

Das UFZ – gegründet im Dezember 1991 – beschäftigt sich als erste und einzige Forschungseinrichtung der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) ausschließlich mit Umweltforschung. Das Zentrum hat zur Zeit rund 600 Mitarbeiter (einschließlich Annex-Personal) – beim Start vor fünf Jahren waren es noch 380. Finanziert wird das Zentrum zu neunzig Prozent vom BMBF (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie), der Freistaat Sachsen und das Land Sachsen-Anhalt beteiligen sich mit jeweils fünf Prozent.

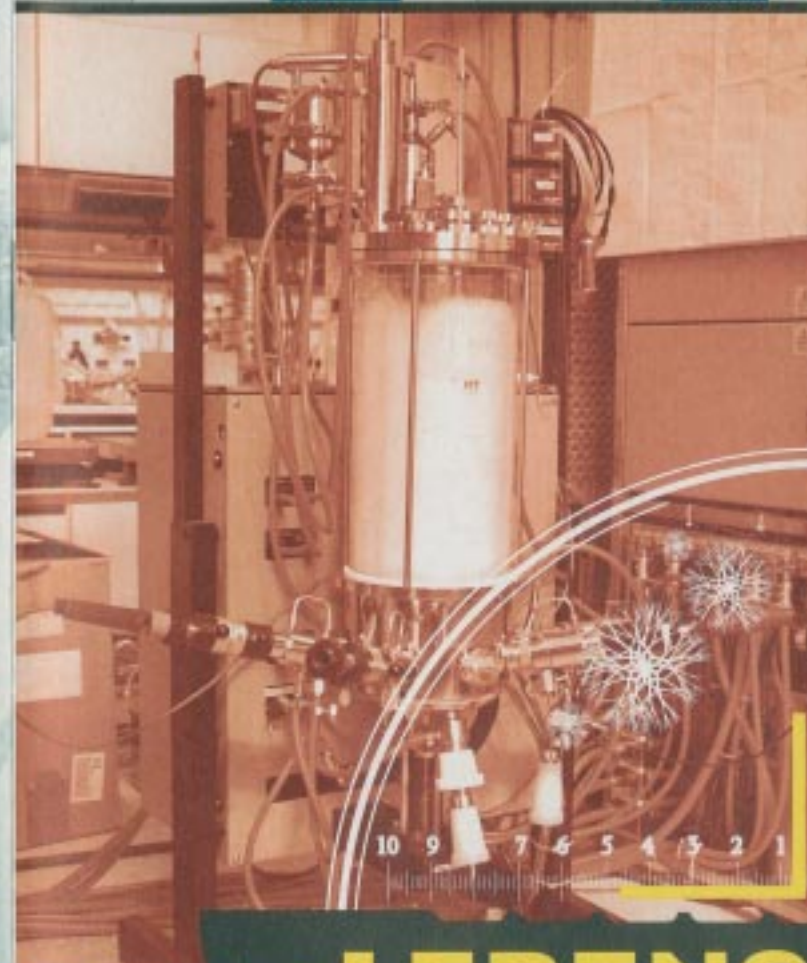
Umweltforschung heute verlangt Interdisziplinarität und Flexibilität. Die Großwetterlage im Umweltbereich hat sich geändert, denn nicht Spezialisierung und Akademisierung, sondern Anwendungsbezug und Interdisziplinarität sind die Charakteristika dieser Forschung, so auch des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle.

Gegründet mit Blick auf die stark belastete Landschaft des Mitteleuropäischen Raumes ist das UFZ bereits heute ein anerkanntes Kompetenzzentrum für die Sanierung und Renaturierung belasteter Landschaften beziehungsweise die Erhaltung naturnaher Landschaften – nicht nur für diese Region. Die Umweltforschung am UFZ richtet sich zunehmend an globalen Problemen und Fragestellungen aus und präsentiert sich international; zu Osteuropa, Nord- und Südamerika und dem südlichen Afrika bestehen bereits enge Forschungskontakte. Sie sollen in den nächsten Jahren weiter vertieft werden.

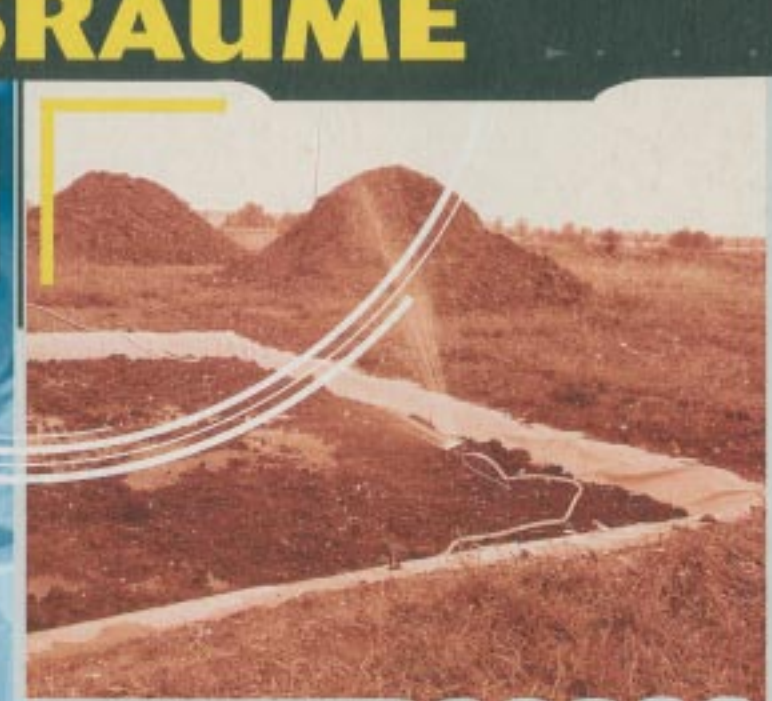
Aufbauend auf eine solide wissenschaftliche Basis wird in interdisziplinären Forschungsverbänden – den Verbundprojekten – die landschaftsorientierte, naturwissenschaftliche Forschung und Umweltmedizin eng mit Sozialwissenschaften, der ökologischen Ökonomie und dem Umweltrecht verbunden. Kulturlandschaften, also vom Menschen genutzte und veränderte Landschaften, mit ihren typischen terrestrischen und aquatischen Ökosystemen und den darin lebenden Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen sollen nachhaltig gestaltet werden. Dem geht ein Verstehen dieser hochkomplexen, vernetzten und dynamischen Systeme voraus, um vorhersagen bzw. abschätzen zu können, wie sich anthropogene Eingriffe – z.B. Flußbegradigung, Tagebaufüllung, Entseelung von Flächen oder Zergliederung von Landschaften – auf solche Ökosysteme auswirken. Für den jeweiligen Typ von Kulturlandschaft werden dann dynamische und realisierbare Leitbilder und Umweltqualitätsziele entwickelt und in der Landnutzung umgesetzt.



UFZ-UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM
Leipzig-Halle GmbH / Permoserstraße 15 / 04318 Leipzig
Telefon: 0341 / 235 2278
Fax: 0341 / 235 2707
e-mail: feldmann@pro.ufz.de
Internet: <http://www.ufz.de>



LEBENS-RÄUME



SCHWERPUNKTTHEMA

**BIOTECHNOLOGIE
FÜR DIE UMWELT**



Was ist Biotechnologie?



Biotechnologie ist ein moderner Begriff für eine uralte Sache.

Seit Jahrhunderten nutzt der Mensch die Leistungen von Bakterien, beim Brauen oder bei der Herstellung von Brot und Käse. Heute sind biotechnologisch hergestellte Pharmaka, Lebensmittelzusatzstoffe und -wirkstoffe aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken.

Auch die Fähigkeit der Mikroorganismen, Schadstoffe abzubauen, wurde frühzeitig erkannt und bei der biologischen Abwassereinigung ausgenutzt. Später entstand die Umweltbiotechnologie als selbstständiger Zweig mit technisch ausgereiften Verfahren der Bodendekontamination ebenso wie der leistungsgesteigerten Abwasserreinigung und der Reinigung von Abgasen.

Das relativ junge Gebiet der Bioremediation oder der „sanften“ Sanierungsverfahren stellt nicht die technische Lösung in den Vordergrund, sondern die Aktivierung des biologischen Potentials zum Schadstoffabbau, möglichst direkt (*in situ*) im kontaminierten Boden oder Aquifer.

Ein anderes Einsatzgebiet der Biotechnologie ist die Verringerung bzw. Vermeidung von Umweltbelastungen, indem Abfälle als Ressourcen betrachtet und genutzt werden.

Im Rahmen des produktionsintegrierten Umweltschutzes werden bakterielle Enzyme eingesetzt, um chemische Katalysatoren zu ersetzen, den Wasserverbrauch zu minimieren oder das Entstehen von unerwünschten Nebenprodukten zu vermeiden.

Auf dem Vormarsch sind schließlich gentechnische Methoden in der Biotechnologie, mit denen sich die Leistungsfähigkeit von Mikroorganismen gezielt wesentlich steigern läßt und mit denen sich neue Möglichkeiten für die Synthese von Stoffen, wie z.B. Biopolymeren, ergeben.

Biotechnologische Forschung ist der wesentliche Bestandteil bei der Entwicklung sanfter Sanierungsverfahren, neuer Prozesse der Ressourcenschonung und des Technologietransfers am UFZ. Mikroorganismen – auch gentechnisch veränderte – werden hier eingesetzt, um saure oder mit Schadstoffen belastete Gewässer zu behandeln, um Böden zu sanieren oder um neue Produkte, wie biologisch abbaubare Kunststoffe, zu synthetisieren.

S. 19

Mikrobielle Sanierung von sauren Bergwerkswässern



Thema S. 12

Die Überreste einer Produktionsanlage für Unkrautvernichtungsmittel – 24.000 m³ belasteten Bauschutts müssen dekontaminiert werden.



Biofilme – Mikrobiologie an Grenzflächen

Thema S. 14

Was sind Biofilme? Wie kann man sich ihre positiven Eigenschaften zu Nutze machen und schädliche Wirkungen vermeiden?



Thema S. 21

Können Biopolymere als Massenprodukte mit konventionellen Kunststoffen konkurrieren?



Mit Seekreide gegen die Algenblüte – die Sanierung des Arendsees

S. 28



Thema S. 22

In Sachsens Flüssen und Talsperren lagern 18 Mio. Tonnen belasteter Sedimente. Auch Mikroorganismen werden zur Sanierung eingesetzt.



Thema S. 26

Im Oktober 1996 begann das UFZ mit der Sanierung einer ehemaligen Schwelwasserdeponie.

Biotechnologie – eine große Chance für Wirtschaft und Ökologie

Bis zum Jahr 2000 sollen in der biotechnologischen Forschung und Industrie 70.000 neue Arbeitsplätze entstehen 6

Das UbZ als Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie

Interview mit Dr. Thomas Münker, Leiter des Umweltbiotechnologischen Zentrums (UbZ) im UFZ 10

Von der Giftküche in den Straßenbau – Recycling von herbizidbelastetem Bauschutt

..... 12

Das Regionalforum Leipzig-West Sachsen

Umweltbiotechnologie mit all ihren Facetten soll zu einem strategischen Standortfaktor in der Region Leipzig ausgebaut werden. Dies ist das Ziel einer neuen Koordinierungsstelle unter der Schirmherrschaft des Leipziger Regierungspräsidiums und des UFZ 13

Biofilme – Mikrobiologie an Grenzflächen

..... 14

Die Sektion Umweltmikrobiologie ist in die biotechnologische Forschung am UFZ eingebunden

Interview mit Prof. Wolfgang Babel, Leiter der Sektion Umweltmikrobiologie ... 16

Mikrobielle Sanierung von sauren Bergwerkswässern

Wissenschaftler des UFZ prüfen, ob Bakterien zur Dekontamination saurer Wässer, die eine hohe Konzentration an Sulfat und radioaktiven Metallen aufweisen, eingesetzt werden können 19

PHB-Plastik aus der Bakterienzelle

..... 21

Mikroorganismen und Radiowellen im Einsatz gegen Bodenkontaminationen

..... 22

Sanierung mineralölverseuchter Böden im Routinebetrieb

Interview mit Dr. Stefan Reinhard von der Firma Bauer und Mourik, Betriebsleiter des Bodenreinigungszentrums Hirschfeld 24

Neues Leben im Phenolsee

..... 26

Mit Seekreide gegen die Algenblüte

Wissenschaftler der UFZ-Sektion Gewässerforschung in Magdeburg haben ein kostengünstiges, umweltverträgliches Verfahren zur Sanierung eines eutrophierten Sees entwickelt 28

Pflanzen helfen bei der Reinigung von Wasser und Boden

..... 30

In situ-Grundwassersanierung – das SAFIRA-Projekt

Im Landkreis Bitterfeld werden neue Verfahren erprobt, um Grundwasser direkt im Aquifer zu reinigen 32

Thema S. 30

Pflanzenkläranlagen zur Abwasserreinigung werden ständig weiterentwickelt, um neue Einsatzmöglichkeiten zu erschließen.



Biotechnologie – eine große Chance für Wirtschaft und Ökologie

Bundeforschungsminister Dr. Jürgen Rüttgers sieht in der Biotechnologie in Deutschland einen boomenden Markt. Mit Förderinitiativen und der erleichterten Einführung gentechnischer Verfahren will die Bundesregierung den Weg zum Biotech-Standort Nr. 1 in Europa ebnen. Bis zum Jahr 2000 sollen in der biotechnologischen Forschung und Industrie 70.000 neue Arbeitsplätze entstehen.

(D. Sell, M. Etschmann, DECHEMA e.V. Frankfurt)

Was genau steckt hinter dem Begriff Biotechnologie, an den so große wirtschaftliche Erwartungen geknüpft werden? Bei genauerer Betrachtung fällt auf, daß in der öffentlichen Diskussion überwiegend von pharmazeutischen und diagnostischen Anwendungen die Rede ist. Es werden hier neue Medikamente entwickelt, da neue Nachweisverfahren ausgetüfelt. Anders ist es mit biologischen Verfahren für den Umweltschutz. Sie finden in den Medien bislang wenig Beachtung, dabei muß man sich mit dem hier bereits erreichten Entwicklungsstand keinesfalls verstecken – im Gegenteil: Führt man sich die nüchternen Fakten vor Augen, so stellt sich die Frage, ob wir im Bereich Umweltbiotechnologie in Deutschland nicht bereits heute das vom Forschungsminister gesteckte Ziel erreicht haben!

Mehr als 700 privatwirtschaftliche Unternehmen in unserem Land zählen biologische Verfahren zur Umweltentlastung zu ihrem Geschäftsfeld. Dabei reicht die Bandbreite vom Kleinunternehmen, das ausschließlich mit biologischen Verfahren und Dienstleistungen seinen Umsatz bestreitet, über mittelständische bis hin zu Großunternehmen, die Umweltbiotechnologie als Teilbereich

ihrer Angebotspalette im Programm haben. Zu den privatwirtschaftlichen Unternehmen kommen noch einige hundert in kommunaler Trägerschaft hinzu. Die Anzahl der derzeit Beschäftigten, die in direkter Umsetzung oder der Forschung und Entwicklung biologischer Verfahren für den Umweltschutz tätig sind, liegt heute schon im Bereich einiger zehntausend.

Biologische Entsorgungs- und Wertungstechnologien, die die Reinigung von Wasser, Boden und Luft oder die Behandlung bestimmter Reststoffe zum Ziel haben, werden heute als Umweltbiotechnologie der ersten Generation bezeichnet. Die derzeitige Stagnation am innerdeutschen Markt für Umwelttechnik macht auch den biotechnologischen Anbietern in diesem Segment zu schaffen. Die Gründe für die Stagnation sind sicherlich vielschichtig und werden von Faktoren, wie den leeren öffentlichen Kassen, dem verstärkten internationalen Wettbewerb und der derzeitigen Umweltschutzgesetzgebung, beeinflusst.

Die weltweite Verknappung von Ressourcen, wie sauberem Wasser, zwingt aber dazu, weiter nach alternativen umweltverträglicheren Technologien zu suchen. Derzeit rüstet die deutsche



In den nächsten Jahren sollen 70.000 neue Arbeitsplätze in der biotechnologischen Forschung und Industrie entstehen!

ARAL AG alle Waschanlagen ihrer Servicestationen mit Aufbereitungsanlagen aus, in denen das Wasser mikrobiologisch oder mit Flockungsmitteln gereinigt und wieder verwendet wird. Bei rund 200 Litern Waschwasser pro Autowäsche werden so nur noch 20-40 Liter Frischwasser benötigt. Dieses Beispiel für dezentrale biologische Behandlungsanlagen wird sicherlich auch in anderen Anwendungsgebieten Schule machen. Es gibt bereits einige kleine Unternehmen als Anbieter solcher Technologien am Markt.

