



# GRUNDWASSER-SANIERUNG MIT BAKTERIEN

Carsten Vogt, Helmut Lorbeer und Lothar Wünsche

Bakterien sind überall. Sie können fast jede biogene Substanz für ihren Stoffwechsel nutzen, sie letztlich zu anorganischen Verbindungen abbauen, sie mineralisieren. Eine neue, überraschende Erkenntnis ist, dass Bakterien innerhalb einer relativ kurzen Anpassungszeit – wenige Jahre – die Fähigkeit erwerben können, auch »unnatürliche«, vom Menschen hergestellte chemische Substanzen, sogenannte Xenobiotika, zu transformieren oder gar zu mineralisieren. Die molekularen Mechanismen dieses Anpassungsprozesses sind wenig erforscht. Das Wissen, dass Bakterien lernen können, mit Umweltgiften fertig zu werden, ist die Grundlage des Sanierungsverfahrens, welches die Sektion Umweltmikrobiologie innerhalb des Projektes SAFIRA testet. Die Frage, die dahinter steht, lautet: Ist es möglich, das schadstoffbelastete Grundwasser mit Hilfe am Standort heimischer – sogenannter autochthoner – und eventuell an die Schadstoffe angepasster Bakterien zu reinigen?

## *Der Modellstandort Bitterfeld*

Abgesehen von der Schadstoffbelastung bietet der Standort Bitterfeld relativ günstige Voraussetzungen für ein mikrobielles Sanierungsverfahren. Der pH-Wert des Grundwassers liegt ungefähr im neutralen Bereich – die meisten Bakterien mögen das – und die für den bakteriellen Stoffwechsel notwendigen Nährstoffe (z.B. Schwefel, Stickstoff, Phosphor) sind in ausreichender Menge vorhanden. Sauerstoff allerdings, für aerobe Abbauprozesse nötig, konnte nicht nachgewiesen werden. Eine Untersuchung des Aquiferprofils ergab: Bakterien mit unterschiedlichsten Stoffwechseleigenschaften kommen bis in Tiefen von 50 Metern



Bild 1: Bohrkern aus dem Grundwasseraquifer (Foto: Norma Neuheiser, UFZ)

mehr oder weniger zahlreich vor. Etwas überraschend war der Befund, dass auch in größeren Tiefen aerobe Organismen überwiegen, trotz fehlenden Sauerstoffs. Dieser scheinbare Widerspruch ist erklärbar: Die meisten aeroben Bakterien sind in der Lage, ihren Stoffwechsel umzustellen, wenn kein Sauerstoff mehr in der Umgebung verfügbar ist; sie leben dann anaerob. Ein weiterer Faktor kommt hinzu, der ein mikrobielles Sanierungsverfahren attraktiv macht: Es ist nur ein Schadstoff in größerer Menge vorhanden. Dieser Hauptschadstoff ist das Monochlorbenzen. Der Standort Bitterfeld enthält zwar andere chlorierte Kohlenwasserstoffe sowie Benzol, jedoch in ökotoxikologisch weniger relevanten Konzentrationen. Würden diese Schadstoffe in größeren Mengen vorkommen, wäre ein mikrobiologisches Sanierungsverfahren ungleich schwieriger zu realisieren. Es stellte sich nun die Frage: Können die im Aquifer vorhandenen autochthonen Bakterien Monochlorbenzen abbauen oder gar mineralisieren?

