

**Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben
im Bereich Abwasser zum Themenschwerpunkt
Niederschlagswasserbeseitigung**

Vergabe-Nr. 08/058.2

Kurzbericht Projektphase I

**Reduktion von Kohlenwasserstoffen und anderen
organischen Spurenstoffen durch ein dezentrales
Behandlungssystem für Verkehrsflächenabflüsse**

Gefördert durch das

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



Wissenschaftlich begleitet durch das

**Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen**



September 2012

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Marc Wichern (Ruhr-Universität Bochum)

Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning (Dr. Pecher AG)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Brigitte Helmreich (Technische Universität München)

Projektbearbeitung

Dipl.-Ing. Andreas Pahl (Ruhr-Universität Bochum)

Dr. Eva Maile (Ruhr-Universität Bochum)

Dipl.-Ing. Katharina Sosinka (Dr. Pecher AG)

Dipl.-Ing. Andreas Giga (Dr. Pecher AG)

M. Eng. Yang Li (Technische Universität München)



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielsetzung.....	1
2	Stand des Wissens und der Technik.....	2
3	Laboruntersuchungen	3
3.1	Material und Methoden.....	3
3.2	Ergebnisse und Diskussion	4
3.2.1	Sorptionsversuche PAK.....	4
3.2.2	Sorptionsversuche MTBE.....	5
3.2.3	Sorptionsversuche MKW	6
4	Großversuche (FiltaPex®-System)	6
4.1	Versuchsdurchführung	7
4.2	Ergebnisse der Großversuche.....	9
5	Untersuchung von Straßensedimenten.....	10
6	Mathematisches Modell	11
7	Zusammenfassung und Ausblick	11
	Literatur	13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Eingesetzte Adsorptionsmaterialien bzw. –gemische	4
Abbildung 2: Bestimmung der maximalen Adsorptionskapazität verschiedener Adsorbentien bezüglich Naphthalin	5
Abbildung 3: Adsorption von MTBE an verschiedenen Sorptionsmaterialien bis zu einer Ausgangskonzentration von 1,1 g/l	5
Abbildung 4: Adsorption von MKW an verschiedenen Sorptionsmaterialien bis zu einer Ausgangskonzentration von 21 g/l	6
Abbildung 5: Funktionsdarstellung des Filterschachtsystems FiltaPex®	7
Abbildung 6: Fließschema des Versuchsaufbaus beim der PIA GmbH, Aachen (farbliche Kennzeichnung des Fließweges demonstriert Grad der Verunreinigung)	8
Abbildung 7: MKW-Elimination des FiltaPex®-Systems in % (dargestellt mit analytischem Fehler)	9
Abbildung 8: PAK-Elimination des FiltaPex®-Systems in % (dargestellt mit analytischem Fehler)	9
Abbildung 9: Gehalt an partikulär gebundenen Schadstoffe in FiltaPex®-Sediment	10

Tabellenverzeichnisverzeichnis

Tabelle 1: Typische Verunreinigungen in Niederschlagsabflüssen befestigter Verkehrsflächen	2
Tabelle 2: Versuchskonzept und Konzentrationen während der Messphasen 1 und 2	8

Abkürzungsverzeichnisverzeichnis

BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MTBE	Methy- <i>tert</i> -butylether
PAK	Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PIA	Prüfinstitut für Abwassertechnik GmbH (PIA GmbH), Aachen

1 Veranlassung und Zielsetzung

Durch den Runderlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 26.05.2004 [MUNLV, 2004] werden in Abhängigkeit von der Schadstoffbelastung der Einzugsgebietsflächen die Anforderungen an die Niederschlagswasserbehandlung im Trennsystem geregelt. Die zentrale Behandlung, i.d.R. durch Regenklärbecken, stellt die am häufigsten eingesetzte Verfahrensweise dar. Regenklärbecken weisen neben einem hohen Platzbedarf vor allem Defizite hinsichtlich des Rückhalts organischer Schadstoffe auf. Neben zentralen Behandlungsverfahren werden im Trennerlass auch dezentrale sowie semizentrale Behandlungssysteme benannt. Für einen wirkungsvollen Rückhalt von Schmutz- und Schadstoffen bei weitgehendem Erhalt des lokalen Wasserkreislaufes kommt der Behandlung belasteter Niederschlagsabflüsse in dezentralen Anlagen besondere Bedeutung zu.

Diese war die Veranlassung, in diesem Forschungsprojekt ein dezentrales Behandlungsverfahren zur Reduktion von Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Spurenstoffen aus stark belasteten Verkehrsflächenabflüssen zu entwickeln. Gegenstand der Projektphase I war, die grundlagenorientierten Mechanismen der Elimination der organischen Schadstoffe in Laborversuchen zu untersuchen sowie zu klären, inwieweit eine Schadstoffelimination zu erwarten ist bzw. woran bisher höhere Eliminationsraten vorhandener Behandlungssysteme scheitern.

Ziel der Projektphase I

Im ersten Projektjahr wurden im Labormaßstab Experimente zum Rückhalt von PAK, MKW und dem Spurenstoff MTBE mit verschiedenen Sorptionsmaterialien durchgeführt, um ein optimales Material für den Rückhalt der organischen Spurenstoffe zu ermitteln. Eine Literaturrecherche fasste im ersten Schritt die bisherigen verfügbaren Ergebnisse zusammenfassend, so dass eine Eingrenzung der zu verwendenden Sorptionsmaterialien erfolgen konnte. Anschließend wurden umfangreiche Batchversuche durchgeführt, um die maximale Adsorptionskapazität und die Adsorptionsgeschwindigkeit der ausgewählten Materialien zu ermitteln.

Die Leistungsfähigkeit des dezentralen Behandlungssystems FiltaPex[®] wurde hinsichtlich des Rückhalts der organischen Spurenstoffe überprüft. Anhand von Literatur und praktischen Versuchen sollte geklärt werden, inwieweit eine Elimination von organischen Spurenstoffen zu erwarten ist. Hierfür wurden orientierend an den Zulassungsgrundsätzen des DIBt zur Prüfung von Niederschlagswasserbehandlungsanlagen an einer großtechnischen FiltaPex[®]-Anlage praxisrelevante Messdaten anhand einzelner künstlicher Niederschlagsereignisse bis hin zum Aufbringen einer Jahresbelastung der Schadstoffe PAK, MKW und MTBE erhoben.

