

Titel:

Development and Evaluation of an Assessment Method for Decentralized Stormwater Treatment Systems for Runoff from Traffic Areas

Autor:

Maximilian Huber

Technische Universität München, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Gutachter:

apl.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Brigitte Helmreich

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Marc Wichern, Ruhr-Universität Bochum

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heinz

Veröffentlicht:

2016

Dissertation:

<https://mediatum.ub.tum.de/node?id=1292808>

Abstract

The runoff from traffic areas is polluted by several substances (e.g., heavy metals, hydrocarbons, compounds of de-icing salts, and solids) and must often be treated prior to discharge into receiving waters. In the last few years, many decentralized stormwater treatment systems have been developed and can be tested in Germany and worldwide by standardized methods. However, no detailed method is currently available for the determination of the service lives and the influences of de-icing salts on the remobilization of pollutants that were previously fixed onto filter materials. Decentralized stormwater treatment systems, which do not pose any risk for groundwater and surface water by discharging dissolved pollutants, can only be developed and operated with the knowledge of a realistic service life and a possible remobilization of previously retained heavy metals by de-icing salts. Therefore, the focus of this thesis was set on the development and evaluation of an assessment method for decentralized stormwater treatment systems for runoff from traffic areas.

In a first step, a literature study was performed to collect data from international monitoring programs (294 data sets) to determine the heavy metal concentrations of the most relevant heavy metals cadmium, chromium, copper, lead, nickel, and zinc in runoff from traffic areas. For these metals, the total and dissolved concentrations (median, average, and distribution) were determined separately for eight traffic area categories. In addition, the measured runoff concentrations of the metals antimony, cobalt, manganese, palladium, platinum, rhodium, titanium, and tungsten were compiled. Moreover, the influences of site-specific and method-specific factors on the results of monitoring programs were evaluated. As one result, the runoff concentrations of zinc were the most variable compared with the other heavy metals. Furthermore, the method of calculating average values has a huge impact on the results and the pH value of runoff waters does not correlate with the dissolved part of heavy metals in the field. In the 80s and 90s, the lead concentrations in runoff from traffic areas significantly decreased, whereas no trends were detected for copper and zinc.

The determined distributions of the dissolved metal concentrations were used to perform appropriate experiments for the evaluation of the heavy metal removal by filter materials in lab-, pilot-, and full-scale experiments. Although the removal mechanisms of filter materials consist of filtration (e.g., after precipitation), sorption, ion exchange, or biochemical transformation, the term “filter material” was deliberately chosen because it is commonly used by manufacturers and operators. At the beginning, a comparison of batch and column experiments was performed. Capacities and kinetics were determined that describe the removal of copper, nickel, and zinc by six filter materials. For batch experiments, the influences of two different types of shakers, a variation of the initial pH value (5 and 7), and the presence of a buffer was tested. For most experiments, the use of a rotary shaker, a pH buffer simulating ionic strength, and an initial pH value of 7 instead of 5

increased the capacities. In contrast to batch experiments, the column experiments were performed with more realistic boundary conditions. For the results of the column experiments, the differences between the filter materials were more significant compared with the batch test results. The capacities determined by column experiments decreased with increasing influent concentrations and shorter contact times. As a further result, lab-scale column experiments can be used as an indicator to determine the service lives of treatment systems. Batch experiments with heavy metals can only be used under identical and well-defined conditions to select appropriate filter materials and to prove the comparability of different production batches. In contrast, the cation exchange capacities, which were determined in accordance with the Standard Methods DIN EN ISO 11260:2011-09 and DIN EN 16070:2014-06, were not suitable to determine heavy metal removal capacities and to characterize the performance of filter materials. For the determination of realistic service lives and removal efficiencies of decentralized stormwater treatment systems for traffic area runoff, pilot-scale experiments are necessary. Therefore, a novel and standardized method was developed that consists of two parts. In Part 1, the filter material is rapidly preloaded in individual models with the heavy metals copper and zinc. In Part 2, the long-term performance of the system is assessed by simulating the last year of the filter material's service life with three different rain events. All tested treatment systems had different removal efficiencies, in particular in their long-term performances. The average removal efficiencies varied between 48.2% and 99.3% for copper and between 59.7% and 99.4% for zinc. The smallest values were determined during the rain event with the highest rain intensity. The applicability of the method was confirmed by a comparison of the novel test method results with field measurements, which were performed at four sites for two filter channel systems.

Moreover, the remobilization risk of previously retained heavy metals was determined for cadmium, copper, lead, nickel, and zinc under application of de-icing salts by lab-scale column experiments. Hereby, tests were performed with eight columns for each of the six filter materials to determine the heavy metal removal. Afterwards, three different experiments were performed with sodium chloride, a mixture of sodium chloride and calcium chloride, and a mixture of sodium chloride and magnesium chloride in duplicates. The mixture of sodium chloride and calcium chloride remobilized the most heavy metals. The remobilization increased with an increasing preloading of the filter and it also depends on the filter material and the heavy metal. The two preloaded columns without subsequent salt tests were used for further studies to describe the removal mechanisms.