Ein großer Nachholbedarf besteht bei der biologischen Abluftreinigung beispielsweise im Bereich der Farben- und Lackherstellung und -verarbeitung. Schätzungen gehen davon aus, daß heute nur etwa 2-5% des theoretisch möglichen Marktanteiles von Biofiltern und Biowäschern bedient werden.

Die biologische Sanierung von Standorten, die mit Mineralölkohlenwasserstoffen kontaminiert sind, ist heute Stand der Technik und wird an anderer Stelle in diesem Magazin beschrieben. Um auch die Verfahren zum Abbau von chlorierten Verbindungen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen oder der Sprengstoffe TNT, Hexyl oder

Hexogen voranzubringen, fördert das Bundesforschungsministerium den Projektverbund „Biologische Verfahren zur Bodensanierung“ mit dem Ziel, eine umfassende Wissensbasis zu schaffen und eine routinemäßige technische Anwendbarkeit sicherzustellen. Am Ende soll ein Leitfaden zur biologischen Bodensanierung stehen, der den Stand der Technik dokumentiert und allen Sanierungspflichtigen und deren Planern eine höhere Entscheidungssicherheit gibt.

Noch größer ist der Nachholbedarf bei Umweltbiotechnologien der zweiten Generation. Hierunter versteht man die Anwendung biologischer Technologien in verschiedenen Industriebereichen im Sinne eines produktionsintegrierten Umweltschutzes. Die Weltwirtschaftsorganisation OECD nennt in ihrer neuen Studie „Biotechnology for Clean Industrial Products and Processes“ eine Vielzahl von Beispielen, wie durch den Einsatz von Mikroorganismen und/oder ihrer Stoffwechselprodukte Produktionsverfahren so modifiziert werden können, daß sie zu einer Entlastung der Umwelt führen.

Ein wichtiges Einsatzfeld für Biotechnologien der zweiten Generation eröffnet sich in der Papierindustrie. Immer strenger werdende Umweltauflagen führen einerseits zu großer Aufgeschlossenheit gegenüber technischen Verbesserungen. Niedrige Gewinnspannen in diesem großen und immer noch wachsenden Industriezweig sind andererseits ein Hemmschuh für Verfahrensänderungen, sobald diese auch nur eine minimale Verteuerung zur Folge haben könnten. Wenn in der Papier- und Zellstoffproduktion Biotechnologie zum Einsatz kommt, dann in Form von biotechnologisch hergestellten Enzymen, also den Stoffwechselprodukten von Bakterien oder Pilzen. Bisher werden nur 1-2% der Weltjahresproduktion an Enzymen in der Papierindustrie eingesetzt, doch die Prognosen kündigen eine rasante Steigerung an. Für die USA werden Wachstumsraten von 15% jährlich über die nächsten zehn Jahre prognostiziert.

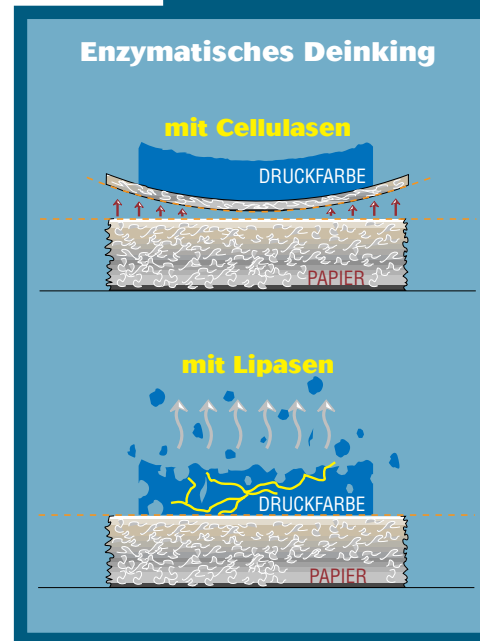
Ein Papiertaschentuch sollte „schneuzfest“ sein, d.h., es muß auch in feuchtem Zustand seine Reißfestigkeit behalten. Dies kann mit dem Zusatz von Polymeren erreicht werden. Allerdings entstehen bei der Herstellung der Polymeren halogenierte Alkohole als problemati-

sche Nebenprodukte. Britische Forscher entdeckten zwei Bakterienstämme, die die Halo-Alkohole in Kohlendioxid, Wasser und Chlor umwandeln. Diese Produkte können dann aus dem Polymer herausgewaschen werden, bevor es zum Einsatz kommt. Anwendung findet diese Methode der Polymerbeschichtung bereits in zwei Anlagen zur Produktion von Lebensmittelverpackungen. Die erforderlichen Bioreaktoren konnten in die vorhandene Produktionslinie eingebunden werden und machten so eine teure Umgestaltung des Gesamtprozesses überflüssig.

Umweltfreundlicher als mit Chlor werden Papier und Zellstoff schon seit Jahren mit Sauerstoff, Wasserstoffperoxid und Ozon gebleicht. Die Ersatzstoffe haben aber den Nachteil, daß sie nicht so selektiv sind wie chlorhaltige Bleichmittel; unter Umständen können sie die Zellstofffasern schädigen. Auch hier gibt es Möglichkeiten, mit Hilfe der Biotechnolo-

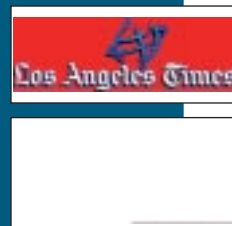
der Druckfarbe, das Deinking. Als Alternative zu den herkömmlichen Verfahren, bei denen Ätznatron, Silikate und Peroxide eingesetzt werden, bieten sich hier gleich zwei biotechnologische Verfahren an, die obendrein eine bessere Faserqualität gewährleisten als die chemischen. Beide arbeiten wiederum mit mikrobiell erzeugten Enzymen, setzen jedoch an unterschiedlichen Stellen an: Mit Hemicellulasen wird die oberste Papierschicht abgelöst und mit ihr die aufliegende Druckfarbe weggespült. Alternativ können Lipasen, also fettspaltende Enzyme, eingesetzt werden, die Bindemittel in der Druckfarbe selbst auflösen. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß die Bindemittel auf Pflanzenöl-Basis hergestellt sind. In Deutschland finden überwiegend Druckfarben auf Erdöl-Basis Verwendung, die für ein Lipase-Deinking nicht zugänglich sind.

Produktionsintegrierte Biotechnologie in der Papierindustrie



Der Einsatz von bakteriell erzeugten Enzymen, ein neuer Weg bei der Beseitigung der Druckfarben beim Recycling von Altpapier.

Die Los Angeles Times setzt Sojaöl-Druckfarbe ein, die dann mit Lipasen (fettspaltenden Enzymen) wieder vom Papier getrennt wird.



Quelle: American Soy Bean Ass.

gie Chemikalien einzusparen. Wird nämlich der Zellstoff vor der Bleiche mit dem Enzym Xylanase behandelt, so können die Bleichmittel effektiver wirken und ihre Menge kann um bis zu 50% reduziert werden. In Kanada, dem zweitgrößten Zellstoffproduzenten der Welt, werden bereits 25% des produzierten Papiergrundstoffs mit Xylanase behandelt.

Beim Recycling von Altpapier ist eine der Hauptaufgaben die Entfernung

Ganz anders ist die Situation in den USA. Dort bringen bereits mehr als 3.000 Zeitungen, allen voran die Los Angeles Times, ihre Nachrichten mit Sojaöl-Druckfarbe aufs Papier und mit Lipase-Deinking wieder herunter. Mit einem Gütesiegel, dem SoySeal, wirbt das Sojaöl-Informationszentrum für den Einsatz des nachwachsenden Rohstoffs und

die Qualität der daraus erzeugten Farben. In vielen Bereichen der Textilindustrie bietet sich die Anwendung biologischer Methoden geradezu an. Das gilt auch für die Herstellung des weitverbreitetsten aller Kleidungsstücke, der Blue-Jeans.

Um den modischen „stone-washed-look“ zu erzielen, werden immer öfter Cellulasen eingesetzt, die die blaue Farbschicht teilweise von den Fasern abtragen. Beim herkömmlichen Prozeß werden die Jeans zusammen mit Bimsstein in großen Trommeln gewaschen. Dabei fallen erhebliche Abfallmengen durch den Abrieb an, außerdem verstopfen die Rohrleitungen. Beide Ver-



Um den modischen „stone-washed-look“ zu erzielen, werden immer öfter Cellulasen eingesetzt, die die blaue Farbschicht teilweise von den Fasern abtragen. Somit entfallen die bisherigen Abfallmengen und es kann kostengünstiger produziert werden.

fahrensvarianten wurden im Rahmen einer Ökobilanz betrachtet, wobei das biotechnologische Verfahren in nahezu allen Bereichen besser abschnitt, zumal es beträchtliche Kostenvorteile bietet.

Interessante Beispiele für den produktionsintegrierten Umweltschutz mit Biotechnologie stammen auch aus dem Bereich der Metallverarbeitung. Wo Eisen ist, da ist Rost nicht weit, und er verursacht jedes Jahr weltweit Kosten in Milliardenhöhe. Dabei ist nicht nur an die Beseitigung vorhandener Schäden zu denken, sondern auch an vorbeugende Korrosionsschutzmaßnahmen, die ebenfalls viel Geld kosten. Unmittelbar vor dem Auftragen schützender Lacke und Beschichtungen muß die dünne Flugrostschicht entfernt werden. Das geschieht derzeit mit verschiedenen Säuren, die gefährlich in der Handhabung sind, Dämpfe freisetzen und nach Gebrauch als Sondermüll beseitigt werden müssen. Chemisch betrachtet handelt es sich beim Entrostungsvorgang darum, unlösliche Eisenoxide in lösliche Verbindungen umzuwandeln. Eben dies ist auch das Ziel spezifischer Mikroorganismen, die Eisen als essentiellen Nährstoff brauchen. Sie scheiden Siderophore aus, das sind Stoffe, die das Eisen in eine lösliche, also bioverfügbare Form, umwandeln. Dieses Prinzip der biologischen Beize wurde an der

Fachhochschule Mannheim in die Praxis umgesetzt. Bakterielle Siderophore werden mit Flugrost mittlerweile ebensogut fertig wie die bislang eingesetzten Säuren; nun gilt es, das Verfahren so zu verbessern, daß auch dickere Rostschichten aufgelöst werden können.

Ein zweites Beispiel aus der Metallverarbeitung, das über das Entwicklungsstadium hinaus ist und sich bereits in der täglichen Praxis bewährt, ist die mikrobielle Kupferrückgewinnung. Das Grundprinzip, die Erzlaugung, macht man sich seit langem im Bergbau zu Nutze; heute werden weltweit 5% des Kupfers über dieses

biologische Verfahren gewonnen. Neu ist die Rückgewinnung von gelöstem Kupfer aus Galvanik-Abwässern, wie sie an der Universität Bremen entwickelt wurde und nun bei einem mittelständischen Leiterplattenhersteller im Einsatz ist. Mit dieser Technik werden die bisher eingesetzten Fällungs- und Flockungsmittel überflüssig und damit pro Jahr 40 Tonnen Galvanikschlamm vermieden, die bisher als Sondermüll entsorgt werden mußten. Nicht zuletzt wird der Rohstoff Kupfer, von dem bisher zwei Tonnen pro Jahr mit dem Schlamm verloren gingen, zu 80% wiedergewonnen.

Würde dieses Verfahren bundesweit bei allen Leiterplattenherstellern eingeführt, könnte dies eine Vermeidung von 40.000 Tonnen besonders überwachungsbedürftigen Abfalls pro Jahr bedeuten.

Die kleine Auswahl der oben vorgestellten Verfahren zeigt, welches enorme wirtschaftliche und ökologische Potential Biotechnologie bietet. Dieses Potential muß von den Verantwortlichen in Politik, Forschung und Wirtschaft erkannt und stärker als bisher genutzt werden, dann hat Deutschland gute Chancen, hier eine Vorreiterrolle einzunehmen und auszubauen. ■

Biotechnologieförderung in Deutschland

Im Rahmen verschiedener Programme können BioTech-Firmen, insbesondere neu gegründete und kleine und mittelständische Unternehmen, Förderungen beantragen.

- **BMBF-Programm „Biotechnologie 2000“;** Insgesamt 300 Mio. DM pro Jahr, Fax: 0228/572041
- **BMBF-BioRegio-Wettbewerb;** In den Gewinner-Regionen Rheinland, Rhein-Neckar und München (aus 17 Bewerbern) stehen jährlich je 50 Mio. DM zur Verfügung.
- **Deutsche Bundesstiftung Umwelt;** DBU-Förderschwerpunkt „Einsatz biotechnologischer Verfahren und Produkte im Sinne eines produkt- bzw. produktionsintegrierten Umweltschutzes in ausgewählten Industriebranchen“, Fax: 0541/9633193
- **Netzwerk Umweltbiotechnologie;** Unterstützung für KMUs im Rahmen des „Job-Funding-Programms“, Fax: 069/7564388
- **Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie (DIB);** Förderung der allgemeinen Rahmenbedingungen für Biotechnologie in Deutschland, Fax: 069/25561613
- **Vereinigung deutscher Biotechnologie-Unternehmen (VBU);** Organisation von Veranstaltungsreihen für Mitarbeiter von Biotechnologie-Unternehmen, Fax: 069/7564366

Interview mit Herrn Dr. Thomas Münker, Leiter des Umweltbiotechnologischen Zentrums (UbZ) am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle.

FRAGE: Herr Dr. Münker, wie entstand das UbZ, welche Ziele verfolgt es?

DR. MÜNKER: Das UbZ entstand 1994 als eigenständige Abteilung der Sektion Sanierungsforschung am Umweltforschungszentrum. Die Mittel wurden beim Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie erworben im Rahmen des Programms Biotechnologie 2000. Konkret ging es um die Einrichtung von Transferstellen für Umweltbiotechnologie, von denen dann vier gegründet wurden: die Transferstelle Umweltbiotechnologie an der Ruhr-Universität Bochum (RubiTec), an der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH-Technologie GmbH), bei der Dechema e.V. in Frankfurt und, quasi als Pilotvorhaben, die allererste hier am UFZ. Die Idee, solche Umweltbiotechnologie-Transferstellen zu fördern, entstand im BMBF, nachdem sich Technologietransfer bereits sehr erfolgreich im Bereich des Computer Aided Designs (CAD) etabliert hatte. Im Bereich der Biotechnologie und des Umweltschutzes werden vom BMBF seit langem eine Menge von Vorhaben gefördert, bei denen es zunächst darum ging, modellhafte Sanierungen durchzuführen, modellhafte Schadstoffe in modellhaften Böden zu untersuchen. Mit der Zeit stellte man fest, daß sehr wenig an Forschungsergebnissen in die Praxis überführt wurde. Durch die Einrichtung dieser Technologietransferstellen wird nun gezielt dafür gesorgt, daß Forschungsergebnisse vermehrt zur Umsetzung in die Praxis kommen. Man will dabei erheblich darüber hinausgehen, nur Kontakte und Informationen zu übermitteln. Es soll die Möglichkeit geboten werden, praktischen Technologietransfer zu etablieren in Technikumsräumen, die gezielt für Firmenkooperationen zur Verfügung stehen.

Das erste so ausgelegte Technikum entstand am UFZ in Leipzig. Es wird ausschließlich für Kooperationen mit Firmen zur Verfügung gestellt, d.h. es gibt dort keine eigene, grundlagenorientierte For-

schung des UFZ. Statt dessen wird UFZ-Mitarbeitern eine Möglichkeit geboten, ihre eigene Forschung zusammen mit Firmen in die Praxis zu überführen, bzw. Firmen erhalten die Möglichkeit, gezielt an der Lösung von Problemen, die sie im Alltag haben, in diesem Technikum zu arbeiten.

FRAGE: Im Idealfall entwickelt also ein Forschungsinstitut in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen aus der Industrie ein neues Verfahren. Wie finden sich die Partner, die voneinander profitieren können? Gibt es Beispiele für abgeschlossene oder laufende Kooperationsprojekte des UbZ?

Mit Hilfe von Technologietransferstellen werden Forschungsergebnisse vermehrt in der Praxis eingesetzt.

