

Rückhalt von Arzneimitteln und Mikroorganismen am Beispiel des Retentionsbodenfilters Altendorf

Franz Michael Mertens, Ekkehard Christoffels (Bergheim),
Christiane Schreiber und Thomas Kistemann (Bonn)

Zusammenfassung

Retentionsbodenfilter bieten eine weitergehende Möglichkeit, das Abwasser aus Entlastungen von Mischwasserkanalisationen zu behandeln. Für Nährstoffe und Schwermetalle ist die Rückhalteeffizienz belegt. Auch Spurenstoffe und Mikroorganismen werden durch den Einsatz von Retentionsbodenfiltern zurückgehalten. Jedoch ist die Datenlage hinsichtlich der Reduktion dieser Stoffe noch sehr gering. Die Untersuchungen der hier vorgestellten Studie wurden am Retentionsbodenfilter Altendorf bei Bonn durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen am Beispiel der untersuchten Arzneimittel Diclofenac und Ibuprofen, dass sowohl eine Senkung der Positivbefunde um über 55 % als auch eine erhebliche Reduzierung der medianen und maximalen Konzentrationen durch die Behandlung des Mischwassers im Retentionsbodenfilter erzielt werden können. Für die Mikroorganismen *E. coli*, Coliphagen und *Giardia lamblia* (Cysten) wird im Durchschnitt eine Reduktion der Konzentration um drei Logarithmusstufen (99,9 %) erzielt. Die Ergebnisse belegen, dass durch die weitergehende Reinigung des Abwassers aus Mischwasserentlastungen mit Retentionsbodenfiltern die Fließgewässer deutlich weniger mit Arzneimitteln und Mikroorganismen beaufschlagt werden.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Entwässerungssysteme, Retentionsbodenfilter, Mischwasser, Fließgewässer, Spurenstoff, Arzneimittel, Diclofenac, Ibuprofen, Mikroorganismen, Bakterien, *E. coli*, Virus, Coliphagen, Parasit, Cysten, *Giardia lamblia*

DOI: 10.3242/kae2012.12.003

Abstract

Retention of Pharmaceuticals and Micro-Organisms – the Example of the Altendorf Retention Soil Filter

Retention soil filters offer an advanced possibility for the treatment of wastewaters from stormwater overflows in combined sewer systems. Their retention efficiency is proven for nutrients and heavy metals. Trace elements and micro-organisms are also retained by retention soil filters. However, there are not enough data on the reduction of these substances. The tests within the framework of the study that is discussed here were carried out at the Altendorf retention soil filter near Bonn. For the pharmaceutical drugs diclofenac and ibuprofen, the results show a reduction in positive findings by more than 55 % as well as a considerable reduction in median and maximum concentration levels thanks to the treatment of combined sewage in retention soil filters. For micro-organisms such as *E. coli*, coliphages and *Giardia lamblia* (cysts), an average reduction in concentrations by three logarithmic steps (99.9%) is achieved. The results show that the advanced treatment of wastewaters from stormwater overflows of combined sewer systems in retention soil filters leads to a clear reduction in the pharmaceutical and micro-organism load of watercourses.

Key words: wastewater treatment, municipal, drainage systems, retention soil filter, combined sewage, watercourse, trace element, pharmaceutical drug, diclofenac, ibuprofen, micro-organisms, bacteria, *E. coli*, virus, coliphages, parasite, cysts, *Giardia lamblia*

1 Einleitung

Die Entlastungen aus Mischwasserbehandlungsanlagen können neben hydraulischen Stoßbelastungen für die aufnehmenden Fließgewässer ebenso erhebliche stoffliche Belastungen herbeiführen [1]. Dennoch existieren in Deutschland derzeit keine verbindlichen Vorschriften, in denen emissionsseitig für wasserwirtschaftlich bedeutsame Substanzen die Stofffrachten aus Mischwasserentlastungen reglementiert werden. Ein Grund dafür könnte sein, dass bislang wenige kohärente Monitoringprogramme zur Erfassung der Inhaltsstoffe aus Entlas-

tungen der Mischwasserkanalisation durchgeführt wurden. Die Zahl der untersuchten Parameter und die Dichte der zur Verfügung stehenden Daten sind häufig unzureichend. Spurenstoffe und Mikroorganismen wurden bei den Untersuchungen der Mischwasserentlastungen kaum berücksichtigt.

