zudem wurde das Vorkommen der Verpackungen von Lebensmittelprodukten teils sehr unterschiedlich eingeschätzt. Während einige Interviewpartner:innen angaben, »im Regelfall« bzw. »vor allem« Plastikflaschen in ihrem Rechengut vorzufinden, spielen diese nach der Wahrnehmung anderer Befragter eine nur untergeordnete Rolle.

Die Nennung der Gegenstände spiegelt die subjektive Wahrnehmung der jeweiligen Expert:innen am Standort wider. So ist z. B. davon auszugehen, dass Gegenstände, die aufgrund ihrer Größe und Gewichts oder ihres Treibens an der Wasseroberfläche besonders auffällig sind, häufiger genannt werden. Bestandteile aus durchsichtigen Materialien oder kleine Gegenstände hingegen werden nicht immer im Rechengut wahrgenommen, erst recht nicht, wenn diese nicht immer mit dem Rechengut entnommen werden. Nicht zuletzt könnten die Aussagen über die Zusammensetzung durch die extremen Starkregen und Hochwasser im Juli 2021 in vielen Regionen Deutschlands geprägt sein. Die subjektiv stärkere Wahrnehmung von größeren bzw. schwereren gegenüber kleineren und leichteren Abfällen wurde in verschiedenen Interviews im Kontext von To-go-Produkten deutlich, unter anderem:

»Ich kann es Ihnen nicht genau sagen, aber [To-go-Produkte] [spielen] sicherlich eine Rolle. Aber wenn man es vom Volumen her sieht, dann wiegt natürlich ein einzelner Autoreifen ich weiß nicht wie viele Pappbecher auf. Insofern gehe ich davon aus, dass es eher eine untergeordnete Rolle spielt.«

»To-go-Dinge fallen nicht irgendwie besonders auf. Es kommen halt Autoreifen, also da fallen eher so größere Sachen auf, die halt vielleicht mit einem Hochwasser angeschwemmt werden, weil es irgendjemand vor dem Hochwasser am Ufer abgelegt hatte: Autoreifen waren mal dabei, Bälle sind oft dabei [...].«

Dies könnte ein Grund für die häufigen Nennungen von Autoreifen sein. Autoreifen wurden in 20 von 35 Interviews explizit benannt und stellen somit nach Leichtverpackungen den am zweithäufigsten genannten Gegenstand dar. Mit durchschnittlich nur ca. einem Autoreifen pro Woche (vergleiche 50 Autoreifen im Jahr; bzw. 80 bis 250 zu entsorgenden Autoreifen im Jahr von fünf WKW) sind diese jedoch zumindest zahlenmäßig weitaus geringer zu gewichten als bspw. das Aufkommen von Getränkeflaschen jeglicher Art, von denen sich häufig mehrere gleichzeitig im Rechengut befinden. Jedoch ist die häufige Nennung durchaus nachvollziehbar unter dem Aspekt, dass Autoreifen sowohl aufgrund ihres Volumens und ihrer Masse bei Entnahme des Treibguts als auch durch die zusätzlichen Kosten bei der Entsorgung als Sondermüll den Betreibern besonders negativ auffallen. Zudem schwimmen Autoreifen – im Gegensatz zu Verpackungen und PET-Flaschen – nicht und werden zu Zeiten von Hochwasser akkumuliert angeschwemmt.

Insgesamt ist angesichts der genannten Gegenstände von einem recht hohen Kunststoffanteil unter dem Zivilisationsmüll im Treibgut auszugehen. Bei fünf

der funktions- oder materialspezifischen Kategorien (57/240 Nennungen, d. h. 23,8 %) ist dies durch die Beschreibung bereits gesetzt (PET-Flaschen, (Kunststoff-)Behälter/-Kanister/-Fässer, Plastik (undefiniert), Hundekotbeutel, Styropor). Nur in vier Fällen (26/240 Nennungen, 10,8 %) ist ein Kunststoffgehalt durch die Nennung der Gegenstände kategorisch ausgeschlossen (Glasflaschen, Getränkedosen, verarbeitetes Holz) oder es ist von einem vergleichsweise geringen Kunststoffgehalt auszugehen (Fahrräder). Bei allen übrigen Gegenständen kann ohne weitere Information keine sichere Aussage zum Kunststoffgehalt getroffen werden (z. B. Alu- oder Kunststoff-Leichtverpackungen, Holz- oder Monobloc-Stuhl, Leder- oder Kunststoffball). Produkte mit hohem Kunststoffgehalt sind im Alltag weit verbreitet (beispielsweise Kinder- und Hundespielzeug, To-go-Produkte aus Kunststoff oder Verbundmaterialien, synthetisch gefertigte Autoreifen, Sanitär- und Medizinprodukte).

Herkunft des Zivilisationsmülls im Rechengut

Direktes Littering durch die Bevölkerung, definiert als »das Wegwerfen oder Liegenlassen von Abfällen im öffentlichen Raum« (Breitbarth und Urban 2014, S. 604) wird von den Befragten zweifellos als Hauptursache für den Zivilisationsmüll im Rechengut benannt. Während bei Bällen, Kinder- und Hundespielzeugen zu vermuten ist, dass sie häufig unbewusst zurückgelassen oder verloren wurden (»passives Littern«), ist bei anderen Gegenständen wie Verpackungsabfällen davon auszugehen, dass sie mutwillig oder zumindest nachlässig in den Fluss geschmissen bzw. nahe dem Fluss hinterlassen wurden (»aktives Littern«; Breitbarth und Urban 2014, S. 605).

Ein Zusammenhang wird zwischen der Nutzung der Gewässer und Ufer für Tourismus, Freizeit- und Erholungszwecke und dem Anfall von Zivilisationsabfällen im Rechengut hergestellt. So nehmen mehr als die Hälfte der interviewten Personen an, dass im Sommer aufgrund der intensiveren Nutzung mehr Zivilisationsmüll verursacht wird als zu anderen Jahreszeiten, der dann entweder direkt oder mit dem ersten Hochwasser bzw. Starkregen – ggf. erst im Herbst – am Rechen angeschwemmt wird. Jedoch wurde in den Interviews in der Regel nur ein allgemeiner Schätzwert für den Anteil des Zivilisationsmülls am Gesamtrechengut angegeben, d. h. keine Unterscheidung des Anteils im Sommer und anderen Jahreszeiten getroffen. Nur in einem Interview wurde der Anteil des Zivilisationsmülls am Gesamtrechengut konkret im Sommer auf bis zu 60 bis 80 Prozent geschätzt, was im Vergleich zu den sonstigen Schätzungen über das Jahr hinweg sehr hoch ist. Dabei gilt es jedoch zu bedenken, dass die Menge des biologischen Treibguts im Sommer geringer, d. h. der »Verdünnungseffekt nicht vorhanden« ist, sodass selbst bei gleichbleibender Menge von Zivilisationsmüll dessen Anteil im Rechengut steigt.

Weitestgehende Einigkeit besteht darin, dass Littering vor allem indirekte Implikationen für die Menge des Aufkommens an Zivilisationsmüll im Rechengut hat, d. h., dass die Abfälle vom Gewässerrand erst später durch witterungsbe-

dingte Ereignisse in den Fluss geweht werden. Jedoch erwähnten einige Interviewte darüber hinaus den regelmäßigen direkten Eintrag von Abfällen in die Flüsse, insbesondere durch Personen mit (Schlauch-)Booten oder Kanus auf der Lahn sowie bei privaten Versammlungen bzw. Partys an Flussufern. In diesen Fällen wird im Gegensatz zu den ansonsten überwiegend indirekt konstatierten Implikationen von einigen Interviewten ein unmittelbar erhöhtes Aufkommen von Zivilisationsabfällen im Rechengut am Wochenende bzw. während der Schul-/Semesterferien oder des Corona-Lockdowns festgestellt. Anders als bei Hochwasserphasen sei in Niedrigwasserphasen davon auszugehen, dass die meisten am Rechen angeschwemmten Abfälle »proaktiv von den Leuten in den Fluss geworfen werden«.

Zu indirektem Littering gehören gem. der Definition von Breitbarth und Urban (2014) auch Verwehungen unter anderem aus defekten oder überfüllten Abfallbehältern, von privaten Grundstücken oder von Gelben Säcken, die angesichts unsachgemäßer oder zu früher Bereitstellung zur Abholung zerrissen sind. Dies ist damit begründet, dass die Akteure die Verteilung der Abfälle im öffentlichen Raum aufgrund mangelnder Sicherung der Gegenstände billigend in Kauf nehmen (Breitbarth und Urban 2014, S. 605; Breitbarth 2017, S. 31). In diesem Kontext gab ein Interviewpartner zu bedenken, dass an Ufern aufgestellte Mülleimer oftmals nicht rechtzeitig geleert und die darin ordnungsgemäß entsorgten Abfälle dann bei Hochwasser in den Fluss eingetragen werden. Andere Interviewte vermuteten die bewusst oder unbewusst dichte Lagerung von Mülltonnen bzw. Abfallsäcken an Flussufern als indirekte Ursache der Zivilisationsabfälle im Rechengut:

»Hochwasser ist wie Putzen. Alles, was nicht bis zwei auf dem Baum ist, wird weggespült. Das ist nun mal so. Es gibt halt Leute, die lagern halt ihre Abfälle ganz dicht an der Wasserkante.«

Auch wenn es in den Interviews nicht explizit thematisiert wurde und angesichts mangelnden Detaillierungsgrads bei der Beschreibung der aufgefundenen Verpackungen nicht nachgewiesen werden kann, könnten Einträge aus Mülltonnen und -säcken (insbesondere Gelben Säcken) einen wichtigen Beitrag zum Eintrag von Zivilisationsabfällen in Flüsse bedeuten (vergleiche Breitbarth 2017, S. 31, 54).

Von Littering zu unterscheiden ist die illegale Müllentsorgung, die im Kontext von aufgefundenen Autoreifen wiederholt als Eintragspfad vermutet wurde. Anders als beim Littering steht bei der illegalen Abfallentsorgung die Vermeidung von Abfallentsorgungsgebühren im Vordergrund (Breitbarth und Urban 2014, S. 604). Neben Littering oder der bewussten bzw. unbewussten Müllentsorgung durch die Bevölkerung wurden nur in vereinzelt Fällen andere mögliche Quellen oder Eintragspfade für die Abfälle im Fluss benannt, welche in Remke (2022) diskutiert werden.

3.3 Einflussfaktoren für das Aufkommen von Rechengut und den Austrag von Zivilisationsmüll

Hinsichtlich des Aufkommens von Zivilisationsmüll im Rechengut ist zu unterscheiden zwischen Faktoren, die allgemein die Menge bzw. den Austrag von Rechengut inkl. der darin enthaltenen Zivilisationsabfälle beeinflussen und solchen, die konkret den Eintrag von Zivilisationsabfällen in Flüsse fördern (siehe **Tabelle 2**).

Tabelle 2: Einflussfaktoren für das Aufkommen von Rechengut und den Austrag von Zivilisationsmüll

Einflussfaktoren für das Aufkommen und den Austrag von Rechengut insgesamt (inkl. Zivilisationsmüll)	Einflussfaktoren für den Eintrag von Zivilisationsmüll in Flüsse
Witterung und lokale oder überregionale Wetterereignisse (z. B. Hochwasser, Starkregen, Sturm)	
Ausgestaltung von WKW <ul style="list-style-type: none"> ➤ Typ und Lage des WKW ➤ Rechenabstände ➤ Ausbaudurchfluss bzw. Größe/installierte Leistung des WKW 	Gestaltung und Nutzung der unmittelbaren Umgebung eines WKW flussaufwärts
Tatsächlicher Durchfluss, Wehrüberfall	Siedlungsstruktur bzw. -dichte
Beschaffenheit des Flussoberlaufs <ol style="list-style-type: none"> 1. Flusskilometer/Uferfläche bzw. Größe des Wasserkörpers bis zu einem oberhalb gelegenen WKW <ul style="list-style-type: none"> ➤ Einmündung bedeutender Nebenflüsse 	Entsorgungsaufwand bzw. -kosten für Haus- und Sondermüll

Wie viel Treibgut (inkl. darin enthaltener Zivilisationsabfälle) insgesamt am Rechen angeschwemmt und – je nach Umgang – entnommen wird, ist durch die Witterung und Wetterereignisse, Ausgestaltung von WKW, den tatsächlichen Durchfluss bzw. Wehrüberfall sowie die Beschaffenheit des Flussoberlaufs bestimmt.

Während die Hochzeit des biologischen Treibguts vor allem mit biologischen Prozessen (z. B. Laubfall im Herbst, Elodea- und Algenanfall nach sehr heißen und trockenen Sommern; zusammenhängt, wird das Gesamtaufkommen des Rechenguts vor allem jedoch durch die Witterung und lokale oder überregionale Wetterereignisse geprägt. Durch die Menge des Niederschlags sowie lokale oder überregionale Wetterereignisse wie Sturm oder Starkregen und/oder Hochwasser wird einerseits biologisches Material – vor allem größeres Totholz – und andererseits auch Zivilisationsmüll von den Ufern und umliegenden Straßen in die Flüsse eingespült. Insgesamt steigt dadurch die Gesamtreibgutmenge signifikant an. Somit scheinen weniger die Jahreszeit oder das Jahr selbst, sondern vielmehr die Witterung und Wetterereignisse ausschlaggebend zu

sein für einen traditionell starken Treibgutanteil im Frühjahr (unter anderem durch höhere Wasserführung der Flüsse). durch Schneeschmelze im Oberlauf oder eine tendenziell geringere Menge an Treibgut im Sommer und insgesamt in trockenen Jahren.

