

Einfluss von Streusalz auf die Flockung partikulärer Stoffe in Regenbecken an Autobahnen

Simon Faltermaier, Steffen Krause und F. Wolfgang Günthert

Universität der Bundeswehr München

Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik

Kurzfassung: Niederschlagswasser von Autobahnen wird in Deutschland vorwiegend zentral in Regenbecken mit Dauerstau behandelt. Ziel dieser qualitativen Behandlung ist die Sedimentation partikulärer Stoffe, während gelöste Stoffe weitestgehend unbehandelt das System passieren. In diesem Beitrag werden Untersuchungen zur Erhöhung der Sinkgeschwindigkeit partikulärer Stoffe in Bereichen mit hoher Salinität dargestellt. In Absetzversuchen wurden verschiedene Wasser-Feststoff-Gemische bei unterschiedlichen Salzkonzentrationen mittels digitaler Bildauswertung untersucht. Es zeigte sich eine Verbesserung der Sedimentationsleistung mit steigender Salzkonzentration, die auf einer Erhöhung der Sinkgeschwindigkeit beruht. Um das langfristige Rücklösungspotential von Schwermetallen bei erhöhten Salzkonzentrationen zu erfassen wurde außerdem eine sequentielle Extraktion mit Sediment von Regenbecken durchgeführt. Im Ergebnis zeigte sich hier bei den untersuchten Metallen Cu, Pb, Ni und Zn ein sehr geringer Anteil leicht rücklösbarer Schwermetalle.

Es ergibt sich daraus im Vergleich zur Beckenkonstruktionen, die diesen Effekt nicht berücksichtigen eine Verbesserung hinsichtlich des Rückhalts partikulär gebundener Schwermetalle.

Keywords: Regenbecken, Schwermetalle, Sequentielle Extraktion, Flockung

1 Einleitung

An Autobahnen erfolgt die Sammlung und Behandlung des Niederschlagswassers häufig in Regenbeckensystemen. Niederschlagswasserabfluss von Verkehrsflächen enthält typischerweise gelöste und partikuläre organische Stoffe, Schwermetalle und im Winter Streusalzkomponenten (Folkeson et al., 2009; Huber et al., 2016).

Der Einfluss von Streusalz auf die Absetzwirkung der Becken wurde bisher nur bezüglich hydraulischer Kurzschlüsse hinsichtlich densimetrischer Einschichtung betrachtet. Studien in marinen Umgebungen zeigten jedoch auch, dass sich bei zunehmender Konzentration von NaCl und CaCl_2 die Sinkgeschwindigkeit erhöhte (Portela et al., 2013; Sutherland et al., 2014). Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden Absetzversuche mit verschiedenen Konzentrationen typischer Sedimentproben aus Regenbecken bei unterschiedlichen Salzkonzentrationen durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen Sinkgeschwindigkeit und Salzkonzentration zu bestimmen. Bei positiver Korrelation der beiden Faktoren kann mit einer verbesserten Abtrennung partikulär gebundener Schwermetalle im Niederschlagswasser während der Streusalzsaision gerechnet werden. Bauliche Maßnahmen, wie z. B. Flockungszonen mit hoher Salzkonzentration können dann die Reinigungsleistung der Becken deutlich erhöhen.

Der Erfolg dieses Ansatzes ist jedoch nur dann gegeben, wenn der Anteil leicht rücklösbarer Schwermetalle gering ist und es bei der Durchströmung dieser Flockungszonen nicht zur Remobilisierung der gebundenen Schwermetalle kommt.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsgebiet

Die Sedimentproben für die Absetzversuche und die sequentielle Extraktion wurden von einem Regenbecken an einem stark befahrenen Autobahnabschnitt (Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke > 90.000 Fahrzeuge pro Tag) zwischen München und Augsburg entnommen. An das einstufige Regenbeckensystem sind 2,8 ha undurchlässige Fläche angeschlossen (Asphalt und Grünstreifen), die Länge des entwässerten Autobahnabschnitts beträgt 1,5 km. Das Regenbecken ist seit 2009 in Betrieb und wurde seitdem noch nicht geleert. Für die Fraktionierung der Schwermetalle wurden Sedimentproben an verschiedenen Messpunkten an fünf Tagen genommen.

