

Entwicklung einer zweistufigen Behandlungsanlage für Verkehrsflächenabflüsse unter Berücksichtigung urbaner und kommunaler Anforderungen

Brigitte Helmreich, Maximilian Huber, Lisa-Marie Rempe und
Jörg E. Drewes

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität München,
Am Coulombwall 3, D-85748 Garching

Kurzfassung: Dezentrale Schachtsysteme für die Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen für die anschließende Versickerung bestehen meist aus einer Sedimentationsstufe und einer nachgeschalteten Filtrationsstufe, welche zusätzlich gelöste Stoffe durch weitergehende Wirkmechanismen zurückhalten soll. Dabei stellen kommunale Träger besondere Anforderungen an die Entwässerung urbaner Einzugsgebiete und die Abflussbehandlung. Dazu gehören sowohl Planungsaspekte als auch Wartung und Betrieb der Anlagen. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen wurde eine Pilotanlage weiterentwickelt. Das dafür ausgewählte carbonathaltige Filtermaterial wurde anhand von Laborsäulenversuchen untersucht, um den Schwermetallrückhalt, auch unter Auftausalzeinfluss, zu bestimmen sowie zusätzlich den Einfluss von Feststoffen auf den Schwermetallrückhalt als auch auf die hydraulische Durchlässigkeit zu ermitteln. Während Kupfer und Zink bei Verwendung von deionisiertem Wasser fast vollständig zurückgehalten wurden, zeigte sich bei der Verwendung realer Matrices, die mit Kupfer und Zink dotiert wurden, sowohl ein schnellerer Anstieg der Zink-Ablaufkonzentrationen als auch eine Reduzierung der hydraulischen Durchlässigkeit während weniger simulierter Regenereignisse. Außerdem konnte im Labor eine Verbesserung der Durchlässigkeit während der Trockenphasen festgestellt werden.

Keywords: Hydraulische Durchlässigkeit, Laborsäulenversuch, Niederschlagswasserbehandlung, Schachtanlage, Schwermetalle, Versickerung

1 Einleitung

Niederschläge, die von Verkehrsflächen abfließen, sind oftmals mit einer Vielzahl von Stoffen (z. B. Feststoffe, Schwermetalle, organische Stoffe und Auftausalze) verunreinigt und bedürfen vor Einleitung in ein Gewässer einer Behandlung (Eriksson et al., 2007; Huber et al., 2016). In den letzten Jahren wurden zahlreiche dezentrale Behandlungsanlagen als Alternativen zu zentralen Konzepten für Verkehrsflächenabflüsse entwickelt. Leistungsfähige dezentrale Schachtsysteme für die anschließende Versickerung bestehen meist aus einer Vorbehandlung (Sedimentationsstufe) sowie einer nachgeschalteten, weitergehenden Behandlung (z. B. Filtration inklusive Sorption) (Huber et al., 2015).

Bereits durchgeführte Felduntersuchungen an dezentralen Systemen führten zu zahlreichen Erkenntnissen, die bei der Entwicklung und Inbetriebnahme dezentraler Niederschlagswasserbehandlungsanlagen berücksichtigt werden sollten. Beispielsweise untersuchten Maniquiz-Redillas und Kim (2014) die Fraktionierung von Schwermetallen (gelöste und partikuläre Phase) im Zu- und Ablauf eines zweistufigen Systems (Absatzkammer mit nachgeschaltetem Filter). So variierte der gelöste Anteil der Schwermetalle während eines Regenereignisses und zwischen verschiedenen Ereignissen stark, sodass für eine ausreichende Behandlung ein Rückhalt der Feststoffe mit den daran gebundenen Schwermetallen als auch der gelösten Stoffe durch Fällung und/oder Sorption im Filter notwendig ist. Außerdem sollte nicht nur der Beginn eines Regenereignisses (first flush) behandelt werden sondern das gesamte Ereignis. In einer anderen Felduntersuchung wurde eine dreistufige Behandlungsanlage an einer stark befahrenen Straße in München beprobt (Hilliges et al., 2013). Anhand von 24 untersuchten Regenereignissen konnte gezeigt werden, dass auch hohe Zulaufmengen ausreichend effektiv für eine anschließende Versickerung zurückgehalten werden können, wenn eine gut funktionierende Abtrennung der Feststoffe vor dem Filter erfolgt. Dabei bedingt die verwendete zweistufige Vorsedimentation einen erhöhten Wartungsaufwand. Zudem wurden im Winter erhöhte Anforderungen an die Anlage gestellt, u. a. aufgrund der Verwendung von Auftausalzen und allgemein erhöhter Zulaufkonzentrationen der Schadstoffe.

