

Abschlussbericht TransMIT

Teil B

Strategiekomponente B.I Qualitätsbasierte Trennentwässerung

B 2.14 Retentionsbodenfilter

Autoren:

M. Sc. Sören Hornig, Dr.-Ing. Katrin Bauerfeld
Technische Universität Braunschweig

Dr.-Ing. Aslan Belli
Stadtentwässerung Braunschweig GmbH

Kurzbeschreibung des Einzelkapitels

Zur Ermittlung von Leistungskennzahlen für die Reduktion abwassertechnisch relevanter Parameter und für Biozide durch Retentionsbodenfilter wurden halbtechnische Untersuchungen unter variierenden Randbedingungen, sowie ein orientierendes, validierendes Monitoring an einem großtechnischen Retentionsbodenfilter in Braunschweig durchgeführt. Dabei konnten die grundlegenden Ergebnisse der halbtechnischen Untersuchungen im Allgemeinen in der Praxis bestätigt werden. Das nachfolgende Kapitel stellt die jeweiligen Untersuchungsrandbedingungen sowie die Ergebnisse detailliert zusammen und ordnet sie in den Kontext vergleichbarer Studien ein.

Im Einzelnen lassen sich die folgenden Kernaussagen voranstellen:

- Durch den Einsatz von Retentionsbodenfiltern lässt sich – zunächst unabhängig vom Aufbau und den betrieblichen Randbedingungen betrachtet – eine Reduktion abwassertechnisch relevanter Parameter (Feststoffe, partikulär gebundene Nährstoffe und gelöste Nährstoffe) sowie für Biozide erzielen. Allerdings ist mit einem Anstieg der Nitratablaufkonzentration zu rechnen.
- Retentionsbodenfilter mit konventionellem Sand-Kies-Filteraufbau zeigen mit zunehmender Einstauzeit ansteigende Eliminationsleistungen für Kohlenstoff- und Phosphorverbindungen. Für den Parameter Ammonium erwirkt eine verlängerte Einstauzeit hingegen tendenziell eine Reduktion der Eliminationsleistung. Der Ablauf des konventionellen Filters ist mit Nitrat belastet.
- Eine Melioration des Filterkörpers mit Aktivkohle bewirkt eine verbesserte Eliminationsleistung der betrachteten abwassertechnisch relevanten Parameter, unabhängig von den betrieblichen Randbedingungen. Hier konnten auch keine erhöhten Nitratkonzentrationen im Filterablauf festgestellt werden.
- Retentionsbodenfilter können zur signifikanten Reduktion von Biozidemissionen aus einem Einzugsgebiet beitragen. Ein positiv verstärkender Effekt kann auch hier einem zusätzlichen Einbau von Aktivkohle in der Filterschicht zugeordnet werden. Langzeiteffekte auf die Adsorptionskapazität und die Transformation umweltrelevanter Wirkstoffe müssten aber noch weitergehend untersucht werden.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	v
Abkürzungsverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
2 Aufbau und Funktionsweise von Retentionsbodenfiltern	2
3 Material und Methoden	4
3.1 Aufbau und Funktionsweise der halbtechnischen Versuchsfilteranlage.....	4
3.2 Experimentelle Untersuchungen an der halbtechnischen Versuchsfilteranlage..	7
3.3 Retentionsbodenfilter im Quartier.....	7
3.4 Monitoring am Retentionsbodenfilter im Quartier.....	7
3.5 Verschmutzungsparameter und Analytik.....	8
4 Ergebnisse	9
4.1 Reinigungsleistung der halbtechnischen Versuchsfilteranlage.....	9
4.2 Monitoring am Retentionsbodenfilter im Quartier.....	13
4.3 Einordnung der Ergebnisse an der halbtechnischen Versuchsfilteranlage und dem Retentionsbodenfilter im Quartier.....	14
5 Zusammenfassung	16
6 Literatur	17
Anhang	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung von Bauwerkskomponenten (A) und Filteraufbau (B) einer Retentionsbodenfilteranlage [6].....	2
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Versuchsfilter mit jeweils 6 Probenahmestellen (A) und geschlitzte Drainagerohre für die Probenahme innerhalb des Filterkörpers (B) (eigene Darstellung, ISWW).....	4
Abbildung 3:	Schematische Darstellung des Filteraufbaus der drei Versuchsfilteranlagen mit (A) Sandfilter, (B) GAK-Filter melioriert und (C) GAK-Filter 2 mit GAK-Schicht (eigene Darstellung, ISWW).....	5
Abbildung 4:	Eingesetzte Filtersubstrate (A) Kies 2/8, (B) Sand 0/2, (C) GAK CarboTech CGF 8x30/85, (D) Gemisch Sand 0/2 (60 %) und GAK CarboTech CGF 8x30/85 (40 %) und (E) Splitt 2/5 (eigene Darstellung, ISWW).....	6
Abbildung 5:	Schilfbewuchs auf den Versuchsfilteranlagen zu Beginn des Versuchszeitraums im Mai 2022 (eigene Darstellung, ISWW).....	6
Abbildung 6:	Boxplots der Parameter CSB (A), AFS (A), Phosphor (B), Stickstoff (C), pH (D), Leitfähigkeit (E) und Biozide (F) im Zu- und Ablauf des Retentionsbodenfilters im Quartier, Whisker zeigen 5 % bzw. 95 % perzentil an, Probenanzahl n (eigene Darstellung, ISWW).....	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1:	Zulauf- und Ablaufkonzentrationen sowie Rückhalt der drei halbtechnischen VersuchsfILTER bei Einstauzeiten von 6 h, 30 h und 54 h.....	11
Tabelle 4-2:	Einordnung der ermittelten Reinigungsleistung von halbtechnischer Versuchsanlage und RBF im Quartier in [%].....	15
Tabelle 5-1:	Liste der untersuchten Parameter, Analysemethoden und Bestimmungsgrenzen (BG).....	18

Abkürzungsverzeichnis

AFS	Abfiltrierbare Stoffe
BG	Bestimmungsgrenze
CAS	Chemical Abstracts Service
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DWA-A	Arbeitsblatt der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
DWA-M	Merkblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
GAK	Granulierte Aktivkohle
Gesamt-P	Gesamtphosphor
LF	Leitfähigkeit
NH ₄	Ammonium
NO ₃	Nitrat
PO ₄	Gelöster Anteil an Phosphor
RBF	Retentionsbodenfilter

1 Einleitung

Niederschlagswasserabfluss im Trennsystem kann in Abhängigkeit des Einzugsgebietes hohe Konzentrationen an Nährstoffen, anorganischen und organischen Spurenstoffen enthalten [1–3]. Die auftretende Niederschlagswasserverschmutzung kann dabei über ein Regenereignis durchaus dynamisch auftreten [4]. Dies führt neben einer hydraulischen zu einer stofflichen Belastung des aufnehmenden Gewässers. Resultierend daraus kann eine weitergehende Behandlung von Niederschlagswasser erforderlich sein. Maßnahmen zur Reinigung setzen in der Regel kurz vor der Einleitung in das Gewässer an und reduzieren die Belastung z.B. durch Filtration, Adsorption oder biologisch/chemische Abbauprozesse. Häufig kommen Retentionsbodenfilter (RBF) zur Behandlung von Niederschlagswasser zum Einsatz. RBFs bestehen im Wesentlichen aus einem vertikal durchflossenen, mit Schilf bewachsenen Filtersystem. Als sogenannte Multifunktionsbauwerke dienen RBFs zur Reinigung von Regen- und Mischwasserabflüssen sowie von Abflüssen stark befahrener Straßen [5]. Gleichzeitig speichern sie anfallende Abflüsse zwischen und gleichen somit Abflussspitzen aus. Welchen Beitrag RBF im Rahmen eines nachhaltigen urbanen Wassermanagements leisten können, beispielsweise durch die Aufbereitung und Bereitstellung von Wasser zur Bewirtschaftung blau-grüner Infrastrukturen, ist noch weitestgehend unbekannt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens TransMIT wurden innerhalb des Forschungsschwerpunktes „Niederschlagswasserqualität“ die Reinigungsleistung von Retentionsbodenfilter untersucht. Neben abwassertechnisch relevanten Parametern lag der Fokus auf dem Rückhalt von Bioziden. Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen an einer Versuchsfilteranlage wurde neben dem standardisiertem Filterkörperaufbau zwei weitere Filterkörper mit granulierter Aktivkohle untersucht. Darüber hinaus erfolgte eine stichprobenartige Ermittlung der Reinigungsleistung eines RBFs im Quartier.

