

---

# Regenwasserbehandlung in einer Großfilteranlage im Einzugsgebiet „In der Fleute“

## Kurzbericht

Auftraggeber

Stadt Wuppertal (Der Oberbürgermeister), vertreten durch  
Wasser und Abwasser Wuppertal (WAW)

gefördert durch

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur-  
und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

---

Projektbearbeitung durch Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning (Projektleitung)  
Fachhochschule Münster  
Institut für Wasser · Ressourcen · Umwelt  
Stegerwaldstraße 39  
D-48565 Steinfurt

Dr.-Ing. Klaus Hans Pecher  
Dr. Pecher AG  
Klinkerweg 5  
40699 Erkrath

Dipl.-Ing. Christian Massing  
WSW Energie & Wasser AG  
Bromberger Straße 39 - 41  
42281 Wuppertal

---

15. August 2017

# Regenwasserbehandlung in einer Großfilteranlage im Einzugsgebiet „In der Fleute“

## Projektbeteiligungen

Antragstellung und Auftragsvergabe:	
Herr Dipl.-Ing. Robert Holstein	Stadt Wuppertal (Der Oberbürgermeister) Vertreten durch: Wasser und Abwasser Wuppertal (WAW) Johannes-Rau-Platz 1 42275 Wuppertal
Bearbeitung	
Wissenschaftliche Leitung und Bearbeitung:	
Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning Thorsten Schmitz M.Eng. Christian Schmidt M.Eng.	Fachhochschule Münster Institut für Wasser • Ressourcen • Umwelt Stegerwaldstraße 39 D-48565 Steinfurt
Wissenschaftliche Bearbeitung:	
Dr.-Ing. Klaus Hans Pecher Dipl.-Ing. Andreas Giga Dipl.-Ing. Katja Ines Raith	Dr. Pecher AG Klinkerweg 5 40699 Erkrath
Betriebsführung:	
Dipl.-Ing. Christian Massing Dipl.-Ing. Thorsten Gigl Dipl.-Ing. Michael Kalz	WSW Energie & Wasser AG Bromberger Straße 39 - 41 42281 Wuppertal

## Fördermittelgeber

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einzugsgebiet und Aufbau der Filteranlage</b>	<b>2</b>
2.1	Einzugsgebiet und Zuflüsse	2
2.2	Konstruktion des Bauwerkes und Aufbau des Filterschichten	2
2.3	Messtechnik und Zuflussdrosselung	4
<b>3</b>	<b>Projektverlauf und Betriebserfahrungen</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Wesentliche Erkenntnisse</b>	<b>7</b>
4.1	Systemoptimierung und betriebliche Aspekte	7
4.2	Partikel- und Schwermetallrückhalt	8
4.3	Fazit und Ausblick	12
<b>5</b>	<b>Literatur</b>	<b>13</b>

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Die Behandlung von Oberflächenabflüssen erfolgte bislang in erster Linie durch Regenbecken, deren Wirkprinzip auf die Sedimentation von Abwasserinhaltsstoffen begrenzt war. Die Wirkung der Regenklärbecken, die heute vorzugsweise ohne Dauerstau betrieben werden, ist begrenzt. Ein deutlich verbesserter Stoffrückhalt ist mit Retentionsbodenfiltern (RBF) möglich. Hier schränkt allerdings der Flächenbedarf die Einsatzmöglichkeiten in urbanen Räumen ein. Die Behandlung von Oberflächenabflüssen mit technischen Filteranlagen wird seit einigen Jahren durch kompakte Filteranlagen an dezentralen Standorten praktiziert. Die angeschlossenen Flächen weisen dabei Größenordnungen auf, die im Bereich von einigen Hundert Quadratmetern bis in den Bereich von wenigen Hektar liegen. Die Kenntnisse zu den Betriebsprozessen und Möglichkeiten der Oberflächenabflussbehandlung beschränken sich bislang auf Erfahrungen mit diesen kompakten Bauwerken. Betriebserfahrungen und Planungshinweise für Anlagen mit größeren Einzugsflächen sind bislang nicht verfügbar. Bei der Entwicklung technischer Filter zur Niederschlagswasserbehandlung ist die Auseinandersetzung mit folgenden Fragestellungen erforderlich:

- ▶ Welche Möglichkeiten der chemisch-physikalischen Niederschlagswasserbehandlung von stark belasteten Oberflächenabflüssen (Kategorie IIb und III) bestehen?
- ▶ In welchem Umfang ist der Rückhalt von Stoffen mit schädigender Wirkung, die speziell in Oberflächenabflüssen enthalten sind (Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle sowie diverse Bauchemikalien) möglich?
- ▶ In welchem Umfang ist der Rückhalt von feinen Partikeln (AFS63) im Vergleich zu eingeschränkt wirksamen herkömmlichen Anlagen (Regenklärbecken) möglich?
- ▶ Welche Rückhaltewirkung ist mit diesen speziell für den urbanen Raum zu entwickelnden technischen Filtern, im Vergleich zu Retentionsbodenfiltern mit hohem Flächenbedarf und vegetationsspezifischen Anforderungen möglich?
- ▶ Ist der Einsatz auch bei Fremdwasserzufluss ohne hohen messtechnischen Aufwand mit Bypasslösung, der bei Regenklärbecken ohne Dauerstau erforderlich wäre, langfristig möglich?

Neben der Systementwicklung und den jeweiligen Wirknachweisen ist als erster Schritt die Erhebung und Optimierung der betrieblichen Aufwendungen für technische Regenwasserfilter im zentralen Maßstab (TRF) zu klären. Dies ist ein wesentliches Ziel dieses Vorhabens. In einem ersten Schritt werden dabei vor allem folgende Bereiche betrachtet:

- ▶ Betriebsdauer: Zielgröße ist dabei der Zeitraum eines Jahres, bis zum Austausch bzw. zur Regeneration des Filtermaterials. Es wird untersucht, ob diese Zeiträume für ein Filtersystem an einem zentralen Standort möglich sind.
- ▶ Kosten: Neben dem Filtermaterial werden die Betriebskosten in die Bewertung einbezogen. Es wird untersucht in welchem Umfang sich die betrieblichen Aufwendungen von einem herkömmlichen Regenklärbecken unterscheiden.
- ▶ Einbau und Wartung: In enger Abstimmung mit den Mitarbeitern des Kanalbetriebs wird der Aufwand für die jeweiligen Maßnahmen erhoben und optimiert.

Die Untersuchungen an der Pilotanlage unterteilen sich in die beiden wesentlichen Arbeitspakete „Betriebsbegleitung“ und „Betriebsoptimierungen“. Zur genauen Untersuchung der Prozesse im Filter selbst sowie zur Beschreibung der Einflüsse des Stoffrückhaltevermögens sind weitere Untersuchungen erforderlich, die sich im Rahmen des Projektes auf einzelne Regenereignisse und begleitende Laboruntersuchungen beschränken.

