

Innovative Filtermodule für die Abscheidung von Mikroplastik aus Abwasser

A. Lanfermann¹, T. Barthels¹, M. Nießen¹, C. Riester², G. Klass³,
T.-Q. Pham⁴, O. Steffens⁵, P. Abels¹

Keywords: Mikroplastik; Filter; Abwasser; Kläranlage; Lasertechnik; Sieb

1 Einleitung

Als Mikroplastik werden kleinste Kunststoffpartikel mit einem Durchmesser < 5 mm bezeichnet [1], die entweder bewusst in verschiedensten Produkten eingesetzt werden oder durch natürlichen Abrieb und Erosion entstehen. Synthetische Mikropolymerpartikel, die als primäres Mikroplastik bezeichnet werden, dienen in vielen Hygieneprodukten als Peelingpartikel, Binde- oder Füllmittel und gelangen nach der Benutzung des Produktes in den Wasserkreislauf [2, 3]. Als sekundäres Mikroplastik werden Plastikteile bezeichnet, die durch Degradationsprozesse oder Verschleiß aus größeren Plastikbestandteilen entstehen. Hierzu zählen beispielsweise Einwegprodukte der Verpackungsindustrie, Reifenabrieb auf den Straßen oder Textilfasern aus Funktionskleidung [4]. Alle Arten von Mikroplastikpartikeln, egal ob primär oder sekundär, die in unser Abwasser gelangen und der Abwasseraufbereitung zugeführt werden, sind in regulären Klärwerken nicht ausreichend filterbar. Heutige Schätzungen gehen weltweit von etwa 140 Mio. Tonnen Plastikpartikeln im Meer aus [5]. Mit einem Durchmesser unter 500 µm wurden laut einer Studie des Alfred-Wegener-Institutes mehr als 700 Partikel/m³ und somit bis zu 5,3 Milliarden Partikel/Jahr [6, 7] im gefilterten Abwasser einer typischen Kläranlage nicht zurückgehalten. Die Entwicklung neuer innovativer Wasserfilter, die diesem Problem entgegen wirken, ist daher unumgänglich.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF fördert derzeit das Projekt »Innovative Filtermodule für die Abscheidung von Mikroplastik aus Abwasser«, kurz »SimConDrill«. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines innovativen Filtermoduls zur Beseitigung von Mikroplastik in Kläranlagenabwässern. Zur Realisierung dieses Ziels steht die Technologieentwicklung zur Herstellung eines solchen Filters im Vordergrund. Als Ausgangspunkt dient der patentierte Zyklonfilter der Firma Klass Filtertechnik. Da bislang noch keine Gesetzeslage existiert, die die Anzahl der Mikroplastikpartikel oder die erlaubte Partikelgröße im Abwasser regelt, wurde das Ziel

¹Fraunhofer Institut für Lasertechnik, Steinbachstr. 15, 52074 Aachen, Deutschland

²LaserJob GmbH, Liebigstr. 14, 82256 Fürstenfeldbruck, Deutschland

³Georg Klass Filtertechnik, Bahnhofstr. 32C, 82299 Türkenfeld, Deutschland

⁴OptiY GmbH, Friedrich-Bergius-Ring 15, 97076 Würzburg, Deutschland

⁵Lunovu GmbH, Kaiserstr. 100, 52134 Herzogenrath, Deutschland

der zu filternden Partikel innerhalb des Projektes auf $\geq 10 \mu\text{m}$ festgelegt. Mit Lochdurchmessern kleiner als $10 \mu\text{m}$ werden an den Laserbohrprozess hohe Anforderungen gestellt. In dünnen Metallfolien erreicht das Laserperkussionsbohren Lochdurchmesser von weniger als $5 \mu\text{m}$. Wegen der mechanischen Beanspruchung sind diese Folien nicht geeignet für den Zyklonfilter. Für die Prozessentwicklung muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen einer minimalen Bohrlochgröße und dem möglichen Durchsatz. Der Bohrprozess soll mit einer am Fraunhofer ILT entwickelten Software simuliert werden, sodass der Bohrprozess unter Berücksichtigung der Laserparameter Laserleistung, Pulsdauer oder Strahlradius ausgelegt werden kann. Um die reibungslose Herstellung der Filter zu gewährleisten, wird der Bohrprozess mit einem optischen Verfahren überwacht. Die Sicherstellung der Durchbohrung ist für die Funktionalität des Filters essentiell, da nicht durchgebohrte Löcher den Durchsatz des Filters verringern.

Im Anschluss an die Technologieentwicklung wird ein Prototyp gebaut, der in einen Zyklonfilter integriert wird. Der Prototyp wird mit einer Testflüssigkeit und in einer Kläranlage getestet.

