

Wie Mikroverunreinigungen aus Regenabwasser entfernen?

Punktuelle Einträge von Mikroverunreinigungen in die Gewässer sollen zukünftig durch ausgebauten Kläranlagen reduziert werden. Damit sind aber nicht alle relevanten Stoffeinträge von Mikroverunreinigungen erfasst, denn diffuse Einträge müssen dezentral behandelt werden. Neue Technologien sind dafür erforderlich. Unter Laborbedingungen wurden erstmals Materialien evaluiert, die sich mit einem hohen Anwendungspotenzial verbinden.

Von Michael Burkhardt, János Bode, Jean-Marc Stoll, Markus Boller

Mikroverunreinigungen aus der Gruppe der Pflanzenschutzmittel, Biozide und Pharmaka beschäftigen seit mehreren Jahren den Gewässerschutz. Wesentliche Gründe für das grosse Interesse sind das breite Vorkommen in den Gewässern, die teilweise grosse Verweilzeit in der Wasserphase und die mögliche Wirkung auf Mensch und Umwelt. Technische Massnahmen zur Reduktion der unerwünschten Einträge sind daher gefordert. Um den Eintrag an den Punktquellen in die Oberflächengewässer zu reduzieren, ist in der Schweiz der Ausbau von Kläranlagen vorgesehen. Dabei wird vor allem auf den Einsatz von Ozon und Aktivkohle gesetzt.

PROF. DR.
MICHAEL BURKHARDT

JÁNOS BODE

PROF. DR. JEAN-MARC STOLL

Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (Umtec), HSR Hochschule für Technik, Rapperswil.

PROF. DR. MARKUS BOLLER

Firma aQa.engineering, Wallisellen.



Abbildung 1 zeigt die Regenabwasserbehandlung mittels eines synthetischen Adsorbers, bevor das Wasser direkt in den Grundwasserleiter versickert wird.

Diffuse Gewässerbelastungen durch Regenabwasser

Neben den punktuellen Einträgen gelangen Mikroverunreinigungen aber auch diffus in die Gewässer. Diffus bedeutet dabei, dass der Eintrag über technisch unkontrollierte Einleitungen erfolgt. Für viele diffuse Stoffeinträge sind die Quellen und Transportwege bekannt. Beispielsweise gelangt das Herbizid Glyphosat über die Anwendung in privaten Gärten und auf Plätzen, öffentlichen Grünflächen oder entlang von Eisenbahnen in das abfliessende Regenwasser. Mecoprop stammt aus wurzelfesten Bitumendachbahnen und der Anwendung als Herbizid auf privaten und öffentlichen Grünflächen sowie der Landwirtschaft, Terbutryn aus polymergebundenen Fassadenbeschichtungsmaterialien. Für andere Stoffe lässt sich die Herkunft aber nicht klar zurückverfolgen. So gilt die Quelle von Diethyltoluamid, einem Repellent, in urban geprägten Gewässern als unklar. Oder für einen Stoff sind mehrere potenzielle Quellen bekannt, beispielsweise für Diuron die Landwirtschaft und Gebäudefassaden.

Eine zukunftsweisende Regenwasserbewirtschaftung sollte technologisch so ausgerichtet sein, dass auch die diffus in die Gewässer eingetragenen Mikroverunreinigungen reduziert werden. In der Schweiz ist gemäss Richtlinie des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

(VSA) Regenwasser je nach Belastungsklasse über bepflanzten und biologisch aktiven Oberboden, noch besser über eine Kombination von Ober- und Unterboden versickern zu lassen. Hydraulisch besonders geeignete natürliche Böden sind sandige Substrate, die strukturstabil, jedoch aufgrund ihrer schwachen Bindungskapazität für den Rückhalt von gelösten Schadstoffen ungeeignet sind. Tonige Substrate wiederum binden Schadstoffe gut, weisen aber geringe Wasserleitfähigkeiten auf und verlieren ihr Gefüge. Die VSA-Richtlinie spezifiziert die Anforderungen für Böden, doch der Einbau erfolgt nicht immer fehlerfrei, sodass das natürliche Bodengefüge mit Sekundärporen, auch durch die hohe Sickerbelastung, zerstört wird und der Boden die Wasserleitfähigkeit verliert.

