

Herausforderungen für Anlagen zur Behandlung von Niederschlagswasser

Michael Burkhardt und Stella Schmidt

HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Umwelt- und
Verfahrenstechnik (UMTEC), Oberstrasse 10, 8640 Rapperswil, Schweiz

Kurzfassung: Anorganische und organische Stoffe belasten abfließendes Niederschlagswasser. Technische Behandlungsanlagen können solche Stoffeinträge zurückhalten, sofern die Anlagen auf die entsprechenden Leistungsmerkmale ausgelegt sind. Zur Materialcharakterisierung von Adsorbersubstraten wurden Batch- und Säulenversuche eingesetzt. Der VSA-Säulenversuch bietet die Möglichkeit, bei drei Filtergeschwindigkeiten den Stoffrückhalt zu bilanzieren. Die Ergebnisse zeigen, dass Mischadsorber einen hohen stofflichen Rückhalt für Metalle und Pestizide aufweisen können und daher für die Anwendung in Behandlungsanlagen gut geeignet sind. Der VSA-Leistungstest hat sich zur Materialcharakterisierung bewährt.

Keywords: Dezentral, Regenwasserbehandlung, Labortest, Spurenstoffe

1 Hintergrund

Abfließendes Niederschlagswasser aus urbanen Räumen ist mit verschiedenen Stoffen belastet. Zahlreiche organische und anorganische (Schwermetalle) Spurenstoffe stammen aus dem Verkehr, Gebäudehüllen und anderen, der Witterung ausgesetzten Oberflächen. Als Beispiele können folgende Stoffe angeführt werden:

- Zink und Kupfer aus Metallblechen im Hochbau, in Biozidprodukten und als Verschleissprodukte des Strassenverkehrs.
- Glyphosat als Herbizid in Gärten, auf Plätzen und Grünflächen oder entlang von Eisenbahnen

- Mecoprop und MCPA als Durchwurzelungsschutzmittel in wurzelfesten Bitumendachbahnen und als Herbizide auf Grünflächen und in der Landwirtschaft
- Terbutryn als Biozid (Algizid) in Dach- und Fassadenfarben sowie Aussenputzen
- Benzothiazol als Vulkanisationsbeschleuniger in Gummi-Abrieb von Pneus, EPDM-Dichtungsbahnen oder anderen Kautschukprodukten
- Organophosphate TBEP und TCPP als Flammschutzmittel in Kunststoffdichtungsbahnen

Vielen weiteren Quellen ist stets gemeinsam, dass die Stoffe bei Regenwetter freigesetzt werden und bevorzugt diffus in kleine Fließgewässer eingeleitet oder versickert werden. Studien der letzten Jahre haben die Relevanz dieser Einträge für die Gewässer gezeigt (Sinniger, 2012; Clara, 2014; Wicke, 2015).

Die partikuläre Fracht, die geogen oder aus Abrieb- und Verbrennungsprozessen stammt, wird als AFS und AFS63 zusammengefasst. Ob Metalle in der gelösten oder partikulären Form vorkommen, hängt in erster Linie vom pH-Wert und der Abwassermatrix ab. Liegt der pH-Wert >7 , so ist Kupfer bereits ausgefallen und kann zur suspendierten Festphase gerechnet werden. Darüber hinaus binden Schwermetalle an den negativ geladenen Huminstoffen, Metalloxiden und der Tonfraktion.

Die Bewirtschaftung von Niederschlagswasser sollte so ausgerichtet sein, dass diffus in Gewässer eingetragene partikuläre oder gelöste Stoffe bereits vor dem Eintritt in den Vorfluter wirksam zurückgehalten werden. Technische Massnahmen zur Reduktion der unerwünschten Einträge sind gefordert. Deshalb werden seit einigen Jahren für die Entfernung von Kupfer und Zink aus Dach-, Fassaden- oder Strassenwasser kompakte technische Adsorberanlagen, z. B. mit Eisenhydroxid oder Zeolit als Adsorbentmaterial, eingesetzt. Künstliche Adsorbentmaterialien werden auch zur Bindung von organischen Spurenstoffen angeboten.