Zusätzlich wurden für die Fraktionierung Sedimentproben aus dem Absetzbecken eines benachbarten Regenbeckensystems im gleichen Autobahnabschnitt gewonnen, an welches 2,55 ha undurchlässige Fläche und ein Autobahnabschnitt von 0,7 km angeschlossen sind. Beide Beckensysteme sind jeweils 2 m tief und haben eine undurchlässige Sohle.

2.2 Absetzversuche

Die Absetzversuche wurden mit getrockneten, gemahlenen Proben durchgeführt. Das getrocknete Sediment wurde eingewogen und in einem 2,5 L Becherglas mit destilliertem Wasser gemischt. Die Sedimentkonzentration wurde zwischen 2,4 und 3,2 g/L variiert. Die Salzkonzentration zwischen 0 – 19,2 g/L NaCl eingestellt. Die Versuche wurden in Doppelbestimmung mit zwei Absetzzyindern in einer geschlossenen Kammer durchgeführt. Als einzige Lichtquelle diente eine flächige LED hinter den Absetzzyindern. Während der Versuchsdauer wurden in regelmäßigen Abständen Bilder von einer Digitalkamera (CANON EOS 600D) aufgenommen (s. Versuchsaufbau in Abbildung 1).

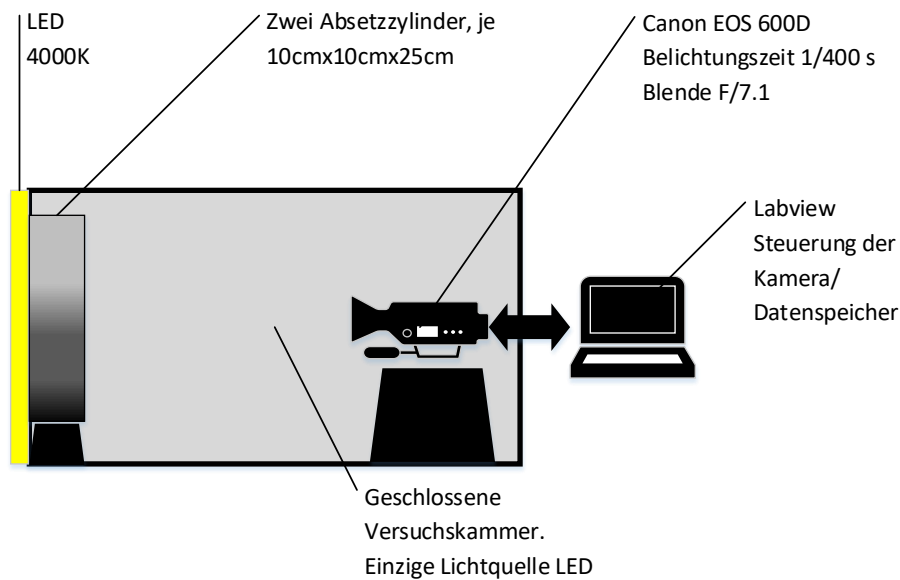


Abbildung 1: Versuchsaufbau Sinkgeschwindigkeit

Durch die gleichmäßige Belichtung während der Versuchsdauer und die fixierten Belichtungseinstellungen der Kamera ist die Graustufe pro Pixel direkt proportional zur dortigen Sedimentkonzentration. Die erzeugten Bilder wurden durch die Bildung von Zeilenmittelwerten zur Spaltvektoren reduziert und aneinandergesetzt (Abbildung 2).