Besondere Bedingungen an die Konstruktion und den Einbau dezentraler Anlagen ergeben sich auch aus dem kommunalen Spannungsfeld zwischen einer möglichst effizienten Verwendung des verfügbaren urbanen Raumes und der Umsetzung einer zukunftsfähigen Bewirtschaftung der Niederschlagsabflüsse vor Ort (Sample et al., 2012; Dierkes et al., 2015). So sind die derzeit auf dem Markt erhältlichen Produkte meist für den Einsatz auf industriell und gewerblich genutzten Flächen bzw. für die Nachrüstung bestehender Parkplatzflächen geeignet, jedoch sind die von den Herstellern angebotenen Lösungen oftmals nicht für den Einsatz an urbanen Straßen praktikabel und aus Kostengründen einsetzbar. Dies hängt oftmals mit der Spartenlage unterhalb der Straßen sowie im Straßenrandbereich als auch mit den stark variablen Anschlussflächen sowie mit den notwendigen Retentionsvolumina bei Starkregen (Bemessungsfall) zusammen. Daher ist aus Sicht der Tiefbauämter die Verwendung einer modularen Anlage, die je nach Anschlussfläche, Bemessungsregen und Platzverfügbarkeit angepasst werden kann, im Zuge von Straßenbaumaßnahmen vorzuziehen. Des Weiteren ist die Verwendung herstellernabhängiger Produkte (z. B. Filtermaterial, Schachtkonus, Schachtdeckel, Verbindungsrohre sowie weitere Einbauten) ebenfalls für staatliche Bauherren und kommunale Hersteller (basiert auf den Vorgaben der Vergabe- und Vertragsordnung (VOB)) wünschenswert. Weitere wichtige Aspekte für jeden Betreiber einer großen Anzahl an dezentralen Anlagen sind die Wartung und der Betrieb dieser Systeme. Dazu zählen neben den Kosten für Personal, Fahrzeug und Filtermaterialien auch die benötigte Ausrüstung zur Durchführung der Arbeiten, die Gewährleistung der Arbeitssicherheit während der Wartung sowie der Umfang an Fremdvergaben für Aufgaben, die der Betreiber selbst nicht erledigen kann.

Unter diesen Randbedingungen optimierte die Technische Universität München in Zusammenarbeit mit der Landeshauptstadt München ein bestehendes, zweistufiges Behandlungsanlagenkonzept in Schachtbauweise, das auch die zukünftigen Anforderungen an den Gewässerschutz erfüllen soll. Dabei wird der im Sinkkasten mit Laubeimer gesammelte Abfluss zuerst in einem Sedimentationsschacht vorbehandelt, bevor das Niederschlagswasser im anschließenden Versickerungsschacht mit Filterschicht weitergehend behandelt wird. Im Vorfeld des Feldmessprogramms wurde anhand von Laborversuchen die Eignung eines carbonathaltigen Sandes untersucht, um ein möglichst kostengünstiges Material zu finden,

das die Anforderungen an den Rückhalt gelöster Stoffe aber auch feinpartikulärer Bestandteile erfüllt. Zudem wurde darauf geachtet, dass vergleichbare Sande von verschiedenen Anbietern zur Verfügung gestellt werden können.

2 Material und Methoden

Das Material wurde in Anlehnung an die Vorgaben des DWA-A 138 ausgewählt und hatte eine Korngröße von 0,063–4 mm (Abbildung 1).