2 Aufbau und Funktionsweise von Retentionsbodenfiltern

Der Retentionsbodenfilter als Gesamtbauwerk setzt sich aus Einlauf- und Verteilungsbauwerk, Retentionsraum, bepflanzten Filterkörper, Drainagesystem inklusive Abdichtung, Ablaufbauwerk mit Drosselorgan sowie einem Entlastungsbauwerk zusammen [6]. Abbildung 1 zeigt schematisch die Bauwerkskomponenten und den Filteraufbau einer Retentionsbodenfilteranlage.

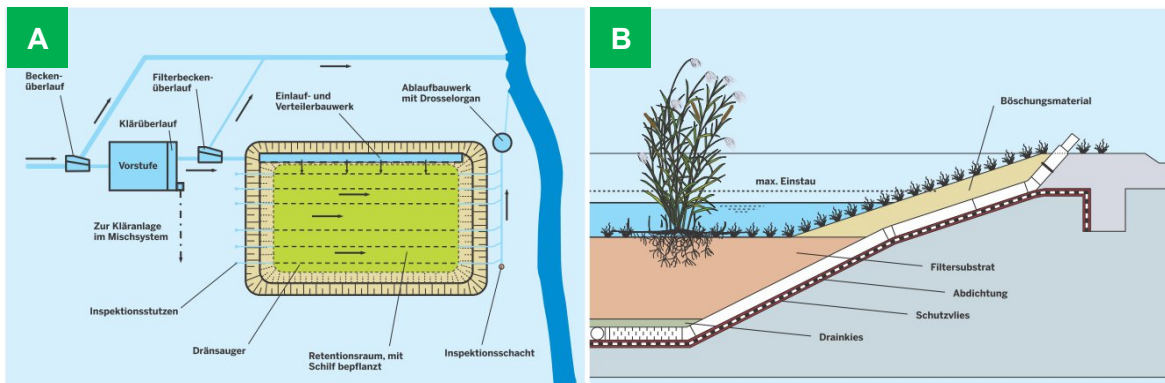


Abbildung 1: Schematische Darstellung von Bauwerkskomponenten (A) und Filteraufbau (B) einer Retentionsbodenfilteranlage [6]

Über das Einlauf- und Verteilungsbauwerk gelangt das Niederschlagswasser auf und in den Filterkörper. Hier findet die eigentliche Reinigung des Wassers statt. Auf dem Filterkörper wird eine mineralische Deckschicht aus kantengerundetem oder gebrochenem Material aufgebracht, die dazu dient die Filteroberfläche vor Kolmation und Erosion zu schützen [6,7]. Filterhöhen variieren zwischen 0,5 m und 1,0 m [6,7]. Üblicherweise werden kantengerundete Sandgemische als Filtersubstrate verwendet. Für spezielle Reinigungsanforderungen werden darüber hinaus Lava, Bims, Basalt, Quarz und Kalkbrechsand eingesetzt [7]. Die Filtervegetation unterdrückt Fremdbewuchs, beugt der Kolmation vor und trägt durch Bewurzelung und den resultierenden Sauerstoffeintrag zur Reinigungsleistung bei. Häufig werden Schilfpflanzen (*Phragmites australis*) zur Bepflanzung eingesetzt [7]. Über das an der Sohle des Filterkörpers horizontal eingebaute Drainagesystem wird das gereinigte Wasser zum Ablaufbauwerk geleitet. Sind die Filter vollkommen leer, findet über die Drainageröhre eine Belüftung des Filters statt. Das regelmäßige Belüften ist besonders wichtig, da bei geringer Sauerstoffversorgung des Filters beispielsweise eine Mangan- und Eisenrücklösung eintreten kann [6]. Im Filterablauf drosselt ein eingebautes Drosselorgan den Filterablauf und damit den Zufluss in das aufnehmende Gewässer.

Der primäre Reinigungsprozess in RBFs ist die mechanische Filtration. Sie dient dazu ungelöste Feststoffe und an diese gebundene Stofffraktionen bereits an der Filteroberfläche zurückzuhalten [8]. Darüber hinaus werden bei Tiefen- bzw. Raumfiltration zusätzlich feine Partikel durch Anhaftung an Poren und Porenkanälen abgetrennt [8]. Neben der mechanischen Filtration können Adsorptionsprozesse zur Reinigung des Niederschlagswasser beitragen. Bei der Adsorption von gelösten Stoffen lagern sich diese an den entsprechenden Filtermaterialien an. Angelagerte Stoffe können dann abgebaut oder fixiert werden. Dadurch werden hauptsächlich organische Kohlenstoffverbindungen, Phosphate und Ammonium aus dem Wasser entfernt [8]. Zusätzlich kommt es zu einer Besiedelung des Filterkörpers mit Mikroorganismen, die eine gewisse biochemische Reinigungsleistung in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit hinsichtlich organischer

Schmutzstoffe und Nährstoffe leisten. Wichtige Voraussetzung dafür ist ein offener Gasaustausch über die Filteroberfläche und das Drainagesystem. Findet keine ausreichende Belüftung des Filterkörpers statt, bilden sich anoxische bzw. anaerobe Randbedingungen im Filterkörper aus. Als wichtige Faktoren beim biochemischen Abbau sind vor allem die Temperatur, der Wasser- und Lufthaushalt, das Filtermaterial, die Porosität und die Betriebsweise zu nennen [8].

Für eine eingehende Darstellung von Planung, Aufbau, Funktions- und Betriebsweise von Retentionsbodenfiltern wird auf folgende Literatur verwiesen:

- MUNLV (2015) – Retentionsbodenfilter: Handbuch für Planung, Bau und Betrieb [6]
- DWA-Regelwerk Arbeitsblatt DWA-A 178 Retentionsbodenfilteranlagen [7]
- DWA-Regelwerk Merkblatt DWA-M 176 Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung [9]

3 Material und Methoden

3.1 Aufbau und Funktionsweise der halbtechnischen Versuchsfilteranlage

Die halbtechnische Versuchsfilteranlage besteht aus insgesamt drei Versuchsfiltern mit einer Höhe von 2,0 m und einem Durchmesser von 1,2 m. Jeder Versuchsfilter verfügt über einen Drucksensor zur Füllstandsermittlung am Filterboden sowie auf Höhe der Filterdeckschicht. Darüber hinaus wurden Sichtrohre zur Füllstandsprüfung seitlich angebracht. Zwischen der Drainageschicht und dem Überstau über dem Filterkörper wurden an allen Versuchsfiltern insgesamt 6 Probenahmestellen im Abstand von 20 cm angebracht. Alle Probenahmestellen, die innerhalb des Filterkörpers liegen, wurden mit Hilfe von geschlitzten Rohren realisiert (vgl. Abbildung 2 B). Die Beschickung der Filter erfolgte aus Vorlagebehältern mit einem Gesamtvolumen von ca. 12 m³. Als Zulauf diente der Ablauf der Kläranlage Steinhof in Braunschweig.