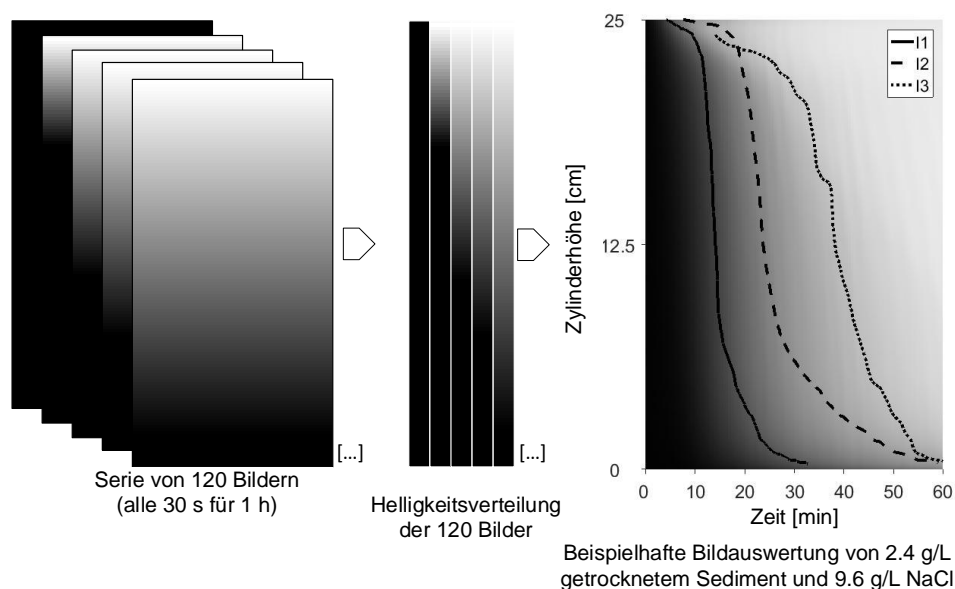


Abbildung 2: Beispiel der Bildauswertung

Entsprechend der Methodik von Sutherland et al. (2014) wurden drei Absetzkurven entsprechend der folgenden Formeln definiert:

$$I_1 = \frac{3}{4} I_{\min} + \frac{1}{4} I_{\max}$$

$$I_2 = \frac{1}{2} I_{\min} + \frac{1}{2} I_{\max}$$

$$I_3 = \frac{1}{4} I_{\min} + \frac{3}{4} I_{\max}$$

Mit I_{\min} = Minimale Lichtintensität der Bildserie

I_{\max} = Maximale Lichtintensität der Bildserie

Durch die Ableitung der Absetzkurven ergibt sich die Sinkgeschwindigkeit v_s zu:

$$v_{s,n} = - \frac{dI_{n,y(t)}}{dt}$$

Für die Auswertung wurden die maximalen Sinkgeschwindigkeiten der jeweiligen Messreihe verwendet.

2.3 Fraktionierung der Schwermetalle im Sediment

Um das Potential zur Rücklösung von Schwermetallen unter Streusalzeinfluss, wie von Bauske und Goetz (1993) beschrieben, zu überprüfen, wurde eine fünfstufige sequentielle Extraktion an Sedimentproben von zwei Regenbecken nach Tessier et al. (1979) durchgeführt. Die Proben wurden an 5 Tagen vor und während der Wintersaison entnommen. Die Fraktionen werden bei dieser Methodik wie folgt definiert:

Fraktion 1 „Austauschbare“: Metalle dieser Fraktion sind an der Oberfläche von Partikeln absorbiert und daher sehr leicht mobilisierbar. Durch verdünnte (Erd-)Alkalimetallsalzlösungen können diese im neutralen pH-Bereich durch Ionenaustausch mobilisiert werden.

Fraktion 2 „Karbonatisch gebunden“: Schwermetalle die durch Adsorption an Carbonate gebunden sind, sind ebenfalls leicht mobilisierbar und können durch verdünnte Essigsäure und die folgende Auflösung der Carbonate freigegeben werden.

Fraktion 3 „Eisen-/Manganoxid gebunden“: Diese Fraktion ist durch reduzierende Bedingungen leicht lösbar und gilt damit als mäßig mobilisierbar.

Fraktion 4 „Organisch gebunden“: Schwer mobilisierbar sind dahingegen die organisch oder sulfidisch gebundenen Metalle, die durch oxidative Auflösung gelöst werden können.