2 Arbeitspakete

2.1 Zyklonfilter

Die Basis der neuen Filtergeneration bildet der Zyklonfilter der Fa. Georg Klass Filtertechnik [8], der dazu geeignet ist im kontinuierlichen Betrieb große Wassermengen zu filtern (Abbildung 1). Der Zyklonfilter wird zurzeit hauptsächlich zur Wasserrückgewinnung in Kanalspülwagen verwendet.

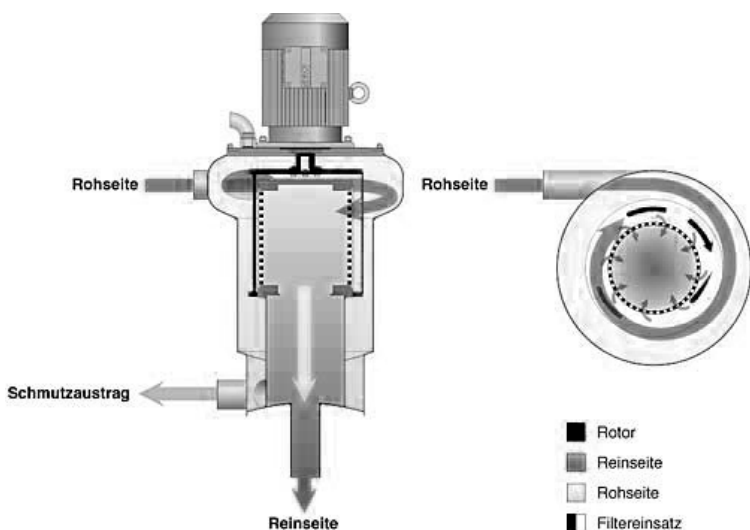


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Zyklonfilters [8].

Während Wasser durch den Filter nach Innen gedrückt wird, bewegt sich ein Rotor um den Filtereinsatz aus Metall. Der Rotor erzeugt durch sein Tragflächenprofil einen Unterdruck an der Oberfläche des Filtereinsatzes. Zu große Partikel werden durch den vom Rotor erzeugten Unterdruck von den Filterbohrungen wieder abgelöst, sodass keine Verstopfung entstehen kann. Der aktuelle Zyklonfilter erreicht mit einem Porendurchmesser von 100 μm einen Nenn-Volumenstrom von 400 L/min. Durch den Zyklonfilter wird der Filterkuchen als Schmutzaustrag herausgeführt und kann gegebenenfalls recycelt werden. Der Zyklonfilter erreicht einen Trockenmassegehalt von etwa 5 %. Zur effizienten Rückgewinnung von Wasser kann der Trockenmassegehalt im Anschluss an den Zyklonfilter mit einem Wendelfilter zusätzlich erhöht werden.

SimConDrill verfolgt zeitgleich zwei technologische Ansätze, um den Zyklonfilter zu einem effizienten Filtermodul zur Abscheidung von Mikroplastik aus dem Abwasser zu entwickeln. Wesentliche Zielgröße der geplanten Filtereinsätze ist die Reduzierung der Porendurchmesser im Filter auf Durchmesser $\leq 10 \mu\text{m}$ unter produktionsgerechten Voraussetzungen und Qualitätskriterien. Der zweite technologische Ansatz ist die strömungstechnische Optimierung des Zyklonfilters.

Im Rahmen der Optimierung werden Filtereigenschaften, wie beispielsweise Durchsatz, Partikelgröße, Abscheidegrad und Standzeit betrachtet. Zur Realisierung der Ziele stehen als Parameter Porosität, Porengröße, Druckdifferenz und Foliendesign zur Verfügung.

Der Zyklonfilter wird im Erfolgsfall vergleichsweise preisgünstig und ohne Umweltrisiken hergestellt werden können. Darüber hinaus ist der Filter in der Anwendung prinzipbedingt wartungsarm und kann unbegrenzt regeneriert werden.

2.2 Prozessentwicklung und Simulation

Zum Bohren der Filter werden Ultrakurzpulslaser mit hoher Leistung für die Fertigung eingesetzt. Ultrakurzpulslaser ermöglichen im Gegensatz zu üblichen Verfahren [10, 11] kleinere Löcher in Folien zu bohren.