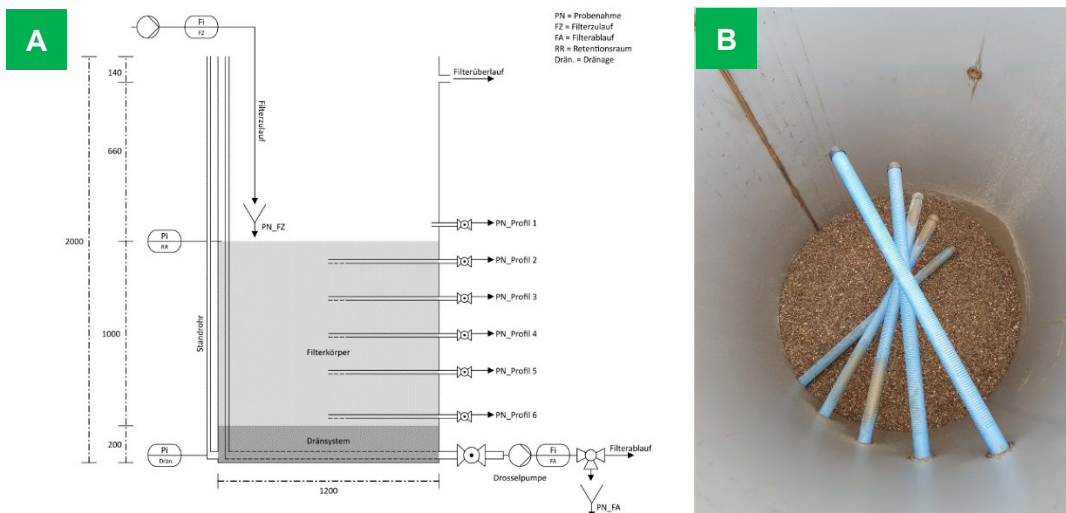


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Versuchsfilter mit jeweils 6 Probenahmestellen (A) und geschlitzte Drainagerohre für die Probenahme innerhalb des Filterkörpers (B) (eigene Darstellung, ISWW)

Filter 1 wurde als konventioneller Retentionsbodenfilter mit einer 1 m hohen Filtersandschicht mit einer Korngröße von 0-2 mm befüllt. Filter 2 und Filter 3 wurden mit einer Schicht granulierter Aktivkohle (GAK) bzw. einem Gemisch aus Sand und GAK befüllt. Als GAK wurde die CGF 8x30/85 Kohle der Firma CarboTech (CarboTech AC GmbH, Essen, Deutschland) ausgewählt. Alle Filter besitzen eine 20 cm hohe Drainageschicht aus Kies (2/8) und eine 5 cm hohe Deckschicht aus Splitt (2/5). Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen den schematischen Aufbau der Filter sowie die eingesetzten Filtersubstrate.

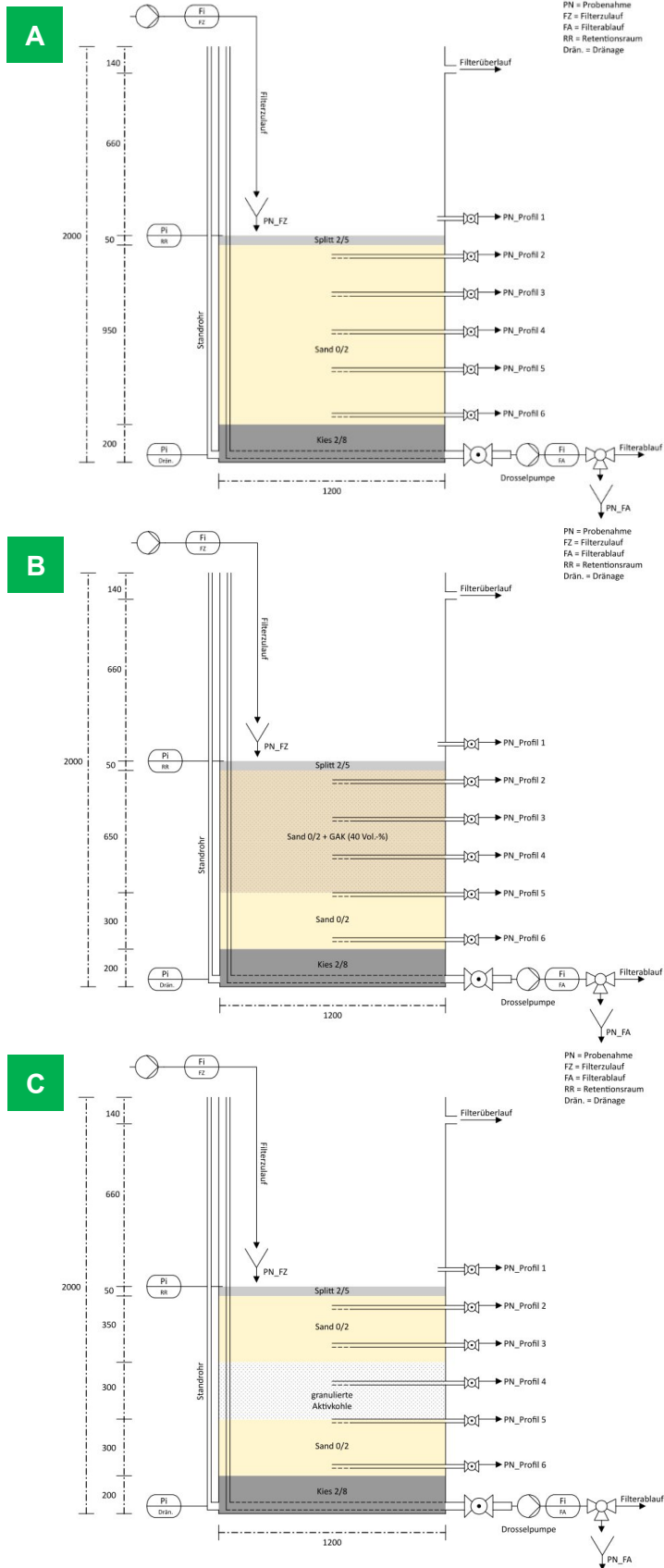


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Filteraufbaus der drei Versuchsfilteranlagen mit (A) Sandfilter, (B) GAK-Filter melioriert und (C) GAK-Filter 2 mit GAK-Schicht (eigene Darstellung, ISWW)