Zusätzlich wurde der Rückhalt partikulär gebundener organischer Schadstoffe durch eine mechanische Vorbehandlung untersucht mit dem Ziel, die Sedimentationsleistung der ersten Stufe der FiltaPex[®]-Anlage zu verbessern. Um ein präziseres Vorgehen bei der Suche nach einer Verbesserung der mechanischen Vorbehandlungsstufe zu ermöglichen, erfolgte eine

Analyse der Größenverteilung der partikulär gebundenen Schadstoffe. Des Weiteren wurde anhand von GC/MS-Analysen im Labor sowie einer Literaturrecherche geklärt, in welchem Maße die untersuchten Spurenstoffe PAK, MKW und MTBE an partikulärem Material anhaften bzw. gelöst vorliegen.

2 Stand des Wissens und der Technik

Verkehrsflächen sind als wesentliche Quelle von Gewässerbelastungen aus Niederschlagswassereinleitungen anzusehen. Die Verkehrsflächenabflüssen sind aufgrund von Fahrzeugemissionen, atmosphärischen Verunreinigungen und anderer Quellen mit einer Reihe an organischen Schadstoffen wie Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) und Methyl-tert-butylether (MTBE) sowie Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel verunreinigt. Hinzu kommt die starke Belastung mit Schwermetallen. Dabei liegen die Schadstoffe zum Teil in gelöster und zum Teil in partikulär gebundener Form vor.

Tabelle 1: Typische Verunreinigungen in Niederschlagsabflüssen befestigter Verkehrsflächen

Stoff	Stoffquellen
Anorganische Schadstoffe	
Zink (Zn)	Reifenabrieb, Abrieb von Bremsbelägen, Abgase, Korrosionsverluste von Kfz, Verkehrsschilder und Leitplanken
Kupfer (Cu)	Reifenabrieb, Abrieb von Bremsbelägen, Abgase, Korrosionsverluste von Kfz
Blei (Pb)	Tropfverluste von Kraftstoffen, Abgas, Fahrbahnabrieb
Nickel (Ni)	Abrieb von Bremsbelägen, Fahrbahnabrieb, Katalysatoren, Korrosionsverluste von Kfz
Chrom (Cr)	Reifenabrieb, Abrieb von Bremsbelägen
Cadmium (Cd)	Reifenabrieb, Korrosionsverluste von Kfz
Platin (Pt)	Katalysatoren
Organische Schadstoffe	
Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	Tropfverluste von Motorölen, Kraftstoffen und Frostschutzmitteln, Abgase, Verdampfungsverlust
Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Reifenabrieb, Abgase (Rückstände einer unvollständigen Verbrennung), Fahrbahnabrieb
Methyl- <i>tert</i> -butylether (MTBE), Ethyl- <i>tert</i> -butylether (ETBE)	Tropfverluste von Kraftstoffen, Abgase (Rückstände einer unvollständigen Verbrennung)
Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PSBM)	Verfrachtung von landwirtschaftlichen Flächen sowie Wohn- und Gewerbeflächen,

Die verfügbaren Daten unterschiedlicher Messprogramme stellen sich hinsichtlich der beobachteten Zahlenwerte zum Stoffaufkommen im Niederschlagsabfluss als sehr heterogen dar. Neben dem breiten Spektrum an gemessenen Konzentrationswerten gibt es bislang keine rechtlich verbindlichen Zielgrößen und Anforderungen an die Einleitung von Niederschlagsabflüssen in Grund- und Oberflächengewässer. Bezüglich der Einleitung in

das Grundwasser werden häufig die Prüfwerte der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung [BBodSchV, 1999] angewendet. Dabei ist festzustellen, dass die Messwerte teils deutlich oberhalb bisheriger Zielvorgaben liegen, woraus sich die Notwendigkeit zur vorherigen Niederschlagswasserbehandlung ableitet.

Um die Schadstoffemission aus Trennsystemen zu reduzieren, sind eine Vielzahl verschiedener Systeme zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung entwickelt worden, die nachträglich in einen Straßeneinlauf oder eine Schachtanlage integriert werden können. Systeme mit optimiertem Schlammfang, Substrateinsätzen oder Filtersäcken können direkt in bestehende Straßeneinläufe nachgerüstet werden. Schachtanlagen stellen als sehr leistungsfähige Behandlungssysteme bereits den Übergang von dezentralen zu semi-zentralen Anlagen dar. Sie sind in der Lage, stark verschmutztes Niederschlagswasser von großen Verkehrsflächen zu reinigen.

Diese meist mehrstufigen Behandlungsanlagen setzen sich aus den Funktionselementen einer mechanisch-physikalischen Reinigungsstufe (Sedimentation) mit anschließender chemisch-physikalischer Reinigungsstufe (Filtration) zusammen. Die Wahl der Filtrationsmaterialien und die daraus resultierenden Wirkungsmechanismen (Filtration, Ionenaustausch, Adsorption, Fällung) stellen die wesentlichen Unterschiede der verschiedenen dezentralen Behandlungsanlagen dar. Bisher erfolgt die Wahl des Filtermaterials lediglich mit dem Ziel des Partikel- oder Schwermetallrückhaltes. Die Elimination von organischen Spurenstoffen blieb bei der Anlagendimensionierung bislang weitgehend unberücksichtigt. Häufig fiel die Wahl auf Filtermaterialien z.B. Zeolithe, die als Ionenaustauscher wirksam sind. Diese werden insbesondere zum Schwermetallrückhalt eingesetzt. Sie haben aber den großen Nachteil, bei Streusalzeinwirkung einen Teil der adsorbierten Schadstoffe wieder freizusetzen und sind daher für den Einsatz in dezentralen Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse ungeeignet.

3 Laboruntersuchungen

3.1 Material und Methoden

In Laborversuchen wurden verschiedenen Materialien auf ihre potentielle Eignung, gelöste organische Spurenstoffe aus Niederschlagsabflüssen zu entfernen, untersucht. Hierzu wurden die Adsorptionskapazitäten und die Adsorptionsgeschwindigkeiten verschiedener Materialien zum Rückhalt von PAK, MKW und MTBE bestimmt. Als Materialien wurden eine Aktivkohle (Chemviron Carbon GmbH, Deutschland), ein Braunkohlekoks (RWE Power AG, Deutschland), ein mit tertiären Aminen dotierter Bentonit (Tixosorb Süd-Chemie AG, Deutschland), ein Eisenschwamm (Gongyi Fengtai Refractories Abrasive & Trade Co., Ltd, China) sowie die beiden derzeit an der Behandlungsanlage FiltaPex® im Einsatz befindlichen Materialgemische Sorp1 und Sorp2 untersucht. Die Materialien Sorp1 und Sorp2 sind Gemische verschiedener adsorptiv wirksamer Substanzen wie aktiviertes granuliertes Aluminiumoxid (Al_2O_3), Eisenoxid (Fe_2O_3), Porenbeton sowie Aktivkohle. Die Materialgemische Sorp1 und Sorp2 unterscheiden sich hierbei in dem Mischungsverhältnis der jeweiligen Einzelstoffe.

