

Weitergehende Anforderungen an dezentrale Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse: organische Schadstoffe und Phosphor

Antje Welker¹⁾, Maximilian Huber²⁾, Martina Dierschke¹⁾,
Jörg E. Drewes²⁾, Brigitte Helmreich²⁾

¹⁾ Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und Hydromechanik,
Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurt am Main

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

Kurzfassung

Untersuchungen an Filtermaterialien für dezentrale Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse im Labor ergaben, dass ein ausreichender Rückhalt von organischen Schadstoffen und Phosphor möglich ist. Um auch andere Schadstoffe aus Verkehrsflächenabflüssen, wie Schwermetalle, zurückzuhalten, ist eine Kombination verschiedener Materialien zum Rückhalt des Stoffspektrums notwendig. Versuche zum Rückhalt von Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen, Methyl-tert-butylether und Ethyl-tert-butylether ergaben, dass Aktivkohlen und Braunkohlekoks hierfür besonders gut geeignet sind. Für den Rückhalt von gelöstem Phosphor unter verschiedenen Betriebsbedingungen stellte sich Calciumsilikat als das leistungsfähigste Material heraus. In beiden Untersuchungen wurde zusätzlich je ein weiteres Material (Aluminiumoxid bzw. Zeolith) in die Materialkombination aufgenommen, um den Rückhalt gelöster Schwermetalle sicherzustellen. Zur Einhaltung weitergehender Anforderungen an die Filtermaterialkombinationen durch die erhöhte Anschlussfläche der zu entwickelnden dezentralen Anlagen (ca. 1 ha), in Verbindung mit einer möglichst kompakten Bauweise, wurde ein besonderes Augenmerk auf die Kinetik (Schüttelversuche) gelegt. Zusätzlich wurde der Rückhalt unter verschiedenen Regenspenden in Säulenversuchen untersucht. Eine Verkürzung der Kontaktzeit bei steigenden Regenspenden reduzierte die Rückhalteleistung der verschiedenen Filtermaterialien für jeden untersuchten Parameter unterschiedlich stark.

1 Einleitung

In Ergänzung zu zentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlagen wurden in den letzten Jahren zahlreiche dezentrale Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse entwickelt, die überwiegend dem Feststoffrückhalt, teilweise auch dem gezielten Rückhalt von Mineralölkohlenwasserstoffen und gelösten Schwermetallen, dienen [Welker und Huber, 2014]. Aktuell rücken weitere Substanzen wie Nährstoffe und organische Spurenstoffe für Verkehrsflächenabflüsse in den Fokus [Achten und Puettmann, 2000; Langbein et al., 2006; Kayhanian et al., 2012]. Gerade der Rückhalt von Phosphor wird bei der Realisierung von dezentralen Anlagen in den USA oder in Australien zunehmend eingefordert. Um deren Entfernung in dezentralen Anlagen zu ermöglichen, sind geeignete Filtermaterialien zu finden und zu untersuchen.

Derzeit werden zwei von deutschen Landesministerien geförderte wissenschaftliche Untersuchungen an Hochschulen durchgeführt, um den Rückhalt organischer Spurenstoffe sowie Phosphor in den Filtern dezentraler Anlagen zur Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen zu ermöglichen. Die in diesem Rahmen im Labor eingesetzten Filtermaterialien sollen nicht nur ein weitergehendes Stoffspektrum zurückhalten, sondern auch die Anforderungen zum Einleiten in Gewässer durch vergrößerte Anschlussflächen der dezentralen Anlagen von ca. 1 ha erfüllen. Erste Ergebnisse werden nachfolgend vorgestellt.

2 Reduktion von Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Spurenstoffen durch ein dezentrales Behandlungssystem für Verkehrsflächenabflüsse (Laboruntersuchungen der TU München)

Unter diesen Gesichtspunkten fanden dank Förderung durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft der TU München zunächst Laboruntersuchungen zur Ermittlung des Rückhalts organischer Schadstoffe mit Hilfe von Filtermaterialien und Filtermaterialkombinationen statt.

2.1 Herkunft, Aufkommen und Vorgaben von organischen Spurenstoffen

Als organische Belastung in Verkehrsflächenabflüssen ist mit Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) aus Reifenabrieb, unvollständigen Verbrennungen

im Motor und Asphaltrückständen zu rechnen. Die Schwerpunktkonzentration, welche einer über viele ausgewählte Einzeluntersuchungsergebnisse gemittelten Konzentration entspricht, beträgt für die PAK in Verkehrsflächenabflüssen als Summe aus 16 Einzelverbindungen ca. 2,5 µg/l, wobei die Konzentrationen meist zwischen 1,5 µg/l und 7,0 µg/l liegen [DWA, 2010]. Die PAK werden hauptsächlich an Partikel gebunden transportiert.

Außerdem sind Methyl-tert-butylether (MTBE) und Ethyl-tert-butylether (ETBE), die zur Erhöhung der Klopfestigkeit in Ottomotoren dem Benzin zugegeben werden, als organische Spurenstoffe in Verkehrsflächenabflüssen zu finden [Borden et al., 2002]. Sie können insbesondere durch Tropfverluste und Abgase der Kraftfahrzeuge in Abflüsse gelangen. Typische mittlere Verkehrsflächenabflussskonzentrationen in Europa liegen für MTBE bei 0,18 µg/l [Grotehusmann und Kasting, 2009] bzw. 0,21 µg/l [Langbein et al., 2006]. MTBE ist ein leichtflüchtiger Ether, der mit ca. 42 g/l eine im Vergleich zu den PAK deutlich höhere Wasserlöslichkeit aufweist. MTBE, wie auch ETBE, liegt in den Abflüssen also überwiegend gelöst vor.

Derzeit gibt es in der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser nur einen Prüfwert für die PAK als EPA 15 PAK ohne Naphthalin und Methylnaphthalin, der bei 0,2 µg/l liegt [BBodSchV, 1999]. Für MTBE ist kein Prüfwert vorgesehen, jedoch sind in den Geringfügigkeitsschwellenwerten der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser maximale Konzentrationen von 5 µg/l für MTBE und 2,5 µg/l für ETBE vorgesehen [Moll und Quadflieg, 2014]. Aufgrund der unzureichenden biologischen Abbaubarkeit sollten diese Stoffe bei der Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen trotz der geringen Konzentrationen mitberücksichtigt werden [Koch et al., 2002].

