

Erfahrungen aus Praxisuntersuchungen eines dezentralen Behandlungssystems zur Reduktion von Kohlenwasserstoffen und organischen Spurenstoffen aus Verkehrsflächenabflüssen

Andreas Vesting¹⁾, Maximilian Huber²⁾, Andreas Giga³⁾,
Brigitte Helmreich²⁾, Marc Wichern¹⁾

¹⁾ Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik Fakultät für Bau- und
Umweltingenieurwissenschaften Ruhr-Universität Bochum

²⁾ Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Siedlungswasserwirtschaft,
Technische Universität München, Garching b. München

³⁾ Dr. Pecher AG, Erkrath

Kurzfassung

In dem Forschungsvorhaben „Reduktion von Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Spurenstoffen durch ein dezentrales Behandlungssystem für Verkehrsflächenabflüsse“, welches vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert wird, soll als Gesamtziel ein im Labor entwickeltes Verfahren zur Reduktion von Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Spurenstoffen aus Verkehrsflächenabflüssen im großtechnischen Maßstab betrieben werden. Die großtechnische Praxiserprobung des entwickelten Filteraufbaus erfolgt an zwei FiltaPex-Standorten in Nordrhein-Westfalen und für unterschiedlich belastete Oberflächenabflüsse. In Hinblick auf die Praxiserprobung wird neben der Entwicklung einer neuen Filterschicht zum Rückhalt organischer Spurenstoffe zusätzlich eine Verbesserung des Rückhaltes partikulär gebundener organischer Stoffe angestrebt. Es wurden Qualitätsuntersuchungen zum Langzeitverhalten der verbesserten dezentralen Behandlungsanlage hinsichtlich Betriebsstabilität und benötigten Wartungsintervallen durchgeführt. Zusätzliche Untersuchungen der in-situ-Filtermaterialien erfolgten im Labor, um weitere Erkenntnisse zum Rückhaltevermögen des Filters sowie Aussagen zum Vergleich von in-situ-Messungen und Laboruntersuchungen zu ermöglichen.

1 Veranlassung und Zielsetzung

Niederschlagswassereinleitungen stellen eine wesentliche Quelle von Gewässerbelastungen dar [UBA, 2005]. Verkehrsflächenabflüsse sind neben Schwermetallen [Helmreich et al., 2010] mit organischen Schadstoffen wie Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW), Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), Ethyl-tert-butylether (ETBE) und Methyl-tert-butylether (MTBE) verunreinigt [Borden et al., 2002; Welker, 2005/2014]. Daher müssen in Nordrhein-Westfalen (NRW) aufgrund des Trennerlasses Verkehrsflächenabflüsse vor dem Einleiten in das Grundwasser oder in Oberflächengewässer vorbehandelt werden, um den Eintrag dieser Stoffe in die Gewässer zu vermeiden bzw. zu minimieren [MUNLV, 2004]. Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes, das vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen finanziell gefördert wird (IV-7-042 600 002E), wird ein bestehendes Filterschachtsystem weiterentwickelt, um neben Schwermetallen auch organische Stoffe aus stark belasteten Verkehrsflächenabflüssen zurückzuhalten und im Praxisbetrieb evaluiert. Ziel der Untersuchungen ist es, Erkenntnisse zum Kurz- sowie zum Langzeitverhalten der Behandlungsanlage (Betriebsstabilität, Kontroll- und Wartungsintervalle sowie Schadstoffrückhalt und Remobilisierung) zu gewinnen.

2 Anforderungen an die Niederschlagswasserbehandlung im Trennsystem in Nordrhein-Westfalen

Die Anforderungen an die Niederschlagswasserbehandlung im Trennsystem werden in NRW durch den Runderlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 26.05.2004 (Trennerlass) geregelt [MUNLV, 2004]. Die Beurteilung der Behandlungsbedürftigkeit des Niederschlagswassers erfolgt in Abhängigkeit vom Verschmutzungsgrad der an die Einleitungsstelle angeschlossenen Flächen, die in Abhängigkeit von der zu erwartenden Belastung in drei Kategorien unterteilt werden:

- Kategorie I: Unbelastetes (unverschmutztes) Niederschlagswasser (NW)
- Kategorie II: Schwach belastetes (gering verschmutztes) NW
- Kategorie III: Stark belastetes (verschmutztes) NW

Die Einteilung der drei Kategorien erfolgt anhand der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) und ist in Abb. 1 wiedergegeben.