DR. MÜNKER: Wir haben im UbZ-Technikum bereits einige solcher Kooperationsvorhaben durchgeführt, und zwar gibt es Beispiele für beide Richtungen. Zum einen wurde gezielt auf Anfragen von der Industrie hin reagiert, zum anderen wurden Ergebnisse aus unserem Haus in die Praxis überführt. Ein Beispiel dafür ist das Projekt zur biologischen Sanierung stark kontaminierter Bauschutts. Das Verfahren wurde parallel zur erkenntnisorientierten Forschung der Sektion Umweltmikrobiologie entwickelt (siehe Seite 12). Für den anderen Weg, nämlich daß auf Anfragen von Firmen direkt reagiert wurde, gibt es mehrere Beispiele: Eines der ersten Vorhaben war ein Projekt der

Sanierungsgesellschaft in Lauchhammer. Es ging darum, kontaminierte Phenolwässer, die beim Abriss einer Kokerei entstanden waren, zu reinigen. Die Reinigungsverfahren mußten an das vorhandene Klärwerk angepaßt werden. Weiterhin gibt es Beispiele aus dem Bereich der Altholzverwertung. Zur Zeit wird gemeinsam mit einem Ingenieurbüro aus Süddeutschland ein Projekt angebahnt, das zum Ziel haben soll, katalytisch wirksames Trägermaterial aus einem chemischen Syntheseprozess biotechnologisch zu reinigen, um es anschließend wieder einsetzen zu können. Ferner bereiten wir eine Modellanlage für die PHB-Produktion (siehe Seite 21) im Südraum Leipzig vor.

Die Partner finden wir auf unterschiedliche Weise. Zum einen kommen Partner zu uns, die uns bereits kennen und wissen, was sie von uns erwarten – und das sind eigentlich die Projekte, die am erfolgreichsten laufen. Zum anderen sind wir in der letzten Zeit sehr erfolgreich auf Messen präsent gewesen. Durch die gemeinsame Werbung aller vier Transferstellen unter dem Namen Netzwerk Umweltbiotechnologie ist mit der Zeit ein hoher Bekanntheitsgrad entstanden, nicht nur hier in der Region, sondern im gesamten Bundesgebiet.

Jede Transferstelle führt auch eigenständig Veranstaltungen durch. Sehr engagiert ist hier die Transferstelle in Hamburg (z.B. Vortragsveranstaltung „Einsatz extremophiler Mikroorganismen“); in Bochum wurden einige Veranstaltungen für Unternehmensgründer durchgeführt.



das Technikum – Schnittstelle für praxisnahe Forschung

Unsere Partner bei der Dechema veranstalten jedes Jahr das „Kontaktforum Umweltbiotechnologie“, das Forschung und Industrie gezielt zusammenbringen soll. Das gleiche Ziel verfolgen wir durch die enge Kooperation mit der Leipziger Messe GmbH. Das UbZ ist hier an der Organisation einer Fachausstellung auf der Terratec '99 beteiligt, die eine Marktübersicht über biotechnologische Verfahren geben soll. Weiterhin ist das UbZ Koordinierungsstelle eines regionalen Netzwerkes Umweltbiotechnologie, das gemeinsam vom Umweltforschungszentrum und dem Regierungspräsidenten Herrn Steinbach initiiert wurde. Mittlerweile haben sich hier fünf Arbeitsgruppen gebildet, die sich mit unterschiedlichen Fragestellungen biologischer Sanierungsverfahren oder dem produktintegrierten Umweltschutz beschäftigen (siehe S. 13).

FRAGE: Mit welchen Unternehmen, welchen Branchen würden Sie sich in Zukunft eine stärkere Zusammenarbeit wünschen?

DR. MÜNKER: Der Bereich, in dem wir die größten Entwicklungsmöglichkeiten für gemeinsame Projekte mit der Industrie sehen, ist der Bereich des vorsorgenden Umweltschutzes. Die Biotechnologie kann gerade in diesem Bereich eine

Menge leisten und ganz wesentlich zu einer umweltschonenden und vor allen Dingen kosteneffizienten Produktion beitragen. Hier besteht noch ein erhebliches Potential. In diesem Bereich ist die Wissenschaft allerdings in ganz entscheidendem Maße von der rechtzeitigen Mitarbeit der Industrie abhängig. Hier gilt es, die Unternehmen und Verbände für diese Aufgabe zu gewinnen, um gemeinsam Lösungen zu erarbeiten.



E-Mail-Angebot

biotikslit bietet ein Forum für alle Personen, die im Bereich Biotechnologie tätig sind. Hier können Kontakte zu Wissenschaftlern und Unternehmen aufgenommen werden, Fragen zu biotechnologischen Themen gestellt, Treffen arrangiert, Stellengesuche und -angebote veröffentlicht und Projekte angeschoben werden.

Um sich in die Liste aufnehmen zu lassen, sendet man eine E-Mail an:

biotikslit-request@machno.hbi-stuttgart.de
(das „Subjekt“-Feld sollte leer bleiben)

mit folgender Nachricht an den Listserver:
subscribe biotikslit

Firmen können das Technikum des UbZ zum einen für die Entwicklung und maßstabsgerechte Erprobung eigener Ideen nutzen und zum anderen Ergebnisse des UFZ aufnehmen und für eigene Projekte adaptieren.



Bei diesen zukunftsgerichteten Entwicklungen darf man natürlich die Lösung akuter Probleme nicht vernachlässigen. Auch im Bereich des nachsorgenden Umweltschutzes, z.B. der industriellen Abfall- und Abwasserbehandlung, können dezentrale biologische Reinigungsanlagen erheblich zu einer Entlastung des Geldbeutels und der Umwelt beitragen.

FRAGE: Das UbZ vergibt auch gezielt Diplom- und Doktorarbeiten. Aus welchen Fachrichtungen sollten Studierende kommen, die sich bei Ihnen bewerben wollen?

DR. MÜNKER: Derzeit haben wir Diplomarbeiten im Bereich der Abwasserreinigung, der Mikrobiologie, der Verfahrenstechnik und auch der Analytik und Biosensorik zu vergeben. Wir beschäftigen uns mit fast allen Disziplinen der Umweltbiotechnologie und suchen eigentlich ständig Kandidaten, die sich in der angewandten Forschung qualifizieren möchten. Da wir bei fast allen Projekten eng mit Firmen kooperieren, ist das für die beteiligten Diplomand(inn)en und Doktorand(inn)en eine gute Chance, sich mit der kommerziellen Anwendung ihrer Ergebnisse vertraut zu machen. ■

Von der Giftküche in den Straßenbau – Recycling von herbizidbelastetem Bauschutt



Quelle: BASF AG Schwarzheide

1992 wurde das Synthesewerk Schwarzheide in Brandenburg abgerissen. Jahrzehntlang waren hier Unkrautvernichtungsmittel hergestellt worden und die giftigen Überreste findet man nun im Bauschutt mit Konzentrationen bis zu 1,5 g/kg. Bevor auf dem Industriestandort neue Produktionsbetriebe entstehen können, müssen 24.000 Kubikmeter kontaminierten Bauschutts und verseuchten

Alte Produktionsanlagen hinterlassen oft ein trauriges Erbe.

Erdreiches gereinigt werden. Eine Deponierung ist aus Umweltschutzsicht nicht akzeptabel; das Gefährdungspotential durch die Pestizide würde langfristig bestehen bleiben. Eine Verbrennung des Materials wäre unter diesem Aspekt zwar besser, aber mit ca. 10 - 15 Mio. DM sehr teuer. Gibt es Alternativen, ein Verfahren, das nicht mehr kostet als die Deponierung (ca. 150,- DM/m³), das umweltverträglicher ist und aus dem Giftmüll vielleicht noch wiederverwertbares Material macht?

Von diesen Überlegungen ausgehend formulierte Dr. Roland H. Müller, Biochemiker in der UFZ-Sektion Umweltmikrobiologie, eine konkrete wissenschaftliche Fragestellung: Gibt es im herbizidbelasteten Bauschutt Mikroorga-

nismen, und können sie die vorhandenen Schadstoffe abbauen? Wenn ja, lassen sie sich vermehren? Und können sie schließlich auch effektiv zur Dekontamination des Bauschutts eingesetzt werden?

Die Laborversuche zeigten, daß tatsächlich spezielle Bakterienstämme den Bauschutt besiedeln und die ehemalige Giftküche als Vorratskammer nutzen. Ein überraschendes Ergebnis, denn abgesehen von ihrer toxischen Wirkung bestehen die Schadstoffe aus einem vielfältigen Gemisch verschiedener Phenoxyalkansäuren und deren phenolischen Vorstufen, für die es keinen einheitlichen Abbauweg gibt. Hinzu kommt, daß Eluate der Mauerreste einen pH-Wert zwischen 11 und 12,5 aufweisen – eine höhere Basizität als sie die meisten Bakterien überhaupt ertragen können. Die Bakterien-Spezialisten aus den Bauschuttproben wurden isoliert, vermehrt und unter Zugabe von Nährstoffen wieder auf das belastete Material losgelassen. Gemeinsam mit Namensvetter Dr. Roland A. Müller vom Umweltbiotechnologischen Zentrum im UFZ wurden die Versuche erfolgreich auf den halbertechnischen Maßstab mit Mengen von 200 kg Bauschutt übertragen. Während der Schadstoffabbau unter

natürlichen Bedingungen Jahrzehnte dauern würde, gelang es jetzt innerhalb von 40 Tagen, die Herbizidkonzentration bis auf 0,5-1 mg/kg zu reduzieren. Dieser nur noch schwach belastete Bauschutt kann als Recycling-Material, z.B. im Straßenbau, eingesetzt werden. Wichtig war die Erkenntnis, daß der vollständige Abbau des Schadstoffgemisches nur zustande kommt, wenn die verschiedenen Bakterienstämme gemeinschaftlich arbeiten, da mehrere hintereinander geschaltete Reaktionsschritte notwendig sind.

Gemeinsam mit einem Industriepartner konzipieren die Wissenschaftler des UFZ derzeit eine Anlage, mit der das gesamte belastete Material innerhalb einiger Monate dekontaminiert werden kann, und zwar vor Ort, in Schwarzheide. Weltweit ist die Produktion von Herbiziden rückläufig, was gegenwärtig und in naher Zukunft den Rückbau einer größeren Anzahl von belasteten Industrieanlagen mit sich bringt. Wenn sich das oben beschriebene Verfahren in der Praxis bewährt, werden sich, auch im Ausland, viele Anwendungsmöglichkeiten ergeben. ■



24.000 Kubikmeter kontaminierter Bauschutt und verseuchtes Erdreich aus Schwarzheide können mit Hilfe spezieller Mikroorganismen vor Ort gereinigt werden.

Das Regionalforum Leipzig-West Sachsen – Plattform für ein regionales Netzwerk Umweltbiotechnologie

(P. Gärtner, RP Leipzig)

Leipzig ist seit 1989 ein Ort des kulturvollen Streites um neue Wege in Politik und Gesellschaft. Dialogstrukturen haben seit dieser Zeit Eingang in die gravierenden Umgestaltungsprozesse einer traditionell von Industrie und Bergbau geprägten Region gefunden. Im Jahre 1994 entstand im Konsens von engagierten Vertretern aus Wirtschaft, Verwaltung und Politik die Initiative, für den Raum Leipzig und die Region Westsachsen das Regionalforum Leipzig-Westsachsen zu gründen. Anliegen war und ist es, die vorhandenen Ressourcen und Kompetenzen von Unternehmen, Forschungsinstituten, Projektträgergesellschaften, Banken und Verwaltungen auf der Ebene der Kommunen und des Regierungsbezirkes sowie von Initiativen zu nutzen und zu bündeln, um die Entwicklung von Wirtschaft, Technologie und Beschäftigung zu befördern.

Unter Mitwirkung von engagierten Akteuren der Region sind in den vergangenen Jahren Schritte vollzogen worden, die innovative Projektideen ausgelöst und zur Neuprofilierung des Wirtschaftsstandortes Leipzig und der umliegenden Räume beigetragen haben. Als ein Schwerpunkt hat sich dabei in den letzten Jahren der Sektor Umwelttechnik/Umweltforschung/Umwelttechnologie herauskristallisiert, der inzwischen in erheblichem Maße zur Bruttowertschöpfung in der Region beiträgt und Arbeitsplätze sichert.

Mehr als 350 Unternehmen in vorrangig kleinbetrieblicher Größenstruktur lassen sich mittlerweile diesem Sektor zuordnen. Gemeinsame Interessenlagen, Geschäfts- und Arbeitskontakte, Forschungsvorhaben und Projektansätze haben dazu geführt, daß im Jahre 1997 das regionale Netzwerk Umweltbiotechnologie gegründet wurde, in dem mehr als 80 Firmen der Region mitwirken.

Unter der Schirmherrschaft des Leipziger Regierungspräsidenten Herrn Steinbach und des wissenschaftlichen Geschäftsführers des Umweltforschungszentrums Herrn Prof. Dr. Fritz arbeitet dieses Netzwerk mit dem Ziel, neue Produkte und Märkte zu entwickeln, Forschung und Entwicklung zu befördern und unternehmensnah zu transferieren.

Umweltbiotechnologie mit all ihren Facetten soll zu einem strategischen Standortfaktor in der Region Leipzig ausgebaut werden. Dies ist das Ziel einer neuen Koordinierungsstelle unter der Schirmherrschaft des Leipziger Regierungspräsidiums und des UFZ.

Grundidee des Netzwerkes ist es, Umweltbiotechnologie in vielfältigen Facetten zu einem strategischen Standortfaktor der Region zu entwickeln. Das Regionalforum bietet eine geeignete Plattform für den regionalen Ideentransfer und die Abstimmung der forschungs- und entwick-

lungsbezogenen Aktivitäten. Die regionale Ausdehnung des Netzwerkes reicht inzwischen bis nach Sachsen-Anhalt und Thüringen.

Heute wirken innerhalb des Netzwerkes 5 Arbeitsgruppen mit überregionalen und internationalen Partnerschaften.

Themenfelder sind:

- Biopolymere
- Biologische Reinigung von Boden und Grundwasser
- Industrielle Abwasserreinigung
- Produktionsintegrierter Umweltschutz
- Lateinamerika-Marktaktivitäten.

Die fachliche Betreuung des Netzwerkes liegt beim UFZ Leipzig-Halle GmbH. Kooperationspartner sind neben dem Umweltforschungszentrum u.a. die TU Dresden, das Kunststoffzentrum Leipzig und die FH Anhalt. Parallel dazu wirkt unter dem Dach des Regionalforums als eine von mehreren Arbeitsgruppen die AG „Umwelt & Energie“, die mit Arbeitsthemen, wie Phytopharmaka, Food- und Non-Food-Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen, u. a. ebenfalls zahlreiche Projekte und Unternehmen zusammenführt.

Dieses äußerst breite und vielfältige Spektrum in der Forschungs- und Unternehmenslandschaft verleiht der Region hoffnungsvolle Entwicklungsimpulse zur Stärkung der Wirtschaftskraft und der Wissenschafts- und Forschungslandschaft.

Die aufgebauten Netzwerk- und Dialogstrukturen des

regionalen Netzwerkes Umweltbiotechnologie unter dem Dach des Regionalforums Leipzig-West Sachsen bieten die Chance, zukunftsfähige Wirtschafts- und Beschäftigungsfelder auf- und auszubauen, die Leipzig und der Region Westsachsen neben traditionellen Industriebranchen und dem Dienstleistungssektor ein neues, innovatives Gepräge geben.



Der mitteldeutsche Wirtschaftsraum entwickelt sich in einem rasanten Tempo. Dazu zählt auch der Sektor Umwelttechnik/Umweltforschung/Umwelttechnologie.

Biofilme – Mikrobiologie an Grenzflächen

Biofilme sind eine Gemeinschaft aus Bakterien, einzelligen Organismen, Pilzen oder Algen, die zusammen mit ihren extrazellulären Produkten mit einer Grenzfläche assoziiert sind, also an einer Oberfläche haften, und dort einen schleimigen Belag bilden. Wissenschaftler suchen nach Wegen, sich positive Eigenschaften von Biofilmen zu Nutze zu machen und schädliche Wirkungen zu vermeiden.

(T. R. Neu)

Jeder kennt Biofilme aus seiner unmittelbaren Umgebung, wenn er sie auch wahrscheinlich nicht bewußt wahrnimmt. Zahnbeläge sind nichts anderes als Biofilme. In jeder Blumenvase entwickeln sich Biofilme und jeder hat schon einmal Bekanntschaft mit dem schleimigen Überzug auf den Steinen in einem Bach gemacht.