Fraktion 5 „Rest“: Metallverbindungen dieser Fraktion sind fest im Kristallgitter von Mineralien eingebaut und unter natürlichen Umständen nicht mobilisierbar. Als Extraktionsmittel dienen daher starke Säuren zum Beispiel Königswasser.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Absetzversuche zeigen einen Anstieg der Sinkgeschwindigkeit von 0,002 cm/s auf 0,028 cm/s bei 19,2 g/l, wobei der stärkste Anstieg zwischen 0 g/l und 6,4 g/l NaCl lag (Abbildung 3). Dies ist besonders relevant, da diese Salzkonzentrationen an der Sohle von Regenbecken erwartet werden können, wenn das Streusalz längere Zeit in der Wintersaison ausgebracht wird. Aus der Theorie wäre zu erwarten, dass eine höhere Partikelkonzentration zu einer schnelleren Flockenaggregation und damit zu einem schnelleren Absetzen führt. In dieser Untersuchung zeigen beide Sedimentkonzentrationen jedoch vergleichbare Ergebnisse, die für behindertes Absetzen bei 3,2 g/l Sedimentkonzentration indikativ sein können. Insgesamt liegen die Ergebnisse im Bereich von Studien, die sich in marinen Umgebungen mit ähnlichen Partikelgrößen und Oberflächeneigenschaften (Mietta et al., 2009; Sutherland et al., 2014)

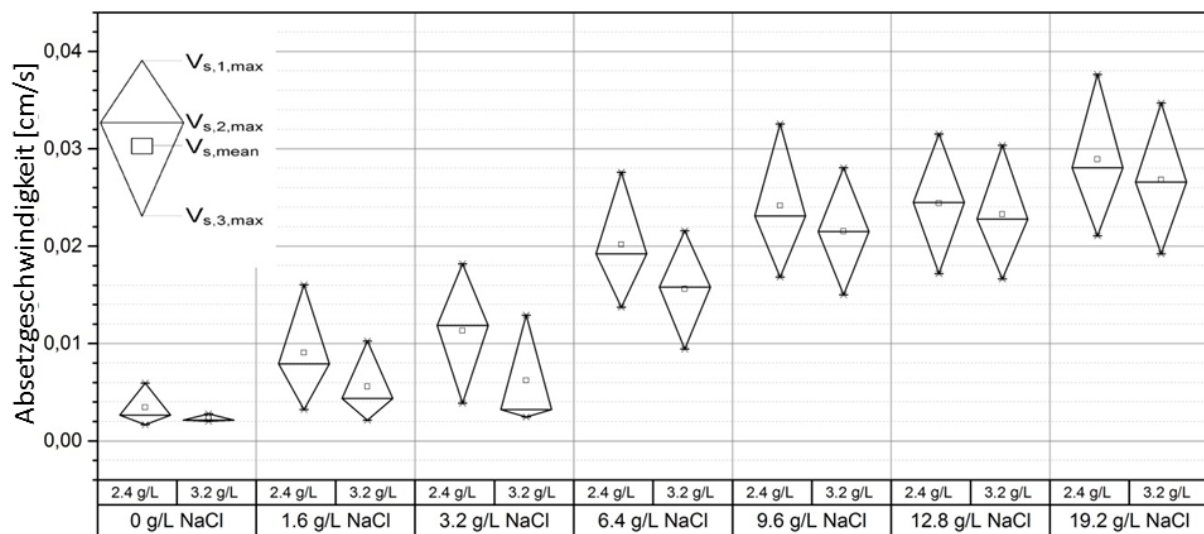


Abbildung 3: Einfluss von NaCl auf die Sinkgeschwindigkeit

Alle untersuchten Schwermetalle waren nur in sehr geringem Maße in der leicht mobilisierbaren Fraktion 1 zu finden (Tabelle 1). Die Gefahr einer erhöhten Rücklösung von Schwermetallen beim gezielten Einsatz von Streusalz zur Flockung ist daher nicht gegeben. Eine Verringerung des pH Werts könnte aus Fraktion 2 eine deutliche Rücklösung von Blei und Zink zur Folge haben. Sinkt die Sauerstoffkonzentration im Becken deutlich, besteht in Fraktion 3 für alle untersuchten Metalle das Risiko erheblicher Remobilisierung.