Im Rahmen eines vom Land Nordrhein-Westfalen geförderter Forschungs- und Entwicklungsvorhabens wurden neben anderen wasserwirtschaftlich bedeutsamen Substanzgruppen ausgewählte Spurenstoffe und mikrobiologische Parameter für alle

relevanten Eintragspfade im Flusseinzugsgebiet Swist untersucht. Unter anderem wurde ein Monitoringprogramm zur Beobachtung der Mischwasserentlastungen initiiert. Dabei wurde festgestellt, dass die Mischwasserentlastungen eine wesentliche Quelle für Belastungen von Fließgewässern mit Spurenstoffen und Mikroorganismen darstellen [2]. Eine Maßnahme, um die Belastungen durch Mischwasserentlastungen zu reduzieren, ist die weitergehende Reinigung des Mischwassers durch Retentionsbodenfilter. Deshalb wurde im Projekt auch die Wirksamkeit eines im Untersuchungsgebiet liegenden Retentionsbodenfilters intensiv untersucht. Die Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern war in der Vergangenheit bereits Gegenstand von Untersuchungen. Veröffentlichungen berichten von einem Rückhalt von Nährstoffen zwischen 75 und 98 % [3, 4]. Diese Ergebnisse konnten durch eigene Untersuchungen bestätigt werden. Der vorliegende Artikel beschränkt sich deshalb auf die Vorstellung der angewendeten Erhebungsmethoden und der Untersuchungsergebnisse zu den Spurenstoffen und Mikroorganismen.

2 Retentionsbodenfilter und Fließgewässer

Eine Maßnahme zur Reduzierung der hydraulischen und stofflichen Belastungen ist die Behandlung des Abwassers aus Entlastungen der Mischwasserkanalisationen durch den Einsatz von Retentionsbodenfiltern. Im Retentionsbodenfilter wird das Mischwasser aus einer Entlastung (Regenüberlaufbecken oder Stauraumkanal) zurückgehalten. Dadurch wird die hydraulische Belastung für das aufnehmende Fließgewässer gedämpft. Im Becken sickert das Mischwasser durch eine mit Schilf bestandene Bodenschicht aus Filtersand in ein darunter liegendes Dränagesystem. Das Wasser verlässt den Retentionsbodenfilter physikalisch gefiltert und biochemisch gereinigt [5].

Der untersuchte Retentionsbodenfilter liegt im Ortsteil Altendorf der Gemeinde Meckenheim bei Bonn und wurde im Jahr 2005 in Betrieb genommen. Das angeschlossene Kanalsystem entwässert die Orte Hilberath und Altendorf mit ca. 1650 angeschlossenen Einwohnern im Mischwassersystem. Die abflusswirksame Fläche beträgt 18,8 ha. Bei dem an das Kanal-



Abb. 1: Zulaufbereich Retentionsbodenfilter Altendorf (links) und Altendorfer Bach in Höhe der Einleitstelle des Retentionsbodenfilters (rechts)

netz angeschlossenen Gebiet handelt es sich um ein ländlich geprägtes Wohngebiet mit einigen landwirtschaftlichen Betrieben. Ansonsten sind keine nennenswerten Gewerbe-/Industrieflächen oder Einrichtungen mit speziellem Abwasseraufkommen, wie zum Beispiel Krankenhäuser, vorhanden. Dem Retentionsbodenfilter ist ein Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung vorgeschaltet. Bei vollständiger Auslastung des Kanalsystems und des Stauraumkanals als Folge von Niederschlagsereignissen wird das Mischwasser in den Retentionsbodenfilter abgeschlagen. Die technischen Details zu dem Retentionsbodenfilter sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Das im Retentionsbodenfilter gereinigte Mischwasser wird anschließend in den Altendorfer Bach eingeleitet. Der Bach liegt im Einzugsgebiet der Swist im Großraum Bonn. Die Swist gehört zum Flusseinzugsgebiet der Erft. Bei dem Altendorfer Bach handelt es sich um einen feinmaterialreichen, silicatischen Mittelgebirgsbach. Der Mittelwasserabfluss beträgt an der Einleitstelle 26 L s^{-1} (Ergebnis der Niederschlag-Abfluss-Simulation). Die Abbildung 1 zeigt den Retentionsbodenfilter Altendorf sowie den Altendorfer Bach in Höhe der Einleitung aus dem Retentionsbodenfilter.

3 Probenahmesystem und Analytik

Im Zulauf zum Retentionsbodenfilter Altendorf wird über einen Wasserstandssensor der Entlastungsbeginn aus dem Stauraumkanal bzw. der Beginn der Beschickung des Filters registriert. Dort wurde zusätzlich ein System installiert, das automatisch die Einstauereignisse erfasst und eine Probenahme auslöst. Dazu wurden für den Zu- und den Ablauf jeweils ein automatischer Probenehmer mit elf Einzelflaschen bestückt. Gesteuert wurde die Probenahme durch eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), die eine individuelle Programmierung der Probenahmebefüllung ermöglichte. Es wurden je Einstauereignis im Zulauf und zeitversetzt im Ablauf 12-Minuten-Mischproben à 2,9 Liter über einen Zeitraum von maximal 132 Minuten geborgen. Neben der Gewinnung von Einzelproben wurden aus dem Zulauf zum Retentionsbodenfilter zusätzlich 200 Liter Mischwasser aus den ersten 15 Minuten der Befüllung des Beckens gewonnen. Ebenso wurden aus dem Ablauf des Retentionsbodenfilters in einem Zeitfenster von 15 Minuten 200 Liter gereinigtes Mischwasser entnommen. Die Probenahme am Ablauf erfolgte mit einer Verzögerung von einer Stunde nach dem Beginn des Einstauereignisses. Damit ist sichergestellt, dass das Restwasser aus dem vorangegangenen Ereignis den Filter verlassen hat. Das Probenvolumen von 200 Liter wurde für die mikrobiologischen