Erste Versuche zeigen, dass Edelstahlfolien mit einer Dicke von bis zu 500 μm und einem Austrittsdurchmesser von weniger als 10 μm gebohrt werden können. Der Durchsatz, der mit einem Filter erzielt werden kann, ist eine kritische Größe, da sie ein wesentliches Kriterium für die Effektivität des Filters darstellt. Sie hängt von der Druckdifferenz, der Dicke der Folie, der Lochgröße und der Porosität ab. Da die erzielbare Porosität von der Foliendicke und der Konizität der Bohrungen abhängt, stellt die Auslegung einer solchen Lochfolie eine Optimierungsaufgabe dar. Diese Optimierungsaufgabe muss unter fertigungsbedingten Randbedingungen gelöst werden.

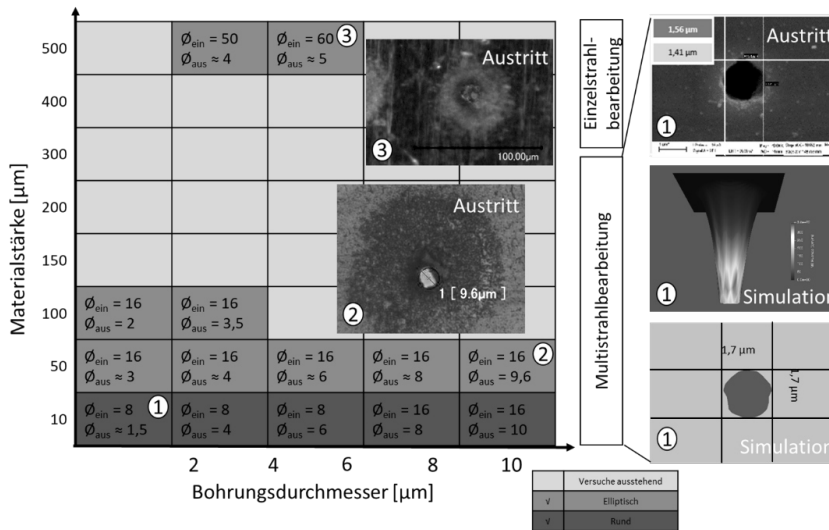


Abbildung 2: Übersicht der aktuellen Bohrungsergebnisse in verschiedenen Edelstahlfoliendicken und die aktuell erreichbaren minimalen Austrittsdurchmesser sowie ein Vergleich von experimentellen und berechneten Bohrungsdurchmessern an der Unterseite (rechts, Parametersatz 1).

Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit wird auch der Einsatz einer Multistrahlbearbeitung mit mehr als 100 Teilstrahlen untersucht. Bei der Multistrahlbearbeitung kann die Produktivität bei der Bearbeitung gesteigert werden. Jedoch führt dies bei hohen Leistungen zu Verzug, verstärkter Erzeugung von Schmelze und geringer Ablationsqualität. Um alle Prozessparameter sorgfältig aufeinander abzustimmen und geeignete Bearbeitungsstrategien auszuwählen werden eine Prozesssimulation und eine Optimierungssoftware kombiniert.

2.3 Qualitätssicherung

Die fehlerfreie Herstellung der Filterfolien ist Voraussetzung für die Funktionalität des Filters. Die Qualitätssicherung findet während des Bohrprozesses statt und ermittelt die erfolgreiche Durchbohrung der einzelnen Bohrlöcher. Während der derzeitige Stand der Technik erst eine Vermessung der Bohrungen nach dem Bohrprozess vorsieht, wird in SimConDrill ein Messkopf entwickelt, der in den Laserprozess integriert werden kann, um bereits während der Bearbeitung Prozessabweichungen zu identifizieren und gegebenenfalls Fehlstellen zu verhindern.

Das Messprinzip besteht aus zwei optischen Verfahren. Zum einen wird das Prozessleuchten verwendet, das während des Bohrprozesses entsteht. Das Prozessleuchten wird in einem Wellenlängenbereich von etwa 400 - 800 nm erfasst, während mit einer Laserwellenlänge von 515 nm bearbeitet wird. Das Prozessleuchten wird von Photodioden aufgenommen und anschließend ausgewertet. Beim Durchbruch durch das Material zeigt das Photodiodensignal eine charakteristische Änderung, sodass eine vollständige Durchbohrung erkannt werden kann.

Zum anderen wird ein Messverfahren getestet, das Fremdlicht nutzt, um den Durchbruch zu ermitteln.