## *Monochlorbenzen – können Bakterien damit etwas anfangen?*

Zunächst wurde überprüft, ob unter Laborbedingungen in Aquifersedimente zugesetztes Chlorbenzen abgebaut werden kann. Dies war der Fall: Sowohl unter aeroben – bei Anwesenheit von Luftsauerstoff – als auch unter anaeroben Bedingungen – bei Abwesenheit von Luft – verschwand Chlorbenzen in den Versuchsansätzen. Insbesondere das Verschwinden unter anaeroben Bedingungen war überraschend, denn der anaerobe Abbau von Chlorbenzen ist in der Fachliteratur kaum beschrieben. Dass Bakterien Chlorbenzen aerob mineralisieren können, ist hingegen bekannt; zahlreiche Bakterien sind dazu fähig. Auch aus dem Bitter-



**Bild 2:** Zellen (1400fache Vergrößerung) eines Monochlorbenzen-Mineralisierers (*Rhodococcus spec.*) (Foto: Helmut Lorbeer, UFZ)

felder Aquifer konnten über zehn verschiedene Bakterienstämme isoliert werden, die Chlorbenzen bei 14°C, der *in situ*-Temperatur des Aquifers, mineralisieren und dabei wachsen. Ein *in situ*-Sanierungsverfahren, welches mit aeroben Bakterien betrieben wird, hätte jedoch Nachteile: Wie bereits beschrieben, ist im Grundwasserleiter Sauerstoff höchstens in Spuren vorhanden. Es müssten große Mengen

an Sauerstoff in das System eingetragen werden, was auf Grund der geringen Löslichkeit und hohen Reaktivität des Sauerstoffs problematisch ist; zudem bilden aerob wachsende Bakterien viel Biomasse, so dass Reaktoren und zuführende Leitungen im Laufe der Zeit verstopfen könnten. Der Forschungsansatz ging deshalb in eine andere Richtung: Es sollte ein anaerobes Verfahren zur Beseitigung von Chlorbenzen entwickelt werden. Ein solches Sanierungsverfahren wurde in der Praxis noch nicht getestet – im Gegensatz zu aeroben mikrobiellen Verfahren zur Sanierung von Chlorbenzen-belasteten Grundwässern – und erfüllt somit den Forschungsanspruch des Projektes SAFIRA.

### *Nitrat als Sauerstoff-Ersatz*

Ein anaerobes mikrobielles Sanierungsverfahren setzt voraus, dass ein alternativer Elektronenakzeptor im Grundwasserstrom vorhanden ist, der die Rolle des Sauerstoffs übernimmt; man spricht auch von einer anaeroben Atmung, wenn diese Akzeptoren im Zuge des bakteriellen Stoffwechsels reduziert werden. Mikroben können neben



