

# RiverScreener: Untersuchung eines innovativen Reinigungssystems für Fließgewässer in naturnahen Experimenten

*Yannic Fuchs, Susanne Scherbaum und Arnd Hartlieb*

## Zusammenfassung

Der Mensch ist in vielerlei Hinsicht auf intakte Fließgewässer angewiesen. Er nutzt diese zur Trinkwassergewinnung, Bewässerung, Energieproduktion, aber auch als Verkehrswege und Erholungsgebiete. Dabei bedrohen und zerstören unsachgemäß entsorgte Kunststoffabfälle die für den Menschen überlebenswichtigen Funktionen der Fließgewässer. Diese Kunststoffabfälle gelangen zunehmend über den direkten Weg oder durch Wind- und Oberflächentransport bei Starkregen in die Flüsse. Das Plastik verweilt teils mehrere Jahrzehnte im Ökosystem eines Flusses mit negativen Auswirkungen auf Fisch-, Vogel-, und Säugetierpopulationen. Darüber hinaus erhöhen die transportierten Plastikpartikel das Hochwasserrisiko durch eine gesteigerte Verklauungsgefahr. Zudem beeinträchtigen die Kunststoffe die Wasserkraftgewinnung durch starke Verlegung der Recheneinheiten an Wasserkraftanlagen. Neben der Prävention und Reduktion weiterer Plastikverschmutzungen in der Umwelt ist die Beseitigung bestehender Verschmutzungen ein zentraler und notwendiger Schritt zur Wiederherstellung eines guten ökologischen Zustands in Fließgewässern sowie zur Reduktion der Plastikemissionen in die Ozeane.

In diesem Kooperationsprojekt der Firma Muhr und dem Oskar von Miller - Institut der TUM (VAO) wird ein innovatives Reinigungssystem für Fließgewässer auf Funktionalität getestet und optimiert. Die Reinigungsmethode basiert auf Rechentrommelanlagen, welche gestoppte Plastikpartikel über eine Eigenrotation um die Vertikalachse zum Flussufer leiten. Aufgrund der fehlenden Datenbasis zur Skalierbarkeit von Plastikpartikeln werden in den Versuchen originale Partikel verwendet. Der Versuchsstand ist derart konzipiert, dass die komplexen Interaktionen zwischen Plastikpartikel, Strömung und Reinigungseinheit unter naturähnlichen Bedingungen und im Maßstab 1:1 dargestellt werden können. Die Versuchsergebnisse demonstrieren die Funktionalität des innovativen Reinigungssystems für diverse Strömungssituationen. Ebenso erlauben die Ergebnisse Rückschlüsse und Best-Practice-Empfehlungen für Teilmodule und Parameter der Reinigungsanlage, wie der Rotationsgeschwindigkeit der Rechentrommeln oder des Winkels der Reinigungsmodule zur Hauptströmung.

## 1 Einleitung

Der Mensch ist in vielerlei Hinsicht auf intakte Fließgewässer angewiesen. Er nutzt diese zur Trinkwassergewinnung, Bewässerung, Energieproduktion, aber auch als Verkehrswege und Erholungsgebiete. Dabei bedrohen und zerstören unsachgemäß entsorgte Kunststoffabfälle (Mismanaged Plastic Waste – MMPW) die für den Menschen überlebenswichtigen Funktionen der Fließgewässer. Aufgrund der vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der diversen Plastikpolymere in Einweg- und Fertigverpackungen prognostizieren Geyer et al. (2017) ein exponentielles Wachstum der globalen Plastikproduktion und entsprechend eine weiter zunehmende Plastikverschmutzung der Flüsse.

Durch Wind- und Oberflächentransport bei Starkregen gelangt MMPW in die Fließgewässer und wird anschließend von den Transportprozessen und Transportwegen im Gewässer bestimmt. Über den Flussverlauf gelangen so enorme Mengen an MMPW in die Ozeane. Modellierungen

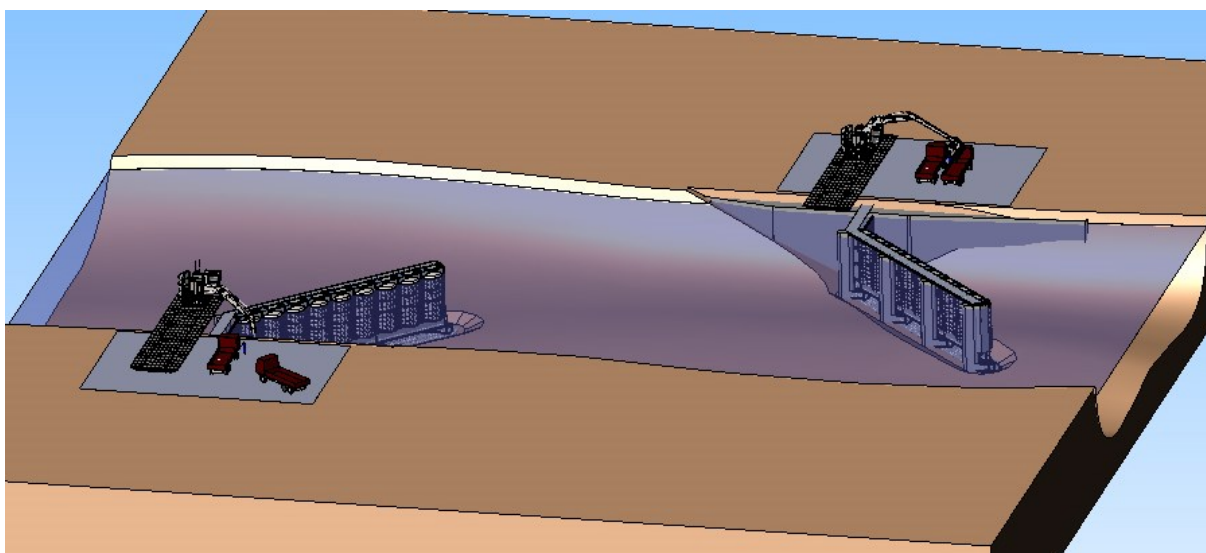
des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung bestimmen die jährlichen Emissionen an MMPW über Flüsse in die Meere auf 0,41 bis 4 Millionen t/a. (Schmidt et al. 2017) Zusätzlich zeigen aktuelle Untersuchungen, das MMPW mehrere Jahre und Jahrzehnte in den Flüssen verweilt und nur bei höheren Abflüssen remobilisiert und weitertransportiert wird. So dienen die Flüsse insbesondere mit Querbauwerken und Aufweitungsstrecken als Plastikreservoir. (van Emmerik et al. 2022)