Insgesamt kann durch den Einfluss der Witterung, der lokalen oder überregionalen Wetterereignisse das Gesamtaufkommen an Rechengut an einigen WKW in einzelnen Jahren bzw. Monaten um ein Vielfaches höher liegen als in früheren oder folgenden Jahren bzw. vergleichbaren Monaten. Die Abweichungen sind jedoch nicht bei allen WKW gleichermaßen stark (siehe **Bild 3-4** und **3-5**).

Bild 3-4: Abweichung des jährlichen Rechengutaufkommens gegenüber dem Referenzjahr 2020 an drei exemplarischen Wasserkraftanlagen (09-WKW-RLP)

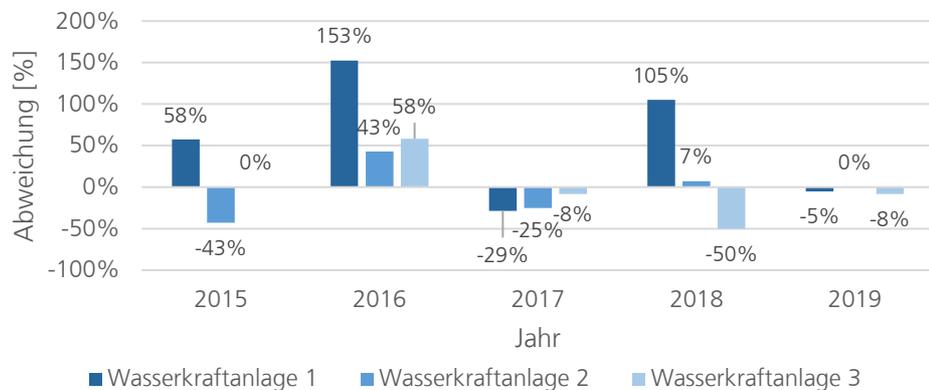
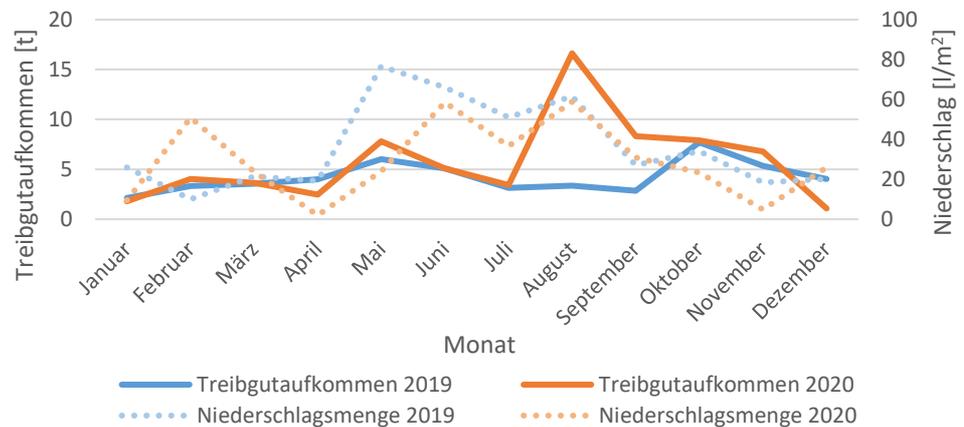


Bild 3-5: Monatliches Rechengutaufkommen [t] und Niederschlagsmengen [l/m²] innerhalb der Jahre 2019 und 2020 an einer ausgewählten Wasserkraftanlage (16-WKW-BW)



Den Daten des Kraftwerks in **Bild 3-4** zufolge ist zudem keine Korrelation zwischen Niederschlagsmenge und Treibgutaufkommen in den jeweiligen Monaten erkennbar, vielmehr verwies der Interviewpartner auf ein erfahrungsgemäß erhöhtes Aufkommen von Treibholz nach kurzem Starkregen. Das Rechenaufkommen insgesamt kann demnach als »relativ zufällig, also nicht vorhersehbar« bezeichnet werden.

Hinsichtlich der Ausgestaltung von WKW wurden in den Interviews drei konkrete Einflussfaktoren angeführt: Typ und Lage des WKW, Rechenabstände sowie Ausbaudurchfluss bzw. Größe/installierte Leistung des WKW als Einflussfaktoren für die Menge des angeschwemmten und – im Falle der Entnahme – entsorgten Rechenguts inkl. der Zivilisationsabfälle benannt.

Typ und Lage des WKW sind insofern relevant, als dass in der Regel nur Laufwasserkraftwerke – d.h. WKW mit kontinuierlich durchfließendem Wasser ohne Speichermöglichkeit, die sich wiederum in Flusskraftwerke und Ausleitungskraftwerke gliedern lassen (Giesecke et al. 2014, S. 109), siehe unten – ein relevantes Aufkommen an Treibgut aufweisen. An Talsperrenkraftwerken als Form der Speicherkraftwerke liegt der Einlauf sehr tief, sodass in der Regel kein Treibgut anfällt. Bei Pumpspeicherkraftwerken hingegen, bei denen Wasser durch das Abfließen bzw. Hochpumpen zwischen einem Ober- und einem Unterbecken als Speichermedium für Energie dient, ist der Treibgutanteil bzw. die Relevanz dessen abhängig von der Pumpdauer und dadurch signifikant geringer als bei Laufwasserkraftwerken – mit Ausnahme von Jahren mit ungewöhnlich starkem Anfall von Wasserpflanzen:

»Grundsätzlich sind die Laufwasserkraftwerke schon die, die eindeutig mehr Müll rausziehen als die Pumpspeicherkraftwerke. Wenn ich bei einem Pumpspeicherkraftwerk eine Stunde pumpe, dann ist mir der Rechen fast egal. Wenn ich danach wieder Turbine fahre, ist der Rechen wieder frei. Wenn ich aber fünf Stunden pumpen muss und die Alge setzt mir nach zwei Stunden schon alles zu, dann muss ich viel ziehen, und das hatten wir [2020] auf jeden Fall.«

Bezogen auf Laufwasserkraftwerke fällt bei Flusskraftwerken mehr Treibgut an als bei Ausleitungskraftwerken. Grund dafür ist, dass bei einem Ausleitungskraftwerk – bei dem Wehr und Zentrale nicht, wie beim Flusskraftwerk, nebeneinander im Fluss liegen, sondern getrennt sind und das Kraftwerk in einem künstlichen Kanal bzw. einer künstlich geschaffenen Flussschleife angeordnet ist (Giesecke et al. 2014, S. 111, 119; Patt und Gonsowski 2011, S. 185–186) – nur ein Teil des Wassers und somit nur ein Teil des Treibguts ausgeleitet wird. Der Rest wird mit dem nicht für die Energieerzeugung genutzten Mindestwasser bzw. im Hochwasserfall mit dem den Ausbauabfluss übersteigenden Abfluss über das Wehr abgeführt (vergleiche Conversio Market & Strategy GmbH 2020a, S. 11).

Die durch die Lage im Fluss bedingte Strömungsgeschwindigkeit am WKW hat ebenfalls einen Einfluss auf die angeschwemmte Menge an Treibgut. So wurde angemerkt, dass Buchtenkraftwerke, bei denen – als Sonderform eines Flusskraftwerks⁹ – eine geringere Treibgutmenge am Kraftwerk aufweisen als mittig im Fluss gelegene Kraftwerke. Zudem sind Flusskraftwerke in Flusskrümmungen in der Regel auf der nahezu geschiebefreien Außenseite angeordnet, wo

⁹ Das Kraftwerk ist hier in einer künstlich geschaffenen Bucht neben dem ursprünglichen Flusslauf gebaut (Giesecke et al. 2014, S. 115),

sich jedoch durch die Strömung das Treibgut an und unter der Wasseroberfläche sammelt (Giesecke et al. 2014, S. 114-115, 182), sodass »ungünstig in der Kurve« gelegene WKW eine besonders hohe Menge schwimmenden Treibguts aufweisen. Letztlich kann sich auch die Turbinenwahl auf die Rechengutmenge auswirken, d. h. dass geringere Mengen an Treibgut an Rohrturbinen bzw. Schnecken anfallen, da diese eine eher überströmbare Bauweise aufweisen (Giesecke et al. 2014, S. 595).

Zudem hoben mehrere WKW-Betreibende hervor, dass sich der Rechenabstand, der bei den untersuchten WKW zwischen 10 mm und 200 mm schwankt, auf die Menge des angestauten und somit – bei WKW mit Entnahme – angefallenen Treibguts samt Zivilisationsmüll auswirke. Demnach bleibt grundsätzlich mehr Treibgut und darin enthaltener Zivilisationsmüll bei kleineren Rechenabständen hängen, während bei größeren Abständen auch Gegenstände wie Kaffeebecher durchlaufen könnten. Damit wird begründet, dass bei einzelnen durchgeführten Sortieranalyse bei großem Rechenabstand vergleichsweise wenige Verpackungen beobachtet wurden:

»Die letzten Anteile hier [unter anderem] Eimer, Besenstiele, Fender, Hundespielzeug, Schuhe], das sind immer größere Sachen. Da kriege ich wahrscheinlich alles. Und die Folienverpackungen und Tüten, die sind so fein, die gehen auch durch den Rechen. Die verliert man sozusagen. Deswegen sind sie unterrepräsentiert im Müll. Ich krieg die einfach nicht.«

Dennoch gilt zu berücksichtigen, dass – sobald der Rechen beginnt, sich vollzusetzen – kleineres Treibgut angestaut wird, d. h. das angeschwemmte Treibgut eine Art »festes Sieb« bildet, sodass kleinere Kunststoffprodukte hängenbleiben. Entsprechend hängt die Entnahme kleinerer Abfälle auch vom Zeitpunkt der Rechenreinigung ab, denn mit mehr Material am Rechen können eher kleinere Abfälle wie Folien zurückgehalten werden (vergleiche PFD 2019a, S. 2).

Als dritten Einflussfaktor hinsichtlich der Ausgestaltung von WKW benannten rund ein Viertel der WKW-Betreibenden den Ausbaudurchfluss, d. h. die maximale Wassermenge, die bei einem WKW durch die Turbinen geführt wird bzw. die Größe und installierte Leistung des WKW, die in etwa korrelieren (Conversio Market & Strategy GmbH 2020a, S. 11). Näherungsweise wurde die Größe der Rechanlage als Einflussfaktor bzw. Indikator für die Menge des Treibguts genannt.

Neben dem Ausbaudurchfluss ist jedoch vor allem der tatsächliche Durchfluss bzw. Wehrüberfall relevant (vergleiche Conversio Market & Strategy GmbH 2020a, S. 11). Denn wenn im Fall extremen Niedrigwassers oder Hochwassers die Kraftwerke abgestellt oder ein großer Anteil des Wassers und des darin enthaltenen Treibguts über das Wehr geleitet wird, verbleibt mit dem Treibgut ein gewisser Anteil des Zivilisationsmülls im Wasser, der sonst im Falle der Entnahme ausgetragen würde. Ähnlich verhält es sich mit der Mindestwasserabgabe bei Ausleitungskraftwerken oder Schleusen, da auch in diesem Wasser

Zivilisationsmüll enthalten sein kann. Jedoch ist der Wasserzug im Bereich des WKW bedeutend größer, sodass im Normalfall mehr Zivilisationsmüll durch das Kraftwerk geleitet werden sollte. Breitbarth (2017, S. 66) schätzt, dass an der Saale nur weniger als ein Viertel des Zivilisationsmülls mit dem Rechengut am WKW entnommen wird.

Hinsichtlich der Beschaffenheit des Flussoberlaufs sind zwei Faktoren relevant für die Menge des angeschwemmten und entnommenen Treibguts inkl. darin enthaltener Störstoffe. Erstens handelt es sich dabei um die Flusskilometer/Uferfläche bzw. Größe des Wasserkörpers (insbesondere bei Wasserpflanzen relevant) bis zu einem ggf. oberhalb gelegenen WKW – je größer der Abstand bzw. die Fläche, desto mehr Rechengut fällt an. Denn grundsätzlich wird bei Anlagenketten ein gewisser Flussreinigungseffekt von WKW festgestellt, solange es keinen oder nur einen geringen Wehrüberfall gibt. D.h., es fallen signifikant weniger Treibgut inkl. Zivilisationsabfälle an, wenn das Rechengut an einem oberhalb gelegenen WKW bereits entnommen wird. Zweitens fällt nach der Einmündung bedeutender Nebenflüsse mehr Rechengut am folgenden WKW an, als bei den umliegenden Kraftwerken, wenn in den Nebenflüssen keine »Flussreinigung« durch WKW erfolgt.