**Bild 3a:** Laborsäulen zum anaeroben mikrobiellen Schadstoffabbau (Foto: Norma Neuheiser, UFZ)



**Bild 3b:** Laborsäulen zum anaeroben mikrobiellen Schadstoffabbau, Detail (Foto: Norma Neuheiser, UFZ)

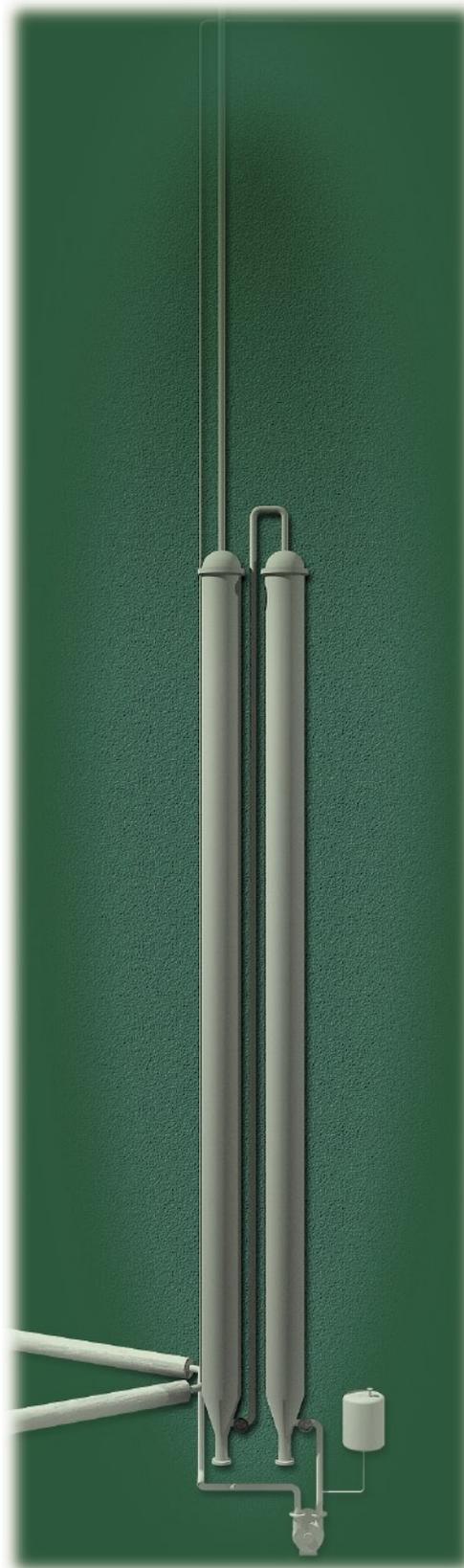


## *Die in situ-Pilotanlage*

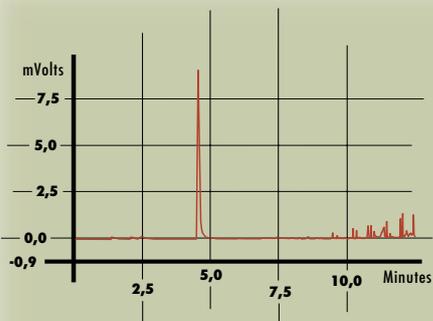
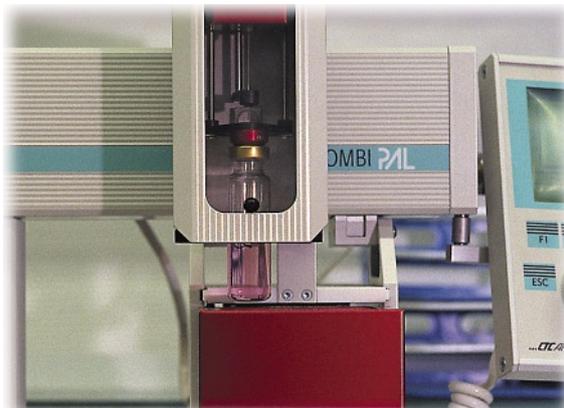
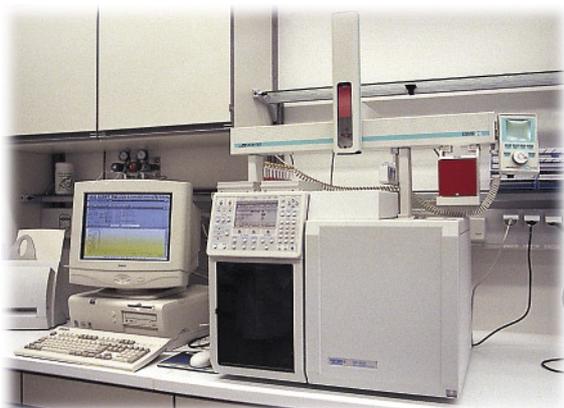
In der *in situ*-Pilotanlage, dem Kernstück des Projektes SAFIRA, soll getestet werden, ob durch das mikrobielle Nitrat-Verfahren das Grundwasser des Modellstandortes großflächig gereinigt werden könnte. Die Anlage der Umweltmikrobiologie, die sich in Brunnen V befindet, besteht aus zwei 12 Meter langen Edelstahlreaktoren, die mit Original-Aquifersediment befüllt sind. Beide Reaktoren werden anfangs mit Original-Grundwasser durchspült, welches kein Nitrat enthält. Einer der beiden Reaktoren soll später – wenn sich ein stabiles Gleichgewicht im Gesamtsystem eingestellt hat – über einen separaten Vorratstank mit Nitratlösung gefüttert werden; der andere Reaktor dient als Kontrolle. Zusätzlich angebrachte Vorratstanks ermöglichen, dass weitere Hilfssubstanzen für den mikrobiellen Abbau – Nährstoffe, Hilfssubstrate oder andere Elektronenakzeptoren – in den Versuchsreaktor eingeleitet werden könnten. Begleitend soll das Reaktormaterial mikrobiologisch untersucht werden. Über Luken wird mittels speziell zu diesem Zweck konstruierten Probenahmelanzen Reaktormaterial aus unterschiedlichen Reaktorzonen gewonnen; die in diesem Material vorkommenden Mikroorganismen sollen dann mit molekularbiologischen und klassischen mikrobiologischen Techniken qualitativ und quantitativ bestimmt werden. So kann verfolgt werden, ob sich im Laufe der Zeit bestimmte Mikroorganismen durchsetzen gegenüber anderen, ob sich mikrobiell unterschiedlich besiedelte Zonen innerhalb des Reaktors ausbilden. In den nächsten Jahren wird sich zeigen, ob Chlorbenzen dauerhaft mit Hilfe des mikrobiellen Nitrat-Verfahrens aus dem Grundwasser des Modellaquifers entfernt werden kann.