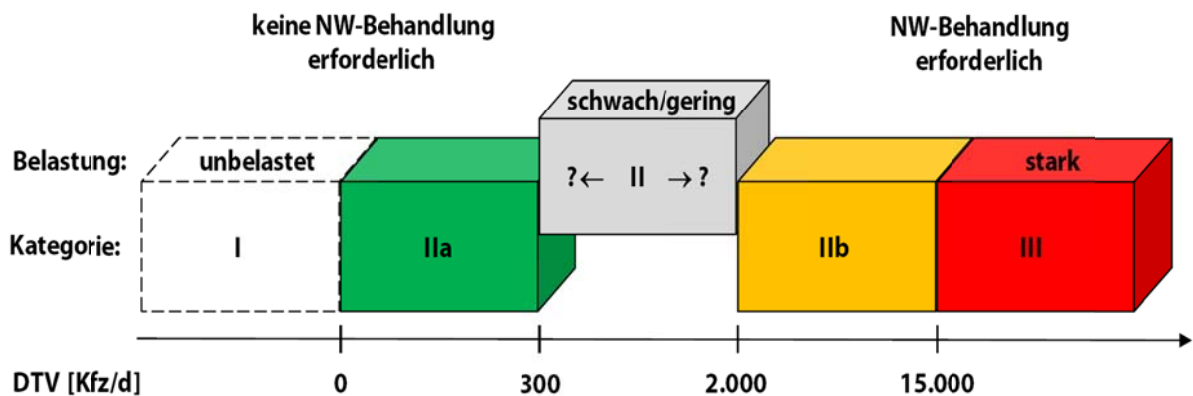


Abb. 1: Kategorisierung des Herkunftsbereiches nach der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) [Feldhaus et al., 2009].

Hierbei wird gemäß DWA-M 153 [DWA, 2007] angenommen, dass Niederschlagsabflüsse bis zu einer Verkehrsstärke von 300 Kfz/d nur „gering belastet“ sind und daher laut Trennerlass der Kategorie IIa zugordnet werden können. Niederschlagsabflüsse der Kategorie IIa, wie etwa in Wohngebieten, dürfen – wie die der Kategorie I – ohne Behandlung in Gewässer eingeleitet werden. Die Zuordnung von Verkehrsflächen mit einer Verkehrsstärke zwischen 300 Kfz/d bis 2.000 Kfz/d in die Kategorie IIa oder IIb erfolgt in einer Einzelfallbetrachtung unter Berücksichtigung des Verschmutzungs- sowie Gefährdungspotentials [Feldhaus et al., 2009].

Für Verkehrsbelastungen zwischen 2.000 Kfz/d und 15.000 Kfz/d wird aufgrund des als „mittel“ einzustufenden Verschmutzungspotentials davon ausgegangen, dass die Verkehrsfläche der Kategorie IIb zugeordnet wird und eine Behandlung des Niederschlagsabflusses (bspw. dezentrale Behandlungsmaßnahme) erforderlich ist. Flächen mit einer Verkehrsstärke oberhalb von 15.000 Kfz/d werden als stark belastet betrachtet und müssen einer Abwasserbehandlung gemäß Anlage 2 Trennerlass bzw. einer Kläranlage zugeführt werden [MUNLV, 2004].

Für dezentrale Behandlungsanlagen mit anschließender Einleitung in ein Oberflächengewässer gibt es derzeit noch keine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt). In NRW müssen daher die Anlagen einzeln genehmigt werden. Für die Genehmigung von dezentralen Systemen zur Behandlung von stofflich belasteten Verkehrsflächenabflüssen ist laut Trennerlass eine Vergleichbarkeit mit zentralen Anlagen hinsichtlich des Schadstoffrückhalts sowie des dauerhaften Betriebs nachzuweisen [MUNLV, 2004; MKULNV, 2012].