2 Anlagenelemente

Drei Kernelemente umfassen eine erfolgreiche Regenwasser-Bewirtschaftung mit technischen Adsorbern:

- Drosselung der Abflüsse mittels Wasserretention (ober-/unterirdisch). Die primäre Aufgabe ist die gleichmässige Beschickung der Behandlungsanlage, um hydraulisch optimale Bedingungen zu erzielen. Zusätzlich kann die Grobfraction abgesetzt werden, bei entsprechenden Aufenthaltszeiten auch ein Teil der Feinfraction.
- Entfernung von Partikeln mittels Sedimentation oder Filtration. Sofern die Dimensionierung auf die behandlungsbedürftigen Wassermengen korrekt ausgelegt ist (z. B. Jährlichkeit), sedimentiert die Schluff- und Sandfraction. AFS63 lässt fast ausschliesslich filtrierbar (Raum-/Flächenfilter), da die hydraulischen Aufenthaltszeiten < 1 h und Turbulenzen eine effektive Sedimentation begrenzen.
- Entfernung von gelösten Stoffen durch Adsorption, ggf. Fällung. Geeignete Adsorbersubstrate sollten einen hohen Stoffrückhalt bei guter Wasserleitfähigkeit und geringem Platzbedarf ermöglichen. Je unspezifischer der Stoffrückhalt, desto universeller ist der Anwendungsbereich. In der Regel limitiert die hydraulische Durchlässigkeit die Standzeit und nicht die Adsorptionskapazität.

In den DACH-Ländern wurden Verfahren zur Prüfung und Zulassung von kompakten Anlagen zur Behandlung von Niederschlagswasser erarbeitet. Die Testbedingungen versuchen, den Anforderungen in der realen Anwendung durch eine reproduzierbare Vorgehensweise im Labor gerecht zu werden.

In der Schweiz wurde ein neues Verfahren entworfen, um den Anforderungen an den Gewässerschutz, aber auch den Bedürfnissen von Planern und Behörden nach einem objektiven, nachvollziehbaren Test zu entsprechen (VSA, 2017). Die VSA-Leistungsprüfung richtet sich an dezentrale technische Kompaktanlagen, Schacht- und Rinnensysteme, die für den Rückhalt von partikulären und gelösten Stoffen aus Niederschlagswasser von Dächern und Fassaden, Liegenschaften und Strassen für geringe bis hohe Belastungsklassen entwickelt wurden. Solche Anlagen zeichnen

sich durch eine standardisierte Bauweise und gleiche Verfahrensprinzipien aus.

Vielfach liegen aus Laborversuchen nur wenige Kenntnisse zur Leistungsfähigkeit von Adsorbermaterialien für die Entfernung von gelösten Stoffen vor. Diese Unklarheit bedeutet, dass die Grenzen und Möglichkeiten der Materialien – und damit der Behandlungsanlagen - unklar sind.

3 Labortests

In Batchversuchen wurde das Sorptionsverhalten von 12 unterschiedlich mobilen Pestiziden und zwei Schwermetallen an 30 Adsorbermaterialien und 7 Böden untersucht. Berücksichtigt wurden z. B. Mecoprop, Terbutryn, Diuron, Isoproturon und Carbendazim sowie Kupfer und Zink. Die Materialien wurden im Batchtest in einer Ein-Punkt Messung (1 mg/l je Pestizid, Kontaktzeit 24 h) durchgetestet. In den Säulenversuchen wurden die Beladungskapazitäten für sechs Materialien bei einer Filtergeschwindigkeit von 1.3 m/h vertieft untersucht, darunter Eisenhydroxid, Aktivkohle, synthetische Adsorber sowie Mischadsorber (Burkhardt, 2017).

