

# Nachhaltige Regenwasserentsorgung auf dem Weg in die Praxis

**Der in den 90er Jahren gefasste Entschluss, Regenwasser auf separaten Wegen aus Siedlungen abzuführen, wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu einer erheblichen Veränderung der gegenwärtigen Abwasserentsorgung führen. Doch es wird immer klarer, dass auch Regenwasser mit Schadstoffen belastet ist. Um geeignete Massnahmen zum Schutz der Umwelt zu finden, müssen Quellen, Konzentrationen und die Fliessdynamik der Schadstoffe bekannt sein. Vorgestellt werden Instrumente zur Abminderung der stofflichen Belastung und erste Umsetzungen.**

Regenwasser fliesst in der Schweiz heute noch vorwiegend über die Mischkanalisation ab. Dabei wird es mit häuslichem und industriellem Abwasser vermischt, in die Kläranlagen geleitet, dort mit dem Abwasser gereinigt und gelangt erst dann in die Gewässer. Anfang der 90er Jahre setzte ein Umdenkprozess ein. Man befand, dass der Umweg über die Kläranlagen für das mehrheitlich unverschmutzte Regenwasser nicht sinnvoll sei. Stattdessen sollte es entweder vor Ort versickern können oder getrennt vom Abwasser abgeleitet werden. Inzwischen weiss man jedoch, dass Regenwasser mit Schadstoffen belastet ist und dass die einstige Einschätzung zu optimistisch war. Dies gilt insbesondere, wenn der Regen über befestigte Oberflächen wie Dächer und Strassen abfliesst. Geeignete Massnahmen zum Schutz der Gewässer, Böden und Gewässersedimente können jedoch erst ergriffen werden, wenn man die vom Regen aufgenommenen Stoffe und ihr Verhalten kennt. Auch die EAWAG engagiert sich auf dem Gebiet der nachhaltigen Regenwasserentsorgung. Dieser Artikel gibt einen Überblick über laufende Forschungsprojekte und stellt mögliche Massnahmen vor.

**Auf die Oberfläche kommt es an** Regenwasserabflüsse stammen von den verschiedensten Oberflächen, die aus unterschiedlichen Materialien zusammengesetzt sind. Es ist daher aussichtslos die Eigenschaften der abfliessenden Regenwässer für jeden Fall abschätzen zu wollen. Um trotzdem möglichst viele Situationen abzudecken, teilt man die urbanen Oberflächen

in Kategorien mit unterschiedlichem Verschmutzungspotenzial ein (Tab. 1). Erst so wird das System auch für die Anwender praktikabel. In diesem Sinne erarbeiteten Ämter und Fachvereine in den letzten Jah-

ren eine Reihe von Richtlinien und Vollzugshilfen, wie beispielsweise die Wegleitung zum «Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen» und die Richtlinie zur «Regenwasserentsorgung» [1, 2]. Verkehrswege (Strassen, Flughäfen und Bahngleise) machen knapp 60% und Dächer etwa 30% der befestigten Oberflächen in der Schweiz aus. Das Hauptaugenmerk muss deshalb auf den von diesen Oberflächen abgeschwemmten Schadstoffen liegen (Tab. 2). Tabelle 3 gibt mittlere Schadstoffkonzentrationen für verschiedene Dächer und Strassen an. Im Gesamtabfluss von Siedlungen sind die Schwermetallabschwemmungen von