Tabelle 1: Fraktionierung der Schwermetalle nach Tessier et al. (1979)

	F1	n	F2	n	F3	n	F4	n	F5	n
Cu	3 ± 1 %	90	5 ± 3 %	90	22 ± 23 %	72	35 ± 26 %	54	43 ± 26 %	54
Pb	4 ± 3 %	90	24 ± 11 %	90	29 ± 19 %	72	38 ± 12 %	54	5 ± 4 %	54
Ni	3 ± 1 %	90	8 ± 2 %	90	13 ± 6 %	72	12 ± 10 %	54	92 ± 41 %	54
Zn	2 ± 2 %	90	38 ± 48 %	90	26 ± 10 %	72	10 ± 8 %	54	27 ± 11 %	54

Die Konstruktion von Flockungszonen mit hohem Salzgehalt scheint anhand dieser Untersuchungen ein vielversprechender Ansatz zur verbesserten Niederschlagswasserbehandlung von Straßenabflüssen in Regenbecken. Besonders die hochbelastete und schwer sedimentierbare Frak-

tion $< 63 \mu\text{m}$ kann durch Flockung in eine besser absetzbare Form überführt werden.

Wenngleich nur ein sehr geringer Anteil der Schwermetalle in der leicht rücklösbaren Form gebunden ist und das Risiko einer Remobilisierung durch Streusalz daher gering ist, muss aber von einer gezielten Erhöhung der Salzkonzentration zugunsten einer verbesserten Flockung abgesehen werden. Bereits geringe Mengen an NaCl beeinträchtigen den ökologischen Zustand der nachgeschalteten Bäche und Flüsse (Jones et al., 2015). Andererseits ist eine deutliche Verringerung der Streusalz Konzentration im Niederschlagsabfluss aufgrund der zu bewerkstelligen Verkehrssicherheit im Winter nicht zu erwarten, so dass der Ansatz auch in Zukunft Anwendung finden kann.

4 Zusammenfassung

Durch Absetzversuche mit digitaler Bildauswertung konnte ein Zusammenhang zwischen der NaCl Konzentration und Sinkgeschwindigkeit von Regenbeckensediment nachgewiesen werden. Flockungsprozesse erhöhen die Sinkgeschwindigkeit und führen zu einer verbesserten Abtrennung von partikulär gebundenen Schwermetallen. Da nur ein sehr geringer Teil der Schwermetalle in leicht rücklösbarer Form gebunden ist, besteht bei hohen Salzgehalten kein erhöhtes Risiko, die Schwermetalle in gelöste Form überzuführen. Die Konstruktion von Flockungszonen mit erhöhtem Salzgehalt ist daher ein vielversprechender Ansatz zur weiteren Erhöhung der Reinigungsleistung von Regenbecken an Autobahnen.

5 Literatur

- Bauske B. und Goetz D. (1993). Effects of Deicing-Salts on Heavy Metal Mobility
Zum Einfluß von Streusalzen auf die Beweglichkeit von Schwermetallen. Acta hydrochim. hydrobiol. 21(1):38–42. 10.1002/aheh.19930210106
- Folkeson L., Bækken T., Brenčič M., Dawson A., François D., Kuřimská P. und Leitão T. (2009). Sources and Fate of Water Contaminants in Roads. In: Ansal A., Dawson A. (Hrsg) Water in Road Structures: Movement, Drainage and Effects.

Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, Band 5. Springer Netherlands, Dordrecht, S 107–146

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* 541:895–919. 10.1016/j.scitotenv.2015.09.033

Jones B., Snodgrass J.W. und Ownby D.R. (2015). Relative Toxicity of NaCl and Road Deicing Salt to Developing Amphibians. *Copeia* 103(1):72–77. 10.1643/CP-13-082

Mietta F., Chassagne C., Manning A.J. und Winterwerp J.C. (2009). Influence of shear rate, organic matter content, pH and salinity on mud flocculation. *Ocean Dynamics* 59(5):751–763. 10.1007/s10236-009-0231-4

Portela L.I., Ramos S. und Teixeira A.T. (2013). Effect of salinity on the settling velocity of fine sediments of a harbour basin. *Journal of Coastal Research* 165:1188–1193. 10.2112/SI65-201.1

Sutherland B.R., Barrett K.J. und Gingras M.K. (2014). Clay settling in fresh and salt water. *Environmental Fluid Mechanics* 15(1):147–160. 10.1007/s10652-014-9365-0

Tessier A., Campbell P.G.C. und Bisson M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51(7):844–851. 10.1021/ac50043a017

Korrespondenz an:

Simon Faltermaier
Werner-Heisenberg-Weg 39; 85577 München
Tel.: 089-6004/4730
Fax: 089-6004/3858
Email: simon.faltermaier@unibw.de