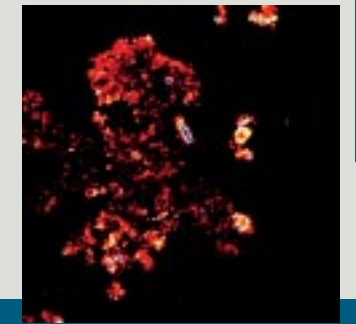
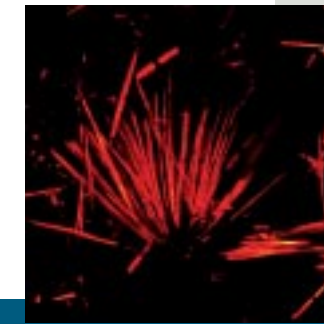
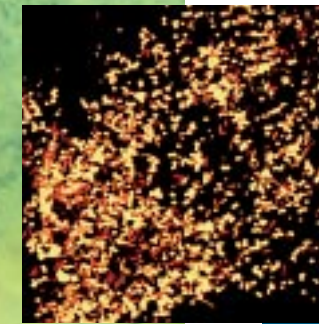
Mehr als 90% der Mikroorganismen auf der Erde leben nicht frei beweglich sondern mehr oder weniger fixiert in Biofilmsystemen. Die Biofilm-Lebensweise ist also in der Natur der Normalzustand für Mikroorganismen. Weil Biofilmsysteme auch unter extremsten Bedingungen existieren können (Temperatur, Druck, Salzgehalt, Strahlenbelastung, Schadstoffkonzentration), sind sie in alle Bereiche der Erde vorgedrungen.

Biofilme werden in natürlichen Habitaten, in technischen Systemen und vergesellschaftet mit höheren Organismen angetroffen. In der Natur sind Biofilme entscheidend an Stoffumsetzungen beteiligt, die auch zum Nutzen des Menschen eingesetzt werden können. In technischen Systemen hingegen führen Biofilme zu großen Problemen, wenn sie die Eigenschaften von Materialien verändern oder diese sogar zerstören und damit jährliche Kosten in Milliardenhöhe verursachen. Deshalb wird mit Hochdruck nach neuen Materialien gesucht bzw. an Verfahren gearbeitet, um die Biofilmentwicklung im technischen Bereich zu bekämpfen. Bisher wurde allerdings noch kein Material gefunden, welches die Entwicklung eines Biofilms verhindert oder einer Besiedlung über längere Zeit widersteht.

Auch in der Medizin stellen Biofilme ein großes Problem dar. Mikroorganismen in der Mundhöhle, zum Beispiel, verursachen Karies. In der Chirurgie führen von Biofilmen besiedelte Implantate und invasive Kanülen bzw. Katheter zu Entzündungen oder gar zu Abstoßungsreaktionen. Aber Mikroorganismen können in anderen Bereichen des menschlichen Körpers auch durchaus nützlich sein. So bieten sie auf der Haut und den Schleimhäute Schutz gegenüber pathogenen Keimen.

Die Forscher interessieren sich also für Biofilme, um zum einen deren schädliche Auswirkungen zu verhindern. Zum anderen werden sie untersucht, um ihre Einsatzmöglichkeiten für bestimmte biotechnologische Prozesse zu prüfen.

Schon lange bevor man die Zusammensetzung und Funktion von Biofilmen



Biofilme im elektronenmikroskopischen Bild

kannte, machte man sich ihre Eigenschaften bei der Abwasserbehandlung in Form von Tropfkörperanlagen zu Nutze. Inzwischen werden Biofilme gezielt für eine ganze Reihe von Verfahren benutzt. Als Beispiel seien hier einige der gängigen auf Biofilmleistungen beruhenden Prozesse erwähnt: Essigsäureherstellung, Produktion von Nutzzubehören durch immobilisierte Mikroorganismen, Erzlaugung, aerobe und anaerobe Abwasserbehandlung, Nitrifikation und Denitrifikation, Phosphatentfernung, Reinigung spezieller Industrieabwässer, Abluftreinigung.

Wegen ihrer Bedeutung in natürlichen Ökosystemen und für biotechnologische Verfahren spielen Biofilme auch eine zentrale Rolle für die Forschung im UFZ. Die Mikroflora an Grenzflächen ist deswegen so interessant für die Wissenschaftler, weil hier in großem Umfang die Bindung, der Transport und der Abbau von Nähr- und Schadstoffen stattfindet. Grenzflächen in der Natur sind z.B. in Flüssen und Seen die Wasser/Luft-Grenzfläche, die Oberflächen von Gewässpflanzen und Steinen, die Sediment/Wasser-Grenzfläche. Im Boden bildet der Komplex Bodenpartikel/Grundwasser eine wichtige Grenzfläche. ■

Biofilme in technischen Systemen führen zu Schäden in Milliardenhöhe. Andererseits gibt es viele nützliche Anwendungen.

Mikrokosmen zur Anzucht von Biofilmen in der UFZ-Sektion Gewässerforschung in Magdeburg



Die Forscher am UFZ wollen

- 1.) die Grundlagen zum Verständnis von natürlichen Biofilmsystemen schaffen,
- 2.) das Potential von Biofilmsystemen zur Entwicklung von Biofilm-Technologien bewerten und
- 3.) die Umsetzung von Biofilm-Pilotanlagen in die praktische Anwendung ermöglichen. Dazu wird die Biofilmthematik gleichzeitig in drei Sektionen und im Umweltbiotechnologischen Zentrum bearbeitet.

Folgende Themen stehen im Vordergrund:

- Sorptionsleistungen von Biofilmsystemen
- Wechselwirkung von Schadstoffen mit Biofilmsystemen
- Struktur und Funktion von Aggregaten in Oberflächengewässern im Hinblick auf die Bindung und den Transport von Schadstoffen
- Abbau von Schadstoffen in kontaminiertem Baumaterial
- Potential von reduktiven Biofilmsystemen in anaeroben Habitaten
- Rolle von Biofilmsystemen im Grundwasser bei der Eliminierung von organischen Schadstoffen
- Wasserreinigung mit Hilfe von Biofilmsystemen in Wurzelraumanlagen

Zukünftig sollen diese Ansätze in anwendungsfähige Biofilmtechnologien überführt werden mit dem Ziel, Umweltprobleme mit einem von der Natur vorgegebenen Prinzip zu lösen.

Interview mit Prof. Wolfgang Babel, Leiter der Sektion Umweltmikrobiologie am UFZ



Das neue Gebäude der Sektion Umweltmikrobiologie am UFZ bietet modernste Arbeitsmöglichkeiten.

Mikroorganismen sind unsichtbar, überall und unentbehrlich. Sie spielen eine entscheidende Rolle für das Funktionieren von Ökosystemen, sind aber auch in der Lage, die verschiedensten Schadstoffe abzubauen. Die meisten umweltbiotechnologischen Verfahren beruhen daher auf den Leistungen von Mikroorganismen.

FRAGE: Die Sektion Umweltmikrobiologie hat im Januar 1998 ein neues Gebäude innerhalb des Forschungskomplexes Permoserstraße in Leipzig bezogen. Herr Prof. Babel, ergeben sich damit neue Aspekte für die Forschungsarbeit Ihrer Sektion?

PROF. BABEL: Die Arbeiten in unserer Sektion basieren auf der Erkenntnis, daß das natürliche Selbstverteidigungspotential der Umwelt in Gestalt von Mikroorganismen bzw. Biozönosen offenkundig nicht ausreicht, um Ökosysteme gegen langfristige Verschmutzungen durch organische und anorganische Schadstoffe zu schützen. Unsere Ziele leiten sich aus



diesen Mängeln ab, unsere Aufgaben sind das Aufzeigen von Lösungswegen. Die großartigen Arbeitsbedingungen, die wir durch den Neubau erhalten haben, ermöglichen uns – stärker als zuvor – Methoden anzuwenden, die den neuesten Stand der Technik repräsentieren, aber auch bestimmte räumliche Rahmenbedingungen erfordern.

FRAGE: Was sind die Aufgabenschwerpunkte, worin sehen Sie das besondere Profil Ihrer Sektion, und was sind Ihre persönlichen Steckbriefe?

PROF. BABEL: Unser Kompetenzfeld ist die quantitative Mikrobiologie. Unsere Forschung ist darauf gerichtet, das Leistungspotential von Mikroorganismen – also Geschwindigkeit, Effizienz, Resistenz – zu erkunden und qualitativ und quantitativ zu verbessern.

Da ein spezifischer Bakterienstamm nur in dem Maße seine Leistung entfalten kann, wie die äußeren Bedingungen dieses zulassen, ist es notwendig, die Kommunikation Signal - Signalempfang - Signalumsetzung zu studieren. Dies hilft uns, die Anpassungsfähigkeit von Mikroorganismen auf molekularer Ebene zu verstehen und Maßnahmen zur Effektivierung und Kanalisierung bestehender Prozesse zu ersinnen und zu erproben. Wir analysieren mikrobielle Biozönosen in bezug auf ihre Diversität, um Leistungsträger ausfindig zu machen, um Mischkulturen zu konstruieren; wir begreifen mikrobielle Biozönosen als vielzellige Organismen, als funktionelle Einheiten und behandeln sie so.

Die modernen wie die sog. klassischen Methoden zur Identifizierung und Fähdung sind uns geläufig; je nach Fall und Fragestellung können sie von uns eingesetzt werden. Die personelle Kapazität dafür ist vergleichsweise klein. Wir wetteifern auf diesem Gebiet nicht mit anderen Institutionen. Für uns sind diese Methoden, wie überhaupt die Analyse der Mikrobiologie von Ökosystemen, Mittel zum Zweck, nicht das Ziel. Biozönoseforschung bestimmt nicht das Profil der Sektion; so gesehen, reklamieren wir sie nicht ausdrücklich als unser Kompetenzfeld.

Das Maßschneidern, das metabolic designing und genetic engineering sind heute zweifellos moderne, etablierte und erfolgversprechende Methoden zur Leistungssteigerung von Bakterien. Wir verfolgen allerdings noch andere Möglichkeiten, die bioenergetisch begründet sind – Stichworte mögen sein: Beschleunigung durch maximale Kopplung von Betriebs- und Baustoffwechsel, Minimierung der Energiegewinnung bzw. -nutzung, Konstruktion von Mischkulturen und forcierte Evolution. Chemosynthetische organische Stoffe, insbesondere Xenobiotika, sind in der Regel janusköpfig. Nicht wenige von ihnen können von Mikroorganismen verstoffwechselt und als Kohlenstoff- und Energiequelle für Wachstum und Vermehrung genutzt werden. Ab einer bestimm-

ten Konzentration wirken sie jedoch auch für diese Mikroorganismen toxisch. Damit stellt sich die Frage nach der Belastbarkeit und der Belastung dieser Spezialisten bereits bei unterkritischen Konzentrationen, nach den zellulären bzw. molekularen Targets von Toxizität, nach den Mechanismen der Resistenz und Möglichkeiten zur Stabilisierung. Auch Resistenz und Stabilität sind janus-



Schlüsselübergabe für den Neubau der Umweltmikrobiologie des UFZ-Leipzig durch Bundesumweltministerin Angela Merkel an Prof. Babel im Februar 1998.

köpfig. Denn oft sehen sich Mikroorganismen in Ökosystemen schlagartig wechselnden Bedingungen und damit auch Engpaß-Situationen gegenüber. Wir dürfen also nicht nur fragen, wie sie Überfluß bis toxische Situationen bewältigen, sondern auch, wie sie Mangel- und Hungersituationen parieren. Wir lernen auf diese Weise Überlebensstrategien kennen, wir erfahren etwas über die metabolische Wandelbarkeit und über die natürliche Lernfähigkeit. Schmale Kost wird eher dominieren. Gelingt es trotz schmaler Kost, sprich kleiner Konzentration, Mikroorganismen zu hohen Geschwindigkeiten zu verleiten? Antworten auf diese Fragen sind wichtig, da das Dekontaminationspotential aktiv gestaltet werden soll. Sie helfen außerdem zu klären, ob und welche Organismen bzw. ob Biozönosen zur Diagnose des Zustandes von Ökosystemen geeignet sind.

FRAGE: Ein Projekt Ihrer Sektion beschäftigt sich mit dem Abbau von Chlororganika in belasteten Böden und Deponien durch natürlich vorkommende Bakterien. Die Abbaubarkeit von Rückständen der Lindan-Produktion wurde bereits nachgewiesen. Gibt es Konzepte zur praktischen Umsetzung der Laborergebnisse für die Sanierung solcher Altlasten?

PROF. BABEL: Wir suchen, wie bereits ausgeführt, nach Strategien, um die

mikrobielle Entgiftung von Problemstoffen bzw. die Dekontamination ganzer Ökosysteme zu beschleunigen. Solche Problemstoffe sind auch chlororganische Verbindungen, darunter Hexachlorcyclohexane (HCH) bzw. Lindan. Wir haben mit HCHs belastete Böden und Wässer quasi vor der Haustür, konkret in der Region Bitterfeld. Im Rahmen des UFZ-Projektes SAFIRA und eines übergeordneten HGF-Strategiefonds-Projektes besteht hier übrigens eine wichtige Kooperation mit der GBF-Gesellschaft für Biotechnologische Forschung in Braunschweig.

Es ist seit langem bekannt, daß Mikroorganismen in der Lage sind, HCHs zu metabolisieren, jedoch mit zu geringer Geschwindigkeit. Da die Geschwindigkeit eine Funktion der Substrat-, in diesem Fall Problemstoff-Konzentration ist, ist die freie Konzentration, sprich Bioverfügbarkeit, ein wesentlicher Faktor. Die Frage stellt sich, ob es trotz kleiner Konzentrationen möglich ist, die Prozesse zu beschleunigen. Im Labormaßstab bietet sich das sog. Auxiliarsubstratkonzept an. Welche Substrate Hilfestellung leisten können, auf welchem Mechanismus die Hilfestellung basiert und wie die Aktivierung des produktiven Abbaus stattfindet, ist weiter zu untersuchen. Dabei gilt es, die Kenntnisse zu mehren, aber auch zu berücksichtigen, daß Auxiliar- bzw. Opfersubstrate nach Verfügbarkeit, Preis, Handhabbarkeit, nach ökologischer Akzeptanz und Umweltverträglichkeit ausgewählt werden. Wissenschaftlich fundierte Empfehlungen können wir nach so kurzer Zeit der Bearbeitung noch nicht geben.

FRAGE: In einem weiteren Projekt wird die Eignung von Bakterien zur Reinigung von schwefelsauren, metallbelasteten Wässern geprüft. Wenn derartige Verfahren sich als effektiv erweisen, ist dann auch eine ökonomisch sinnvolle Rückgewinnung der Metalle denkbar?



Zuchtschale mit Bakterienkultur

PROF. BABEL: Zunächst befassen wir uns damit herauszufinden, mit welcher Effektivität solche Prozesse theoretisch möglich sind. Parameter, die die Ökonomie bestimmen, sind u.a. die Verbrauchskoeffizienten und die Raum-Zeit-Ausbeute. Wir brauchen diese Kennziffern als Orientierung bei experimentellen Arbeiten zur Optimierung dieser Prozesse. Zudem bereiten wir uns darauf vor, unsere Laborergebnisse im halbtechnischen Maßstab zu überprüfen. Schließlich sollen unsere Arbeiten zu einer Technologie, mindestens zu einem Technologievorschlag führen. Innerhalb dieses Projektes, das wir gemeinsam mit einem Partner aus der Industrie, der Firma C&E Consulting und Engineering Chemnitz, bearbeiten, wollen wir natürlich auch die Metallbelastung reduzieren, entweder durch Ausfällen als Sulfide oder durch Sammeln. Gleichgültig, ob die Metalle auf der Oberfläche oder im Inneren des Katalysators, sprich der Bakterienzelle, fixiert werden, in jedem Fall stellt sich die Frage nach der



mikrobielles Arbeiten

Verwendung solcher metallbeladener Biomasse und der Gewinnung der Metalle. Sie wird kaum von Mikrobiologen beantwortet werden können.

FRAGE: Die Gentechnologie wird seit vielen Jahren kontrovers diskutiert. Gerade in Verbindung mit der Entwicklung mikrobieller Vorsorge- und Sanierungsverfahren scheinen gentechnische Methoden immer unverzichtbarer zu sein. Welche Rolle spielen gentechnisch modifizierte Mikroorganismen in den aktuellen Forschungsarbeiten Ihrer Sektion, Stichwort genotypische Optimierung?

PROF. BABEL: Gleich vorweg, Gentechnik ist eine Methode, eine Technik, auf die in der Biotechnologie und Medizin, in der Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie nicht mehr verzichtet werden darf.

