

# Technische Regenwasserfiltration an zentralen Standorten

Helmut Grüning<sup>1</sup>, Klaus H. Pecher<sup>2</sup>, Christian Massing<sup>3</sup>

<sup>1</sup>FH Münster, Steinfurt; <sup>2</sup> Dr. Pecher AG, Erkrath; <sup>3</sup>WSW Energie & Wasser AG, Wupper

**Kurzfassung:** Die Behandlung von Oberflächenabflüssen mit technischen Regenwasserfiltern beschränkt sich derzeit auf kompakte Anlagen an dezentralen Standorten. Bislang liegen nur eingeschränkte Erfahrungen mit großformatigen technischen Regenwasserfiltern zur zentralen Regenwasserbehandlung (TRF) vor. In Wuppertal ist im Mai 2014 der TRF Fleute in Betrieb genommen worden. Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens wurde das Betriebsverhalten dieses zentral angeordneten Filters untersucht. Die Erfahrungen sind Grundlage für die Konzeption weiterer Filteranlagen im zentralen Maßstab. Eine Herausforderung bildet dabei der Kompromiss zwischen Wartung und Wirkung. Systembedingt führt ein hoher Stoffrückhalt im Filterkörper zu kürzeren Wartungsintervallen. Die Filteranlage muss so konzipiert sein, dass im Filter in erster Linie feine Partikel (AFS63) und gelöste Stoffe zurückgehalten werden.

**Key-Words:** Oberflächenabfluss, technische Regenwasserfiltration, Feinanteil AFS63, Schwermetalle

## 1 Technische Regenwasserfiltration

### 1.1 Entwicklungen und Anforderungen

Oberflächenabflüsse können in erheblichem Umfang partikuläre und gelöste Inhaltsstoffe transportieren. Der Rückhalt molekular bis grob disperser Abwasserinhaltsstoffe kann nur durch Behandlungssysteme erfolgen, die neben rein sedimentativen Rückhalteeffekten auch physikalisch-chemische Wirkmechanismen, wie z. B. Fällung und Flockung, aufweisen oder adsorptiv wirken. Möglichkeiten diese Stoffe durch herkömmliche Regenbecken zurückzuhalten, begrenzen sich auf die anschließende Behandlung des Beckeninhaltes in der Kläranlage. Die hydraulische Aufnahmekapazität der Kläranlage ist aber aus verfahrenstechnischen Gründen begrenzt. Eine weitergehende Behandlung innerhalb des Ableitungssystems beschränkt sich auf die Filtration von Oberflächenabflüssen. Möglichkeiten der Regenwasserfiltration bieten derzeit Retentionsbodenfilter und dezentral angeordnete Kompaktsysteme, die mit Fil-

terelementen ausgerüstet sind. Diese Filtersysteme weisen unterschiedliche system-spezifische Merkmale auf:

- Retentionsbodenfilter ermöglichen eine sehr weitgehende Reinigung, sind aber auch durch einen nennenswerten Betriebsaufwand sowie durch einen hohen Flächenbedarf gekennzeichnet. Im eng bebauten urbanen Raum sind die erforderlichen Flächen meist nicht verfügbar. Darüber hinaus können dauerhafte Fremdwasserzuflüsse zu einer Kolmation der Anlagen führen.
- Dezentral angeordnete Kompaktsysteme führen systembedingt zu einer höheren Anzahl von Betriebspunkten. Hier besteht das Risiko, dass die Systeme nur eingeschränkt überwacht und gewartet werden. Vorteilhaft ist bei dezentral angeordneten Systemen die Vermeidung der Vermischung unterschiedlich belasteter Abflüsse. Für die inzwischen hohe Anzahl verschiedener Systeme fehlen jedoch teilweise langfristige Wirknachweise und Betriebserfahrungen.

Durch Ergänzung der bisherigen Praxis der Regenwasserbehandlung mit technischen Regenwasserfiltern im zentralen Maßstab (TRF) können diese systemspezifischen Einschränkungen vermindert werden. Allerdings beschränken sich die Möglichkeiten zur Regenwasserbehandlung durch TRF an zentralen Standorten mit Einzugsgebietsgrößen von mehreren Hektar noch auf Einzelfälle.

## 1.2 Prozesse in Technischen Regenwasserfiltern

Wasserinhaltsstoffe lassen sich über die Kriterien „Durchmesser“ und „typischer Konzentrationsbereich“ einteilen. Die Matrix der Wasserinhaltsstoffe umfasst die drei Hauptgruppen „gelöst“, „kolloidal“ und „suspendiert“. Die molekulardispersen Stoffe (Moleküle, Ionen) liegen in gelöster Form vor. Die Grenzen der jeweiligen Stofffraktionen sind in der Literatur unterschiedlich festgelegt. Für kolloiddisperse Stoffe (z. B. Huminstoffe, Silikat), die als fein verteilte Teilchen oder Tröpfchen vorliegen gilt ein Grenzdurchmesser von 0,45 bis 1 µm. Stoffe mit noch größerem Durchmesser sind Suspensa, Trübstoffe oder abflitrierbare Stoffe (AFS). Das Spektrum der Wasserinhaltsstoffe reicht also von echt gelösten Stoffen bis zu groben Suspensionen. Neben gelösten Salzen und Gasen können organische Stoffe und auch feine Tonminerale bis zu Geröll im Oberflächenabfluss enthalten sein. Eine besondere Bedeutung haben Kolloide ( $10^{-7}$  bis  $10^{-5}$  m), die durch abstoßende elektrische Kräfte entgegen der Schwerkraftwirkung suspendieren, so dass auch nach längerer Zeit kein Absetzvorgang eintritt. Kolloide lassen sich auch durch eine normale Filtration nicht abscheiden, da sie durch die üblichen Filterporen hindurchwandern. Im Entwurf des Arbeitsblattes DWA-A 102 (DWA, 2016) werden der Feinanteil der Feststoffe  $< 63$  µm als Zielgröße ausgewählt. Der zugehörige Parameter wird als AFS63 bezeichnet. Die analytische Bestimmung bei Niederschlagswasser erfolgt über eine Filtration mit einer

Porengröße 0,45 µm nach einer Siebung über ein 63 µm Sieb (Dierschke und Welker, 2015).