## 2 Einzugsgebiet und Aufbau der Filteranlage

### 2.1 Einzugsgebiet und Zuflüsse

Die Entwässerung des Wuppertaler Stadtgebietes erfolgt zum größten Teil im Trennverfahren. Die dichte Besiedlung mit intensiver Flächennutzung erfordert in Wuppertal umfangreiche Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung. An zahlreichen Stellen werden die Oberflächenabflüsse durch kompakte Filteranlagen dezentral behandelt. Eine zentrale Behandlung erfolgt erstmalig mit der dem Technischen Regenwasserfilter TRF Fleute. Die großtechnische Filteranlage ist im Einzugsgebiet „In der Fleute“ angeordnet. Dieses liegt im Nordosten Wuppertals an der Stadtgrenze zu Schwelm. Das Einzugsgebiet hat eine Gesamtgröße von 26,8 ha, wovon 17,3 ha (65 %) abflusswirksam sind. Die Aufteilung der Flächen in nutzungsspezifische Kategorien gemäß Trennerlass NRW enthält Tabelle 1.

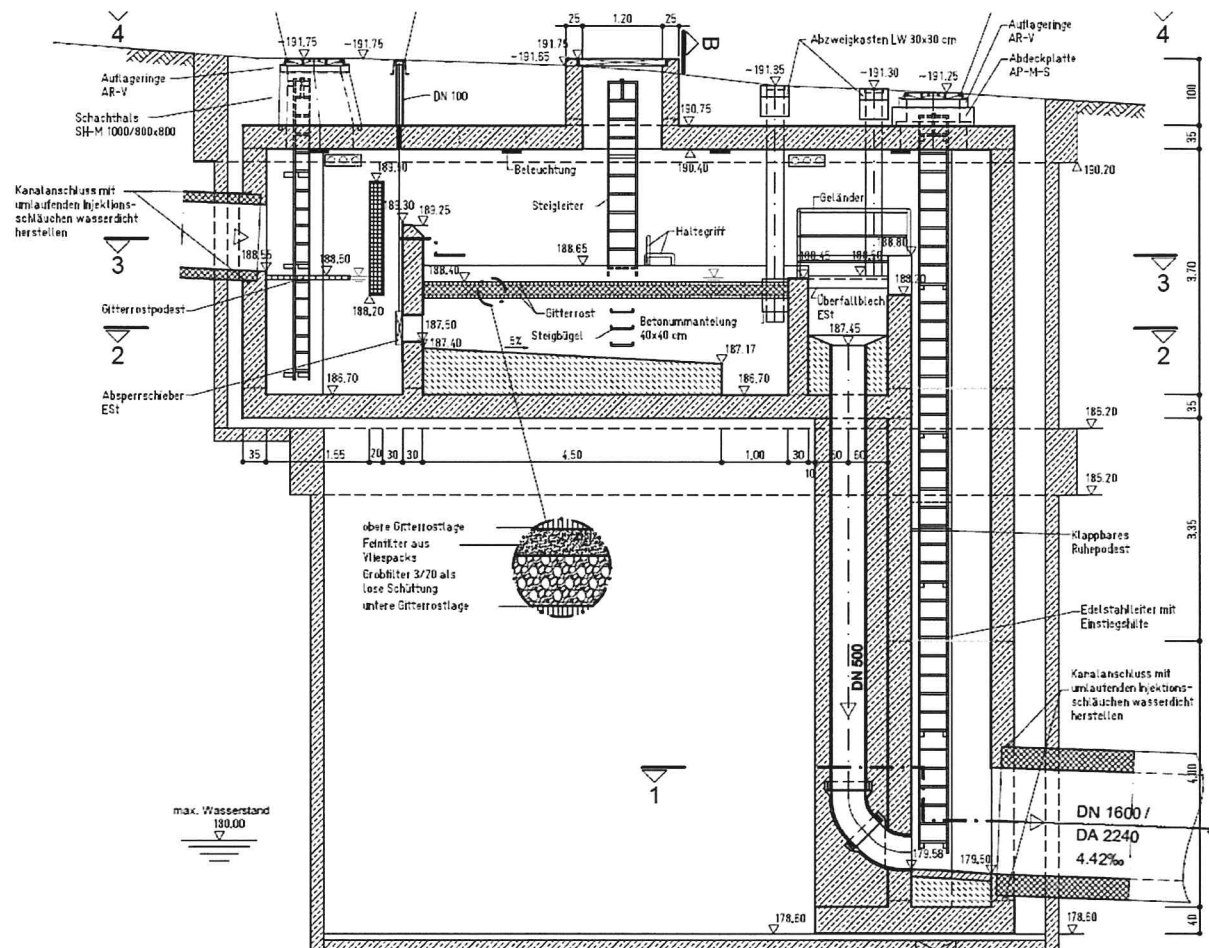
**Tabelle 1: Nutzungsspezifische Aufteilung der abflusswirksamen Flächen**

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 besondere Herausforderung bei diesem Standort stellt ein jahreszeitlich schwankender Fremdwasserzufluss dar. Für Regenklärbecken ohne Dauerstau besteht dabei das Problem der ständigen Beckenfüllung. Um dies zu verhindern, müsste der weitgehend unbelastete Zufluss mit einem Bypass am Becken vorbei zur Kläranlage geleitet werden. Der kontinuierliche Fremdwasserabfluss und der behandlungspflichtige Gesamtabfluss führen zu einem behandlungspflichtigen Abfluss von  $Q_{krit} = 127,1 \text{ l/s}$ . Für das Filtersystem stellt der Fremdwasserzufluss kein Problem dar.