Parameter	Einheit	Größe
Volumen SKU	m^3	143
Volumen RBF	m^3	782
Filterfläche RBF	m^2	707
maximale Filterleistung RBF	$\text{L (s} \times \text{m}^2)^{-1}$	0,03
Filterleistung RBF (Regelbetrieb)	$\text{L (s} \times \text{m}^2)^{-1}$	0,015
maximaler Drosselabfluss RBF	L s^{-1}	21
Drosselabfluss RBF (Regelbetrieb)	L s^{-1}	10,5
Filtersandschicht (0–2 mm)	m	0,75
Vegetation		Schilf (<i>Phragmites australis</i>)

Tabelle 1: Technische Daten des Retentionsbodenfilters Altendorf; SKU = Stauraumkanal mit untenliegender Entlastung; RBF = Retentionsbodenfilter

Untersuchungen verwendet. Insbesondere um belastbare Aussagen zum Vorkommen von Parasiten machen zu können, ist die große Probemenge erforderlich. Parasiten sind nämlich in der Regel in geringen Individuenzahlen anzutreffen.

Bei einer Probennahme wurde automatisch eine Benachrichtigung per SMS gesendet. Somit konnte die rasche Abholung und Analyse der Proben sichergestellt werden. Die gewonnenen Proben wurden auf zahlreiche Parameter untersucht. Tabelle 2 zeigt eine Liste der untersuchten Kenngrößen. Für jede Probe wurden die Messwerte von 30 physikalisch-chemischen Parametern, 35 Pflanzenschutzmitteln sowie zehn Arzneimitteln bestimmt. Die mikrobiologischen Analysen umfassten zwölf Parameter. Im Folgenden wird *Escherichia coli* (*E. coli*) in MPN in 100 mL (MPN = Most Probable Number) und Coliphagen in PBE je 100 mL (PBE = Plaque Bildende Einheiten) ausgedrückt. Giardien werden als Individuenzahl je 100 L angegeben.

4 Ergebnisse und Diskussion

In der Zeit von Juni 2010 bis August 2011 konnten mithilfe des oben beschriebenen Probenahmesystems 33 Abschlagsereignisse erfasst werden. Die allgemeinen physikalisch-chemischen Parameter und die Spurenstoffe wurden für den Zu- und Ablauf des Retentionsbodenfilters bei jeweils 343 Einzelproben untersucht. Die Konzentrationen von Bakterien und Phagen (Viren mit Bakterien als Wirtszelle) wurden von 25 Entlastungsereignissen jeweils für den Zu- und Ablauf analysiert. Parasitologische Untersuchungen wurden bei den Proben von 29 Ereignissen durchgeführt.

4.1 Arzneimittel

Stellvertretend für die Spurenstoffe werden die Untersuchungsergebnisse der Arzneimittel Diclofenac und Ibuprofen vorgestellt. Die beiden Medikamente sind weit verbreitet und zählen zur Gruppe der Analgetika (Schmerzmittel). Die Anwendungsgebiete sind unter anderem die Schmerzlinderung sowie die Behandlung von Entzündungen und Fieber. Abbildung 2 zeigt die Konzentrationen der Arzneimittel Diclofenac und Ibuprofen für den Zulauf und den Ablauf des Retentionsbodenfilters. Dargestellt sind die Medianwerte sowie die 25- und 75-Perzentile als Box (Interquartilbereich). Die Linienenden beschreiben das Minimum und Maximum. Für Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze ($0,1 \mu\text{g L}^{-1}$) wurde die halbe Bestimmungsgrenze angenommen. Zusätzlich sind die Anteile der Proben angegeben, die oberhalb der Bestimmungsgrenze liegen.

Im Zulauf des Retentionsbodenfilters wurden Diclofenac in 68 % und Ibuprofen in mehr als 90 % der Proben nachgewiesen. Diclofenac wurde in Konzentrationen bis zu $1,18 \mu\text{g L}^{-1}$ und Ibuprofen mit maximal $3,57 \mu\text{g L}^{-1}$ gemessen. Die Reinigungsleistung des Retentionsbodenfilters kann durch den Vergleich der Zu- und Ablaufkonzentrationen belegt werden. Die medianen Konzentrationen nehmen bei Diclofenac von $0,14 \mu\text{g L}^{-1}$ auf unterhalb der Bestimmungsgrenze ab. Auch für Ibuprofen konnte bei einer medianen Konzentration im Zulauf von $0,50 \mu\text{g L}^{-1}$ eine Reduktion auf Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze im Ablauf festgestellt werden. Die Anzahl der Positivbefunde reduzierte sich dabei bei Diclofenac von 68 % auf 9 %. Bei Ibuprofen konnte ein Rückgang der Positivbefunde von 92 % auf 17 % beobachtet werden. Die Maximalkonzentrationen verringerten sich im Vergleich des Zu- und Ablaufs um 65 % bei Diclofenac und 55 % bei Ibuprofen.