Einflussfaktoren für den Austrag von Zivilisationsmüll in Flüssen

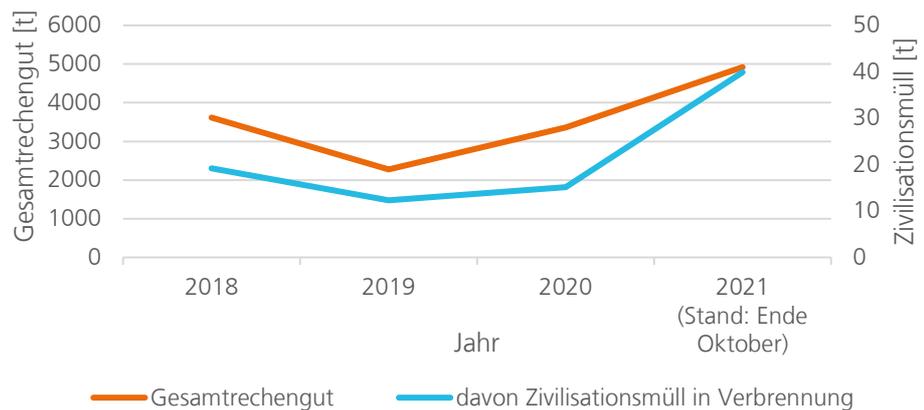
Neben den Einflussfaktoren für das Aufkommen und den Austrag von Rechengut insgesamt (inkl. Zivilisationsmüll) können die Witterung und Wetterereignisse, die Gestaltung und Nutzung der unmittelbaren Umgebung flussaufwärts von WKW, die Siedlungsstruktur bzw.-dichte sowie möglicherweise der Aufwand für die Entsorgung und die Höhe der Entsorgungskosten für (Sonder-)Müll eine direkte oder indirekte Auswirkung auf den Eintrag von Zivilisationsabfällen in Gewässer haben.

Wie bereits erwähnt, haben die Witterung und Wetterereignisse eine große Relevanz für den Eintrag des in Ufernähe befindlichen Zivilisationsmülls in Gewässer. Mit Hochwassern werden zudem schwere Störstoffe wie Stühle, Einkaufswagen oder Autoreifen an Rechen angeschwemmt, die sich sonst auf dem Boden des Gewässers ablagern und entweder mutwillig durch die Bevölkerung oder erst durch das Hochwasser in das Gewässer eingetragen wurden.

Unterschiedliche Erfahrungen und Einschätzungen bestehen jedoch hinsichtlich des gleichbleibenden bzw. veränderten Verhältnisses des Störstoffanteils im Treibgut bei Starkregen und/oder Überschwemmungen. Während einige Interviewte in diesen Situationen zumindest zu Beginn des Hochwassers eine anteilige Zunahme des Zivilisationsmülls im Treibgut beobachten, gehen andere »nur« von einer Zunahme in absoluten Mengen aus, d. h. parallel zum Anfall des biologischen Treibguts. Ein weiterer Betreiber wiederum berichtete nach Hochwasser von einem anteilig geringeren Aufkommen an Zivilisationsmüll. Die Daten eines Entsorgers lassen diesbezüglich über die Jahre eine Tendenz zu ei-

nem korrelierenden Anstieg bzw. Abfall des Zivilisationsmülls (Korrelationskoeffizient $r = 0,93$) mit der Menge des Gesamtrechenguts vermuten (siehe **Bild 3-6**).

Bild 3-6: Menge des von einem Entsorgungsunternehmen aussortierten und verbrannten Zivilisationsmülls [t] (rechte Achse) im Gesamtrechengut [t] (linke Achse); der Anteil des Zivilisationsmülls am Gesamtrechengut entspricht dabei 0,45-0,81 Gew.-%



Auch Gestaltung und Nutzung der unmittelbaren Umgebung eines WKW flussaufwärts – genauer das Verhalten der Bevölkerung in dieser Umgebung – hat einen unmittelbaren Einfluss auf den bewussten oder unbewussten Eintrag von Zivilisationsabfällen sowie deren Zusammensetzung. Beispielhaft ist die Nutzung der Flüsse für Wassersportaktivitäten an Ruhr und Lahn sowie als Radfahr-, Wander- bzw. Naherholungsgebiet zu nennen, die als entscheidend für den Eintrag von Abfällen aus der Schifffahrt, Freizeitartikeln bzw. auch für einen erhöhten Eintrag von Konsumprodukten in der Zusammensetzung genannt wurden. Mangels Alternativen wurde in Zeiten der Corona-Pandemie eine verstärkte Nutzung der Ufer »und damit auch mehr Abfallaufkommen« festgestellt, für deren Beseitigung teilweise Reinigungsunternehmen vom WKW-Betreibenden beauftragt wurden. Auch die umgebende Infrastruktur ist entscheidend:

»Wenn ein Fußballplatz in der Nähe ist, dann habe ich an dem Kraftwerk mehr Bälle. Wenn eine Schule in der Nähe ist, habe ich öfter mal mehr Dosen.«

Die Gestaltung der Umgebung im Sinne der (fehlenden) Verfügbarkeit bzw. Nähe von Restaurants wirkt sich auch auf den (fehlenden) Eintrag von Abfällen von To-go-Produkten aus:

»Ich sage mal so: Die Kaffeebechermarken der Gegend, die kennt man dann auch schon. «

Im Zusammenhang mit der unmittelbaren Umgebung gehen mindestens sieben der befragten WKW-Betreibenden davon aus, dass die Siedlungsstruktur bzw. -dichte einen Einfluss auf die in Flüsse eingetragene Menge von Abfällen hat, d. h. der direkte und indirekte Abfalleintrag in städtischen Gebieten höher ist als in ländlichen Räumen. Als Grund wird hier die verstärkte Nutzung der

Uferumgebung angeführt, z. B. zum Grillen und für Partys oder »weil es dort dann auch Brücken gibt, Campingplätze oder halt Tourismus«. Brücken sind auch von Conversio Market & Strategy GmbH (2020a, S. 11) als Einflussfaktor für größere Mengen an Zivilisationsmüll im bayerischen Donaeinzugsgebiet benannt. Hingegen teilte ein Interviewpartner dieser Studie explizit nicht die Einschätzung, dass Brücken eine Bedeutung für Abfalleinträge haben:

»Ich kann mir kaum vorstellen, dass die Leute auf der Brücke stehen und die Plastikflaschen da reinwerfen.«

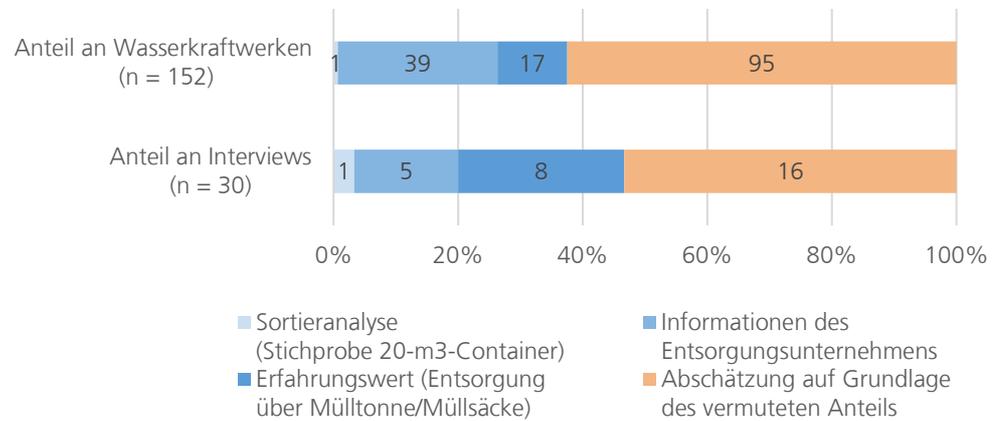
Auenbreiten als Aspekt der unmittelbaren Umgebung fanden in den Interviews – entgegen der für die Wahl der Untersuchungsgebiete ausschlaggebenden Vermutung des UBA – keine Erwähnung als relevantem Einflussfaktor für Abfalleinträge. Nicht zuletzt wurden in drei Interviews auch Entsorgungsaufwand bzw. -kosten für Haus- und Sondermüll als Einflussfaktoren für die Menge an Zivilisationsabfällen angeführt, die nicht fachgerecht entsorgt werden und im Gewässer landen. Teils wurde eine Rückläufigkeit des Eintrags von Abfällen in Flüsse wahrgenommen, was auf verbesserte Entsorgungsmöglichkeiten von Wertstoffen und Abfällen zurückgeführt wurde.

3.4 Quantitative Abschätzung: Entnahme von Zivilisationsmüll an Wasserkraftwerken

Fast die Hälfte der interviewten WKW-Betreibenden (ca. 47 %) konnte einigermaßen konkrete Aussagen zu dem Gewicht oder Volumen des an ihrem Kraftwerk bzw. (einigen) ihrer Kraftwerke entnommenen Zivilisationsmülls treffen. Dadurch wird gut ein Drittel der in der Studie berücksichtigten Bauwerke abgedeckt. Ein Interviewpartner führte eigens für das Interview eine Sortieranalyse eines – nach seiner Einschätzung – repräsentativen 20-m³-Treibgutcontainers durch und nahm auf dieser Grundlage eine ungefähre Hochrechnung auf ein Jahr vor. In fünf Fällen wurden die Angaben auf Kenntnisse aus der Entsorgung über externe Entsorgungsunternehmen zurückgeführt. Nicht zuletzt haben acht Betreibende von Kleinwasserkraftwerken sowie ein Betreiber mit überwiegend Kleinwasserkraftwerken und einem größeren WKW eine substantiierte Abschätzung der von ihnen entnommenen Menge des Zivilisationsmülls entsprechend ihrer persönlichen Erfahrung der Entsorgung des Abfalls über die eigene Mülltonne bzw. Müllsäcke getroffen.

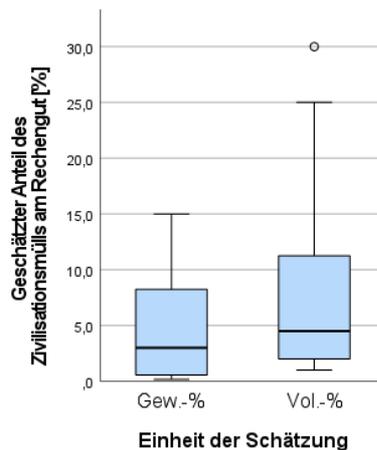
In den übrigen Fällen – ca. 53 Prozent der Interviews mit WKW-Betreibenden bzw. knapp zwei Drittel aller in den Interviews berücksichtigten WKW – kann die Abschätzung einer ungefähren Menge des jährlich entnommenen Zivilisationsmülls lediglich auf Grundlage eines geschätzten Anteils am gesamten Rechengut erfolgen (siehe **Bild 3-7**).

Bild 3-7: Herkunft der Informationen der 30 befragten WKW-Betreibenden zum Gewicht oder Volumen des an WKW entnommenen Zivilisationsmülls



Der Anteil des Zivilisationsmülls am gesamten Rechengut wird von den 30 befragten WKW-Betreibenden – unter Berücksichtigung der zuvor genannten substantiierteren Angaben – über das Jahr hinweg auf weniger als 1-30 Volumenprozent bzw. 0,18-15 Gewichtsprozent geschätzt (siehe **Bild 3-8**). Der mittlere (Mittelwert und Median) geschätzte Anteil in Volumenprozent liegt dabei höher als in Gewichtsprozent was durch ein geringeres Gewicht des Zivilisationsmülls (insbesondere Kunststoffe) zu erklären ist. Der geringste Wert der Angaben (0,18 Gewichtsprozent) stammt aus der oben genannten Sortieranalyse einer Stichprobe des Treibguts. Zu der Frage, ob der Anteil des Zivilisationsmülls im Rechengut über die Jahre zu- oder abgenommen hat bzw. gleichgeblieben ist, gab es keinen eindeutigen Trend in den Antworten der Befragten.

Bild 3-8: Von WKW-Betreibenden geschätzter Anteil des Zivilisationsmülls am Gesamtrechengut (in Gew.-% und Vol.-%; sofern eine Spanne genannt wurde, wird hier der Mittelwert herangezogen).



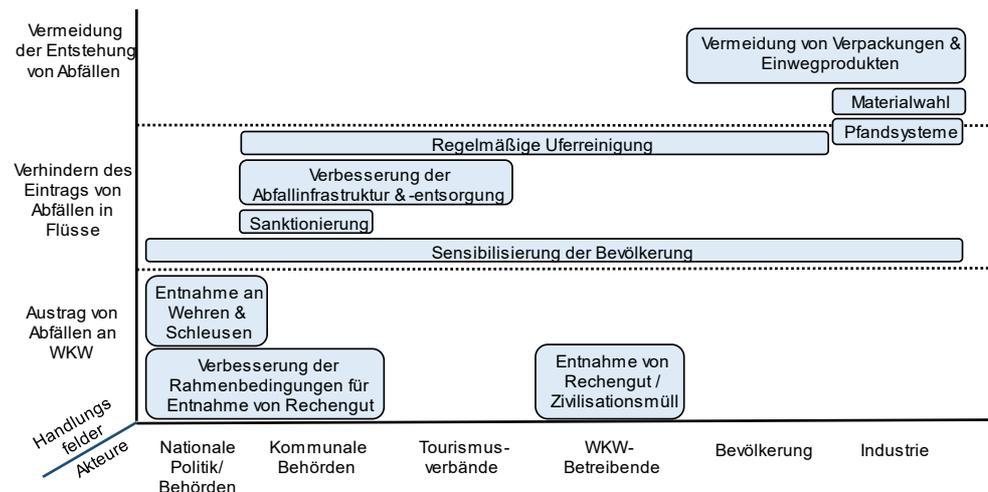
Mithilfe des geschätzten Anteils am Gesamtrechengut können im Falle der Entnahme des Rechenguts näherungsweise die insgesamt entnommenen Mengen an Zivilisationsabfällen ermittelt werden. Insgesamt ergibt sich aus den Angaben der Interviewpartner:innen, dass an den in der Studie berücksichtigten

WKW und Wehren jährlich insgesamt ca. 12 310 bis 26 300 Tonnen beziehungsweise 48 370 bis 103 390 Kubikmeter Rechengut entnommen wird. Darunter befinden sich jährlich ca. 80 bis 450 Tonnen sowie zusätzlich 810 bis 2.020 Kubikmeter Zivilisationsmüll, die mit dem Rechengut entnommen werden und anderenfalls potenziell ins Meer eingetragen werden könnten. Weitere Informationen zur quantitativen Abschätzung befinden sich in Remke (2022).