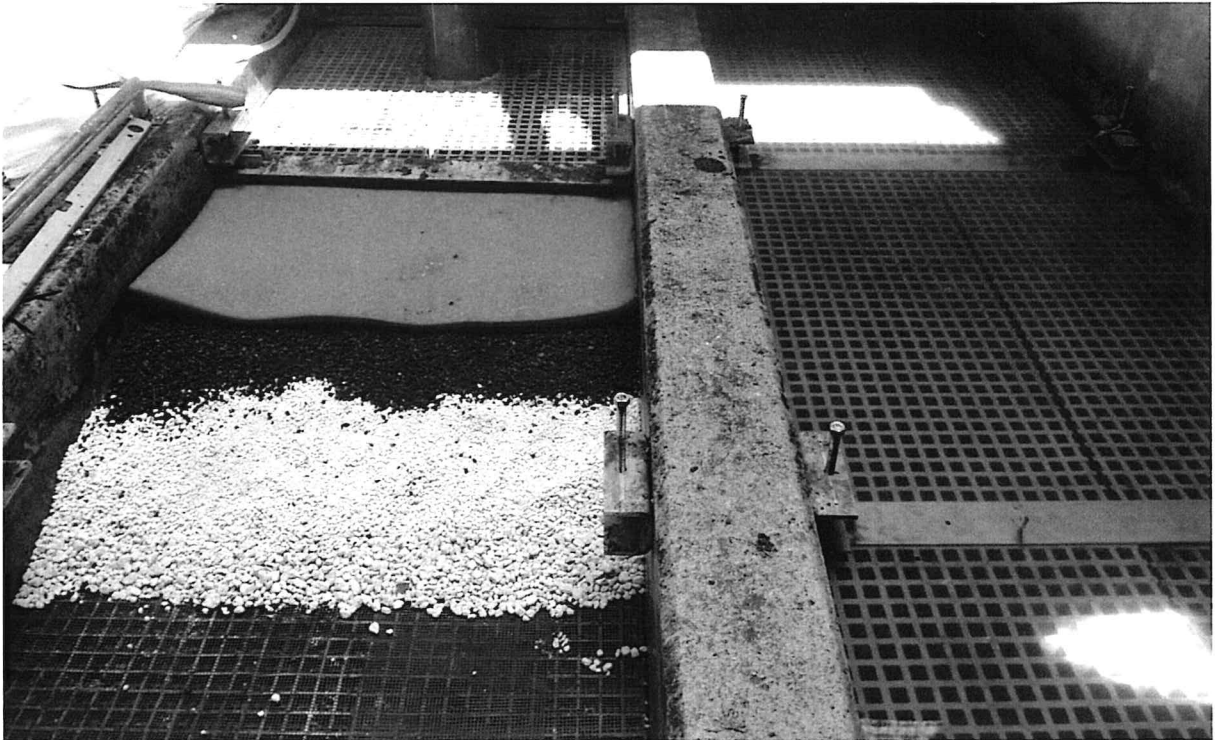
### 2.2 Konstruktion des Bauwerkes und Aufbau des Filterschichten

Zur kontinuierlichen Niederschlagswasserfilterung wurde ein rechteckiges Betonbecken als Großfilteranlage ausgerüstet. Das Bauwerk ist im Hauptschluss des Regenwasserkanals angeordnet. Ursprünglich war ein Regenklärbecken ohne Dauerstau zur Abflussbehandlung konzipiert worden. Im Rahmen eines Sondervorschlages erfolgte alternativ die Ausführung des im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens näher untersuchten technischen Filters. Das geplante RKB wurde somit zu einer Filteranlage umkonzipiert. Vor dem eigentlichen Filter dient eine Vorkammer zur Sedimentation von Grobstoffen. Ziel ist es, bereits einen möglichst großen Anteil der Feststofffracht im Sedimentationsraum zurück zu halten und den Filter in erster Linie für den Rückhalt von Feinstpartikeln zu nutzen. Die Reinigung des zufließenden Niederschlagswassers erfolgt in drei unabhängig voneinander angeordneten parallelen Filterstraßen. Durch Schieber ist es möglich, einzelne Filterstraßen z. B. zu Reinigungszwecken außer Betrieb zu nehmen. Der Längsschnitt der Filteranlage ist in Bild 1 dargestellt. 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 Filter ist dreilagig aufgebaut und zwischen zwei Gitterrostelementen fixiert. Der Filter ist bis zur Höhe der Ablaufweherschwellen (188,55 müNN) ständig mit Wasser gefüllt.



**Bild 1: Längsschnitt Großfilteranlage „In der Fleute“ in Wuppertal**

Ein Vorteil des technischen Regenwasserfilters ist die Flexibilität bei der Wahl und dem Aufbau des Filtermaterials. Es besteht die Möglichkeit, sowohl das Filtermaterial als auch den Filteraufbau an unterschiedliche Anforderungen wie Durchlässigkeit, Standzeit und Wirkung anzupassen. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine maximale Wirksamkeit zwar technisch vergleichsweise einfach möglich ist, jedoch aus wirtschaftlicher und betrieblicher Sicht nicht zielführend sein kann. Bei dem untersuchten TRF Fleute wird ein gestufter Aufbau im Aufstromverfahren passiert (Bild 2). In der grobkörnigen untersten Lage sollen vor allem suspendierte Grobstoffe zurückgehalten werden, die den Filter rasch zusetzen können (z. B. Zigarettenstummel und Blätter). In der obersten Lage wird reaktives feinkörniges Material eingesetzt, das neben einer physikalischen Wirkung zusätzlich chemische Wirkmechanismen aufweist. Der Gesamtaufbau des Filters hat eine Höhe von ca. 0,20 m. Aufgrund der Filterelemente mit relativ geringer Höhe, liegen die Reaktionszeiten bei kritischen Regenwasserzuflüssen im Filter im Minutenbereich. Die Höhe des Filteraufbaus ist im Regenwasserfilter begrenzt, da der Durchfluss im Aufstrom durch den hydrostatischen Druckunterschied erfolgt, der sich durch die unterschiedlichen Wasserspiegellagen im Zu- und Ablaufbereich einstellt.



**Bild 2: Exemplarischer Filteraufbau der mittleren Filterstraße**

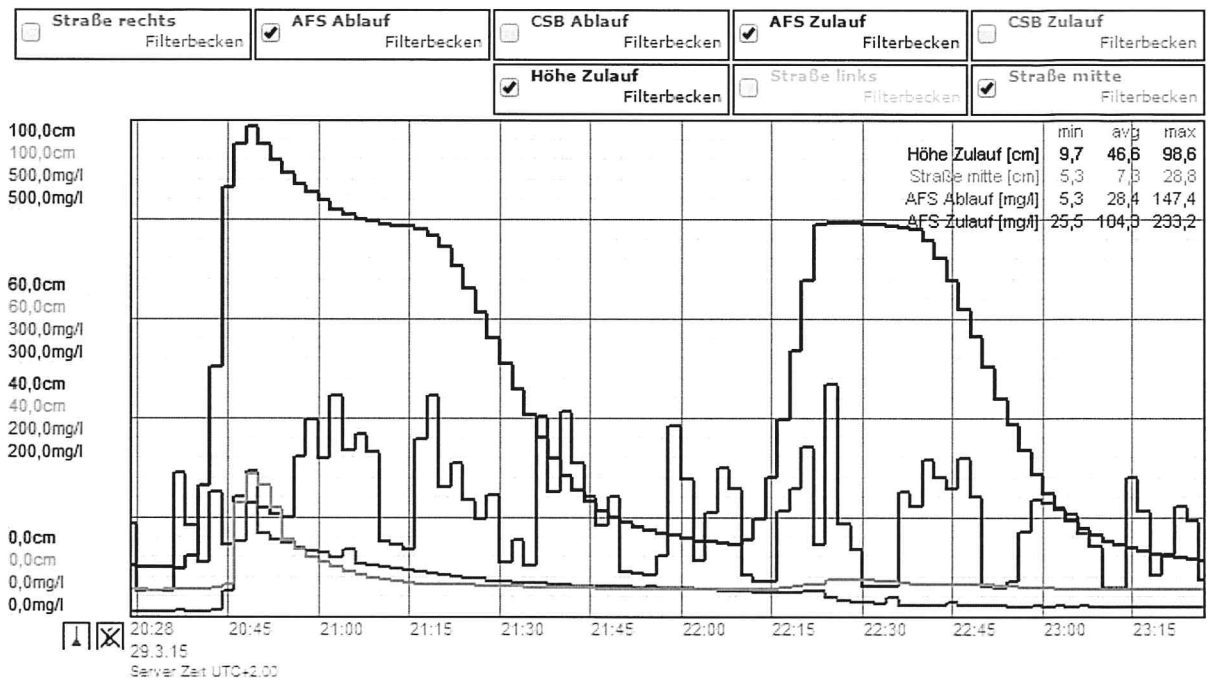
### 2.3 Messtechnik und Zuflussdrosselung