Ergänzend wurde der in der Schweiz für Adsorbersubstrate entwickelt VSA-Säulentest eingesetzt (Abbildung 1) (VSA, 2017). Die stoffspezifische Rückhalteleistung für die Metalle Zink und Kupfer sowie die Pestizide Diuron und Mecoprop wird dadurch ermittelt, dass die Stoffe in bekannten Konzentrationen (je 0.5 mg/L) durch eine mit Adsorbermaterial gefüllte Säule bei drei Filtergeschwindigkeiten (8.95, 2.15, 0.895 m/h) aufgegeben und die Ablaufkonzentrationen bestimmen werden. Für die Bestimmung des Rückhalts werden 3 x 36 l Testlösung von unten nach oben durch die Säule gepumpt. Über jeden Testabschnitt gelangen 18 mg pro Stoff (36 l x 0.5 mg/L) und 54 mg für alle drei Testabschnitte auf das Adsorbermaterial. Nach dem dritten Testabschnitt beginnt der vierte Testabschnitt zur Remobilisierung mit Tausalz. Aus dem Vorgehen ergeben sich vier Sammelproben.

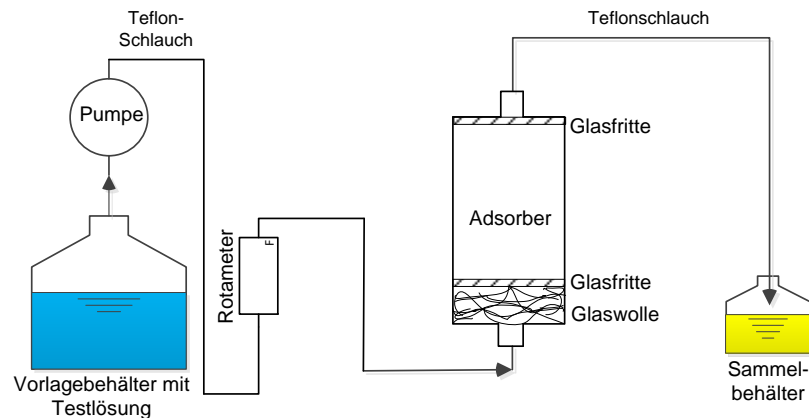


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Säulenversuchs im VSA-Leistungstest.

4 Laborresultate

In den Batchversuchen zeigten 13 Adsorbermaterialien für die Summe aller Zielsubstanzen > 90 % Eliminationsleistung. Nur auf Pestizide bezogen wurden unter den gewählten Versuchsbedingungen bei fünf Adsorbern > 97 % Elimination und beim Boden durchschnittlich 10 % Elimination erreicht (Abb. 2). Zu den Materialien mit hohem Rückhaltepotential zählten Mischadsorber (MA2 bzw. AD1) und Adsorberharze (IO1 bzw. AD2).

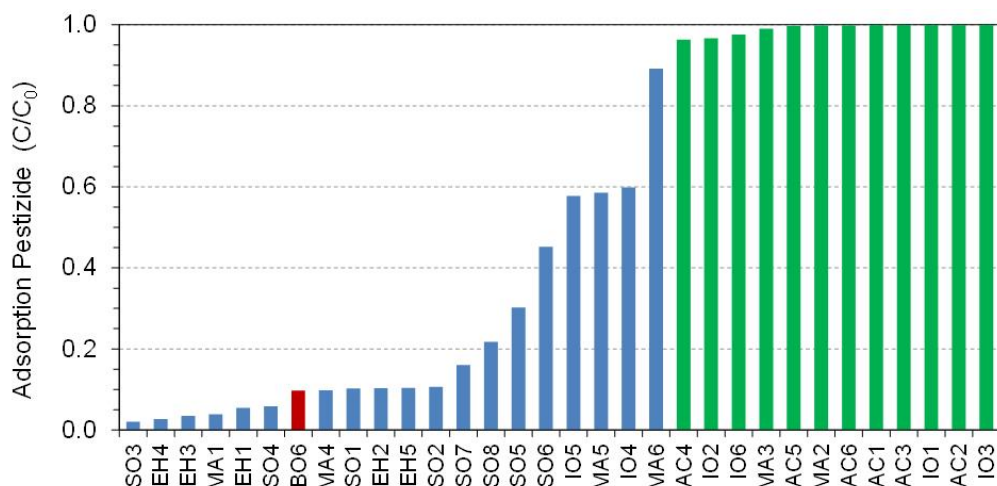


Abbildung 2: Adsorption von 12 Pestiziden an 32 Materialien, bestimmt in Batchversuchen. Grün: Adsorption > 90 %, blau < 90 %. MA: Mischadsorber, EH: Eisenhydroxide, IO: Ionentauscher, Adsorberharze, AC: Aktivkohlen, SO: Sonstige, BO: Böden. BO6 (braun) stammt aus einer Bodenfilteranlage.