Oberfläche	Angaben zum Verschmutzungspotenzial des Oberflächenabflusses	Belastungs-klasse
<b>Dächer und Grünflächen</b>		
Grünflächen, Gründächer ohne pestizidhaltige Materialien	Gute Dämpfung des Abflussvorgangs und effizienter Schadstoffrückhalt auf dem Dach.	gering
Dachflächen aus inerten Materialien ohne Metallanwendungen, Glasdächer, Terrassen	Ähnlicher Verschmutzungsgrad wie der Regen selbst. Bei Versickerung erfolgt eine langsame Anreicherung von Schadstoffen im Boden.	gering
Dachflächen aus überwiegend inerten Materialien mit üblichen Anteilen an Metallinstallationen: Kupfer, Zink, Zinn, Blei	Schnelle Anreicherung von Schwermetallen in Böden von Versickerungsanlagen. Schwermetalladsorber werden empfohlen bei Metallflächen von 20–50 m <sup>2</sup> .	mittel
Dächer mit erhöhten Anteilen an unbeschichteten Metallinstallationen oder -eindeckungen aus Kupfer, Zink, Zinn oder Blei	Zum Schutz von Wasser und Boden wird eine Behandlung des Abwassers gefordert. Als hoch belastet gelten folgend Flächen: a) bei Versickerung >50 m <sup>2</sup> b) bei Einleitungen >500 m <sup>2</sup> .	hoch
<b>Parkplätze und Verkehrsflächen</b>		
Hauszufahrten, Vorplätze, private Parkplätze, Geh-, Rad-, und Flurwege, öffentliche Parkplätze ohne häufigen Fahrzeugwechsel	Geringe Boden- oder Grundwasserbelastung bei üblicher Nutzung. Teilweiser Abbau organischer Stoffe bei durchlässig gestalteten Flächen.	gering
Umschlag- und Lagerplätze von umweltgefährdenden Stoffen	Tropfverluste von Fahrzeugen. Schadstoffemissionen durch Unterhaltsarbeiten und Umschlagen von Waren können zu Boden- und Grundwasserbelastungen führen.	mittel
Öffentliche Parkplätze mit häufigem Fahrzeugwechsel (Einkaufszentren)	Erhöhte Boden- und Grundwasserbelastung. Bei durchlässig gestalteten Plätzen werden organische Stoffe in den obersten Bodenschichten teilweise abgebaut.	mittel bis hoch
Strassen	Verkehrsemissionen abhängig von der Fahrzeugfrequenz, Verkehrszusammensetzung, Fahrweise und Unterhalt. Quer zur Fahrbahn entstehen meist exponentiell abnehmende Bodenbelastungen durch Schwermetalle und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).	abhängig von der Verkehrsbelastung

Tab 1: Beurteilung der Belastung des Regenwasserabflusses von befestigten Oberflächen.

Quelle	Schadstoff
<b>Dächer</b>	
Schwermetallinstallationen, Dachbleche, Fassaden	Kupfer, Zink, Blei, Zinn
Atmosphärische Auswaschung	Pestizide (z.B. Atrazin)
Flachdachisolationen	Pestizide (z.B. Mecoprop)
<b>Strassen</b>	
Benzin, Katalysator	Blei, Nickel, Kobalt, Platin, Palladium, Rhodium, PAK, MTBE
Bremsen	Kupfer, Chrom, Nickel, Blei, Zink, Eisen
Reifen	Zink, Blei, Kupfer, Chrom, Nickel, Kadmium
Strassenbeläge	Nickel, Mangan, Blei, Chrom, Zink, Arsen, PAK
Strassenunterhalt	Pestizide, Salze

Tab. 2: Schadstoffe in Regenwasserabflüssen von Dächern und Strassen.

Parameter	Einheit	Gründächer	Kiesflachdach	Ziegeldach mit Metallinstallationen	Metall-dächer aus Cu, Zn, Pb	Autobahnen	Regionalstrassen
Referenz		EAWAG	EAWAG	EAWAG	EAWAG	EAWAG	Xanthopoulos & Hahn [10]
pH		6,7–7,5	5,5–7,9	5,5–7,5	–	7,0–7,5	6,4
TOC	mg C/l	4–20	5–10	5–15	–	10–20	–
DOC	mg C/l	–	3–10	2–14	–	5–10	12
TSS	mg/l	–	2–5	15–40	–	150–250	560
NO <sub>3</sub>	mg N/l	1–2	2–5	0,3–0,7	–	6	0,6
Ca	mg/l	20–60	10–25	1,5–2,5	–	–	–
Pb	µg/l	6–15	2–10	10–70	5000–7000	300	311
Cd	µg/l	u.d.E.	0,05–0,1	0,1–0,5	–	4,5	6,4
Cu	µg/l	5–10	15–25	100–300	800–2000	150	108
Zn	µg/l	u.d.E.	10–40	50–200	1000–4000	500	603
PAK	µg/l	–	–	–	–	3	3,1
Atrazin	ng/l	–	100	100–1600	–	–	–
Mecoprop	ng/l	–	1500–5000	–	–	–	–