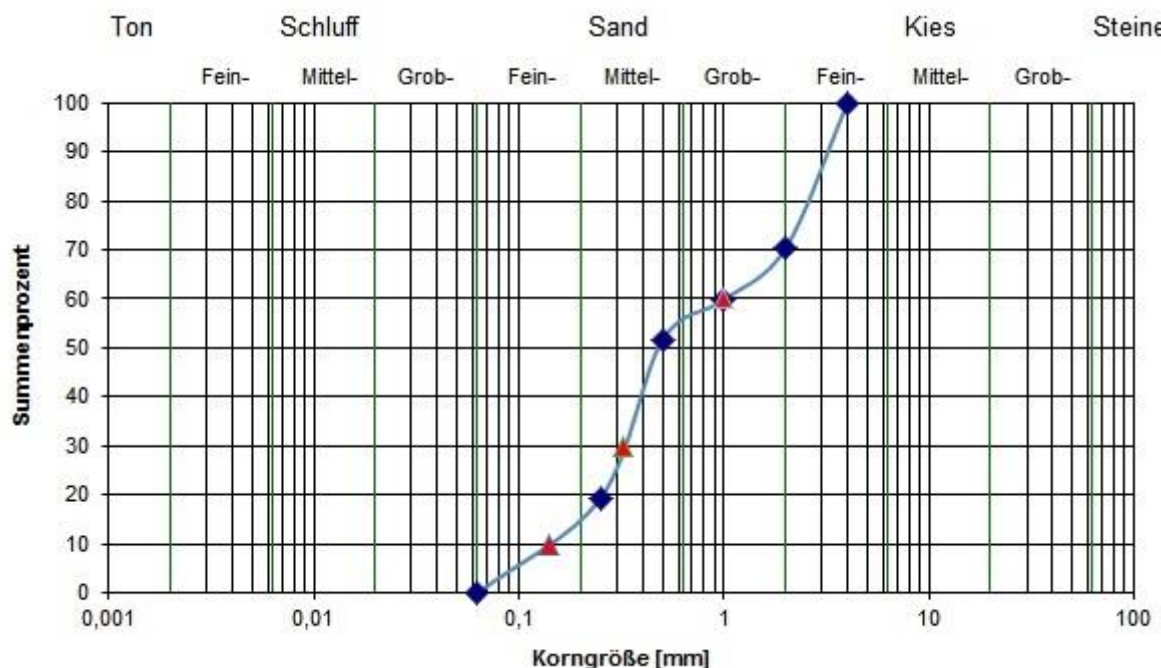


Abbildung 1: Sieblinie des verwendeten carbonathaltigen Sandes.

Der gesamte Kohlenstoffanteil (TC) liegt bei knapp 3 M.-% und der Calciumcarbonat-Anteil somit bei mindestens 10 M.-%. Weitere Hauptbestandteile des Sandes sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Hauptbestandteile des verwendeten carbonathaltigen Sandes.

Parameter	TC	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Gehalt [M.-%]	2,96	7,87	4,31	1,34	2,09	72,45

Um die Eignung des Sandes zur Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen zu bestimmen, wurde der Rückhalt von Kupfer (Cu) und Zink (Zn) in