2.2 Laborversuche zur Entwicklung einer Filterstufe zum Rückhalt von PAK, MTBE/ETBE und Schwermetallen aus Verkehrsflächenabflüssen

Zu Beginn der Entwicklung einer Filterstufe für ein Behandlungssystem mit ca. 1 ha Anschlussfläche, in der sowohl Schwermetalle als auch PAK, MTBE und ETBE zurückgehalten werden sollen, wurden Schüttelversuche zur Bestimmung der maximalen Sorptionskapazität von sechs Filtermaterialien durchgeführt, welche zur groben Abschätzung der maximalen Standzeit von Filtern verwendet werden können. Der Rückhalt von MTBE an den Filtermaterialien nach 24 h Schütteln mit Ausgangskonzentrationen zwi-

schen $2 \mu\text{g/l}$ und 1100 mg/l ist in Abb. 1 dargestellt. Die beiden Materialien mit den höchsten Adsorptionskapazitäten, Aktivkohle F300 und Braunkohlekoks HOK, wurden in weiteren Schüttelversuchen zur Bestimmung der Adsorptionsgeschwindigkeit verwendet. Dabei wurden zuerst Versuche mit $100 \mu\text{g/l}$ MTBE durchgeführt. Die Adsorption von MTBE an Aktivkohle verlief schneller als an Braunkohlekoks (Abb. 2). Beispielsweise wurden vom Braunkohlekoks nach 10 min 61,5 % des MTBE adsorbiert, wohingegen bei Aktivkohle bereits 80,1 % des MTBE entfernt wurden. Die Versuche wurden mit höheren Konzentrationen an MTBE (10 mg/l und 100 mg/l) wiederholt, wobei die Adsorptionsgeschwindigkeit mit zunehmender Konzentration abnahm (nicht dargestellt).

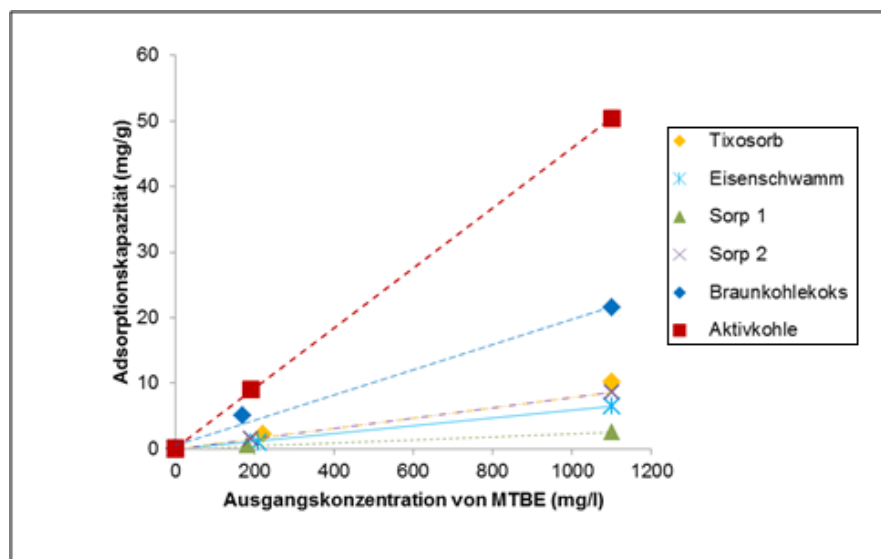


Abb. 1: Adsorption von MTBE an sechs Filtermaterialien [Wichern et al., 2011]

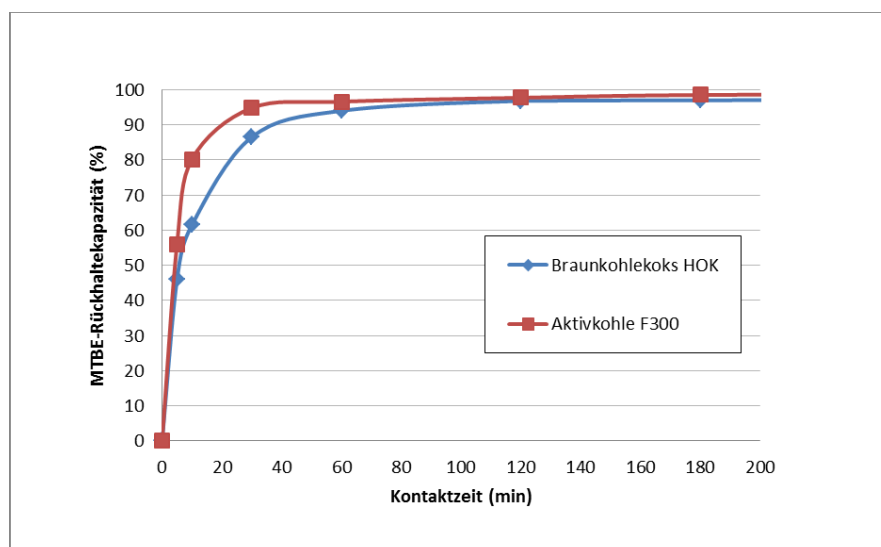


Abb. 2: Ermittlung der Adsorptionskinetik für MTBE an Aktivkohle F300 und Braunkohlekoks HOK mit einer Ausgangskonzentration von $100 \mu\text{g/l}$

Zur Ermöglichung einer besseren Abschätzung des Rückhalts sowie der maximalen Standzeit des Filters wurden die Sorptionskapazitäten von Naphthalin (Nap, Stellvertreter für PAK), MTBE und Zink (Zn, Stellvertreter für Schwermetalle) in Säulenversuchen ermittelt (Abb. 3 links). Die Säulen hatten einen Durchmesser von 18 mm und das Filterbett hatte eine Höhe von 23 cm. Es wurden wiederum die beiden Materialien Aktivkohle F300 und Braunkohlekoks HOK getrennt untersucht. Jedes Material wurde in je einem Versuch mit einem der drei Stoffe Naphthalin, MTBE und Zink einzeln bei einer EBCT (empty bed contact time) von 20 min beladen. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt.



Abb. 3: Versuchsaufbauten der TU München: Bestimmung der Sorptionskapazitäten (links) und weitergehende Untersuchungen in Säulen (rechts)

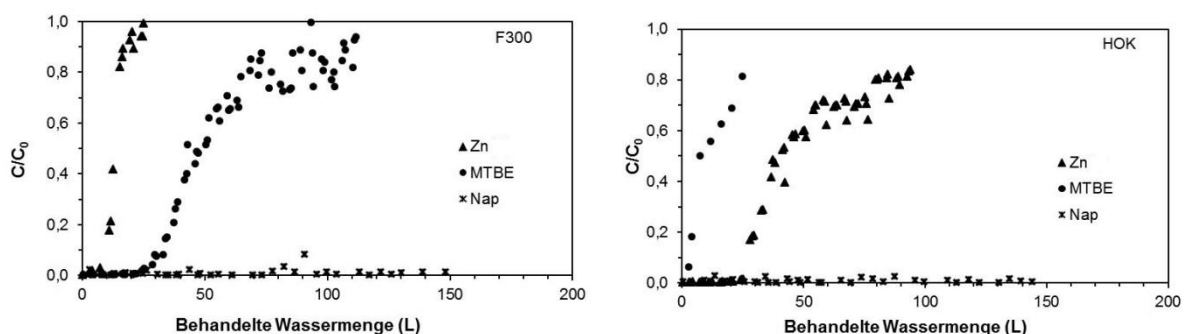


Abb. 4: Ergebnisse der Säulenversuche zur getrennten Bestimmung des Rückhalts von Zink, MTBE und Naphthalin an Aktivkohle F300 und Braunkohlekoks HOK. Zulaufkonzentrationen: 15 mg/l Zn, 16 mg/l MTBE, 5 mg/l Nap