ROHRSYSTEME AUS STEINZEUG

**STARK.
NACHHALTIG.
ZUKUNFTSWEISEND.**



Steinzeug-Keramo GmbH
Alfred-Nobel-Straße 17 ■ 50226 Frechen

Telefon +49 2234 507-0
Telefax +49 2234 507-207

E-Mail info@steinzeug-keramo.com
Internet www.steinzeug-keramo.com

**STEINZEUG
KERAMO**

Physikalisch-chemische Parameter	Pflanzenschutzmittel	Arzneimittel	Mikrobiologische Parameter
Abfiltrierbare Stoffe	2,4,5-T	Bezafibrat	Bakterien
Gesamtglührückstand	2,4-D	Carbamazepin	Allgemeine Koloniezahl bei 20 °C
Gesamt trockenrückstand	2,4-DB	Clofibrinsäure	Allgemeine Koloniezahl bei 36 °C
Leitfähigkeit	Atrazin	Diclofenac	Coliforme Bakterien
pH-Wert	Chloridazon	Fenoprofen	<i>Escherichia coli</i>
Säurekapazität (pH 4,3)	Chloroxuron	Gemfibrozil	Fäkalstreptokokken
TOC, homogenisiert	Chlortoluron	Ibuprofen	<i>Salmonella</i> spp.
Ammonium-Stickstoff	Cyanazin	Iminostilben	<i>Campylobacter</i> spp.
Nitrat-Stickstoff	Desethylatrazin	Naproxen	Sulfitreduzierende sporenbildende
Nitrit-Stickstoff	Desethylterbuthylazin	Pentoxifyllin	Anaerobier (Clostridien)
organisch gebundener Stickstoff	Desisopropylatrazin		<i>Clostridium perfringens</i>
Gesamtstickstoff, berechnet	Dichlorprop		
Orthophosphat-Phosphor (gelöst)	Diuron		Viren
Phosphor (gesamt)	Fenoprop		Somatische Coliphagen
Calcium (gesamt)	Hexazinon		(als Indikator für enterale Viren)
Chlorid	Isoproturon		
Kalium	Linuron		Parasiten
Magnesium (gesamt)	MCPA		<i>Giardia lamblia</i> (Cysten)
Mangan (gesamt)	MCPB		<i>Cryptosporidium</i> spp. (Oocysten)
Natrium	MCPD		
Sulfat	Metamitron		
Aluminium (gesamt)	Metazachlor		
Blei (gesamt)	Methabenzthiazuron		
Cadmium (gesamt)	Metobromuron		
Chrom (gesamt)	Metolachlor		
Kobalt (gesamt)	Metoxuron		
Eisen (gesamt)	Metribuzin		
Kupfer (gesamt)	Monolinuron		
Nickel (gesamt)	Monuron		
Zink (gesamt)	Prometryn		
	Propazin		
	Sebuthylazin		
	Simazin		
	Terbuthylazin		
	Terbutryn		

Tabelle 2: Untersuchungsumfang in der Übersicht

Die Ergebnisse zeigen, dass der Retentionsbodenfilter in der Lage ist, im Mischwasser mitgeführte Spurenstoffe effektiv zurückzuhalten. Die mittleren Konzentrationen und die Positivbefunde für Diclofenac und Ibuprofen gehen deutlich zurück. Die erheblich niedrigeren Maximalkonzentrationen weisen darauf hin, dass durch die weitergehende Mischwasserbehandlung auch Peakkonzentrationen gekappt werden.

Insbesondere für Feststoffe und an Feststoff gebundene Substanzen sind sogenannte First-Flush-Effekte (höhere Konzentrationen zu Beginn des Ereignisses durch Auswaschungseffekte) für Mischwasserentlastungen beschrieben worden [1]. Da auch in dem hier vorgestellten Monitoringprogramm von den einzelnen Ereignissen zeitlich hoch aufgelöst Proben genommen wurden, können Aussagen über den zeitlichen Verlauf während der Beschickungs- bzw. Eintauphase gemacht werden. Abbildung 3 zeigt die Medianwerte sowie die 25- und 75-Perzentile der Arzneimittelkonzentrationen im

Zu- und Ablauf des Retentionsbodenfilters während der Beschickungsphase.

Im Zulauf zum Retentionsbodenfilter sind für Ibuprofen in den ersten 24 Minuten der ausgewerteten Entlastungsereignisse höhere Konzentrationen zu beobachten als im weiteren Verlauf. Für die ersten zwölf Minuten wurde eine mediane Zulaufkonzentration von $0,91 \mu\text{g L}^{-1}$ ermittelt. Für das darauffolgende Zeitfenster liegt der Medianwert für Ibuprofen noch bei $0,57 \mu\text{g L}^{-1}$. Danach bewegen sich die Medianwerte der Entlastungsereignisse zwischen $0,35$ und $0,50 \mu\text{g L}^{-1}$. Die Streuung der Interquartile pendelt für Ibuprofen im Zulauf zwischen $1,39 \mu\text{g L}^{-1}$ und $0,86 \mu\text{g L}^{-1}$. Im Ablauf des Retentionsbodenfilters war Ibuprofen nur vereinzelt im ersten Messzyklus nachweisbar. Das 75-Perzentil für den ersten Messzyklus befindet sich mit $0,14 \mu\text{g L}^{-1}$ nur knapp oberhalb der Bestimmungsgrenze. Für die folgenden Zeitfenster liegen alle Perzentilwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze.