3.5 Reduktionsmöglichkeiten des Abfallaufkommens in Flüssen

Vorschläge aus den Interviews zur Reduzierung des Zivilisationsmülls in Flüssen wurden unterschiedlichen Akteuren zugeordnet und lassen sich in drei Gruppen gliedern: Vermeidung der Entstehung von Zivilisationsabfällen, Verhindern des Eintrags von Zivilisationsabfällen in Flüsse und Entnahme von Zivilisationsabfällen an WKW (siehe **Bild 3-9**).

Bild 3-9: Vorschläge aus den Interviews zur Reduzierung des Zivilisationsmülls in Flüssen



Vermeidung der Entstehung von Zivilisationsabfällen

Um zu verhindern, dass Zivilisationsabfälle mit potenziell negativen Auswirkungen auf die aquatische Umwelt überhaupt entstehen, haben verschiedene Interviewpartner:innen auf die Verantwortung der Hersteller verwiesen. In diesem Kontext wurden vor allem Pfandsysteme und die Materialwahl für die Herstellung der Produkte diskutiert. Nur vereinzelt wurde darüber hinaus die Vermeidung von Verpackungen angesprochen.

Im Sinne der erweiterten Herstellerverantwortung, nach der die Hersteller in der Abfallphase ihres Produkts finanziell und ggf. organisatorisch verantwortlich für dessen Entsorgung sind (vergleiche Art. 3 Abs. 21 EU-Abfallrahmenrichtlinie), wurde von einigen Befragten die Ausweitung von Pfandsystemen thematisiert. Pfandsysteme wurden als wichtiger Anreiz für die Bevölkerung erachtet, die entsprechenden Produkte nicht in die Gewässer zu werfen oder am Ufer zu

hinterlassen, sondern ordnungsgemäß zurückzubringen. Diesbezüglich wurde teilweise explizit eine positive Wirkung der Ausweitung des gem. § 31 Verpackungs-gesetz (VerpackG) seit Jahresbeginn 2019 ausgeweiteten »Dosenpfands« festgestellt. Da jedoch gem. § 31 Abs. 4 VerpackG aktuell zahlreiche Ausnahmen für Fruchtsäfte und trinkbare Milcherzeugnisse möglich sind, wurde in einem Interview gefordert, dieses Pfandsystem unabhängig vom Inhalt einzuführen. Diese Forderung wurde im Rahmen der EU-EWKRL bereits umgesetzt: Seit dem 1. Januar 2022 sind jegliche Getränke (Ausnahme: milchhaltige Getränke erst ab 1. Januar 2024) pfandpflichtig, die in Einwegkunststoffgetränkflaschen und Getränkedosen verkauft werden (§ 31 Abs. 4 Satz 2 und 3 VerpackG). Über das Pfand für Einwegverpackungen hinaus führte die Einführung eines lokalen Pfandsystems für Mehrweg-Kaffeebecher (»Obermain-Becher«) der Wahrnehmung eines Interviewten nach zu einem reduzierten Aufkommen von Einweg-Kaffeebechern. Abzuwarten bleibt, ob das ab dem 1. Januar 2023 für fast alle Unternehmen verpflichtende Angebot von Mehrwegoptionen neben Einwegbehältern für »Take-away«-Speisen und -Getränke (§§ 33, 34 VerpackG) zu einem verringerten Aufkommen von Einwegbehältern in Flüssen führen wird.

Eine positive Wirkung des deutschlandweiten Einwegpfands wurde nicht von allen Befragten bestätigt. Dabei wurde jedoch nicht das Pfandsystem grundsätzlich infrage gestellt, sondern vielmehr dessen Umsetzung hinsichtlich einer bisher zu geringen Höhe des Pfandbetrags. Zudem wurde anerkannt, dass ein Mehrweg-Pfandsystem für jegliche Verpackungen bei vielen, aber aufgrund fehlenden Umweltbewusstseins nicht bei allen Menschen die erhoffte Wirkung erzielen könnte. Nicht zuletzt wurde beobachtet, dass viele der PET-Flaschen aus anderen Ländern wie den Niederlanden, Schweiz oder osteuropäischen Ländern kommen, die keiner Pfandpflicht unterliegen und daher nicht in Deutschland zurückgegeben werden können bzw. zum Beispiel in der Schweiz unsachgemäß im Fluss entsorgt wurden.

Neben Pfandsystemen wurde ein Umdenken der Verpackungsindustrie hinsichtlich der Materialwahl der verkauften Produkte von den Befragten für notwendig erachtet. Diverse Interviewpartner:innen forderten anstelle einer erdöl-basierten Herstellung von Produkten die (Vorgabe der) Verwendung von biologisch abbaubaren Materialien, die sich in der Natur beziehungsweise gemeinsam mit dem organischen Treibgut in der Biogasanlage oder Kompostanlage zersetzen. Lenz et al. (2019, S. 2, 5-6) halten bioabbaubare Kunststoffe jedoch bisher für keine gute Lösung für das Problem von Plastik-Littering. Denn zum einen ist die biologische Abbaubarkeit von Bioplastik stark abhängig von der Umgebung (Temperatur, Sauerstoff, Wassergehalt, Mikroorganismen). Zum anderen werden bioabbaubare Tüten aufgrund ihrer Ähnlichkeit mit konventionellen Kunststoffen häufig in Verwertungsanlagen aussortiert und mit dem Restmüll verbrannt, also minderwertig verwertet.

Vermeidung des Eintrags von Zivilisationsabfällen in Flüsse

Über Pfandsysteme und biologisch abbaubare Materialien hinaus verlangten einzelne Befragte zudem ein wirtschaftliches Umdenken und einen stärkeren Fokus auf Vermeidung insgesamt, konkret bezogen auf die verringerte Nutzung von Einwegprodukten bzw. eine Reduzierung der »Verpackungswut« seitens der Hersteller und der Verbraucher:innen hinsichtlich der Nutzung von beispielsweise Plastiktüten.

Sofern Abfälle in Flussnähe entstehen, wurden von einigen Befragten Maßnahmen gefordert, um den Eintrag des Zivilisationsmülls in Flüsse zu verhindern. Neben der Bevölkerung, die maßgeblich für den direkten oder indirekten Eintrag von Abfällen verantwortlich gemacht werden und somit als zentrale Zielgruppe gilt, wurden zur Umsetzung dieser Maßnahmen weitere Akteure wie Kommunen oder Tourismusverbände angesprochen.

Im Sinne des Verursacherprinzips standen Maßnahmen einerseits zur Sensibilisierung der Bevölkerung zum Umgang mit Müll und zu den Auswirkungen von Kunststoffen in der Umwelt sowie andererseits zur Sanktionierung von Fehlverhalten im Fokus. In vielen Interviews wurden diese Maßnahmen jedoch nicht konkretisiert. Unter den konkreteren Ansatzpunkten zur Sensibilisierung wurden unter anderem die Einweisung bei Kanutouren hinsichtlich der Mitnahme von Abfällen bzw. Hinweise auf Entsorgungsmöglichkeiten an der Strecke, Initiativen und Führungen für Schulklassen, Kindergärten etc., um den Fluss erlebbarer zu machen (teilweise sind WKW-Betreibende bereits eingebunden); oder um den fachgerechten Umgang mit Müll zu erlernen, die transparente Kommunikation der (Opportunitäts-)Kosten der Entsorgung der Abfälle oder das Schalten von Werbung genannt. Vor allem junge Erwachsene wurden als Verursachende identifiziert, die es zu adressieren gilt.

Die Kontrolle der Einhaltung der bestehenden Verhaltensregeln und Sanktionierung von Fehlverhalten schrieb ein Interviewpartner dem Ordnungsamt zu. In der Tat kann für Littering ein Bußgeld verhängt werden, wofür Bußgeldkataloge der Länder einen Rahmen vorgeben. So kann Wegwerfen oder Liegenlassen von einzelnen Abfällen wie Verpackungsmaterial als Ordnungswidrigkeit gem. § 69 Abs. 1 Nr. 2 KrWG in BW mit einem Verwarnungs- oder Bußgeld in Höhe von 50 bis 250 € geahndet werden (siehe Anlage zur Verwaltungsvorschrift Bußgeldkatalog Umwelt Baden-Württemberg, Nr. 1.1.1). Im Kontext der Ahndung von ordnungswidrigem Verhalten wurden jedoch die Herausforderungen der »permanenten Kontrolle« hervorgehoben. Denn Verwarn- oder Bußgelder entfalten nur dann Wirkung, wenn der städtische Vollzugsdienst über entsprechende Kapazitäten verfügt und regelmäßige Präsenz zeigen kann. Dies ist häufig nicht gegeben. Gänzlich neue Vorgaben für die Bevölkerung wurden vor diesem Hintergrund nicht gefordert bzw. ohne entsprechendes Nachhalten als nicht zielführend betrachtet.

Über Sensibilisierung und Sanktionierung der Bevölkerung hinaus haben einige Interviewte auf die Notwendigkeit der Bereitstellung und Betreuung von Infrastruktur entlang der Gewässer, inkl. zur Müllentsorgung, hingewiesen. Dabei wurde in drei Interviews explizit (auch) die regelmäßige Leerung von Mülleimern betont. Dies ist vor Hochwasserereignissen relevant, da anderenfalls der Müll aus den Mülltonnen vom Wasser mitgeschwemmt und somit trotz ordnungsgemäßer Entsorgung durch die Bevölkerung in den Fluss eingetragen wird. Während ein Vertreter eines Verbandes die Abfallentsorgung als Aufgabe der Gemeinden ansah, plädierte ein Interviewpartner aus einer touristisch genutzten Region explizit für die Einbindung von Tourismusverbänden in einen Dialog zur notwendigen Infrastruktur sowie deren Umsetzung.

Nicht zuletzt wurde in den Interviews eine regelmäßige Uferreinigung als Maßnahme mit dem »größte[n] Potenzial« ins Spiel gebracht, um den Eintrag von Zivilisationsmüll in Gewässer zu verhindern. Einige Interviewte verwiesen auf ihre Verpflichtung zum Unterhalt einer gewissen Uferstrecke, die im Bescheid zur Bewilligung des Betriebs der WKW festgehalten wird. Unklar ist jedoch, inwiefern dabei neben der Sicherung des Uferbereichs auch die Entsorgung von Zivilisationsabfällen vorgegeben ist. Bezüglich dieser Zuständigkeit für die Reinigung der Ufer besteht Uneinigkeit und uneinheitliches Vorgehen unter den WKW-Betreibenden: Während ein Betreibender alle vier bis acht Wochen eine Reinigung des Uferbereichs durchführt und ein Weiterer angab, in Pandemiezeiten selbst ein Reinigungsunternehmen beauftragt zu haben, um Abfälle an den zu den Kraftwerken gehörenden, aber teils öffentlich verstärkt genutzten Ufern und Parkplätzen zu beseitigen, sah ein anderer Interviewter hingegen die Zuständigkeit im Falle von Uferstränden in der Regel bei den Kommunen als »Betreiber«. Andere WKW-Betreibende wiederum verwiesen auf Reinigungsaktionen von Interessensverbänden, Vereinen, Schulen oder im Rahmen von »national clean-up days«, bei denen sie sich selbst jedoch explizit nur in unterstützender Rolle sehen. Nicht zuletzt nahm ein Weiterer jede und jeden Einzelnen der Bevölkerung in die Verantwortung:

»100 Prozent loswerden wird man diese wilde Vermüllung sicherlich nicht. Aber man könnte es bestimmt auch stark eindämmen, indem man sich nicht nur darüber aufregt, sondern auch einfach mal das ganze Zeug wegnimmt. Wenn Sie da 100 Spaziergänger haben und Sie haben 10 Kaffee-To-go-Becher, müsste halt jeder Zehnte mal einen in die Hand nehmen und in den Mülleimer tun. Und dann wäre das Problem auch erledigt. Aber jetzt extra jemanden dahinschicken, nur um diesen Kaffee-To-go-Becher zu entfernen, dafür haben wir zu wenig Personal. «

Entnahme von Zivilisationsmüll an Wasserkraftwerken

In einer Vielzahl der Interviews wurde der positive Beitrag der WKW zur Reinigung der Flüsse hervorgehoben. Darunter befinden sich einige Betreibende, welche die Flussreinigung explizit als Aufgabe von WKW verstehen bzw. die

Entnahme des Rechenguts als die bestmögliche verfügbare Lösung für die Müllproblematik und somit grundsätzlich für sinnvoll erachtet, teilweise im Interview entsprechende Vorgaben für Neubauten einbrachten. Zum Teil spielte bei der als sinnvoll erachteten Entnahme und Entsorgung auch die Betrachtung der eigenen Anlagenkette eine Rolle.