Für beide Materialien ist ein sehr guter Rückhalt von Naphthalin zu erkennen, sodass auf weitere Untersuchungen dieses Parameters verzichtet wurde. Für MTBE und Zink weisen beide Materialien einen guten Rückhalt auf, wobei der HOK besser für Zink und die F300 besser für MTBE geeignet ist. Folglich wurde für weitere Untersuchungen eine Verwendung von F300 und HOK in Kombination vorgesehen, um sowohl einen Rückhalt organischer Spurenstoffe als auch von Schwermetallen zu gewährleisten. Eine Einbringung der beiden Materialien in Schichten bzw. als Mischung hat keinen Einfluss auf den Rückhalt dieser Stoffe gezeigt [Li und Helmreich, 2014].

Aufgrund der erhöhten Anforderungen durch die große Anschlussfläche im Verhältnis zur kompakten Filteroberfläche ist auch die Kontaktzeit des zu behandelnden Verkehrsflächenabflusses am Filtermaterial, dessen Aufbau konstruktionsbedingt auf 40 cm begrenzt ist, relevant. Für die Kinetik und aufgrund der höheren Konzentrationen in Verkehrsflächenabflüssen ist die Kontaktzeit besonders beim Schwermetallrückhalt im Vergleich zu den organischen Spurenstoffen als kritisch anzusehen. Daher wurden weitere Untersuchungen zum Rückhalt der Schwermetalle Kupfer (Cu) und Zink (Zn) durchgeführt (Säulen mit Durchmesser 50 mm, Abb. 3 rechts). Dabei wurde neben den beiden Kohlen zusätzlich das Material Sorp2 (ein Aluminiumoxid) verwendet, welches gute Rückhaltekapazitäten in Bezug auf Schwermetalle aufweist. Jedes Material wurde einzeln in eine Säule mit einer Betthöhe von 40 cm mit beiden Schwermetallen in Kombination mit einer Jahresfracht, aufgeteilt in drei Teilregenspenden analog zur Prüfvorschrift des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), beladen [DIBt, 2015]. Bei geringen Regenspenden wurden beide Schwermetalle von allen drei anfangs unbeladenen Materialien sehr gut zurückgehalten (Abb. 5). Mit steigenden Regenspenden nahm der Rückhalt in den einzelnen Materialien unterschiedlich stark ab. Besonders der Zinkrückhalt war bei der höchsten untersuchten Regenspende allgemein gering, jedoch besonders bei dem HOK, welcher im Vergleich zur F300 die höhere Schwermetallkapazität aufweist. Folglich bietet eine Mischung aus den drei Materialien den besten Rückhalt von Schwermetallen und weiteren organischen Spurenstoffen.

Daher wurde der Einbau der Filtermaterialien als Kombination anhand weiterer Säulenversuche optimiert (Abb. 3 rechts). Der entwickelte Aufbau besteht von unten nach oben aus 4 cm Betonstückchen als Strömungsgleichrichter, 12 cm HOK, 12 cm F300 und 12 cm Sorp2.

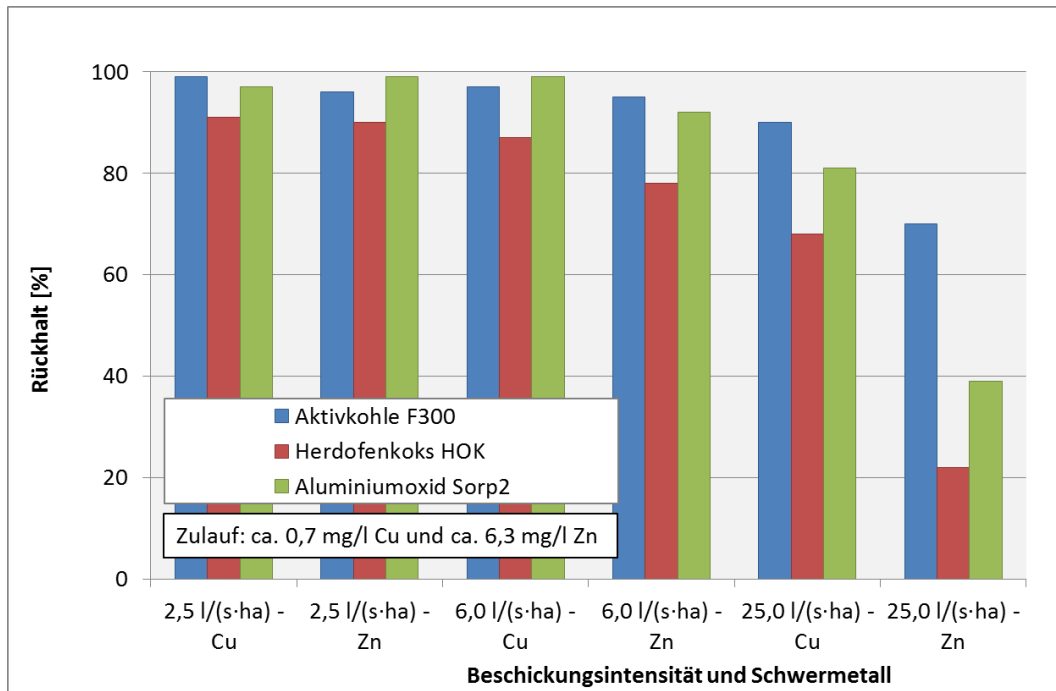


Abb. 5: Schwermetallrückhalt an Filtersäulen ohne Vorbelastung

Zusätzlich wurden Versuche an mit einer Jahresfracht an Schwermetallen vorbeladenen Säulen mit optimierter Materialkombination mit MTBE (ca. 7,2 mg/l) und ETBE (ca. 12,7 mg/l) und Regenspenden von 6,0 l/(s·ha) für jeweils 30 min durchgeführt. Diese zeigten einen durchgehenden Rückhalt von mindestens 90 % beider Stoffe. Somit werden mindestens zehn Jahresfrachten an MTBE und ETBE durch die entwickelte Filtermaterialkombination zurückgehalten. Abschließend wurde der Durchbruch für die Schwermetalle Kupfer und Zink ermittelt, da deren Kapazität unterhalb derer für die organischen Spurenstoffe liegt. Hierbei zeigte sich ebenfalls für Zink eine geringere Kapazität im Vergleich zum Kupfer. Je nach Einbauort kann daher, ausgehend von der limitierenden Zinkkapazität, von einer Gesamtstandzeit des Filters in Bezug auf gelöste Stoffe von ca. 12 bis 15 Monaten ausgegangen werden.