Die Laborresultate zeigen auch, dass Eisenhydroxide für die Elimination von Pestiziden ungeeignet sind. Boden ist ebenfalls stark eingeschränkt, sobald Pestizide unter beengten Platzverhältnissen bei hoher hydraulischer Belastung zurückgehalten werden sollen.

Dagegen entfernen Eisenhydroxide und einige vollsynthetische Adsorber Kupfer und Zink > 90 % und liegen damit vergleichbar hoch wie Böden mit 92 bis 98 %. Die Schwermetallbindung am Boden deckt sich gut mit Erfahrungswerten von natürlichen Böden.

Die besten Materialien (Aktivkohlen, Ionentauscher und Adsorberharze) erreichten unter den hydraulischen Belastungen der Säulenversuche (Filtergeschwindigkeit 1.3 m/h) Beladungen von 100 bis 400 mg Pestizide pro Gramm Adsorber. Wurde die Beladungskapazität beim Durchbruch des mobilsten Pestizids - meistens Mecoprop oder Bromacil – definiert, so lagen die Beladungen zwischen 60 und 280 mg pro Gramm Adsorber. In Tabelle 1 sind die relativen Eliminationen der wichtigsten Versuche im Vergleich zum Durchsatz in Bettvolumen dargestellt. Bei den leistungsfähigsten Materialien wurden durch einen Salzpuls, der die Tausalz-Belastung im Winter simulierte, nur sehr geringe Pestizidmengen erneut mobilisiert. Das vergleichsweise hohe und unspezifische Adsorptionsvermögen gewisser Materialien für organische Spurenstoffe prädestiniert diese besonders für die technische Anwendung.

Für den Schwermetallrückhalt bewährte sich eine Kombination mit Eisenhydroxid. So erreichte Kupfer erst nach 16'700 Bettvolumina die Ausgangskonzentration.

Tabelle 1: Elimination der jeweils mobilsten Substanz (Bromacil oder Mecoprop) in Kolonnenversuchen im Vergleich zur Belastungsdauer in Bettvolumen.
* Die Versuche wurden bereits vorher beendet.

Adsorber	Bettvolumen (BV)			
	500	2'500	10'000	20'000
Aktivkohle 2	99%	98%	84%	–*
Aktivkohle 6	82%	67%	31%	–*
Adsorberharz 1	99%	99%	96%	85%
Adsorberharz 6	98%	96%	75%	55%
Mischadsorber 2	86%	69%	39%	–*

Die Wasserdurchlässigkeit der ausgewählten Materialien war mit $k_f \geq 10^{-3}$ m/s hoch und beim Referenzboden BO6 mit $k_f 3 \cdot 10^{-6}$ m/s sehr gering. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dieser Boden sogar für die Anwendung in Behandlungsanlagen extra angemischt wurde.

Die Resultate der VSA-Säulenversuche zeigen klar, wie unterschiedlich die Materialien die vier Zielsubstanzen bei drei Filtergeschwindigkeiten zurückhalten (Abbildung 3). Je geringer die Geschwindigkeit, desto besser der Rückhalt. Ausserdem wird beim Mischadsorber differenziert, dass die polare Substanz Mecoprop (MCP) schlechter zurückgehalten wird als das unpolare Diuron. Der gleich gute Rückhalt von Zink und Kupfer beruht auf dem Kalkanteil und den damit verbundenen pH-Anstieg bzw. dem Ausfallen der Metalle im Mischadsorber (Filtrationseffekt in der Säule). Der Metallrückhalt beim Eisenhydroxid verhält sich den Erwartungen entsprechend differenziert. Der pH-Wert war nur unwesentlich angestiegen, sodass die gelöste Fraktion effektiv adsorbiert ist. Aufgrund des vernachlässigbaren Pestizidrückhalts durch Eisenhydroxide wurden diese Stoffe nicht analysiert.

