



7 GEWÄSSERSCHUTZ



6 MIKROORGANISMEN

1 UFZ-ÜBERBLICK

5 GENETIK & ÖKOLOGIE

6 KIESABBAU

5 KATALYSATOREN

5 UFERFILTRATE

5 ÖKOTOXIKOLOGIE

4 BUCHENWÄLDER

4 SCHWERMETALLE

4 GEOLOGIE

2 ANALYTIK

3 BERGBAUFOLGE

2 PROJEKTBEREICHE

1 GENETIK

3 KALTES PLASMA

4 SOZIOLOGIE

3 SEKTIONEN



1

2

3

4

5

6

SUPER-BAKS

3 ASTHMA-SENSOR

5 ORGANISATION

2 FAUSTREGELN

3 LINDAN

4 GEMEINSCHAFTS-EINRICHTUNGEN

1 EINFÜHRUNG

1 EINFÜHRUNG

2

2 BIOINDIKATOREN

1 EINFÜHRUNG



»SUPER-BAKS (SUPER-BUGS)« – MIKROBEN GEGEN SAURE BERGWERKSWÄSSER

Barbara Hard

Über 40 Jahre – nach dem zweiten Weltkrieg bis in die 80er Jahre – war das Revier Ronneburg-Schmölln in Thüringen Hauptlieferant der Uran-Pechblende für die sowjetische Atomwaffenproduktion. 114 000 Tonnen Spaltmaterial stammten von dort – mehr als die Hälfte des gesamten bei der Wismut geförderten Uranerzes. Kurz nach der Wende, Anfang der 90er Jahre, wurde die Uranerzförderung eingestellt; die Bergwerke wurden geschlossen. Zurück blieben 567 Kilometer offene Stollen, 17 Halden, drei Absatzbecken und zahlreiche kontaminierte Anlagen und Gebäude.

Seit 1992 beschäftigt sich die Wismut GmbH ausschließlich mit der Aufgabe die Bergwerke, Gewässer und Halden zu sanieren. Die Schließung der vielen Schächte und Stollen erfolgt schrittweise. Dabei werden die Bergwerke kontrolliert geflutet, indem das Grundwasser nicht mehr abgepumpt wird. Die Flutungswässer werden nach Abschluss der Flutung an bestimmten Stellen an die Oberfläche treten. Durch die natürlichen Laugungsaktivitäten von Bakterien, hauptsächlich Spezies der Gattungen *Thiobacillus* und *Leptospirillum* sind die Flutungswässer sowie die Haldensickerwässer schwefelsauer, das heißt, sie haben pH-Werte zwischen 1 und 3 und sehr hohe Sulfat- (bis 50 Gramm pro Liter) und Metallgehalte. Die Metalle, die in solchen Wässern eine Rolle spielen, sind Uran, Eisen, Aluminium, Nickel, Mangan.

Es ist beabsichtigt, die Wässer in Flüsse einzuleiten, jedoch liegen die Konzentrationen



Bild 1: Abraumhalden des Uranbergbaus
(Foto: Barbara Hard)

der einzelnen Elemente in den Flutungs- und Haldensickerwässern über den genehmigten Einleitwerten. Die Wässer müssen also derart entgiftet werden, dass sie unbedenklich sind und in die Flüsse fließen dürfen.

Es gibt eine Reihe von konventionellen Methoden, mit denen die Wässer gereinigt werden könnten, z.B. die Umkehrosmose oder Gipsausfällung. Allerdings sind diese Methoden in der Regel sehr aufwendig und teuer. Andere traditionelle Reinigungsverfahren wiederum versagen angesichts des sauren metallhaltigen Wassers. Also müssen Alternativen zu diesen Methoden gefunden werden. Wissenschaftler der Sektion Umweltmikrobiologie des UFZ prüfen, inwieweit Bakterien geeignet sind, das Wasser zu neutralisieren und die Metalle zu beseitigen.

Gesucht wird: UFZ B 378

Bakterien werden seit einiger Zeit erfolgreich zur Sanierung von kontaminierten Böden und (Grund-)Wässern eingesetzt. In solchen sogenannten Bioremediationsprozessen bauen spezialisierte Bakterien z.B. Chloraromaten, Herbizide oder Dieselkraftstoffe ab und nutzen sie als Kohlenstoff- und Energiequelle für Wachstum und Vermehrung. Das Resultat ist im wesentlichen umweltfreundliche Biomasse.