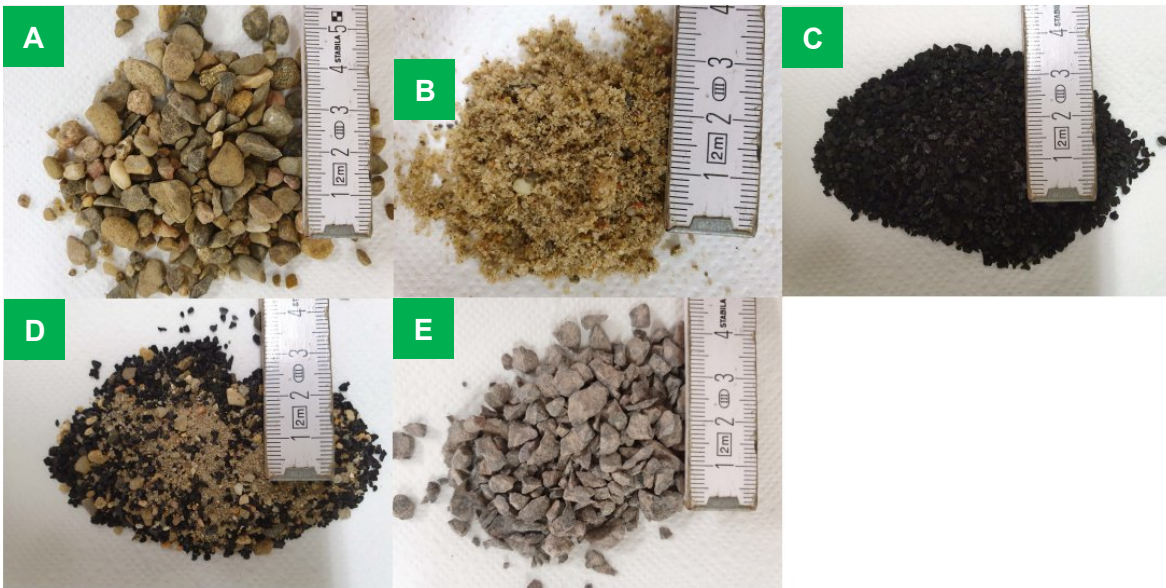


Abbildung 4: Eingesetzte Filtersubstrate (A) Kies 2/8, (B) Sand 0/2, (C) GAK CarboTech CGF 8x30/85, (D) Gemisch Sand 0/2 (60 %) und GAK CarboTech CGF 8x30/85 (40 %) und (E) Splitt 2/5 (eigene Darstellung, ISWW)

Alle drei VersuchsfILTER wurden Anfang Juli 2021 in Anlehnung an technische Empfehlungen zur Bewuchsdichte mit jeweils 9 Schilfpflanzen bepflanzt. In der anschließenden Etablierungsphase wurden alle drei VersuchsfILTER im Überstaubetrieb mit einem Überstau von 10 cm betrieben. Zur Bepflanzung wurde über eine einjährige Vorkultur angezogene Topware verwendet. Mitte Mai 2022 wurde die Etablierungsphase beendet. Abbildung 5 zeigt beispielhaft den Zustand der Schilfpflanzen zu Beginn des Versuchsbetriebs.



Abbildung 5: Schilfbewuchs auf den VersuchsfILTERanlagen zu Beginn des Versuchszeitraums im Mai 2022 (eigene Darstellung, ISWW)

3.2 Experimentelle Untersuchungen an der halbtechnischen Versuchsfilteranlage

Ziel der Untersuchungen an den drei Versuchsfilteranlagen ist die Ermittlung des Rückhalts von abwassertechnisch relevanten Parametern sowie von Bioziden aus Niederschlagsabflüssen. Dafür wurden zunächst Versuche ohne Bepflanzung durchgeführt und im Anschluss der Etablierungsphase für den Bewuchs mit Bepflanzung wiederholt. Die Ermittlung des Biozidrückhalts wurde mit bepflanzten Versuchsfiltern durchgeführt. Für die Bestimmung des Biozidrückhalts wurde Terbutryn (CAS: 886-50-0, Terbutryn PESTANAL[®], analytical standard > 98 %, Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Schnelldorf, Deutschland) als Leitparameter ausgewählt. Für alle Versuche wurde der Ablauf der Kläranlage Steinhof in Braunschweig als beispielhaftes Niederschlagswasser genutzt. Für die Bestimmung des Biozidrückhalts wurde dieser zusätzlich mit Terbutryn angereichert. Insgesamt wurden mit und ohne Bewuchs je drei Versuchsreihen mit verschiedenen Einstauzeiten (6 h, 30 h, 54 h) untersucht. Nach Ablauf der Einstauzeit wurden die Versuchsfilter mit einem Drosselabfluss von ca. $0,03 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ entleert. Aus jedem Filterablauf wurden insgesamt 5 Proben im Abstand von ca. 1 h genommen aus denen eine volumenproportionale Mischprobe als Ablaufprobe erstellt wurde. Eine Übersicht über untersuchte Parameter und verwendete Analysemethoden ist in Tabelle 5-1 im Anhang zu finden.

Die Versuchsfilteranlage wurde über ein entsprechendes Leitsystem programmiert und betrieben. Relevante Daten (Zulauf, Ablauf, Einstauhöhe) wurden regelmäßig aufgezeichnet.

3.3 Retentionsbodenfilter im Quartier

Der Retentionsbodenfilter im Quartier wird im Abschlussbericht Teil A.II Kapitel 4.3.1 eingehend beschrieben.

3.4 Monitoring am Retentionsbodenfilter im Quartier

Im Zeitraum von Mai 2022 bis August 2022 wurde am Retentionsbodenfilter im Quartier der Zu- und Ablauf auf abwassertechnisch relevante Parameter und Biozide untersucht. Im Zu- und Ablauf des Retentionsbodenfilters wurden mit Hilfe von automatischen Probennehmern zeitproportionale NW-Proben entnommen. Dabei wurde im Zulauf der Probennehmer Liquiport 2000 (Endress+Hauser AG, Reinach, Schweiz) und im Ablauf der Probennehmer Basic Ex 1 mobil (ORI Abwassertechnik GmbH Co. KG, Hille, Deutschland), sowie jeweils ein Geschwindigkeits- und Drucksensor POA Correlation Wedge Sensor (Nivus GmbH, Eppingen, Deutschland) und NivuFlow Mobile 750 Durchflussmessumformer (Nivus GmbH, Eppingen, Deutschland) genutzt. Der Probenahmeschlauch wurde auf einer Höhe von 5 cm über Kanalhöhe befestigt. Die ereignisgesteuerte zeitproportionale Probenahme wurde mit 12 bzw. 24 Glas- und Kunststoffflaschen mit einem maximalen Volumen von 0,5 l bzw. 1,0 l durchgeführt. Um die Verschmutzungsdynamik innerhalb der beprobten Regenereignisse bestimmen zu können, wurden die ersten 4 Flaschen im Abstand von 5 Minuten, die Flaschen 5 – 8 im Abstand von 10 Minuten und die Flaschen 9 – 12 im Abstand von 18 Minuten genommen.

3.5 Verschmutzungsparameter und Analytik

Genommene Proben aus der halbtechnischen Versuchsfiteranlage bzw. dem Zu- und Ablauf des RBF im Quartier wurden innerhalb von 48 h nach dem Ereignis bzw. nach der Probenahme abgeholt und analysiert. Eine Lagerung im Labor erfolgte bis zur Analytik bei 4°C. Genommene Proben wurden hinsichtlich der abwassertechnisch relevanten Parameter chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Feststoffe (AFS), Gesamt-Phosphor (Gesamt-P), ortho-Phosphat (PO₄-P), Nitrat (NO₃), Ammonium (NH₄), pH und Leitfähigkeit (LF) untersucht. Darüber hinaus wurde für ausgewählte Proben ein Biozid-Screening durchgeführt. Dabei wurden die Wirkstoff Carbendazim (CAS 10605-21-7), Diuron (CAS 330-54-1), Diuron-desmethyl (CAS 3567-62-2), Terbutryn (CAS 886-50-0), Terbutryndesethyl (CAS 30125-65-6), Terbutry-2-hydroxy (CAS 66753-07-9) berücksichtigt. Eine Übersicht über angewendete analytische Methoden ist in Tabelle 5-1 im Anhang dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Reinigungsleistung der halbtechnischen Versuchsfiteranlage

Tabelle 4-1 fasst die Ergebnisse der Intensivmesskampagnen ohne und mit Bewuchs zum Rückhalt der untersuchten Parameter an der halbtechnischen Versuchsfiteranlage zusammen.