Diese Vergleichbarkeit gemäß Trennerlass ist gegeben, wenn das dezentrale Behandlungssystem einen Rückhalt von mindestens 50 % des Feinanteils der Abfiltrierbaren Stoffe (AFS_{fein}) von $< 63 \mu\text{m}$ gewährleistet und betriebliche Untersuchungsergebnisse eine Vergleichbarkeit mit einem Regenklärbecken ohne Dauerstau bescheinigen [LANUV, 2012]. Die Grundlage hierfür bilden Laborversuche zum grundsätzlichen Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit sowie Untersuchungen hinsichtlich des Stoffrückhalts. Des Weiteren stellen in-situ-Untersuchungen mit einer Betriebsüberwachung der dezentralen Anlagen von mindestens einem Jahr den zweiten wesentlichen Teil der Genehmigung dar [LANUV, 2012]. Unter anderem gilt es, die Auswirkungen der unterschiedlichen Witterungs- und Gebietseinflüsse an einem Standort auf die Anlage zu erfassen und die hydraulische Leistungsfähigkeit des behandlungspflichtigen Anteils bei einem Q_{krit} von $15 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$ zu dokumentieren. Vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW ist eine Liste mit dezentralen Anlagen veröffentlicht, die in NRW eingebaut und betrieben werden dürfen [LANUV, 2015].

3 Untersuchung zum Kurz- und Langzeitverhalten der modifizierten dezentralen Behandlungsanlage im Großmaßstab

Auf Grundlage gewonnener Erkenntnisse aus einer vorangegangenen ersten Projektphase [Wichern et al., 2012; Vesting et al., 2015] wurde exemplarisch für das FiltaPex-System (Abb. 2) ein mehrschichtiger Filter für den Rückhalt von organischen Spurenstoffen sowie Schwermetallen konzipiert und in zwei großtechnische Anlagen in Wuppertal und Mönchengladbach eingebaut. Nach einer Sedimentation von Partikeln wird ein Filter aufwärts durchströmt. Der modifizierte Filter (Gesamthöhe 40 cm) setzt sich zusammen aus Schichten von Porenbeton, Braunkohlekoks (HOK), Aktivkohle (AK) sowie Aluminiumoxid (Sorp2). Hierbei werden die Materialien, verpackt in den FiltaPacks bzw. als lose Schüttung (HOK und AK) zwischen zwei Edelstahl-drahtgeweben gehalten.

Um den Rückhalt der FiltaPex-Systeme während des Betriebs zu beurteilen, wird das dezentrale System an beiden Standorten mittels automatischer Probenehmer (Liquiport 2000 Ex, Endress+Hauser) durchflussgesteuert im Zu- und Ablauf des Filters beprobt. Die Proben werden auf AFS, MKW, PAK und MTBE/ETBE sowie Kupfer und Zink untersucht. Die Daten der Durchflussmessung sowie der Wasserstandsonden auf der Zu- und Ablaufseite werden online übertragen und ermöglichen somit

jederzeit die Kontrolle der Filterdurchlässigkeit (Abb. 4b). Ein in der Nähe aufgestellter Regenschreiber, der ebenfalls an die Datenfernübertragung angeschlossen ist, liefert Informationen zu Regendauer und Regenintensität.

