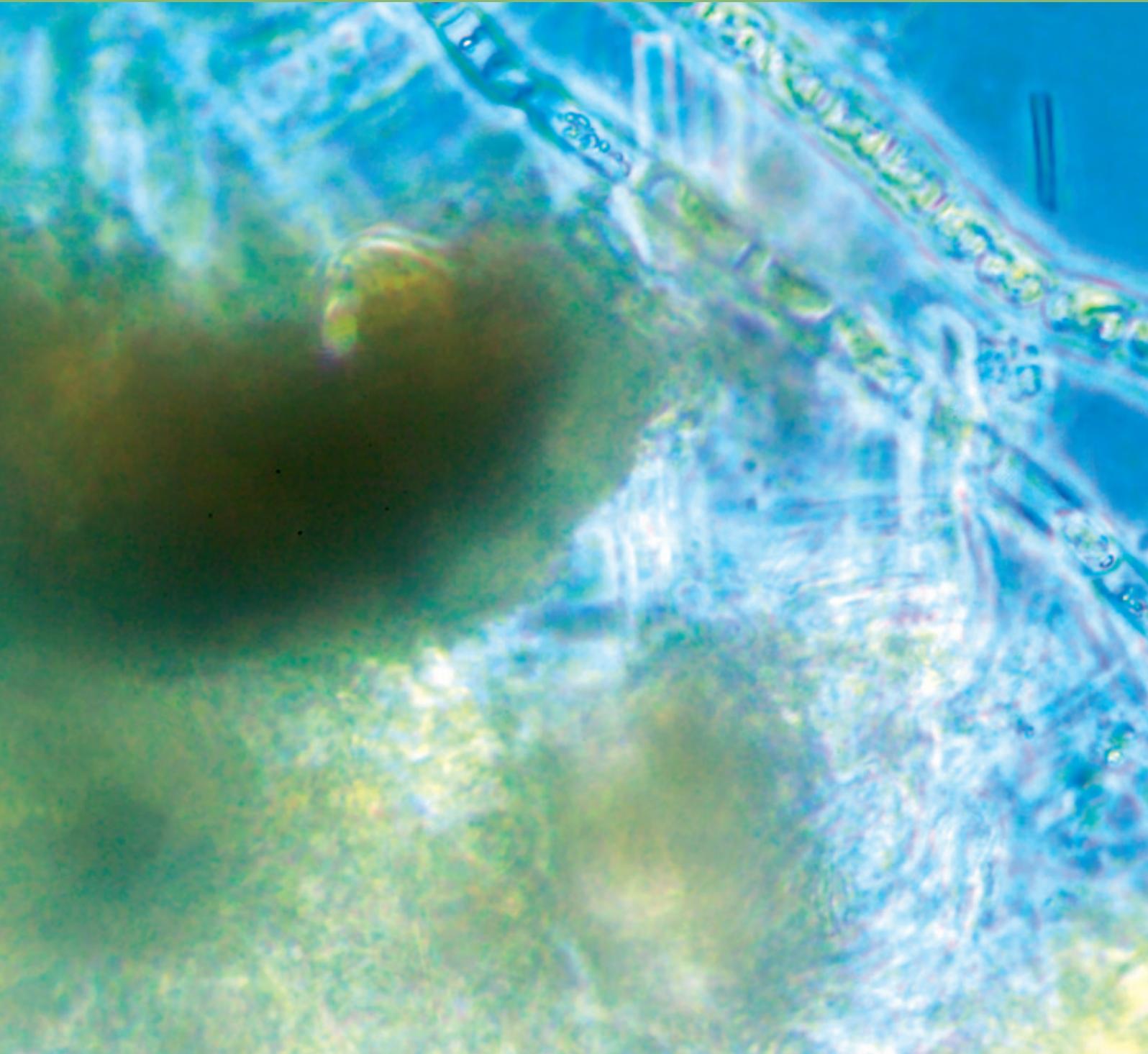


# Mikrobiologische Vi für Umwelt und G



# elfalt esundheit nutzen



Eine Hand voll Erde	S. 42
⇒ Arsen und Spitzenforschung	S. 46
⇒ Tiefgründiges an der Oberfläche	S. 48

Mikrobiologen und Biotechnologen des UFZ wollen das enorme Potenzial der Mikroorganismen optimal nutzen und managen. Sie entwickeln Methoden zur Kultivierung und Charakterisierung von Mikroorganismen und mikrobiellen Gemeinschaften. Sie studieren mikrobiologische Abbauprozesse, versuchen diese gezielt zu steuern oder zu optimieren und für biotechnologische Verfahren nutzbar zu machen.