Die negativen Auswirkungen der zunehmenden Plastikverschmutzung in Gewässern auf deren Ökosysteme ist viel diskutiert: Fische, Vögel, Amphibien und Wassersäugetiere können sich in den Plastikpartikeln verfangen oder verschlucken sie. Aber auch die aquatische Flora wird durch MMPW geschädigt, da sich in Wasserpflanzen viele Partikel verfangen und sich der Plastikmüll hier stark ansammelt. (van Emmerik und Schwarz 2020)

MMPW verursacht nicht nur ökologische Schäden, sondern auch wirtschaftliche Verluste und erhöht die Hochwassergefahr. Ähnlich zu Schwemmholz können sich große Frachten von transportierten Plastikpartikeln an hydraulischen Einrichtungen oder Brücken sammeln und eine Verklausung verursachen. Dadurch steigt die Hochwassergefahr enorm. (Honingh et al. 2020) Diese erhöhte Verklausungsgefahr tritt auch an Rechenanlagen vor Wasserkraftanlagen auf. Durch Verlegen der Rechen vor den Turbinenzuläufen durch MMPW wird die Energieproduktion reduziert, bei schwerwiegenden Verklausungen an Anlagen in der Demokratischen Republik Kongo wurden bereits Power Units bei zu großer Plastikverschmutzung ganz abgestellt. (AfricaNews, 2022 und CBC News 2021) Neben dem Energiesektor vermehren auch die Tourismusbranche und die Fischereiindustrie Nachteile durch die zunehmende Plastikverschmutzung: Rückgängige Fischpopulationen, Schäden an Fischereigeräten und Netzen durch MMPW, hoher Aufwand für Küstenreinigungen belasten diese Branchen. (van Emmerik und Schwarz 2020)

Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) beschreibt aus diesen Gründen die Plastikverschmutzung unserer Gewässer als ernstes Umweltproblem, das sich negativ auf die ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung auswirkt (UNEP 2022). Um diesen Entwicklungen entgegen zu wirken, untersucht diese Studie die Funktionalität des RiverScreener (RS), eines innovativen Konzepts zur umfassenden Entfernung transportierter Plastikpartikel aus Fließgewässern. Ziel dieser Reinigungsinfrastruktur ist die Beseitigung bestehender Plastikverschmutzungen. Da Plastikpartikel über mehrere Jahre und Jahrzehnte in Flüssen verweilen (van Emmerik et al. 2022), reichen Präventions- und Reduktionsmaßnahmen nicht aus, um die Fließgewässer in einen guten ökologischen Zustand zu versetzen. UNEP fordert aus diesem Grund Lösungs- und Handlungspläne, um bereits emittierte Plastikfrachten zu beseitigen (UNEP 2022).

Das innovative RS Konzept soll aufbauend auf selbstreinigenden Rechentrommeleinheiten Plastikpartikel von einer Größe von über 3 – 5 cm (Makroplastik) stoppen und ans Ufer zur finalen Entnahme aus dem Gewässer transportieren. Über eine Rotation der Rechentrommeln um die Vertikalachse werden gestoppte Partikel Richtung Ufer transportiert, an welchem sie an einem handelsüblichen Vertikalrechen mit hydraulischem Greifer gesammelt und entnommen werden. Die Reinigungsanlage besteht aus zwei Modulen, die jeweils einen Teil der gesamten Flussbreite abdecken und durch einen gewissen Abstand zueinander die Schiffbarkeit des Abschnitts aufrechterhalten. Die Anordnung der Rechentrommeln in den jeweiligen Modulen erfolgt als inklinante Querverbauung im Gewässer von beiden Ufern aus. Die konzeptionelle Anordnung des RS ist in Abb. 1 dargestellt.