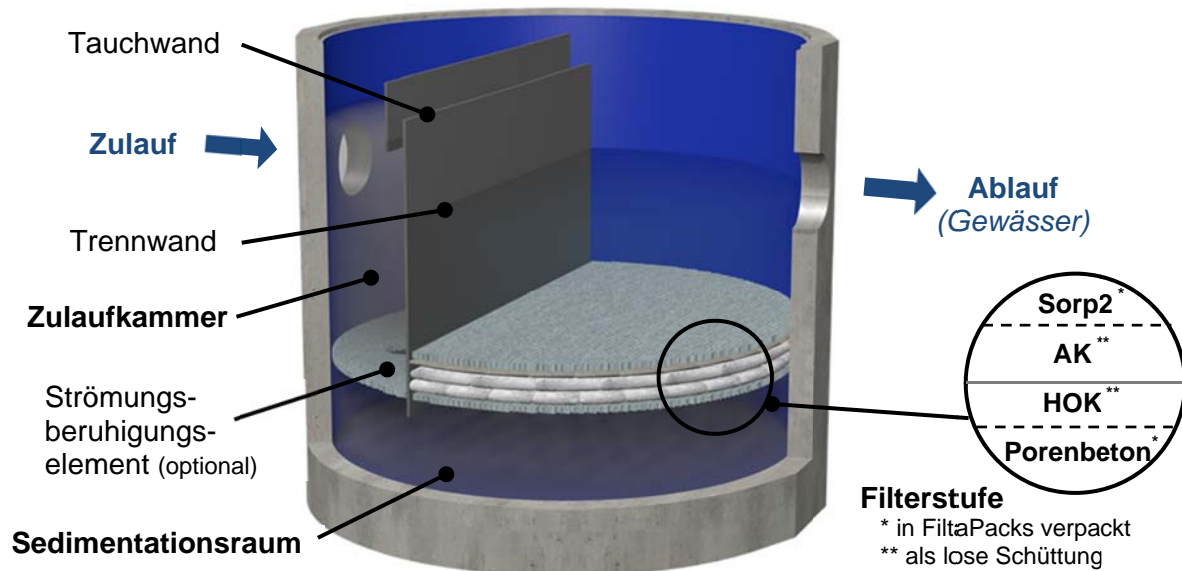


Abb. 2: Skizze des FiltaPex-Systems (Quelle: Pecher Technik GmbH).

Tab. 1: Übersicht der untersuchten Standorte – Einzugsgebiet, technische Daten.

	Wuppertal, Ronsdorfer Straße	Mönchengladbach, Mittlerer Ring
Kfz-Belastung	ca. 20.600 Kfz/d ¹	ca. 9.500 Kfz/d ²
Mittlerer Niederschlag	ca. 1.200 mm/a	ca. 800 mm/a
Kategorie der Straße gemäß Trennerlass:		
A _{e,b} Kat I	0,04 ha	0,01 ha
A _{e,b} Kat IIa	-	-
A _{e,b} Kat IIb	-	0,15 ha ³
A _{e,b} Kat III	0,95 ha	-
Q _{krit}	14,4 l/s	2,0 l/s
FiltaPex-System	BE-2200	BE-2200
Filterfläche	2,5 m ²	2,25 m ²

¹ Daten der Verkehrsbelastung aus dem Jahr 2005 [Straßen.NRW, 2015]

² Daten der Verkehrsbelastung aus dem Jahr 2015 aufgrund eigener Erhebungen

³ Einordnung als Kat IIb-Fläche nach Verkehrszählung, ursprünglich prognostiziert als Kat III-Fläche

3.1 Standort 1 – Wuppertal, Ronsdorfer Straße

Der erste untersuchte Standort befindet sich in Wuppertal an einer stark frequentierten vierspurigen Straße L417 (Tab. 1). Das Filtersystem wurde dort über einen Zeitraum von etwa 6,5 Monaten (Juli 2014 bis Januar 2015) untersucht und beprobt. Der Standort ist gekennzeichnet u. a. durch ein sehr steiles Einzugsgebiet (Straßengefälle etwa 13,6 %) sowie durch einen sehr dichten Baumbestand im gesamten Straßenverlauf (Abb. 3a). In den angeschlossenen 21 Straßeneinläufen waren keine Schmutzfangeimer vorhanden.