3 Entwicklung einer Filterstufe zum Rückhalt von Schwermetallen und Phosphor in dezentralen Behandlungsanlagen (LOEWE-Projekt der Frankfurt University of Applied Sciences)

Im zweiten Projekt, welches vom hessischen Wissenschaftsministerium gefördert wird, wird derzeit von Partnern aus Hochschulen (Technische Hochschule Gießen, Frankfurt University of Applied Sciences), der mittelständischen Industrie (Steinhardt GmbH Wasserstechnik, 3P Technik Filtersysteme GmbH), der Mittelhessischen Wasserbetrie-

be sowie des DIBt eine semi-dezentrale Niederschlagswasserbehandlungsanlage entwickelt. Die Anlage besteht aus einer Hochleistungssedimentations- und einer Filtrationsstufe zur Elimination relevanter Schadstoffe, wie Schwermetalle sowie Phosphor (P). Die Anlage wurde an einem Autobahnteilstück in der Nähe von Gießen mit einer Verkehrsbelastung von ca. 40.000 DTV aufgebaut und soll ein Jahr lang intensiv beprobt werden. Neuartig sind zum einen die zwischen zentralen und dezentralen Anlagen angesiedelte Anschlussgröße von etwa 1 ha und zum anderen die Entwicklung eines neuen Filtermaterials zur Elimination von Phosphor. Im Labor wurden zunächst infrage kommende Materialien zum Phosphor-Rückhalt sowie deren Effekte auf die Schwermetallelimination anhand von Schüttelversuchen getestet. In anschließenden Säulenversuchen wurde der Schwermetall- und Phosphorrückhalt in Abhängigkeit von der hydraulischen Beschickung, der Zulaufkonzentration sowie einer Vorbelastung von ca. einem Jahr ermittelt.

3.1 Herkunft, Aufkommen und Vorgaben von Phosphor

Phosphor in Niederschlagsabflüssen stammt im Wesentlichen aus der Abschwemmung von Böden (Bodenerosion), dem Eintrag von Pflanzenresten und Tierexkrementen sowie untergeordnet aus der Staub- und Niederschlagsdeposition. In urbanen Gebieten sind Straßen, befestigte Freiflächen, aber auch unbefestigte Flächen, wie z. B. Rasenflächen oder Baustellen, am Phosphoreintrag beteiligt.

Problematisch wird Phosphor dann, wenn ein Gewässer durch vermehrten Eintrag überdüngt wird und ein übermäßiges Algenwachstum schließlich zur Eutrophierung eines Gewässers führt. Stehende Gewässer sind dabei mehr gefährdet als Fließgewässer. Aktuell betroffen sind z. B. die Chesapeake Bay an der Ostküste der USA [CSN, 2014] oder die großen Seen in Kanada/USA, insbesondere der Erie-See, was zum Zusammenschluss der „Great Lakes Commission Phosphorus Reduction Task Force“ geführt hat [GLCPRTF, 2012].

Aber auch in deutschen Gewässern besteht teilweise Handlungsbedarf zur P-Reduzierung, um das von der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft gesteckte Ziel einer „guten“ Einstufung entsprechend zu erreichen [EU, 2000].

Die möglichen Ursachen für P-Einträge in Gewässer sind je nach Einzelfall sehr unterschiedlich. Sehr häufig ist die Landwirtschaft mit ihren direkten und indirekten Einträgen der bedeutendste Emittent. In anderen Fällen können aber auch niederschlagsbedingte

Einträge, insbesondere nach erfolgreicher Ertüchtigung der Kläranlagen, die Hauptemissionsquellen sein.

In Abb. 6 sind die Phosphorgehalte der wichtigsten niederschlagsbedingten Abflussarten aufgeführt [Welker, 2005/2014].

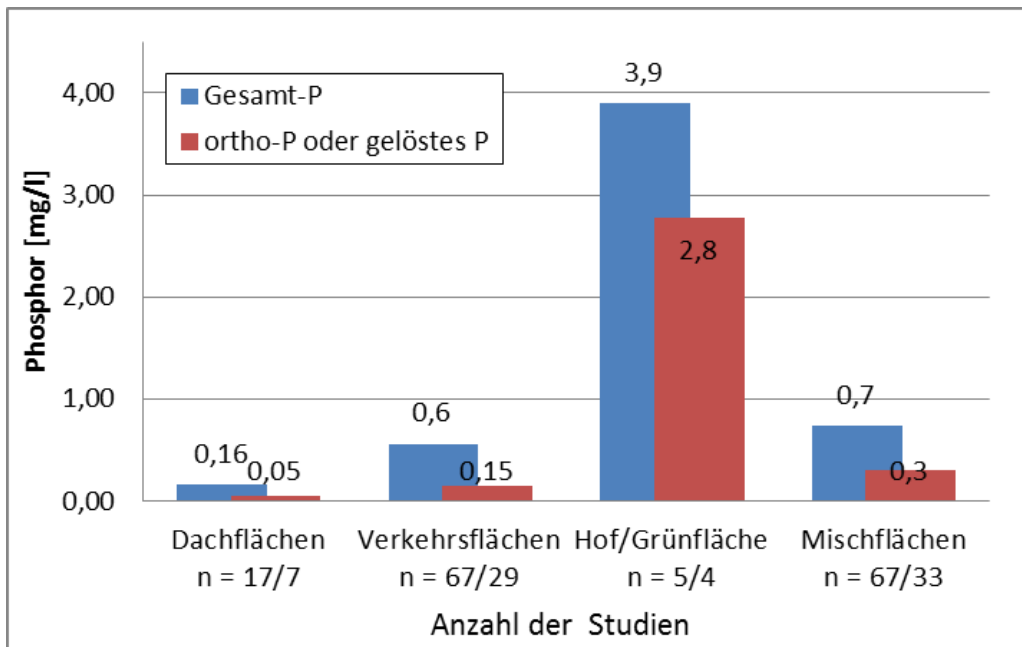


Abb. 6: Phosphoraufkommen in [mg/l] (Schwerpunktwerte) in unterschiedlichen Niederschlagsabflüssen [Welker, 2005/2014]

Eine Zusammenstellung von Nährstoffvorgaben für Oberflächengewässer im europäischen Vergleich zeigt, dass die Vorgaben für Gesamt-P (P_{ges}) – gewässertypspezifisch – bei etwa 0,1 bis 0,3 mg/l P_{ges} für Fließgewässer sowie bei etwa 0,01 und 0,09 mg/l P_{ges} für stehende Gewässer liegen [DWA, 2010]. Die in diesem Projekt betrachteten Verkehrsflächenabflüsse können damit bei P-Gehalten bis 0,6 mg/l eine Signifikanz für die Belastung von Gewässern aufweisen.