**Abb. 1** Skizze der konzeptionellen RS-Anordnung (Fließrichtung von rechts nach links)

Die Interaktion zwischen heterogenen Plastikpartikeln, Recheneinheit und Strömung wird in dieser Studie in physikalischen Modellversuchen untersucht. Da bisher keine valide Datengrundlage zur Skalierbarkeit von Plastikpartikeln existiert, werden die Versuche im Naturmaßstab durchgeführt, um nicht quantifizierbare Maßstabseffekte ausschließen zu können. In dem Ausschnittsmodell des RS wird die Funktionalität des Konzeptes getestet und überprüft. Durch Parametervariationen der Reinigungseinheit wie dem Inklinationwinkel, der Rotationsgeschwindigkeit der Rechentrommeln und hydraulischer Parameter, wie der Fließtiefe und Anströmgeschwindigkeit, werden Limitationen und Optimierungen der Infrastruktur untersucht. Unter Zugabe verschiedener repräsentativer Plastikpolymere, -körper und -fragmente wird die erfolgreiche Übergabe zwischen den Trommeleinheiten bis zum Vertikalrechen bewertet. Die Sensitivität der erfolgreichen Übergabe bezüglich Polymertypen und hydraulischer Parameter wie der Reynolds Zahl steht dabei im besonderen Fokus.

## 2 Material und Methoden

Das Reinigungskonzept zielt auf die umfassende Entnahme diverser Makroplastikpartikel aus Fließgewässern ab. Die Funktionalität der innovativen Anlage wird in einem physikalischen Modellversuch überprüft. Um die komplexe Interaktion zwischen den rotierenden trommelförmigen Horizontalrechen und den transportierten Plastikpartikeln für unterschiedliche hydraulische Bedingungen korrekt zu bewerten, wird das physikalische Modell im Maßstab 1:1 errichtet.

### 2.1 Materialwahl

Aus vorliegenden Feldstudien und Veröffentlichungen wird ein Mix repräsentativer Plastikpartikel zur Durchführung der Experimente zusammengestellt: die fünf Plastikpolymere PS, ePS, PET, HDPE und LDPE sind häufig in Form gängiger Einwegverpackungen in Fließgewässern anzutreffen. (van Calcar et al. 2019; Schwarz et al. 2019; Schwarz und van Emmerik 2020) Tab. 1 listet die fünf untersuchten Polymere mit zugehörigen Materialeigenschaften auf.

Zu jedem Polymer werden nicht nur eine ursprüngliche Verpackungsform in den Versuchen verwendet, sondern auch zugeschnittene Fragmente mit Kantenlängen von 10 x 10 cm bzw. 10 x 5 cm bei Polystyrol (PS). Für PET werden keine Fragmente untersucht, da sich in Vorversuchen zeigt, dass sich PET-Fragmente unter den Versuchsbedingungen nach kurzer Transportstrecke

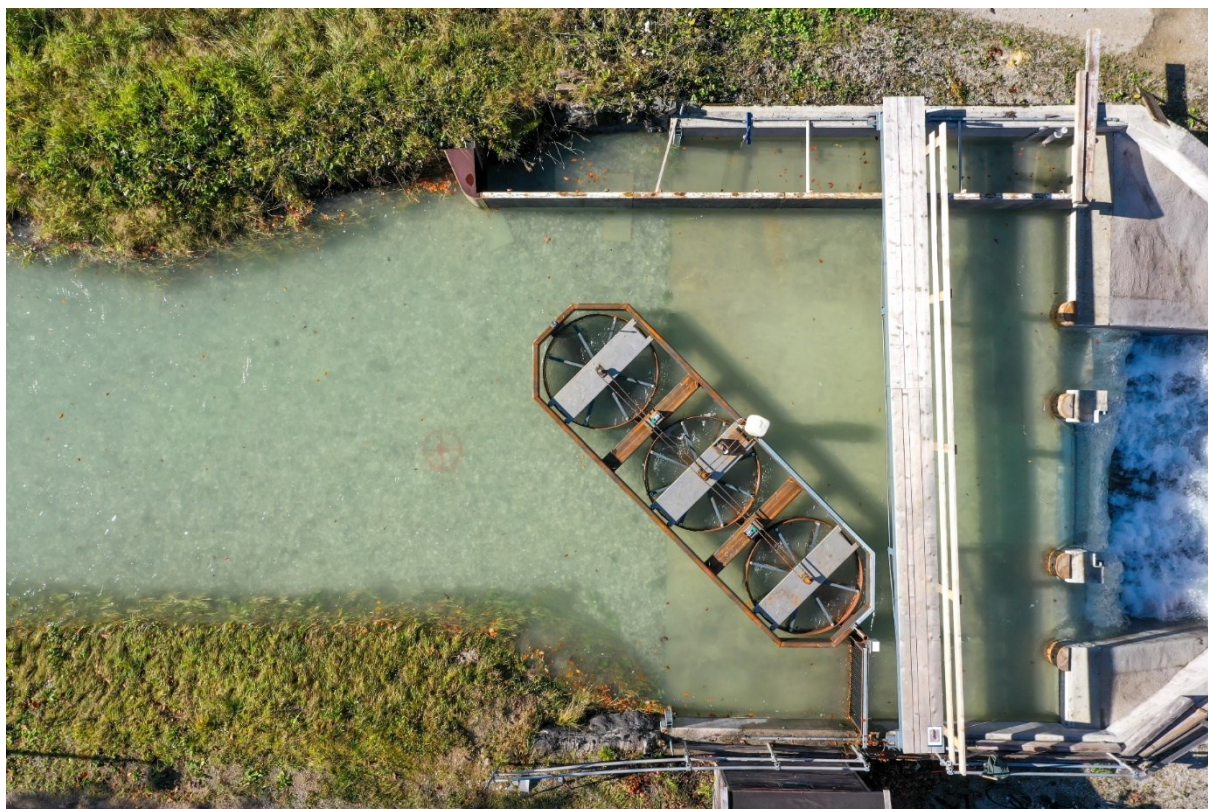
an der oberstromigen Sohle ablagern. Um die Sichtbarkeit der Partikel in den Versuchen zu gewährleisten, werden an diesem Versuchsstand keine kleineren Fragmente untersucht. Ebenso werden aus diesem Grund Materialien in schwarzer Farbe verwendet. Dies erhöht den Kontrast zum Wasser und erleichtert die Identifikation der Strömungspfade der Partikel.