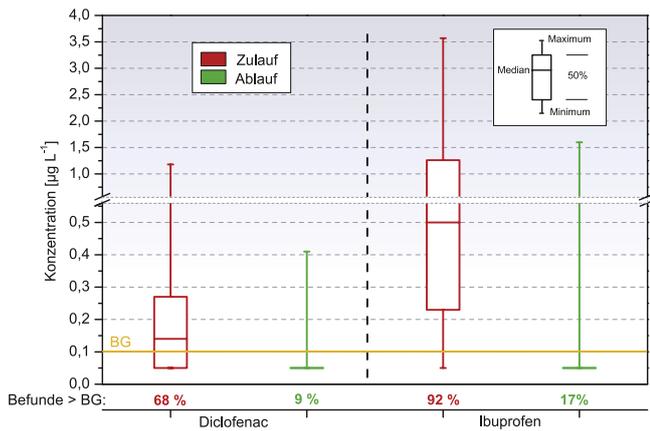


Abb. 2: Diclofenac und Ibuprofen im Zu- und Ablauf Retentionsbodenfilter Altendorf, Juli 2010 bis August 2011, 33 Ereignisse mit 343 Einzelproben, Bestimmungsgrenze (BG) = 0,1 µg L⁻¹, Annahme: Werte < BG gleich 1/2 BG

Während man für Ibuprofen im Zulauf First-Flush-Effekte ausmachen kann, sind für Diclofenac keine erhöhten Anfangskonzentrationen im ersten Spülstoß feststellbar. Im Zulauf zum Retentionsbodenfilter bewegen sich die medianen Konzentrationen für Diclofenac mit 0,1 bis 0,2 µg L⁻¹ in einem deutlich geringeren Niveau als für Ibuprofen. Ebenso sind die Streuungen der Interquartile mit maximal 0,3 µg L⁻¹ weniger ausgeprägt. Im Ablauf liegen alle Perzentilwerte ausnahmslos unterhalb der Bestimmungsgrenze.

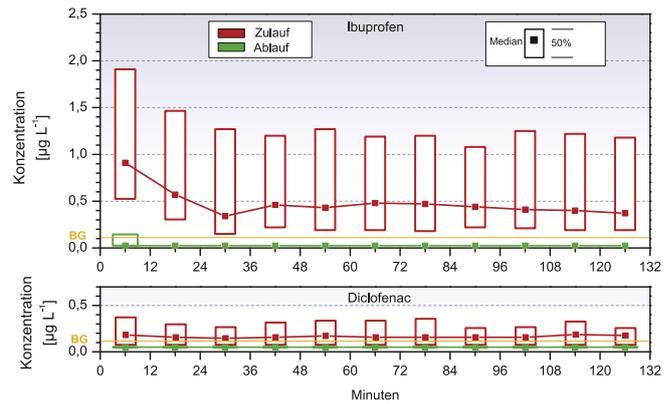


Abb. 3: Diclofenac und Ibuprofen im Zu- und Ablauf Retentionsbodenfilter Altendorf während der Beschickungsphase, Juli 2010 bis August 2011, 33 Ereignisse mit 343 Einzelproben, Bestimmungsgrenze (BG) = 0,1 µg L⁻¹, Annahme: Werte < BG gleich 1/2 BG

Die Ergebnisse zeigen, dass der Retentionsbodenfilter in der Lage ist, die im Zulauf vorhandenen Arzneimittel effektiv und sehr stabil über die gesamte jeweils beobachtete Beschickungsdauer zurückzuhalten.

4.2 Mikroorganismen

Zur Charakterisierung der mikrobiellen Befunde werden exemplarisch die Untersuchungsergebnisse für folgende Parameter

Zuverlässige Abwassertechnik – individuelle Lösungen!



Ob häusliches oder industrielles Abwasser, Drainage- oder Oberflächenwasser, Jung Pumpen bietet individuelle Lösungen für eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Abwasserentsorgung. Vertrauen Sie auf 90 Jahre Erfahrung, kompetente Beratung und ausgereifte Technik „Made in Germany“.