A monograph was also published that provides an introduction into the topic decentralized stormwater treatment of runoff from traffic areas and metal roofs. It includes an overview of the system types, their removal mechanisms, the catchment areas, the discharge criteria, the receiving compartments, the legal requirements, the approval procedures, and the test methods.

Zusammenfassung

Verkehrsflächenabflüsse sind mit einer Vielzahl von Stoffen (z. B. Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, Auftausalze und Feststoffe) verunreinigt und bedürfen oftmals vor Einleitung in ein Gewässer einer Behandlung. In den letzten Jahren wurden zahlreiche dezentrale Behandlungsanlagen entwickelt, welche sowohl in Deutschland als auch weltweit anhand differenzierter Prüfverfahren getestet werden können. Jedoch ist derzeit keine detaillierte Methodik zur Bestimmung der Standzeit dieser Anlagen und zur Ermittlung des Einflusses von Auftausalzen auf die Remobilisierung von auf Filtermaterialien zurückgehaltenen Schadstoffen vorhanden. Nur bei Kenntnis einer realistischen Standzeit und einer möglichen Remobilisierung bereits zurückgehaltener Schwermetalle durch Auftausalze können dezentrale Behandlungsanlagen entwickelt und betrieben werden, die kein Risiko für den Eintrag gelöster Schadstoffe in Grund- und Oberflächengewässer bergen. Diese Arbeit behandelt daher die Entwicklung und Anwendung eines standardisierten Bewertungsverfahrens für dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung von Verkehrsflächenabflüssen.

Als Basis für die Arbeit wurden in einem ersten Schritt 294 Datensätze internationaler Literatur ausgewertet, um die Schwermetallkonzentrationen der aufkommensrelevanten Stoffe Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink in Verkehrsflächenabflüssen zu bestimmen. Für diese Schwermetalle wurden die gesamten und gelösten Konzentrationen (Median, Mittelwert und Verteilung) getrennt für acht Verkehrsflächenkategorien bestimmt. Zusätzlich wurden gemessene Abflusskonzentrationen der Metalle Antimon, Kobalt, Mangan, Palladium, Platin, Rhodium, Titan und Wolfram zusammengestellt. Außerdem wurden orts- und methodenspezifische Einflüsse auf die Messwerte von Monitoring-Programmen evaluiert, wobei das Aufkommen von Zink besonders variabel ist. Anhand dieser Auswertung konnte u. a. gezeigt werden, dass die Art der Mittelung der Einzelergebnisse eines Standorts große Einflüsse auf die Charakterisierung der Verkehrsfläche hat und der pH-Wert des Abflusses nicht mit den gelösten Anteilen der Schwermetalle im Feld korrelierte. Während die Bleikonzentrationen der Verkehrsflächenabflüsse in den 80er und 90er Jahren deutlich zurückgingen, wurden keine Entwicklungen bei den Kupfer- und Zinkkonzentrationen festgestellt.

Anhand der ermittelten Konzentrationsverteilungen der gelösten Schadstoffe konnten geeignete Versuche an Filtermaterialien zur Bestimmung des Schwermetallrückhalts im Labor-, Pilot- und technischen Maßstab durchgeführt werden. Der Begriff „Filtermaterialien“ wurde bewusst gewählt, da er unter den Herstellern und Anwendern ein eingeführter Begriff ist. Filtermaterialien beinhalten jedoch u. a. die Wirkmechanismen Filtration (z. B. nach Fällung), Sorption oder Ionenaustausch. Zuerst wurden in vergleichenden Schüttel- und Säulenversuchen die Kapazitäten und Kinetiken von sechs Filtermaterialien bzgl. des Rückhalts von Kupfer, Nickel und Zink bestimmt. Dabei wurde der Einfluss der Schüttlerart, des pH-Wertes (5 oder 7) und der Verwendung von Puffern auf die