Bei der Filtration durchläuft das zu trennende Gemisch, je nach Art der Filtration, ein Vlies bzw. Gewebe oder einen Füllkörper. Das Filtermedium ist ein durchlässiges Porensystem. Der Stoffrückhalt kann durch chemische, physikalische und biologische Wirkmechanismen an der Oberfläche erfolgen. Häufig liegt eine Kombination von Wirkmechanismen vor. Das Filtermaterial stellt einen Widerstand gegenüber den Partikeln des zu trennenden Gemisches dar. Weitere Mechanismen sind Partikelträgheit, Diffusionseffekte, Elektrostatik oder Sperreffekte. Daher werden grundsätzlich auch Partikel abgeschieden, die deutlich kleiner als die Porengröße des Filters sind. Größere Partikel werden beispielsweise durch Trägheit und Sperreffekte zurückgehalten.

Grundsätzlich wird bei der Filtration zwischen einer Oberflächenfiltration und einer Tiefenfiltration unterschieden. Bei einer Oberflächenfiltration entspricht die Filterwirkung einem Siebeffekt. Hier werden die Partikel an der Oberfläche zurückgehalten, sofern die Porenweite des Filtermittels kleiner als die Größe der Partikel ist. Bei der Oberflächenfiltration kommt es zu einer Kuchenbildung, so dass der Filterwiderstand des Filters mit der Standzeit sehr schnell abnimmt. Auch Partikel, die kleiner sind als die Porengröße des Filtermediums werden durch den gebildeten Filterkuchen zurückgehalten. Der Filter muss häufig regeneriert werden.

Bei der Tiefenfiltration lagern sich die Feststoffe innerhalb der Filterschüttung an den Oberflächen der Filtersubstrate an. Es können hierbei auch Partikel aufgehalten werden, welche deutlich kleiner sind als die Poren der Filterschüttung. Dies geschieht vor allem durch chemische und physikalische Wirkmechanismen an der Oberfläche der Filtersubstrate. Ist die Oberfläche vollständig beladen kommt es zu einer Reduzierung der Partikelabscheidung, die Durchlässigkeit ändert sich jedoch entgegen der Oberflächenfiltration nur langsam. Der Zeitpunkt, ab wann der Filter in seiner Wirksamkeit nachlässt, ist dadurch schwerer zu erkennen. Wird der Filter zu früh getauscht resp. regeneriert, kostet das Geld, erfolgt die Maßnahme zu spät, wird das Gewässer belastet.

Für den Filteraufbau steht eine umfangreiche Materialpalette zur Verfügung. Ihr Anwendungsfeld reicht vom reinen Partikelrückhalt bis zum adsorptiven Rückhalt von Mikroverunreinigungen. Der Anspruch an die Reinigungsleistung eines Filters beschränkt sich aber nicht auf den Rückhalt partikulärer Stoffe (AFS63). Auch gelöste Schwermetalle müssen zurückgehalten werden, da diese zu einem nennenswerten Anteil durch Oberflächenabflüsse in aquatische Ökosystem eingetragen werden. Dazu werden üblicherweise Eisenhydroxide oder Zeolithe verwendet. Diese werden je nach Filteraufbau in unterschiedlichen Korngrößen oder als Substratmischungen in den Systemen eingesetzt. Darüber hinaus nutzen die Hersteller häufig eigene Entwicklungen oder modifizierte Substrate mit höheren Adsorptionskapazitäten oder reduzierter Rücklösung unter Tausalzeinfluss. Untersuchungsergebnisse zur Wirkung von Cal-

ciumsilikat und Eisenhydroxid liefern Huber et al. (2017). Substrate zum Rückhalt organischer Spurenstoffe, wie Herbizide und Pestizide, stehen bisher kaum im Fokus der Betrachtung. Mit den klassischen Substraten sind diese Mikroverunreinigungen jedoch nur unzureichend aus dem Oberflächenabfluss zu entfernen. Besser geeignet wären Aktivkohle oder technische Spezialadsorber. Diese Materialien sind aber teuer und die feinen Poren setzen sich durch die stark verunreinigten Oberflächenabflüsse rasch zu.

## 2 Erste Erfahrungen mit dem TRF Fleute in Wuppertal

### 2.1 Dimensionierung und System TRF Fleute

Die Konzeptionierung eines technischen Regenwasserfilters in Wuppertal erfolgte im Rahmen der Planung für ein Regenklärbecken ohne Dauerstau. Problematisch war hier der dauerhafte Fremdwasserzufluss, der zu einem ständigen Beckeneinstau geführt hätte. Zur Lösung dieses Problems wurde eine kontinuierliche Parametermessung mit einer Bypasslösung geplant, um den kontinuierlichen Fremdwasserzufluss am Becken vorbei zu leiten und den behandlungspflichtigen Zufluss im Becken zu behandeln. Dieses Konzept wird in ähnlicher Form in Wuppertal bereits praktiziert. Die qualitätsabhängige Steuerung erfordert allerdings einen entsprechenden Betriebsaufwand. Im Rahmen der Ausschreibung wurde als Alternativvorschlag ein technischer Regenwasserfilter (TRF) konzipiert.