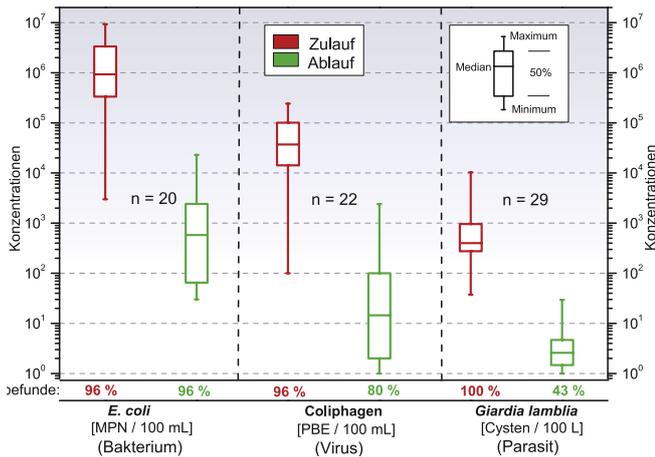


Abb. 4: *E. coli*, Coliphagen und *Giardia lamblia* im Zu- und Ablauf Retentionsbodenfilter Altendorf, Juli 2010 bis August 2011, maximal 29 Ereignisse, Datensätze mit Werten unterhalb oder oberhalb der Bestimmungsgrenzen wurden ausgeschlossen, MPN = Most Probable Number, PBE = Plaque Bildende Einheiten

der Tabelle 2 vorgestellt: *Escherichia coli* (*E. coli*) als Stellvertreter für Bakterien, Coliphagen als Virusindikator sowie die Cysten (Dauerstadien) des Protozoen *Giardia lamblia* stellvertretend für die Parasiten. *E. coli* und Coliphagen stellen Indikatororganismen für eine fäkale Verunreinigung im Wasser dar. Gardien sind parasitäre Durchfallerreger. Somit sind Rückschlüsse auf das Infektionsrisiko durch das entlastete Mischwasser bzw. auf die Senkung des Risikos durch die weitergehende Mischwasserbehandlung im Retentionsbodenfilter möglich.

Abbildung 4 zeigt für die drei Mikroorganismen die Medianwerte, die 25- und 75-Perzentile sowie die Minima und Maxima der festgestellten Konzentrationen aus dem Zu- und Ablauf des Retentionsbodenfilters. Zusätzlich ist der prozentuale Anteil aller Positivbefunde verzeichnet. Beprobungen mit Werten unterhalb der unteren bzw. oberhalb der oberen Bestimmungsgrenze wurden aus der Berechnung ausgeschlossen.

Bei den Proben konnte *E. coli* jeweils in 96 % aller Fälle im Zu- und Ablauf des Retentionsbodenfilters nachgewiesen werden. Coliphagen waren ebenfalls in 96 % der Zulauf- und 80 % der Ablaufproben zu finden. Die Untersuchungen der Gardien ergaben Positivbefunde in allen Zulaufproben, aber nur in 45 % der Ablaufproben des Retentionsbodenfilters. Im Zulauf des Retentionsbodenfilters Altendorf konnten Maximalkonzentrationen von $9,3 \times 10^6$ MPN je 100 mL für *E. coli*, $2,42 \times 10^5$ PBE je 100 mL für Coliphagen und $1,03 \times 10^4$ *Giardia*-Cysten je 100 L nachgewiesen werden. Die ermittelten Medianwerte im Zulauf lagen für *E. coli* bei $9,30 \times 10^5$ MPN je 100 mL, für Coliphagen bei $3,71 \times 10^4$ PBE je 100 mL und 400 *Giardia*-Cysten je 100 L.

Im Ablauf des Retentionsbodenfilters waren die Konzentrationen aller untersuchten Mikroorganismen deutlich reduziert. Maximal erreichten die Konzentrationen noch $2,3 \times 10^4$ MPN je 100 mL für *E. coli*, $2,41 \times 10^3$ PBE je 100 mL für Coliphagen und 30 *Giardia*-Cysten je 100 L (Abbildung 4). Als Medianwerte waren nur noch 580 MPN je 100 mL bei *E. coli*, 15 PBE je 100 mL bei Coliphagen und 3 *Giardia*-Cysten je 100 L nachweisbar. Im Vergleich mit den Untersuchungen der Kläranlagenabläufe im Projektgebiet [2] waren damit die medianen Konzentrationen von *E. coli* und *Giardia*-Cysten im Ablauf des Retentionsbodenfilters sogar eine Logarithmus-Stufe niedriger.

Die Coliphagen-Konzentrationen im Ablauf des Retentionsbodenfilters liegen in der Größenordnung, die in von Abwasser unbeeinflussten Oberläufen mit extensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen gemessen werden [6].

Der Vergleich der Konzentrationen von Zu- und Ablauf verdeutlicht die Reinigungsleistung des Retentionsbodenfilters (Abbildung 4). Für *E. coli* konnte damit eine Reduktionsleistung im Median von 3,1 Logarithmus-Stufen festgestellt werden, was einer Abnahme um 99,9 % entspricht. Die Konzentration der Coliphagen ging durch die Behandlung im Retentionsbodenfilter im Median ebenfalls um 3,1 Logarithmus-Stufen zurück. Die ermittelten Ergebnisse der mikrobiologischen Reinigungsleistung sind damit deutlich besser als die wenigen Vergleichswerte, die zur mikrobiologischen Reinigungseffizienz von Retentionsbodenfiltern in Mischsystemen vorliegen [7, 8]. Unterschiede in der Aufenthaltszeit des Mischwassers im Retentionsbodenfilter, der Beschaffenheit des Filtermaterials sowie der Zusammensetzung der Biozönose sind mögliche Ursachen [9]. Außerdem spielt sicherlich die jeweilige Ausgangsbelastung im Zulauf eine Rolle. Die Zulaufkonzentrationen beim Retentionsbodenfilter in Altendorf bewegen sich im Bereich typisch anzutreffender Ausgangsbelastungen [8, 12].