Sie gilt als überaus innovativ, sie ist der Schlüssel für die Optimierung von Organismen, insbesondere Mikroorganismen, für Leistungssteigerungen und für die Konstruktion neuer Leistungen. Mit Hilfe der Gentechnik ist es möglich geworden, erstens praktizierte biotechnische Produktionen effektiver zu machen, und zweitens in Mikroorganismen Informationen einzuführen und zu etablieren, um sie als Bioreaktoren für Synthesen in den Fermentoren zu nutzen. Die Gentechnik eröffnet auch Möglichkeiten zur Forderung nach, zur Identifikation und Detektion von Mikroorganismen bzw. von Chemikalien im weitesten Sinne. Ihre Nützlichkeit ist längst bewiesen.

„Die Nützlichkeit der Gentechnik ist längst bewiesen“

Bakterienspezies sind mehr oder minder spezialisiert. Ein Maß für die Spezialisierung ist der Quotient aus Wachstumsgeschwindigkeit und Halbsättigungskonstante. Gemessen daran sind Spezies oder sogar autochthone Biozönosen zu unspezifisch, weshalb Xenobiotika akkumulieren können; hier ist die Gentechnik gefordert. Gentechniker vermögen organismenbedingte Limitationen aufzuheben und Spezialisten zu Generalisten zu qualifizieren oder wirkliche, fremdstoffliebende Spezialisten zu konstruieren. Inwiefern diese modifizierten Organismen in offenen, ungeschützten Systemen bestehen und stabil sind, ist verstärkt zu untersuchen, ebenso, welches die Konsequenzen und möglichen Risiken sind, die sich aus ihrer Einbringung in Ökosysteme für diese Systeme ergeben.

Wir bearbeiten zwei Projekte, die dem Gentechnikgesetz unterliegen. Das eine gehört in die Kategorie Prophylaxe. Hier geht es darum, Hefen für die Synthese von Polyhydroxyalkansäuren, konkret Poly- β -hydroxybuttersäure, aufzubereiten. Das zweite Projekt leitet sich aus unseren Arbeiten zur bakteriellen Entgiftung von Herbiziden bzw. Dekontamination von Bauschutt ab. In diesem Falle konstruieren wir auch Mischkulturen, die wir grundsätzlich als Alternative zu gentechnisch modifizierten Monokulturen sehen. ■

Mikrobielle Sanierung von sauren Bergwerkswässern

Aus Halden und Stollen, den Überresten des Uranerzbergbaus im Ronneburger Revier stammen Bergwerkswässer, die sauer sind und hohe Konzentrationen an Sulfat und radioaktiven Metallen aufweisen. Wissenschaftler des UFZ prüfen, inwieweit Bakterien zur Dekontamination dieser Wässer eingesetzt werden können.

UFZ B 378, das ist die Bezeichnung für einen sulfatreduzierenden Bakterienstamm, der von UFZ-Wissenschaftlern aus einem Abwasserbecken isoliert wurde. Bemerkenswert ist, daß dieser Stamm sich in saurem Wasser wohlfühlt, sich mit Methanol als Energie- und Kohlenstoffquelle begnügt und daß er unempfindlich gegenüber hohen Metallkonzentrationen ist. Mit diesen

außergewöhnlichen Eigenschaften hat B 378 gute Aussichten, ein Pionier der bakteriellen Dekontamination von sauren Bergwerkswässern zu werden.

Die Region Schmöln-Ronneburgera in Thüringen ist mit den Hinterlassenschaften der Uranerzförderung hochgradig belastet. Nach dem 2. Weltkrieg stieg das Gebiet zum wichtigsten Uran-Lieferanten für die UdSSR auf.

Ein Großteil des von der Wismut gewonnenen Urans, nämlich 114.000 Tonnen, stammten aus dem Ronneburger Revier. Seit 1991 beschäftigt sich die Wismut GmbH hier ausschließlich mit der Aufgabe, Bergwerke, Gewässer und Halden zu sanieren. Betroffen waren zu diesem Zeitpunkt 1043 Kilometer offene Stollen, 17 Halden, 3 Absetzbecken und zahlreiche kontaminierte Anlagen und Gebäude. ➤

saure Wässer im Wismutstollen

Die Sickerwässer aus den Halden weisen teilweise einen pH-Wert von 1-2 und hohe Konzentrationen an radioaktiven Metallen sowie 30-35 Gramm pro Liter Sulfat auf. Über die Flüsse Pleiße und Weiße Elster wurden und werden die Schadstoffe auch in andere Regionen ver-

Gruppe von Dr. Barbara C. Hard durchgeführt hat, zeigen, daß man auf dem richtigen Weg ist. Die Bakterien metabolisieren Sulfat zu Schwefelwasserstoff oder Sulfid. Im Zuge der Sulfatreduktion steigt der pH-Wert und neben Eisen fällt Uran als Metallsulfid aus. Das gefällte

Material kann abgeschieden und deponiert oder wiederverwertet werden. Der nächste Projektschritt wird der Einsatz von UFZ B 378 zur Behandlung größerer Wasservolumina sein. Als Kooperationspartner tritt die Firma C + E Consulting und Engineering Chemnitz auf, die bereits Erfahrungen mit dem Bau von Anlagen zur Entsauerung von

Bergwerkswässern gesammelt hat. Parallel dazu läuft die Suche nach Bakterien, die auf andere Weise zur Dekontamination der Bergwerkswässer beitragen. 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.

Noch eine andere 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

UFZ B 378 – das ist die Bezeichnung für einen Bakterienstamm, der sich in saurem Wasser wohlfühlt, sich mit Methanol als Energie- und Kohlenstoffquelle begnügt und der unempfindlich gegenüber hohen Metallkonzentrationen ist.

Die Wässer aus dem Uranerzbergbau weisen einen niedrigen pH-Wert, größere Mengen an Uran, Radium, Radon sowie Sulfat auf.

Absetzbecken für Bergwerkswässer



Abraumhalde

frachtet. So finden sich im Elsterflutbecken und im Altwasserbereich der Luppe im Stadtgebiet Leipzig Flußsedimente mit erhöhter Radioaktivität, die u.a. auf den Uranerzbergbau vor 1990 zurückzuführen ist.

Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) fördert ein Projekt, in dem Wissenschaftler der Sektion Umweltmikrobiologie testen, ob Bakterienstämme wie UFZ B 378 eingesetzt werden können, um Sulfat und radioaktive Metalle aus saurem Bergwerkswasser zu entfernen. Laborversuche, die die

Uran(VI)konzentration in einer Lösung innerhalb von 24 Stunden zu fast 100%. Allerdings benötigen diese Bakterien einen neutralen pH-Wert, um optimal arbeiten zu können.

In der Praxis wird man wahrscheinlich verschiedene Bakterienstämme gemeinsam einsetzen, um die Bergwerkswässer aufzubereiten. In der Zukunft verspricht dieses sanfte Sanierungsverfahren eine kostengünstige und einfache Alternative zu den gängigen Techniken Umkehrosmose, Ionenaustausch oder Gipsausfällung zu sein. ■



Internet-Angebot

Die DSMZ-Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH mit Sitz in Braunschweig wurde 1969 gegründet und ist ein unabhängiges Blaue Liste-Institut. Sie widmet sich dem Sammeln, der Charakterisierung und Identifizierung, der Aufbewahrung und Bereitstellung von Mikroorganismen und Zellkulturen. Bakterienstämme, wie der vom UFZ isolierte B 378, können von der DSMZ archiviert werden. Derzeit verfügt sie über 8200 Bakterienstämme, 2300 Pilze, 500 Hefen, 700 Pflanzen-Viren, 1200 Pflanzen-Zellkulturen und 310 menschliche und tierische Zelllinien. Infos:

<http://www.gbf.de/DSMZ>

Das Gegenstück zur DSMZ in den USA ist die American Type Culture Collection (ATCC), die auch weltweit operiert. Infos:

<http://www.atcc.org>

PHB-„Plastik“ aus der Bakterienzelle

Mit Produkten und Synthesewegen nach dem Vorbild der Natur leistet Biotechnologie einen Beitrag zur Umweltvorsorge im Sinne des Sustainable Development. Beispiel für einen Kunststoffersatz mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten ist die mikrobiell erzeugte und biologisch abbaubare Polyhydroxybuttersäure. Ihre Herstellung war bislang nicht ausreichend effizient, damit sie als Massenprodukt mit konventionellen Kunststoffen konkurrieren konnte.

Materialien, die von Mikroorganismen synthetisiert und auch wieder abgebaut werden können, heißen Biopolymere. Ihre Vorteile: Sie sind biokompatibel, werden also nicht als körperfremde Substanzen angesehen. Gebrauchte Produkte können kompostiert werden und zerfallen rückstandsfrei. Die Reststoffe sind letztendlich Wasser und Kohlendioxid. Ein Beispiel für ein solches Biopolymer ist die Polyhydroxybuttersäure, kurz PHB. Sie kann zu Folien, Membranen, Fasern und Preßkörpern mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten verarbeitet werden.

Als Musterbeispiel für die Entwicklung eines biotechnischen Produktionsverfahrens am UFZ dient die mikrobielle Gluconsäure-Synthese, die gemeinsam mit der Wiener Firma Vogelbusch vermarktet wird. Von Pilzen oder Bakterien produzierte Gluconsäure kommt u.a. als Waschmittelzusatz, als Industriereiniger, als Korrosionsschutz, in Flüssigfarbstoffen und für therapeutische Zwecke zum Einsatz. Im Gegensatz dazu wird die Vermarktbarkeit von PHB bislang dadurch eingeschränkt, daß die bakterielle Produktion gegenüber chemisch synthetisierten Kunststoffen noch zu kostspielig ist. Dies gilt zumindest für Massenprodukte. Ein Kilogramm mikrobiell erzeugter PHB kostet zur Zeit mindestens 13,50 DM und ist damit 5-7mal teurer als konventionelle Massenkunststoffe wie Polyethylen oder Polypropylen. Shampooflaschen oder Ölkannister aus PHB sind daher im Supermarktregal nach wie vor die Ausnahme. Anders sieht es bei speziellen Anwendungen in der Medizin aus, wo für Implantate, Nägel, Naht- und Verbandsmaterial oder Arzneikapseln aus biogener PHB eine Marktnische besteht. Hier sind die spezifischen Eigenschaften, nämlich die Biokompatibilität und nicht

die Kosten das entscheidende Kriterium.

Die Gruppe von Dr. Karin Wendlandt in der UFZ-Sektion Sanierungsforschung hat einen Weg gefunden, die PHB-Produktion wesentlich energie- und rohstoffsparender zu machen – also billiger. Hier das Verfahren: Biogas aus organischen Abfällen oder nachwachsenden Rohstoffen, das 60-80% Methan enthält, stellt das Ausgangsprodukt dar. Bakterien verwandeln das Methan in PHB.



Bakterium mit PHB-Granula

Elektronenmikroskopische Aufnahme



Bakterienproduktion im Fermentor

Im Gegensatz zu anderen Verfahren sind sterile Arbeitsbedingungen hierbei nicht erforderlich, was erheblich Kosten spart. Die Produktionszeit liegt bei nur 24 Stunden, die Produktivität bei ca. 2 g PHB pro Liter und Stunde. Das Abwasser, die Restbiomasse und die Abwärme werden

zurück in die Biogasanlage geleitet. Die Fermentationsabgase liefern Wärme bzw. elektrische Energie. Die Kreislaufführung und die Integration von Biogaserzeugung und -verwertung für Stoff- und Energieproduktion macht den Prozeß hocheffizient. Dabei lassen sich die Produkteigenschaften nach Bedarf durch Steuerung der Milieubedingungen für die Bakterien variieren.

In Kooperation mit einem Unternehmen, das Verpackungsmaterialien herstellt, prüfen Dr. Wendlandt und ihre Kollegen derzeit, ob die so produzierte PHB zur Beschichtung von Einweggeschirr aus Stärke geeignet ist. Sowohl die PHB als auch die Stärke verrotten in der Natur rückstandslos – ein wichtiger Beitrag zur Müllvermeidung. Viele andere Verwendungen sind für die im neuen Verfahren hergestellte PHB denkbar.

Neben verschiedenen Bakterienstämmen sind auch genetisch veränderte Hefen und Pflanzen in der Lage, Polyhydroxyfettsäuren zu synthetisieren. Mitarbeiter der UFZ-Sektion Umweltmikrobiologie setzen auf Hefen, um PHB kostengünstiger zu produzieren und zu gewinnen. Sie haben gegenüber Bakterien einige Vorteile, u.a., daß sie nicht auf eine bestimmte Kohlenstoffquelle angewiesen sind, sondern z.B. auch nachwachsende Rohstoffe direkt für die PHB-Synthese nutzen können. Prof. Wolfgang Babel, Leiter der Sektion, betrachtet es als eine Verpflichtung gegenüber Natur- und Umweltschutz, recyclebare Biopolymere möglichst rasch konkurrenzfähig zu machen: „Maßgeschneiderte Polyester aus einem billigen Substrat ökonomisch herzustellen, ist einerseits eine Herausforderung an die mikrobielle Physiologie und Genetik und bedeutet andererseits, zielstrebig in Forschung und Entwicklung zu investieren.“ ■

*Buttersäure

H₃C-CH₂-CH₂-COOH

Mikroorganismen und Radiowellen Im Einsatz gegen Bodenkontaminationen

Das Erdreich unter Chemieanlagen, Tanklagern, Bahn- und Militärgelände und die Sedimente vieler Flüsse haben es in sich. Vielfach ruhen hier giftige Altlasten, die früher oder später ins Grundwasser gelangen oder durch Tiere und Pflanzen in die Nahrung des Menschen. Besonders Schwermetalle und organische Chlorverbindungen schaden aber auch dem Boden selbst, indem Bodentiere und Mikroorganismen geschädigt werden, die an Abbauprozessen und der Bodenbildung beteiligt sind. Derartig belastete Böden verlieren ihre Funktion als Puffer- und Filtersysteme.

Das Problem bei der Dekontamination belasteter Böden besteht in den hohen Restkonzentrationen an Schadstoffen, die fest an die Bodenpartikel gebunden sind. Bislang wurden überwiegend aufwendige, d.h., teure technische Verfahren eingesetzt, oder es wurde belasteter Boden einfach deponiert. Was aber, wenn ein verunreinigter Boden unter einer Betondecke versiegelt ist, so daß er gar nicht zugänglich ist? Was, wenn der Sanierungsaufwand aufgrund der Ausdehnung eines Schadensfalls zu hoch, d.h., nicht finanzierbar ist? Und was, wenn in Zukunft nicht mehr genügend Deponieraum zur Verfügung steht bzw. gesetzliche Auflagen die Deponierung von bestimmten Schadstoffen nicht mehr zulassen?

Besonders in solchen Fällen zeigen sich die Vorteile sanfter Sanierungsverfahren, die das Selbstreinigungspotential der Natur nutzen. Grundlegendes Prinzip der biologischen Bodensanierung ist fast stets, daß Bakterien, die bereits vor Ort vorhanden und zur Reinigungsleistung fähig sind, dazu gebracht werden, schneller und intensiver die organischen Schadstoffe abzubauen oder Metalle aus dem Boden herauszulösen. Häufig reicht die Zugabe

in Sachsens Flüssen und Talsperren lagern 18 Mio. Tonnen belasteter Sedimente. Ein Drittel davon ist dringend sanierungsbedürftig. Hohe Entsorgungskosten, begrenzter Depo- nieraum und weiterbestehende Gefährdungspotentiale zwingen zur Suche nach neuen Wegen der Altlastensanierung.

einiger Nährstoffe und/oder die Schaffung günstiger Milieubedingungen aus, um die Leistung der Mikroorganismen so zu steigern, daß der Prozeß mit High-Tech-Verfahren konkurrieren kann.