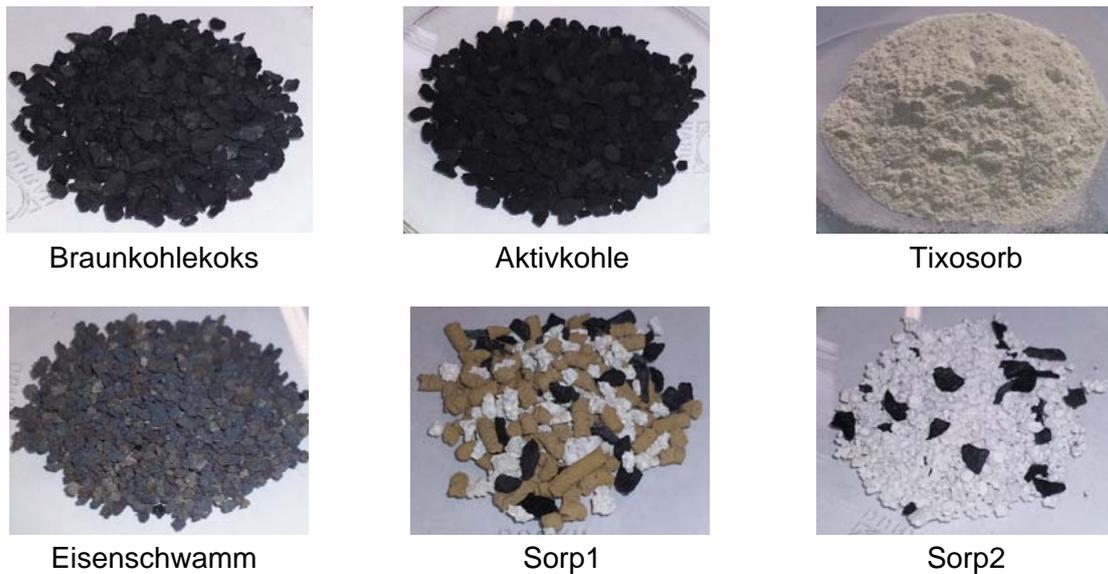


Abbildung 1: Eingesetzte Adsorptionsmaterialien bzw. -gemische

Die Löslichkeit der meisten PAK in Wasser ist sehr gering und nimmt mit zunehmender Ringanzahl ab. Während Naphthalin, das einfachste PAK, bei dem zwei Benzolringe über eine gemeinsame Bindung anelliert sind, noch eine Löslichkeit in Wasser von 32 mg/l bei 25 °C aufweist, ist Anthrazen, das nächst höhere PAK mit drei anellierten Benzolringen, unlöslich in Wasser. Daher war eine Bestimmung der Adsorptionsleistung der verschiedenen Adsorbentien bezüglich PAK nicht mit allen 16 PAK möglich. Da Naphthalin die größte Löslichkeit in Wasser aufweist, wurde es repräsentativ für die Untersuchungen zum Adsorptionsverhalten der PAK ausgewählt.

Stellvertretend für die Stoffgruppe der MKW wurde Heizöl EL [DIN 51603-1 2008] als Modellschadstoff eingesetzt. Dieses enthält die mit dem Kohlenwasserstoffindex analysierten MKW-Fractionen der Kettenlänge C_{10} bis C_{40} . Heizöl EL wird neben der Prüfung von Öl- und Benzinabscheidern ebenfalls im Rahmen des DIBt-Zulassungsverfahrens für Niederschlagsbehandlungsanlagen [DIBt, 2011] verwendet. Des Weiteren wurde stellvertretend für die in Kraftfahrzeugen verwendeten Antiklopfmittel MTBE für die Sorptionsversuche eingesetzt. In Batchversuchen wurden die Adsorptionskapazitäten und die Adsorptionsgeschwindigkeiten der verschiedenen Materialien hinsichtlich des Rückhaltes der organischen Spurenstoffe PAK, MKW und MTBE ermittelt.

3.2 Ergebnisse und Diskussion

3.2.1 Sorptionsversuche PAK

Abbildung 2 zeigt, dass die Adsorptionskapazität für Braunkohlekoks, Aktivkohle, Tixosorb, und Sorp2 bei Einsatz der größtmöglichen Ausgangskonzentration an Naphthalin noch nicht erschöpft ist. Eine Sättigung der Materialien Braunkohlekoks, Aktivkohle, Tixosorb und Sorp2 hat nicht stattgefunden. Eisenschwamm und Sorp1 zeigten hingegen eine schlechte Adsorptionsleistung.

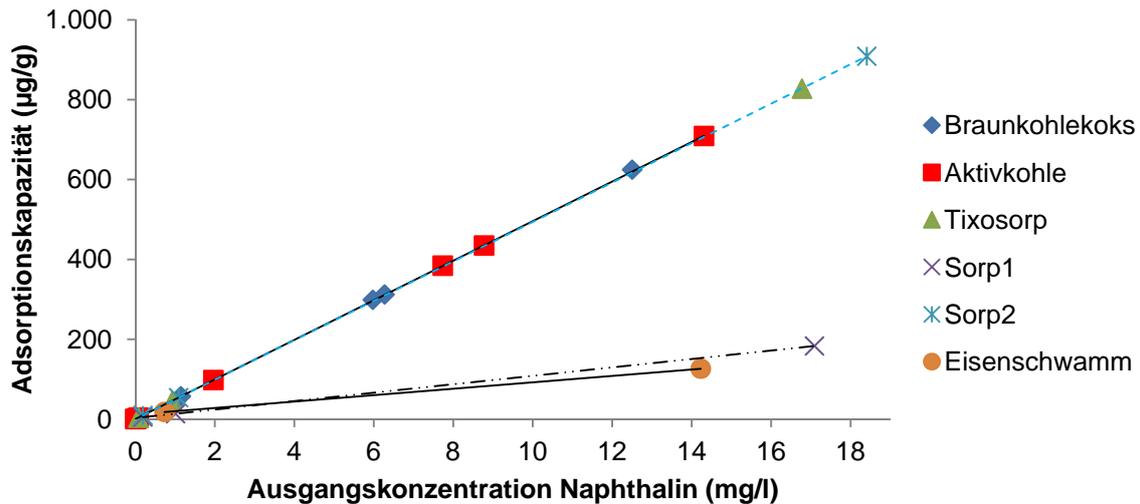


Abbildung 2: Bestimmung der maximalen Adsorptionskapazität verschiedener Adsorbentien bezüglich Naphthalin

Die höchste Naphthalin-Rückhalteleistung wiesen Braunkohlekoks mit 99,9 % und Aktivkohle mit 99,1 %, dicht gefolgt von Tixosorb und Sorp2 (beide 98,6 %) auf. Nur Sorp1 und Eisenschwamm zeigten einen unbefriedigenden Rückhalt von Naphthalin von 21,4 % bzw. 17,7 % und sind daher nicht geeignet, um PAK aus Verkehrsflächenabflüssen zu entfernen.