Säulenversuchen (Innendurchmesser 10 cm, Säulenhöhe 60 cm, Füllhöhe des Sandes 30 cm, Drainageschicht aus inerten Glaskugeln 2 cm) anhand eines für München charakteristischen Starkregens (Regenspende 25 L/(s*ha), Dauer 48 Min) untersucht. Das Wasser sickerte von oben nach unten durch das zwischen den Regenereignissen trockenfallende Filtermaterial. Die pro Regenspende verwendete Fracht an Schwermetallen entsprach der realen Fracht von etwa vier Monaten (DIBt, 2015). Die Zulauf-Konzentrationen betrugen für jeden simulierten Regen 718 µg/L Cu und 6250 µg/L Zn bei einem pH-Wert im Zulauf von $4,9 \pm 0,3$, um den Rückhalt der gelösten Schwermetalle zu bestimmen. Nach der Vorbelastung zweier Säulen mit zehn Jahren (30 Regenereignisse) wurde die Salzstabilität gegenüber Natriumchlorid (10 g/L), das in München vom kommunalen Winterdienst verwendet wird, anhand zweier Regenereignisse mit Zwischenspülung untersucht. Für all diese Versuche wurde deionisiertes Wasser verwendet. Abschließend erfolgte die Bestimmung des Rückhalts unter Verwendung eines mit Cu und Zn dotierten und abgesetzten Straßenabwassers (ebenfalls 718 µg/L Cu und 6250 µg/L Zn) in einer Säule anhand von sechs weiteren simulierten Ereignissen (entspricht der Schwermetallfracht von ca. zwei weiteren Jahren). Parallel wurde die andere Säule mit den gleichen Konzentrationen an Cu und Zn, die in deionisiertem Wasser gelöst wurden, beschickt, um die Unterschiede im Stoffrückhalt als auch in der hydraulischen Durchlässigkeit in Abhängigkeit der Matrix bestimmen zu können.

Pro simulierten Regenereignis wurden vier Proben nach jeweils zwölf Minuten entnommen und darin der pH-Wert nach EN ISO 10523:2012 und die elektrische Leitfähigkeit (Lf) nach DIN EN 27888-C8 gemessen. Die Analysen der Schwermetallkonzentrationen der Zulauf- und Ablaufproben erfolgten mittels Atomabsorptionsspektrometrie nach DIN 38406-E7 (Cu) und DIN 38406-E8 (Zn). Die Bestimmungsgrenzen lagen bei 50 µg/L Cu und 20 µg/L Zn. Zusätzlich wurde bei jeder Probenahme die Einstauhöhe oberhalb der Filteroberfläche notiert und am Ende jedes Regenereignisses der zeitliche Verlauf des Rückgangs der Einstauhöhe aufgezeichnet, um daraus die hydraulische Durchlässigkeit (k_f -Wert) berechnen zu können.

3 Ergebnisse und Diskussion

Während der Vorbelastung (Betriebsjahre 1–10) des carbonathaltigen Sandes mit Cu und Zn über sieben Versuchstage mit unterschiedlich langen Trockenphasen dazwischen konnte sowohl für Cu als auch für Zn ein Rückhalt mit Ablaufkonzentrationen unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze mit Ausnahme der ersten Probenahme nach längeren Trockenphasen (Ablaufkonzentrationen von bis zu 71,4 µg/L Zn) für beide Säulen bestimmt werden. Der Verlauf der Ablaufkonzentrationen korreliert mit dem Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit positiv und negativ mit dem Verlauf des pH-Wertes (Abbildung 2). Somit bedeuten niedrigere pH-Werte im Ablauf nach den Trockenphasen erhöhte Ablaufkonzentrationen, besonders für Zn.