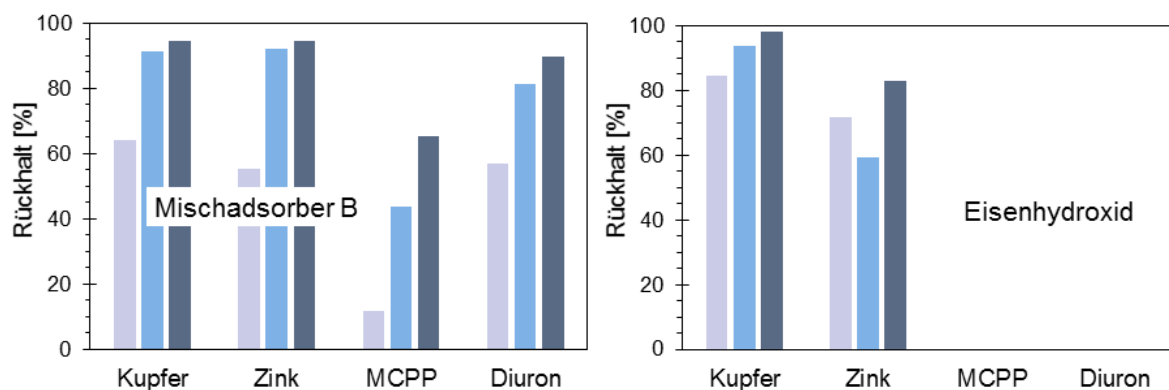


Abbildung 3: Testresultate aus CH-Säulenversuchen mit Mischadsorber und GEH.

5 Feldtest

Das Adsorbermaterial AD1 (enthält u.a. Aktivkohle und Eisenhydroxid) wurde in einer grosstechnischen Regenwasserretentions- und Versickerungsanlage von 14 Monaten getestet. In der 20 m langen und 1 m breiten

Filterstrecke waren auf Meter 1-19 das Substrat AD1 ca. 40 cm hoch befüllt. Ein Wasserteilchen, das den Adsorber passiert, benötigt für die 40 cm Filterstrecke theoretisch im Minimalfall ca. 4 Minuten.

Abbildung 4 zeigt die Elimination von fünf Spurenstoffen und den zwei Schwermetallen. Dabei erreichte der Adsorber im Mittel 80 % Rückhalt von Carbendazim und Diuron, beides vergleichsweise gut adsorbierende Pestizide (unpolar), und 50 % für die schlecht adsorbierenden Stoffe Mecoprop (eine polare Verbindung) und DEET (ein kleines Molekül). Mecoprop und DEET weisen bekanntermassen auch einen geringen Rückhalt in Kläranlagen auf. Terbutryn lag mit 60 % Rückhalt zwischen beiden Gruppen. Bei den gut adsorbierenden Pestiziden Diuron und Terbutryn waren die Konzentrationen im Ablaufwasser stets deutlich unterhalb der numerischen Anforderung von 0.1 µg/l pro Pestizid. Zink und Kupfer wurden im Mittel zu 60 % bzw. 85 % eliminiert.

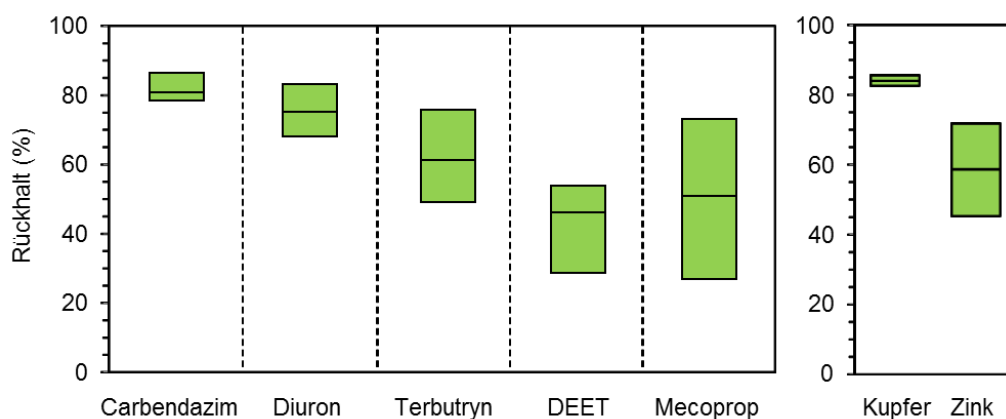


Abbildung 4: Testresultate aus CH-Säulenversuchen mit Mischadsorber und GEH.