Die Filteranlage ist mit kontinuierlich aufzeichnenden Füllstandsmessern und im Zu- und Ablaufbereich mit Photometersonden ausgerüstet. Aufgrund eingeschränkter finanzieller Möglichkeiten konnte keine Durchflussmessung installiert werden. Hier wäre aufgrund der komplexen Bedingungen eine aufwändige MID-Messung erforderlich gewesen. Weiterhin ließ das Projektbudget auch keine fortlaufende Beprobung der Zu- und Abflüsse zu, so dass lediglich für Einzelereignisse eine Beprobung durchgeführt werden konnte.

Da keine Durchflussmessung und keine Durchflussdrosselung erfolgten, wurde der Durchfluss im Verlauf des Betriebs von der Durchlässigkeit des Filters bestimmt. Unmittelbar nach Inbetriebnahme einer neuen Filterschüttung ist der  $k_r$ -Wert vergleichsweise hoch und damit die Durchlässigkeit hoch. Über einen mehrwöchigen Zeitraum passieren aufgrund der anfangs geringen hydraulischen Widerstände höhere Volumenströme den Filter als der behandlungspflichtige Abfluss. Dieser muss schließlich auch zum Ende der Betriebsdauer noch behandelt werden. Die anfangs höhere Durchlässigkeit des Filters ist prinzipiell ein Vorteil, da so ein höherer Volumenstrom behandelt werden kann. Jedoch ist davon auszugehen, dass gerade in der Einfahrphase der Filter durch stärkere Regenereignisse mit einem höheren Anteil an Grobstoff beaufschlagt wird. Der größere Volumenstrom ist auch mit einer höheren Fließgeschwindigkeit und damit einer verschlechterten Sedimentationsleistung vor bzw. unter dem Filter verbunden. So wird der Filter möglicherweise mit Grobstoffen beladen, die auch durch Sedimentation abgetrennt werden könnten. Hierdurch reduziert sich die Reinigungsleistung bezogen auf das behandelte Volumen und auch die Standzeit des Filters. Eine Verlängerung der Standzeit wäre durch eine Zulaufdrosselung möglich.

In Bild 3 sind beispielgebend die kontinuierlich erfassten und überwachten Messdaten dargestellt. Neben dem Füllstand im Zulaufbereich wurden die Füllstände in den einzelnen Filterstraßen sowie die

Äquivalenzwerte für AFS ( $AFS_{\text{Äq}}$ ) im Zu- und Abfluss aufgezeichnet. Das Bild entspricht einem Ausschnitt aus dem online abrufbaren Messdatenserver. Die Höhe des Füllstands vor dem Filter in Abhängigkeit vom Zulaufvolumenstrom (schwarze Kurve) lässt Rückschlüsse auf die Durchlässigkeit des Filters zu. Sinkt der Füllstand im Zuflussbereich relativ rasch ab (Ausgleich des hydraulischen Gradienten), so ist die Filterdurchlässigkeit gewährleistet.



**Bild 3: Kontinuierliche Messdatenerfassung im Zu- und Ablaufbereich (Darstellung Messdatenserver)**

### 3 Projektverlauf und Betriebserfahrungen

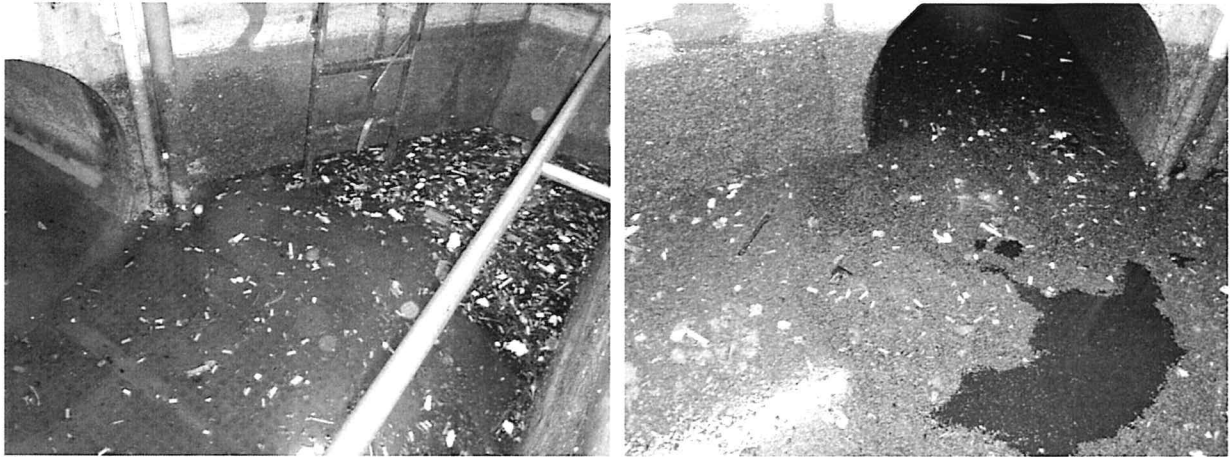
Die Untersuchungen des TRF Fleute durch die FH Münster und die Dr. Pecher AG erfolgte über den Zeitraum von Oktober 2013 bis August 2017. Das Filtermaterial wurde in dieser Zeit in Abhängigkeit von systembedingten Einflüssen angepasst und ausgetauscht. Dementsprechend unterteilen sich die Untersuchungen in vier Betriebsphasen:

- ▶ Betriebsphase I: 15.05.2014 bis 09.07.2015
- ▶ Betriebsphase II: 09.07.2015 bis 13.05.2016
- ▶ Betriebsphase III: 13.05.2016 bis 22.11.2016
- ▶ Betriebsphase IV: ab 22.11.2016