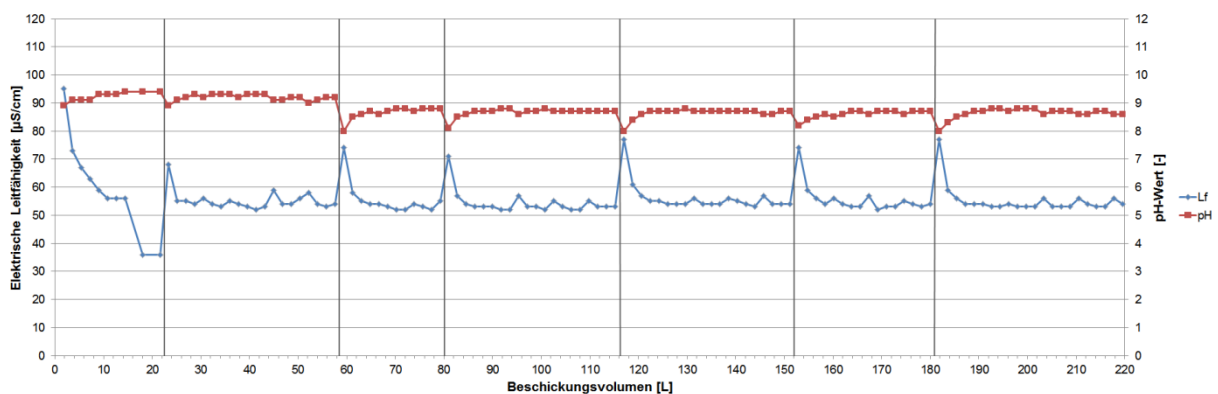


Abbildung 2: Verlauf des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit (Lf) während der Vorbelastung des Filtermaterials mit Cu und Zn. Vertikale Linien entsprechen jeweils einem neuen Versuchstag (Tage 1, 2, 6, 9, 13, 14 und 16).

Während der beiden anschließenden Regenspenden mit Natriumchlorid konnte keine Rücklösung von Cu und Zn bestimmt werden. Die Zn-Ablaufkonzentrationen in der dazwischenliegenden Spülregenspende lagen jedoch für beide Säulen deutlich erhöht bei anfangs rund 110 µg/L und nahmen während der Spülung auf ca. 20–40 µg/L ab. Somit bedingte der schnelle Wechsel von der Salzlösung zum reinen deionisierten Wasser eine Remobilisierung bereits zurückgehaltener Zn-Ionen. Vergleichbare Erkenntnisse erlangten Nelson et al. (2009) bei der Untersuchung von Oberböden zum Rückhalt von Schwermetallen und deren Remobilisierung unter Auftausalzen bzw. deionisiertem Wasser.

Im Anschluss an die Vorbelastung mit zehn Jahren und den Salzttests, welche für beide Säulen gleich durchgeführt wurden, wurden beide Säulen weiterhin mit den gleichen Cu- und Zn-Konzentrationen beschickt. Dabei wurden die Schwermetalle in dem einen Fall in deionisiertes Wasser hinzugegeben und im anderen Fall ein abgesetzter Straßenabfluss mit den beiden Schwermetallen dotiert. Ein Vergleich der Ablaufkonzentrationen sowie des pH-Wertes beider Säulen für das 11. und 12. simulierte Betriebsjahr ist in Abbildung 3 dargestellt.