Tab. 3: Frachtgewogene mittlere Konzentrationen in Regenwasserabflüssen von Dächern und Strassen. TOC = («total organic carbon») Gesamtheit der organischen Kohlenstoffverbindungen, DOC = («dissolved organic carbon») Gesamtheit der gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen, TSS = («total suspended solids») Gesamtheit der suspendierten Feststoffe, PAK = polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen, u.d.E. = unter der Erfassungsgrenze, – = Parameter nicht gemessen.

Dächern dominant. So kann das abgeschwemmte Kupfer aus Dächern je nach Einzugsgebiet zwischen 30–60% der gesamten Kupferfracht im kommunalen Abwasser ausmachen. Eine Untersuchung, welche Metalle heutzutage im Dachbau eingesetzt werden, ergab, dass 30% der Metallanwendungen in Zink und 70% in Kupfer ausgeführt werden. Pro Kopf der Bevölkerung sind dies 2,9 m<sup>2</sup> Kupferblech.

### Schadstoffe von Dächern und Strassen

Die EAWAG untersucht gegenwärtig in Zusammenarbeit mit dem Gewässerschutzlabor des Kantons Bern und der TH Burgdorf das Verhalten unterschiedlicher Modelldächer bei Regen. Ein Kiesflachdach als Referenzdach, vier begrünte Flachdächer sowie ein Ziegeldach mit Kupferinstallationen

und zwei Metalldächer, bestehend aus Kupfertitanzink bzw. verzinnem Kupferblech, werden gleichzeitig beprobt (Abb. 1). Ausserdem wird ein Adsorberfilter getestet, über den die Abflüsse der Metalldächer geleitet werden. Nicht unerwartet weisen die Dächer mit Metallanteilen erhöhte Abschwemmraten von Kupfer und Zink auf (Abb. 2). Die Metalle werden jedoch zu über 97% durch den Adsorberfilter zurückgehalten.

In zwei weiteren Projekten analysiert das Projektteam in Burgdorf die Abschwemmung und das weitere Schicksal von Schadstoffen einer stark befahrenen Strasse (Abb. 3). Einerseits werden drei unterschiedlich aufgebaute Adsorberfilter getestet, über die das Strassenabwasser geleitet wird. Erste Ergebnisse zeigen, dass der beste der drei Filter über 95% der im Strassenabwasser enthaltenen Metalle Kupfer und Zink zurückhält. Andererseits wird das seit 30 Jahren vom Strassenverkehr belastete Bankett untersucht, um Informationen über den Transport und die Anreicherung von spezifischen im Strassenverkehr anfallenden Schadstoffen im Bodenkörper zu gewinnen. Daraus sollen Anhaltspunkte für den Aufbau von Strassenbanketten abgeleitet werden.

Je nach Oberfläche und Dauer des Regenereignisses ist die Schadstoffkonzentration im Regenwasser stark schwankend. Insbesondere zu Beginn eines Regenereignisses werden grosse Schadstoffmengen mitgerissen (Abb. 4); man spricht dann vom so genannten «first flush» [3]. Es gibt aber auch Stoffe, die erst nach längerem Regen abgeschwemmt werden. Dazu gehört beispielsweise das Pestizid Mecoprop, dass in Iso-