3.2.2 Sorptionsversuche MTBE

MTBE besitzt eine Löslichkeit in Wasser von 42 g/l in Wasser (20 °C). Daher wurden Adsorptionsversuche bis in den g/l-Maßstab durchgeführt bis eine maximale Adsorptionskapazität erreicht war, obwohl MTBE in Verkehrsflächenabflüssen nur im unteren µg/l-Bereich zu erwarten ist. Die maximale Adsorptionskapazität kann jedoch zur Abschätzung maximaler Standzeiten von Filtern beitragen. Es zeigte sich, dass nur Braunkohlekoks und Aktivkohle eine gute Adsorptionsleistung aufweisen, Aktivkohle die höchste.

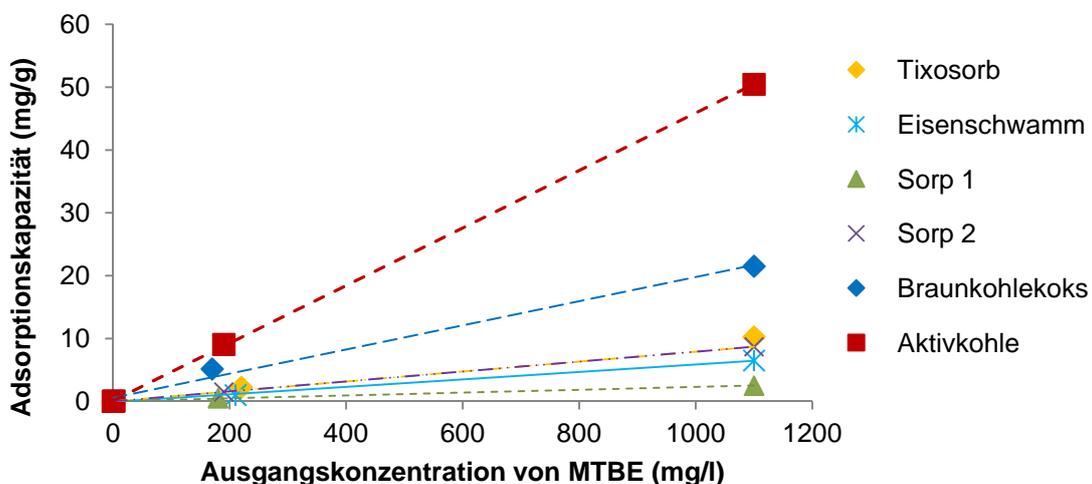


Abbildung 3: Adsorption von MTBE an verschiedenen Sorptionsmaterialien bis zu einer Ausgangskonzentration von 1,1 g/l

3.2.3 Sorptionsversuche MKW

Die Adsorptionsversuche wurden bis in den g/l-Maßstab durchgeführt, wobei sehr wahrscheinlich die maximale Adsorptionskapazität einiger Sorptionsmaterialien noch nicht vollständig erreicht wurde. Die in Verkehrsflächenabflüssen auftretenden MKW-Konzentrationen liegen deutlich darunter im niedrigen mg/l-Bereich. Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Adsorptionsversuche von MKW mit verschiedenen Adsorptionsmaterialien im Bereich von 500 mg/l bis 21 g/l.

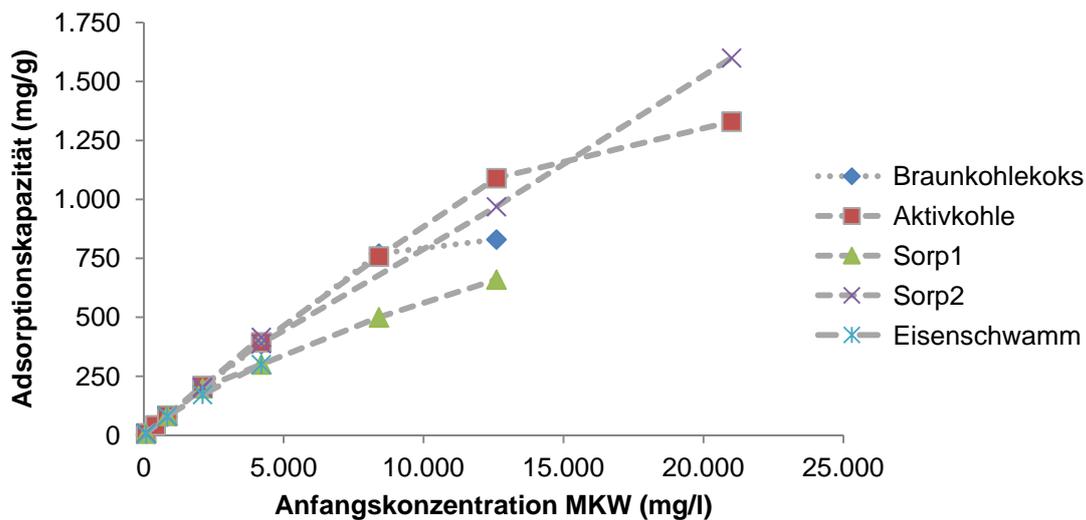


Abbildung 4: Adsorption von MKW an verschiedenen Sorptionsmaterialien bis zu einer Ausgangskonzentration von 21 g/l

Je nach Priorität eignen sich Aktivkohle sowie Sorp2 sehr gut zum Rückhalt von MKW aus Verkehrsflächenabflüssen. Die eingesetzte Aktivkohle verfügt über eine hohe Sorptionsgeschwindigkeit (hier nicht gezeigt) sowie eine hohe Adsorptionskapazität. Die maximale Kapazität des Materials Sorp2 liegt noch darüber.

4 Großversuche (FiltaPex®-System)

Das Filterschachtsystem FiltaPex® entwickelt für die Behandlung stark verunreinigter Oberflächenabflüsse insbesondere im Bereich hoch frequentierter Verkehrswege wurde im Großversuch mit Schadstoffkonzentrationen, die sich an realen Niederschlagsabflüssen orientieren, beaufschlagt und während einzelner Versuchsdurchläufe beprobt. Hierbei wurden lediglich die gelösten/ungelösten Anteile der organischen Schadstoffe PAK, MKW und MTBE betrachtet, um primär den Rückhalt des Adsorptionsfilters zu untersuchen. Auf die Zugabe von Straßensedimenten bzw. Feststoffen wurde aus diesem Grund verzichtet.

