

„Der Untergrund als Bioreaktor in der Trinkwasseraufbereitung“

Martin Jekel

Einleitung



Abbildung aus Woche 1,
Aktuelle-Wochenschau 2005

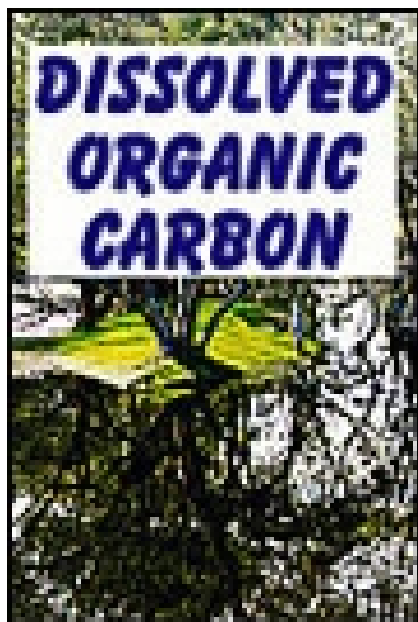
Die Untergrundpassage ist in der Trinkwasserversorgung Deutschlands und vieler Länder in der EU seit mehr als 100 Jahren eine essentielle Stufe der Wassergewinnung und –aufbereitung. Sie findet vermehrt auch internationales Interesse in der Wiederverwendung von Abwasser zu hochwertigen Zwecken, bis hin zu Trinkwasser („indirect potable reuse“). Der historische Grund für ihren Einsatz ist vor allem die sehr gute Hygienisierung (sehr hoher bis vollständiger Rückhalt relevanter Pathogene und Keime) der mikrobiell belasteten Oberflächenwässer und die Erzeugung eines stabilen neuen Grundwassers, was auch heute die höchste Priorität hat. Die Untergrundpassage wird dabei technisch in unterschiedlichen Varianten eingesetzt:

- Uferfiltration an Flüssen (Rhein, Elbe etc.)
- Uferfiltration an Seen (Havel und Spree)
- Künstliche Grundwasseranreicherung über Sickerbecken, Feuchtgebiete oder Dünen mit und ohne Voraufbereitung
- Direkte Injektion über Schluckbrunnen in den gesättigten Aquifer, nach einer Voraufbereitung

Diese Varianten sind nicht nur hydrodynamisch verschieden, sondern es liegen Verweilzeiten in weiten Bereichen vor (Tage bis Jahre) und die wichtigen Redoxzustände reichen von rein aerob über anoxisch bis anaerob (bis zur Methanfreisetzung). Das wiedergewonnene Grundwasser, in der Regel noch mit variablen Anteilen des umgebenden Grundwassers, kann noch aufbereitet werden, z.B. mittels Enteisenung und Entmanganung oder mit einer Ozonung plus Aktivkohlefiltration.

Mit der analytischen Entdeckung der organischen Spurenstoffe aus vielerlei Stoffklassen und Anwendungsfeldern sind auch viele Untersuchungen in den letzten 10-15 Jahren zur Reinigungsleistung im Untergrund durchgeführt worden. In diesem Beitrag soll nun ein Überblick zur Funktion und Leistung des Untergrundes als Bioreaktor gegeben werden, mit dem Schwerpunkt bei der Gesamtorganik (DOC) und bei den vielfältigen Spurenstoffen im Bereich von ng/l bis über µg/l.

Gesamtorganik



Während die Adsorption von DOC am Material des Untergrunds wohl kaum eine bedeutende Rolle spielt, sind die biologischen Umsetzungen von folgenden Parametern geprägt:

- Abbaubarer DOC (BDOC) und abbaubarer partikulärer organischer Kohlenstoff im Rohwasser (PBOC)
- Partikulärer organischer Kohlenstoff im Material des Untergrundes (POC, auch als SOC soil organic carbon bezeichnet)
- Ammoniumkonzentration, die zur Sauerstoffzehrung beiträgt
- Reduzierende biologische Prozesse, wie Denitrifikation, Eisen- und Manganfreisetzung, Sulfatreduktion, Methanogenese)
- Temperatur
- Redoxverhältnisse und –zonierung auf dem Fließpfad des Wassers

Die bisherigen Feld- und Laboruntersuchungen lassen dabei einige allgemeine Schlussfolgerungen zu: Der Verbrauch von oxidierenden Spezies, wie Sauerstoff und Nitrat (d.h. die Entwicklung des Redoxzustands) wird oft vom Abbau des POC bzw. SOC deutlich mitbestimmt. So wurde in der Berliner Uferfiltration an den Havelseen ein Beitrag des POC von ca. 3 mg/l C in der Redoxbilanz des Abbaus errechnet, etwa gleich dem Betrag an abgebauten DOC aus dem Rohwasser. Die Prozesse des POC-Abbaus und einer möglichen Nachlieferung sind allerdings noch wenig bekannt.