Die Autoren danken Renate Böt, Gudrun Gutzeit, Elke Häusler und Christine Süring für die exzellente Arbeit bei zahlreichen Experimenten.

Mitarbeiter im Projekt: Barbara C. Hard, Albin Alfreider, Wolfgang Babel



*Bild 6: Wissenschaftler der Sektion Umweltmikrobiologie testen in den Reaktoren im Brunnen V den mikrobiellen Schadstoffabbau mit Nitrat als Elektronenakzeptor (Grafik: Webster Design Atelier, Halle)*



Peak No	Peak Name	Result 0	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1		0,0000	2,486	0,000	812	0,00	BB	0,0		0
2	Chlorbenzol	0,7572	4,515	-0,006	40625	0,00	BB	3,8		0
3		0,0000	10,742	0,000	1830	0,00	VV	2,5		0
4		0,0000	11,302	0,000	2215	0,00	VV	8,8		0
5		0,0000	11,325	0,000	1278	0,00	VV	3,1		0
6		0,0000	11,931	0,000	755	0,00	BP	0,7		0
7		0,0000	12,005	0,000	1693	0,00	PV	1,1		0
8		0,0000	12,158	0,000	1338	0,00	VV	3,1		0
9		0,0000	12,402	0,000	1036	0,00	VV	0,8		0
<b>Totals</b>		<b>0,7572</b>		<b>-0,006</b>	<b>51582</b>					

Bild 7: Gaschromatografische Analyse der behandelten Proben (Fotos: Norma Neuheiser, UFZ)

# *English Abstract*

## *Groundwater remediation using bacteria*

Carsten Vogt, Helmut Lorbeer  
und Lothar Wünsche

Microbes are everywhere. Thanks to natural adaption processes, microbes are often able to transform or even mineralize xenobiotic compounds in contaminated environments. Consequently, under the groundwater remediation project SAFIRA, the division of environmental microbiology tries to remediate the groundwater of an aquifer system in Bitterfeld polluted by monochlorobenzene using autochthonous bacteria. In laboratory experiments, autochthonous bacteria degraded chlorobenzene and other contaminants under different electron-acceptor (including nitrate-reducing) conditions, indicating that the autochthonous microbial community is principally capable of decontaminating the groundwater. For scientific, ecological and economic reasons, developing a process under nitrate-reducing conditions seemed to be the most promising approach. In a nearby *in situ* experiment on a semi-technical scale, chlorobenzene was degraded by autochthonous bacteria under nitrate-reducing conditions, indicating that the process also ought work *in situ* under optimized conditions. The next step is to test the process under large scale conditions in the SAFIRA pilot plant which consists of two identical, high-grade steel, 12 meters long reactors filled with original aquifer sediment. Both reactors are to be flushed with groundwater, with one of them being supplied with nitrate solution as well. It is also planned to analyze the structure and dynamics of the bacterial assemblages inside the reactors using molecular and classical microbiological techniques.