Das Filterschachtsystem besteht aus den zwei Systemkomponenten Vorstufe und Filterstufe (Abbildung 5). In der Vorstufe erfolgt eine mechanische Vorbehandlung des Niederschlagswassers durch die Sedimentation von Grob- und Feststoffen. Ein Lamellensystem, das hierbei als Strömungsgleichrichter wirkt, unterstützt den Sedimentationsvorgang und verhindert die Remobilisierung von Sedimenten.

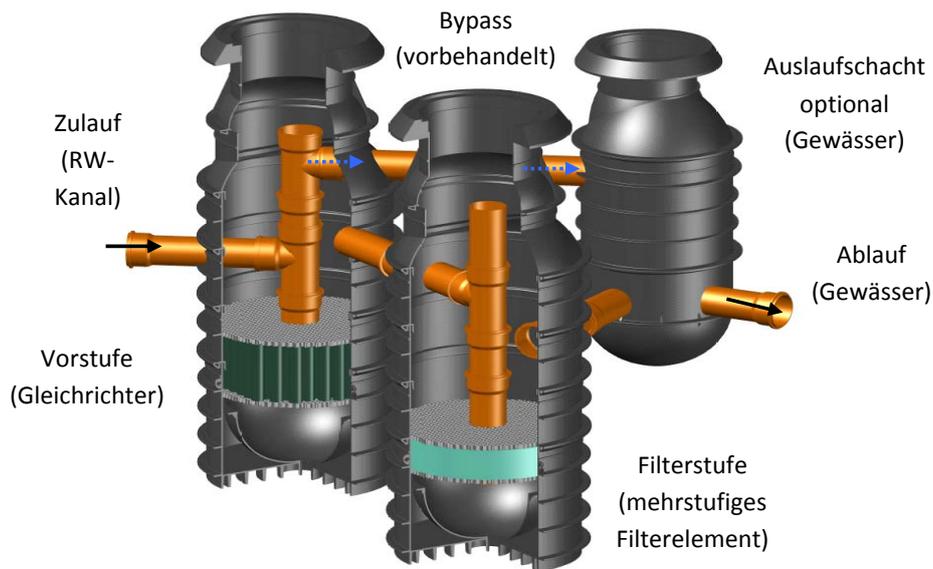


Abbildung 5: Funktionsdarstellung des Filterschachtsystems FiltaPex®

In der Filterstufe erfolgt der Rückhalt von Feinsedimenten durch einen gestuften Filteraufbau. Die Aufgabe des Granulats in den beiden unteren Filterelementen ist die Elimination von Feststoffen, die nicht in der mechanischen Vorbehandlung sedimentiert sind. Das oberste Filterelement besteht aus Geovlies-Packs, die mit einem absorbierenden Substrat gefüllt sind. Diese Filterlage dient neben dem Rückhalt von Feinstpartikeln auch der Bindung gelöster Schwermetalle. Sowohl die Systemelemente zur mechanischen Vorreinigung als auch der Filtereinsatz sind für einen Austausch konzipiert und verleihen dem System FiltaPex® eine große Variabilität.

4.1 Versuchsdurchführung

Ziel der im Folgenden dargestellten Großversuche ist die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des dezentralen Filtersystems FiltaPex® hinsichtlich des Rückhalts der organischen Spurenstoffe PAK, MKW und MTBE. Die auf dem Gelände des Prüfinstitutes für Abwassertechnik GmbH (PIA GmbH) in Aachen durchgeführten Versuche orientieren sich an dem Entwurf der Zulassungsgrundsätze des DIBts zur Prüfung von „Niederschlagswasserbehandlungsanlagen“ [DIBt, 2011]. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten auf dem Gelände der PIA GmbH wurde der Versuchsaufbau (Teilprüfungen, Prüfgenspenden) angepasst.

Das Prüfverfahren des DIBts [DIBt, 2011] umfasst neben der Prüfung des Rückhaltevermögens von Kohlenwasserstoffen weiterhin die Teilprüfungen des Partikel- und Schwermetallrückhaltes sowie das Rücklöseverhalten von Schwermetallen bei Einwirkung von Tausalzen. Bei den hier durchgeführten Großversuchen wurde sich beschränkt auf die Prüfung des Stoffrückhaltevermögens von Kohlenwasserstoffen d.h. Mineralölkohlenwasserstoffe sowie zusätzlich die Spurenstoffe PAK und MTBE.

Das eingesetzte FiltaPex®-System umfasst eine mit Filterbürsten ausgerüstete Vorstufe DN 1000 sowie eine Filterstufe DN 1000. Der mehrstufige Filteraufbau besteht aus zwei Lagen des mineralischen Granulats in abgestufter Korngröße und einer Lage Geovlies-Packs, die mit dem absorbierenden Substrat Sorp1 gefüllt sind.

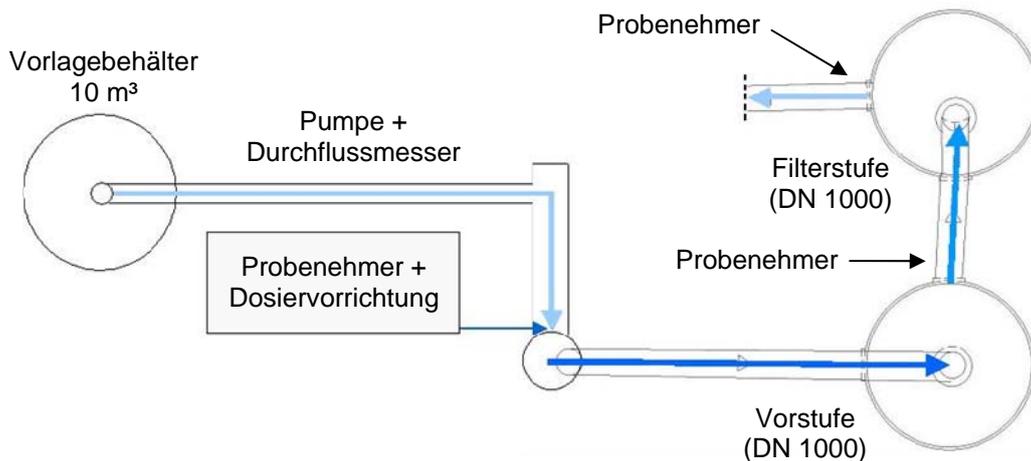


Abbildung 6: Fließschema des Versuchsaufbaus beim der PIA GmbH, Aachen (farbliche Kennzeichnung des Fließweges demonstriert Grad der Verunreinigung)

Das Filterschachtsystem wurde auf dem Gelände des PIA betrieben. Die Beaufschlagung des Filters erfolgt dabei mit Bachwasser über eine regelbare Pumpe mit integrierten magnetisch-induktiven Durchflussmesser (MID). Als zu dosierende Schadstoffe wurde ein Superbenzin-Diesel-Gemisch verwendet, die relevanten organischen Schadstoffe im Oberflächenabfluss repräsentieren soll. Neben MKW sind im Benzin MTBE und im Diesel PAK enthalten. Das Filterschachtsystem wurde zu Beginn mit einer Standardbelastung (06.12.2010) und im Anschluss mit einer Jahresfracht (08.12.2010) beaufschlagt. In der zweiten Messphase am 18. und 19. Januar wurden Belastung und Durchsatz variiert.