Dr. Heinz Seidel, Leiter der Arbeitsgruppe „Biologische Sanierungsverfahren“ in der UFZ-Sektion Sanierungsforschung sagt über diese Verfahren: „Gegenüber herkömmlichen High-Tech-Verfahren sparen sie Energie und Kosten und sind naturverträglicher. Andererseits muß in Kauf genommen werden, daß sie in manchen Fällen zeitaufwendiger sind und weniger gründlich. Um die nachteiligen Faktoren zu minimieren, suchen wir nach Verbesserungsmöglichkeiten. Ziel ist es, belastete Böden zumindest soweit zu reinigen, daß sie gesetzliche Standards erfüllen



Umweltsteuer

Im Oktober 1996 wurde in England die sogenannte **landfill tax**, die erste einer Reihe von Umweltsteuern, eingesetzt. Diese Besteuerung trägt der unkalkulierbaren Folgelasten Rechnung und erhöht die Kosten für die Deponierung derart, daß biotechnologische Alternativen auch wirtschaftlich lukrativ werden; das know how zur umweltschonenden *in situ*-Sanierung kontaminierter Böden ist längst vorhanden. Ein Beispiel für umsichtige Umweltpolitik, das hoffentlich Schule macht.

und z.B. in der Landschaftsrekultivierung eingesetzt werden können. Die biologische Bodensanierung im Perkolationsystem wurde von uns gemeinsam mit dem Industriebetrieb Bauer und Mourik Umwelttechnik entwickelt. Durch den Umbau einer nicht mehr genutzten landwirtschaftlichen Silageanlage entstand die Bodenreinigungsanlage Hirschfeld, die mit dem Verfahren mittlerweile im Routinebetrieb arbeitet. Andere Techniken werden von unserer Sektion derzeit im Pilotmaßstab erprobt, so z.B. das Bioleaching von Schwermetallen aus Sedimenten der Weißen Elster südlich von Leipzig oder die Reinigung von Bohrspülschlämmen in Bioreaktoren. Parallel dazu untersuchen wir auch, inwieweit Pflanzen eingesetzt werden können, um Schadstoffe aus Böden und Abwässern zu entfernen.“

Wie funktionieren Verfahren zur biologischen Bodensanierung im Detail? Um Erdreich zu reinigen, das mit Mineralölen und Aromaten (PAKs) verschmutzt ist, werden z.B. Perkolationsysteme eingesetzt. Zur Behandlung des Bodens eignen sich Betonbecken mit Drainage, die sich möglichst in der Nähe des Schadensfalles befinden sollten. Mit Nährstoffen versetztes Wasser wird über dem Boden verregnet und nach der Bodenpassage wieder aufgefangen, so daß ein Kreislauf entsteht; gleichzeitig wird der Boden belüftet. Diese Technik erlaubt es, die Milieubedingungen im Boden – also Sauerstoff-, Nährstoff- und Feuchtigkeitsversorgung sowie pH-Wert und Temperatur – so zu kontrollieren, daß jederzeit optimale Bedingungen für die Mikroorganismen herrschen. Nach vier Monaten sank der Mineralölgehalt z.B. in einem besonders schwer zu behandelnden Boden um über 80%. Mittlerweile wurde das Verfahren vom UFZ zum Patent angemeldet.



Sedimentablagerungen in der Weißen Elster

Auswaschung von Schwermetallen im Bioleaching-Verfahren.



Ein spezielles Problem stellen Bohrspülschlämme dar, wie sie bei der Erdölförderung anfallen. Die Schlämme bestehen aus sehr feinen Partikeln, wodurch die Ölrückstände besonders schwer abzubauen sind. In diesem Fall erfolgt die Behandlung in speziellen Bioreaktoren, die ein Volumen bis in den Kubikmetermaßstab haben können. Durch Optimierung der Kultivierungsbedingungen – u.a. durch Nährstoff- und Sauerstoffzufuhr – brachten UFZ-Wissenschaftler die Bakterienvölkerpopulationen, die bereits in den Schlämmen vorhanden waren, dazu, ihre Abbauleistung wesentlich zu steigern. Bei Versuchen im Pilotmaßstab soll nun die Behandlungszeit auf 1-2 Tage verkürzt werden.

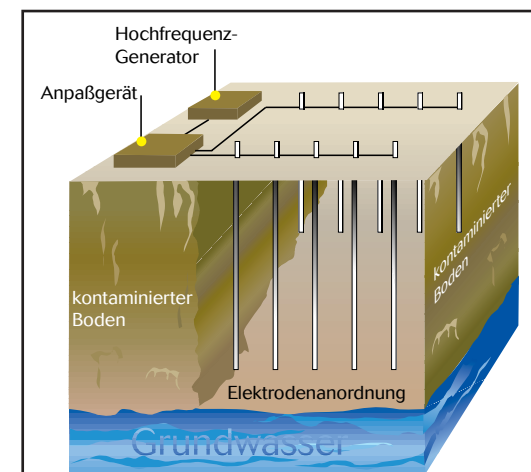
Auch Radiowellen können zur biologischen Bodensanierung eingesetzt werden. Über Elektroden, die in die Erde gesteckt werden, läßt sich der Boden so erwärmen, daß die Bakterien ihre Abbauleistung verdoppeln. Meistens sind Temperaturen zwischen 30 und 35°C optimal; für andere Prozesse können aber auch über 250°C erzeugt werden. Dabei ist ein Wirkungsgrad von 95% erreichbar, die Energie wird also sehr effektiv genutzt. Laborversuche haben gezeigt, daß die Mikroorganismen durch das elektrische Feld nicht beeinträchtigt werden. Der Vorteil der Bodener-

wärmung mit Radiowellen liegt darin, daß der Boden nicht ausgehoben, transportiert und wieder verfüllt werden muß.

Schwermetalle wie Quecksilber und Blei lassen sich nicht abbauen, also in unschädliche Komponenten zerlegen.

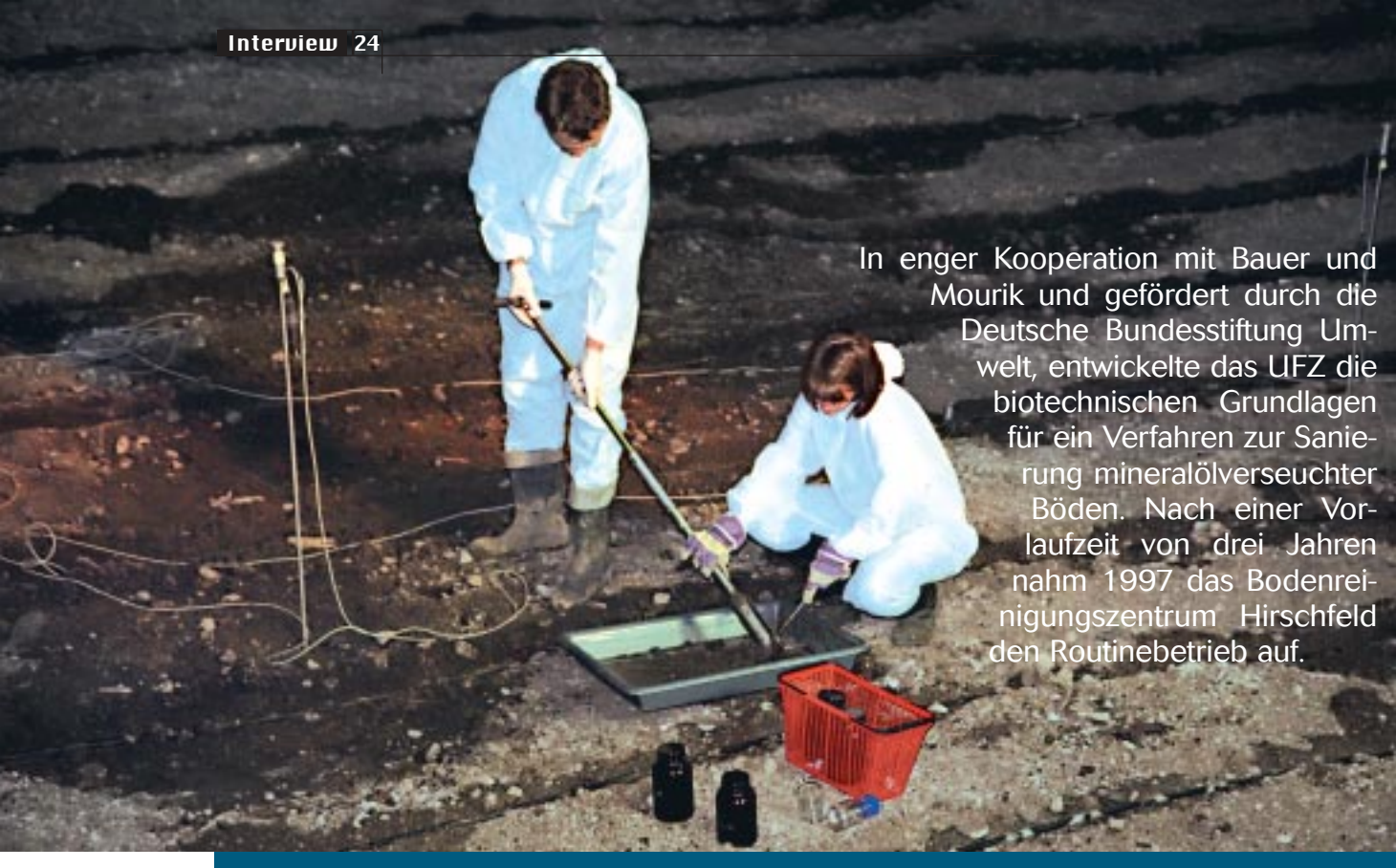
sich die gelösten Schwermetalle an. Sie werden dann als Konzentrat aus dem Wasser abgefangen und können unter günstigen Umständen wiederverwertet werden. Nach einer viermonatigen Behandlung sank der Gehalt von Zink, Cadmium, Nickel, Kobalt und Mangan in Sedimenten der Weißen Elster um bis zu 80%. Gegenüber einer direkten Auswaschung mit Säuren bietet das Bioleaching die Vorteile, daß die Einsatzprodukte schonend behandelt und weniger Hilfsstoffe benötigt werden sowie weniger Abfallstoffe anfallen. Die nur noch schwach belasteten Sedimente können z.B. als Bodenbestandteil bei der Flächenrekultivierung eingesetzt werden. Das Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Biologische, sanfte Sanierungsverfahren haben Zukunft. Sie sind immer häufiger die einzig realisierbare Alternative zu High Tech-Verfahren, auch wenn es nach wie vor Fälle gibt, in denen nur die Verbrennung oder Deponierung belasteter Böden bleibt. Daneben ergeben sich auch Sanierungsaufgaben, bei denen sich optimale Ergebnisse erst durch eine Kombination von physikalisch-chemischen und biologischen Techniken erzielen lassen.



Grundmodul zur Radiofrequenz (RF)-Bodenerwärmung

Dennoch können Mikroorganismen auch hier helfen, mit solchen Schadstoffen kontaminierte Böden zu reinigen. Beim Bioleaching macht man sich zunutze, daß Bakterien, die anorganische Substanzen als Energiequelle verwerten, Säuren bilden, z.B. Schwefelsäure aus Sulfiden bzw. Schwefel. Die Säuren wiederum lösen Schwermetalle, die dann aus dem Boden ausgewaschen werden können. Durch Kreislaufführung des Wassers reichern



In enger Kooperation mit Bauer und Mourik und gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, entwickelte das UFZ die biotechnischen Grundlagen für ein Verfahren zur Sanierung mineralölverseuchter Böden. Nach einer Vorlaufzeit von drei Jahren nahm 1997 das Bodenreinigungszentrum Hirschfeld den Routinebetrieb auf.

Firma Bauer und Mourik Umwelttechnik GmbH

Interview mit Herrn Dr. Stefan Reinhard, Betriebsleiter des Bodenreinigungszentrums Hirschfeld

FRAGE: Herr Dr. Reinhard, wie kam die Kooperation mit dem UFZ zustande und welche Bilanz ziehen Sie heute aus dem Projekt?

DR. REINHARD: Die Grundidee war damals, eine Silageanlage so umzubauen, daß sie zur Behandlung kontaminierter Böden geeignet ist. Nach den Umbauarbeiten sollten die mit Boden gefüllten Silagebecken als Feststoffreaktoren dienen und der Sickerwasserbehälter als biologischer Wasserreaktor. Die zur Belüftung der Bodenmieten genutzte Luft wird nach der Passage durch den Boden zur Belüftung des Wasserreaktors verwendet. Der Ablauf des Wasserreaktors wird zur Beregnung der Bodenmieten genutzt und im Kreislauf wieder dem Wasserreaktor zugeführt. Durch diese Belüftung und Befeuchtung wird die biologische Akti-

vität im Boden wesentlich erhöht. In der Prozeßsteuerung können wir dem Wasser noch Nährsalze zudosieren und es aufheizen. Mikroorganismen, die in den Bioreaktor gelangen, können sich vermehren und auch dort ausgewaschene Schadstoffe abbauen. Soweit die Theorie intensiven Schadstoffabbaus in unserer Anlage. Die Aufgabenverteilung sah vor, daß Bauer und Mourik die baulichen Voraussetzungen schafft und das UFZ die verfahrenstechnischen Optimierungen erarbeitet. Heute ist es so, daß die beschriebenen Reaktoren im Routinebetrieb laufen. Wir haben wertvolle Erkenntnisse über den Schadstoffabbau erlangt, die Verfahrenstechnik angepaßt und wissen, welche Böden wir mit welchen Maßnahmen behandeln. Allerdings haben sich die hohen Erwartungen an die erhoffte

Beschleunigung der Bodenreinigung nur zum Teil erfüllt. In den Versuchen mit dem UFZ wurde ein periodischer Wechsel des Sauerstoffregimes eingesetzt, der die Mikroorganismen zu verschiedenen Abbauebenen anregen sollte. Es hat sich gezeigt, daß sauerstofffreie Phasen zwar potentiell die Stoffwechselleistung der Mikroorganismen erhöhen, aber die Abbaugeschwindigkeit im Boden im wesentlichen durch die Transportvorgänge begrenzt wird.

Meine Bilanz aus der Zusammenarbeit mit dem UFZ ist sehr positiv. Ohne die wissenschaftliche Begleitung können derartig umfangreiche Versuche nicht sinnvoll durchgeführt werden. Und im Gegenzug hat die Forschung bei uns Gelegenheit, Erkenntnisse aus Labor- und Technikumsanlagen im Praxismaßstab zu überprüfen und zu optimieren.

FRAGE: Wie gründlich arbeiten die Mikroorganismen, d.h., für welche Zwecke können die Böden nach dem Schadstoffabbau eingesetzt werden?

DR. REINHARD: Es gibt zum Glück eine ganze Reihe von Schadstoffen, die mikrobiologisch mit finanziell vertretbarem Aufwand abgebaut werden können. Dazu gehören Schadstoffe aus der Olefinchemie, aus der Braunkohlevergasung und vor allem auch aus der Mineralölverarbei-

tung und -lagerung. Wenn im Boden flüchtige Verbindungen wie z.B. BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol) freigesetzt werden, werden sie in der Bodenluftabsaugung in einem Aktivkohlefilter zurückgehalten. Unsere Stärke liegt in der Verwertung von belastetem Bodenmaterial, d.h., der gereinigte Boden kann wieder – meistens unter Einschränkung der Nutzung – eingebaut werden. So wird gereinigter Boden zur Rekultivierung und zur Deponieabdeckung eingesetzt und gereinigter Bauschutt kann als Straßenunterbau verwendet werden.

FRAGE: Woran liegt es, daß neue Technologien, wie das vom UFZ und Ihnen gemeinsam entwickelte Perkolationsverfahren noch nicht mehr Anwendung finden? Bedarf an Bodensanierung ist doch gerade in den neuen Bundesländern reichlich vorhanden.

DR. REINHARD: Derzeit konkurrieren wir bei der Verwertung von belasteten Böden mit Deponien, die ähnlich niedrige Preise anbieten wie wir. Deshalb müssen wir unsere Technik in Richtung auf niedrige Kosten optimieren, damit wir wirtschaftlich arbeiten können. Zur Erreichung unseres Sanierungszieles setzen wir jeweils die kostengünstigste Technik ein. Damit bleibt das Verfahren mit Feststoffreaktor und Wasserreaktor solchen Böden vorbehalten, die eine intensivere Behandlung brauchen, wie z.B. solche mit einer PAK-Belastung (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe). Unser Bestreben ist es, das Spektrum an Schadstoffen, die wir abbauen können, stetig zu erweitern. Daher hat der Reaktor für uns auch immer noch die Bedeutung einer Versuchsanlage und wir führen dort alle Versuche durch.

FRAGE: Es wurden zwei neue Projekte beantragt, in denen die Kooperation zwischen Ihrer Firma und dem UFZ fortgeführt werden soll. Können Sie kurz schildern, worum es dabei gehen wird?

DR. REINHARD: Ein besonderes Problem der biologischen Behandlung stellen Materialien dar, die mit Schwermetallen belastet sind, da diese nicht abgebaut werden können. Allerdings können



die ehemalige Anlage

Das Bodenreinigungszentrum Hirschfeld entstand auf den Silagebecken eines ehemaligen landwirtschaftlichen Betriebes.



die Anlage im Modell



Außenansicht



Innenbereich der Anlage

„Ohne die wissenschaftliche Begleitung des UFZ könnten derartig umfangreiche Versuche nicht durchgeführt werden.“

Schwermetalle, die häufig in Sedimenten abgelagert sind, mit Hilfe von Mikroorganismen aus dem Boden ausgelaugt werden (Bioleaching) und aus der flüssigen Phase ausgefällt werden. Dadurch verringert sich die Menge an Material zur Deponierung erheblich.