Die Anlage behandelt die Oberflächenabflüsse eines 27 ha großen Gebietes im Nordosten Wuppertals vor der Einleitung in die Schwelme. In NRW ist eine flächennutzungsspezifische Kategorisierung der befestigten Oberflächen in trennentwässerten Gebieten erforderlich. In Tabelle 1 sind die jeweiligen Flächenanteile dargestellt.

Tabelle 1: Nutzungsspezifische Aufteilung der abflusswirksamen Flächen

Kategorisierung der Flächen und Abflüsse	Flächengröße
Kategorie I (unbelastet)	$A_{u,I} = 7,5 \text{ ha}$
Kategorie IIa (schwach belastet, noch nicht behandlungspflichtig)	$A_{u,IIa} = 5,8 \text{ ha}$
Kategorie IIb (schwach belastet, behandlungspflichtig)	$A_{u,IIb} = 3,1 \text{ ha}$
Kategorie III (stark belastet)	$A_{u,III} = 0,9 \text{ ha}$
Summe befestigte Fläche	$A_{u,ges} = 17,3 \text{ ha}$

Eine kurzfristige Beseitigung des kontinuierlichen Fremdwasserabflusses war aufgrund der komplexen Einflüsse nicht möglich. Der Fremdwasserabfluss wurde aufgrund der Messdaten für den Winter 2010/2011 im Mittel mit 2 l/s abgeschätzt. Nach mehrjährigem Betrieb sind Phasen ohne Fremdwasser, aber auch Zeiträume mit deutlich höherem Fremdwasserabfluss bekannt. Der kontinuierliche Fremdwasserabfluss und der behandlungspflichtige Niederschlagsabfluss führen zu einem behandlungspflichtigen Gesamtabfluss von  $Q_{\text{krit}} = 127,1 \text{ l/s}$ .

Zur kontinuierlichen Niederschlagswasserfiltration wurde ein rechteckiges Betonbecken als Großfilteranlage ausgerüstet. Das Bauwerk ist im Hauptschluss des Regenwasserkanals angeordnet. Vor dem eigentlichen Filter dient eine Vorkammer zur Sedimentation von Grobstoffen und dem Rückhalt von Schwimmstoffen. Weitere Sedimentationsräume sind unterhalb des Filters angeordnet. Ziel ist es, bereits einen möglichst großen Anteil der Feststofffracht sedimentativ zurück zu halten und den Filter in erster Linie für den Rückhalt kleiner schlecht absetzbarer Partikel zu nutzen. Die Reinigung des zufließenden Niederschlagswassers erfolgt in drei unabhängig voneinander angeordneten parallelen Filterstraßen. Durch Schieber ist es möglich, einzelne Filterstraßen beispielsweise zu Reinigungszwecken außer Betrieb zu nehmen.

Bei Niederschlagszuflüssen steigt der Wasserstand in der Zulaufkammer des Filters an, und das Wasser wird aufgrund des sich ausbildenden hydraulischen Gradienten durch die Filterschicht gedrückt. Der Filterkörper ist dreilagig aufgebaut und zwischen zwei Gitterrostelementen fixiert. Das Bauwerk ist bis zur Höhe der Ablaufwehrschwellen ständig mit Wasser gefüllt. Abbildung 1 zeigt einen exemplarischen Filteraufbau und die drei Filterstraßen vor der Inbetriebnahme nach einer Wartungsmaßnahme.



Abbildung 1: Mehrstufiger Aufbau des Filters (links) und Blick auf die drei Straßen und das senkrecht angeströmte Wehr im Zulaufbereich des TRF Fleute (rechts)

## 2.2 Wartung und Wirkung des TRF Fleute

Ziel der Untersuchungen war in erster Linie die Entwicklung eines Filters mit akzeptablen Wartungszeiträumen. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen insofern betriebliche Aspekte und die Optimierung der konstruktiven Gestaltung von technischen Großfilteranlagen. Das Umweltministerium des Landes NRW (heute: MULNV) hat im Zeitraum von 2013 bis 2016 die Untersuchung dieser Anlage gefördert. Die kostenintensive Untersuchung der Wirkung ist für Folgeprojekte vorgesehen. Die Kontrolle der Durchlässigkeit des Filters und des Stoffrückhaltes erfolgten mit

- Füllstandssonden im Zu- und Ablaufbereich zur Kontrolle der Durchlässigkeit des Filterkörpers
- Photometersonden zur Erfassung der äquivalenten Feststoffkonzentrationen im Zu- und Ablauf
- Mischprobenehmer zur Erfassung des Stoffrückhaltes für Einzelereignisse

Eine maßgebliche Information ist die Durchlässigkeit des Filters. Durch Bilanzierung des Füllstandes im Zulaufbereich und im Ablaufbereich kann die Durchlässigkeit überprüft werden (Abbildung 2). Wenn die Anpassung der Wasserspiegeldifferenz durch den hydrostatischen Druckausgleich zeitlich stark verzögert eintritt, liegt eine Kolmation des Filters vor. Das Material muss dann getauscht werden. In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass der Füllstand im Zulaufbereich kurzfristig wieder absinkt und dann dem Niveau im Ablaufbereich entspricht. Der Filter ist also durchlässig.