**Tab. 1** Versuchsmaterial und dessen Materialeigenschaften.

	PET	PS		ePS		HDPE		LDPE	
<b>Dichte [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1.45	1.11		0.64		0.96		0.93	
<b>Form/Fragment [cm]</b>	Flasche	Becher	5*10	Schale	10*10	Flasche	10*10	Tüte	10*10
<b>Anzahl</b>	30	30	30	30	30	30	30	30	30

## 2.2 Versuchsaufbau

Für die physikalischen Modellversuche wird ein Ausschnitt eines Reinigungsmoduls von drei Rechentrommeln im Maßstab 1:1 nach einer kurzen Aufweitungsstrecke am Ende eines Trapezgerinnes im Freigelände der VAO installiert. Durch einen doppelt gekrümmten Übergang wird der Trapezquerschnitt mit Bewuchs auf einen 10 m breiten Rechtecksquerschnitt aus Beton überführt. Dieser Standort bietet so nicht nur ausreichend Fließbreite für den Einbau der drei Rechentrommeln von jeweils 2 m Durchmesser, sondern reproduziert auch eine denkbare Aufweitungsform in einem natürlichen Fließgewässer. Am orographisch rechten Ufer wird ein Abschnitt eines angrenzenden Vertikalrechens konstruiert, inklusive des Übergangsbereichs und Gelenks zwischen dem festen Vertikalrechen und dem schwenkbaren Rechentrommelarm.



**Abb. 2** Versuchsstandeinrichtung aus der Vogelperspektive; inkl. Messbrücke und Seitenwand

Abb. 2 zeigt die fertige Versuchsstandeinrichtung aus der Vogelperspektive. Durch eine zusätzlich konstruierte Seitenwand aus Schalungstafeln am orographisch linken Ufer wird der Untersuchungsabschnitt auf eine Breite von 8.9 m reduziert. Diese Maßnahme erlaubt es, höhere Anströmgeschwindigkeiten zu testen. Über dem Versuchsstand wird eine mobile Messbrücke auf Schienen installiert. Diese ermöglicht eine Anpassung der Beobachtungs- und Kameraposition direkt über dem installierten Modul je nach Inklinationswinkel der Reinigungseinheit.

Das konstruierte Gelenk zwischen den Vertikalrechen und Rechentrommelarm ermöglicht eine Variation des Inklinationswinkels zur Anströmung. Drei verschiedene Winkel ( $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ) werden eingerichtet und getestet. Über einen Getriebemotor und einen Kettenstrang werden die drei Rechentrommeln angetrieben und rotieren um die Vertikalachse. Die Rotationsgeschwindigkeit wird zwischen den Messreihen variiert und beträgt 1 U/min, 3 U/min bzw. 5 U/min.

### 2.3 Versuchsdurchführung

Der Einsatzbereich des RiverScreeners fokussiert sich auf Südostasien und stark plastikführende Flussabschnitte unterstrom bevölkerungsreicher Regionen. Hydraulische Rahmenbedingungen sind hier aufgrund von Monsuneinflüssen und Tidehub stark durch Wasserspiegel- und Abflussschwankungen geprägt. Um diese variablen hydraulischen Bedingungen in den Versuchen widerzuspiegeln, werden Tests bei Anströmgeschwindigkeiten von 0.2 m/s, 0.4 m/s, 0.6 m/s, und 0.8 m/s durchgeführt. Ebenso werden jeweils zwei unterschiedliche Fließtiefen untersucht: 0.4 m und 0.75 m.

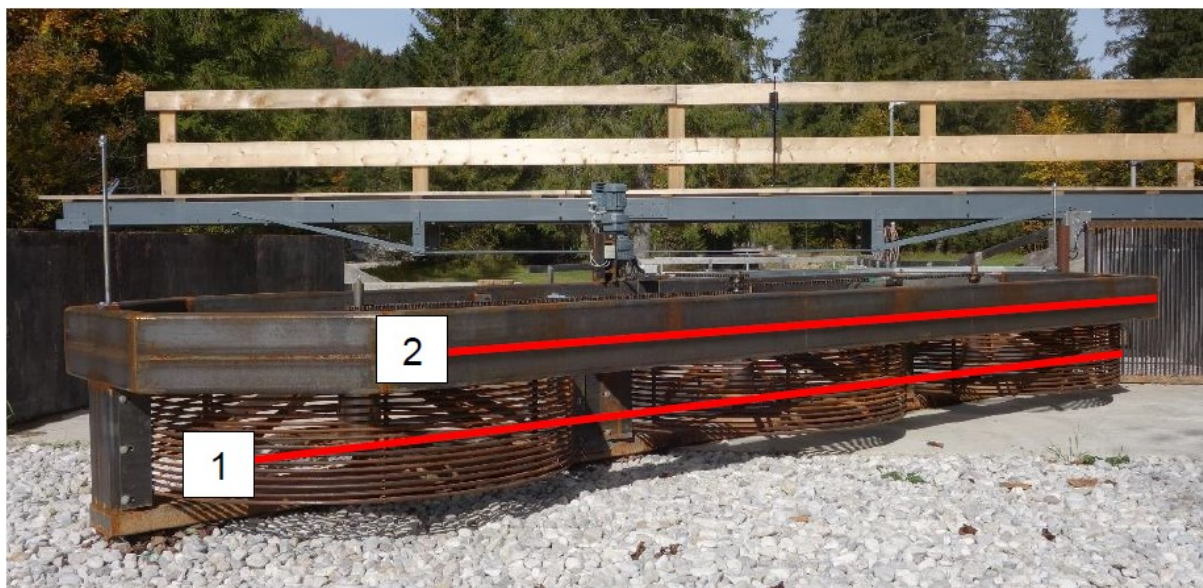
**Tab. 2** Hydraulische Parametervariationen und Variationen der Reinigungseinheit