Neben witterungsbedingten Einflüssen zählen die nutzungsspezifischen Oberflächenabflussverunreinigungen zu den Herausforderungen für eine Regenwasserbehandlungsanlage. Der Filter ist für Regenwasserzuflüsse mit eingeschränkten organischen Verunreinigungen ausgelegt. In der Betriebsphase I stellte sich heraus, dass maßgebliche Verunreinigungen durch Fehleinleitungen bereits nach wenigen Wochen zu einer beschleunigten Kolmation führten. Im Oktober 2015 kam es aufgrund der eingeschränkten Durchlässigkeit bereits durch den Fremdwasserzufluss zu einem ständigen Einstau mit Abschlag über die Überlaufschwelle. Vermutlich hat der hohe Anteil organischer Inhaltsstoffe zu einer Kolmation des Filters geführt und die Durchlässigkeit stark reduziert. Die hohe stoffliche Belas-



tung des Filtersystems wird exemplarisch durch Bild 4 dokumentiert. Auch wenn der Einfluss des Schmutzwasserzuflusses durch Fehleinleitungen im Rahmen des Pilotvorhabens nicht eindeutig zu quantifizieren war, zeigte sich nach der Beseitigung der Fehleinlässe eine erstaunliche Entwicklung. Trotz anhaltender Fremdwasserzuflüsse sank ab Januar/Februar 2015 der Wasserspiegel nach Regenereignissen wieder deutlich ab. Die Gründe für diese Entwicklung sind nicht nachzuweisen. Möglicherweise haben die hohen organischen Abwasserinhaltsstoffe der Fehleinleitungen eine Biofilmbildung im Filter hervorgerufen. Die Abnahme der Temperatur im Winter könnte den Biofilm geschwächt haben und dadurch stellte sich im Januar die Durchlässigkeit des Filters ohne Eingriffe am System wieder ein.



**Bild 4:** Zulaufsituation am 14.08.2014 (linkes Foto) und am 18.08.2014 (rechtes Foto)

In den folgenden Betriebsphasen wurden der Filteraufbau und das Filtermaterial variiert. Dabei wurden folgende Einflüsse und Ziele berücksichtigt:

- ▶ Hoher Rückhalt feinpartikulärer Stoffanteile (AFS63)
- ▶ Rückhalt partikulär gebundener und gelöst vorliegender Schwermetalle
- ▶ Resistenz des Filtermaterials gegenüber Zuflüssen mit niedrigem pH-Wert
- ▶ Möglichste lange Laufzeiten zur Reduktion des betrieblichen Aufwandes
- ▶ Stabiles Betriebsverhalten auch bei Abwasserinhaltsstoffen durch Fehleinleitungen

Die Anforderungen an die Betriebsstabilität und die Wirkung von Filtern zur Regenwasserbehandlung sind komplex (Grüning und Schmitz, 2017). Es zeigte sich, dass neben dem Filtermaterial selbst auch der Einbau die Wirkung des Filters beeinflusst. So löste sich während der Betriebsphase II eine Lage des Calcium-Silikates teilweise auf und musste ausgetauscht werden. Hierbei müssen standortspezifische Besonderheiten vorgelegen haben, denn das betroffene Material wird häufig in den dezentral angeordneten Schachtanlagen der Pecher Technik GmbH eingesetzt, ohne dass vergleichbare Bedingungen zu beobachten sind. Erforderliche Erfahrungen beim Einbau zeigt die Situation während der Betriebsphase III. Hier fand bereits wenige Tage nach dem Einbau des Filtermaterials die Absenkung der Füllstände durch hydrostatischen Druckausgleich im Filter nur verzögert statt. Es stellte sich heraus, dass die Filtermatten beim Festziehen der Auftriebssicherung zu stark komprimiert wurden. Dies führte zu einer nachlassenden Durchlässigkeit.

Der erhebliche Rückhalt an partikulären Stoffen der Filteranlage zeigte sich bei den jeweiligen Filterwechseln. Bild 5 zeigt exemplarisch die Ausbaubedingungen nach Betriebsphase I am 07.07.2015. Nach dem Ausbau der Filterlagen wurde der der Schlamm aus der Sedimentationskammer und den drei Straßen entfernt. Es wurden ca. 4 m<sup>3</sup> Schlamm (1,5 m<sup>3</sup> Sedimentationsraum im Zulaufbereich und 2,5 m<sup>3</sup> unter den Filterstraßen) abgesaugt.



**Bild 5: Ausbau des stark verunreinigten Filtermaterials und Entleerung des Sedimentationsraumes am 07.07.2015**

## 4 Wesentliche Erkenntnisse

### 4.1 Systemoptimierung und betriebliche Aspekte

Die wesentlichen Ziele des Projektes waren die Begleitung der ersten Betriebsjahre des TRF Fleute, um mögliche betriebliche Optimierungen zu testen und konstruktive Optimierungen für künftige Anlagen zu entwickeln. Die Eignung des technischen Filtersystems sollte dabei insbesondere unter folgenden Bedingungen untersucht werden:

- ▶ Ständiger Fremdwasserzufluss
- ▶ Oberflächenabflüsse von Flächen der Kategorien I bis III
- ▶ Begrenzte Platzanforderungen in eng strukturierten urbanen Räumen

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. 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 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 Energie & Wasser AG schätzen den Aufwand im Vergleich zu einem Retentionsbodenfilter als deutlich geringer ein. Die Filteranlage wird von der Betriebsabteilung positiv bewertet. Weitere vergleichbare Anlagen werden akzeptiert. Die Mitarbeiter des Betriebs sind an der Konzeption eines weiteren Filters aktiv beteiligt.

Im Rahmen des Projektes wurden eine Reihe konstruktiver Optimierungsmöglichkeiten erkannt und entwickelt, die dazu beitragen, den betrieblichen Aufwand bei künftigen Filtern deutlich zu reduzieren bzw. zu vereinfachen. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der entwickelten Maßnahmen dazu beiträgt, die Filterwirkung deutlich zu steigern.