Aus Tabelle 4-1 wird deutlich, dass der Rückhalt an CSB mit zunehmender Einstauzeit im Sandfilter ohne Bewuchs signifikant abnimmt während in den beiden Aktivkohlefilter der Rückhalt nur leicht abnimmt. Im Rahmen dieser Versuche konnte für den konventionellen Sandfilter mit Bewuchs der CSB Rückhalt von etwa 30 % auf knapp 76 % gesteigert werden. Die beiden Aktivkohlefilter (Filter 2 und Filter 3) erreichten mit Bewuchs bereits bei einer kurzen Einstauzeit von 6 h einen CSB-Rückhalt von über 83 %. Dieser Rückhalt konnte mit zunehmender Einstauzeit auf maximal 92 % gesteigert werden. Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Rückhalt des gelösten CSBs. Der Rückhalt des CSB_f konnte im konventionellen Sandfilter mit zunehmender Einstauzeit von etwa 29 % auf 47 % gesteigert werden. Für die beiden Aktivkohlefilter wurde bereits bei einer kurzen Einstauzeit von 6 h ein Rückhalt von über 81 % erzielt werden, der mit Zunahme der Einstauzeit nicht signifikant ansteigt.

Für den Rückhalt an Gesamt-P konnte bei allen drei Versuchsfiteranlagen ohne Bewuchs der Rückhalt durch eine Verlängerung der Einstauzeit gesteigert werden. Ohne Bewuchs liegt der maximale Rückhalt für Gesamt-P zwischen 23 % und 72 %. Unabhängig von der Einstauzeit konnte für die bepflanzen Versuchsfiter ein Rückhalt von mehr als 88 % erzielt werden. Der Rückhalt an gelösten PO_4 -P konnte bei Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze im Ablauf der Filter nicht quantifiziert werden. Darüber hinaus nimmt die Ablaufkonzentration an gelöstem Phosphor zu keinem Probenahmezeitpunkt eine bestimmbar Größenordnung an, was darauf schließen lässt, dass es zu keiner Zeit zu einer signifikanten Rücklösung von Phosphor gekommen ist.

Für den Parameter NO_3 -N wurde im Ablauf des konventionellen Sandfilters (Filter 1) unabhängig von der Einstauzeit eine höhere Ablaufkonzentration im Vergleich zum Zulauf ermittelt. Einzige Ausnahme bildet dabei der Versuch bei einer Einstauzeit von 6 h ohne Bewuchs. Dies ist ein eindeutiges Indiz dafür, dass ein Nitratrückhalt in einem konventionellen Retentionsbodenfilter nicht möglich ist und es darüber hinaus zu einer signifikanten Anreicherung an Nitrat, z.B. durch Nitrifikation während der Einstauphase, kommt. Im Gegensatz dazu erreichten die beiden Aktivkohlefilter ohne Bewuchs bei einer Einstauzeit von 30 h einen NO_3 -N Rückhalt von etwa 64 %, der mit weiterer Zunahme der Einstauzeit und der Bepflanzung signifikant auf bis zu 92 % ansteigt. Dieser Nitrat-Rückhalt ist überwiegend auf die Adsorptionsfähigkeit der GAK zurückzuführen.

Für den Parameter Ammonium wurde in allen drei Filtern ohne Bewuchs unabhängig von der Einstauzeit ein Rückhalt von > 90 % ermittelt. Für die bepflanzen Versuchsfiter wurde bei Einstauzeiten bis 30 h ein Rückhalt von über 90 % bestimmt. Dieser nimmt mit einer weiteren Steigerung der Einstauzeit auf 54 h signifikant ab. Bei dieser langen Einstauzeit liegt der Ammonium-Rückhalt lediglich bei etwa 50 %, im Extremfall bei etwa 10 %.

Die Zulaufkonzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen lag zwischen 25 mg/l und 48 mg/l. Bei keinem Filter konnten abfiltrierbare Stoffe im Ablauf messbar erfasst werden.

Bei allen Filtern nimmt ist der pH-Wert im Ablauf geringer als im Zulauf. Dieser Effekt nimmt mit zunehmender Einstauzeit weiter zu. Bei einer Einstauzeit von 56 h wurde eine maximale pH-Wert Absenkung um 2-pH-Stufen ermittelt.

Die Leitfähigkeit hat sich im Rahmen dieser Versuche bei keinem Filter signifikant verändert.

Der Rückhalt der Biozid-Leitsubstanz Terbutryn liegt beim konventionellen Sandfilter durchweg über 83 %. Für das Transformationsprodukt Terbutryn-2-hydroxy wurden im Ablauf des Sandfilters Konzentrationen im Bereich der Zulaufkonzentration ermittelt. Ein signifikanter Abbau konnte demnach nicht ermittelt werden. Denkbar ist, dass Terbutryn an Feststoffpartikeln adsorbiert und durch Filtration zurückgehalten wird. Bei einem längeren Betrieb und damit einer längeren Aufenthaltszeit im Filter ist dann auch ein Abbau nicht ausgeschlossen. Für die beiden Aktivkohlefilter konnte im Ablauf weder Terbutryn noch Terbutryn-2-hydroxy nachgewiesen werden. Folglich liegt bei entsprechendem Filteraufbau ein noch höherer Rückhalt vor.

Tabelle 4-1: Zulauf- und Ablaufkonzentrationen sowie Rückhalt der drei halbtechnischen VersuchsfILTER bei Einstauzeiten von 6 h, 30 h und 54 h

Einstau/ Bepflanzung	Probe	CSB [mg/l]	CSB _f [mg/l]	Gesamt-P [mg/l]	PO ₄ -P [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	AFS [mg/l]	pH [-]	LF [μS/cm]	Terbutryn [μg/l]	Terbutryn-2-hydroxy [μg/l]
6 h Einstau, ohne Bepflanzung	Zulauf	66,90	-	0,386	-	3,658	3,706	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 1	26,87	-	0,295	-	0,504	0,204	-	-	-	-	-
	η [%]	59,84	-	23,52	-	86,22	94,50	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 2	<5	-	0,292	-	0,090	0,142	-	-	-	-	-
	η [%]	92,53	-	24,28	-	97,53	96,18	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 3	6,18	-	0,250	-	0,094	0,151	-	-	-	-	-
	η [%]	90,76	-	35,36	-	97,42	95,93	-	-	-	-	-
30 h Einstau, Ohne Bepflanzung	Zulauf	31,00	-	0,201	-	0,638	2,295	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 1	23,33	-	0,131	-	-	0,198	-	-	-	-	-
	η [%]	24,73	-	34,99	-	-	91,39	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 2	6,58	-	0,069	-	0,228	0,232	-	-	-	-	-
	η [%]	78,77	-	65,51	-	64,28	89,88	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 3	5,48	-	0,103	-	0,221	0,099	-	-	-	-	-
	η [%]	82,31	-	48,76	-	65,27	95,67	-	-	-	-	-
54 h Einstau, ohne Bepflanzung	Zulauf	32,90	-	0,447	-	3,004	2,456	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 1	19,90	-	0,176	-	6,166	0,158	-	-	-	-	-
	η [%]	39,51	-	60,55	-	-105,27	93,58	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 2	<5	-	0,121	-	0,141	0,184	-	-	-	-	-

	η [%]	84,80	-	72,93	-	95,31	92,49	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 3	5,02	-	0,138	-	0,235	0,168	-	-	-	-	-
	η [%]	84,73	-	69,05	-	92,19	93,15	-	-	-	-	-