3.2 Laborversuche zur Entwicklung einer Filterstufe zum Rückhalt von Phosphor und Schwermetallen aus Verkehrsflächenabflüssen

Da Phosphor in Verkehrsflächenabflüssen vornehmlich partikulär vorliegt, kann ein großer Anteil des Phosphors zusammen mit den Feststoffen in einer Sedimentations- oder Filterstufe entfernt werden. Bei der Elimination der gelösten P-Anteile sind aufgrund der geringen Konzentration überwiegend Sorptionsvorgänge maßgeblich [Rustige und Plat-

zer, 2001]. Um einen möglichst hohen P-Rückhalt zu erreichen, galt es zunächst ein geeignetes Material zu finden.

Anhand von Schüttelversuchen im Labor wurden die Filtermaterialien Eisenhydroxid, Aktivkohle, Calciumsilikat und Sand als Referenzmaterial getestet. **Calciumsilikat (Ca-Si)** stellte sich als **das leistungsfähigste Material** heraus.

Da auch gelöste Schwermetalle zurückgehalten werden sollen, wurden die Materialien CaSi (für den P-Rückhalt) und Zeolith (für den Schwermetallrückhalt) getrennt und gemeinsam auf ihre Rückhaltefähigkeit im Schüttelversuch unter Variation der Kontaktzeit getestet. Da sich die Kontaktzeit in der Realität abhängig von der Regenintensität im Bereich von wenigen Minuten einstellt, ist die Kenntnis über den Rückhalt innerhalb dieser Zeitspanne wesentlich. Es zeigte sich, dass **Zeolith nicht am Phosphorrückhalt** (vgl. Abb. 7), **CaSi** jedoch – in geringerem Maß als Zeolith – **deutlich am Schwermetallrückhalt beteiligt ist** (vgl. Abb. 8). Der Rückhalt von Schwermetallen an Zeolith (Abb. 8) ist dabei bereits innerhalb von 5 min nahezu vollständig, zu 100 % bei Kupfer und zu 80 % bei Zink. CaSi mit höheren Anteilen am Grobkorn ist in der Lage innerhalb von 5 min 50 % des gelösten Phosphors zurückzuhalten, feinkörniges CaSi (< 2 mm Korngröße) hielt 75 % des gelösten Phosphors zurück (Abb. 7).

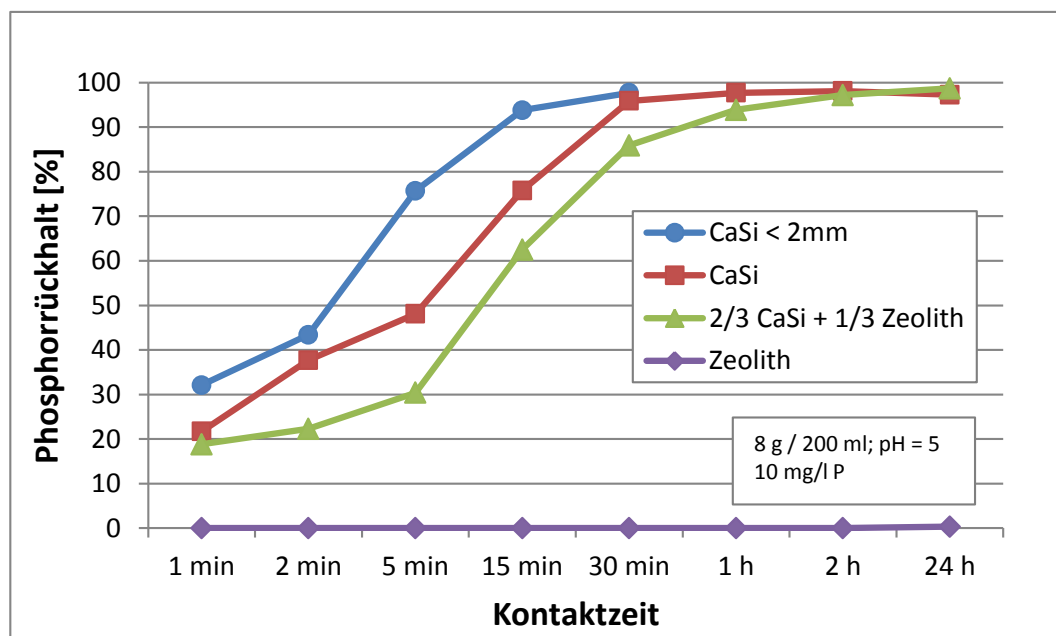


Abb. 7: Ergebnis Schüttelversuche zum Phosphor-Rückhalt an Calciumsilikat- bzw. Zeolithmaterialien

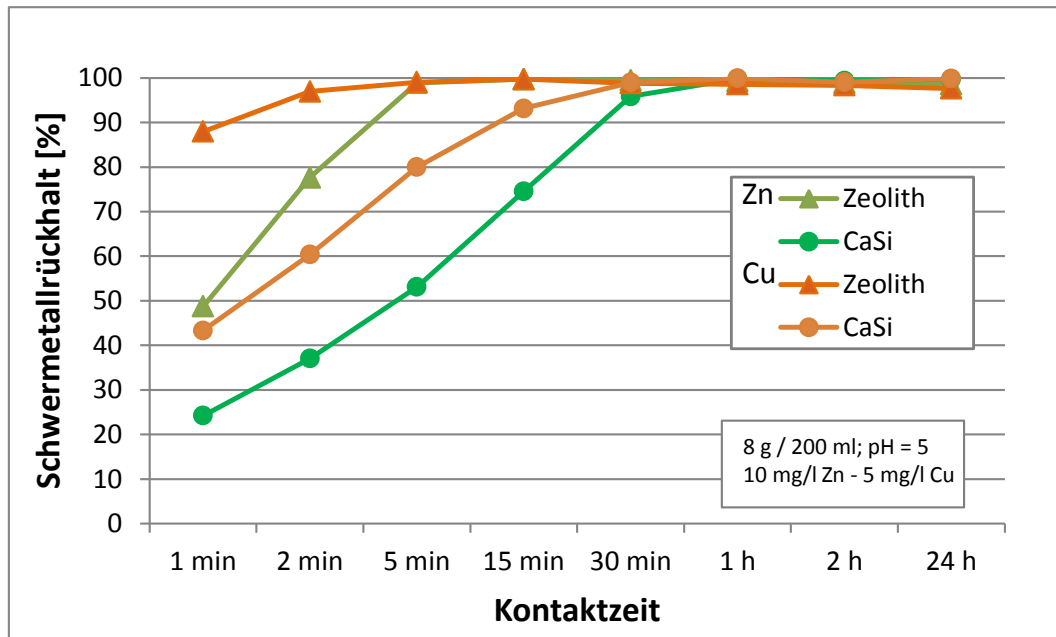


Abb. 8: Ergebnis Schüttelversuche zum Schwermetallrückhalt (Kupfer, Zink) an Calciumsilikat- bzw. Zeolithmaterialien