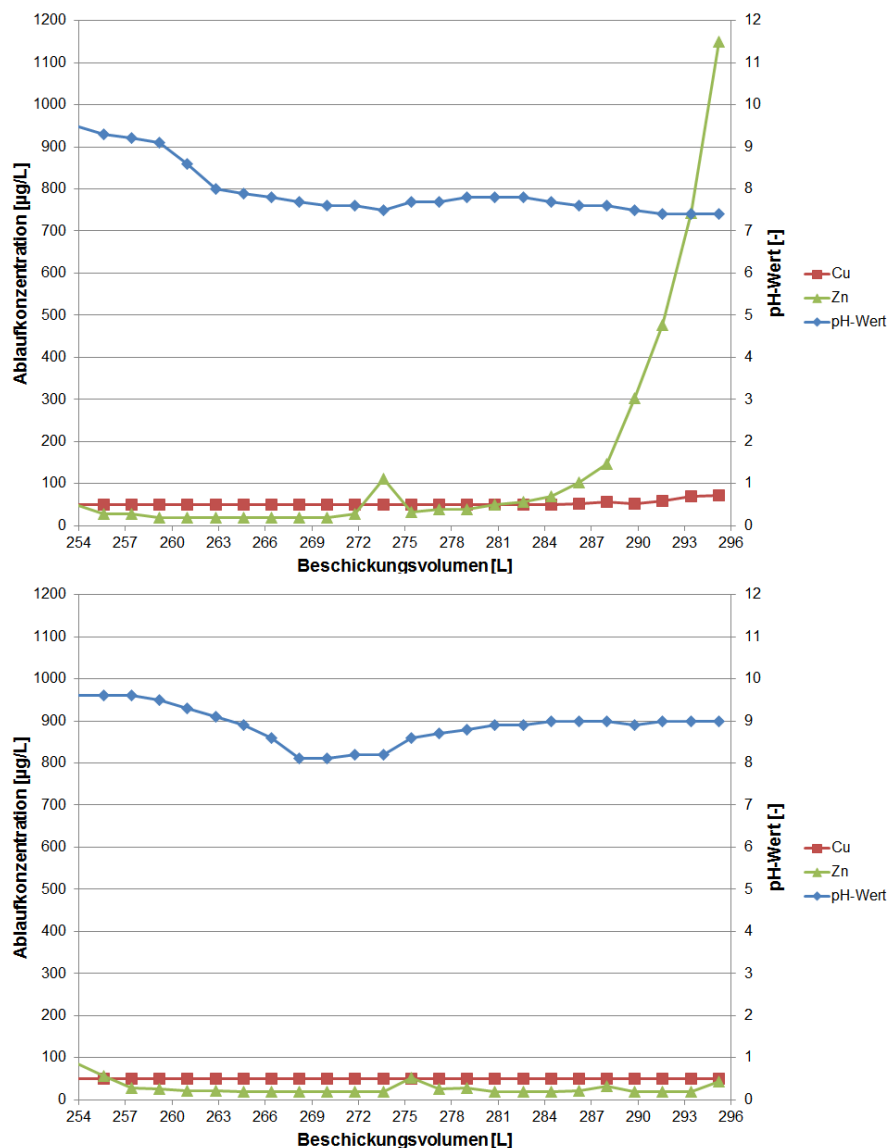


Abbildung 3: Schwermetallkonzentrationen im Ablauf zweier Säulen im simulierten 11. und 12. Betriebsjahr (oben mit dotiertem und abgesetztem Straßenabwasser, unten mit deionisiertem Wasser); Zulaufkonzentrationen jeweils ca. 718 µg/L Cu und 6250 µg/L Zn. Versuchspause nach jeweils vier simulierten Monaten (eine Probe pro Monat).

Während bei den ersten vier Regenereignissen (16 Proben) nur ein geringer Rückgang des pH-Wertes bei der Säule mit dem dotierten und abgesetzten Straßenabwasser gemessen werden konnte, nahm während des 5. Regenereignisses die Zn-Konzentration im Ablauf deutlich zu und erreichte im 6. Regenereignis Ablaufkonzentrationen, die in Realität einen Austausch des Filters (Erreichen der Standzeit) bedeutet hätten. In dem parallel laufenden Säulenversuch mit deionisiertem Wasser haben sich keine Veränderungen zum simulierten 1.–10. Betriebsjahr (Vorbelastung) ergeben, sodass die Matrix einen erheblichen Einfluss auf die Rückhalteleistung des Filtermaterials für gelöste Schwermetalle hatte.

Große Unterschiede ergaben sich auch bei den kontinuierlich gemessenen Einstauhöhen sowie den regelmäßig am Ende jedes simulierten Regenereignisses berechneten k_f -Werten (Abbildung 4). Während der k_f -Wert bei der Beschickung mit dem deionisierten Wasser nahezu unverändert blieb und die Einstauhöhe aufgrund der weiteren Fällprodukte im Sand nur minimal zunahm, bedingten die durch das dotierte Straßenabwasser eingebrachten feinen Partikel während der simulierten Regenereignisse einen stetig zunehmenden Einstau des Wassers und eine kontinuierliche Abnahme der hydraulischen Durchlässigkeit. Dieser Vorgang war auch optisch anhand der Ausbildung einer feinen, dunklen Schicht auf der Sandoberfläche zu beobachten (Abbildung 5). Demzufolge erfolgte der Rückhalt der feinen Partikel größtenteils in Oberflächennähe. Folglich verursachte selbst eine nur wenige Millimeter dicke Schicht an Feinstoffen eine Abnahme der hydraulischen Durchlässigkeit um fast 50 %. Somit hat das vorabgesetzte Straßenabwasser aufgrund seiner in Suspension befindlichen Feinpartikel einen Einfluss auf die Hydraulik, aufgrund der ebenfalls vorhandenen weiteren Ionen aber auch einen Einfluss auf die Pufferkapazität sowie den pH-Wert und dadurch auf den Schwermetallrückhalt, besonders den Zn-Rückhalt. Dieser selektive Einfluss hängt auch damit zusammen, dass Zn im Gegensatz zu Cu bei einem pH-Wert von ca. 8 – je nach Matrix – verstärkt gelöst vorliegt (Genç-Fuhrman et al., 2007).