Über die Versuchsdauer trat keine messbare Abnahme beim Stoffrückhalt auf, aber über die Einzelereignisse streute der relative Rückhalt um rund 10 bis 20 %.

Auf die Stofffracht bezogen ist jedoch wichtiger, dass bei frachtrelevanten Ereignissen eine hohe Elimination erzielt wird. Diese Ereignisse traten bei warmer Witterung auf und waren nicht identisch mit abflussreichen Ereignissen, bei denen mit zunehmender Abflussdauer die Stoffbelastung zurückging.

6 Fazit

Das vergleichsweise hohe und unspezifische Adsorptionsvermögen einiger künstlicher Materialien für Pestizide und Schwermetalle und eine hohe hydraulische Wasserleitfähigkeit prädestinieren diese besonders für die technische Anwendung. Solche Materialien lassen sich platzsparend in Anlagen einbauen. Die Resultate zeigen auch, dass die Eisenhydroxide und mit Sand gemagerte natürliche Böden, in diesem Falle ein Boden aus einem Bodenfilter zur Strassenwasserbehandlung mit $k_f 3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$, für die Elimination der Pestizide ungeeignet sind.

Da in der Schweiz weder für Adsorbermaterialien Prüfanforderungen für organische Spurenstoffe, noch für Behandlungsanlagen existieren, wurde der entworfenen VSA-Leistungstest eingesetzt. Ziel ist, mittels Abschätzung der Leistungsfähigkeit von Adsorbermaterialien für gelöste Schadstoffe die Dimensionierungsgrundlagen für den Einsatz in Anlagen zu verbessern. Die vorliegende Erfahrung mit dem Labortest ist positiv zu bewerten.

Ein Mischadsorber wurde unter realen Bedingungen erfolgreich getestet. Die Feldresultate deuten an, dass der Rückhalt von rund 70 – 90 % bei den Metallen und Pestiziden gemäss VSA-Leistungstest in der Kategorie „gelb“ (Standard) münden dürfte.

Die Umsetzung einer Regenabwasserbehandlung mit Adsorbermaterial ist nicht flächendeckend zu diskutieren, sondern sollte, ebenso wie bei der angestrebten gezielten Aufrüstung von Kläranlagen, zunächst an lokalen Brennpunkten mit hohen Stoffeinträgen oder im Bereich besonders schützenswerter Gewässer, vor allem bei hydraulischen Kurzschlüssen (z. B. Direktversickerung ins Grundwasser, Direkteinleitung von Regenabwasser intensiv genutzter urbaner Flächen), zu prüfen und realisieren. Im gleichen Kontext sind auch immer Reduktionsmassnahmen an der Quelle prüfen.

7 Danksagung

Zum Projektteam gehörten neben dem UMTEC die FHNW Hochschule für Life Sciences, die Firma Watersys, aQa Engineering, die Gemeinde Ostermundigen und das Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern (AWA). Das Projekt wurde gefördert durch das Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Ökonomie und Innovation.

8 Literatur

Burkhardt et al. (2017) Behandlung von Regenwasser. Aqua und Gas, 4:78-85.

Clara et al. (2014) Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen, UBA, Wien

Sinniger et al. (2012) Pestiziduntersuchung in Fliessgewässern, AWEL, Zürich

VSA (2017) Leistungsprüfung für technische Adsorbermaterialien und dezentrale technische Anlagen zur Behandlung von Niederschlagswasser. Entwurf in Vernehmlassung.

Wicke et al. (2015) Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins, KWB, Berlin

Korrespondenz an:

Michael Burkhardt
HSR Hochschule für Technik Rapperswil
Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC)
Oberstrasse 10
8640 Rapperswil, Schweiz
Tel.: +41 (0)55 222 4870
Email: michael.burkhardt@hsr.ch