Anschließend wurden Säulenversuche unter realitätsnäheren Bedingungen durchgeführt. Der Aufbau der Laborsäulenversuche ist in Abb. 9 dargestellt. Dabei wurden Durchflüsse (3,0 bis 30 l/(s·ha)) analog zur in-situ-Situation der realisierte Anlage getestet. Die Stoffkonzentrationen (1 mg/l P_{gel} , 1 mg/l Zn, 0,5 mg/l Cu) lagen etwas über den Gehalten, die in der Realität gemessen wurden. Es wurde sowohl ein neues Filtermaterial getestet sowie eine Säule untersucht, die zuvor mit einer Jahresfracht an gelöstem Phosphor sowie Schwermetallen belastet wurde.

In Abb. 10 sind die Ergebnisse der Versuche auf den Phosphorrückhalt eines neuen Filtermaterials und in Abb. 11 nach einer Vorbelastung durch eine Jahresfracht dargestellt. Die Rückhalteleistung des neuen Filtermaterials betrug je nach Versuchsdesign und Beschickungsintensität 10 % bis 95 % (siehe Abb. 10). Grundsätzlich weist die Filtersäule mit 100 % CaSi den höchsten P-Rückhalt auf (blaue Säule). Wenn Zeolith-Anteile (notwendig für den Schwermetallrückhalt) zugemischt werden, gehen die Reinigungsleistungen von Phosphor zurück (rote Säule). Bei einer Verwendung von CaSi mit kleineren Korngrößen (< 2 mm) können diese wieder gesteigert werden (grüne Säule). Die Zumischung von Eisen in die Säule erbrachte keine Verbesserung bezüglich des P-Rückhalts (nicht dargestellt).