Auf innerstädtischen Flächen lässt sich aber eine entsprechende Behandlung häufig schon aus Platzgründen nicht umsetzen. Dort wurden bereits für die Entfernung von Kupfer und Zink aus Dach- oder Strassenwasser technische Systeme eingesetzt, die auf der Adsorption an Eisenhydroxid basieren. Anstelle von natürlichem Bodenmaterial werden aber auch erste künstliche Adsorbentmaterialien als Möglichkeit zur Bindung von Mikroverunreinigungen angeboten (siehe Abb. 1). Hohe Eliminationsraten bei guter Wasserleitfähigkeit lassen sich damit erreichen. Dabei wird in der Regel auf granulierten Aktivkohle zurückgegriffen. Deren Leistungsfähigkeit für organische Schadstoffe in Produktmischungen ist aber bisher nicht untersucht worden. Welche weiteren Materialien für die Entfernung von Mikroverunreinigungen aus Regenabwasser potenziell geeignet sind, ist ebenfalls noch eine offene Fragestellung. Es müssten Materialien sein, die eine gute Wasserleitfähigkeit und eine hohe unspezifische Beladungskapazität für Schadstoffe aufweisen.

Entwicklung einer neuen Anlagentechnologie

Im Rahmen eines Entwicklungsprojektes, welches durch das Bundesamt für Umwelt,

Kantone, Gemeinden und Firmen unterstützt wurde, sind in Batch- und Säulenversuchen das Sorptionsverhalten von zwölf unterschiedlich mobilen Pestiziden und zwei Schwermetallen an 30 Adsorbentmaterialien und sieben Böden untersucht worden. Berücksichtigt wurden aus der Gruppe der Biozide und Pflanzenschutzmittel z.B. Mecoprop, Terbutryn, Diuron, Isoproturon, Carbendazim und Irgarol 1051 sowie bei den Schwermetallen Kupfer und Zink. Zunächst wurden die Materialien mit einer Ein-Punkt-Messung bei einer einheitlichen Konzentration und Kontaktzeit getestet und nachfolgend für acht Materialien jeweils das Sorptionsverhalten (Isothermen) und die gesättigte Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) bestimmt. In den anschließenden Säulenversuchen wurden die Beladungskapazitäten für sechs Materialien unter hoher hydraulischer Belastung (Filtergeschwindigkeit 1,3 m/h) vertieft untersucht, darunter Eisenhydroxid, Aktivkohle, synthetische Adsorber sowie Mischadsorber.

Laborversuche mit Adsorbentmaterialien

In den Batchversuchen zeigten 13 Adsorbentmaterialien für die Summe aller Zielsubstanzen mehr als 90 % Eliminationsleistung. Nur auf Pestizide bezogen, wurden unter den gewählten Versuchsbedingungen bei fünf Adsorbentern mehr als 97 % Elimination und beim Boden durchschnittlich 10 % Elimination erreicht (siehe Abb. 2). Eisenhydroxide und einige vollsynthetische Adsorber entfernten Kupfer und Zink zu mehr als 90 % und lagen damit vergleichbar hoch wie beim Boden. Die Schwermetallbindung am Boden deckt sich gut mit Erfahrungswerten aus natürlichen Böden.

Die besten Materialien, Aktivkohlen, Ionentauscher und Adsorberharze, erreichten

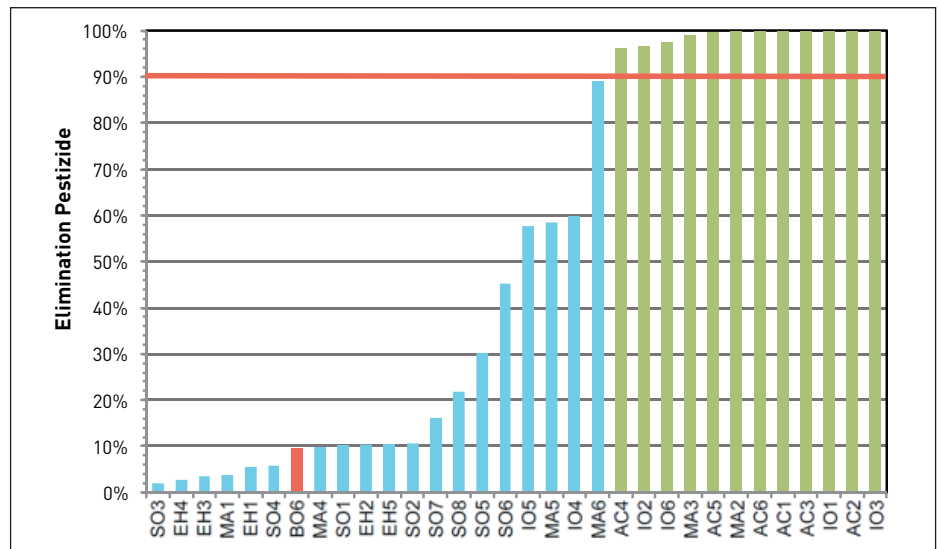


Abb. 2: Mittlere Elimination der Pestizide in den Batchversuchen.