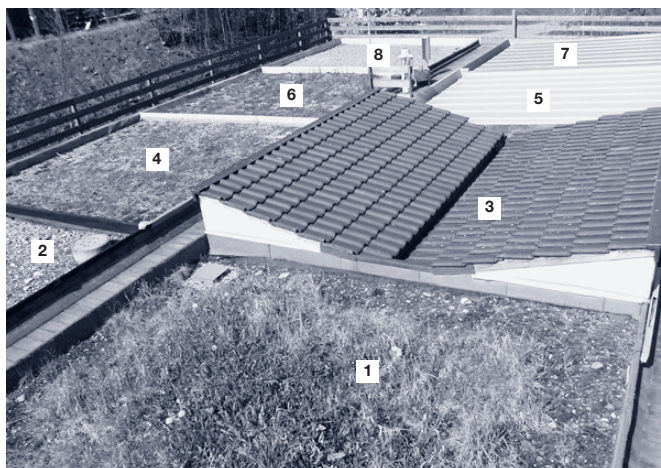


Abb. 1: Die untersuchten Modelldächer.

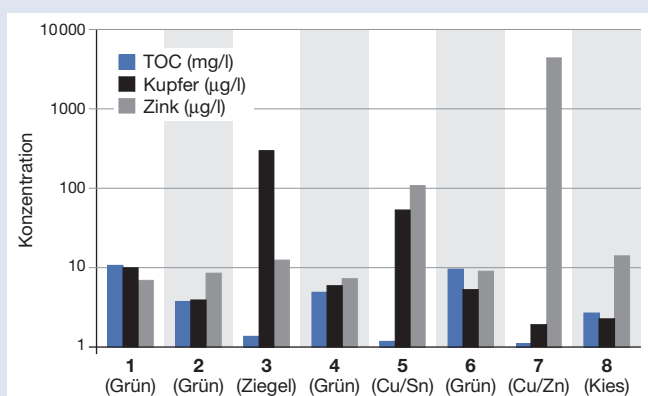


Abb. 2: Mittlere Kupfer, Zink und TOC-Konzentrationen im Ablauf der untersuchten Modelldächer. TOC = («total organic carbon») Gesamtheit der organischen Kohlenstoffverbindungen.



Abb. 3: Anschluss der Versuchsanlage an das Strassenabwasser

lierbahnen für Flachdächer verwendet wird. Es löst sich erst, nachdem das Dach genügend befeuchtet ist (Abb. 4).

### Auswirkungen der neuen Regenwasserentsorgung

Die neuen Abflusswege für Regenwässer sind heute klar in schweizerischen Wegleitungen und Richtlinien vorgegeben. Die Prioritäten sind wie folgt gesetzt:

1. örtliche Versickerung, 2. Direkteinleitung in ein Oberflächengewässer und erst 3. Einleitung in die Mischkanalisation. Überdies gewinnt auch die Nutzung des Regenwassers zunehmend an Interesse [4].

Doch auf welchem Weg auch immer das Regenwasser abgeleitet oder einer Nutzung zugeführt wird, die darin enthaltenen Schadstoffe verursachen eine fortschreitende Verschmutzung von Böden, Sedimenten und Gewässern. Betrachtet man beispielsweise die Kupferkonzentrationen in den Sedimenten des Genfersees bei Lausanne, wird deutlich, wie sehr Abwassereinleitungen aus Misch- und Trennkanalisationen die Umwelt belasten können (Abb. 5) [5]. Bei

der Einleitstelle werden Konzentrationen von über 500 mg Kupfer pro kg Sediment gemessen. Eine parallele Untersuchung zeigt, dass auch das Plankton stark durch die Abwassereinleitungen beeinträchtigt wird [5].

Da die neue Prioritätensetzung bei der Regenwasserentsorgung meist nur bei Renovationen und Neubauten zum Zuge kommt, wird die Umstellung zum erwünschten Zustand nur nach und nach über einen Zeitraum von Dekaden wirksam vollzogen werden. Es bleibt also genügend Zeit, die Art der zu treffenden Massnahmen in innovativer Weise derart zu entwickeln, dass die Umweltbelastung durch die Entsorgung des Regenwassers auf ein Minimum herabgesetzt wird. Dabei stehen uns prinzipiell zwei unterschiedliche Wege offen, nämlich die Ursachenbekämpfung («source control») und die Errichtung von Stoffschranken («barrier systems»).