Der Redoxzustand bestimmt dann die Geschwindigkeit des BDOC-Abbaus, mit einer schnellen aeroben Mineralisierung (innerhalb von 1 Monat) und deutlich langsamerem BDOC-Abbau unter Denitrifikationsbedingungen (mehrere Monate). Vor allem die Fraktion der Biopolymere (im LC-OCD) wird sehr gut und oft vollständig abgebaut (Grünheid et al, 2005).

Organische Spurenstoffe

Bei der strukturellen Vielfalt der Hunderte von bisher gefundenen Spurenstoffen verwundert es nicht, dass sie sich auch sehr unterschiedlich gut in einer Untergrundpassage entfernen lassen. Für einige eher unpolare Vertreter kann dabei die

Adsorption durchaus ein Entfernungsmechanismus sein, der aber bei den ja langfristig eingesetzten Untergrundpassagen (im Bereich vieler Jahrzehnte) keine Rolle spielen wird, eher noch in Laborsäulenversuchen, die maximal wenige Jahre laufen (Baumgarten et al, 2011).

Tabelle: Indikatoren für den redoxabhängigen Abbau in Uferfiltration und Grundwasserpassage



Abbau im Untergrund	Indikator	Weitere Stoffvertreter
Vollständig, aerob	Diclofenac	Ibuprofen, Trimethoprim und alle anderen Antibiotika, Phenazon, AAA
Teilweise, aerob/anoxisch	Sulfamethoxazol	FAA, 2,7 und 1,7-Naphthalinsulfonsäuren
Teilweise, nur anaerob	Carbamazepin	Iodierte Röntgenkontrastmittel, AOI, Clofibrinsäure
Kein Abbau, aerob/anoxisch/anaerob	Acesulfam ¹⁾	1,5-Naphthalinsulfonsäure, EDTA, PFOA, PFOS, N,N-Dimethylsulfamid, MTBE

Eine Übersicht zur Entfernbareit von wichtigen Spurenstoffen und ausgewählten Indikatoren ist der folgenden Tabelle zu entnehmen, die in

einem neuen Leitfaden über chemische Indikatoren im anthropogen beeinflussten Wasserkreislauf (Jekel und Dott, 2013) aufgeführt ist.

¹⁾Acesulfam ist ein gut geeigneter Verdünnungstracer für die Uferfiltration und Grundwasseranreicherung.

Es ist danach sowohl mit der vollständigen Entfernung wie mit dem Durchbrechen von vollkommen persistenten Stoffen zu rechnen, was aber schon länger bekannt ist (z.B. EDTA). Die neueren Erkenntnisse über die künstlichen Süßstoffe wie Acesulfam (Scheurer et al., 2010) haben auch gezeigt, dass gerade dieser Stoff auch als Tracer für die Verdünnungsrechnung genutzt werden kann, neben anderen konservativen Stoffen und stabilen Isotopen. Die Verweilzeit des Wassers im Untergrund ist dabei sicher auch von Einfluss, aber primär ist es der Redoxzustand, der die biologische Transformation der Spurenstoffe prägt. Mit neueren Befunden an Spurenstoffen wird sich die o.g. Liste sicherlich erweitern.

Kontakt:		Schlauer Fuchs
	<p>Martin Jekel Technische Universität Berlin, Fachgebiet Wasserreinigung, Strasse des 17. Juni 135, 10623 Berlin</p>	<p>Unsere Schlaue-Fuchs-Frage zu diesem Beitrag lautete:</p> <p>Nennen Sie zwei Gründe, warum die Untergrundpassage eine essentielle Stufe der Wassergewinnung und -aufbereitung ist.</p>
	<p>http://www.tu-berlin.de/</p>	
Literatur:		
<p>Grünheid, S., G. Amy, and M. Jekel: <i>Removal of bulk dissolved organic carbon (DOC) and trace organic compounds by bank filtration and artificial recharge</i>. Water Research, 2005. 39: p. 3219-3228.</p>		
<p>Scheurer, M., Storck, F.R., Brauch, H.J., Lange, F.T. (2010) <i>Performance of conventional multi-barrier drinking water treatment plants for the removal of four artificial sweeteners</i>. Water Research, 44, 3573-3584.</p>		
<p>Baumgarten, B., J. Jährig, T. Reemtsma, and M. Jekel: <i>Long term laboratory column experiments to simulate bank filtration: Factors controlling removal of sulfamethoxazole</i>. Water Research, 2011. 45: p. 211-220.</p>		
<p>Jekel, M., Dott, W.: Leitfaden „Polare organische Spurenstoffe als Indikatoren im Anthropogen beeinflussten Wasserkreislauf“. Vom Wasser 111 (2013) 3, 67–114</p>		