Dementgegen wurde es in einem anderen Interview für ausreichend erachtet, den Zivilisationsmüll erst am letzten WKW vor dem Meer zu entnehmen. Derartigen WKW kommt hinsichtlich der Entnahme sicherlich eine besondere Bedeutung zu. Dennoch scheint dieser Vorschlag angesichts des Wehrüberfalls bei Hochwasser sowie angesichts der Zersetzung des Makroplastiks in Mikroplastik bereits auf der Strecke vom Eintrag bis zu dem betreffenden WKW fraglich. Ein anderer Interviewpartner regte an, wie bei WKW, eine Reinigung an Wehren und ggf. Schleusen durchzuführen, die in der Zuständigkeit des Bundes liegen, da bei Hochwasser viel Wasser über das Wehr abgeht.

Andere wiederum forderten verbesserte Rahmenbedingungen für die Entnahme des Rechenguts an WKW bzw. dessen Entsorgung, ohne die Entnahme grundsätzlich infrage zu stellen. Zu den zu verbessernden Rahmenbedingungen zählen eine kostenneutrale Entsorgung des Rechenguts als Honorierung der Entnahme, die Möglichkeit der Rückgabe des organischen Treibguts an das Unterwasser oder die Vorgabe einer nur temporären Entnahme des Rechenguts zu Zeiten im Jahr mit besonders hohem Anteil von Zivilisationsmüll im Rechengut. Die veränderten Rahmenbedingungen könnten Anreize für die Nutzung bereits verfügbarer Technik zur Rechengutaufbereitung bzw. vor allem für eine entsprechende Weiterentwicklung der Technik bieten, um Kompromisse zwischen Entnahme und Weiterleitung des Rechenguts und des Zivilisationsmülls zu finden und damit ggf. auch ökologische Belange bzgl. des Verbleibs des Totholzes im Gewässer zu wahren. Ein Entsorger äußerte zudem den Wunsch, Rechengut als nicht wassergefährdenden Stoff einzustufen, was die Materiallagerung z.B. im Freien auf Schotterflächen ermöglichen würde.

Konkret hinsichtlich Spülrinnen wurde in einem Interview vorgeschlagen, in den Sommermonaten mit insgesamt wenig Treibgut und hohem Anteil an Zivilisationsmüll die Spülvorgänge zurückzuhalten, bis eine Person vor Ort ist und den Zivilisationsmüll aus der Spülrinne entnehmen kann. Jedoch wurde in diesem Kontext wieder vor zusätzlichem Aufwand und somit vor dem Kostenfaktor gewarnt. Eine dritte Gruppe von WKW-Betreibenden hingegen lehnte konkrete zusätzliche Vorgaben zum Umgang mit Zivilisationsmüll vor dem Hintergrund des Verursacherprinzips explizit ab. Weitere Zitate aus den Interviews hierzu befinden sich in Remke (2022).

4 Diskussion und Ausblick

Im Folgenden werden die Ergebnisse zunächst validiert und anschließend auf Grundlage der Ergebnisse relevante Handlungsansätze sowie weiterer Forschungsbedarf identifiziert.

4.1 Validierung der Ergebnisse

Vergleich mit anderen Studien

Insgesamt kann – trotz gewisser Herausforderungen in der Vergleichbarkeit – festgestellt werden, dass die Ergebnisse dieser Arbeit bezogen auf Abschätzung, Zusammensetzung, Haupteintragspfad und Einflussfaktoren für das Aufkommen und den Austrag von Zivilisationsmüll im Rechengut in etwa mit bestehenden Studien zum Rechengut an WKW korrespondieren. Hinsichtlich der Abschätzung sind jedoch bedeutende Abweichungen gegenüber Studien mit anderen Datenerhebungsmethoden für den in Fließgewässern enthaltenen Zivilisationsmüll festzustellen. Anders als die bestehenden Studien hat diese Arbeit potenzielle Zielkonflikte im Umgang mit Rechengut offengelegt.

Bezogen auf die quantitative Abschätzung des an WKW entnommenen Zivilisationsmülls liegen die Ergebnisse dieser Studie mit 80 bis 450 Tonnen und weiteren 810 bis 2.020 Kubikmeter in etwa in der Größenordnung anderer Studien. Die Conversio Market & Strategy GmbH (2020a, S. 14) ermittelte für das bayerische Donaeinzugsgebiet 420-1.037 t, darunter 80-293 t Makroplastik als Austragungsmengen an WKW. Breitbarth (2017, S. 77) führte eine Hochrechnung auf Grundlage der Ergebnisse eines WKW an der Saale für den Rhein durch (64,4 t). Eine vollständige Vergleichbarkeit dieser Arbeit mit den beiden Studien ist aufgrund der verschiedenen Untersuchungsgebiete und unterschiedlichen Charakteristiken der Flüsse und Einflussfaktoren nicht gegeben. So vermutet Breitbarth selbst, dass die tatsächliche Menge im Rhein aufgrund der Millionenstadt Köln größer ist als die auf Grundlage der Saale ermittelten Zahlen. Abweichungen der Ergebnisse im bayerischen Donaeinzugsgebiet könnten bis zu einem gewissen Grad durch unterschiedliche Berechnungen und einen differierenden Umgang mit Unsicherheiten bei den Interview- bzw. Befragungsdaten Zustandekommen. Dies kann aufgrund der nicht offengelegten Methodik der Conversio-Studie nicht überprüft werden.

In bestehenden Studien werden bisher potenzielle Zielkonflikte zwischen verschiedenen Aspekten des Klima- und Naturschutzes bzw. zum Aufkommen von Zivilisationsmüll im Treibgut und dem Kontext Meeresmüll nicht explizit thematisiert. Eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse im Vergleich mit verfügbarer Literatur befindet sich in Remke (2022).

Methodische Reflexion der Arbeit

Die Erfassung des im Rechengut enthaltenen Zivilisationsmülls ist ein wichtiger Beitrag zu einer umfassenderen Bewertung der in Fließgewässern enthaltenen Abfälle. Die Datenerhebung mittels leitfadengestützter Expert:innen-Interviews hat sich als gute Vorgehensweise erwiesen, um angesichts der bisher geringen Datenbasis mit verhältnismäßig wenig Aufwand einen ersten Überblick zum Rechengutaufkommen und den darin enthaltenen Zivilisationsabfällen zu erlangen. Zudem wurden durch die Interaktion Kontakte zu Entsorgern ermöglicht und anscheinend erstmals Daten von Entsorgern bei der Analyse des Rechengutaufkommens berücksichtigt. Weitere Aspekte zur Reflexion der Arbeit befinden sich in Remke (2022).

Insgesamt hätte die Durchführung und Auswertung der Interviews von einer größeren Nähe zum Forschungsgegenstand, d.h. mehreren Besuchen von WKW profitiert, um ein noch besseres Verständnis über die Funktionsweise von Rechenanlagen, Herausforderungen bei der Entnahme von Rechengut und/oder Zivilisationsmüll etc. zu erlangen. Bedingt durch die Corona-Pandemie konnten zwar zwei WKW mit einer installierten Leistung von ca. 5,0 und 6,5 Megawatt, jedoch kein besonders großes WKW am Rhein, kein Kleinwasserkraftwerk und insgesamt kein WKW mit Weiterleitung des Treibguts besichtigt werden.

4.2 Handlungsansätze und weiterer Forschungsbedarf

Aus den Ergebnissen dieser Studie lassen sich fünf Handlungsansätze (HA) und zwei Ansätze für Forschungsbedarf (FB) ableiten. Die hier aufgeführten HA und FB richten sich zunächst an den Runden Tisch Meeresmüll. Dort soll geprüft werden, wie diese weiter aufgegriffen und verfolgt werden.

Handlungsansätze

Gemäß der in § 6 KrWG festgelegten Abfallhierarchie sollte grundsätzlich vorrangig vor der Verhinderung des Eintrags der entstandenen Abfälle in die Flüsse (siehe HA 1 bis HA 3) und vor dem Austrag von Zivilisationsabfällen an WKW (siehe HA 4) auf die Vermeidung von Abfällen (durch Sensibilisierungsmaßnahmen, siehe HA 1) hingewirkt werden. Die mit diesen HA verbundenen zusätzlichen Kosten sollten im Sinne des Verursacherprinzips über Regime der erweiterten Herstellerverantwortung abgedeckt werden (siehe HA 5).

HA 1: Sensibilisierungsmaßnahmen

Behörden auf allen relevanten Ebenen sollten entsprechend Art. 10 EU-EWKRL die Bevölkerung, vor allem Jugendliche und junge Erwachsene, verstärkt für abfallvermeidende Maßnahmen und Auswirkungen von Abfällen in der Umwelt und der Meeresumwelt sensibilisieren.

Gemäß Verursacherprinzip wurden Sensibilisierungsmaßnahmen von den Interviewten – wie auch in Art. 10 EU-EWKRL – als zentrale Reduktionsmöglichkeit genannt. Sensibilisierungsmaßnahmen können sowohl zur Vermeidung von Abfällen als auch zur ordnungsgemäßen Entsorgung und somit Verhinderung des Eintrags von Abfällen in Fließgewässer beitragen. Im Maßnahmenprogramm Deutschlands zur Umsetzung der EU-MSRL ist die Sensibilisierung über die Verankerung des Themas Meeresmüll in Lehrzielen, Lehrplänen und -material (UZ5-01) adressiert. Im Rahmen des Runden Tisch Meeresmüll besteht hierzu eine eigene Unterarbeitsgruppe zur Ausarbeitung konkreter Maßnahmen und Optionen, die in diesem Kontext genutzt werden könnten.

Über formelle und informelle Bildungsinitiativen hinaus sollte mithilfe von ansprechenden Sensibilisierungsmaßnahmen, Aktionen und Angeboten die allgemeine Öffentlichkeit verstärkt adressiert und für Müll und Müllvermeidung in Flüssen und den potenziellen Eintrag in Meere sensibilisiert werden (Plakate an viel genutzten Uferbereichen oder Apps zum Kommunizieren des Wunsches nach plastikfreien Verpackungen (vergleiche Beispiele in Seeger et al. 2021, S. 34–36)). Bei der Sensibilisierung sollten nach Möglichkeit weitere Akteure wie WKW-Betreibende und Hersteller mit einbezogen werden.

HA 2: Optimierung des Abfallentsorgungssystems

Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, nach § 17 KrWG in der Regel Kommunen, sollten

- a. an Ufern und Auen, aber auch für die Sammlung von Leichtverpackungen vermehrt verschließbare Mülltonnen nutzen, um zu verhindern, dass ordnungsgemäß entsorgter Müll aus zerrissenen Tüten in die Umwelt gelangt und in Flüsse eingetragen wird;**
- b. an Ufern gezielt Mülleimer bereitstellen, um aktives Littering zu reduzieren und diese regelmäßig leeren.**

Offene Müllsäcke sowie Behältnisse ohne Deckel sind anfälliger für Verwehungen als Mülltonnen mit Deckel. Müllsäcke drohen regelmäßig durch Tiere zerrissen zu werden, sodass Abfälle in die Umwelt gelangen und anschließend potenziell in Flüsse eingetragen werden (Seeger et al. 2021, S. 28; Breitbarth 2017, S. 31). Daher sollten öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger verstärkt die Sammlung per verschließbarer Tonne in Betracht ziehen. Auch hinsichtlich der Sammlung und Entsorgung von Leichtverpackungen, für die die Dualen Systeme verantwortlich sind (§§ 23-27 KrWG), können öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger gemäß § 22 Abs. 2 Nr. 2 VerpackG die Art und Größe der Sammelbehälter vorgeben. Natürlich gilt es bei der Entscheidung weitere Faktoren, wie weitere Umweltaspekte und die mit der Sammlung verbundenen Kosten, zu bedenken. In hochwassergefährdeten Gebieten sollten zudem private und

öffentliche Abfallbehältnisse fest verankert sein, damit diese nicht von Hochwasser mitgerissen werden können.

Hinsichtlich der gezielten Bereitstellung von Mülleimern an Ufern ist weitere Forschung notwendig, inwiefern mehr Mülleimer – wie von einigen Interviewpartner:innen gewünscht – oder im Gegenteil die Reduzierung von Abfallbehältern zu weniger Littering im Uferbereich führen. Studien in Berlin und Frankfurt am Main zeigen, dass mehr Abfallbehälter nicht zwingend zu weniger Littering führen (Meer et al. 2018, S. 28). Im Nationalpark Donau-Auen wurde mit Reduzierung bestehender Mülleimer eine signifikante Reduzierung der gelitterten Abfälle festgestellt (Mayerhofer et al. 2021, S. 41). Fest steht, dass, sofern Mülleimer im Uferbereich aufgestellt sind, diese regelmäßig geleert werden müssen, um einen positiven Effekt zu erzielen.

HA 3: Verstärkte Reinigung der Ufer und angrenzenden Straßen

Die Gewässerunterhaltung nach § 39 WHG sollte explizit auch die Befreiung von Zivilisationsmüll umfassen. Die für Gewässerunterhaltung sowie für die Straßenreinigung zuständigen Akteure sollten – ggf. unter Einbindung weiterer Akteure – Maßnahmenprogramme aufstellen und eine regelmäßige(re) Reinigung der Ufer und angrenzenden Straßen vornehmen, um den indirekten Eintrag von Abfällen zu reduzieren.