Tabelle 2: Versuchskonzept und Konzentrationen während der Messphasen 1 und 2

Durchgang	Zufluss Q	Zugabevolumen Superbenzin- Diesel-Gemisch	mittlere Konzentration im Zulauf		
			PAK	MKW	MTBE
06.12.2010 (Standardbelastung, Benzin-Diesel-Gemisch im Verhältnis 1:1)					
1	7 l/s	0 ml	0 µg/l	0 mg/l	0 µg/l
2	7 l/s	200 ml	14,46 µg/l	9,40 mg/l	300 µg/l
3	7 l/s	200 ml	14,46 µg/l	9,40 mg/l	300 µg/l
4	7 l/s	200 ml	14,46 µg/l	9,40 mg/l	300 µg/l
5	7 l/s	200 ml	14,46 µg/l	9,40 mg/l	300 µg/l
08.12.2010 (Jahresfracht; Benzin-Diesel-Gemisch im Verhältnis 1:1)					
1	7 l/s	4.000 ml	289 µg/l	188 mg/l	6.000 µg/l
2	7 l/s	4.000 ml	289 µg/l	188 mg/l	6.000 µg/l
3	7 l/s	4.000 ml	289 µg/l	188 mg/l	6.000 µg/l
4	7 l/s	4.000 ml	289 µg/l	188 mg/l	6.000 µg/l
5	7 l/s	4.000 ml	289 µg/l	188 mg/l	6.000 µg/l
18. und 20.01.2011 (Standardbelastung bei variiertem Durchfluss; Benzin-Diesel-Gemisch im Verhältnis 1:2,7)					
1	7 l/s	0 ml	0 µg/l	0 mg/l	0 µg/l
2	7 l/s	50 ml	2,68 µg/l	2,55 mg/l	43 µg/l
3	3,5 l/s	100 ml	10,70 µg/l	10,20 mg/l	170 µg/l
4	7 l/s	50 ml	2,68 µg/l	2,55 mg/l	43 µg/l
5	3,5 l/s	25 ml	2,68 µg/l	2,55 mg/l	43 µg/l
6	7 l/s	50 ml	2,68 µg/l	2,55 mg/l	43 µg/l
7	3,5 l/s	25 ml	2,68 µg/l	2,55 mg/l	43 µg/l
8	3,5 l/s	0 ml	0 µg/l	0 mg/l	0 µg/l

4.2 Ergebnisse der Großversuche

In Verbindung mit dem eingebauten Adsorptionsmaterial Sorp1 erzielte das FiltaPex®-System zu Versuchsbeginn Reduktionsleistungen von 87 % (MKW) und 80 % (PAK). Nach der Beaufschlagung mit der Jahresfracht an Schadstoffen reduzierte sich die Reduktionsleistung des Filtersystems auf 48 % (MKW) und 21 % (PAK). Der Rückhalt von MTBE lag sowohl zu Versuchsbeginn als auch Versuchsende bei etwa 30 %.

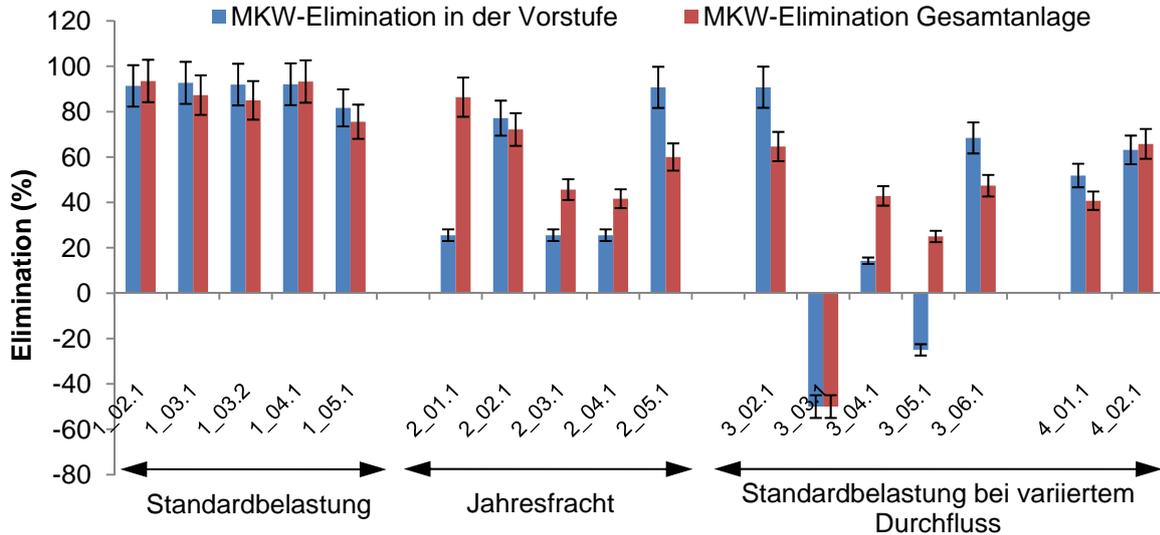


Abbildung 7: MKW-Elimination des FiltaPex®-Systems in % (dargestellt mit analytischem Fehler)