### Ursachenbekämpfung

Der Schlüssel für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser liegt in der Vermeidung umweltschädlicher Emissionen. Dies kann durch gesetzliche Vorschriften, marktwirtschaftliche Anreize oder freiwilligen Verzicht geschehen und führt in der Regel zu einer langfristig wirksamen Lösung. Da sich jedoch Schadstoffe in Böden und Sedimenten nur sehr langsam anreichern, sind Auswirkungen erst über Jahrzehnte zu erwarten. Das Thema hat daher eine geringere politische Brisanz, weshalb gesetzliche Massnahmen, beispielsweise in Form von Verboten, wenig Aussicht auf Erfolg haben. Information und Ausbildung von beteiligten Akteuren hinsichtlich umweltrelevanter und ökotoxikologischer Beeinträchtigungen, Richtlinien, Vollzugshilfen zur Verwendung von Materialien beim Bau von Gebäuden, Strassen und Kraftfahrzeugen sowie die

Sensibilisierung der Bevölkerung auf bestimmte Umweltprobleme über die Medien sind Möglichkeiten, die Ursachenbekämpfung voranzutreiben. Ein erfreuliches Beispiel stellt in dieser Hinsicht die Empfehlung der Koordinationsstelle für Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes über «Metalle für Dächer und Fassaden» für Architekten und Bauherren dar, aus dem die umweltgerechte Verwendung von Metallblechen an Gebäudeaussenhüllen abgeleitet werden kann. Kupfer, Zink und Blei werden dabei als Metalle mit den höchsten Umweltbelastungen identifiziert und es werden Alternativen aufgezeigt [6].

### Erstellung von Stoffschranken

Trotz vermehrter Anstrengungen zum «source control» darf die Tatsache nicht ausser Acht gelassen werden, dass grosse Mengen der unerwünschten Materialien verbaut sind und dass es Jahrzehnte dauern wird, bis sie durch umweltverträglichere Materialien ersetzt werden. In dieser Zeit wird die Umweltbelastung durch korrodierende Metalle und organische Mikroverunreinigungen stetig zunehmen. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, sind heute Barrierensysteme gefragt, die einen möglichst weitgehenden Schutz von Wasser, Böden und Sedimenten gewährleisten.

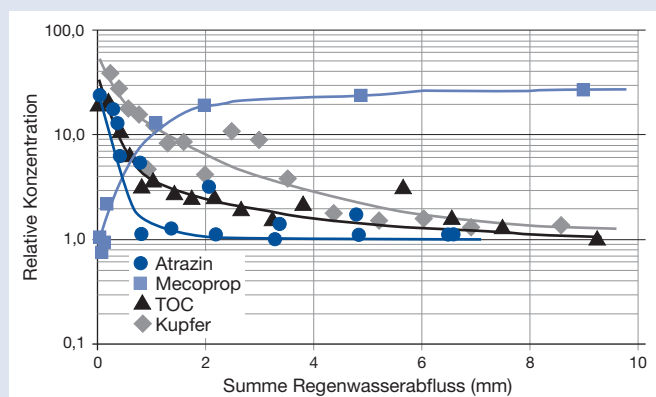


Abb. 4: «First flush»-Formen verschiedener Schadstoffe im Dachabfluss. Atrazin und Mecoprop sind Pestizide. TOC = («total organic carbon») Gesamtheit der organischen Kohlenstoffverbindungen.

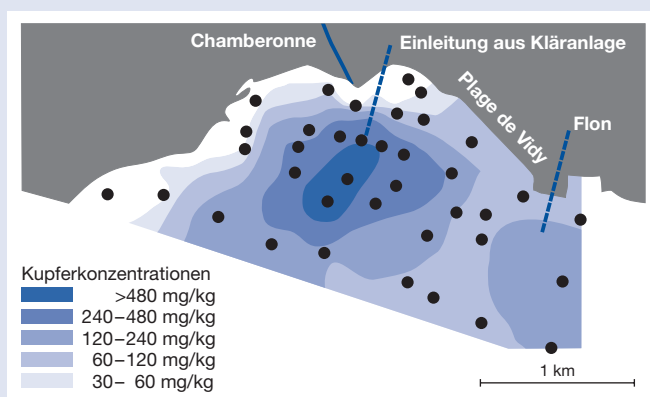


Abb. 5: Anreicherung von Kupfer in den Sedimenten des Genfersees (Bucht von Lausanne) infolge von Abwassereinleitungen. Der Flon wird unterirdisch in den Genfersee geführt.