Zuständig für die Gewässerunterhaltung ist gem. § 40 WHG der Gewässer-Eigentümer, wobei von der Gewässerunterhaltung profitierende Anlieger und Eigentümer von Grundstücken und Anlagen zur Beteiligung an den Kosten verpflichtet werden können. Träger der Unterhaltslast an Bundeswasserstraßen ist der Bund (Art. 89 GG, § 4 Abs. 1 WHG), bei übrigen Gewässern wird das Eigentum an Gewässern gem. § 4 Abs. 5 WHG landesrechtlich geregelt. In der Regel sind Land, Gemeinden oder Gebietskörperschaften des öffentlichen Rechts für die Unterhaltung öffentlicher Gewässer zuständig (siehe § 62 Landeswassergesetz NRW/LWG NRW, § 32 Wassergesetz BW, § 25 Hessisches Wassergesetz), die Zuständigkeit kann jedoch auf Dritte übertragen werden (siehe § 63 LWG NRW), was auch WKW-Betreibende umfasst. Während sich die Gewässerunterhaltung in NRW explizit auch auf die Beseitigung von »Unrat« bezieht (§ 61 LWG NRW), ist dies in § 39 WHG und im Wassergesetz für BW nicht in dieser Form konkretisiert. Daher besteht hier im Hinblick auf das Ziel der Reduktion von Mülleinträgen in Fließgewässer teils Nachholbedarf, um den Eintrag von Abfällen von Ufern in Fließgewässer zu verringern.

Zusätzlich zur expliziten gesetzlichen Verankerung der Beseitigung von Zivilisationsabfällen an Fließgewässern über § 39 WHG, wäre eine Verpflichtung der für Gewässer- und Straßenunterhaltung zuständigen Akteure zur Aufstellung eines Maßnahmenprogramms mit dem Ziel der Verhinderung des Eintrags von Zivilisationsabfällen in Fließgewässer zu prüfen. In einem Maßnahmenprogramm

könnte dargelegt werden, wie häufig oder zu welchen Anlässen Reinigungen stattfinden sollten (z. B. im Sommer bei vermehrtem Anfall von Zivilisationsmüll, vor üblichen Hochwassersaisons, entsprechend Wasserstandvorhersagen). Zudem sollten in diesem Rahmen typische Hotspots der Verschmutzung identifiziert werden. Die für Gewässer- und Straßenunterhaltung zuständigen Akteure hätten dann zu prüfen, inwiefern sich angesichts der notwendigen Vorlaufzeiten für die Organisation an diesen Stellen fokussierte Reinigungen kurzfristig vor Wetterereignissen wie Starkregen oder Sturm realisieren lassen. Insgesamt sollte die Uferreinigung an Ufern angeschwemmte und von Ufervegetation »festgehaltene« Abfälle umfassen, um deren Wiedereintrag und Weiterzug zu verhindern.

Allgemein könnten weitere interessierte Akteure aktiv in die Reinhaltung eingebunden werden, z. B. im Rahmen von öffentlichkeitswirksamen Reinigungsaktionen. Dies könnte zugleich der Sensibilisierung der Bevölkerung für das Aufkommen von Zivilisationsabfällen an Flüssen dienen (vergleiche HA 1). Mögliche Zielgruppen umfassen Schulen und Kindergärten, Nutzende der Gewässer, wie Kanu- und Rudervereine oder Angel- und Fischereiverbände, aber auch Ehrenamtliche aus Umweltverbänden oder Jugendorganisationen. Um eine regelmäßige Reinigung durch die genannten Zielgruppen zu institutionalisieren, könnten die Zuständigen eine verstärkte Gründung von Bachpatenschaften ermutigen, wobei dabei Unterstützung durch die Verantwortlichen in Behörden und Abfallentsorgungsunternehmen sichergestellt sein sollte.

HA 4: Vorgaben zum Umgang mit Rechengut

Staatliche Stellen sollten bei Vorgaben zum Umgang mit dem Rechengut an WKW neben dem Fokus auf Zivilisationsmüll auch die mittlerweile allgemein anerkannte ökologische Funktion des biologischen Treibguts im Gewässer sowie Aspekte des Fischschutzes berücksichtigen, d.h.

- a. Behörden sollten im Rahmen der Genehmigung eine standortabhängige Abwägung vornehmen zwischen Entnahmepflicht und zulässiger (ggf. temporärer) Weiterleitung von Rechengut;**
- b. der Gesetzgeber sollte eine rechtliche Klärung herbeiführen bzgl. § 32 Abs. 1 Satz 1 WHG, mit dem Ziel der Erlaubnis des Wiedereinbringens des Rechenguts nach Entnahme und Aus-sortierung des Zivilisationsmülls.**

Sowohl in der Literatur (siehe Remke 2022) als auch von vielen Befragten wird die Sinnhaftigkeit der Verpflichtung zur Entnahme und/oder Entsorgung des entnommenen biologischen Rechenguts u.a. aus ökologischen Gründen infrage gestellt. Handlungsbedarf ist daher angezeigt.

Hinsichtlich einer standortabhängigen Abwägung zur Entnahmepflicht bzw. zulässiger Weiterleitung von Rechengut ist zu klären, welche Entscheidungsfaktoren in Betracht gezogen werden sollten (Siedlungsdichte, Intensität der Ufer- und Flussnutzung, Betrachtung von Anlagenketten, Sicherheit der Schifffahrt etc.). Dabei ist eine temporäre Entnahmepflicht unter Berücksichtigung einer standortabhängigen Abwägung zu prüfen, zum Beispiel in den Sommermonaten mit wenig Treibgutmenge, aber hohem Anteil an Zivilisationsmüll.

Da WKW-Betreibende in den Interviews Bereitschaft zeigten, einen Beitrag zur Reinhaltung der Fließgewässer zu leisten, erscheint es sinnvoll, die Entnahme von Zivilisationsmüll durch Anreize, wie die Erlaubnis zur Wiedereinbringung von biologischem Treibgut, zu fördern. Hierfür bedarf es einer rechtlichen Sicherheit für die WKW-Betreibenden, die entweder durch eine Klärung des Gesetzestextes oder Reinterpretation des § 32 Abs. 1 Satz 1 WHG erfolgen müsste. Diese rechtliche Sicherheit ist notwendig, um einen Anreiz für technische Weiterentwicklungen zu bieten, die eine Trennung des Zivilisationsmülls vom biologischen Treibgut vor Ort an den WKW ermöglichen. Zusätzliche Kosten durch die Sortierung vor Ort könnten durch reduzierte Entsorgungskosten ausgeglichen werden. Zu dieser Empfehlung erscheint ein vertiefter Austausch mit WKW-Betreibenden und Entsorgern und Maschinenherstellern sinnvoll. Zudem gilt es hinsichtlich des Wiedereinbringens von Treibgut offene Fragen zu klären, z. B. welche Art von biologischem Treibgut wieder eingebracht werden darf (biologische Abfälle wie Heu, Grünschnitt?), welche Zivilisationsabfälle aussortiert sein müssen (z. B. kleinste Kunststoffbestandteile bis zu welcher Größe?) oder inwiefern – angesichts der Entnahme der Organismen aus ihrem Lebensraum – das Wiedereinbringen auf einen gewissen Zeitraum nach Entnahme des Rechenguts beschränkt werden sollte.

HA 5: Beteiligung von Herstellern an Kosten für die Rechengutentsorgung

Im Sinne des Verursacherprinzips sollte geprüft werden, ob die finanzielle Beteiligung der Hersteller von Einwegkunststoffprodukten gem. Art. 8 EU-EWKRL an Sensibilisierungsmaßnahmen, Reinigungen und Abfallbewirtschaftung auch hinsichtlich der Einwegkunststoffartikel im Rechengut der WKW Anwendung finden kann. Eine Ausweitung der erweiterten Herstellerverantwortung auf weitere Produktgruppen sollte langfristig erwogen werden.

Darüber hinaus sollte geprüft werden, auf Basis welcher Rechtsgrundlagen eine finanzielle Entlastung WKW-Betreibende für die Entnahme, Sortierung und Entsorgung von Zivilisationsmüll sichergestellt werden könnte und wie ein solcher Entlastungsmechanismus sowohl in praktischer als auch in rechtlicher Hinsicht auszugestaltet wäre.

Als übergreifende HA werden die Kostenimplikationen der zuvor genannten Empfehlungen im Sinne des Verursacherprinzips adressiert. Die Beteiligung der Hersteller von Einwegkunststoffartikeln an den Kosten für Sensibilisierungsmaßnahmen, Reinigungsaktionen und der Abfallbewirtschaftung ist bereits im Sinne der erweiterten Herstellerverantwortung in Art. 8 EU-EWKRL ab spätestens Ende 2024 vorgesehen und mit § 23 Abs. 2 Nr. 8-10 KrWG (Produktverantwortung) bereits teilweise im nationalen Recht verankert.

Die Beteiligung der Hersteller ist jedoch gem. Art. 8 Abs. 2b und Abs. 4 EU-EWKRL auf die Abfallbewirtschaftung über öffentliche Sammelsysteme und über Reinigungen im Auftrag von Behörden beschränkt. Da eine mindestens anteilige finanzielle Entschädigung einen wichtigen Anreiz für WKW-Betreibende darstellen kann, sollte bei der Umsetzung der EU-EWKRL geprüft werden, ob auch sie im Rahmen der erweiterten Herstellerverantwortung entsprechend ihrem Beitrag zur Reinigung öffentlicher Gewässer finanziell entlastet werden können. Ein solcher Ausgleich ist insbesondere für Betreibende von kleinen und mittelgroßen WKW von Bedeutung. Viele Betreiber sehen die Wirtschaftlichkeit ihrer WKW angesichts der Entsorgungskosten beeinträchtigt und könnten – sofern technische und bauliche Voraussetzungen gegeben sind – in absehbarer Zeit auf eine Weiterleitung des Treibguts umstellen. In diesem Kontext sollte der gesamtgesellschaftliche Nutzen der Trennung und Entsorgung zahlreicher weiterer Zivilisationsabfälle von WKW-Betreibenden bedacht werden. Einen derartigen finanziellen Ausgleichsmechanismus für die Kosten, die Gewerbetreibenden durch die Sammlung und Entsorgung von Abfällen Dritter entstehen, sieht etwa Art. 8 Buchst. d) EU-Hafenauffangrichtlinie (RL (EU) 2019/883) für Abfälle vor, die sich im Rahmen einer Fischereitätigkeit in Netzen angesammelt haben und in den Häfen entsorgt werden. Verschiedene Küstenländer und Stadtstaaten, wie etwa Schleswig-Holstein oder Bremen haben von dieser Regelungsmöglichkeit bereits Gebrauch gemacht.

Eine Studie zur Ermittlung von Mengenanteilen und Kosten für die Sammlung und Entsorgung von Einwegkunststoffprodukten im öffentlichen Raum deutet darauf hin, dass Einwegkunststoffe gem. der EU-EWKRL im bundesweiten Mittelwert einen Anteil von 5,7 Gewichtsprozent bzw. 22,0 Volumenprozent unter den Abfällen im öffentlichen Raum aufweisen (Gellenbeck und Reuter 2020, S. 22–24). Laut der Studie sind für deren Reinigung und Entsorgung ca. 8,30 € pro Einwohner:in pro Jahr (E*a) anzusetzen. Andere Verpackungen machen einen weiteren Anteil von 14,9 Gewichtsprozent bzw. 17,0 Volumenprozent aus. Für die gesamten Verpackungen (Einwegkunststoffe und weitere Verpackungen aus Kunststoff, Metall, Glas etc.) sind 11,40 €/(E*a) für Reinigung und Entsorgung, für die gesamte Litteringmenge 15,50 €/(E*a) vorzusehen (Gellenbeck und Reuter 2020, S. 22–24). Eine Ausweitung der erweiterten Herstellerverantwortung auf andere Produktgruppen, die häufig an Ufern oder im Rechengut von WKW vorhanden sind, sollte daher langfristig erwogen werden. Für Uferbereiche und Rechengut sind bisher keine detaillierten Informationen bekannt.

Weiterer Forschungsbedarf

Es müssten entsprechend Daten erhoben oder zumindest belastbare Schätzungen vorgenommen werden.

In den zuvor genannten Handlungsansätze sind zahlreiche Kenntnislücken genannt, die durch weitere Forschung adressiert werden sollten. In diesem Kontext und darüber hinaus besteht Forschungsbedarf hinsichtlich exemplarischer Sortieranalysen und Analysen von Daten der Entsorger (FB 1) und des an WKW vorbeifließenden Zivilisationsmülls (FB 2). Zu bedenken gilt, dass WKW nur einen Austragspfad für Zivilisationsmüll und einen methodischen Ansatzpunkt zur Erfassung des in Flüssen transportierten Zivilisationsmülls darstellen. Auch zu weiteren Umweltkompartimenten wie Gewässerrändern, Auen etc. besteht noch weitreichender Forschungsbedarf, auf den im Kontext dieser Studie nicht im Detail eingegangen werden kann.

FB 1: Sortieranalysen und Analysen von Daten von Entsorgern

Empfohlen wird, an ausgewählten Standorten von WKW exemplarisch Sortieranalysen zu verschiedenen Zeitpunkten (insbesondere zu verschiedenen Jahreszeiten, Wettersituationen, Abflüssen) sowie darüber hinaus systematische Analysen der verfügbaren Daten von Entsorgern durchzuführen.