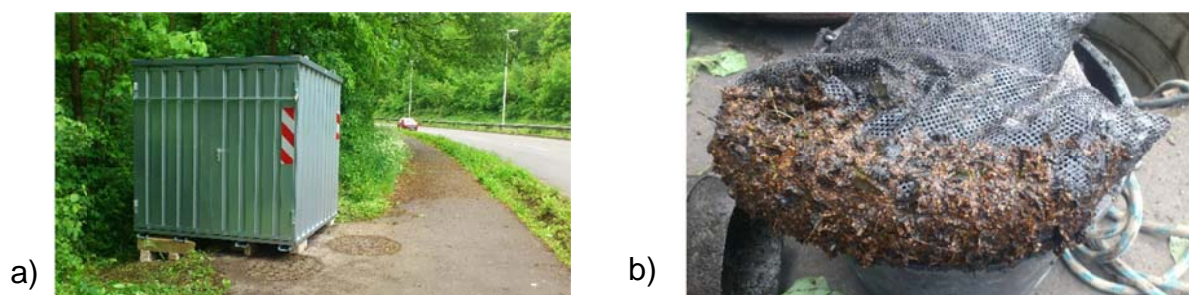


Abb. 3: a) Standort an der L417 in Wuppertal, b) Kolmation der untersten Filterlage durch Baumsamen.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden 15 Regenereignisse mit einer maximalen Regenspende von 108 l/(s·ha) beprobt. Bezogen auf die mittlere Regenspende wurden fünf Ereignisse in der Kategorie $0 < r < 4$ l/(s·ha), neun Ereignisse in der Kategorie $4 < r < 10$ l/(s·ha) sowie ein Ereignis > 10 l/(s·ha) untersucht. Insgesamt wurden 18 % des im Beprobungszeitraum gefallenen Niederschlags (ca. 400 mm) durch die Probenahme erfasst. Die gemessenen Stoffkonzentrationen sind in Tab. 2 aufgeführt.

Tab. 2: Schadstoffkonzentrationen im Anlagenzulauf am Standort 1.

Parameter	Anzahl der Proben	Einheit	Min.	Median	Mittel	Max.
AFS	14	mg/l	28,8	137	196	675
Kupfer	40	µg/l	4,0	52,6	64,1	229
Zink	42	µg/l	20,5	79,9	146	689
MKW	39	mg/l	0,1	1,0	1,4	5,9
PAK	13	µg/l	0,3	1,4	1,7	2,9
MTBE/ETBE	13	µg/l	<1			

Der hohe Feststoffeintrag durch die Vegetation und von den Randstreifen in Kombination mit der starken hydraulischen Belastung des Systems infolge des hohen Filterflächenverhältnisses sowie des steilen Gefälles führten zu einer raschen Abnahme der Filterdurchlässigkeit von anfangs $2,0 \cdot 10^{-3}$ m/s auf $3,6 \cdot 10^{-4}$ m/s am Ende der Untersuchungen. Die Standzeit des neu konzipierten Filters war an diesem Standort durch dessen hydraulische Leistungsfähigkeit begrenzt. Hinsichtlich des stofflichen Rückhalts des Filtersystems stellt sich die Auswertung zum derzeitigen Zeitpunkt schwierig dar. Aufgrund der reduzierten Filterdurchlässigkeit war mehrfach ein – wenn auch nur kurzzeitiges – Anspringen des Notüberlaufes festzustellen, das eine Bilanzierung der Regenereignisse bzw. des Gesamtrückhaltes erschwert. Des Weiteren beinhaltet die Gesamtbilanzierung auch die Beprobung der Feststoffe im System, welche noch nicht abgeschlossen ist.

3.2 Standort 2 – Mönchengladbach, Mittlerer Ring

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen am ersten Standort wurde als Standort 2 der Mittlere Ring (L208) in Mönchengladbach ausgewählt. Kriterien im Entscheidungsprozess waren u. a. stark belastete angeschlossene Verkehrsflächen (Ampeln, Lärmschutzwände, Leitplanke), ein geringerer Einfluss durch die Vegetation im Umfeld der Fahrbahn sowie ein geringeres Verhältnis zwischen angeschlossener befestigter Fläche und Filterfläche. Der Standort 2 wird seit März 2015 untersucht.