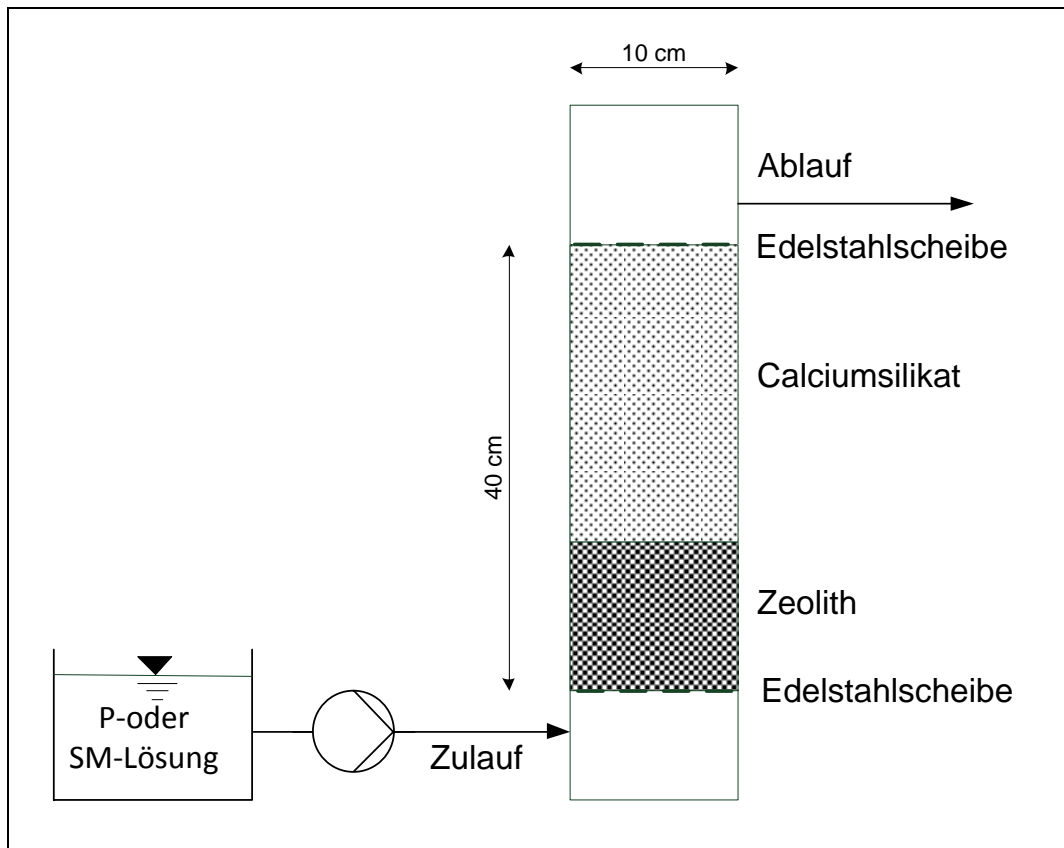


Abb. 9: Schema der Säulenversuche

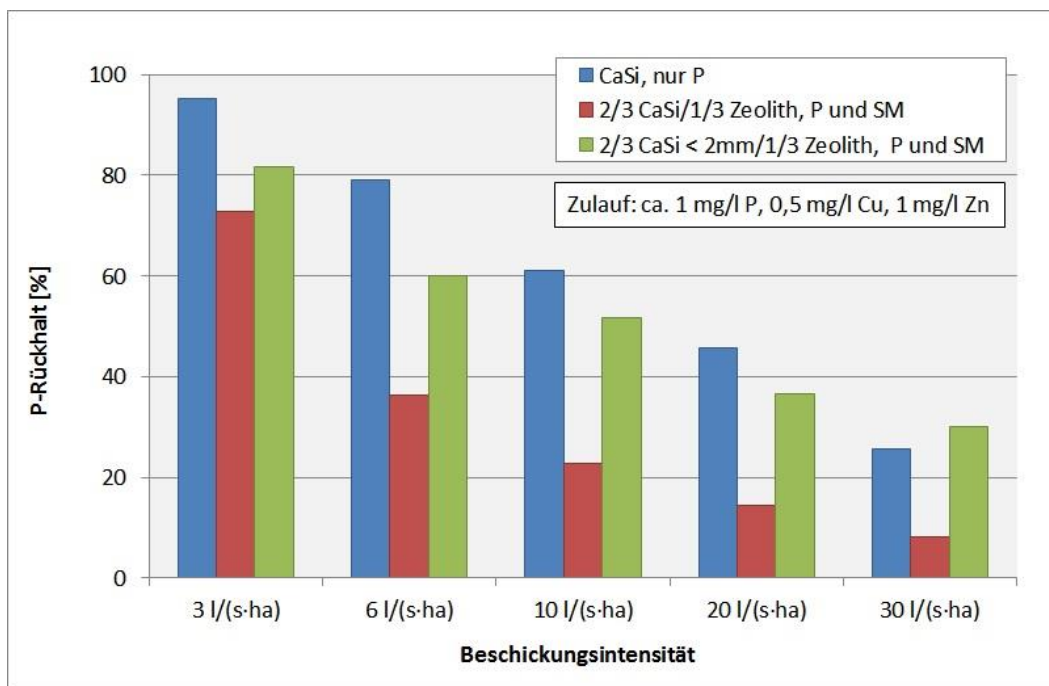


Abb. 10 Phosphorrückhalt in unterschiedlichen Filtersäulen ohne Vorbelastung; SM: Schwermetalle

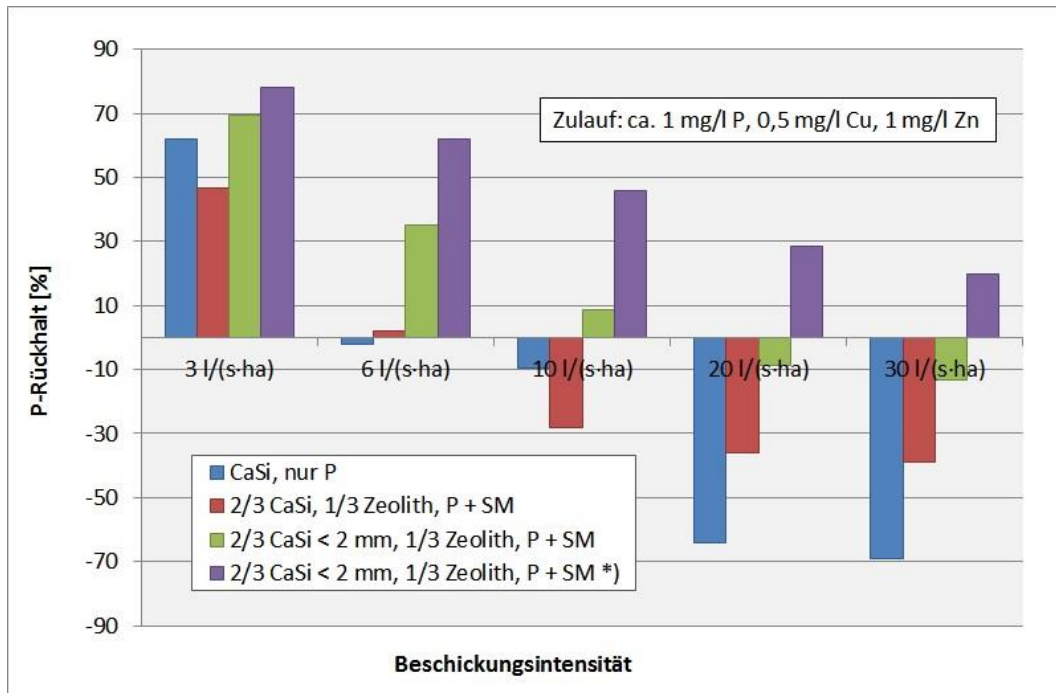


Abb. 11: Phosphorrückhalt in unterschiedlichen Filtersäulen mit Vorbelastung; SM: Schwermetalle; *) 5-wöchige Wartezeit nach Aufbringung der Vorbelastung

Bei allen verwendeten Filtermaterialien zeigte sich, dass der **Rückhalt** deutlich **abhängig von der Filtergeschwindigkeit** ist.

Der P-Rückhalt nach Aufbringen einer Jahresfracht als **Vorbelastung** ging bei höheren Zulaufbeschickungen bis in den **negativen Bereich** zurück (Abb. 11). Eine Ursache hierfür könnten die Versuchsbedingungen im Labor sein. Die Jahresfracht wird sehr konzentriert innerhalb von etwa zwei Tagen aufgebracht. Der Rückhalt konnte gesteigert werden, wenn längere Wartezeiten eingehalten wurden. So stieg der P-Rückhalt in der Säule, die zu 2/3 mit feinem CaSi und zu 1/3 mit Zeolith gefüllt war, auf ca. 80 % bis 20 % an, nachdem eine Wartezeit von etwa fünf Wochen nach Aufbringung der Vorbelastung eingehalten wurde (lila Säule in Abb. 11). Weitere (hier nicht dargestellte) Versuche wurden durchgeführt, um den Einfluss der Wartezeit zu präzisieren. Es zeigte sich, dass **eine Wartezeit von mindestens drei Wochen nach Aufbringen der Jahresfracht günstig** ist, um ein Auswaschen von gelöstem Phosphor aus der Vorbelastung zu minimieren.

Eine weitere Beobachtung war, dass das **gleichzeitige Vorhandensein von Schwermetallen** (evtl. auch weiterer Ionen) **den dauerhaften Rückhalt von gelöstem Phosphor positiv beeinflusst**. Der Rückhalt an Phosphor bei hohen Filtergeschwindigkeiten

war am geringsten in der Säule, in der nur CaSi eingebracht war und nur mit Phosphor getestet wurde.

Der hier nicht dargestellte **Schwermetallrückhalt** war in allen Versuchen **sehr gut** (je nach Filtergeschwindigkeit 87 % bis 98 % für Zink und 76 % bis 99 % für Kupfer).

Weitere Säulenversuche mit realitätsnäherem Beschickungswasser sollen noch durchgeführt werden. Bei diesem Versuchskonzept sollen Dachabflüsse als Basismatrix dienen, denen Ionen in realistischen Größenordnungen hinzudosiert werden. Diese Versuche laufen und sind noch nicht ausgewertet. Des Weiteren sind Versuche zum Auswascheffekt durch das Einbringen von Auftausalzen geplant.

4 Fazit und Ausblick

Die Entwicklung eines Filtermaterials mittels Schüttel- und Säulenversuchen im Labor zum Rückhalt von organischen Spurenstoffen (u. a. PAK, MTBE und ETBE) und Schwermetallen ergab eine Kombination aus je 1/3 Aktivkohle, Braunkohlekoks und Aluminiumoxid (siehe Kapitel 2). Diese optimierte Filtermaterialkombination wurde in zwei großtechnische Anlagen eingebaut und wird derzeit an zwei Standorten in Nordrhein-Westfalen vom Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik der Ruhr-Universität Bochum in Kooperation mit der Fa. Dr. Pecher AG und dem Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft der TU München untersucht. Ziel dieser Untersuchungen ist es, die Funktionsweise der Behandlungsanlage im Kurz- sowie im Langzeitverhalten (Betriebsstabilität, Kontroll- und Wartungsintervalle sowie Schadstoffrückhalt und Remobilisierung) wissenschaftlich zu dokumentieren. Erste Ergebnisse liegen bereits vor [Vesting et al., 2015].