Sprecher des Forschungsthemas „Mikrobielle Diversität in Umwelt und Gesundheit“:  
Prof. Hauke Harms, Leiter des Departments Umweltmikrobiologie

Hauke Harms und Marlis Heinz

# Eine Hand voll Erde

Die Vielfalt der Mikroorganismen übersteigt die der Pflanzen und Tiere bei weitem. Schätzungen über die Artenzahl in einem Gramm Ackerboden reichen von ein paar Tausend bis zu einer Million. Die Masse der zumeist in Boden und Grundwasser heimischen Winzlinge kommt der aller oberirdischen Lebewesen gleich, so als gedeihe ein tropischer Regenwald unter unseren Füßen. Aber wie ist das Leben „oben“ mit dem Leben „unten“ verknüpft? Fest steht, dass die Mikroorganismen durch ihre biologische Vielseitigkeit die Monopolisten für vitale Umweltprozesse sind. Ohne sie würde die Welt an sich selbst ersticken. Wie also muss man mit ihnen umgehen?



Die Gesundheit einer Landschaft beruht auf dem Funktionieren ihrer kleinsten Bewohner. Dabei kann deren Optik täuschen, das satte Grün ökologisch wertloser Golfplätze ist nur ein Beispiel. Ziel ist es, die mikrobiologische Integrität von Landschaften zu beurteilen und wie ein Blutbild des Patienten Natur zu verwenden. Aussagekräftige Umweltdiagnostik muss daher bei den mikrobiellen Gemeinschaften ansetzen, also beim Leben in einer Hand voll Erde. Und stammt diese Hand voll Erde aus der Gegend von Bitterfeld, musste sie vieles

dann ist es schon erschreckend, was sich dort mitunter abspielt, wenn die natürlichen Kreisläufe durch von Menschen gemachte Ereignisse oder widrige Umweltbedingungen zum Erliegen kommen. Unvorsichtiger oder skrupelloser Umgang mit Chemikalien, das Roden eines Waldes, das Überfluten oder das Versiegeln von Flächen und Bergbauaktivitäten, die das Obere der Landschaft nach unten kehren, führen dazu, dass sich das Leben dort verlangsamt. Letztlich bedeutet das, dass Teile der Landschaft ihren essenziellen – wenn

Gemeinschaft nehmen welche Entsorgungsaufgaben wahr? Wie stabil und anpassungsfähig ist diese Gemeinschaft? Worauf basiert deren Flexibilität und woran scheitert sie möglicherweise irgendwann? Und wie könnte man dieses Leben unter eine Art Naturschutz stellen?

Gestellt und Stück für Stück beantwortet werden diese Fragen von Umweltmikrobiologen, Genetikern, Ökologen, Geologen, Chemikern, Physikern und Modellierern am UFZ. Neben dem ungewöhnlichen Disziplinenmix im



Nur etwa dreißig Gramm Boden genügen, um einem Dutzend Wissenschaftlern fünf Jahre lang zahllose Fragen nach dem Leben unter unseren Füßen zu beantworten. Und selbst dann kennen die Experten nur einen kleinen Teil der Mikroorganismen, welche die Hand voll Erde bevölkern.

mehr an Chemikalien erdulden als anderswo. Und die in ihr lebenden Bakterien, Algen, Pilze, Hefen, Protozoen ebenfalls.