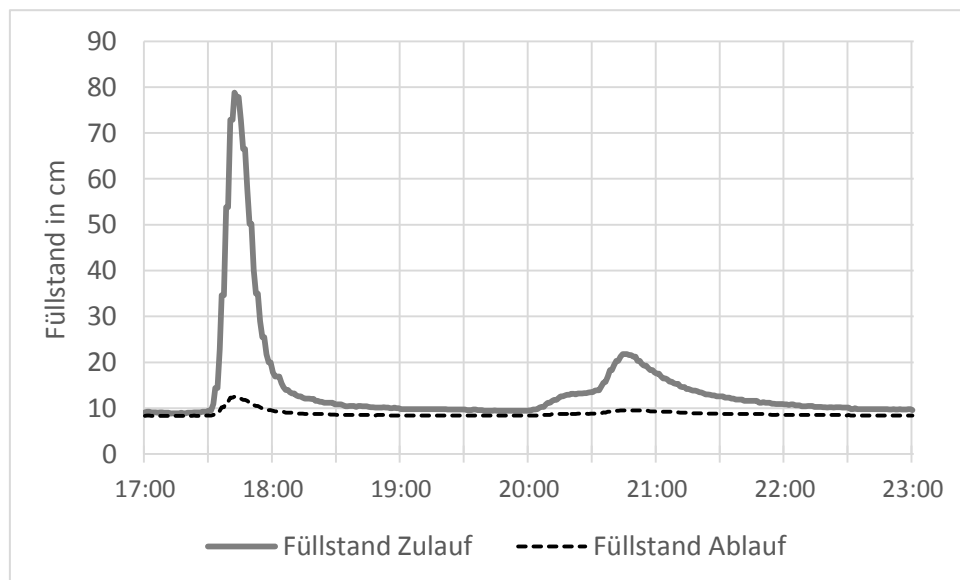


Abbildung 2: Änderung und kurzfristige Anpassung der Füllstände während des Regenwasserzulaufes im TRF Fleute

Im Rahmen der Bemessung des TRF Fleute wurde ein Feststoffrückhalt in einer Größenordnung von 80 % als realistische Zielgröße diskutiert. Bei der Entwicklung des Filters wurde nicht die Materialkombination mit dem größten Stoffrückhalt unter Laborbedingungen untersucht und ausgewählt, sondern ein Filteraufbau, der den hohen hydraulischen und stofflichen Anforderungen der Regenwasserbehandlung standhält und den betrieblichen Anforderungen entspricht. Die Erfahrungen zeigen, dass ein entsprechender Stoffrückhalt grundsätzlich möglich ist. Weitergehende Ansprüche sind mit höheren Kosten und zunehmendem Betriebsaufwand verbunden, die das in der Praxis akzeptierte Maß sehr wahrscheinlich überschreiten. Zu den maßgeblichen betrieblichen Herausforderungen zählen entsprechend lange Betriebsphasen bei hohem Stoffrückhalt. Ein hoher Stoffrückhalt im Filterkörper führt systembedingt zur Verstopfung der Porenräume. Der Filter muss dann getauscht oder gespült werden. Eine Rückspülung wie bei einem Sandfilter zur Trinkwasseraufbereitung ist für technische Regenwasserfilter allerdings nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich.

Die Untersuchungen des TRF Fleute erfolgte in vier Betriebsphasen. Nach jeder Betriebsphase wurde das Filtermaterial im gesamten Filter oder in einzelnen Filterstraßen getauscht. Neben der teilweise starken Verunreinigung der Oberflächenabflüsse zeigte sich beim TRF Fleute bereits in der ersten Betriebsphase ein weiteres Problem: Fehleinleitungen von Schmutzwasser in die Regenwasserkanalisation. Im Zeitraum von Mai bis Oktober 2014 nahm die Durchlässigkeit des Filters stark ab. Im Rahmen der Wartungen waren zahlreiche Hinweise auf Fehleinleitungen erkennbar. Die Fehleinleiter wurden von der WSW Energie & Wasser AG ermittelt und an das Schmutzwassernetz umgeschlossen. Im Februar 2015, nach der erfolgreichen Detektion der Fehleinleiter, nahm die Durchlässigkeit des Filtermaterials quasi automatisch ohne Wartungseingriff am Filter wieder zu. Vermutlich hatte der hohe Anteil organischer Inhaltsstoffe zu einer biologischen Kolmation des Filters geführt und die Durchlässigkeit stark reduziert.

Die zweite Betriebsphase begann im Juli 2015. Die beiden unteren Lagen sind auf dem unteren Gitterrost mit einer Höhe von je 4 cm als lose Mineralschüttung mit unterschiedlichen Korngrößen ausgebildet. Darüber liegend eine 4 cm hohe Schicht aus gebrochenem Tonmineral. Als weitere Maßnahme wurde die oberste Lage als Filtermatte ausgeführt, welche einen Austrag des Materials verhindert und durch die obere Gitterrostlage fixiert wird (Abbildung 3 und 4). Hierdurch sollte der Aufwand beim Ein- und Ausbau reduziert werden. Der  $k_f$ -Wert des Filters liegt bei diesem Materialaufbau im Neuzustand bei ca.  $9,7 \cdot 10^{-2}$  m/s. Im Vergleich zur Filterausrüstung in der ersten Betriebsphase wies der Filter eine deutlich höhere Wasserdurchlässigkeit auf.