Zur **Optimierung des Filters** (Filtermaterial und Filteraufbau) zählen folgende Maßnahmen:

- ▶ Vermeidung von Umläufigkeiten, u. a. durch regelmäßige Kontrolle der Befestigungselemente zur Auftriebssicherung
- ▶ Verwendung von Gitterrosten mit geringerer Stegdicke
- ▶ Vereinfachung des Filtereinbaus und des Filterwechsels durch Verwendung loser Schüttgüter

Zur konstruktiven **Optimierung des Bauwerkes** zählen folgende Maßnahmen:

- ▶ Verbesserung der Zugangsmöglichkeiten durch größere Montageöffnungen
- ▶ Gestaltung des Arbeitsraums (Höhe des Arbeitsraumes)
- ▶ Ausreichendes Gefälle in den Schlamm-sammelräumen
- ▶ Zusätzliche mechanische Rückhaltemaßnahmen zum Rückhalt der Stoffe > 63 µm zur Maximierung der Filterstandzeit
- ▶ Vermeidung von Sedimentation auf dem Filter durch Umleitung des Entlastungsabflusses
- ▶ Zuflussregulierung zur Vermeidung überproportional hoher Durchflüsse gerade zu Beginn der jeweiligen Betriebsphase
- ▶ Verhinderung des Lichteinfalls zur Vermeidung von Algenbildungen
- ▶ Verzicht auf Durchdringungen der Filterfläche zur Reduzierung von Umläufigkeiten

Die Erfahrungen haben gezeigt, dass grundsätzlich mit organischen Belastungen durch fehlgeschlossene Schmutzwasserleitungen zu rechnen ist. Hier sind vor Inbetriebnahme des Filters entsprechende Maßnahmen zur Detektion und Beseitigung erforderlich. Ein Vorteil des Filters ist, dass derartige inakzeptable Bedingungen bemerkt und abgestellt werden können. Bei einem klassischen RKB führen Schmutzwasserfehleinleitungen nicht zwangsläufig zu Betriebsproblemen und verursachen damit mit hoher Wahrscheinlichkeit langfristig entsprechende Gewässerbelastungen. Weiterhin hat sich gezeigt, dass bei der Auswahl des Filtermaterials und des Filteraufbaus lokale Einflüsse zu berücksichtigen sind. Bei Zuflüssen mit niedrigem pH-Wert kann sich möglicherweise kalkhaltiges Material auflösen.

Um den Betriebsaufwand zu reduzieren, sollten alle Filterschichten als lose Schüttung eingebracht werden. Dadurch ist gewährleistet, dass beim Materialaustausch das erschöpfte Filtermaterial vom Saugfahrzeug aufgenommen werden kann. Mit den körnigen Schüttungen der unteren Lagen ist dies problemlos möglich.

## 4.2 Partikel- und Schwermetallrückhalt

Schwerpunkt der Untersuchungen dieses Projektes zur Untersuchung technischer Filter war nicht die Optimierung des Stoffrückhaltes. Entsprechende Untersuchungen sind in Folgeprojekten vorgesehen. Im Rückhalt feinpartikulärer und gelöster Stoffe liegt allerdings der besondere Vorteil von Filtersystemen. Künftige Anforderung an Niederschlagswasserbehandlung, beispielsweise durch das Arbeitsblatt DWA-A 102, ist der Rückhalt der Feinfraktion abfiltrierbarer Stoffe (AFS63). Vor diesem Hintergrund sind weitere Untersuchungen mit unterschiedlichen Filterwerkstoffen und Materialkombinationen sinnvoll. Bislang noch weitgehend ungeklärt ist der Rückhalt gelöster Schwermetalle, die möglicher-

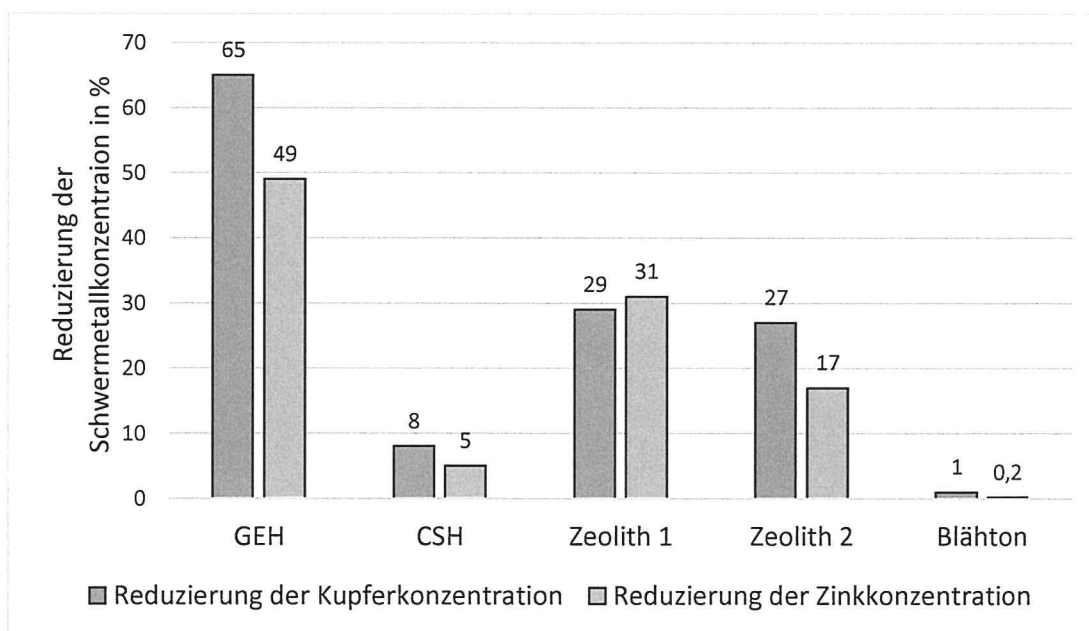
weise in bislang unterschätztem Umfang zur Schädigung der aquatischen Ökosysteme beitragen. Neben den verwendeten Filtermaterialien spielt hier sicherlich die Interaktion mit den übrigen Inhaltsstoffen im Niederschlagswasser, die sich im Laufe des Filterbetriebs an das Filtermaterial anlagern, eine wesentliche Rolle. Hierzu sind im Rahmen von Laborversuchen nur unzureichende Erkenntnisse zu gewinnen.

Orientierende Untersuchungen zum Feststoffrückhalt sind im Rahmen des Projektes bereits im Labormaßstab durchgeführt worden. Basierend auf diesen Untersuchungen wurde der Filteraufbau in Betriebsphase II optimiert. Zum Einsatz kam jedoch nicht das wirksamste Material. Stattdessen wurde versucht einen optimalen Kompromiss zwischen Wartung und Wirkung des Filters zu gewährleisten.

Bei weiterführenden Versuchen wurde der Filteraufbau auch in Bezug auf den Schwermetallrückhalt untersucht. Hierbei kamen die folgenden Substrate zum Einsatz:

- ▶ GEH (Körnung 2 bis 4 mm)
- ▶ Calcium-Silikat (Körnung 10 bis 20 mm)
- ▶ Blähton (Körnung 2 bis 10 mm)
- ▶ Zeolith 1 (Körnung 8 bis 10 mm) und Zeolith 2 (Körnung 8 bis 16 mm)

Die Untersuchungen zum Schwermetallrückhalt erfolgten in Filtersäulen. Die Schütthöhe in den Filtersäulen betrug jeweils 10 cm. Anschließend wurden die Säulen jeweils 20 min mit einem Volumenstrom von 1,13 l/min beschickt. Mit der gewählten Regenspende von 6 l/s · ha (basierend auf einem Modellfilter mit 0,37 ha Anschlussfläche pro m<sup>2</sup> Filterfläche) ist ein Großteil der üblichen Regenspenden abgedeckt (mittlere Regenspende beträgt 3 bis 5 l/s · ha (DWA-M153, 2012)). Die Probenahme erfolgte nach Austausch des 1,5-fachen Säulenvolumens mit insgesamt drei Einzelproben über die verbleibende Versuchszeit. Die Ergebnisse dieser Messreihe zeigt Bild 6.