MA: Mischadsorber, EH: Eisenhydroxide, IO: Ionentauscher/Adsorberharze, AC: Aktivkohlen, SO: Sonstige, BO: Boden.

unter den hydraulischen Belastungen in den Kolonnen (Filtergeschwindigkeit 1,3 m/h) Beladungen von 100 bis 400 Milligramm (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 Abbildung 3 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 einiger Materialien prädestiniert diese besonders für die technische Anwendung. Die Voraussetzungen für lange Standzeiten in der praktischen Anwendung sind damit gegeben. Die Entsorgung der Adsorbentmaterialien kann über eine Inertstoffdeponie

erfolgen oder sie können künftig eventuell regeneriert werden.

Wie die Laborresultate auch zeigten, sind die Eisenhydroxide für die Elimination der getesteten Pestizide ungeeignet. Boden ist zur Regenwasserbehandlung ebenfalls eher ungeeignet, sobald Pestizide unter beengten Platzverhältnissen bei hoher hydraulischer Belastung aus dem Regenwasser entfernt werden sollen. Für die Schwermetalle bewährte sich die Kombination mit einem Eisenhydroxid. So erreichte Kupfer erst nach 16 700 Bettvolumina die Ausgangskonzentration. Damit Boden als Adsorber seine geforderten hydraulischen Eigenschaften dauerhaft erbringt, muss dieser bepflanzt sein. Zur Etablierung ausreichenden Bewuchses muss wiederum eine Vorlaufzeit von etwa 1,5 Jahren einkalkuliert werden. So lange sollte die Filteranlage nicht mit Regenabwasser beschickt werden. Bleibt das Bepflanzen aus, kolmatiert der Boden und die Durchlässigkeit bricht ein. Für platzsparende Anlagen, die zügig in Betrieb genommen werden sollen, sind Böden folglich ungeeignet.

Bei den für die Säulenversuche ausgewählten Materialien war die hydraulische Leitfähigkeit mit k_f grösser gleich 10–3 m/s hoch und beim Referenzboden mit $k_f 3 \cdot 10^{-6}$ m/s sehr gering. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dieser Boden sogar für die Anwendung in Strassenabwasserbehandlungsanlagen spezifisch angemischt wurde. Demnach weisen die getesteten künstlichen Materialien ein ausgezeich-

Adsorber	Bettvolumen (BV)			
	500	2500	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%	–*

Abb. 3: Elimination der jeweils mobilsten Substanz (Bromacil oder Mecoprop) in Kolonnenversuchen im Vergleich zur Belastungsdauer in Bettvolumen.

* Die Versuche wurden bereits vorher beendet.

netes Eliminationspotenzial für Pestizide und eine hohe hydraulische Wasserleitfähigkeit auf. Solche Materialien lassen sich platzsparend in technischen Anlagen einbauen. Beide Eigenschaften prädestinieren synthetische Materialmischungen für den Einsatz unter anspruchsvollen Betriebsbedingungen.

Neue Adsorberanlagen pilotieren und überwachen

Die Untersuchungen zeigen, dass es für zahlreiche organische Schadstoffe möglicherweise gute Lösungen gibt. Die Versuche wurden im Labormassstab durchgeführt, sodass die ermittelten Beladungskapazitäten und Standzeiten vor allem relativ zueinander einzuordnen sind. Eine unmittelbare Übertragung auf die Praxis ist noch nicht angebracht, denn in einer grosstechnischen Anwendung herrschen andere hydraulische und stoffliche Belastungsbedingungen. Deshalb sind Regenwasserbehandlungsanlagen mit innovativen Barrierefiltern zu bauen, zu überwachen und aus den Resultaten abzuleiten, ob die numerischen Anforderungen vor der Versickerung oder

Einleitung ins Gewässer eingehalten werden. Die Erfolgskontrolle einer entsprechenden Anlagentechnologie ist bereits Gegenstand eines Nachfolgeprojekts, welches in der Anlage in Ostermundigen (siehe Abb. 1) installiert wird. Zusätzlich werden neue Möglichkeiten der Wiederverwertung des gebrauchten Adsorbermaterials geprüft, die insbesondere für vollsynthetisches Material interessante Perspektiven bieten könnten. Weitere Pilotanwendungen wären in der Schweiz wünschenswert, um mehr Praxiserfahrung zu sammeln.