Gemeinsam mit dem UFZ ist der Bau einer Perkolationsanlage zum Bioleaching und zur Fällung ausgewaschener Schwermetalle geplant.

Kurz vor dem Abschluß steht ein Forschungsvorhaben zur Holzkompostierung. Hier wurde mit Holzschutzmitteln behandeltes Holz zerkleinert und einer Mietenkompostierung unterzogen. In verschiedenen Behandlungen wurde das Holz mit Zuschlagstoffen vermischt, um den mikrobiellen Abbau zu beschleunigen. Zur Belüftung wurden die Mieten mit Lanzen belüftet. Auch aus diesem Vorhaben sind vielversprechende Ergebnisse zu erwarten.

Weiterhin steht eine Zusammenarbeit in der Antragsphase, bei der es um die thermische Behandlung belasteter Böden geht. Hier soll Bodenmaterial mit Hilfe von Radiowellen auf ca. 30°C erwärmt werden. Dadurch wird der mikrobielle Abbau gefördert und vor allem könnte auch in der kalten Jahreszeit ein kontinuierlicher Betrieb gefahren werden.

FRAGE: Wo sehen und wie bewerten Sie die Vor- und Nachteile sanfter Sanierungsverfahren allgemein?

DR. REINHARD: Optimal wäre sicherlich eine *in situ*-Sanierung aller Schadstoffbelastungen. Oftmals stehen dem jedoch Bauvorhaben, ungünstige physikalische Eigenschaften des Bodens oder Gefährdungen der Umwelt, die ein schnelles Handeln erfordern, entgegen. In solchen Fällen bietet sich häufig die offsite-Sanierung mit biologischen Verfahren an, da der Boden als solcher durch seine eigene Mikroflora saniert wird. Die Vorteile liegen auch in den Möglichkeiten der Steuerung der Abbauprozesse und in der guten Verwertbarkeit gereinigter Böden. Nachteilig ist sicherlich die längere Behandlungsdauer, verglichen z.B. mit der Bodenwäsche oder der thermischen Behandlung, aber dafür bleibt der Boden im wesentlichen intakt. Gerade deshalb ist die biologische Bodenbehandlung im Sinne des Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetzes positiv zu bewerten. ■

Neues Leben im

Im Oktober 1996 begann das UFZ mit der Sanierung einer ehemaligen Schwelwasserdeponie. Mit der Einleitung eines Fällungsmittels wurde erreicht, daß nun wieder Licht und Sauerstoff in das Oberflächenwasser gelangen. Die weitere Regenerierung des Sees kann nun den Selbstreinigungskräften der Natur überlassen werden.

Phenolsee

Ein dreistelliger Millionenbetrag wäre erforderlich gewesen, ca. 2 Mio. m³ Wasser und 20.000 m³ Sediment konventionell zu sanieren...

Einleitung von Eisen(II)chlorid und Kalkmilch

In den vergangenen Jahrzehnten mußte der „Vollert Süd“, ein kleiner Tagebaurestsee bei Deuben im südlichen Sachsen-Anhalt, als Schwelwasserdeponie erhalten. Phenole, Ammonium-Verbindungen und anthropogene Huminstoffe, die Abprodukte einer nahegelegenen Schwelerei, machten aus dem Wasser eine schwarzbraune, übelriechende, giftige Brühe. Gefahr bestand sowohl für das Grundwasser in der Region als auch für Natur und Menschen in der unmittelbaren Umgebung des Sees – Phenole sind giftig.

Nach der Wiedervereinigung begannen Wissenschaftler der UFZ-Sektion Sanierungsforschung und Techniker der LMBV (Lausitzer und Mitteldeutsche Braunkohle-Verwaltungsgesellschaft) mit der Suche nach geeigneten Sanierungsmöglichkeiten für den Phenolsee. Die Kosten für das Abpumpen und externe Reinigen der ca. 2 Mio. Kubikmeter Wasser und das Ausheben und Verbrennen von mehr als 20.000 Kubikmetern Sediment hätten im dreistelligen Millionenbereich gelegen – Geld, das nicht zur Verfügung stand. Abgesehen davon hätte man im Zuge der Wasserspiegelabsenkung mit Böschungsruhrungen rechnen müssen.

Wissenschaftler der UFZ-Sektion Sanierungsforschung dachten über Alternativen nach: Warum nicht, wie bei anderen

Schadensfällen auch, das Selbstheilungspotential der Natur aktivieren und die Reinigung im See selber stattfinden lassen? Dipl.Ing. Erika Weißbrot und ihre Kollegen erkannten, daß die mikrobielle Selbstreinigung im Phenolsee bislang durch die anthropogenen Huminstoffe behindert wurde, die das Wasser schwarz färbten, den Sauerstoff aufzehrten und toxische Wirkung hatten. Vorstudien im Labor und in abge-

teilten Seebereichen (Enclosures) zeigten, daß Eisenchlorid geeignet war, unter den gegebenen Bedingungen die Huminstoffe auszufällen. Die Substanz ist billig und

hat vergleichsweise geringe Auswirkungen auf ein Gewässerökosystem. Im Oktober 1996 war es dann soweit: Von einer schwimmenden Arbeitsplattform aus leiteten Techniker der ABS

(Anhaltinischen Braunkohlesanierungs-Gesellschaft) insgesamt 3.200 Kubikmeter Eisen(III)chlorid-Lösung in den See. In einer zweiten Aktion mußte Kalkmilch zugesetzt werden, um das Seewasser auf einen neutralen pH-Wert zu bringen. Das Ergebnis zeigte sich bereits wenige Wochen später: Die Sichttiefe hatte von drei Zentimetern auf zwei Meter zugenommen. Die Masse der Huminstoffe war ausgeflockt und auf den Seegrund abgesunken, wo sie nun im Sediment fixiert sind. Das Gestein in 27 Metern Tiefe ist undurchlässig, so daß Kontaminationen der Umgebung nicht mehr zu befürchten sind.

Da nun wieder Licht und Sauerstoff in das Wasser gelangen konnten, war der Weg frei für den mikrobiellen Abbau der übrigen Schadstoffe. In einem dritten Sanierungsschritt wurden im Frühjahr 1998 Phosphate eingeleitet, um dem heranwachsenden Plankton eine Nährstoffbasis zu bieten. Die Kosten für die Forschungsarbeiten des UFZ und die technische Umsetzung durch die ABS belaufen sich zusammen auf 7 Mio. DM.

Auch in Zukunft werden am Schwel-Vollert von UFZ-Mitarbeitern regelmäßig Proben genommen, um zu registrieren, wie schnell die so forcierte mikrobielle Selbstreinigung voranschreitet. Die Wissenschaftler hoffen, daß sich die ehemalige Schwelwasserdeponie zu einem weitgehend natürlichen Gewässer mit einer artenreichen Planktongesellschaft regeneriert, so daß der Phenolsee nur noch dem Namen nach an seine Vergangenheit erinnert. ■

Vorversuche in abgeteilten Seebereichen



Mit Seekreide gegen die Algenblüte – die Sanierung des Arendsees

Viele Landschaftsseen weisen ein Überangebot an Nährstoffen im Wasser auf. Insbesondere durch Einleitung von kommunalen Abwässern und durch Einträge von benachbarten Landwirtschaftsflächen gelangen große Mengen an Phosphaten und Nitraten in die Seen. Man spricht von der Eutrophierung eines Gewässers. Sommerliche Algenblüten sind die Folge der Überdüngung. Ein dichter Teppich aus Blaualgen bedeckt dann die Wasseroberfläche. Die Sichttiefe reduziert sich stark und der Sauerstoff im Wasser wird nach dem Absterben der Algenmasse aufgezehrt. Schließlich kann ein solches Ökosystem sogar „umkippen“, d.h., die natürliche Funktionsfähigkeit geht verloren, und viele Wasserbewohner gehen zugrunde.

Im 5 km² großen Arendsee im nördlichen Sachsen-Anhalt bedeutete die alljährliche Massenentwicklung von stick-

Der Arendsee in Sachsen-Anhalt war stark eutrophiert, wodurch es jedes Jahr zu einer Algenblüte kam. Versuche, die Nährstoffkonzentrationen zu reduzieren, wurden bereits in den 70er Jahren durchgeführt, hatten aber keinen Erfolg. Wissenschaftler der UFZ-Sektion Gewässerforschung in Magdeburg haben ein kostengünstiges, umweltverträgliches Sanierungsverfahren entwickelt.

stoffizierenden Blaualgen eine erhebliche Beeinträchtigung für den Tourismus im Sommer. Die Ausbildung großflächiger Algenteppiche und die damit verbundenen Gesundheitsgefahren durch giftige Substanzen, die Algentoxine, machten das Baden in der „Perle der Altmark“ vielfach unmöglich.

1976 hatte man versucht, durch eine Tiefenwasserableitung die Phosphatkonzentration im Seewasser zu reduzieren. Der Erfolg blieb aus. Forscher der UFZ-Sektion Gewässerforschung in Magdeburg suchten 1995 nach anderen Sanierungswegen. Der Leiter des wissenschaftlichen Untersuchungsprogramms Dr. Helmut Rönicke erklärt, welche Lösung schließlich gefunden wurde: „Am Nordufer des Sees entdeckten wir

eine Seekreidebank. Solche Kalklagerstätten gibt es auch in anderen eutrophierten Seen, vornehmlich in Norddeutschland. Die Seekreide ist geeignet, um Nährstoffe zu binden und diese im Sediment zu fixieren. Man könnte auch technische Fällmittel, z.B. Aluminiumsulfat einsetzen, aber das wäre sehr kostenaufwendig und unter ökologischen Gesichtspunkten nicht unumstritten. Mit Hilfe eines Saugspülbaggers wird die Seekreide als Suspension nach oben gepumpt und durch eine schwimmende Rohrleitung fein verteilt über der Wasseroberfläche versprüht. Dort binden die Kalzium-Partikel Phosphat und Algen und transportieren sie zum Grund des Sees. Ziel ist es, die Nahrungsgrundlage der Algen zu limitieren.“

Im Herbst 1995 wurden von der Rostocker Firma NTU 57.000 Kubikmeter Seekreide aufgespült. Von dem

Ergebnis waren Dr. Rönicke und seine Mitarbeiter zunächst enttäuscht, denn der Phosphat-Gehalt des Arendsees war im folgenden Jahr nur um 10% niedriger als 1995. Als entscheidend erwies sich aber dann, daß die jeden Sommer auftretende Phase der Phosphat-Knappheit sich nun über drei Monate erstreckte und nicht wie im Vorjahr nur vier Wochen dauerte. Dieser Engpaß zu einem kritischen Zeitpunkt des Algenwachstums reduzierte 1996 die sommerliche Blaualgenbiomasse um 50%. Algenschwimm-schichten traten nicht mehr auf. Ein Nebeneffekt der Seekreideaufspülung war die Anreicherung des Oberflächenwassers mit Silizium. Das führte erstmals zu einem Kieselalgenwachstum im Frühjahr. „Der Phosphat-Gehalt im Arendsee hat insgesamt nur geringfügig abgenommen. Der entscheidende Effekt ist aber, daß sich im Sommerzeitraum deutlich weniger schädliche Blaualgen ausbilden konnten, weil ihnen unter anderem die Kieselalgen stärker Konkur-

International fand das Verfahren der Seekreideaufspülung großes Interesse.

renz machten als in den Vorjahren.“ So die Erklärung von Dr. Rönicke.

1997 hat sich die Wasserqualität im See weiter verbessert. Die Nährstoffknappheit für die Algen dauerte auch in diesem Jahr elf Wochen. Im Juni kam es noch zu einer geringen Blaualgenentwicklung, im Juli und August traten diese Algen dann überhaupt nicht mehr auf. Der Badebetrieb wurde nicht gestört. Gegenüber den vergangenen Jahren hat sich die mittlere Sichttiefe mit 3 m mittlerweile verdoppelt.

Die einmalige Seekreideaufspülung scheint also den gewünschten nachhaltigen Effekt zu haben. Mit reduziertem Aufwand wird das UFZ nach Auslaufen der Projektförderung durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Sachsen-Anhalt die weitere Entwicklung am Arendsee verfolgen,

um Aussagen über die Langzeitwirkung treffen zu können. Bislang hat diese großtechnische Maßnahme 600.000,-DM gekostet. Das Projekt hat u.a. auch während einer Tagung in Argentinien für Aufsehen gesorgt. Vor allem haben japanische Seeforscher, die sich auch mit der Restaurierung nährstoffreicher Gewässer intensiv beschäftigen, großes Interesse an dem Verfahren der Seekreideaufspülung bekundet. Dort hat man Kontakt mit Dr. Rönicke aufgenommen, um im Sinne eines Technologietransfers von den Forschungsergebnissen des UFZ profitieren zu können.

Der erfolgreiche und bisher einmalige Einsatz dieser Technik macht die Philosophie des UFZ deutlich: Sanierung soll weitgehend mit den Möglichkeiten erfolgen, die die Natur bietet; man spricht von sanften Ökotechnologien. Dort, wo es möglich ist, wird *in situ*, d.h. vor Ort saniert, und die bevorzugte Verwendung von Stoffen, die aus demselben Ökosystem stammen, verhindert, daß das System aus dem Gleichgewicht kommt. ■

Seit drei Jahrzehnten werden Pflanzenkläranlagen zur Abwasserreinigung eingesetzt. Sie werden ständig weiterentwickelt, um neue Einsatzmöglichkeiten zu erschließen.

Pflanzen helfen bei der Reinigung von Wasser und Boden

(A. Zehnsdorf, P. Kuschk)

Daß Pflanzen nützliche Helfer bei der Reinigung der Luft sind, ist seit langem bekannt. Sie nehmen das Treibhausgas Kohlendioxid auf und geben Sauerstoff in die Atmosphäre ab.

In den letzten Jahrzehnten wuchs kontinuierlich das Interesse, die Fähigkeiten der Pflanzen auch zur Reinigung von Abwässern und kontaminierten Böden zu nutzen. Ein frühes Beispiel hierfür ist das Ausbringen von Kommunalabwässern auf landwirtschaftlich genutzte Rieselfelder. Dabei bestand jedoch die Gefahr, daß Schadstoffe bzw. pathogene Keime wieder in den Nahrungskreislauf gelangen konnten.

In den siebziger Jahren entwickelte die deutsche Biologin Käthe Seidel ein modifiziertes System, die sogenannte Pflanzenkläranlage. Hierbei durchströmt das zu reinigende Abwasser in Sand- oder Kiesbecken den Wurzelraum von speziellen Sumpfpflanzen wie Binsen, Schilf und Rohrkolben. Heute sind Pflanzenkläranlagen weit verbreitet; die meisten gehen auf dasselbe Grundprinzip zurück.

Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Verfahrensvarianten entwickelt. So gibt es Pflanzenkläranlagen, welche horizontal vom Wasser durchflossen werden und solche, in denen das Wasser nach intervallweiser Beschickung vertikal durchsickert. Manche verfügen über ausgeklügelte Belüftungssysteme im Untergrund zur Intensivierung ihrer Leistungsfähigkeit. Neben den großen Uferpflanzen finden auch pflanzliche Winzlinge bei der Wasserreinigung Anwendung. Beispielsweise setzt eine amerikanische Firma Wasserlinsen ein, die später geerntet werden und als Viehfutter dienen.

Das Spektrum der verschiedenen Verfahren ist inzwischen ebenso umfangreich wie interessant, und immer wieder kommen zu schon bewährten Anlagenmodellen neue Ideen dazu.