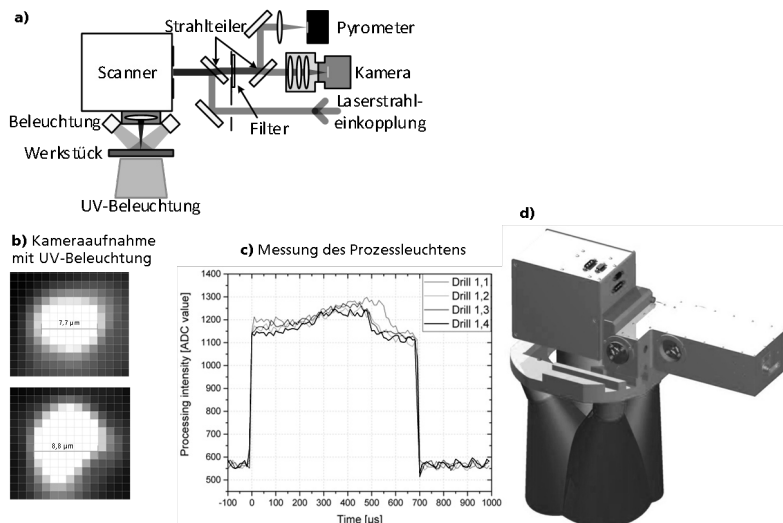


Abbildung 3: Messaufbau zur Qualitätssicherung. a) Strahlengang des Messkopfes b) Kameraaufnahmen mit UV-Beleuchtung unter der Metallfolie c) Messung des Prozessleuchtens mit Photodioden-Array d) Messkopfdesign.

Unter der Probe wird hierzu eine Lichtquelle im Wellenlängenbereich 350 – 450 nm angebracht. Eine Kamera ist in den Strahlengang integriert. Diese Kamera erkennt das Fremdlicht sobald ein Durchbruch beim Bohren entstanden ist. Die Fremdlicht-Methode ermöglicht zusätzlich eine Abschätzung der Lochgeometrie und damit die Detektion von zu groß gebohrten Löchern.

Beide Messverfahren werden koaxial durch die Optik des Laserstrahls geführt.

2.4 Validierung des Filters

Zur Validierung des SimConDrill Zyklonfilters wird dieser gezielt durch Testflüssigkeiten sowie in einem Klärwerk an realem Abwasser getestet. Die Filtercharakteristik des originalen Zyklonfilters und des SimConDrill Zyklonfilters werden verglichen. Die Probenentnahme und Analyse erfolgt durch ein unabhängiges, akkreditiertes Prüflabor. Die Wasserproben werden auf ihre Zusammensetzung an Mikroplastik und dessen Partikelgröße analysiert. Zur Trockenmassenbestimmung wird das Filtrat vollständig getrocknet. Die getrocknete Masse wird anschließend gewogen und mit dem Ausgangsgewicht der Probe ins Verhältnis gesetzt. So erreicht der Zyklonfilter bei 100 µm Porendurchmesser beispielsweise einen Trockenmassegehalt von etwa 5 % und in Kombination mit dem Georg Klass Wendelfilter [9] einen von 30 %. Mittels Laserlichtbeugung wird die Größenverteilung der festen Partikel im Filtrat in einem Größenbereich von 0,01 – 3500 µm ermittelt. Die Zusammensetzung der Flüssigkeiten in Hinblick auf verschiedene Mikroplastikpartikel wird mit einer Kombination aus Pyrolyse, Gaschromatographie und Massenspektrometrie gemessen.

Klärwerke bestehen aus einer Kombination von mechanischer und biologischer Reinigung. Das Abwasser wird in einer sogenannten Rechenhalle mit einem Fein- und einem Grobrechen gesiebt und von großen Partikeln befreit. In einem weiterführenden Becken wird im Wasser befindlicher Sand durch Sedimentation abgesondert. Anschließend folgt der biologische Teil der Klärung. Nach dieser Reinigung gelangt das Wasser in den Vorfluter. Dieser Vorfluter kann ein Fluss, ein See oder ein Meer sein, sodass das Mikroplastik an dieser Stelle bereits ausgeschieden sein muss. Der Zyklonfilter wird als letztes Glied der Abwasserreinigung zwischen dem letzten Reinigungsschritt und dem Vorfluter, eingesetzt. Er wird hierbei in einen separaten Kreislauf parallel zum Durchlauf hinter dem Vorfluter getestet.

Die Separation vom Gesamtstrom verhindert einerseits bei einem Fehlschlag des Experiments eine Überflutung oder Verunreinigung des Abwassers durch z.B. gerissene Metallfolie. Andererseits kann auf diese Weise der Durchsatz variiert und somit der maximale Durchsatz für den Zyklonfilter bestimmt werden.