Metalle und Sulfate können auf diese Weise nicht entsorgt werden. Der Steckbrief für die in diesem Falle notwendigen Bakterien enthielt zum einen die Fähigkeit, Sulfate und Metalle – darunter auch radioaktive – aus den Lösungen



Bild 2: Schwefelsaure, schwermetallbelastete Sickerwasserhalde im Ronneburger Revier (Foto: Barbara Hard)

zu entfernen. Sulfat wird zu Schwefelwasserstoff reduziert, die Metalle fallen als schwerlösliche Metallsulfide aus. Zum anderen müssen die Bakterien aber auch die Anforderung erfüllen, für diese Sulfatreduktion eine kostengünstige Elektronenquelle zu nutzen, die gleichzeitig Energie und Kohlenstoff für Wachstum und Vermehrung spendiert. Zum Beispiel Methanol – preiswert und ausreichend vorhanden. So konnte gezielt gesucht werden.

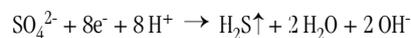
Und gefunden wurde: UFZ B 378. Der so bezeichnete Bakterienstamm wurde von UFZ-Wissenschaftlern aus einem Abwasserbecken nahe einer Zuckerfabrik isoliert. Dort fühlen sich die Bakterien heimisch, denn Methanol ist in solchen Ökosystemen hinreichend vorhanden, dass sich methylotrrophe Bakterien ansiedeln können. Unter ihnen befinden sich auch solche, die saures Wasser tolerieren, darin wachsen können und Sulfat reduzieren. Mit diesen außergewöhnlichen Eigenschaften hat UFZ B 378 gute Aussichten, ein Pionier der bakteriellen Dekontamination von sauren Bergwerkswässern zu werden.

Die Chemie stimmt

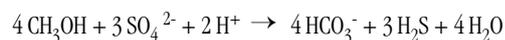
Chemisch betrachtet passiert folgendes: Die Sulfate werden von den sulfatreduzierenden Bakterien – und nur von diesen – unter anaeroben, also sauerstofffreien Bedingungen zur Energiegewinnung als Elektronenakzeptor genutzt, die Metalle liegen als Metallsulfate vor. Die Eliminierung der Metalle aus dem Wasser findet also über die Sulfatreduktion statt und die Metalle fallen (pH-abhängig) als Metallsulfide aus. Die Sulfatreduktion verbraucht Protonen (H^+) aus dem sauren Wasser, somit wird der pH-Wert erhöht. Dies basiert auf folgender Gleichung:



Bild 3: Sickerwasser von der Nordhalde (Foto: Barbara Hard)



Zur bakteriellen Sulfatreduktion werden jedoch noch Elektronen (e^-) benötigt. Diese liefert ein Elektronendonator, der gleichzeitig als Kohlenstoff- und Energiequelle für Wachstum und Vermehrung genutzt werden kann. Sulfatreduzierende Bakterien sind in der Lage, verschiedene Substrate als Kohlenstoff- und Energiequelle zu nutzen. Je teurer ein solches Substrat, desto höher sind natürlich auch die Kosten pro Liter zu reinigendem Wasser. Das wiederum wirkt sich auf die Durchführbarkeit eines solchen mikrobiologischen Dekontaminationsverfahrens aus. Bei der Auswahl des Substrates muss neben den Kosten und der Verfügbarkeit auch die Stöchiometrie – das ist das Verhältnis zwischen Elektronendonator und -akzeptor – auch dessen Effizienz, bezogen auf das Verhältnis von Substrat, berücksichtigt werden. Mit Blick auf Anschaffungspreis und Effizienz erweist sich Methanol als sehr gut geeignet. Die Verwertung von Methanol (CH_3OH) zur Sulfatreduktion erfolgt nach folgender Gleichung:



Die Schwermetalle wie Uran, Nickel oder Eisen werden als Sulfide ausgefällt. Das ausgefällte Material kann abgetrennt und deponiert oder wiederverwertet werden. Diejenigen Metalle, die nicht als Sulfide ausfallen, wie z.B. Aluminium, können durch Biosorption aus dem Wasser entfernt werden. Dabei werden die Metalle entweder in die bakteriellen Zellen eingelagert oder sind außen an der Zellbegrenzung fixiert.



Bild 4: Saure Wässer im Wismutstollen
(Foto: Barbara Hard)



Bild 5: Wasserprobenahme in einem ausgedienten Uranscht (Foto: Barbara Hard)

Bewährungsproben

Auch wenn von der Chemie her alles klar ist – bis zur Praxisreife ist noch ein weiter Weg zurückzulegen. Mittlerweile hat UFZ B 378 in zahllosen Testreihen im Labor sein Leistungsvermögen bewiesen. Derzeit laufen Versuche, um das Verfahren im größeren Maßstab in den Reaktoren des Umweltbiotechnologischen Zentrums am UFZ zu optimieren. Erst wenn die Sulfatreduzierer diese notwendige Bewährungsprobe gemeistert haben, können sie am Standort eingesetzt werden.