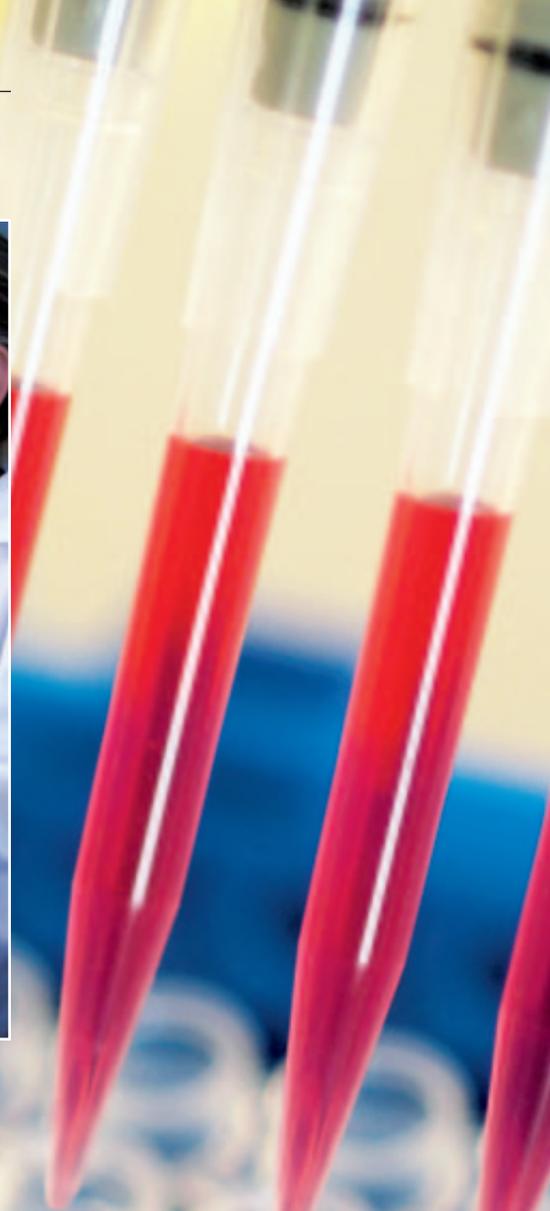
### Der Kampf unter unseren Füßen

Wenn man sich die Böden und Gewässer unter unseren Füßen vorstellt,

auch wenig bekannten – umwelthygienischen Aufgaben nicht mehr nachkommen.

Und deshalb muss diese Hand voll Erde in den Labors des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle zahllose Fragen beantworten: Welche Mikroorganismen innerhalb dieser komplexen

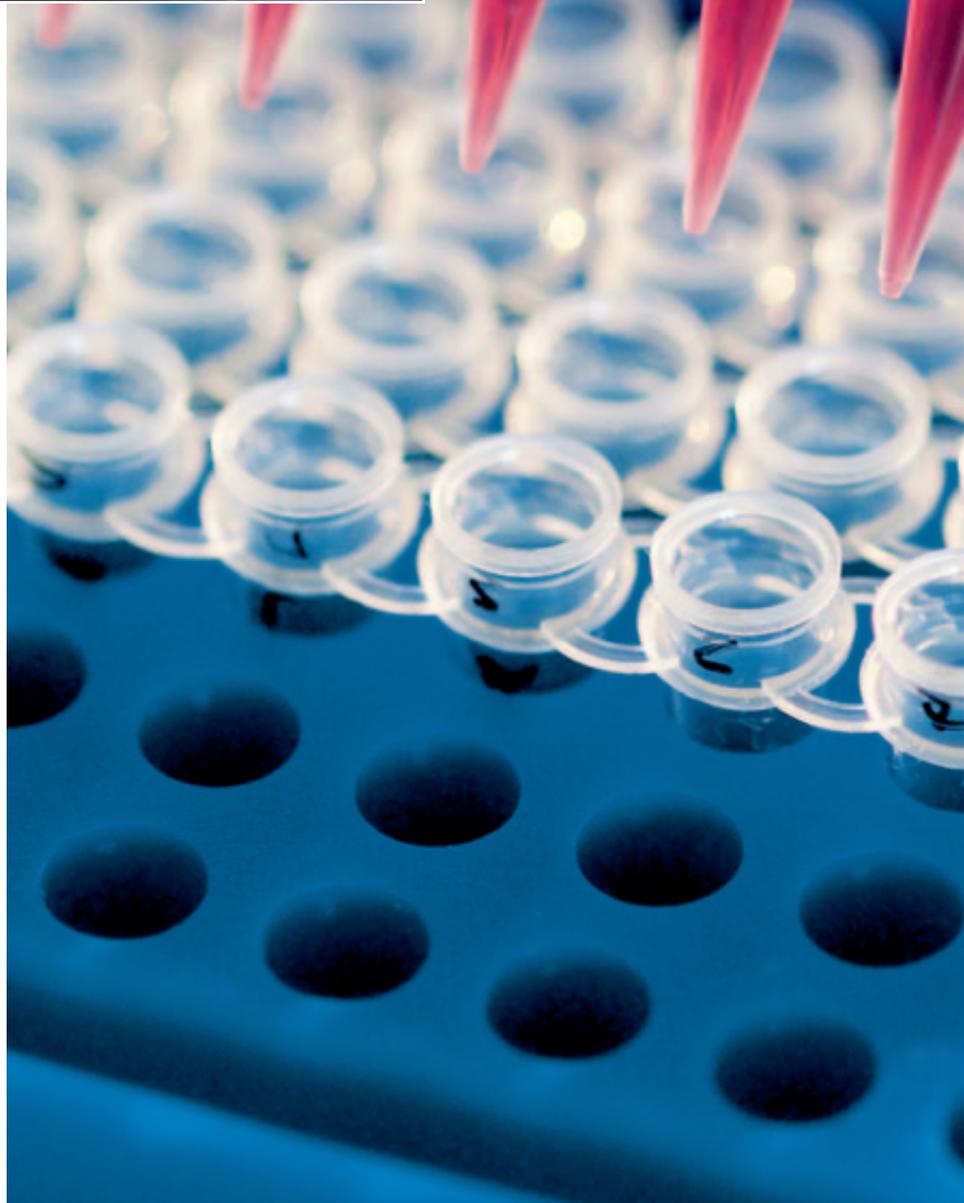
eigenen Hause hilft die Kooperation mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen wie der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung in Braunschweig und den Universitäten in Bayreuth, Kopenhagen und Lausanne, dieses extrem komplexe Thema von verschiedenen Seiten anzugehen. ↗