Parameter	Testwerte
$v$ [m/s]	0.2, 0.4, 0.6, 0.8
$h$ [m]	0.4, 0.75
$v_r$ [1/min]	1, 3, 5
$\omega$ [°]	15, 30, 45
Re [-]	$7.34 \text{ E}+04 - 2.94 \text{ E}+05$

Bei der kleineren Fließtiefe liegt die Wasserspiegellage etwa auf der halben Höhe der Rechentrommeln, bei der größeren auf Höhe eines konzipierten Schwimmkörpers. Dieser ermöglicht dem Reinigungsmodul eine kostengünstige Anpassung an den Tidehub und an damit verbundene Wasserspiegelschwankungen. In dem Modell ist der Schwimmkörper nur durch den Rahmen dargestellt, der Unterzug ist ausgespart. Dadurch kann während der Versuche die Interaktion der Plastikpartikel an den Rechentrommeln beobachtet und aufgenommen werden.

Abb. 3 zeigt die Wasserspiegellagen für die beiden gewählten Fließtiefen in den Versuchen. Bei Fließtiefe 1 von 0.4 m liegt die Wasserspiegellage auf Höhe der Horizontalrechen der Rechentrommeln. Dieser Zustand spiegelt einen Zustand bei Ebbe bzw. in der Trockenzeit wider. Fließtiefe 2 von 0.75 m spiegelt einen Flutzustand wieder bzw. eine große Fließtiefe in der Regenzeit. Hier würde die WSPL über dem Unterboden des Schwimmkörpers liegen und so ein Aufschwimmen der Einheit bewirken. Die Abflusskapazitäten am Versuchsstand erlaubten für die große

Fließtiefe ausschließlich Versuche bei Anströmgeschwindigkeiten von 0.2 m/s und 0.4 m/s. Tab. 2 fasst die Parametervariationen in den Messreihen zusammen.



**Abb. 3** Fließtiefe 1 (0.4 m) und Fließtiefe 2 (0.75 m) mit entsprechender Wasserspiegellage an der Reinigungseinheit

Bei jedem Testlauf werden insgesamt 270 Plastikpartikel 25 m oberstrom der Reinigungseinheit und 5 cm unter der Wasseroberfläche zugegeben: jeweils 30 Partikel jeder Polymerart und Größenklasse. Nach der Zugabe 30 gleicher Partikel in kurzer Zeitfolge werden kurze Pausen vor der Zugabe einer anderen Partikelklasse eingehalten, sodass jede Klasse individuell beobachtet und bewertet werden kann. Während der Versuche wird die Interaktion der Partikel mit dem Reinigungsmodul von der Messbrücke beobachtet. Definierte Versagensfälle der Müllübergabe zum Ufer werden für alle Partikelklassen gezählt und protokolliert. Zusätzlich werden die Versuche durchgehend von zwei Kamerapositionen gefilmt und dokumentiert: eine Kamera ist auf der Messbrücke über dem Modul positioniert, eine weitere zeichnet die Übergabe frontal vor der Rechenebene auf. Nach einem Testlauf werden die gesammelten Partikel am Vertikalrechen manuell eingesammelt und ausgewertet. Zusätzlich werden die Protokolle der Versagensfälle analysiert, um Fehlerquellen im Prozess der Übergabe ausfindig zu machen.