Leider war eine durchgängige Durchflussbilanzierung bei diesem Projekt nicht möglich, da aus finanziellen Gründen auf eine dauerhafte Durchflussmessung verzichtet wurde. Für den Zeitraum vom 07.07.2015 bis zum 23.11.2015 wurde temporär eine Durchflusserfassung durchgeführt. Demnach sind für diesen Zeitraum insgesamt



64.225 m<sup>3</sup> über das Ablaufwehr abgeleitet worden. Davon wurden 93,0 % (59.704 m<sup>3</sup>) durch den Filter geleitet und behandelt. Lediglich 7,0 % (4.521 m<sup>3</sup>) sind über die Schwelle im Zulauf abgeschlagen und unbehandelt weitergeleitet worden. Die Bilanzierung der Volumenanteile veranschaulicht Abbildung 5.



Abbildung 3: Einbau der untersten beiden Filterschichten am 09.07.2015 (Betriebsphase II)



Abbildung 4: Einbau der oberen Filterschicht und der abschließenden Filtermatte am 09.07.2015 (Betriebsphase II)

Die Auswertungen der Feststoffkonzentrationsmessungen ( $AFS_{aq}$ ) mit Photometersonden im Zu- und Ablauf zeigen, dass bereits die Zulaufkonzentration sowohl für die Maximalwerte als auch für die mittlere Konzentration unterhalb der angegebenen Werte in der Literatur lagen. Ursache hierfür könnte die „Anlaufzeit“ des Systems aufgrund des vorhandenen Wasserkörpers und der damit verbundene schnelle Füllstandsanstieg im Zulauf und die Verdünnung durch nachfließenden „sauberen“ Oberflächenabfluss und nicht zuletzt zeitweise auch das Fremdwasser sein. Aktuelle Untersuchungen zu mittleren AFS-Konzentrationen größerer Einzugsgebiete zeigen



ebenfalls vergleichsweise geringe Konzentrationen (Fuchs und Eyckmanns-Wolters, 2016). Die Ursachen dafür sind noch nicht im Detail nachvollzogen. Der Schlammanfall und die Feststoffbeladungen in den Filterschichten belegen allerdings, dass nennenswerte Feststoffe angefallen sind und im Bauwerk zurückgehalten wurden (Abbildung 6).

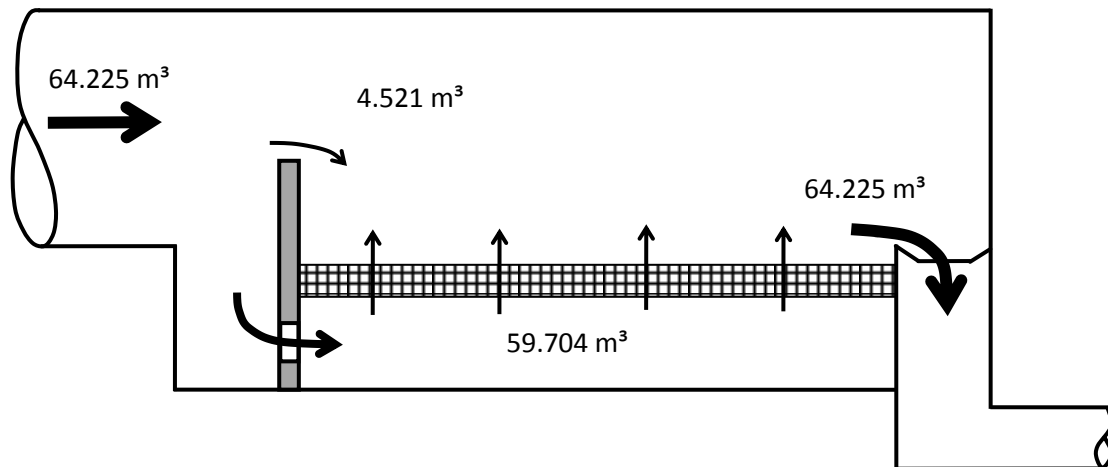


Abbildung 5: Bilanzierung des zugeflossenen und des behandelten Volumens in der Zeit vom 7. Juli bis zum 23. November 2015



Abbildung 6: Feststoffbeladung innerhalb der Filterschichten (links) und Schlammanfall in der Sedimentationsstufe (rechts)

Exemplarisch zeigt Abbildung 7 den Verlauf der  $AFS_{aq}$ -Werte während eines Regenerignisses. Die Reduktion der Feststoffkonzentrationen ( $AFS_{aq}$ ) zeigt die erwartungsgemäße Wirksamkeit des Filters. Bei der Ermittlung der Stoffkonzentrations- und Frachtbilanzen von Regenwasserbehandlungsanlagen ist die alleinige Darstellung er-

wartungsgemäßer bzw. erhoffter Ergebnisse kritisch zu hinterfragen. Messungen an Regenwasserbehandlungsanlagen sind äußerst komplex. Die hydrometrisch/hydraulischen Bedingungen und das Milieu sind für kontinuierliche Messungen häufig denkbar ungeeignet. Auch bei den Untersuchungen zum TRF Fleute bleiben noch zahlreiche offene Fragen und nur eingeschränkt zu interpretierende Messdaten.