Im dritten Kapitel wurden erste Ergebnisse der Laborversuche zum Rückhalt von gelöstem Phosphor unter verschiedenen Betriebsbedingungen dargestellt. Die an der Frankfurt UAS durchgeführten Versuche lieferten ebenfalls Erkenntnisse zur Auswahl des Filtermaterials. Das Gemisch aus 2/3 CaSi und 1/3 Zeolith zeigte gute Rückhalteleistungen an Phosphor sowie der Elemente Kupfer und Zink. Eine Eisenzudosierung brachte keine Verbesserung des P-Rückhalts. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde der großtechnische Filter gefertigt und in die in-situ-Anlage eingebaut. Des Weiteren wurde in den Laborversuchen die Bedeutung von Beschickungspausen untersucht. Diese Ergebnisse liefern wichtige Hinweise für den Phosphorrückhalt der Großtechnik in Bezug auf hydraulische Belastungen der Abflussereignisse. In einer zweiten Pro-

jektphase wird die großtechnische Anlage an der A 485 ca. ein Jahr lang mit einem umfassenden Messprogramm untersucht.

Danksagung

Die Ergebnisse konnten im Rahmen zweier F+E-Projekte generiert werden, die von den folgenden Landesministerien gefördert wurden: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (IV-7-042 600 002E) und Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst: Hessen Modellprojekte aus Mitteln der LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben (HA-Projekt-Nr.: 173/12).



Literatur

- Achten, C., Puettmann, W. (2000). Determination of methyl tert-butyl ether in surface water by use of solid-phase microextraction. *Environ. Sci. Technol.*, 34 (7), 1359 – 1364.
- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999. BGBl. Nr. 36, 1554.
- Borden, R.C., Black, D.C., McBlief, K.V. (2002). MTBE and aromatic hydrocarbons in North Carolina stormwater runoff. *Environmental Pollution* 118, 141 – 152.
- CSN (The Chesapeake Stormwater Network) (2014): A Nutrient Primer for Stormwater Designers in the Chesapeake Bay. Presentation. Aus: <http://chesapeakestormwater.net/training-library/all-about-stormwater/nutrients-and-stormwater/>
- 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) (2010): Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren. Abschlussbericht, angefertigt von der TU Kaiserslautern, FG Siedlungswasserwirtschaft; der Fachhochschule Münster; Fachbereich Bauingenieurwesen und des Instituts für Wasserforschung GmbH, Dortmund. Im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, Juni 2010.
- EU (Europäische Union) (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. „Wasserrahmenrichtlinie“. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L327/1 - L327/71.

- GLCPRTF (Great Lakes Commission Phosphorus Reduction Task Force) (2012): Priorities for Reducing Phosphorus Loadings and Abating Algal Blooms in the Great Lakes – St. Lawrence River Basin: Opportunities and Challenges for Improving Great Lakes Aquatic Ecosystems. A Report of the Phosphorus Reduction Task Force To the Great Lakes Commission. Ann Arbor, September 2012.
- Grotehusmann, D., Kasting, U. (2009): Vergleich der Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern und Versickerungsanlagen an Bundesfernstraßen. Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Heft 1024.
- Kayhanian, M., Fruchtmann, B.D., Gulliver, J.S., Montanaro, C., Ranieri, E., Wuertz, S. (2012): Review of highway runoff characteristics: Comparative analysis and universal implications. *Wat. Res.* 46 (20), 6609 – 6624.
- Koch, R., Schöpke, R., Preuß, V., Mangold, S., Striemann, A. (2002): Eigenschaften und Leistungsfähigkeit von natürlichen Böden für die Behandlung schwach belasteter Abwässer. Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft und Umwelt, Lehrstuhl Wassertechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus.
- Langbein, S., Steiner, M., Boller, M. (2006): Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbermaterial. Eawag, HSB/HTI Burgdorf, GSA Kt. Bern, AS-TRA, BAFU.
- Li, Y., Helmreich, B. (2014): Simultaneous removal of organic and inorganic pollutants from synthetic road runoff using a combination of activated carbon and activated lignite. *Separation and Purification Technology* 122, 6 – 11.
- Moll, B., Quadflieg, A. (2014): Aktualisierung der Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, Wasser und Abfall (3), 10 – 14.
- Rustige, H., Platzer, C (2001): Phosphorelimination in bewachsenen Bodenfiltern. *Wasser & Boden*, 53. Jahrg., Heft 3/2001, 11 – 15.
- Vesting, A., Huber, M., Giga, A., Helmreich, B., Wichern, M. (2015): Erfahrungen aus Praxisuntersuchungen eines dezentralen Behandlungssystems zur Reduktion von Kohlenwasserstoffen und organischen Spurenstoffen aus Verkehrsflächenabflüssen. *Aqua Urbanica* 2015, Stuttgart, 07.-08.10.2015.
- Welker, A., Huber, M. (2014): Dezentrale Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse - Stand der Technik. 42. Abwassertechnisches Seminar: Zukunftsfähige Bewirtschaftungskonzepte für Niederschlagswasser, Garching, 10.07.2014. Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft der TU München, Band 211. ISSN 0942-914X.
- Welker, A. (2005/2014): Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf - Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen. Habilitationsschrift. Schriftenreihe der TU Kaiserslautern, FG Siedlungswasserwirtschaft, Band 20, 2005. Aktualisierter Anhangband 2014.
- Wichern, M., Grüning, H., Helmreich, B. (2011): Niederschlagswasserbeseitigung: Entwicklung von Konzepten sowie von kosteneffizienten Verfahren und Techniken zur Niederschlagswasserbehandlung und -beseitigung, Teilprojekt: 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, 2010-2011.

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr.-Ing. habil. Antje Welker
Dr.-Ing. Martina Dierschke
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und Hydromechanik
Frankfurt University of Applied Sciences
Nibelungenplatz 1
D-60318 Frankfurt am Main
antje.welker@fb1.fra-uas.de
martina.dierschke@fb1.fra-uas.de

Maximilian Huber, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes
Prof. Dr. rer. nat. habil. Brigitte Helmreich
Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Siedlungswasserwirtschaft
Technische Universität München
Am Coulombwall 8
D-85748 Garching
maximilian.huber@tum.de
jdrewes@tum.de
b.helmreich@tum.de