Fundierte Erkenntnisse aus Sortieranalysen an WKW sind notwendig, um

- auf Grundlage genauerer Informationen zur Zusammensetzung des Zivilisationsmülls im Rechengut produkt-/verursacher-spezifische Empfehlungen formulieren zu können (z. B. zur Vermeidung von Verpackungen, Materialwahl, Ausweitung der Pfandsysteme auf weitere Produktgruppen);
- jahreszeitliche Schwankungen und die Bedeutung von Einflussfaktoren auf das Vorkommen von Zivilisationsmüll im Rechengut hinsichtlich der standortabhängigen Abwägung der (temporären) Entnahme versus Weiterleitung des Rechenguts zu präzisieren (z. B. hinsichtlich Identifizierung der besonders relevanten Wetterereignisse für den Eintrag von Zivilisationsmüll, Siedlungsdichte, Intensität der Ufer- und Flussnutzung, Betrachtung von Anlagenketten unter Berücksichtigung auf Zersetzung von Makro- in sekundäre Mikrokunststoffe, Auenbreiten, Brücken etc.);
- Wirkungen von Maßnahmen (Regelmäßige Uferreinigungen, Verpackungssteuer in Tübingen, regionale Mehrweg-Pfandsysteme etc.) oder Gesetzen bzw. Verordnungen (z. B. der deutschen Einwegkunststoffverbotsverordnung) über die Zeit zu überwachen;
- die Menge, Zusammensetzung und die Herkunft des an WKW entnommenen Zivilisationsmülls genauer zu quantifizieren bzw. zu analysieren

und den Beitrag der WKW-Betreibenden an der Reinhaltung der Gewässer und der Entsorgung von Einwegkunststoffen und anderen Zivilisationsabfällen zu beziffern.

Die genannten Punkte dienen sowohl der Ursachenforschung als auch der Begründung von sinnvollen Maßnahmen und Identifizierung von möglichen wirtschaftlichen Anreizen für WKW-Betreibende. Dabei ist sicherzustellen, dass die Ergebnisse durch die Verwendung einheitlicher Sortierprotokolle (z. B. der Europäischen Kommission; siehe Fleet et al. 2021) über verschiedene Studien hinweg vergleichbar sind.

Neben Sortieranalysen können Daten von Rechengut-Entsongern eine ergänzende oder auch alternative substantiierte Datengrundlage darstellen. Diese Daten sind mutmaßlich genauer und gleichzeitig weniger aufwendig zu erfassen. Jedoch können nicht alle Entsorger entsprechende Auskunft erteilen, da einige das Rechengut von WKW gemeinsam mit Grüngut verwerten und beseitigen. Zudem werden dadurch nur WKW mit Beauftragung Dritter für die Entsorgung berücksichtigt, wodurch jedoch ein Großteil des entnommenen Rechenguts abdeckt wird.

FB 2: Forschung zur Entnahme von Zivilisationsmüll an WKW und Wasseraufbereitungsanlagen für die Industrie intensivieren

Um die Daten der Entnahme von Zivilisationsmüll an WKW besser einordnen zu können und die Entnahme ggf. zu optimieren, sollte durch aktive Probennahme vor und nach WKW eine Abschätzung der Menge des Zivilisationsmülls getroffen werden, der an WKW vorbeifließt. Zudem sollten die Daten zu WKW durch Daten von Rechenanlagen der Industrie ergänzt werden.

Bzgl. der Rechengutentnahme an WKW gilt zu klären, wie viel Zivilisationsmüll tatsächlich an WKW im Allgemeinen und in Abhängigkeit von der hydrologischen Situation (Hochwasser), Typ und Ausgestaltung des WKW etc. zurückgehalten wird im Vergleich zur Menge des Zivilisationsmülls, der durch die Turbinen mit der Restwasserabgabe oder bei Hochwasser über das Wehr abfließt. Dies dient als wichtige Fehlerkorrektur zur Nutzung der Daten von WKW zum Abfall-Monitoring in Fließgewässern (vergleiche Breitbarth 2017, S. 66).

Ursprünglich war beabsichtigt, in dieser Arbeit das Abfallaufkommen an Rechenanlagen für die Brauchwasseraufbereitung der Industrie zu erfassen. Aufgrund geringer Resonanz seitens der Industrie war dies jedoch nicht möglich. Industrieunternehmen könnten jedoch einen wichtigen Austragspfad am Rhein darstellen, da dort nach Iffezheim bis zur Mündung keine WKW als Austragsmöglichkeit vorhanden sind. Daher sollte dieser Ansatz erneut aufgegriffen werden.

5 Fazit

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens zur Unterstützung des Runden Tisch Meeresmüll wurde in dieser Arbeit anhand von Expert:innen-Interviews das Aufkommen von Rechengut bzw. darin enthaltenen Zivilisationsmülls an insgesamt 152 WKW am Rhein und seinen Zuflüssen sowie der Weser erhoben. Darauf aufbauend wurden mögliche Maßnahmen zur Reduktion sowie weiterer Forschungsbedarf identifiziert.

Die Ergebnisse zeigen, dass geschätzt jährlich ca. 80 bis 450 Tonnen und zusätzlich 810 bis 2.020 Kubikmeter Zivilisationsabfälle an den untersuchten WKW entnommen werden, die anderenfalls im Gewässer verbleiben und potenziell in die Nordsee gelangen könnten. Bei ca. 80 % der untersuchten WKW erfolgt des Zivilisationsmülls über eine vollständige Entnahme des Rechenguts, das anschließend ordnungsgemäß – häufig über beauftragte Dritte – entsorgt wird. Aber auch bei WKW mit grundsätzlicher Weitergabe des Treibguts wird Zivilisationsmüll manuell oder – im Falle von Hochwasser – über eine zeitweise Entnahme des gesamten Rechenguts entnommen.

In den Interviews wurden Verpackungen von Lebensmittelprodukten, Freizeit- und Sportgegenstände, weitere Kunststoffe und Verpackungen sowie Autoreifen hinsichtlich der Zusammensetzung des im Rechengut enthaltenen Zivilisationsmülls am häufigsten genannt. Den Einschätzungen der Interviewten zufolge gelangen die Abfälle überwiegend durch Littering seitens der Bevölkerung in die Fließgewässer. Bei Autoreifen ist von illegaler Müllentsorgung auszugehen. Ein Großteil des Zivilisationsmülls wird indirekt in die Fließgewässer eingetragen. Die Gegenstände werden an Ufern liegengelassen und später durch witterungsbedingte Ereignisse in den Fluss geweht oder eingespült. Entsprechend des Litterings und der Bevölkerung als Hauptverursachende haben die Gestaltung und Nutzung der unmittelbaren Umgebung eines WKW flussaufwärts und die Siedlungsstruktur und -dichte einen zentralen Einfluss auf das Aufkommen von Zivilisationsmüll in Flüssen.

Insgesamt stellen WKW einen wichtigen Austragspfad für Zivilisationsmüll in Flüssen dar. Angesichts der Vorgaben für Rechenanlagen zur Verbesserung des Fischschutzes sowie aufgrund hoher Entsorgungskosten des Rechenguts deutet sich ein Trend an, dass kurz- und mittelfristig Kleinwasserkraftwerke – sofern technisch und finanziell möglich – die Rechenanlagen auf Weiterleitung des Treibguts im Fließgewässer umstellen könnten. Damit entfielen eine Entnahme und Entsorgung des Rechenguts. Längerfristig könnte dies auch auf größere WKW zutreffen.

Um zu erreichen, dass weiterhin bedeutende Mengen an Zivilisationsmüll an WKW entnommen werden, sollte durch Verbesserung der Rahmenbedingungen der Rechengutentnahme ein Anreiz für WKW-Betreibende geschaffen werden, weiterhin (freiwillig) einen Beitrag zur Entnahme des Rechenguts und somit eine Reduktion potenziellen Meeressmülls zu leisten. Dies betrifft vor allem:

- eine standortabhängige Abwägung und Ausgestaltung der Vorgaben in Bezug auf den Umgang mit Rechengut (Entnahme versus Weiterleitung),
- die Möglichkeit des Wiedereinbringens des Rechenguts nach Entnahme und Aussortierung des Zivilisationsmülls und (HE 4) sowie
- die finanzielle Entlastung der WKW-Betreiber hinsichtlich der Sortier- bzw. Entsorgungskosten im Sinne des Verursacherprinzips (HE 5).

Durch entsprechende Änderungen der Rahmenbedingungen besteht das Potenzial, einen relevanten Beitrag zu einer ökologisch nachhaltigen Bewirtschaftung der Flüsse durch Weiterleitung des biologischen Treibguts bei gleichzeitiger Reinhaltung der Flüsse durch Entnahme und Entsorgung des im Rechengut enthaltenen Zivilisationsmülls zu leisten. Dies ist aufgrund heutiger gesetzlicher und politischer Vorgaben nicht möglich.

Da ein Großteil von Abfällen bei Hochwasser von Ufern, Straßen und Auen in Flüsse eingetragen und an WKW vorbei über die Wehre gespült wird, gilt es entsprechend der Abfallhierarchie, vorrangig die Entstehung und den Eintrag von Zivilisationsabfällen in Fließgewässer durch entsprechende Maßnahmen zu vermeiden. Zu nennen sind diesbezüglich Sensibilisierungsmaßnahmen der allgemeinen Öffentlichkeit und konkret der Jugendlichen und jungen Erwachsenen (HE 1), die Optimierung der kommunalen Abfallentsorgungssysteme (HE 2) und eine verstärkte Reinigung der Ufer sowie angrenzender Straßen (HE 3).

Für die Beurteilung der Wirksamkeit von umgesetzten Reduktionsmaßnahmen sowie für ihre qualifizierte Weiterentwicklung ist es zudem empfehlenswert, bestehende Informationsdefizite in Bezug auf die Zusammensetzung und Herkunft der Zivilisationsabfälle durch die Entwicklung und Etablierung eines geeigneten Monitoring-Ansatzes zu schließen. Dabei könnten durch exemplarische Sortieranalysen von Rechengut sowie dessen gezielte Analysen relevante Erkenntnisse für die Entwicklung und Ausgestaltung eines geeigneten und praktisch anwendbaren Monitoring-Ansatzes gewonnen werden.

Ein solcher Ansatz sollte eine systematische, turnusmäßige Erfassung quantitativer und qualitativer Merkmale des Abfallaufkommens an WKW und die Beur-

teilung der Wirksamkeit von umgesetzten Reduktionsmaßnahmen anhand einer jeweils aktuellen und fortgeschriebenen Datenbasis ermöglichen (FB 1). Dieser Monitoring-Ansatz wäre zudem um einen geeigneten Ansatz zur Erfassung von Daten zu den an WKW vorbeifließenden Zivilisationsabfällen im Hinblick auf Art, Menge und Herkunft zu ergänzen (FB 2). Dadurch soll eine umfassende, qualifizierte Erhebung, Analyse und Beurteilung der Einträge von Zivilisationsabfällen über Fließgewässer in die Meeresumwelt ermöglicht sowie eine fundierte Sach- und Entscheidungsgrundlage für die Entwicklung möglichst wirksamer und effizienter umweltpolitischer Maßnahmen geschaffen werden, welche insbesondere durch die umsetzenden Akteure eine breite Akzeptanz erfahren. Das kann durch eine adäquate Überwachung der Einträge von Zivilisationsmüll über die Flüsse in die deutschen Nord- und Ostseegebiete geleistet werden. Details sollten in einem nationalen Monitoringkonzept zu Meeremüll adressiert werden.

I. Abbildungsverzeichnis

Bild 3-1: Geographische Verteilung der Interviews mit WKW-Betreibenden (im Falle mehrerer WKW der Betreibenden ist der Fluss mit der überwiegenden Mehrheit der WKW ausschlaggebend) (Quelle der Karte: BUND o. J.).	8
Bild 3-2: Anzahl der WKW, die Rechengut entnehmen oder weiterleiten (per Spülrinne, Wehrklappe oder Horizontalrechen) bzw. an denen kein Rechengut anfällt	9
Bild 3-3: Häufigkeit der Nennung von Gegenständen im Zivilisationsmüll in den 35 durchgeführten Interviews (nach Funktions- beziehungsweise Materialgruppen sortiert)	16
Bild 3-4: Abweichung des jährlichen Rechengutaufkommens gegenüber dem Referenzjahr 2020 an drei exemplarischen Wasserkraftanlagen (09-WKW-RLP)	21
Bild 3-5: Monatliches Rechengutaufkommen [t] und Niederschlagsmengen [l/m^2] innerhalb der Jahre 2019 und 2020 an einer ausgewählten Wasserkraftanlage (16-WKW-BW)	21
Bild 3-6: Menge des von einem Entsorgungsunternehmen aussortierten und verbrannten Zivilisationsmülls [t] (rechte Achse) im Gesamtrechengut [t] (linke Achse); der Anteil des Zivilisationsmülls am Gesamtrechengut entspricht dabei 0,45-0,81 Gew.-%	25
Bild 3-7: Herkunft der Informationen der 30 befragten WKW-Betreibenden zum Gewicht oder Volumen des an WKW entnommenen Zivilisationsmülls	27
Bild 3-8: Von WKW-Betreibenden geschätzter Anteil des Zivilisationsmülls am Gesamtrechengut (in Gew.-% und Vol.-%; sofern eine Spanne genannt wurde, wird hier der Mittelwert herangezogen).	27
Bild 3-9: Vorschläge aus den Interviews zur Reduzierung des Zivilisationsmülls in Flüssen	28

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über angefragte und durchgeführte Interviews (35) sowie Hintergrundgespräche (5)	7
Tabelle 2: Einflussfaktoren für das Aufkommen von Rechengut und den Austrag von Zivilisationsmüll	20

III. Abkürzungsverzeichnis

AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BLANO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee
BW	Baden-Württemberg
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
Gew.-%	Gewichtsprozent
E*a	Pro Einwohner:in pro Jahr
ENT	Entsorgungsunternehmen (Teil des Interviewcodes)
EU	Europäische Union
EU-ARRL	EU-Abfallrahmenrichtlinie
EU-EWKRL	EU-Einwegkunststoffrichtlinie
EU-MSRL	EU-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie
EXP	Expert:in aus der Forschung/Think Tank oder in Politik und Verwaltung mit Zuständigkeit für Wasserkraft (Teil des Interviewcodes)
FB	Forschungsbedarf
HA	Handlungsansatz
IND	Industrie (Teil des Interviewcodes)
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KWK	Kleinwasserkraftwerk (≤ 1 MW) (Teil des Interviewcodes)
LWG NRW	Landeswassergesetz Nordrhein-Westfalen
MW	Megawatt
NRW	Nordrhein-Westfalen
örE	Öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
SDGs	Ziele für nachhaltige Entwicklung (<i>Sustainable Development Goals</i>)
Stk.-%	Stückzahl-Prozent
t	Tonne
UBA	Umweltbundesamt
UZ	Umweltziel im deutschen Maßnahmenprogramm zur Umsetzung der EU-MSRL
Vol.-%	Volumen-Prozent
VER	Verband (Teil des Interviewcodes)
VerpackG	Verpackungsgesetz
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WKW	Wasserkraftwerk (> 1 MW) (Teil des Interviewcodes)
WKW	Wasserkraftwerk (im Text allgemein, nicht auf installierte Leistung > 1 MW beschränkt)

Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.