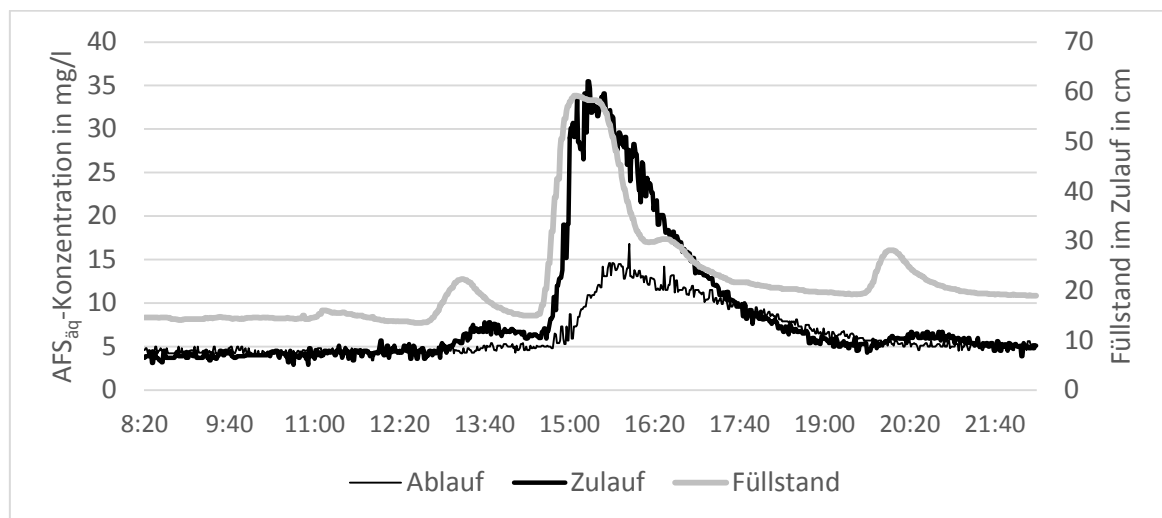


Abbildung 7: AFSaq-Konzentrationen im Zu- und Ablauf des Filters "In der Fleute"

Ein maßgeblicher Vorteil der Regenwasserfiltration ist der Rückhalt partikulär gebundener und gelöster Schwermetalle. In Laborversuchen konnten hier bereits überdurchschnittlich hohe Rückhalteraten erzielt werden. Eine weitergehende Untersuchung der Wirksamkeit des Systems ist in Zukunft vorgesehen, um die Rückhalteraten für Schwermetalle in technischen Regenwasserfiltern zu steigern. Der Grad der Schwermetallreduzierung hängt dabei im Wesentlichen von drei Parametern ab:

- dem eingesetzten Filtermaterial,
- der Höhe der Filterschüttung und
- der Oberflächenbeschickung.

Für einzelne Ereignisse wurde die Wirksamkeit der Schwermetallreduktion der Anlage betrachtet. Die Beprobung von sechs Einzelereignissen ergab eine Reduktion von 46 % für Kupfer, 55 % für Blei und 50 % für Zink. In den bisherigen Untersuchungen wurde, wie bereits erwähnt, jedoch in erster Linie das Betriebsverhalten untersucht und optimiert. Die Maximierung des Stoffrückhaltes stand nicht im Vordergrund. Eine wahrscheinliche Ursache für die eingeschränkten Rückhalteraten, im Vergleich zu den Laborwerten, ist die Wirkung gelöster Ionen im Regenwasser.

### 3 Dimensionierung und Betrieb von Technischen Regenwasserfiltern

Für die Bemessung von technischen Regenwasserfiltern sind derzeit noch keine allgemeinverbindlichen Ansätze verfügbar. Bislang ist für die kritische Regenspende ein Wert von 7,5 bis 15 l/(s · ha) üblich. Im Entwurf des Arbeitsblattes DWA-A 102/BWK-A 3 wird darauf hingewiesen, dass im Trennsystem geringere Werte für  $r_{\text{krit}}$  sinnvoll sein können, wenn Behandlungsanlagen mit hohen Wirkungsgraden eingesetzt werden. Neben der hydraulischen Bemessung reagieren Filter systembedingt sensibel auf stoffliche Belastungen. Dabei ist ein pauschaler flächenspezifischer Stoffabtragsansatz wie in DWA (2016) nicht zu empfehlen (Tabelle 2). Die hier angegebenen Rechengrößen für den Stoffabtrag für AFS63 stehen nicht im kausalen Zusammenhang mit der Flächennutzung. Partikel wie feiner Sand können zu einem erheblichen Teil auf Wegen und Plätzen ohne stark verunreinigende Nutzung wie beispielsweise durch KFZ-Verkehr anfallen. Allein durch Abspülprozesse von geneigten unbefestigten Böden ist ein nennenswerter Feinpartikelanfall möglich. Insofern können die Stoffabtragsraten abhängig von der Flächenkategorie bei der Bemessung des Filterkörpers nur eingeschränkt zum Ansatz gebracht werden.