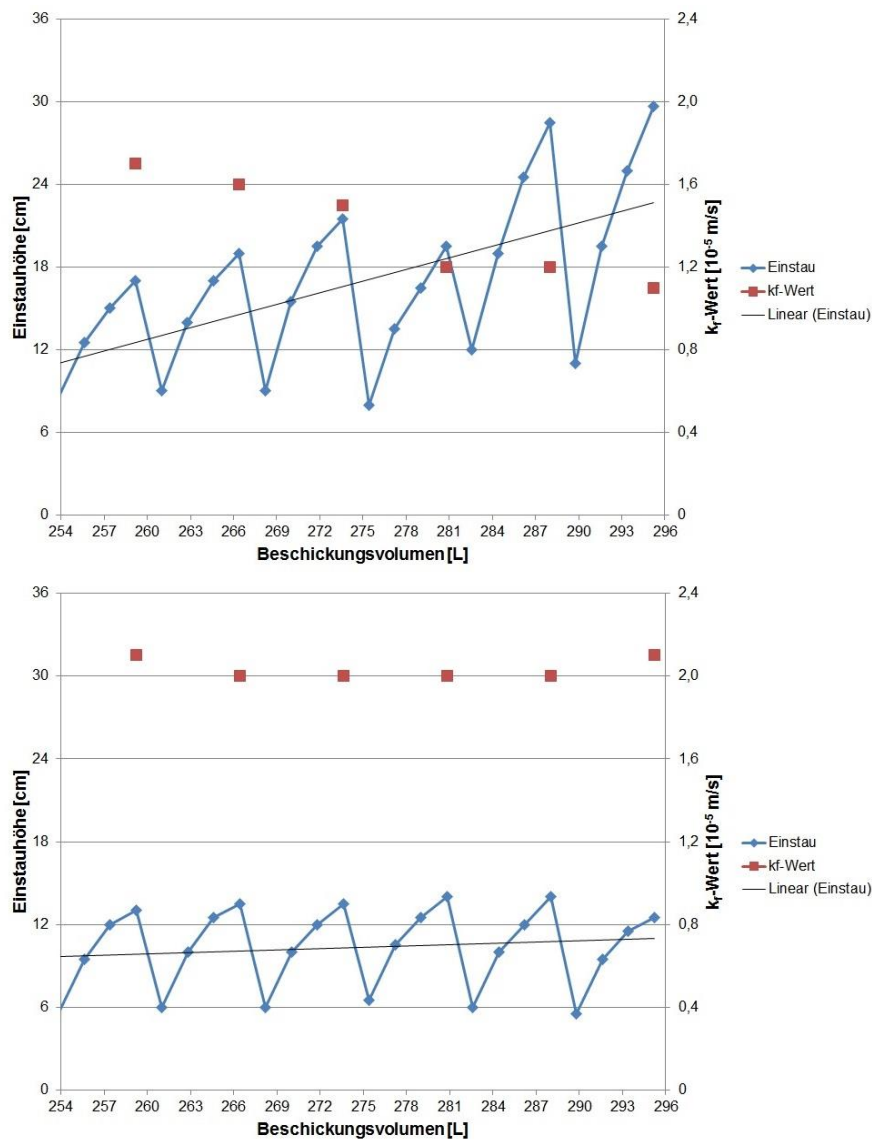


Abbildung 4: Vergleich der Einstauhöhen und die Entwicklung der hydraulischen Durchlässigkeit (lineare Trendlinie und k_f -Wert) zweier Säulen im simulierten 11. und 12. Betriebsjahr (oben mit dotiertem und abgesetztem Straßenabwasser, unten mit deionisiertem Wasser). Versuchspause und k_f -Wert-Berechnung nach jeweils vier simulierten Monaten.