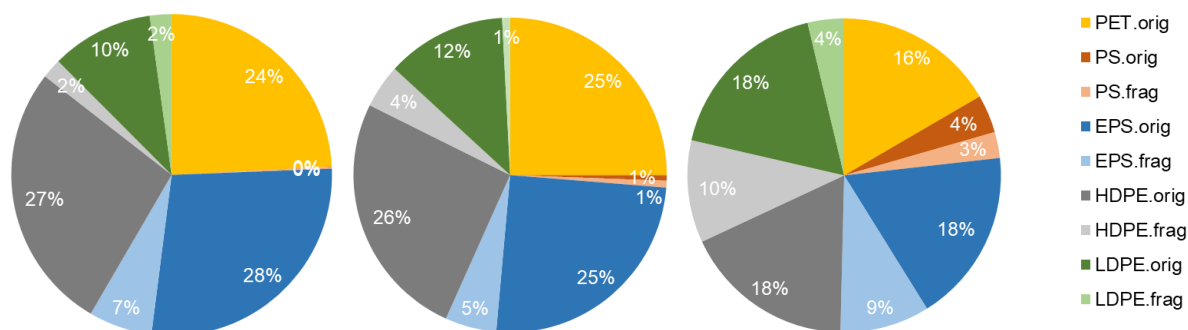
### 3 Ergebnisse

Die in diesem Abschnitt präsentierten Ergebnisse beschreiben die quantitative Auswertung der gesammelten Plastikpartikel am Vertikalrechen nach jedem Testlauf. Diese gesammelten Partikel werden durch den RS sowohl erfolgreich im Gewässer gestoppt, als auch erfolgreich zum Ufer geleitet. Die angegebenen Wahrscheinlichkeiten  $P$  beinhalten somit eine erfolgreiche Stoppwahrscheinlichkeit als auch die erfolgreiche Übergabewahrscheinlichkeit zum Vertikalrechen und kann als Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Reinigung bzw. als Reinigungseffizienz angesehen werden.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass diese Wahrscheinlichkeit  $P$  sowohl vom Polymertyp, als auch von der Polymergröße und den hydraulischen Parametern abhängig ist. Die originalen Plastikpartikel (s. Tab. 1) werden deutlich besser aus dem Fließgewässerquerschnitt entfernt als die Fragmente (s. Tab. 1). Die Anteile der verschiedenen Typen bezogen auf die Anzahl der gesam-

ten entfernten Partikel variiert leicht zwischen den drei unterschiedlichen Trommelarmkonfigurationen, zeigen jedoch insgesamt eine sehr ähnliche Verteilung zwischen den Polymertypen und Größenklassen (s. Abb. 1).

Betrachtet man die gesamten Testläufe über alle hydraulischen Parameter und Rotationsgeschwindigkeiten, nimmt die Reinigungseffizienz  $P$  mit steigendem Inklinationwinkel des Reinigungsmoduls von 37 % bei 15° über 42 % bei 30° bis zu 59 % bei 45° zu. Bezogen auf die originalen Partikel erfuhren LDPE-Tüten die größte Steigerung der erfolgreichen Reinigung von 35% bei 15° auf 94% bei 45°. Bei den Fragmenten steigerte sich  $P$  am stärksten bei HDPE von 7% bei 15° auf 56% bei 45°. Durch diese Verschiebungen steigt der Anteil von HDPE und LDPE bei den gesammelten Partikeln am Vertikalrechen mit zunehmenden Winkel (s. Abb. 4).



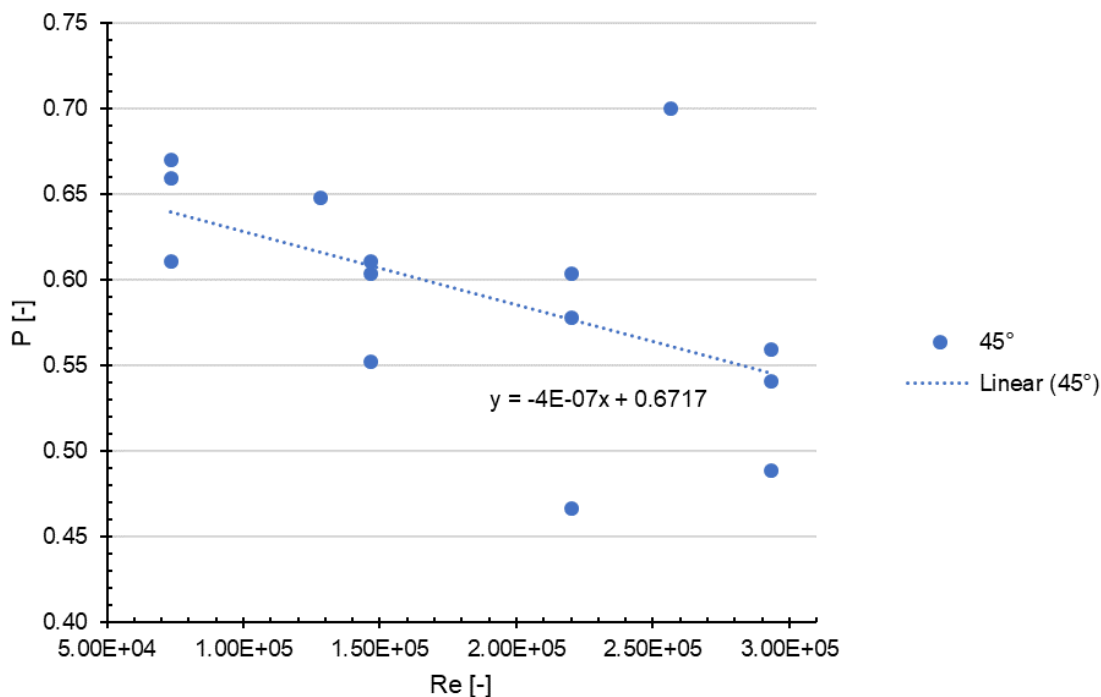
**Abb. 4** Anteil der Polymertypen bzgl. der erfolgreichen Reinigung bei einem Inklinationwinkel von 15° (links), 30° (mitte) und 45° (rechts)

Die erfolgreichste Reinigungseffizienz von 70% wurde bei der großen Fließtiefe und einem Inklinationwinkel von 45° erzielt. Im Schnitt lag die Reinigungseffizienz bei 45° für Partikel mit einer Dichte  $< 1 \text{ g/cm}^3$ , also der tendenziell aufschwimmenden Partikel, bei 68%; für Partikel mit einer Dichte  $> 1 \text{ g/cm}^3$  lediglich bei 41%.