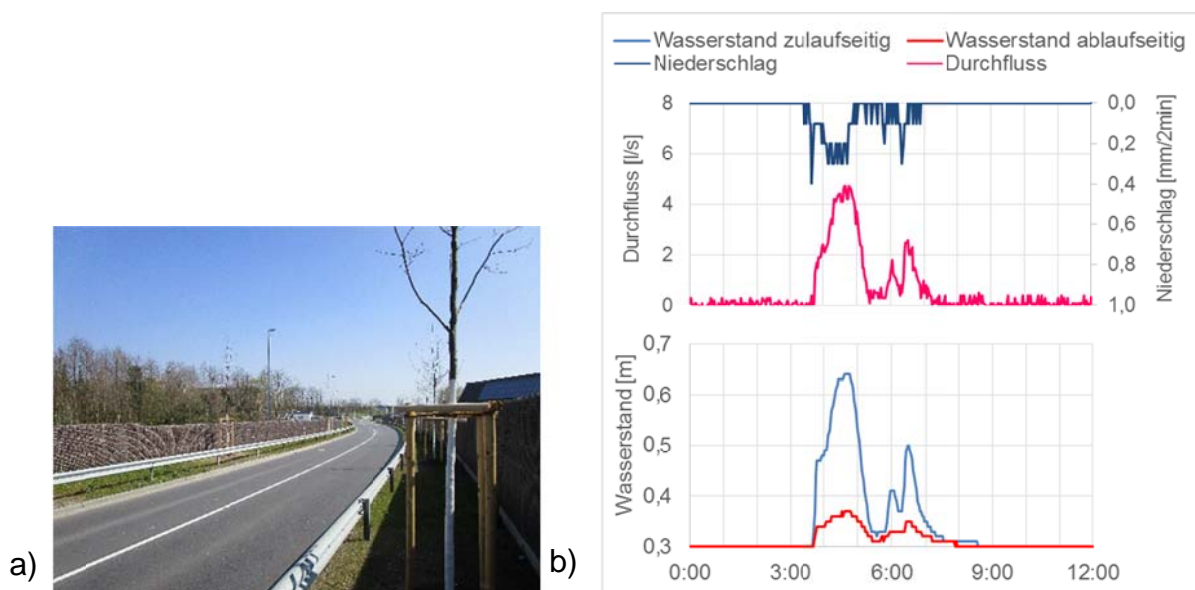


Abb. 4: a) Standort Mittlerer Ring in Mönchengladbach, b) Aufzeichnungen eines Regenereignisses vom 19.07.2015.

Da die Untersuchungen noch bis Ende September 2015 andauern, können die Ergebnisse am Standort 2 noch nicht Bestandteil dieses Tagungsbeitrags sein.

4 Weitergehende Untersuchungen der in-situ-Filtermaterialien im Labor

Um die eingesetzten Filtermaterialien nach dem Einsatz im FiltaPex-System weitergehend zu untersuchen, wurden bei der Ausrüstung des Filterschachtes vier Glas-säulen (Durchmesser 10 cm), die analog zum Aufbau des Filters gefüllt sind, mit in die untersuchten Anlage integriert (Abb. 5a). Diese ermöglichen ohne Störung des eigentlichen Filters nicht nur einen Einblick in den Zustand des Filterkörpers beim Ausbau sondern auch die anschließende Untersuchung im Labor.

Neben der Bestimmung der Durchlässigkeit wird orientierend an den Zulassungsgrundsätzen des DIBt zur Prüfung von „Niederschlagswasserbehandlungsanlagen“ (DIBt, 2015) in mehreren Versuchsreihen die noch vorhandene Kapazität des Filters bezüglich der Schwermetalle Kupfer und Zink sowie zusätzlich bezüglich der organischen Schadstoffe MKW, PAK und MTBE bei definierten Regenspenden (2,5, 6 und 15 l/(s·ha)) ermittelt. Anschließend wird eine mögliche Schadstoffremobilisierung infolge Streusalzeinwirkung untersucht (Abb. 5b).