Tabelle 2: Rechenwert des flächenspezifischen jährlichen Stoffabtrags für AFS63 nach DWA (2016)

Kategorie	Flächenspezifischer Stoffabtrag $b_{R,a}$ für AFS63 in kg/(ha · a)
Kategorie I	280
Kategorie II	530
Kategorie III	760

Die Anforderungen an technische Regenwasserfiltrationsanlagen dürfen sich auch nicht auf den Rückhalt von Feststoffen beschränken. Folgendes Aufgabenspektrum muss ein Filter zur Regenwasserbehandlung erfüllen:

- Rückhalt der feinpartikulären Stoffe (AFS63)
- Rückhalt maßgeblicher Inhaltsstoffe von Oberflächenabflüssen wie Phosphor und die zu einem nennenswerten Anteil an der feinen Stofffraktion adsorbierten Schadstoffe wie Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe
- Rückhalt gelöster Stoffe (z. B. Schwermetalle) und organischer Schadstoffe
- Langfristiges stabiles Betriebsverhalten bei niederschlagsbedingt dynamischen Bedingungen und zeitweise hochgradig verunreinigten Zuflüssen

Zentrale Frage dabei ist, ob der Porenraum des Filters die rechnerische Fracht an Feststoffen über den Zeitraum möglicher Betriebsintervalle aufnehmen kann. Außerdem ist die Frage zu klären, ob trotz der vergleichsweise kurzen Kontaktzeit ein

Wechsel der ggf. im niedrigen pH-Wert-Bereich gelösten Schwermetalle in die partikuläre Form möglich ist.

Wie in Abschnitt 1.2 beschrieben, setzt sich das für den Rückhalt von Mikroverunreinigungen geeignete Filtermaterial rasch zu. Ziel muss es daher sein, die stofflich hoch belasteten Zuflüsse vorab wirksam zu reinigen. Beim TRF Fleute erfolgt dies durch:

- Sedimentationsstufen im Zulaufbereich und unter dem Filter.
- Eine Aufwärtsströmung, so dass sich kein Filterkuchen auf dem Filter bilden kann.
- Einen gestuften Filteraufbau, der in den unteren Lagen verstopfungsrelevante Stoffe (z. B. Laub und Pollen, Fasern, Hygieneartikel etc.) zurückhält.

Ein Vorteil der technischen Regenwasserfiltration liegt in der Flexibilität. Abhängig von Randbedingungen und Erfahrungen kann der Filteraufbau und das Filtermaterial nachträglich angepasst werden. Während der Untersuchungen des TRF Fleute wurde während der jeweiligen Betriebsphasen eine Optimierung des Filtermaterials vorgenommen. Die Untersuchungen erfolgten vorab mit einem 30 · 30 cm großen Filtermodell (Grundfläche) aus Acrylglas, das zu diesem Zweck konzipiert wurde (Abbildung 8). In dem Filtermodell war ein Filteraufbau wie in der großtechnischen Anlage möglich. Die Durchströmung erfolgte ebenfalls von unten nach oben. Zur Untersuchung der Filterwirkung wurden Trübungsmessungen und Partikelzählung durchgeführt. Aus einem Vorlagebehälter wurde der zu filtrierende Zufluss in die Anlage gepumpt. In der Laboranlage wurde untersucht, ob unterschiedliche Werkstoffe und Aufbaukombinationen folgenden Anforderungen genügen:

- Keine Auswaschung wassergefährdender Stoffe (Eluat) aus dem Material selbst
- Beeinflussung des pH-Wertes des vergleichsweise sauren Regenwassers zum Rückhalt gelöster Schwermetalle
- Hohe Adsorptionswirkung zum Rückhalt der Feinfraktion (AFS63)
- Möglichst einfacher Einbau und Wechsel des Filtermaterials

Ein maßgebliches Kriterium zur Bewertung des Filters ist die Aufnahmekapazität an feinstpartikulären Feststoffen. Dazu wurde der Filteraufbau (Betriebsphase II) über einen mehrstündigen Zeitraum mit einem Millisil-Wasser-Gemisch mit  $Q_{\text{krit}}$  beaufschlagt. In der Anfangsphase wurde für eine hydraulische Belastung bis zu 15 l/(s · ha) ein Rückhalt an Feinpartikeln (Millisil W4) von über 31 % erreicht. Bei kontinuierlicher Beaufschlagung nahm die Ablaufkonzentration im weiteren Versuchsverlauf sukzessive zu, bis nach 10 Stunden kaum noch eine Rückhaltewirkung messbar war. Allerdings kolmatierte der Filter durch die Beaufschlagung mit Feinpartikeln nicht. Dementsprechend hat sich im Verlauf des Versuchs auch keine messbare Abnahme des  $k_f$ -Wertes, der bei  $9,7 \cdot 10^{-2}$  m/s lag, eingestellt.

Diese Beobachtung stimmt mit der Wirkung einer klassischen Tiefenfiltration überein. Bei der Tiefenfiltration erfolgt der Rückhalt überwiegend mechanisch und adsorptiv im Inneren eines Filtermediums. Hierbei wird ein beträchtlicher Anteil von Feststoffpartikeln zurückgehalten, der aufgrund seiner geometrischen Größenverhältnisse eigentlich durch das Filtermedium hindurch gelangen könnte (Gasper, 2004). Die Korngrößen des Filtermaterials der Laboranlage lagen zwischen 2 bis 20 mm. Daraus resultieren Porenräume zwischen dem Filterkorn, die wesentlich größer sind als die Partikelgrößen des Millisils, welche in einem Bereich von unter 2 bis 400 µm liegen. Unter Berücksichtigung der Rückhaltemechanismen bei der Tiefenfiltration ist davon auszugehen, dass der Rückhalt von Millisil nur geringfügig mechanisch, sondern überwiegend adsorptiv erfolgte und nach der Beladung der Substratoberflächen kein Rückhalt mehr stattfindet. Ein Indiz hierfür ist die unveränderte Durchlässigkeit des Filters bei nachlassendem Stoffrückhalt.