**Bild 6: Reduzierung der Schwermetallkonzentration unterschiedlicher Filtersubstrate bei einer Regenspende von 6l/s · ha**

Bereits mit 10 cm Schütthöhe konnten für GEH und die beiden getesteten Zeolithe gute Schwermetalladsorptionen gemessen werden. Blähton ist für die Adsorption von Schwermetallen ungeeignet. Zu berücksichtigen ist allerdings auch, dass aufgrund der unterschiedlichen Körnung der getesteten

Substrate auch unterschiedliche Kontaktmöglichkeiten des durchfließenden Wassers mit den Filteroberflächen resultieren. Zur weiteren Optimierung des Filteraufbaus sollte im nächsten Schritt das Verhalten der Substrate bei Zuflüssen bis zu  $Q_{krit}$  untersucht werden. Außerdem ist bei künftigen Untersuchungen zu quantifizieren, welcher maximale Rückhalt möglich ist und welche Rückhaltekapazitäten bei Aufbau des Filters mit unterschiedlichen Substraten vorliegen. Der Grad der Schwermetallreduzierung hängt im Wesentlichen von drei Parametern ab:

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

Das eingesetzte Filtermaterial und die verbaute Schütthöhe sind variabel. Das macht ein Filterbauwerk flexibel. Es kann jederzeit an wechselnde Betriebsbedingungen angepasst werden, wodurch gewährleistet ist, dass der Wirkungsgrad immer den aktuellen Anforderungen und Erkenntnissen entspricht.

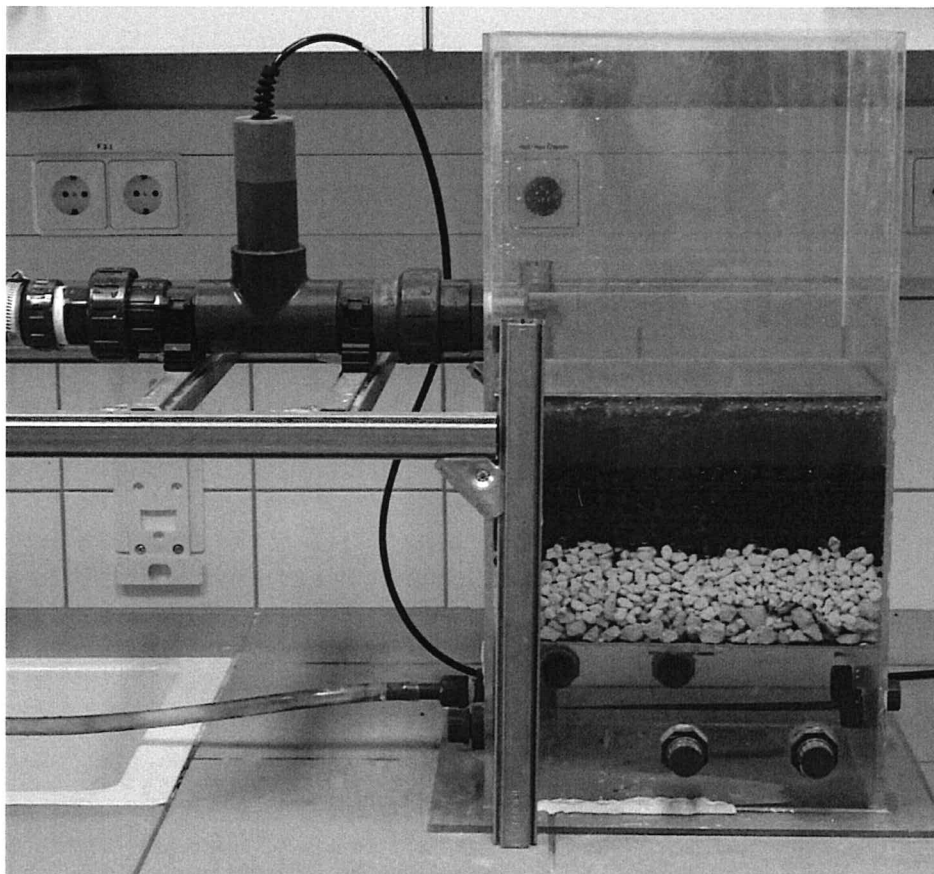
Ein maßgebliches Kriterium zur Bewertung des Filters ist die Aufnahmekapazität an feinstpartikulären Feststoffen. Die Wirkung des Filters wurde zusätzlich in einer Laboranlage (Bild 7) mit dem Quarzmehls Millisil W4, untersucht. Dazu wurde der Filteraufbau der Betriebsphase II über einen mehrstündigen Zeitraum mit einem Millisil-Wasser-Gemisch mit  $Q_{krit}$  beaufschlagt. Die Messungen mit Filter führten in der Anfangsphase zu einem Rückhalt an Feinstpartikeln von über 31 %. Bei kontinuierlicher Beaufschlagung nahm die Ablaufkonzentration sukzessive zu, bis nach 10 Stunden kaum noch eine Rückhaltewirkung messbar war. Allerdings kolmatierte der Filter durch die Beaufschlagung mit Feinstpartikeln 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. 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  $\mu\text{m}$  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.

Diese Ergebnisse mit synthetischer Beladung durch Millisil sind 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 und weiter bis zur vollständigen Kolmation ermittelt worden. Weiterhin setzte sich Millisil aufgrund der hohen Dichte rasch ab. Auch bei gezielt herbeigeführter Turbulenz im Zuleitungssystem zum Filter kommt es bereits zu nennenswerten Absetzprozessen. Insofern ist nachvollziehbar, dass reine Sedimentationsanlagen zur dezentralen Regenwasserbehandlung bei der Prüfung mit Millisil nennenswerte Rückhaltewirkungen aufweisen.

Wie die Untersuchungen zeigen, ist Millisil nur eingeschränkt geeignet, um den Rückhalt von Regenwasserbehandlungsanlagen zu testen. Wie groß der Rückhalt feinstpartikulärer 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 Ansied-

lung 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.