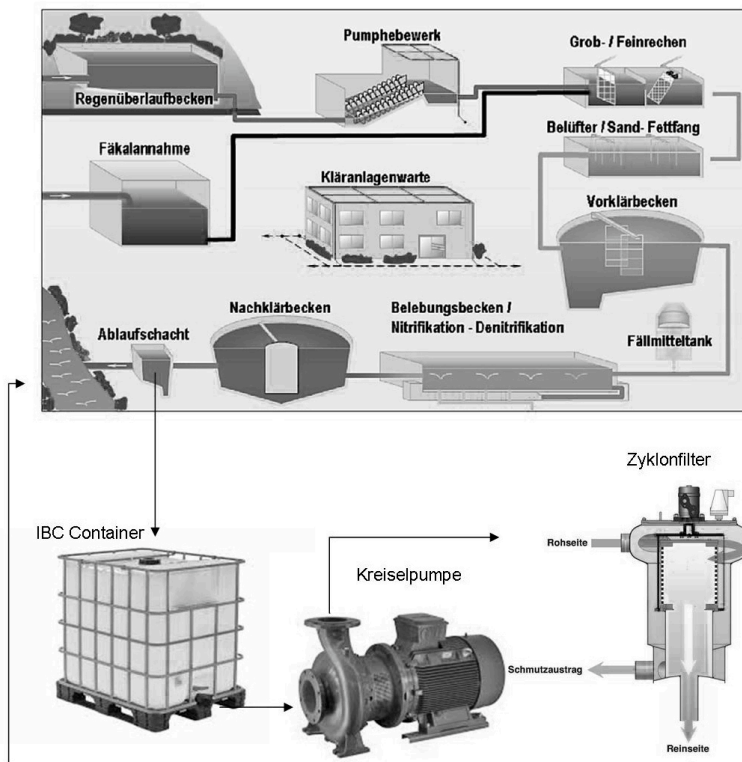


Abbildung 4: Wasseraufbereitung in einer typischen Kläranlage und Einbringung des Zyklonfilters in den Wasserkreislauf.

Zusammenfassung und Ausblick

In SimConDrill wird ein selbstreinigender, langzeitstabiler Filter entwickelt, um Mikroplastikpartikel $\geq 10 \mu\text{m}$ aus dem Abwasser zu separieren. Der Filter soll nach dem Vorfluter in Kläranlagen integriert werden können. Hauptziel des Projektes ist die Entwicklung eines Prototyps, der testweise in eine Kläranlage integriert und untersucht wird. Hierzu ist die Entwicklung eines Laserbohrprozesses notwendig, da mit diesem Verfahren besonders kleine Löcher in Metallfolien gebohrt werden können. Unterstützt wird die Prozessentwicklung durch eine simulative Auslegung des Prozesses mit Optimierungsstrategien. Zur Gewährleistung des Durchsatzes wird eine während des Bohrprozess funktionierende Qualitätssicherung entwickelt, sodass alle Löcher sicher durchgebohrt werden und keine Reduzierung des Filterdurchsatzes durch Prozessfehler entsteht.

Der Prototyp ist voraussichtlich im Jahr 2021 betriebsbereit und wird in eine kommunale Kläranlage testweise integriert. Der Bohrprozess wird bis dahin optimiert und die wirtschaftliche Herstellung des Filters untersucht.

Literatur

- [1] Bertling, R.: Fraunhofer UMSICHT nimmt Stellung: Thema Mikroplastik (2015).
- [2] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND): BUND Hintergrundpapier "Mikroplastik in Kosmetika" (2017).
- [3] Graca, B.; Szewc, K.; Zakrzewska, D.; Dolega, A.; Szczerbowska-Boruchowska, M.: Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea-a preliminary study. In: Environmental science and pollution research international (2017).
- [4] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (Hrsg.): Mikroplastik in der Umwelt - Statuskolloquium am 03.07.2014 2014.
- [5] Reiber, J.: Mikroplastik in der Umwelt und Nahrungskette (2015).
- [6] Gerdts, G.; Mintenig, S.; Int-Veen, I.; Löder, M.: Mikroplastik in Klärwerken. Fallstudie: Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen.
- [7] Mintenig, S. M.; Int-Veen, I.; Loder, M. G. J.; Primpke, S.; Gerdts, G.: Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. In: Water research (2017), S. 365–72.
- [8] Georg Klass Filtertechnik, Infobroschüre, Klass-Zyklonfilter.
- [9] KLASS-Filter GmbH: Prospekt Wendelfilter2014 (2014).
- [10] Kamlage, G.; Bauer, T.; Ostendorf, A. und Chichkov, B.N: Deep drilling of metals by femtosecond laser pulses. In: Applied Physics A: Materials Science & Processing 77 (2003), Nr. 2, S. 307–310. – ISSN 0947–8396.
- [11] Hambach, Nelli: Grenzen der Lochdichte beim Perkussionsbohren mit Ultrakurzpulslasern, 2017.