Ergebnisse der Schüttelversuche bestimmt. Bei den meisten Versuchen erfolgte eine Zunahme der Kapazitäten durch die Verwendung eines Vertikalschüttlers, eines pH-Wertes von 7 statt 5 und von Puffern. Anhand der Säulenversuche konnten die Unterschiede zwischen einzelnen Materialien im Vergleich zu den Schüttelversuchen differenzierter und unter realistischeren Bedingungen untersucht werden. Dabei reduzierten sich die anhand der Säulenversuche ermittelten Kapazitäten mit steigenden Zulaufkonzentrationen und kürzeren Kontaktzeiten. Die nach DIN EN ISO 11260:2011-09 und DIN EN 16070:2014-06 bestimmten Kationenaustauschkapazitäten ergaben, dass diese Methoden nicht zur Charakterisierung des Schwermetallrückhalts geeignet sind. Dahingegen sind Schüttelversuche mit Schwermetallen als definierte Methode zur Identifizierung geeigneter Materialien und zur Überprüfung von Produktionschargen sowie Säulenversuche im Labormaßstab zur Abschätzung von Standzeiten geeignet. Zur Bestimmung der tatsächlichen Standzeit und Behandlungsleistung dezentraler Anlagen zur Verkehrsflächenabflussbehandlung sind aber Versuche im Pilot-Maßstab notwendig. Die dafür entwickelte und standardisierte Methode besteht aus zwei Teilen: eine Vorbelastung der Filtermaterialien in geeigneten Modellen mit den Schwermetallen Kupfer und Zink sowie anschließend die Durchführung dreier Regenspender zur Bestimmung der Rückhalteleistung im letzten Betriebsjahr vor dem Materialaustausch. Die untersuchten Anlagen zeigten besonders im Langzeitverhalten unterschiedliche Leistungen. Der mittlere Rückhalt variierte zwischen 48,2 % und 99,3 % für Kupfer und zwischen 59,7 % und 99,4 % für Zink. Die niedrigsten Werte wurden beim Regenereignis mit der höchsten Regenspende gemessen. Die Anwendbarkeit der Methode wurde durch die Beprobung zweier Rinnensysteme an vier Standorten nachgewiesen.

Anhand von Laborsäulenversuchen wurde anschließend das Remobilisierungsrisiko bereits gebundener Schwermetalle unter Auftausalzverwendung für Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink bestimmt. Zuerst wurden für sechs verschiedene Filtermaterialien an je acht Säulen Versuche zum Schwermetallrückhalt durchgeführt. Je zwei Säulen wurden anschließend mit Natriumchlorid, einer Mischung aus Natrium- und Calciumchlorid sowie einer Mischung aus Natrium- und Magnesiumchlorid beschickt, wobei die Mischung aus Natrium- und Calciumchlorid die meisten Schwermetalle remobilisierte. Die Höhe der Remobilisierung schwankte zudem zwischen den einzelnen Filtermaterialien und den Schwermetallen und stieg mit zunehmender Beladung der Materialien an. Die beiden beladenen Säulen ohne anschließende Auftausalzversuche wurden für weitere Untersuchungen verwendet, um die grundlegenden Wirkmechanismen zu beschreiben.

Ebenfalls wurde eine Einführung in die Thematik der dezentralen Niederschlagswasserbehandlung für Verkehrsflächen- und Metaldachabflüsse erstellt. Diese Buchpublikation gibt einen Überblick zu den Anlagentypen und deren Wirkmechanismen, den Herkunftsflächen, den Zielkompartimenten, den rechtlichen Anforderungen sowie zu den Zulassungs- und Prüfverfahren.

Papers in Peer-Reviewed Journals (Auswahl)

1. Huber, M., Welker, A., Dierschke, M., Drewes, J.E., Helmreich, B., 2014. Ein neues Laborverfahren zur Ermittlung von Standzeiten dezentraler Anlagen zur Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen. *gwf Wasser/Abwasser* 155 (5), 630–638.
2. Huber, M., Welker, A., Helmreich, B., 2015. Belastung von Verkehrsflächenabflüssen mit Schwermetallen – ein europäischer Vergleich. *gwf Wasser/Abwasser* 156 (9), 896–909.
3. Huber, M., Welker, A., Drewes, J.E., Helmreich, B., 2015. Auftausalze im Straßenwinterdienst – Aufkommen und Bedeutung für dezentrale Behandlungsanlagen von Verkehrsflächenabflüssen zur Versickerung. *gwf Wasser/Abwasser* 156 (11), 1138–1152.
4. Huber, M., Welker, A., Helmreich, B., 2016. Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of the Total Environment* 541, 895–919.
5. Huber, M., Badenberger, S.C., Wulff, M., Drewes, J.E., Helmreich, B., 2016. Evaluation of Factors Influencing Lab-Scale Studies to Determine Heavy Metal Removal by Six Sorbents for Stormwater Treatment. *Water* 8 (2), 62:1–19.
6. Horstmeyer, N., Huber, M., Drewes, J.E., Helmreich, B., 2016. Evaluation of site-specific factors influencing heavy metal contents in the topsoil of vegetated infiltration swales. *Science of the Total Environment* 560–561, 19–28.
7. Huber, M., Helmreich, B., 2016. Stormwater Management: Calculation of Traffic Area Runoff Loads and Traffic Related Emissions. *Water* 8 (7), 294:1–21.
8. Huber, M., Welker, A., Dierschke, M., Drewes, J.E., Helmreich, B., 2016. A novel test method to determine the filter material service life of decentralized systems treating runoff from traffic areas. *Journal of Environmental Management* 179, 66–75.
9. Huber, M., Hilbig, H., Badenberger, S.C., Fassnacht, J., Drewes, J.E., Helmreich, B., 2016. Heavy metal removal mechanisms of sorptive filter materials for road runoff treatment and remobilization under de-icing salt applications. *Water Research* 102, 453–463.

Monograph

Huber, M., Welker, A., 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, Vol. 213, 1st ed., ISSN 0942-914X, pp. 1–98.*