### Das molekulare Namensschild

Was also passiert mit der Hand voll Erde im Labor? Da der angenommene Artenreichtum die Zahl der bekannten mikrobiellen Serviceleistungen in jedem Falle weit übersteigt, ist die Identifizierung der Schlüsselfiguren für den Schadstoffabbau oder das Recycling von Pflanzennährstoffen mikrobiologische Basisarbeit. Wer also hat sich am „Großen Fressen“ in welchem Maße beteiligt?

Um das herauszubekommen, müssen zuerst einmal die in der Bodenprobe lebenden Mikroorganismen, genauer gesagt deren DNA, isoliert werden. Dies dient dazu, sie zu identifizieren, denn das Erbgut ist so etwas wie das molekulare Namensschild eines Mikroorganismus. Das DNA-Spektrum gibt Auskunft darüber, welche Mikroorganismen im untersuchten Boden vorhanden waren. Daraus lässt sich indirekt schließen, welche Bewohner einen Schadstoff abgebaut haben. Werden beispielsweise alle Bakterien identifiziert, die in einem oktanbelasteten Boden zu finden waren, dürften die am stärksten vertretenen am Stoffwechsel des Oktan beteiligt gewesen sein.



Mit den gewonnenen Gen-Sequenzen könnten aber noch andere Tests durchgeführt werden. Die komplementäre – also spiegelbildliche – Gen-Sequenz eines bestimmten Bakteriums wird mit fluoreszierenden Markern ausgerüstet und zu einer originalen Bodenprobe gegeben. Wenn das ins Auge gefasste Bakterium in diesem Boden lebt, dann docken die leuchtenden Marker an ihren verwandten Erbmaterialien an und färben die Probe. Wenn das Bakterium dort nicht heimisch ist, ist keine Reaktion zu beobachten. Wäre also unsere Bakterienart besonders dominant, dann kann dies andeuten, dass ihre „Lieblingsspeise“ – zum Beispiel ein bestimmter Schadstoff – dort auftritt oder auftrat und dass sie beim Abbau eine entscheidende Rolle spielte.

Eine andere Möglichkeit, den „Geschmack“ der Mikroben zu testen, ist es, das Substrat, also beispielsweise das Oktan in der Bodenprobe, mit schweren Isotopen zu markieren. Sobald die Mikroorganismen das Oktan abbauen, bauen sie automatisch die Isotopenmarker in ihre Biomasse ein. Nach der Trennung der DNA in einer Zentrifuge können jene, die beim Schadstoff-Mahl besonders ungeniert zugegriffen haben, anhand ihrer schweren DNA überführt werden. Das erlaubt Rückschlüsse auf die natürliche Funktion einzelner Mikrobenarten.