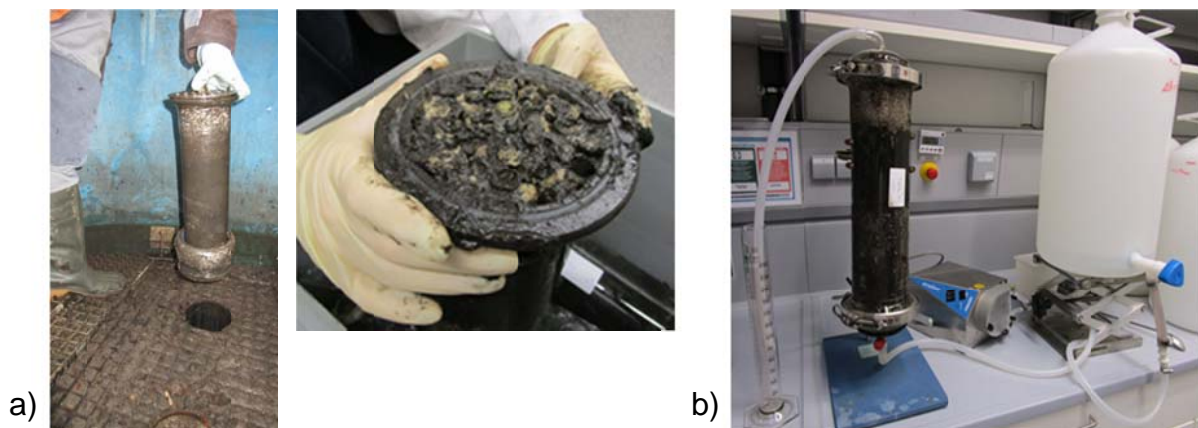


Abb. 5: a) Entnahme der Probesäulen aus dem Filterkörper, b) weitergehende Untersuchung im Labor.

Bereits der erste optische Eindruck der Probesäulen, die nach dem Einsatz im Filterschacht wieder ausgebaut wurden, bestätigt die starke Beanspruchung des Filtermaterials mit Partikeln. Die im Verkehrsflächenabfluss vorhandenen Feststoffe wurden in den Porenräumen zurückgehalten. Die in den Laboruntersuchungen gewonnenen

Erkenntnisse zum Rückhaltevermögen des Adsorptionsfilters sind hinsichtlich ihrer Aussagekraft im Vergleich zu den in-situ-Messungen differenziert zu bewerten, da sich u. a. die Matrix natürlicher Verkehrsflächenabflüsse von der Zusammensetzung des künstlichen Regenwassers im Laborversuch unterscheidet. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass das Filtermaterial dennoch über eine hohe stoffliche Restkapazität verfügt. Beispielsweise konnte in den ersten Versuchsreihen (Zulauf: ca. 750 µg/l Cu, 6.500 µg/l Zink, pH 5) für die größte untersuchte Regenspende von 15 l/(s·ha) noch ein Rückhalt von 80 % Kupfer bzw. 60 % Zink festgestellt werden. Weitergehende Versuchsreihen mit organischen Spurenstoffen und Schwermetallen (Zulauf: ca. 100 mg/l MKW, 100 µg/l PAK, 75 µg/l Cu, 650 µg/l Zink, pH 5) zeigten für Regenspenden bis 6 l/(s·ha) einen nahezu vollständigen Rückhalt der organischen Spurenstoffe. Bei einer Erhöhung der Regenspende auf 15 l/(s·ha) verringerte sich der MKW-Rückhalt nur geringfügig auf 91 % sowie der PAK-Rückhalt auf 95 %. Für Kupfer und Zink war ein Rückhalt von 60 % bzw. 70 % feststellbar.