Neben der Sensitivität der erfolgreichen Reinigung bezüglich der Polymereigenschaften werden die Ergebnisse auf hydraulische Abhängigkeiten untersucht. Die mittlere Quote der Reinigungseffizienz über alle Plastikpartikel hinweg sinkt bei allen Trommelarmkonfigurationen mit steigender Fließgeschwindigkeit (s. Tabelle 3). Außerdem erweisen sich die Versuche mit der großen Fließtiefe als besonders vorteilhaft bzgl. der Übergabequote. Dies lässt sich durch die guten Stoppraten der schwimmenden Plastikpartikel am geschlossenen Schwimmkörper erklären und führt so zu einem deutlichen Trend, umgekehrt proportional zur Reynoldszahl (s. Abb. 5).

**Tab. 3** Mittlere Reinigungseffizienz  $P$  in Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit  $v$  und der Rotationsgeschwindigkeit  $v_r$  für die untersuchten Winkel 15°, 30°, 45°

P [-]	v [m/s]				v <sub>r</sub> [1/min]		
	0.2	0.4	0.6	0.8	1	3	5
45°	0.65	0.62	0.55	0.53	0.58	0.60	0.56
30°	0.49	0.42	0.37	0.38	0.38	0.41	0.41
15°	0.43	0.39	0.30	0.33	0.36	0.33	0.38



**Abb. 5** Abhängigkeit der Reinigungseffizienz P von der Reynolds Zahl

Überraschenderweise ist die Reinigungseffizienz nahezu unabhängig von der Rotationsgeschwindigkeit (s. Tabelle 3). Auch hinsichtlich der Interaktion mit unterschiedlichen Anströmgeschwindigkeiten - also Transportgeschwindigkeiten der Plastikpartikel - ist keine Sensitivität festzustellen. Die Standardabweichung der Reinigungseffizienz für eine spezifische Rotationsgeschwindigkeit und Fließgeschwindigkeit variiert zwischen 0.01 und 0.12. Für die kleinste Drehzahl ist diese in allen drei Winkelkonfigurationen am geringsten und beträgt im Schnitt 0.02. Zeitlich läuft die Übergabe bei höheren Rotationsgeschwindigkeit wie erwartet deutlich schneller ab. Diese vorläufigen Ergebnisse deuten die Möglichkeit an, über die Rotationsgeschwindigkeit auf schwankende Transportfrachten in verschmutzten Gewässern reagieren zu können, ohne eine Verringerung der Effizienz der Anlage zu verursachen.

#### 4 Diskussion

Die quantitativen Versuchsergebnisse sind aus mehreren Gründen als konservativ anzusehen: PS-Fragmente liegen für die Versuche nur in braun-weißer Farbe vor und können so nicht immer eindeutig während der Versuche identifiziert werden. Es zeigt sich, dass sich einige PS-Fragmente vergleichbar zu voruntersuchten PET-Fragmenten an der oberstromigen Sohle bereits vor der Untersuchungsstrecke ablagern. Dadurch wird die Reinigungseffizienz der Anlage fälschlicherweise reduziert. Ebenso zeigt die manuelle Entnahme der gesammelten Partikel am Vertikalrechen am Ende der Versuche Schwächen auf. So erfolgen durch Turbulenzen infolge des Watens durch den Versuchsstand und durch die kontinuierliche Entnahme angelegter Partikel am Vertikalrechen ständig Umlagerungen der restlichen Partikel. Dabei kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich ursprünglich gestoppte Partikel wieder remobilisieren.

Zusätzlich unterströmen insbesondere LDPE-Fragmente bei der großen Fließtiefe den Schwimmkörper, tauchen dann nach dem Leitbalken noch vor der Rechenebene der Trommeln wieder auf und passieren so die Reinigungsanlage ohne Interaktion mit dem Modul. Dieser Transportpfad ist in einer tatsächlichen Umsetzung ausgeschlossen, da der Unterzug bzw. -boden des Schwimmkörpers das Auftauchen vor der Rechenebene unterbindet. So zeigt sich hier



ein Modellfehler aufgrund des Verzichtes auf den Unterzug des Schwimmkörpers aus Gründen der Sichtbarkeit der Prozesse.

Ausgehend von diesen Beobachtungen und Modelllimitationen sind die quantitativen Ergebnisse mit erfolgreichen Reinigungsraten von bis zu 70% bei einem 45°-Winkel noch höher zu bewerten. Dabei werden die größeren originalen Partikel effizienter entfernt als die Fragmente, was je nach Partikeltyp sowohl mit der Größe, als auch mit der Form begründet werden kann. Hohlkörper wie Flaschen schwimmen besser auf als deren Fragmente und sinken nur bei vollständiger Wasserfüllung ab. Der Anteil der entfernten Fragmente steigt stärker mit zunehmendem Winkel als der Anteil originaler Körper, sodass sich in der 45°-Konfiguration die Anteile der entfernten Fragmente und originalen Körper bis auf den Polymertyp LDPE immer mehr angleichen. Die enorme Steigerung der Entfernungsrates von LDPE und anderen Fragmenten mit steigendem Winkel kann auf die verbesserte Kraftübertragung und die Ausbildung vorteilhafter Querströmungen zurückgeführt werden. Bei einem größeren Winkel treten stärkere Scherkräfte und Strömungen in Richtung des Vertikalrechens auf, sodass Partikel mit kleiner Angriffsfläche besser in diese Richtung bewegt werden. Dieser Mechanismus kann bei LDPE-Folien aufgrund ihrer starken Verformbarkeit und somit sehr variablen Kraftangriffsfläche auch eine besondere Rolle spielen.