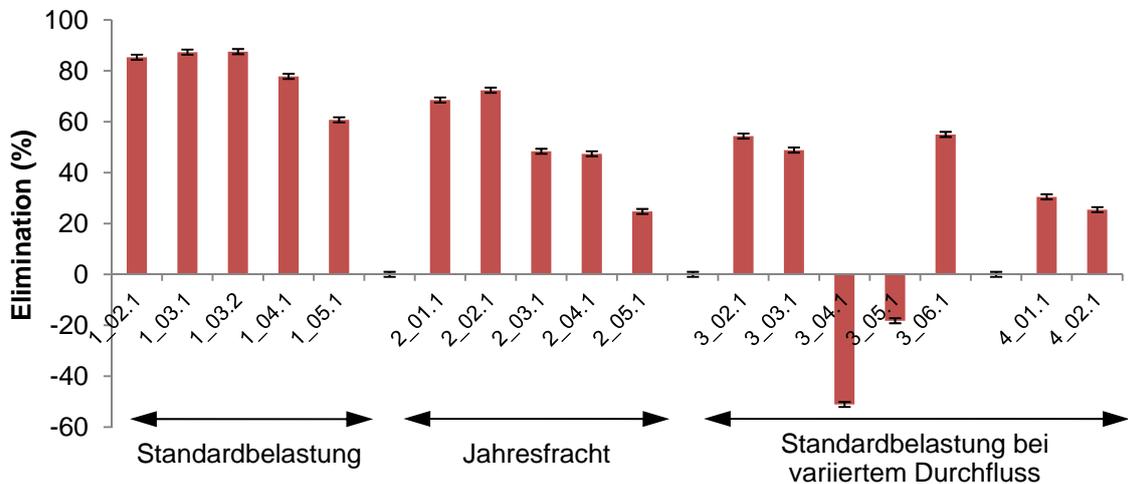


Abbildung 8: PAK-Elimination des FiltaPex®-Systems in % (dargestellt mit analytischem Fehler)

Für das Behandlungssystem kann in der hier untersuchten Konfiguration ein anfänglich guter Rückhalt der organischen Schadstoffe MKW und PAK festgestellt werden, der jedoch nach einer simulierten Standzeit von einem Jahr deutlich nachlässt. Die Elimination von MTBE ist vergleichsweise gering, was durch Laborversuche bestätigt werden konnte.

5 Untersuchung von Straßensedimenten

Die Belastung von Straßenabflüssen mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen liegt zum Großteil in ungelöster Form d.h. an Partikel adsorbiert vor. Um ein genaueres Vorgehen bei der Suche nach Verbesserungspotentialen dezentraler Behandlungssysteme zu ermöglichen, wurden die untersuchten Spurenstoffe anhand von Literaturwerten hinsichtlich der Verteilung ihrer gelösten sowie partikulären Schadstoffanteile in Verkehrsflächenabflüssen gegenübergestellt. Für die Stoffgruppe der PAK ist von einem überwiegend an Partikeln gebundenen Transport auszugehen, da die partikulär gebundene Stofffracht meist über 90 % liegt. Der Schadstoffrückhalt erfolgt hier primär durch den Feststoffrückhalt mittels Sedimentation und Filtration. Dennoch liegen die gelösten PAK-Konzentrationen, die in Niederschlagsabflüssen stark belasteter Verkehrsflächen gemessen werden, teils deutlich oberhalb der Bewertungskriterien von BBodSchV (1999) und LAWA (2004) sowie anderer Zielvorgaben wie die der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins [IKSR, 1997]. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, dass auch die gelösten Schadstoffanteile der PAK mit Hilfe einer Sorptionsstufe wirkungsvoll zurückgehalten werden.

Für die Stoffgruppe der MKW wurde festgestellt, dass diese zu einer Hälfte partikulär gebunden und zur anderen Hälfte im Wasser ungelöst transportiert werden. Hier ist neben dem Feststoffrückhalt auch die Elimination ungelöster Stoffe mittels einer Tauchwand und dem dazugehörigen Speichervolumen wirkungsvoll. Da die ungelösten Bestandteile normalerweise durch eine Tauchwand nie vollständig zurückgehalten werden, ist für eine weitestgehende MKW-Elimination ein nachgeschalteter Sorptionsfilter erforderlich.

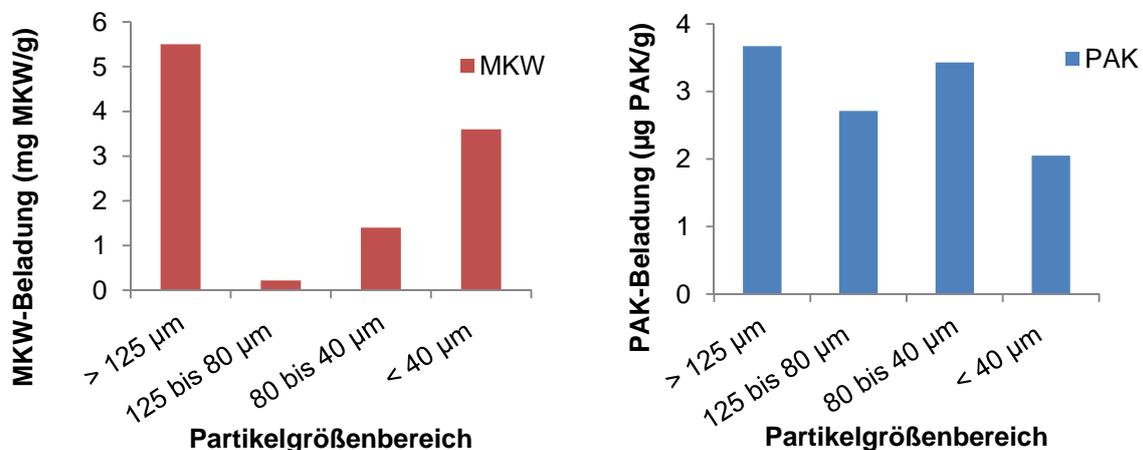


Abbildung 9: Gehalt an partikulär gebundenen Schadstoffe in FiltaPex[®]-Sediment

Charakteristisch für Straßensedimente ist ein vergleichsweise geringer organischer Anteil von im Mittel ca. 5 – 30 %. Hierbei weist bevorzugt die Feinkornfraktionen kleiner 80 µm den höchsten Organikanteil auf. Dieser Organikanteil ist im Wesentlichen dafür verantwortlich, dass sich organische Schadstoffe vorwiegend an Feinpartikel binden. Für den Kornbereich von 40 bis 80 µm wurde mit 0,4 bis 4 mg MKW/g der höchste MKW-Gehalt in den untersuchten Straßensedimenten gemessen. Für partikulär gebundene PAK-Anteile ergaben sich Werte zwischen 2 und 3,7 µg PAK/g. Gerade die Feinpartikel werden durch das FiltaPex[®]-System zurückgehalten und lassen sich im Filtersediment mit einem mittleren Partikeldurchmesser d_{50} von 20 bis 55 µm wiederfinden.