Parallel dazu läuft die Suche nach Bakterien, die auf andere Weise die Bergwerkswässer dekontaminieren können. In Uranminen wurde ein eisenoxidierender Bakterienstamm gefunden, der in der Lage ist, Uran in die Bakterienzellen aufzunehmen bzw. an die Zellwände zu binden. Dieser Stamm, *Thiobacillus ferrooxidans* ATCC 33020, wurde vom Forschungszentrum Rossendorf in Dresden und dem UFZ gemeinsam untersucht, und es zeigte sich, dass er im Bereich von pH 4 über 95% des eingesetzten Urans akkumuliert. Die sauren Grubenwässer weisen aber einen pH-Wert von zwei auf – leider keine optimalen Bedingungen für ATCC 33020.

Eine weitere Möglichkeit ist die Reduktion von sechs- zu vierwertigem Uran, das dann unlöslich ist und ausfällt. Der Bakterienstamm UFZ B 490 aus einer Uranerzhalde reduziert die Uran(VI)konzentration in einer Lösung innerhalb von 24 Stunden zu fast 100%. Allerdings macht auch diesen Bakterien der niedrige pH-Wert einen Strich durch die Rechnung. Sie benötigen einen neutralen pH-Wert, um optimal »arbeiten« zu können.

Wie die Applikation dann technisch vor Ort durchgeführt wird – mit welchen Bakterien, mit welchen technischen Hilfsmitteln, mit welchen Kooperationspartnern – und wann, hängt von den Resultaten dieser Versuche ab. Eines ist jedoch schon ziemlich gewiss: nicht einer, sondern mehrere, hochspezialisierte Bakterienstämme werden gemeinsam – als Mischkulturen – den Schadstoffmix des ehemaligen Uranbergbaus beseitigen.

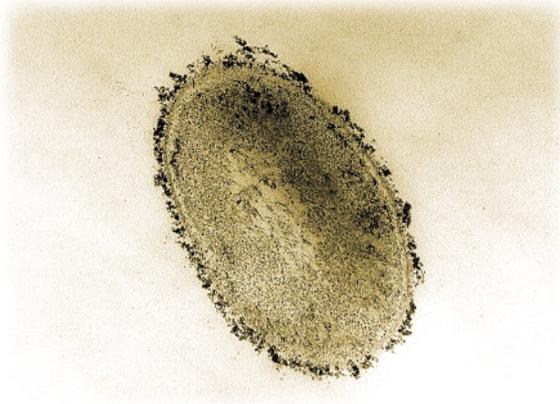


Bild 6: Elektronenmikroskopische Aufnahme eines metallbeladenen Bakteriums

English Abstract

»Super Baks (Super Bugs)« – using microbes to clean acid mine water

Barbara Hard and Wolfgang Babel

For over 40 years following World War II until the late 1980s, the district of Ronneburg–Schmölln in Thuringia has been the main supplier of uranium pitchblende for the production of Soviet nuclear weapons. 114,000 tons of fission material were extracted there, accounting for over half the total uranium ore mined by the Wismut company. Shortly after German reunification, uranium mining was terminated in the early 1990s, and the mines were closed. What remained was 567 km of open galleries, 17 waste dumps, 3 precipitation tanks, and numerous contaminated buildings and plants.

Since 1992, Wismut GmbH has devoted itself exclusively to the remediation of mines, rivers, lakes and waste dumps. Many shafts and galleries have since being closed one at a time. The mines are undergoing controlled flooding, with the groundwater no longer being pumped off as it rises naturally. Once flooding ceases, the flood water will penetrate the surface at certain points. Owing to the natural leaching activities of bacteria, especially species of the genus *Thiobacillus* and *Leptospirillum*, the flood water and the dump leachate are sulphuric, i.e. they have a pH of between 1 and 3, and contain very high levels of sulphate (up to 50g per litre) and metals – mainly uranium, iron, aluminium, nickel and manganese.

This water cannot yet be discharged into rivers because the concentrations of the individual elements in the flood water and leachate exceed the permitted discharge limits. Hence the water must be decontaminated so that it can be safely disposed of in the river network.

Although there are many conventional methods which could be used to clean the water, e.g. reverse osmosis or gypsum precipitation, they are usually very elaborate and expensive. Other traditional clean-up techniques are unable to adequately deal with the acid, metalliferous water. Therefore, alternative methods must be developed. Scientists at the Department of Environmental Microbiology are currently investigating whether bacteria can be used to neutralise the water and remove the metals.