In neuerer Zeit setzt man Pflanzen auch für naturnahe Verfahren zur Entgiftung von Schlämmen und Böden ein. Erste Anwendungserfolge sind bereits zu verzeichnen. Das noch junge Fachgebiet – der Einsatz von pflanzlichen Systemen zur Behandlung kontaminierter Wässer

und Böden bzw. zur Schlammkonditionierung – wird unter der Bezeichnung Phytoremediation zusammengefaßt. Während man in der Vergangenheit annahm, daß für den Schadstoffabbau im Wurzelraum die Pflanzen in erster Linie allein verantwortlich sind, änderte sich diese Auffassung mit zunehmender naturwissenschaftlicher Durchdringung. Heute weiß man, daß die Reinigungsleistungen oft nur durch das komplexe sich einander bedingende Zusammenwirken



Wasserreinigung mit Wasserlinsen



Pflanzenkläranlage für kommunales Abwasser



Pilotpflanzenkläranlage am Phenolsee

der verschiedenen biologischen (Pflanzen, Mikroorganismen) und abiotischen (Boden) Komponenten des Gesamtsystems ermöglicht werden. Folgende Leistungen der Pflanzen sind hierbei von Bedeutung:

- Bestimmte, in Sümpfen (auf sauerstofffreien, dauerüberstauten Böden) wachsende Pflanzen sind in der Lage, Sauerstoff in den Wurzelraum abzugeben. Somit wird nicht nur ihr eigenes Wachstum ermöglicht, sondern auch das von sauerstoffabhängigen Bodenmikroorganismen, die hauptsächlich den Abbau organischer Schadstoffe bewirken. Obwohl die Pflanze auch in der Lage ist, in begrenztem Maße organische Schadstoffe zu entgiften, ist dieser Anteil jedoch im Vergleich zu der Leistung der Bakterien relativ gering.

- Ca. 5-40% der von den Pflanzen gebildeten organischen Kohlenstoffverbindungen werden aktiv und passiv in den Wurzelraum abgegeben. Durch diese Substratbereitstellung wird die mikrobielle Aktivität, einschließlich die des Schadstoffabbaus, wesentlich stimuliert.
- Interessant für die Reinigung schwermetallkontaminierter Böden ist die Fähigkeit einiger Pflanzenspezialisten, Schwermetalle in ihrer Biomasse anzureichern.
- Die hohen Wasserverbrauchsraten bestimmter Pflanzen sind bei der Trocknung/Vererdung von Schlämmen nutzbar.
- Die UFZ-Sektion Sanierungsforschung beschäftigt sich mit verschiedenen Aspekten der Phytoremediation, u.a.:
- Bilanzierung des Sauerstoffeintrages von verschiedenen Sumpfpflanzenarten in den Wurzelraum
- Wechselwirkungen zwischen den Pflanzen und Mikroorganismen beim Abbau organischer Schadstoffe
- Stickstoffentfernung aus Abwässern

Neben dieser Grundlagenforschung stehen insbesondere praxisnahe Themen im Mittelpunkt des Interesses. So werden in einer Versuchsanlage in Trebnitz (Landkreis Weißenfels, Sachsen-Anhalt) bei der Behandlung eines Deponiewassers der Kohlechemie im Pilotmaßstab auch verfahrenstechnologische Erkenntnisse erarbeitet.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel stellt der Einsatz von Pflanzen zur Vorbehandlung von sauerstofffreien Flußsedimenten für eine anschließende mikrobielle Schwermetallauflösung in der Versuchspilotanlage in Kleindalzig dar (Landkreis Leipziger Land, Sachsen). Durch die Pflanzen wird das Sediment soweit in der Struktur verändert, daß der darauffolgende mikrobiell aerobe Laugungsprozeß realisiert werden kann.

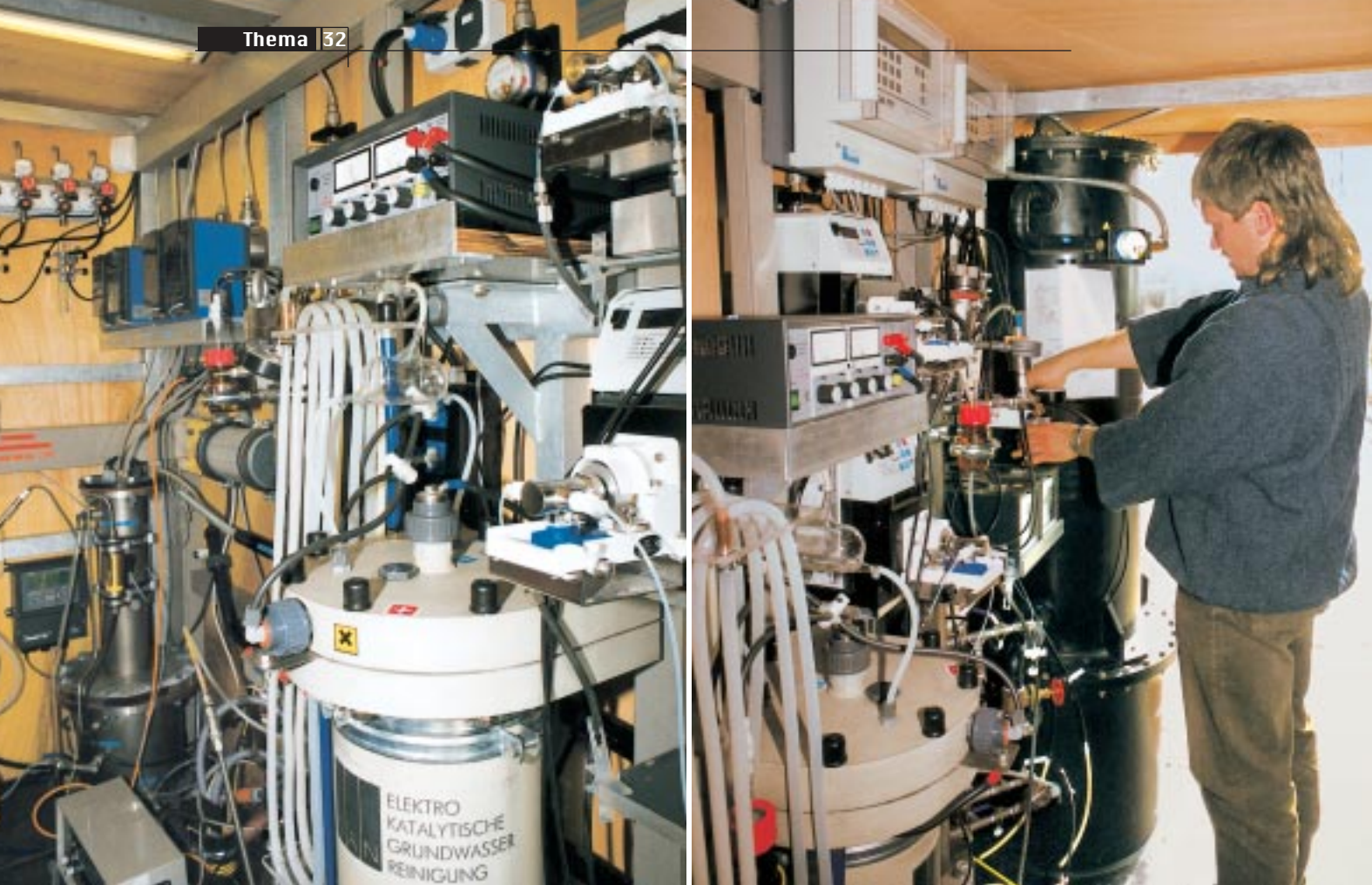
Das Fachgebiet Phytoremediation steht erst am Beginn seiner Entwicklung. Die naturnahen, energiesparenden Grundprinzipien dieses methodischen Ansatzes werden insbesondere dann zur Geltung kommen,

- wenn Energiepreise aufgrund des steigenden Förderaufwandes und der globalen Begrenztheit fossiler Brennstoffe sich erhöhen sollten,
- wenn globale Klimaveränderungen aufgrund des Treibhauseffektes signifikanter wirksam werden sollten
- und es gelingt neue ökonomisch konkurrenzfähige Verfahren zu bereits bestehenden high-tech-Verfahren zu entwickeln, die das alte Rieselfeldprinzip mit neueren Erkenntnissen und Möglichkeiten verbinden und somit energie- und ressourcensparende, geschlossene, jedoch wirtschaftlich nutzbare Stoffkreisläufe geschaffen werden.

Für den letzten Punkt gibt es bereits erste Lösungsansätze. In Energiefarmen und beim Bewässerungsfeldbau – insbesondere von Nutzpflanzen, die nicht in den Nahrungskreislauf eingehen wie z.B. Faserpflanzen – sind die wertvollen Abwasserinhaltsstoffe wie Phosphat und Ammonium erneut nutzbar. Weiterhin können die aus Böden und Wässern zu entfernenden Schwermetalle mit Hilfe von hyperakkumulierenden Pflanzen „gesammelt“ und wiedergewonnen werden. ■

Internet-Angebot

Detailliertere Informationen zur Sektion Sanierungsforschung und den Arbeiten zur Phytoremediation sind unter folgender Internet-Adresse zu finden:
<http://www.ufz.de/spb/san>



In situ-Grundwassersanierung – das SAFIRA-Projekt

Viele Grundwasservorkommen und -gewinnungsgebiete sind durch stoffliche Einträge in einem Ausmaß beeinträchtigt, das Sanierungsmaßnahmen erforderlich macht. Konventionelle hydraulische Sanierungsverfahren haben sich häufig als wenig effektiv erwiesen, insbesondere bei großflächigen Kontaminationen. Wenn zudem der Schadensherd nicht genau lokalisiert oder nicht ohne weiteres behandelt werden kann, bieten sich *in situ*-Verfahren als Alternative an.

(H. Weiß, B. Daus)

Die zur Zeit am weitesten entwickelten Varianten passiver Sanierungstechnik sind die sogenannten *in situ*-Reaktionswände. Das sind durchlässige Wände, durch die das Grundwasser hindurchströmt und mittels geeigneter Reaktionsmaterialien gereinigt wird. Für einfache Schadstoffgemische (z.B. LCKW, BTEX, PAK) werden sie bereits an mehreren Modellstandorten in den USA und in Belfast, Irland prak-

tisch erprobt. Allerdings besteht noch erheblicher Entwicklungsbedarf zur Behandlung komplexer Gemische, wie sie insbesondere an ehemaligen Produktionsstandorten der chemischen Industrie anzutreffen sind. Im Zusammenhang mit Großprojekten zur ökologischen Sanierung in den neuen Bundesländern sollen mit dem Forschungsprojekt SAFIRA (SANierungs-Forschung In Regional kontaminierten Aquiferen) die Einsatz-

möglichkeiten von *in situ*-Verfahren modellhaft an einem komplex kontaminierten Modellstandort in Bitterfeld im südlichen Sachsen-Anhalt erprobt werden. Die über einhundert Jahre andauernden Aktivitäten des Braunkohlenbergbaus und der chemischen Industrie haben die Umweltkompartimente Boden und Grundwasser im Raum Bitterfeld/Wolfen nachhaltig geschädigt. Während relevante Bodenbelastungen sich im

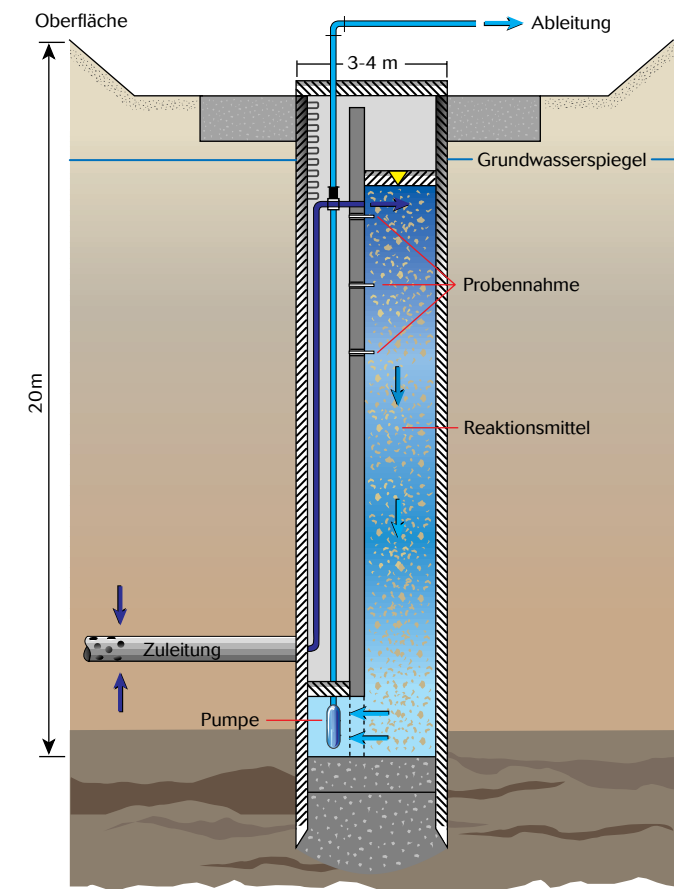
In der Region Bitterfeld sind auf 25 km² geschätzte 200 Mio. Kubikmeter Grundwasser kontaminiert.

wesentlichen auf industrielle Standorte und Deponien beschränkt, ist durch die langandauernden Schadstoffeinträge das Grundwasser in einem regionalen Ausmaß, d.h. auf einer Fläche von ca. 25 km² bei einem geschätzten Volumen von 200 Mio. Kubikmetern z.T. hochgradig kontaminiert. Das Grundwasser ist flächenhaft mit einem komplexen Gemisch an Schadstoffen belastet.

Vor diesem Hintergrund erscheint der SAFIRA-Modellstandort Bitterfeld besonders geeignet, um innerhalb eines realen Szenarios Methoden und Technologien für minimal-invasive, „passive“ Dekontaminationsverfahren komplex belasteter Grundwässer zu entwickeln und ihre Eignung im Feld zu demonstrieren.

Unter Federführung des UFZ und in Zusammenarbeit mit den Universitäten Berlin, Dresden, Halle, Leipzig, Stuttgart und Tübingen wurde eine Vorstudie durchgeführt, um die Grundlagen für das Modellvorhaben zu schaffen. Dabei wurden sowohl die hydrogeologischen und geochemischen Randbedingungen am geplanten Feldstandort als auch verschiedene Technologien für die Gestaltung der *in situ*-Pilotanlage untersucht bzw. erprobt. Mittlerweile ist die Studie abgeschlossen; der Standort am westlichen Stadtrand von Bitterfeld hat sich als geeignet erwiesen und die Labortests

Schema eines *in situ*-Experimentalreaktors



Fünf bis zehn derartige Reaktoren werden in den nächsten Jahren am Standort Bitterfeld errichtet, um verschiedene Reaktionsmittel zu testen.

haben gezeigt, daß die vorgesehenen Verfahren prinzipiell zum Abbau des „Schadstoffcocktails“ in der Lage sind. Zur Maßstabsvergrößerung wurde ein Mobilreaktor konzipiert und in Betrieb genommen. Er funktioniert als „Fenster im Aquifer“, indem aus ca. 20 m Tiefe Grundwasser ohne Kontakt mit dem

Luftsauerstoff in einen Vorratsbehälter gefördert wird. Von dort aus werden fünf Versuchssäulen mit dem belastetem Grundwasser beschickt, wobei die physiko-chemischen Bedingungen des Aquifers beibehalten werden. In den 1 m langen Säulen können unter realen Fließbedingungen die Reaktionsbedingungen optimiert und die Verfahren in einem dynamischen

System getestet werden. In einer ersten Versuchsphase werden darin parallel elektrochemische, sonochemische, adsorptive und mikrobiologische Methoden untersucht. Im nächsten Projektschritt plant man, die im Labor- und halbtechnischen Maßstab erfolgreichen Verfahren in einer *in situ*-Pilotanlage zu testen. Momentan erfolgt die Konzipierung des Bauwerks, das aus mehreren vertikal durchströmten Säulen bestehen wird, die unmittelbar im kontaminierten Aquifer errichtet werden. Die Säulen im Reaktor werden bei einer Länge von ca. 12 m und einem Durchmesser von ca. 1,5 m entsprechend der zu testenden Verfahren monolithisch oder segmentiert gestaltet. Die unterschiedlichen Verfahren werden in der Pilotanlage optimiert und sollen ihre chemische und hydraulische Langzeitwirksamkeit unter Beweis stellen.



IM NÄCHSTEN MAGAZIN



THEMA ÖKOTOXIKOLOGIE

Impressum:

HERAUSGEBER	UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF)
REDAKTION	Dr. Reinart Feldmann, Doris Böhme, Susanne Hufe
GESTALTUNG	DESIGN PRINT? LEIPZIG
FOTOS	M. Beyer (4), U. Ensenbach (1), R. Feldmann (2), B. Hard (4), T.R. Neu (3), N. Neuheiser (28), H. Rönicke (4), E. Weißbrot (1), K. Wendlandt (1), A. Zehnsdorf (3)
DRUCK UND VERARBEITUNG	Messedruck Leipzig GmbH

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes
ist ohne Zustimmung des UFZ unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere
für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung
und Verarbeitung in elektronischen Systemen.