IV. Literaturverzeichnis

BDW (Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke e. V.) (o. J.): Wasserkraft in Zahlen. Installierte Leistung und Stromproduktion. Online verfügbar unter [Beaumont, Nicola J.; Aanesen, Margrethe; Austen, Melanie C.; Börger, Tobias; Clark, James R.; Cole, Matthew et al. \(2019\): Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. In: Marine Pollution Bulletin 142, S. 189–195. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.03.022.](https://www.wasserkraft-deutschland.de/wasserkraft/wasserkraft-in-zahlen.html#:~:text=Rund%207.300%20Wasserkraftanlagen%20gibt%20es%20zurzeit%20in%20Deutschland.,unter%201%20MW%20und%20gelten%20dementsprechend%20als%20Kleinwasserkraftanlagen., zuletzt geprüft am 20.11.2021.</p></div><div data-bbox=)

BLANO (Bund/Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee) (2018a): Zustand der deutschen Nordseegewässer 2018. Aktualisierung der Anfangsbewertung nach § 45c, der Beschreibung des guten Zustands der Meeresgewässer nach § 45d und der Festlegung von Zielen nach § 45e des Wasserhaushaltsgesetzes zur Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Bonn. Online verfügbar unter <https://www.meeresschutz.info/berichte-art-8-10.html>, zuletzt geprüft am 05.07.2021.

BLANO (Bund/Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee) (2018b): Zustand der deutschen Ostseegewässer 2018. Aktualisierung der Anfangsbewertung nach § 45c, der Beschreibung des guten Zustands der Meeresgewässer nach § 45d und der Festlegung von Zielen nach § 45e des Wasserhaushaltsgesetzes zur Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Bonn. Online verfügbar unter <https://www.meeresschutz.info/berichte-art-8-10.html>, zuletzt geprüft am 05.07.2021.

Breitbarth, Marco (2017): Abfälle in deutschen Fließgewässern. Eintrags- und Austragspfade, Zusammensetzungen, Aufkommen und Vermeidungsmaßnahmen. Dissertation. Kassel: kassel university press GmbH (Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik, Band 22). Online verfügbar unter <https://www.uni-kassel.de/ub/index.php?id=39129&h=9783737603782>, zuletzt geprüft am 01.06.2021.

Breitbarth, Marco; Urban, Arnd I. (2014): Littering im öffentlichen Raum - ein altbekanntes und doch brandaktuelles Problem. In: Müll und Abfall 46 (11), S. 604–610.

BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V.) (o. J.): Kein weiterer Ausbau unserer Flüsse für die Schifffahrt! Online verfügbar unter <https://www.bund.net/fluesse-gewaesser/schifffahrt>, zuletzt geprüft am 18.02.2022.

Conversio Market & Strategy GmbH (2020a): Mikroplastik in Binnengewässern - Untersuchung und Modellierung des Eintrags und Verbleibs im Donaugebiet als Grundlage für Maßnahmenplanungen (MicBin). Teilbericht im Rahmen des Verbundprojekts MicBin - Analyse von Wasserkraftwerken. Hg. v. BKV GmbH. Online verfügbar unter https://www.bkv-gmbh.de/files/bkv-neu/studien/MicBin_Report_BKV_Analyse_Wasserkraftwerke__AP_4.1__Juni_2020.pdf, zuletzt geprüft am 14.03.2022.

Conversio Market & Strategy GmbH (2020b): Vom Land ins Meer. Modell zur Erfassung landbasierter Kunststoffabfälle. 4. Version. Online verfügbar unter <https://www.bkv-gmbh.de/studien/marine-litter-bericht-vom-land-ins-meer-modell-zur-erfassung-landbasierter-kunststoff-abf%c3%a4lle-conversio.html> (auf Anfrage), zuletzt geprüft am 05.07.2021.

Fleet, David; Vlachogianni, Thomais; Hanke, Georg (2021): A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring. Manual for the application of the classification system. Hg. v. European Commission - Joint Research Centre. Luxembourg (JRC Technical Reports). Online verfügbar unter <https://mcc.jrc.ec.europa.eu/main/dev.py?N=41&O=459>, zuletzt geprüft am 05.03.2022.

Galgani, François; Stöfen-O'Brien, Aleke; Ambulkar, Archis; Azzaro, Maurizio; João Bebianno, Maria; Bondareff, Joan et al. (2021): Chapter 12. Changes in inputs and distribution of solid waste, other than dredged material, in the marine environment. In: United Nations (UN) (Hg.): The Second World Ocean Assessment. World Ocean Assessment II. Volume II. New York, S. 151–183.

Gellenbeck, Klaus; Reuter, Rüdiger (2020): Ermittlung von Mengenanteilen und Kosten für die Sammlung und Entsorgung von Einwegkunststoffprodukten im öffentlichen Raum. Studie erstellt für den Verband Kommunaler Unternehmen. INFA GmbH. Ahlen. Online verfügbar unter <https://www.vku.de/presse/pressemitteilungen/archiv-2020-pressemitteilungen/einwegplastik-und-zigarettenkippen-in-der-umwelt-kosten-kommunen-jaehrlich-700-millionen-euro/>, zuletzt geprüft am 15.02.2022.

Giesecke, Jürgen; Heimerl, Stephan; Mosonyi, Emil (2014): Wasserkraftanlagen. Planung, Bau und Betrieb. 6., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

Kuckartz, Udo (2018): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 4. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa (Grundlagentexte Methoden).

Lebreton, Laurent C.M.; van der Zwet, Joost; Damsteeg, Jan-Willem; Slat, Boyan; Andrady, Anthony; Reisser, Julia (2017): River plastic emissions to the world's oceans. In: Nature communications 8, 15611. DOI: 10.1038/ncomms15611.

Lenz, Sabine; Mayerhofer, Johannes; Obersteiner, Gudrun (o. J.): PlasticFreeDanube. D3.3.1 Report on Available Data Regarding Plastic Pollution. For the Material-Flow-Analysis. Institut für Abfallwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU). Wien. Online verfügbar unter

https://plasticfreeconnected.com/uploads/downloads/outputs/D%203.3.1%20Report%20on%20available%20data%20regarding%20plastic%20pollution%20for%20MFA_final.pdf, zuletzt geprüft am 31.05.2021.

Lenz, Sabine; Mayerhofer, Johannes; Rauscher, Philipp; Rameder, Anton; Binner, Erwin; Huber-Humer, Marion; Obersteiner, Gudrun (2019): Bioplastics in Biowaste and Danube Littering. Paper for the 17th International Waste Management and Landfill Symposium, 30 Sept - 04 Oct 2019. Online verfügbar unter <https://plasticfreeconnected.com/dow>, zuletzt geprüft am 23.12.2021.

Mayerhofer, Johannes; Lenz, Sabine; Obersteiner, Gudrun (2021): PlasticFreeDanube. 4.2.1 Report on Data Concerning Quantities, Types & Sources of macro-plastic pollution in and along the Danube river.

Mayring, Philipp (2002): Einführung in die Qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. 5. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Verlag (Beltz Studium).

Patt, Heinz; Gonsowski, Peter (2011): Wasserbau. Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen. 7., aktualisierte Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

PFD (PlasticFreeDanube) (2019a): Neuigkeiten von PlasticFreeDanube. Newsletter November 2019. Online verfügbar unter https://plasticfreeconnected.com/uploads/downloads/about/PFD_Newsletter_2019_DE.pdf, zuletzt geprüft am 31.05.2021.

Remke, Kerstin (2022): Erfassung des Zivilisationsabfalls an Wasserkraftwerken zur Identifikation von Reduktionsmöglichkeiten des Mülleintrags in die Meeresumwelt. Masterarbeit. Fernuniversität Hagen, Hagen. Interdisziplinäres Fernstudium Umweltwissenschaften

Schmidt, Christian; Krauth, Tobias; Wagner, Stephan (2017): Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. In: Environmental science & technology 51 (21), S. 12246–12253. DOI: 10.1021/acs.est.7b02368.

Schuchardt, Bastian; Beilfuß, Svenja (2013): Müll in der Nordsee - Pilotprojekt zur Relevanz des Eintragspfades Ästuar am Beispiel der Unterweser. Untersuchung vor dem Hintergrund der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL). Erstellt im Auftrag des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen. Unter Mitarbeit von Thomas Reincke, Oliver Hofmann, Nadja Ziebarth, Gerd Liebezeit und Fatehi Dubaish. Hg. v. BioConsult Schuchardt & Scholle GbR. Bremen. Online verfügbar unter http://databases.eucc-d.de/files/documents/00001148_BioConsult_2013_Muellmonitoring_Weseraestuar_Final_31072013.pdf, zuletzt geprüft am 23.06.2021.

Seeger, Dorothea; Maus, Isabelle; Gräwe, Dennis; Barrelet, Johna; Fedder, Bevis; Ulrichs, Frank et al. (2021): Handlungsoptionen für Kommunen zur Reduktion des Plastikmüllaufkommens: Sammlung von Best-Practice-Beispielen. Runder Tisch Meeresmüll, AG Landbasierte

Einträge, Unterarbeitsgruppe Kommunale Vorgaben. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://muell-im-meer.de/sites/default/files/2022-01/UAG-KV_Leitfaden-Kommunen-Best-Practice-1.Aktualisierung_20.10.2021_web.pdf, zuletzt geprüft am 14.02.2022.

van der Meer, Elke; Beyer, Reinhard; Gerlach, Rebekka (2018): Wahrnehmung von Sauberkeit und Ursachen von Littering. Eine Langzeitstudie 2005-2017. Hg. v. Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU). Berlin. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/75546668-Wahrnehmung-von-sauberkeit-und-ursachen-von-littering.html>, zuletzt geprüft am 05.03.2022.

Wang, Juying; Kiho, Kim; Ofiara, Douglas; Zhao, Yuhui; Bera, Arsonina; Lohmann, Rainer; Baker, Maria Clare (2016): Chapter 25: Marine Debris. In: The First Global Integrated Marine Assessment. World Ocean Assessment I. United Nations (UN). Online verfügbar unter https://www.un.org/Depts/los/global_reporting/WOA_RegProcess.htm, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

V. Rechtsquellenverzeichnis

Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. Juni 2020 (BGBl. I S. 1533) geändert worden ist (AVV)

Anlage zur Verwaltungsvorschrift Bußgeldkatalog Umwelt Baden-Württemberg von Dezember 2018

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt durch Artikel 20 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436)

Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (ABl EU L 164/19 vom 25.6.2008) (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, EU-MSRL)

Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (ABl. EU L 312/3 vom 22.11.2008), geändert durch Verordnung (EU) 1357/2014 der Kommission vom 18. Dezember 2014, Richtlinie (EU) 2015/1127 der Kommission vom 10. Juli 2015, Verordnung (EU) 2017/997 des Rates vom 8. Juni 2017 und Richtlinie (EU) 2018/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 (EU-ARRL)

Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt (ABl EU L 155/1 vom 12.6.2019) (EU-EWKRL)

Richtlinie (EU) 2019/883 des europäischen Parlaments und des Rates vom 17.4.2019 über Hafenauffangeinrichtungen für die Entladung von Abfällen von Schiffen, zur Änderung der Richtlinie 2010/65/EU und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/59/EG, *ABl. L 151 vom 7.6.2019, S. 116–142.*

Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz - VerpackG), vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2234), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 22. September 2021 (BGBl. I S. 4363) geändert worden ist (VerpackG)

Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen, in der Fassung des Artikels 1 des Gesetzes zur Änderung wasser- und wasserverbandsrechtlicher Vorschriften vom 8. Juli 2016 (GV. NRW. S. 559), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 17. Dezember 2021 (GV. NRW. S. 1470) (Landeswassergesetz – LWG NRW)

Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3901) geändert worden ist (WHG)