Fortsetzung Tabelle 4-1: Zulauf- und Ablaufkonzentrationen sowie Rückhalt der drei halbertechnischen VersuchsfILTER bei Einstauzeiten von 6 h, 30 h und 54 h

Einstau	Probe	CSB [mg/l]	CSB _f [mg/l]	Gesamt-P [mg/l]	PO ₄ -P [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	AFS [mg/l]	pH [-]	LF [μS/cm]	Terbutryn [μg/l]	Terbutryn-2-hydroxy [μg/l]
6 h Einstau, mit Bepflanzung	Zulauf	41,80	31,60	0,887	<BG	0,199	2,960	27,15	7,68	1102	0,743	0,055
	Ablauf Filter 1	29,11	28,99	0,099	<BG	0,280	0,086	<BG	7,35	1093	0,085	0,050
	η [%]	30,35	8,25	88,81	-	-41,12	97,09	-	-	-	88,56	9,09
	Ablauf Filter 2	6,92	5,89	0,077	<BG	0,089	0,067	<BG	7,13	1058	<BG	<BG
	η [%]	83,45	81,36	91,36	-	54,98	97,74	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 3	5,60	5,06	0,082	<BG	0,023	0,125	<BG	7,17	1038	<BG	<BG
	η [%]	86,60	83,99	90,75	-	88,43	95,78	-	-	-	-	-
30 h Einstau, mit Bepflanzung	Zulauf	56,30	31,50	0,834	<BG	0,429	1,130	48,10	7,79	1098	0,860	-
	Ablauf Filter 1	17,84	16,68	0,095	<BG	1,877	0,090	<BG	7,41	1138	0,110	0,057
	η [%]	68,32	47,06	88,60	-	-337,46	92,05	-	-	-	87,21	-
	Ablauf Filter 2	5,21	5,05	0,054	<BG	0,031	0,089	<BG	7,02	1114	<BG	<BG
	η [%]	90,74	83,98	93,53	-	92,66	92,13	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 3	5,49	5,00	0,068	<BG	0,023	0,091	<BG	7,25	1083	<BG	<BG
	η [%]	90,25	84,13	91,81	-	94,64	91,93	-	-	-	-	-

54 h Einstau, mit Bepflanzung	Zulauf	69,10	30,80	0,821	<BG	0,359	0,290	25,57	8,70	1080	0,911	0,058
	Ablauf Filter 1	16,54	16,24	0,076	<BG	0,426	0,137	<BG	7,14	1082	0,148	0,065
	η [%]	76,06	47,26	90,76	-	-18,61	52,81	-	-	-	83,75	-12,07
	Ablauf Filter 2	5,01	5,00	0,054	<BG	0,023	0,264	<BG	6,84	1079	<BG	<BG
	η [%]	92,75	83,77	93,48	-	93,59	9,13	-	-	-	-	-
	Ablauf Filter 3	5,11	5,64	0,082	<BG	0,023	0,112	<BG	7,00	1072	<BG	<BG
	η [%]	92,60	81,68	90,03	-	93,59	61,40	-	-	-	-	-

4.2 Monitoring am Retentionsbodenfilter im Quartier

Die Konzentrationen der untersuchten abwassertechnisch relevanten Parameter chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Feststoffe (AFS), Gesamt-Phosphor (Gesamt-P), ortho-Phosphat ($\text{PO}_4\text{-P}$), Nitrat (NO_3), Ammonium (NH_4), pH und Leitfähigkeit (LF) sowie detektierten Bioziden im Zu- und Ablauf des RBFs im Quartier sind in Abbildung 6 A-F dargestellt.

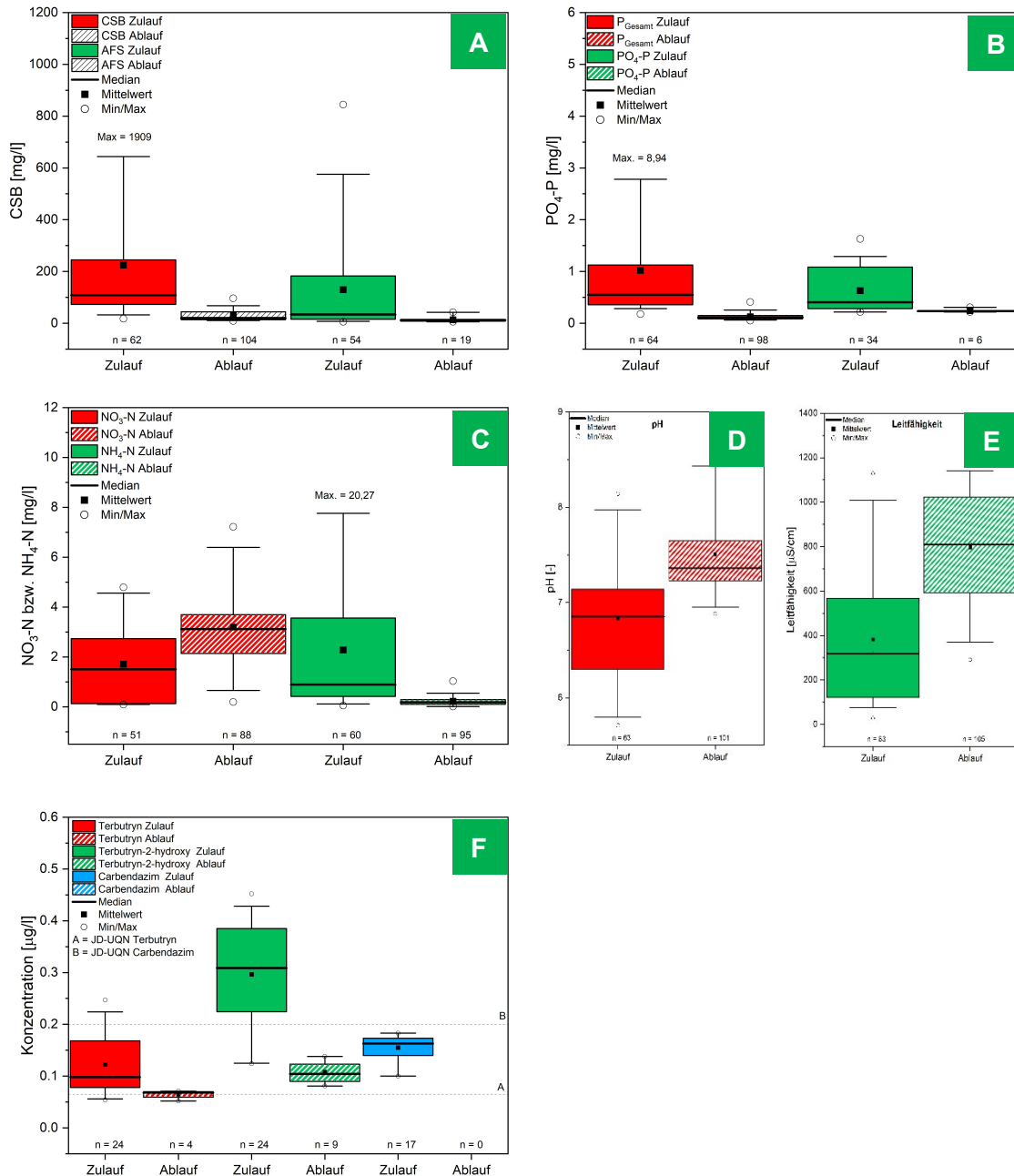


Abbildung 6: Boxplots der Parameter CSB (A), AFS (A), Phosphor (B), Stickstoff (C), pH (D), Leitfähigkeit (E) und Biozide (F) im Zu- und Ablauf des Retentionsbodenfilters im Quartier, Whisker zeigen 5 % bzw. 95 % perzentil an, Probenanzahl n (eigene Darstellung, ISWW)