6 Mathematisches Modell

Die verschiedenen Systeme zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung weisen herstellerbedingt ihre konstruktiven Besonderheiten auf. Dennoch setzen sie prinzipiell die gleichen Mechanismen zur Reinigung der Verkehrsflächenabflüsse ein. Mittels des mathematischen Modells sollen die drei wesentlichen Rückhalte-mechanismen dezentraler Niederschlagswasserbehandlungsanlagen abgebildet werden:

- 1) Sedimentation von partikulären absetzbaren Stoffe
- 2) Filtration von partikulären nicht absetzbaren Stoffen
- 3) Adsorption von gelösten Stoffen

Das mathematische Modell soll an das FiltaPex[®]-System der Dr. Pecher AG adaptiert werden, da Messdaten von diesem dezentralen Behandlungssystem zur Kalibrierung des Modells herangezogen werden können. Dennoch soll die Übertragbarkeit des Modells auf andere Systeme gewährleistet bleiben, so dass auch hierfür eine zuverlässige Prognose der Reinigungsleistung bei unterschiedlicher Belastung möglich ist. Die Simulationssoftware AQUASIM 2.1 [Reichert, 1998] wird in dieser Arbeit zur dynamischen Simulation des FiltaPex[®]-System verwendet werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieses Forschungsprojekt war, ein dezentrales Behandlungsverfahren zur Reduktion von Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Spurenstoffen aus stark belasteten Verkehrsflächenabflüssen zu entwickeln. Gegenstand der Projektphase I war, die grundlagenorientierten Mechanismen der Elimination der organischen Schadstoffe in Laborversuchen zu untersuchen sowie zu klären, inwieweit eine Schadstoffelimination zu erwarten ist bzw. woran bisher höhere Eliminationsraten vorhandener Behandlungssysteme scheitern.

In Laborversuchen wurden verschiedenen Materialien auf ihre potentielle Eignung, gelöste organische Spurenstoffe aus Niederschlagsabflüssen zu entfernen, untersucht. Hierzu wurden die Adsorptionskapazitäten und die Adsorptionsgeschwindigkeiten verschiedener Materialien zum Rückhalt von PAK, MKW und MTBE bestimmt. Fazit der Laboruntersuchungen ist, dass sich von allen Materialien die Aktivkohle am besten zum Rückhalt sowohl von PAK, MKW wie auch MTBE eignet. Sie zeigte eine maximale Adsorptionskapazität von 200 mg MTBE/g AK und 1.330 mg MKW/g AK. Eine maximale Adsorptionskapazität für PAK konnte aufgrund der schlechten Löslichkeit der PAK in Wasser mit Batchversuchen nicht ermittelt werden. Hierzu sollen Säulenversuche im 2. Projektjahr durchgeführt werden. Die Sorptionsgeschwindigkeit der Aktivkohle ist für die untersuchten organischen Spurenstoffe - z.B. für Mineralölkohlenwasserstoffe mit 1,63 mg MKW/(g·min) bei einer Ausgangskonzentration von 100 mg MKW/l - ebenfalls hoch.

Das bereits in FiltaPex[®]-Systemen eingesetzte Material Sorp2 ist prinzipiell geeignet MKW und PAK zu adsorbieren, jedoch zeigt es im Vergleich zu den anderen untersuchten Sorptionsmaterial für MTBE einen schlechten Rückhalt. Das ebenfalls verwendete Material

Sorp1 zeigte keine guten Rückhalteleistungen für die untersuchten gelösten Schadstoffe PAK, MKW und MTBE.

Das Filterschachtsystem FiltaPex® wurde im Großversuch mit Schadstoffkonzentrationen, die sich an realen Niederschlagsabflüssen orientieren, beaufschlagt und während einzelner Versuchsdurchläufe beprobt. Hierbei wurden lediglich die gelösten/ungelösten Anteile der organischen Schadstoffe PAK, MKW und MTBE betrachtet, um primär den Rückhalt des Adsorptionsfilters zu untersuchen. Auf die Zugabe von Straßensedimenten bzw. Feststoffen wurde aus diesem Grund verzichtet.

In Verbindung mit dem eingebauten Adsorptionsmaterial Sorp1 erzielte es hierbei zu Versuchsbeginn Reduktionsleistungen von 87 % (MKW) und 80 % (PAK). Nach der Beaufschlagung mit der Jahresfracht an Schadstoffen reduzierte sich die Reduktionsleistung des Filtersystems auf 48 % (MKW) und 21 % (PAK). Der Rückhalt von MTBE lag sowohl zu Versuchsbeginn als auch Versuchsende bei etwa 30 %. Für das Behandlungssystem kann in der hier untersuchten Konfiguration ein anfänglich guter Rückhalt der organischen Schadstoffe MKW und PAK festgestellt werden, der jedoch nach einer simulierten Standzeit von einem Jahr deutlich nachlässt. Die Elimination von MTBE ist vergleichsweise gering, was durch Laborversuche bestätigt werden konnte.

Die bisherigen Erfahrungen zur Wirksamkeit von Regenwasserbehandlungssystemen ergeben ein differenziertes Bild. Gerade Regenklärbecken im Dauerstau wurden vielfach gebaut, weisen jedoch häufig nur einen Stoffrückhalt unter 50 % auf. Bei der aktuellen Phase der Entwicklung und Genehmigung zahlreicher Kompaktsysteme zur Regenwasserbehandlung an dezentralen Standorten, ist somit die langfristige Wirksamkeit zu beachten. Damit ist insbesondere eine Untersuchung des Betriebsverhaltens von Bedeutung, die Zeiträume von mindestens einem Jahr umfassen.

Die hier vorliegenden Untersuchungen zeichnen sich durch eine kombinierte Betrachtung von Laboruntersuchungen und Praxisuntersuchungen aus. Neben der detaillierten Untersuchung des Filtermaterials erfolgt eine Begleitung der Systeme unter praktischen Bedingungen. In weiteren Untersuchungen sollen insbesondere die über den Jahreszyklus unterschiedlichen jahreszeitlichen Einflüsse wie Pollenflug, längere Trockenphasen, Starkregenereignisse, Laub- sowie Streuguteintrag berücksichtigt werden.

Literatur

- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1998, BGBl. Nr. 36, 1.554.
- DIBt (2011): Deutsches Institut für Bautechnik: Zulassungsgrundsätze für „Niederschlagswasserbehandlungsanlagen“, Entwurf Februar 2011 (unveröffentlicht).
- DIN 51603-1 (2008): Flüssige Brennstoffe – Heizöle. Teil 1: Heizöl EL, Mindestanforderungen, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin.
- IKSR (1997): Internationale Kommission zum Schutz des Rheins, Statusbericht Rhein.
- LAWA (Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. Düsseldorf.
- MUNLV (2004): Anforderung an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren; RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen –IV-9 031 001 2104- vom 26.5.2004.
- Reichert, P. (1998): AQUASIM 2.0 - Manual. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), CH-8600 Dübendorf, Schweiz, ISBN 3-906484-16-5.