Die umgekehrt proportionale Abhängigkeit der Reinigungseffizienz mit der Reynoldszahl könnte sich auf geringere Turbulenzen zurückführen lassen. Dieser Effekt könnte insbesondere in stau-geregelten Flussabschnitten wie vor Wasserkraftanlagen genutzt werden, da die Reynoldszahl in diesem Bereich besonders gering ist. Auch wenn sich die Rotationsgeschwindigkeit unabhängig von der Transportgeschwindigkeit der Partikel im Hinblick die Reinigungsrate erwies, scheint es wahrscheinlich, dass die Rotationsgeschwindigkeit in Bezug auf die Plastikfracht abgestimmt werden kann. Bei hohen Müllfrachten kann über eine höhere Rotationsgeschwindigkeit der gestoppte Müll schneller zum Ufer transportiert werden. Dadurch kann eine Verlegung der einzelnen Rechentrommeln bei hohen Transportfrachten durch eine schnellere Selbstreinigungswirkung der Trommeln verhindert und weiterhin eine ausreichender Fließquerschnitt gewährleistet werden. Zur weiteren Erforschung dieser Hypothese sind zusätzliche Versuche mit definierten Frachten und mit gesteuerter Zugabe notwendig.

## 5 Conclusion

Die Ergebnisse der Versuchsreihen belegen eindeutig die Funktionalität des Reinigungskonzeptes, der konzipierten Rahmenkonstruktion und des Verbindungselementes zum Vertikalrechen. Die Versuchsergebnisse sind als konservativ anzusehen, da mehrere Faktoren den Anteil an gestoppten Partikeln im Modell im Vergleich zu realen Anwendung reduzieren. Die Versuche zeigen eine vielversprechende Reinigungseffizienz des RS-Konzeptes und lassen erste Optimierungen des Konzeptes hinsichtlich der Parameter und des Designs einzelner Elemente, wie z.B. der Abstreifer zwischen den Trommeln, zu. Es empfiehlt sich eine weitere Erforschung des Konzeptes in fortführenden Studien.

## Literatur

- Geyer, R.; Jambeck, J. and Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science Advances*, 3, e1700782.
- Schmidt, C.; Krauth, T.; Wagner, S. (2017). Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea, *Environmental science and technology*, 51 (21), S. 12246–12253.

- van Calcar, C. J.; van Emmerik, T. H. M. (2019). Abundance of plastic debris across European and Asian rivers, *Environmental Research Letters*, Volume 14, Number 12, 124051.
- van Emmerik, Tim; Schwarz, Anna. (2020) Plastic debris in rivers, *WIREs Water*, Volume 7, Issue 1, e1398.
- Schwarz, A. E.; Ligthart, T. N.; Boukris, E.; van Harmelen, T. (2019). Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 143, Pages 92 – 100.
- Honingh, D.; van Emmerik, T.; Uijttewaal, W.; Kardhana, H.; Hoes, O.; and van de Giesen, N. (2020). Urban River Water Level Increase through Plastic Waste Accumulation at a Rack Structure, *Frontiers in Earth Science*, Volume 8, Article 28.
- van Emmerik, T.; Mellink, Y.; Hauk, R.; Waldschläger, K.; and Schreyers, L. (2022). Rivers as Plastic Reservoirs, *Frontiers in Water*, Volume 3, Article 786936.
- van Emmerik, T.; Strady, E.; Kieu-Le, T.; Nguyen, L. and Gratiot, N. (2019). Seasonality of riverine macroplastic transport, *Scientific reports*, Volume 9, 1, S. 13549.
- UNEP, United Nations Environment Programme (2022). End Plastic Pollution: towards an international legally binding instrument, Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly, United Nations Environment Assembly of the United Nations Environment Programme, Session 5, Resolution 14, Nairobi, 2022.
- CBC News (2021). Plastic garbage clogging Serbian dam threatens hydroelectric plant, URL: <https://www.cbc.ca/news/science/plastic-pollution-serbia-1.5863254>, Date: 7/1/2021, Access Date: 1/8/2023
- AfricaNews (2022). Plastic pollution clogs hydropower dam in DR Congo, URL: <https://www.africanews.com/2022/03/21/plastic-pollution-clogs-hydropower-dam-in-dr-congo/>, Date: 3/21/2022, Access Date: 1/8/2023

## **Anschrift der Verfasser**

Yannic Fuchs  
Versuchsanstalt für Wasserbau, TU München  
Oberrach 15, D-82432 Walchensee  
yannic.fuchs@tum.de

Susanne Scherbaum  
Wasserwirtschaftsamt Weilheim  
Pütrichstraße 15, D-82362 Weilheim in Oberbayern  
susanne.scherbaum@wwa-wm.bayern.de

Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Arnd Hartlieb  
Versuchsanstalt für Wasserbau, TU München  
Oberrach 15, D-82432 Walchensee  
arnd.hartlieb@tum.de