Für den CSB wurden im Mittel Zulaufkonzentrationen von 224 mg/l bestimmt (vgl. Abbildung 6 A). Die maximale CSB-Ablaufkonzentration beträgt 96 mg/l. Im Mittel

konnten 86 % des CSBs zurückgehalten werden. Feststoffkonzentrationen liegen im Zulauf im Mittel bei 130 mg/l. Mit einem Rückhalt in der Größenordnung von 90 % liegen Feststoffkonzentrationen im Ablauf im Mittel bei 14 mg/l. Gesamt-Phosphorkonzentrationen konnten im Mittel auf 0,13 mg/l reduziert werden. Mit durchschnittlich 1 mg/l Gesamt-Phosphor im Zulauf beträgt der Rückhalt 87 %. Gelöster Phosphor wird im Bereich von 60 % zurückgehalten (vgl. Abbildung 6 B). Während Ammonium-Stickstoff bis zu 90 % zurückgehalten wird, steigt die Nitratkonzentration im Ablauf des RBFs um etwa 87 % an. Ein ähnliches Verhalten der Nitratkonzentration im Ablauf wurde bei den Versuchsanlagen (vgl. Kapitel 4.1) bestimmt. Im Mittel beträgt die Nitratkonzentration im Ablauf 3,2 mg/l (vgl. Abbildung 6 C). Sowohl der pH-Wert als auch die Leitfähigkeit sind im Ablauf höher als im Zulauf (vgl. Abbildung 6 D und E). Alle detektierten Biozide nehmen im Verlauf der Behandlung des Niederschlagswassers mit dem RBF ab. Während Terbutryn um etwa 46 % und Terbutryn-2-hydroxy um etwa 63 % zurückgehalten werden, konnte im Ablauf in keiner Probe Carbendazim nachgewiesen werden (vgl. Abbildung 6 F).

4.3 Einordnung der Ergebnisse an der halbtechnischen Versuchsanlage und dem Retentionsbodenfilter im Quartier

Für den Betrieb der halbtechnischen Versuchsanlage lässt sich zusammenfassen, dass die Konzentrationen der meisten untersuchten abwassertechnisch relevanten Parameter zwischen 23 % und 97 % reduziert werden konnten. Einzige Ausnahme ist dabei Nitrat im konventionellen Sandfilter, bei dem es zu einer signifikanten Erhöhung der Ablaufkonzentrationen kam. Darüber hinaus konnte in der Regel der Rückhalt mit Zunahme der Einstauzeit gesteigert werden. Dieses Phänomen ist besonders beim konventionellen Sandfilter aufgetreten. Für den RBF im Quartier konnten die untersuchten Parameter in der Größenordnung zwischen 46 % und 90 % zurückgehalten werden. Zusätzlich wurde wie bereits in den Untersuchungen an der halbtechnischen Versuchsanlage eine signifikante Erhöhung von Nitrat ermittelt werden.

Der ermittelte Rückhalt für die untersuchten Parameter liegt überwiegend im Bereich bereits bekannter Eliminationen (vgl. Tabelle 4-2). Wesentliche Unterschiede bestehen bei großtechnisch umgesetzten RBFs bei den Parametern Phosphor und Terbutryn. Der derzeit noch hohe Rückhalt an Phosphor innerhalb der im Rahmen von TransMiT untersuchten RBF könnte sich auf die vergleichsweise kurze Betriebsdauer zurückführen lassen. Bei einem weiteren Betrieb, vor allem des RBFs im Quartier, ist davon auszugehen, dass sich Ablaufkonzentrationen an Phosphor tendenziell erhöhen. Inwieweit sich der Rückhalt an Terbutryn beispielsweise durch eine Optimierung der Einstauzeit oder die Etablierung eines Biofilms im Filterkörper weiter steigern lässt, ist ebenfalls noch nicht abschließend ermittelt.

Tabelle 4-2: Einordnung der ermittelten Reinigungsleistung von halbtechnischer Versuchsanlage und RBF im Quartier in [%]

Parameter	TransMiT VersuchsfILTER *	TransMit RBF *	Pinnekamp 2013 [10] **	MUNLV 2015 [6] ***	Riechel 2019 [11] ****
CSB	92	86	80	-	86
AFS	-	90	> 90	< 5	> 99
Gesamt-P	93	87	21	0,3	95
PO ₄ -P	-	61	15	-	-
NO ₃ -N	97	-87	-	-	-
NH ₄ -N	97	90	88	< 0,1	-
TN	-	-	-	-	47
Terbutryn	> 80	46	-	-	78
Terbutryn-2-hydroxy	-	63	-	-	-

- * Filterlaufzeit < 2 Jahre, max. Rückhalt
- ** Filterlaufzeit > 2 Jahre
- *** erzielbare Ablaufkonzentrationen [mg/l]
- **** Frachtrückhalt

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass der ermittelte Rückhalt für alle Parameter an einer VersuchsfILTERanlage bzw. einem RBF bestimmt wurde, die lediglich für eine Etablierungsphase des Pflanzenbewuchses sowie einen wenige Monate langen Versuchsbetrieb genutzt wurde. Der ermittelte Rückhalt wird überwiegend auf die Filtration, den Abbau organischer Substanzen und die chemisch-physikalische Adsorption an Filtermaterialien zurückzuführen sein. Es ist nicht auszuschließen, dass Adsorptionskapazitäten der Filtermaterialien mit zunehmender Betriebsdauer erschöpfen und damit Ablaufkonzentrationen ansteigen. Ein Langzeitverhalten der Filter konnte innerhalb der Projektlaufzeit nicht untersucht werden.

5 Zusammenfassung

Retentionsbodenfilter als vertikal durchflossene, mit Schilf bewachsene Filtersysteme dienen als Multibarrieresystem zur Retention und Reinigung von Niederschlagswasser- und Mischwasserabflüssen aus Siedlungsgebieten oder für die Behandlung des Ablaufs stark befahrener Straßen. Im Rahmen des TransMit Projektes wurden innerhalb des Forschungsschwerpunktes „Niederschlagswasserqualität“ orientierende Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit eines großtechnischen Retentionsbodenfilter in einem Quartier Braunschweigs im Frühjahr/Sommer 2022 durchgeführt. Zudem wurden in begleitenden Detailuntersuchungen im halbtechnischen Maßstab vergleichende Kennzahlen zur Reinigungsleistung unter verschiedenen betrieblichen Randbedingungen und bei unterschiedlichem Aufbau des Filterkörpers durchgeführt. Hierzu konnten unbewachsene und bewachsene Filterkörper in zwei Vegetationsperioden (2021 und 2022) jeweils über mehrere Monate mit Klarwasser einer kommunalen Kläranlage betrieben werden. Ein Fokus der Untersuchungen lag neben der Betrachtung abwassertechnisch relevanter Parameter auf der Elimination von (dotierten) Bioziden.