Im Fall der *Giardia*-Cysten kann aufgrund der häufig gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze im Ablauf des Retentionsbodenfilters nur eine Reinigungseffizienz unter Verwendung der jeweiligen Nachweisgrenzen angegeben werden. Mit dieser Annahme konnte für *Giardia*-Cysten eine Reinigungsleistung im Median von mindestens 2,1 Logarithmus-Stufen festgestellt werden. Dies entspricht einer Reduktion von 99,3 %. Neben dem deutlichen Rückhalt der *Giardia*-Cysten wird die gute Wirksamkeit des Retentionsbodenfilters auch dadurch unterstrichen, dass nur noch in 43 % der Fälle Positivbefunde für *Giardia*-Cysten festgestellt werden. Bedenkt man, dass die Überlebensfähigkeit von Parasitendauerstadien außerhalb des Wirtskörpers wesentlich größer ist als bei Bakterien und Phagen, wären aufgrund der Persistenz höhere Ablaufkonzentrationen für *Giardia*-Cysten zu erwarten. Parasiten wie *Giardia lamblia* können offensichtlich aufgrund ihrer Größe (bis zu neunmal größer als Bakterien [8]) im Filtermaterial sehr effektiv zurückgehalten werden.

Vergleicht man die Reinigungsleistung des untersuchten Retentionsbodenfilters für Mikroorganismen mit den Untersuchungen anderer Abwasserreinigungsanlagen [7, 10], so kann man feststellen, dass die Rückhalteeffizienz im Durchschnitt auf dem Niveau von Kläranlagen mittlerer Ausbaustufe mit mechanisch-biologischer Reinigung liegt. Dies konnte durch den Vergleich mit eigenen Untersuchungen von Kläranlagen in Projektgebiet [2] bestätigt werden. Dabei muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass die Zulaufkonzentrationen beim Retentionsbodenfilter Altendorf im Mittel um eine Logarithmusstufe niedriger waren als bei den Kläranlagenzulaufen, wodurch das Erreichen der gleichen Rückhaltegrade im Retentionsbodenfilter deutlich erschwert wird.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass durch den Betrieb von Retentionsbodenfiltern die Einleitungen von Krankheitserregern in Fließgewässer herrührend aus der Mischwasserkanalisation deutlich reduziert werden können.

5 Entlastung des Fließgewässers

Der Mittelwasserabfluss des Altendorfer Bachs beträgt an der Einleitstelle 26 L s^{-1} . Ohne den Betrieb des nachgeschalteten

Retentionsbodenfilters würde die durchschnittliche Einleitmenge aus der Mischwasserentlastung ca. 100 L s⁻¹ betragen. Damit würde im Entlastungsfall die Einleitung der Mischwasserentlastung im Mittel fast 80 % des Gesamtabflusses des Altendorfer Bachs ausmachen. Die hydraulische Stoßbelastung für das Gewässer wäre allerdings noch weit größer, da Abschlagsmengen aus der Mischwasserentlastung mit bis zu 1000 L s⁻¹ beobachtet wurden. Der Drosselabfluss des Retentionsbodenfilters beträgt in der Regel nur 10,5 L s⁻¹. Die gesamte Abschlagsmenge und die damit verbundenen Stofffrachten werden durch den Betrieb des Retentionsbodenfilters stark gleichmäßig in den Altendorfer Bach eingeleitet.

Ohne den Betrieb des Retentionsbodenfilters würden sich im Entlastungsfall unterhalb der Einleitstelle nach Durchmischung eine mittlere Gewässerkonzentrationen von 0,12 µg L⁻¹ für Diclofenac und 0,40 µg L⁻¹ für Ibuprofen ergeben. Derzeit wird als Umweltqualitätsnorm für Diclofenac in Oberflächengewässern ein Wert von 0,1 µg L⁻¹ diskutiert [11]. Im Ablauf des Retentionsbodenfilters befinden sich die medianen Konzentrationen für Diclofenac und Ibuprofen unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Einleitung aus dem Retentionsbodenfilter keinen Beitrag an möglichen Arzneimittelfunden im aufnehmenden Fließgewässer leistet. Für die untersuchten Mikroorganismen wären ohne den Betrieb des Retentionsbodenfilters im Altendorfer Bach mittlere Konzentrationen von bei 7,4 × 10⁵ MPN je 100 mL für *E. coli*, 2,9 × 10⁴ PBE je 100 mL für Coliphagen und 320 *Giardia*-Cysten je 100 L zu erwarten. Wenn man bedenkt, dass die Aufnahme einer einzigen *Giardia*-Cyste mit einer Infektionswahrscheinlichkeit von 2 % verbunden ist [12], wäre ohne den Retentionsbodenfilter von einem erhöhten Infektionsrisiko im Fall von Niederschlagsereignissen auszugehen. Legt man die in dieser Studie beobachteten Reduktionsleistungen des Retentionsbodenfilters von mehr als 99 % zugrunde, kann durch die Installation von Retentionsbodenfiltern die mikrobielle Belastung von Fließgewässern deutlich reduziert werden. Eine Infektion mit Parasiten im Altendorfer Bach herrührend aus dem Ablauf des Retentionsbodenfilters ist somit sehr unwahrscheinlich.