Der Aufbau von Schranken für den Transport bestimmter Schadstoffe ist eine technische Möglichkeit, Stoffe abzulenken, abzutrennen oder aufzukonzentrieren. Allerdings erreichen Barriersysteme nie eine 100%ige Elimination der Stoffe. Gegenwärtig werden die Versickerung über natürliche Böden und die Filtrierung über künstliche granuliert Adsorbentien als Barriersysteme vorgeschlagen.

**Natürliche Bodenpassage:** Natürliche Böden mit ausreichender Durchlässigkeit weisen gute Eigenschaften zum Rückhalt von Schadstoffen auf. Das Bodenmaterial ist häufig vor Ort vorhanden und kann in Versickerungsanlagen eingesetzt werden. Zahlreiche Untersuchungen weisen nach, dass relevante Schadstoffe meist in den ersten 30–50 cm zurückgehalten werden. Da sie nicht abbaubar sind, werden sie über lange Zeiträume dort angereichert. Es kommt deshalb bei der Bodenpassage über kurz oder lang zu einer Überschreitung von Richt- und Grenzwerten der Bodenschutz- und Abfallgesetzgebung. Der Nachteil der Bodenpassage ist, dass ein natürliches Gut zum Stoffrückhalt verwendet und zum Sondermüll umgewandelt wird. Eine Bodenbehandlung oder die Deponie solcher Böden wird spätestens beim Rückbau solcher Anlagen aktuell.

**Künstliche Adsorber:** Der Einsatz spezieller Adsorbentien hat den Vorteil, dass dank

wesentlich höherer Rückhaltekapazitäten das verschmutzte Volumen verringert werden kann und ein noch besserer Wirkungsgrad als bei Böden erreicht wird. Verschiedene Labor- und Pilotstudien der EAWAG sowie erste Grossanlagen bestätigen die Tauglichkeit von Adsorbentien [7]. Unter verschiedenen getesteten Adsorbentien hat sich granuliertes Eisenhydroxid als besonders effizientes Medium für die Abtrennung von Schwermetallen erwiesen (Abb. 6). Die erreichbaren Anreicherungen sind etwa 10-mal höher als in natürlichen Böden, was schliesslich in einem entsprechend geringeren Volumen bei der Entsorgung resultiert.

Aufgrund der hervorragenden Leistung werden in den Richtlinien des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA für Dächer mit mehr als 50 m<sup>2</sup> bzw. 500 m<sup>2</sup> Kupfer-/Zinkflächen Adsorbentien verlangt, wenn das Dachwasser versickert bzw. direkt in ein Gewässer eingeleitet werden soll [2].

## Umgebungsgestaltung mit Regenwasser

Bisher wurden Regenwasserabflüsse möglichst unsichtbar gestaltet. Heute sind Architekten und Bauherren aufgerufen, das Regenwasser in eine so genannte «blau-grüne Umgebungsgestaltung» mit einzubeziehen. Die neuen Abflusssysteme für Regenwasser können derart konzipiert werden, dass die erwünschten Aufgaben wie Retention, Rückhalt von Schadstoffen, Versickerung oder Direkteinleitung in kreativer Weise miteinander kombiniert und in ästhetischer Art in die Umgebung der Siedlungen integriert werden. Gründächer, offene Gerinne, Sickerstreifen, Teiche, Schilfbeete und andere bepflanzte Einheiten sind Gestaltungselemente, die den Weg des Regenwassers bis zur Versickerung, Direkteinleitung oder Nutzung begleiten [8, 9].