Die Ergebnisse der Detailuntersuchungen mit der halbtechnischen Anlage zeigen eine hohe Eliminationsleistung für Kohlenstoff- und Phosphorverbindungen, wobei eine Erhöhung der Einstauzeit im Allgemeinen einen Anstieg der Eliminationsleistung bewirkte. Auch die Bepflanzung mit Schilf sowie eine Melioration des Filterkörpers mit Aktivkohle lässt die Leistungsfähigkeit der Nährstoffelimination deutlich ansteigen. Für Stickstoffverbindungen zeigt sich dieses Bild nicht so eindeutig. So wurden für den Parameter Ammonium bei langen Einstauzeiten stark reduzierte Eliminationsraten ermittelt. Erhöhte Nitratkonzentrationen ließen sich zudem im Ablauf des konventionell aufgebauten Filters feststellen, unabhängig von den betrieblichen Randbedingungen. Dieser Befund lässt auf oxidierende Verhältnisse im Sandfilterkörper schließen. In den Filterkörpern mit Aktivkohle fand hingegen eine Adsorption des Nitrats statt, so dass hier mit zunehmender Einstauzeit und positivem Effekt durch die Bepflanzung ebenfalls hohe Eliminationsraten erzielt wurden. Die hohe Leistungsfähigkeit der Aktivkohle-meliorierten Filter zeigte sich auch für das in einer Untersuchungsphase gezielt dotierte Biozid Terbutryn, dass in keinem Ablauf dieser Filter, unabhängig von den betrieblichen Randbedingungen, nachgewiesen wurde. Im Sandfilter hingegen wurde ein Transformationsprodukt im Bereich der Zulaufkonzentration an Terbutryn detektiert.

Nach Etablierung des Schilfbestandes wurden am Retentionsbodenfilter im Quartier orientierende Untersuchungen zur Stoffelimination durch ereignisgesteuerte Probennahme durchgeführt. Grundsätzlich zeigte sich in der großtechnischen Skala ein ähnliches Verhalten wie bei den halbtechnischen Untersuchungen, wobei anzumerken ist, dass im Zulauf des Retentionsbodenfilters aufgrund von unregelmäßigen Fremdwassereinträgen zeitweilig vergleichsweise hohe Nährstoffkonzentrationen nachgewiesen wurden. Auch spiegelt sich der Befund der halbtechnischen Untersuchungen bzgl. eines Anstiegs des Nitratgehaltes im Ablauf, der vermutlich auf oxidierende Prozesse im Filterkörper rückzuführen ist. Auch für den großtechnischen Filter wurden orientierend Biozideliminationsleistungen ermittelt. Hier wurde ein erweitertes Wirkungsspektrum erfasst und es zeigte sich für alle untersuchten Wirkstoffe aber auch Transformationsprodukte eine deutliche Reduktion (z.T. bis unter die Bestimmungsgrenze) im Ablauf des Filters. Im Vergleich zu Untersuchungen anderer Autoren liegen die Eliminationsraten des großtechnischen aber auch der halbtechnischen Filtereinheiten durchaus im vergleichbaren Bereich. Lediglich für längerfristig etablierte Retentionsbodenfilter lässt sich eine verringerte

Phosphorretention, vereinzelt auch für Biozide anzeigen. Hier wären am Retentionsbodenfilter im Quartier Braunschweig weitergehende Untersuchungen notwendig um kausale Zusammenhänge für eine mögliche Entwicklung der Ablaufkonzentrationen abzuleiten.

6 Literatur

- [1] J. B. Ellis and G. Mitchell, "Urban diffuse pollution: key data information approaches for the Water Framework Directive," *Water and Environment Journal*, vol. 20, no. 1, pp. 19–26, 2006.
- [2] S. Zgheib, R. Moilleron, and G. Chebbo, "Priority pollutants in urban stormwater: part 1 - case of separate storm sewers," *Water research*, vol. 46, no. 20, pp. 6683–6692, 2012.
- [3] D. Wicke, A. Matzinger, H. Sonnenberg et al., "Micropollutants in Urban Stormwater Runoff of Different Land Uses," *Water*, vol. 13, no. 9, p. 1312, 2021.
- [4] S. Hornig, K. Bauerfeld, and M. Beier, "Dynamization of Urban Runoff Pollution and Quantity," *Water*, vol. 14, no. 3, p. 418, 2022.
- [5] P. G. Brunner, "Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem," 2002, file:///C:/Users/S.%20Hornig/Downloads/74982-Bodenfilter_zur_Regenwasserbehandlung_im_Misch-_und_Trennsystem.pdf.
- [6] MUNLV, "Retentionsbodenfilter: Handbuch für Planung, Bau und Betrieb," 2015, https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/retentionbodenfilter_handbuch.pdf.
- [7] DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall and Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, *DWA-A 178 Retentionsbodenfilteranlagen*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall, Hennef, 2019.
- [8] U. Kasting, *Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen*, Univ. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Kaiserslautern, 2003.
- [9] DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, *DWA-M 176 Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung*, DWA, Hennef, 2013.
- [10] J. Pinnekamp, "Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Betriebsoptimierung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem," 2013.
- [11] M. Riechel, R. L. Schubert, A. Matzinger et al., *Einsatz von Retentionsbodenfilter zur Reinigung belasteter Regenabflüsse*, 2019.

Anhang

Tabelle 5-1: Liste der untersuchten Parameter, Analysemethoden und Bestimmungsgrenzen (BG)

Parameter	Methode	Einheit	BG
CSB	ISO 6060-1989, DIN 38409-H41-H44 Küvettest (LCK Serie, Hach Lange GmbH, Deutschland), Spektralphotometer (Hach Lange GmbH, Deutschland)	mg/l	5
AFS	DIN EN 872 Nitrocellulose Membran Filter, Porengröße 0,45 µm Filter (GVS Filter Technology, USA)	mg/l	
Gesamt-P	ISO 6878_2004, DIN EN 6878/D11 Küvettest (LCK Serie, Hach Lange GmbH, Deutschland), Spektralphotometer (Hach Lange GmbH, Deutschland)	mg/l	0,05
PO ₄ -P	DIN EN ISO 10304-1 930 Compact IC Flex (Deutsche Metrohm GmbH & Co.KG, Deutschland), Säule Metrosep A Supp 7 250/4.0 (Deutsche Metrohm GmbH & Co.KG, Deutschland), 850 Professional IC Detektor (Deutsche Metrohm GmbH & Co.KG, Deutschland), Eluent 3,6 mmol/l Na ₂ CO ₃ (Na ₂ CO ₃ * H ₂ O >99,5 %,p.a., ACS, Carl Roth, Deutschland)	mg/l	
NO ₃	DIN EN ISO 10304-1 930 Compact IC Flex (Deutsche Metrohm GmbH & Co.KG, Deutschland), Säule Metrosep A Supp 7 250/4.0 (Deutsche Metrohm GmbH & Co.KG, Deutschland), 850 Professional IC Detektor (Deutsche Metrohm GmbH & Co.KG, Deutschland), Eluent 3,6 mmol/l Na ₂ CO ₃ (Na ₂ CO ₃ * H ₂ O >99,5 %,p.a., ACS, Carl Roth, Deutschland)	mg/l	
NH ₄	DIN EN ISO 6778:1984 Gassensitive Elektrode NH 500/2 (Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG, Deutschland), pH/ISE (inoLab® pH/ION 7320 (Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG, Deutschland))	mg/l	0,02
pH	DIN EN ISO 10523:2008 IDS pH Elektrode SenTix® 940 (Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG, Deutschland), tragbares Multiparameter MultiLine® Multi 3620 IDS (Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG, Deutschland)	-	

LF	<p>DIN EN ISO 27888:1993</p> <p>TetraCon 325 Standard-Leitfähigkeitsmesszelle (Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG, Deutschland), tragbares Multiparameter Multi 340i (Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG, Deutschland)</p>	mS/cm	
Biozide	<p>DIN EN ISO 17025</p> <p>Extern</p>		
MP	<p>Keine Standardisierung, hier: Gefriertrocknung, Mahlen, TED GC-MS Detektion</p> <p>Extern</p>		