Die Umsetzung einer Regenabwasserbehandlung mit Adsorbermaterial ist nicht flächendeckend zu diskutieren. Vielmehr sollte sie an lokalen Brennpunkten mit hohen Stoffeinträgen oder im Bereich besonders schützenswerter Gewässer, vor allem bei hydraulischen Kurzschlüssen (z.B. Direktversickerung ins Grundwasser, Direkt-einleitung von Regenabwasser intensiv genutzter urbaner Flächen), geprüft und realisiert werden. Im gleichen Kontext sollten auch immer alle Reduktionsmassnahmen an der Quelle geprüft werden.

Da für Adsorbermaterialien keine Prüfanforderungen existieren, ist die Nachvollziehbarkeit der durch Hersteller gesetzten Merkmale nicht gewährleistet. Planer und Behörden sind insofern nicht in der Lage, die richtigen Materialien den jeweiligen Betriebsanforderungen folgend auszuwählen. Hier besteht noch Handlungsbedarf. ■

Breite Projektpartnerschaft

Das Projekt «Entwicklung einer Technologie zur Entfernung von Pestiziden aus Regenwasserabflüssen» wurde durch das Bundesamt für Umwelt sowie durch folgende Kantone, Gemeinden und Firmen gefördert oder unterstützt. Kantone: Aargau, Bern, Freiburg, Genf, Luzern, Solothurn, St. Gallen, Thurgau, Zürich und Zug. Gemeinden: Ostermundigen BE, Lyss BE. Firmen: WaterSys AG, Creabeton Baustoff AG, Funke Kunststoffe GmbH. Beratende Ingenieure: aQa.engineering, wst21.

Ökologisch aufgewertet

Das geht Hand in Hand: Hochwasserschutz, Ökologie und eine attraktive Flusslandschaft. Die Limmatauen Werdhölzli seien jetzt ein Vorzeigeprojekt, betont die Baudirektion des Kantons Zürich.

Zwischen dem Stauwehr Zürich-Höngg und der Autobahnbrücke Oberengstringen hat der Kanton Zürich den Hochwasserschutz stark verbessert. Davon profitieren nebst dem angrenzenden Stadtzürcher Quartier auch das Klärwerk Werdhölzli sowie die Gemeinde Oberengstringen. Gleichzeitig wurde ein 1,8 Kilometer langer Limmatabschnitt renaturiert. Die alten, stark verbauten Uferböschungen sind Flachufeln gewichen. Lokale Ufersicherungen mit Steinblöcken und Raubäumen bieten neue Lebensräume für Fische. Das verbreiterte Flussbett mit aufgeschütteten Kiesbänken bildet eine naturnahe Flusslandschaft, die sich durch Hochwasser laufend verändert, wie die Fachleute erklären. Dadurch entstehe ein auentypischer Lebensraum für Vögel, Fledermäuse, Amphibien, Fische und Pflanzen.

Naherholungsgebiet aufgewertet

Der Limmatabschnitt ist bei der Bevölkerung äusserst beliebt und wurde schonend aufgewertet. Dank einem neuen, 320 Meter langen Erlebnissteig durch ein kleines Auenwäldchen kann die Bevölkerung Pflanzen und Tiere beobachten. Den Zugang zum Gewässer hat man verbessert, und das Zürcher Erholungsgebiet hat an Attraktivität gewonnen. Hündeler, Jogger, Velofahrer und Flaneure kamen sich in der Vergangenheit auf dem stark frequentierten, eher schmalen Weg häufig in die Quere. Deshalb hat man den Pfad entlang des Flusses verbreitert. Auf Pflanzen und Tiere wird eher Rücksicht genommen, wenn die Besucher aufgeklärt sind: Die Limmatauen sind neu mit Orientierungs- und Informationstafeln bestückt, die Hintergründe über Fauna und Flora bieten.

Die Limmatauen Werdhölzli sind Bestandteil des kantonalen Massnahmenplans Wasser und des Landschaftsentwicklungskonzepts Limmatraum Stadt Zürich. An den Gesamtkosten von 9,4 Millionen Franken beteiligten sich gemäss Mitteilung die

Stadt Zürich, der «naturemade star»-Fonds des Energiedienstleisters EWZ, die Umweltorganisation WWF in Kooperation mit der Zürcher Kantonalbank sowie dem Bundesamt für Umwelt. *pd*



Die aufgeschütteten Kiesbänke bilden eine naturnahe Flusslandschaft. Foto: R. Strässle