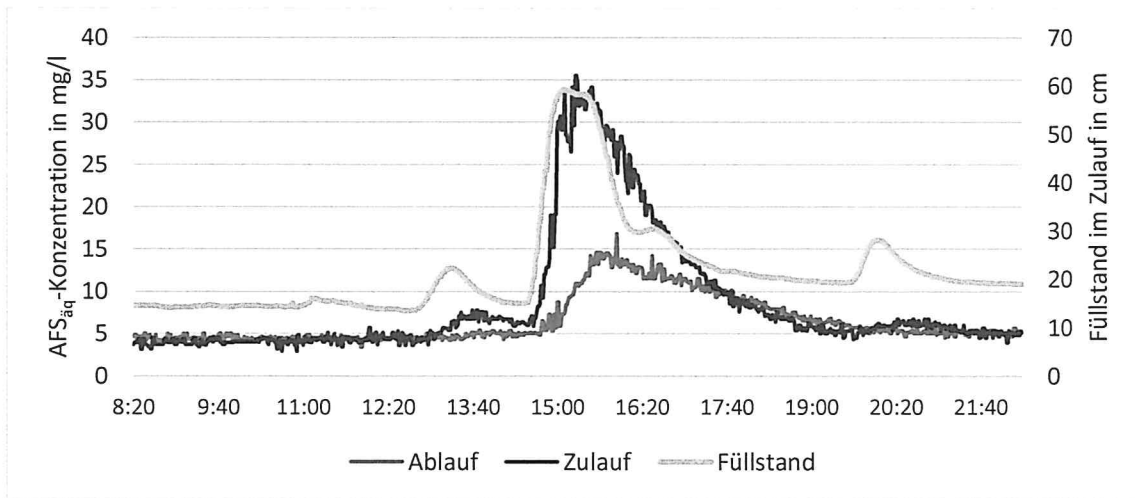
Vergleichende Untersuchungen zum Stoffrückhalt in einem Regenklärbecken und in einem Filterschacht (System FiltaPex) führten Grüning et al. (2010) durch. Der mittlere Feststoffrückhalt unter Praxisbedingungen für mehrere Regenereignisse lag für das Regenklärbecken bei 27 % und für den Filterschacht bei rund 70 %. Der Vergleich dieser Ergebnisse belegt, dass bei Untersuchungen mit Millisil die Rückhaltewirkung unrealistisch hoch ist. Hinzu kommt, dass der Anteil an AFS<sub>63</sub>, der in Millisil bei fast 50 % liegt und zudem vom stark schwankenden AFS<sub>63</sub>-Anteil in Straßenkehricht deutlich abweichen kann. Diesen Sachverhalt belegen u. a. Auswertungen von Dierschke und Welker (2015).



**Bild 7: Modellfilter im Labor für Urbanhydrologie und Wasserversorgung**

Die kontinuierlichen Messungen mit den Photometersonden (AFS<sub>aq</sub>) zeigten, dass die gemessene Zulaufkonzentration sowohl für die Maximalwerte, als auch für die mittlere Konzentration, unterhalb üblicher Literaturwerte liegen. 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. Exemplarisch zeigt Bild 8 Messdaten für ein Regenereignis vom 07.02.2017. Im Zulauf wurde in der Spitze eine AFS<sub>aq</sub>-Konzentration von etwa 35 mg/l gemessen werden. Diese wurde mit einer Verzögerung von ca. 25 min im Ablauf mit etwa 15 mg/l gemessen. Weiterhin ergaben

aktuelle Untersuchungen zu mittleren AFS-Konzentrationen größerer Einzugsgebiete ebenfalls vergleichsweise geringe Konzentrationen (Fuchs und Eyckmanns-Wolters, 2016). Die Ursachen dafür sind noch nicht umfassend erklärbar. Die Messungen mit den Photometersonden zeigen die qualitativen Verläufe zufriedenstellend an. Eine unmittelbare Übertragbarkeit der Messdaten für AFS<sub>aq</sub> auf AFS<sub>63</sub> kann aber nicht abgeleitet werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.



**Bild 8:** AFS<sub>aq</sub>-Konzentrationen im Zu- und Ablauf des Filters "In der Fleute" am 07.02.2017

### 4.3 Fazit und Ausblick

Mit den vorliegenden Ergebnissen ist ein erster Schritt in Richtung „Regenwasserfiltration im zentralen Maßstab“ erfolgt. Vor dem Hintergrund jahrzehntelanger Entwicklungen und Erfahrungen mit der Regenwasserbehandlung in Sedimentationsbecken, die nur eingeschränkt wirken, kann nicht erwartet werden, dass eine Filteranlage innerhalb kürzester Zeit zu einem System mit uneingeschränkter Betriebsstabilität und hohem Stoffrückhalt entwickelt wird. Weiterhin müssen bei der Systementwicklung technischer Regenwasserfilter vergleichbare Untersuchungs- und Entwicklungsaufwendungen akzeptiert werden, wie bei den inzwischen etablierten Retentionsbodenfiltern.

Ein häufiger Diskussionspunkt sind die Laufzeiten des Filters. In der Vergangenheit wurden Zeiträume von etwa einem Jahr diskutiert. Erfahrungen mit klassischen RKB zeigen, dass auch hier Reinigungsintervalle von wenigen Monaten vorkommen können, so dass durchaus drei- bis viermal pro Jahr eine Beckenentleerung erforderlich ist. Bei einem wirksamen Filter mit Feinstpartikelrückhalt sollten ähnliche Laufzeiten in Abhängigkeit der zugeführten Schmutzfracht diskutiert werden können.

Auf der Basis der vorliegenden Erkenntnisse sind nun weitere Entwicklungen erforderlich. Mit diesen Systemen besteht dann die Möglichkeit, auch in engen urbanen Räumen, wirksam und mit akzeptablem Betriebsaufwand, verunreinigte Oberflächenabflüsse zu behandeln.

## 5 Literatur

Dierschke M. und Welker A. (2015) Bestimmung von Feststoffen in Niederschlagsabflüssen. gwf-Wasser/Abwasser Nr. 4, S. 440 bis 446

Bihs H.-J., Sommer U. Kiesewetter L. (2015) Entwicklung eines Filterklärbeckens (FKB) zur zentralen Behandlung von belastetem Niederschlagswasser. Bericht zum Forschungsvorhaben der Wirtschaftsbetriebe Hagen, Hagen, Dezember 2015

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

Gaspar, 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

Grüning H., Giga A. und Quarg-Vonscheidt J. (2010) Vergleichende Gegenüberstellung von Regenklärbecken und dezentralen Regenwasserbehandlungssystemen. Tagungsunterlagen der DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Wasser und Abfall e.V., 9. Regenwassertage am 8./9. Juni 2010 in Bremen

Grüning H. und Schmitz T. (2017) Regenwasserfiltration in technischen Anlagen. 5. Wassertage Münster, Institut für Wasser · Ressourcen · Umwelt, 21./22. Februar 2017, Tagungsband (ISBN: 978-3-938137-93-2), S. 75 bis 92