5 Fazit und Ausblick

Die hier vorliegenden Untersuchungen zeichnen sich durch eine kombinierte Betrachtung von Praxisuntersuchungen wie auch weiterführenden Laboruntersuchungen aus. Das exemplarisch gewählte Filterschachtsystem FiltaPex, das mit einem für den Rückhalt von organischen Spurenstoffen konzipierten Filter ausgestattet wurde, wird derzeit hinsichtlich der Betriebsstabilität sowie dem Schadstoffrückhalt intensiv untersucht. Hinsichtlich der Betriebserfahrungen lässt sich bereits jetzt feststellen, dass aufgrund des komplexen Filteraufbaus (Höhe und Schichtung des Filters) die geeigneten Einbauorte vor allem hinsichtlich Art und Größe des Einzugsgebiets enger definiert und dies bei der Dimensionierung dieser Art von Behandlungssystemen berücksichtigt werden muss. Es sollte eine betrieblich akzeptable Standzeit von etwa einem Jahr erreicht werden. Die begleitenden Laborversuche ermöglichten parallel zu den in-situ-Untersuchungen eine tiefergehende Analyse des bereits teilbeladenen Materials unter definierten Laborbedingungen.

6 Danksagung

Dank gilt dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen für die finanzielle Unterstützung

und dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen für die Begleitung des Projektes (IV-7-042 600 002E).

Literatur

- Borden, R. C., Black, D. C., McBlief, K. V. (2002): MTBE and aromatic hydrocarbons in North Carolina stormwater runoff. *Environmental Pollution*, 118: 141 - 152.
- DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) (2015): Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Teil 1: Anlagen zur dezentralen Behandlung des Abwassers von Kfz-Verkehrsflächen zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Januar 2015.
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, Merkblatt DWA-M 153, Hennef, 2013. ISBN-13: 978-3-942964-50-0.
- Feldhaus, R., Klein, N., Röhrig, J., Meier, G. (2009): Maßnahmen zur Niederschlagswasserbehandlung in kommunalen Trennsystemen am Beispiel des Regierungsbezirkes Köln. Abschlussbericht im Auftrag der Bezirksregierung Köln.
- Helmreich B, Hilliges R, Schriewer A, Horn H. (2010): Runoff pollutants of a highly trafficked urban road – Correlation analysis and seasonal influences. *Chemosphere*, 80: 991-997.
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) (2012): Nachweis der Vergleichbarkeit von dezentralen Behandlungsanlagen. Aus: http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/2012_09_25_NWdezentral_pruefung.pdf
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) (2015): Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung. <http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/ds.htm>
- MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2004): Anforderung an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren; RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen –IV-9 031 001 2104– vom 26.05.2004.
- MKULNV (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2012): Erlass zur Niederschlagswasserbeseitigung vom 20.04.2012. Aus: http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/Erlass_NW_dez_sys_20-4-2012%20%282%29.pdf
- Straßen.NRW (2015): Persönliche Mitteilung von Herrn Paul, Landesbetrieb Straßenbau.NRW vom 06.05.2015.
- UBA: Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden. Forschungsbericht 202 242 20/02. UBA-FB 000824. Umweltbundesamt, Texte 19-05, 2005.
- Welker, A. (2005/2014): Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf – Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen. Habilitationsschrift am Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der TU Kaiserslautern, Band 20. Aktualisierter Anhangband.
- Wichern, M., Grüning, H., Helmreich, B., Pahl, A., Maile, E., Sosinka, K., Giga, A., Li, Y. (2012). Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Abwasser zum Themenschwerpunkt Niederschlagswasserbeseitigung: Vergabe-Nr.

08/058.2. Reduktion von Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Spurenstoffen durch ein dezentrales Behandlungssystem für Verkehrsflächenabflüsse. Abschlussbericht Projektphase I.

Vesting, A., Heinz, E., Helmreich, B. Wichern, M. (2015): Removal of hydrocarbons from synthetic road runoff through adsorptive filters. Water Science and Technology, 72: 801-809.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Andreas Vesting
Prof. Dr.-Ing. habil. Marc Wichern
Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik
Universitätsstraße 150
D-44801 Bochum
andreas.vesting@rub.de
marc.wichern@rub.de

Maximilian Huber, M.Sc.
Prof. Dr. rer. nat. habil. Brigitte Helmreich
Technische Universität München
Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Siedlungswasserwirtschaft
Am Coulombwall
D-85748 Garching
maximilian.huber@tum.de
b.helmreich@tum.de

Dipl.-Ing. Andreas Giga
Dr. Pecher AG
Klinkerweg 5
D-40699 Erkrath
andreas.giga@pecher.de