Abbildung 5: Ablagerungen von Feinstoffen auf der Sandschicht nach Simulation des 11. und 12. Betriebsjahres mit abgesetztem Straßenabwasser.

4 Fazit und Ausblick

Anhand der Ergebnisse der Laborsäulenversuche konnte die Eignung des carbonathaltigen Filtermaterials bezüglich des Rückhalts gelöster Stoffe sowie die Salzstabilität gegenüber Natriumchlorid nachgewiesen werden (Versuche mit deionisiertem Wasser). Jedoch zeigte sich bei der Verwendung einer realen Matrix, welche mit Cu und Zn dotiert wurde, sowohl ein schnellerer Anstieg der Zn-Ablaufkonzentrationen als auch eine deutliche Reduzierung der hydraulischen Durchlässigkeit während weniger simulierter Regenereignisse. Somit liegt eine erhöhte Anfälligkeit der Behandlungsleistung gegenüber feinpartikulären Stoffen vor. Daher muss die vor der Filtereinheit zu betreibende Sedimentationsstufe einen sehr guten Rückhalt an feinpartikulären Stoffen aufweisen. Im Labor konnte aber auch eine Verbesserung der hydraulischen Durchlässigkeit des Filtermaterials während der Trockenphasen festgestellt werden.

Derzeit werden im Rahmen eines Pilotvorhabens weitergehende Felduntersuchungen an dem zweitstufigen Schachtsystem mit dem carbonathaltigen Sand durchgeführt, um reale Rückhaltewerte unter verschiedenen Randbedingungen zu ermitteln, wobei zusätzlich die Einflüsse der Trockenzeiten und mehrerer Niederschlagsparameter auf die Einstauhöhe sowie die hydraulische Durchlässigkeit erfasst werden.

5 Literatur

- Eriksson E., Baun A., Scholes L., Ledin A., Ahlman S., Revitt M., Noutsopoulos C. und Mikkelsen P.S. (2007). Selected stormwater priority pollutants — a European perspective. *Science of The Total Environment* 383, pp. 41 – 51.
- DIBt (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.
- Dierkes C., Lucke T. und Helmreich B. (2015). General Technical Approvals for Decentralised Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)—The Current Situation in Germany. *Sustainability* 7, pp. 3031 – 3051.
- Genç-Fuhrman H., Mikkelsen P.S. und Ledin A. (2007). Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: Experimental comparison of 11 different sorbents. *Water Research* 41, pp. 591 – 602.
- Hilliges R., Schriewer A. und Helmreich B. (2013). A three-stage treatment system for highly polluted urban road runoff. *Journal of Environmental Management* 128, pp. 306 – 312.
- Huber M., Welker A. und Helmreich B. (2015). Einführung in die dezentrale Niederschlagswasserbehandlung für Verkehrsflächen- und Metaldachabflüsse: Schacht-/ Kompaktsysteme, Rinnensysteme, Straßeneinläufe und Flächenbeläge. *Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität München, Band 213, ISSN 0942-914X*, pp. 1 – 98.
- Huber M., Welker A. und Helmreich B. (2016). Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of The Total Environment* 541, pp. 895 – 919.
- Maniquiz-Redillas M. und Kim L.-H. (2014). Fractionation of heavy metals in runoff and discharge of a stormwater management system and its implications for treatment. *Journal of Environmental Sciences* 26, pp. 1214 – 1222.
- Nelson S., Yonge D. und Barber M. (2009). Effects of Road Salts on Heavy Metal Mobility in Two Eastern Washington Soils. *Journal of Environmental Engineering* 135, pp. 505 – 510.
- Sample D.J., Grizzard T.J., Sansalone J., Davis A.P., Roseen R.M. und Walker J. (2012). Assessing performance of manufactured treatment devices for the removal of phosphorus from urban stormwater. *Journal of Environmental Management* 113, pp. 279 – 291.

Korrespondenz an:

Prof. Dr. rer. nat. habil. Brigitte Helmreich
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
Technische Universität München
Am Coulombwall 3
D-85748 Garching
Tel.: +49.89.289.13719
Fax: +49.89.289.13718
Email: b.helmreich@tum.de