Abbildung 8: Filtrationsversuche in einer aufwärts durchströmten Laboranlage zum Rückhalt von Feinpartikeln mit unterschiedlichen Substraten

Diese Ergebnisse mit synthetischer Beladung durch Millisil sind allerdings nicht auf Filterbelastungen mit realen Oberflächenabflüssen übertragbar. Hier liegt ein breites Spektrum an anorganischen und organischen Stoffen vor. Bei bisherigen Untersuchungen der Durchlässigkeit von Filtern in dezentralen Anlagen sind Änderungen des

$k_f$ -Wertes vom Systemzustand der Inbetriebnahme bis zum erforderlichen Filterwechsel in Größenordnungen von einer Zehnerpotenz bis hin zur vollständigen Kolkation ermittelt worden. Wie groß der Rückhalt feinputikulärer Substanzen bei Betrieb mit Regenwasser tatsächlich ist, ist noch zu prüfen. Ebenso sollte in weiteren Untersuchungen geprüft werden, welche Mechanismen dazu führen, dass die Kapazität bei Betrieb mit Regenwasser so viel größer ist. Möglicherweise bewirken die Agglomerationsneigung von Partikeln oder auch die Ansiedlung von Mikroorganismen diese Effekte. Vor diesem Hintergrund ist eine zuverlässige Aussage der Standzeit des Filteraufbaus schwer zu treffen. Die Standzeit wird maßgeblich von Umfang und Art der stofflichen Belastung der Oberflächen beeinflusst.

#### **4 Künftige Entwicklungen**

Die bisherigen Betriebserfahrungen zeigen, dass eine Regenwasserfiltration auch im großtechnischen Maßstab gut möglich ist. Ein maßgebliches, häufig unterschätztes Kriterium, das die Wirkung von Regenwasserbehandlungssystemen beeinflusst, ist die Wartung der Systeme. Nur regelmäßig gewartete Systeme wirken langfristig. Betriebsphasen über mehrmonatige Zeiträume sind bei TRF möglich. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere der manuelle Aufwand für den Ein- und Ausbau des Filtermaterials für das Betriebspersonal ungewohnt ist. Letztlich erfolgte der Filterwechsel bei der untersuchten Anlage aber innerhalb von zwei Tagen, wobei mit entsprechender Erfahrung künftig ein Arbeitstag realistisch erscheint, sodass der erforderliche Arbeitsaufwand mit der Reinigungsmaßnahme eines Regenklärbeckens durchaus vergleichbar ist. Vertreter der Betriebsabteilung der WSW schätzen den Aufwand im Vergleich zu einem Retentionsbodenfilter als deutlich geringer ein. Zur langfristigen Überwachung des Filters genügen Füllstandssonden zum Vergleich der Wasserstände im Zulaufbereich und über dem Filterkörper (hydrostatischer Druckunterschied). Erfolgt der Ausgleich der jeweiligen Wasserstände stark verzögert, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Wechsel des Filtermaterials erforderlich.

Im Rahmen des Projektes wurden eine Reihe konstruktiver Optimierungsmöglichkeiten erkannt und entwickelt, die dazu beigetragen haben, den betrieblichen Aufwand bei künftigen Filtern deutlich zu reduzieren bzw. zu vereinfachen. In Wuppertal wird kurzfristig ein weiterer technischer Regenwasserfilter gebaut. Die Bemessung und Konstruktion dieser Anlage berücksichtigt die Untersuchungsergebnisse und die zahlreichen Betriebserfahrungen während des Betriebs des TRF Fleute. Im neuen TRF Böhler Weg wird neben dem Stoffrückhalt durch Sedimentation eine weitere mechanische Vorbehandlung durch Lamellen unter dem Filterkörper stattfinden. Diese vergleichsweise sehr weitgehende Vorbehandlung soll sicherstellen, dass der Filter in erster Linie feine Partikel und gelöste Inhaltsstoffe zurückhält und die Dauer der Betriebsphase verlängert werden kann.

## **5 Literatur**

- Dierschke M. und Welker A. (2015) Bestimmung von Feststoffen in Niederschlagsabflüssen. In: gwf Wasser Abwasser, Heft 4/2015, S. 440 - 446
- DWA (2016) Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Arbeitsblatt DWA-A 102/BWK-A3 (Entwurf), DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, 2016
- Fuchs S. und Eyckmanns-Wolters R. (2016) Wirksamkeit von Regenbecken im Bestand. Erfahrungsaustausch Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Thema Niederschlagswasserbeseitigung, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), am 14.01.2016 in Düsseldorf
- Gasper H. (2004) Projektierung und Optimierung von Fest/Flüssigsystemen, Chemie Ingenieur Technik 2004, 76, No. 6, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, S. 746 bis 748
- Huber M., Welker A., Hilbig H., Wulff M. und Helmreich B. (2017) Vergleich zweier Filtermaterialien zur Entfernung von Phosphat und Schwermetallen aus Verkehrsflächenabflüssen. In: Herausforderung Regenwasser, gwf Praxiswissen, DIV Deutscher Industrieverlag GmbH, Essen, S. 71-83

## **Korrespondenz an:**

Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning  
FH Münster, Stegerwaldstraße 39, 48565 Steinfurt  
Tel.: 02551-9 62 163  
Fax: 02551-9 62 771  
E-Mail: [gruening@fh-muenster.de](mailto:gruening@fh-muenster.de)