6 Fazit

Die Einleitungen von Abwasser aus Entlastungen der Mischwasserkanalisationen tragen zu den Belastungen von Fließgewässern mit Spurenstoffen und Mikroorganismen bei. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass der Stoffeintrag von Arzneimitteln und mikrobiologischen Verunreinigungen in die Fließgewässer durch die weitergehende Behandlung des entlasteten Mischwassers in nachgeschalteten Retentionsbodenfiltern deutlich verringert werden. Die das behandelte Mischwasser aufnehmenden Fließgewässer werden durch die weitergehende Mischwasserbehandlung merklich entlastet und das Gesundheitsrisiko bei der Gewässerbenutzung deutlich verringert.

Dank

Die hier vorgestellten Untersuchungen wurden im Rahmen des vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekts „Überprü-

fung und Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der chemisch-physikalischen und hygienisch-mikrobiologischen Belastungen von Fließgewässern am Beispiel der Swist“ durchgeführt. Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung des Projekts.

Literatur

- [1] Christoffels, E.: *Monitoring und Modellanwendung – Entwicklung eines Immissionsinventars am Beispiel der Erft*, Erftverband, Bergheim, 2008
- [2] Kistemann, T., Koch, C., Classen, T., Rechenburg, A., Kramer, F., Herbst, S., Franke, C., Rind, E., Höser, C., Exner, M., Christoffels, E., Krump, R., Willkomm, M., Thormann, D., Hiller, A., Lindner, W.: *Mikrobielle Fließgewässerbelastungen durch abwassertechnische Anlagen und diffuse Einträge*, Düsseldorf, 2009, im Auftrag des Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.), www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/mikro.pdf
- [3] MUNLV NRW (Hrsg.): *Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb*, Düsseldorf, 2003
- [4] Frechen, F.-B.: *Retentionsbodenfilter in Hessen*, gefördert in den Jahren 2002 bis 2007 durch das Hessische Ministerium für Umwelt, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Reihe „Wasser – Abwasser – Umwelt“, Bd. 29, Kassel University Press, 2010
- [5] Dittmer, U.: *Prozesse des Rückhaltes und Umsatzes von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen in Retentionsbodenfilter zur Mischwasserbehandlung*, Dissertation, TU Kaiserslautern, 2006
- [6] Franke, C., Rechenburg, A., Baumanns, S., Willkomm, M., Christoffels, E., Exner, M., Kistemann, T.: The emission potenzial of different land use patterns for the occurrence of coliphages in surface water, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2009, 212, 338–345
- [7] Hiekel, S., Merkel, W., Overath, H.: Bewertung der Einleitung von Kläranlagenabläufen in kleine Fließgewässer nach der EG-Badege-wässer-Richtlinie, *gwf Wasser Abwasser* 2002, 143 (11), 784–790
- [8] Frechen, F. B.: Neue Erkenntnisse zur Mischwasserbehandlung in Retentionsbodenfiltern: Leistungsfähigkeit, Nährstoffe, Hygiene, in: Tagungsband DWA-WasserWirtschafts-Kurs N/1, Kassel, 4.–6. März 2009
- [9] Waldhoff, A.: *Hygienisierung von Mischwasser in Retentionsbodenfiltern (RBF)*, Reihe „Wasser – Abwasser – Umwelt“, Bd. 30, Universität Kassel, 2008
- [10] Carraro, E., Fea, E., Salva, S., Gilli, G.: Impact of a wastewater treatment plant on *Cryptosporidium oocysts* and *Giardia* cysts occurring in a surface water, *Water Science and Technology* 2000, 41 (7), 31–37
- [11] Vorschlag für eine Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik, 31. Januar 2012, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2011/com2011_0876de01.pdf
- [12] Augenthaler, A., Huggenberger, P.: *Pathogene Mikroorganismen im Grund- und Trinkwasser*, Birkhäuser, Basel, 2003

Autoren

Dr. Franz Michael Mertens
 Dr. Ekkehard Christoffels
 Erftverband
 Am Erftverband 6, 50126 Bergheim

Dr. Christiane Schreiber
 Prof. Dr. Thomas Kistemann
 Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit
 der Universität Bonn
 Sigmund-Freud-Straße 25, 53105 Bonn

E-Mail: ekkehard.christoffels@erftverband.de