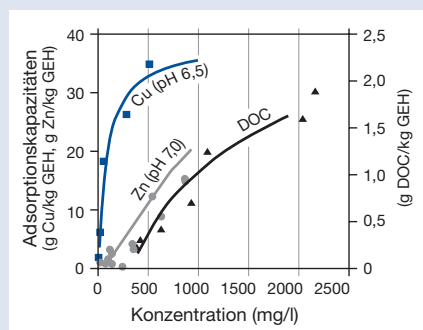
## Herausforderung für Ingenieure, Wissenschaftler und Erfinder

Die Umsetzung der neuen Ideen der Regenwasserentsorgung wird Jahrzehnte dauern. Die Erneuerung der Regenwasserentsorgung kann als Teil einer wesentlich umfassenderen Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft betrachtet werden, in der Veränderungen im Bereich der Wasserversorgung und der Schmutzwasserentsorgung parallel erfolgen. Auffallend dabei ist die Separierung von Wasserströmen in und aus Siedlungen entsprechend ihrer Qualität. Dualsysteme auf der Versorgungsseite (Trinkwasser und Brauchwasser getrennt) und die mehrfache Aufspaltung der

Abwasserströme in Grau- und Schwarzwasser, die Urinseparierung, das Nährstoffmanagement an der Quelle sowie Trockentoiletten und andere Systeme der Haustechnik werden gegenwärtig in Wissenschaft und Praxis intensiv untersucht. Die neuen Konzepte der Siedlungswasserwirtschaft stellen eine Herausforderung für Ingenieure, Wissenschaftler und Erfinder dar, sich am Studium und der Einführung innovativer Technologien und Lösungen zu beteiligen. Es ist damit die Hoffnung verbunden, dass die Siedlungswasserwirtschaft der Zukunft ihre Aufgaben mit einer erheblichen Steigerung der Nachhaltigkeit zu erfüllen vermag.



**Markus Boller, Ingenieur, leitet die Abteilung «Siedlungswasserwirtschaft». Er ist Titularprofessor und Dozent für Wasserversorgung und Wassertechnologie an der ETH Zürich. Forschungstätigkeiten auf den Gebieten Wasserversorgung, Meteorwasserentsorgung und Nährstoffrecycling.**



**Abb. 6: Adsorptionsisothermen für Kupfer, Zink und DOC an granuliertem Eisenhydroxid (GEH). DOC = («dissolved organic carbon») Gesamtheit der gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen.**

- [1] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2002): Wegleitung – Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen. BUWAL, Bern, 57 S.
- [2] Verband Schweizer Abwasser und Gewässerschutzfachleute VSA (2002): Richtlinie zur «Regenwasserentsorgung». VSA, Zürich, 120 S.
- [3] Boller M. (1998): Regenwasser auf neuen Wegen. EAWAG news 44, 6–11.
- [4] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2003): Regenwasser richtig nutzen. BUWAL, Bern, 15 S.
- [5] Rossi L., Loizeau J.-L., Wildi W. (2003): Contamination and toxicity of lake sediments due to urban stormwater pollution. SETAC Europe, 13<sup>th</sup> Annual Meeting, Hamburg Germany. Data from: Institut Forel (1996). Assainissement de la baie de Vidy: Qualité des sédiments, impact de la station d'épuration. Genève, Université de Genève, Institut Forel: 42.
- [6] Koordination für Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes KBOB (2001): Metalle für Dächer und Fassaden, Empfehlung nachhaltiges Bauen. KBOB, Bern, 10 S.
- [7] Steiner M. (2002): Kupferadsorption an granuliertem Eisenhydroxid, Dissertation, ETHZ/EAWAG, 157 S., im Druck.
- [8] Gewässerschutzamt des Kantons Bern GSA (1999): Versickerung und Retention von Regenwasser. GSA, Kanton Bern.
- [9] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2000): Wohin mit dem Regenwasser? – Beispiele aus der Praxis, BUWAL, Bern, 59 S.
- [10] Xanthopoulos C., Hahn H. (1995): Schadstoffe im Regenwasserabfluss III. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, 537 S.