Doch auch dann fehlen noch wesentliche Aussagen, nämlich die zu den Umständen, unter denen sich eine bestimmte Art von Mikroorganismen über einen Schadstoff hermacht. Dass beide gleichzeitig in einer Bodenprobe existieren, heißt noch nicht, dass die Mikroben immer prompt mit den jeweiligen Stoffen in Kontakt treten. Möglicherweise geschieht das nur bei Anwesenheit oder nur bei Abwesenheit von Sauerstoff. Möglicherweise existieren andere limitierende Faktoren. Erkenntnisse darüber sind auch wichtig, um unter Umständen ein erfolgreiches Zusammentreffen von Schadstoffen und sie abbauenden Mikroorganismen zu inszenieren, wie es beispielsweise bei der Abwasserreinigung oder der aktiven Bodensanierung bereits gehandhabt wird. Durch solche Unter-

### Gelelektrophorese – eine analytische Methode in der Molekularbiologie, Genetik und Biochemie.

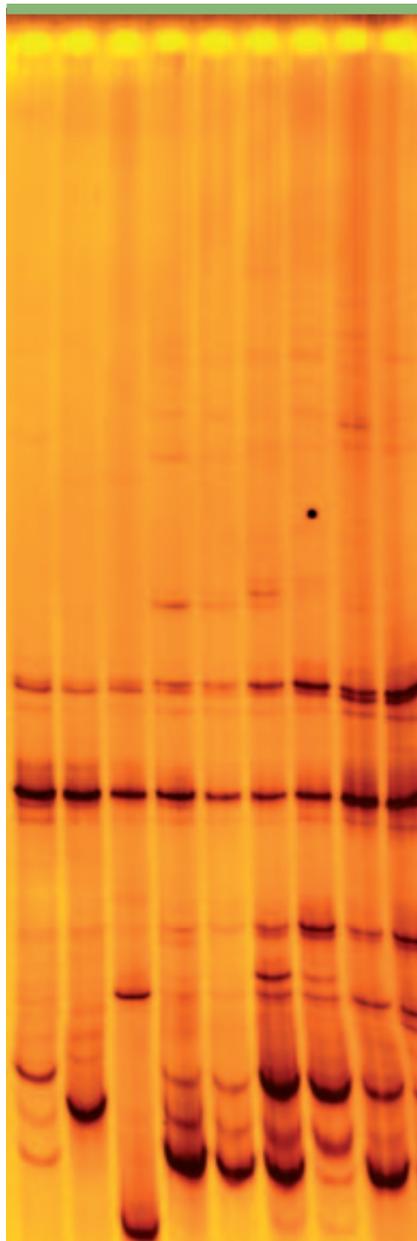
suchungen können sicherere Urteile über die Selbstreinigungskräfte des Bodens und des Grundwassers getroffen werden. Nicht immer, wenn die Konzentration eines Schadstoffes gerin-

ger wird, ist er automatisch abgebaut und damit ungefährlich geworden. Mitunter täuschen ungewollte Verdünnungsprozesse die Lösung des Problems nur vor.

#### Man nehme ein Bakterium...?

Doch so praktisch alles wäre, wenn man für die Beseitigung von Schadstoffen nur ein bestimmtes Bakterium von der Leine lassen müsste, so einfach funktioniert es nicht. Die Zuordnung von Umweltfunktionen zu einzelnen Arten entspricht unserer Vorliebe für einfache Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung, funktioniert aber bei Umweltprozessen nur selten. Fast immer sind ganze Konsortien, mikroskopisch kleine Wohngemeinschaften von Mikroorganismen, erforderlich. Die Erfassung dieser Konsortien ist eine besonders schwierige Aufgabe, für die zahllose Methoden angewendet werden. Doch damit nicht genug. Die Mikroorganismen leben nicht in ihrer eigenen Welt, sondern stehen im Austausch mit höheren Lebewesen, sei es als Nahrung für Bodentiere, als Lieferant für Pflanzendünger oder als Krankheitserreger. Die Einbeziehung solcher Organismen und ganzer Ökosysteme ist durch die Zusammenarbeit mit Pflanzen- und Tierökologen, mit Naturschutzforschern und Modellierern möglich. Und plötzlich wird die Hand voll Erde in viel größeren Kontexten wichtig. ■

*Der Mikrobiologe Prof. Hauke Harms ist Leiter des Departments Umweltmikrobiologie.*



Hauke Harms und Marlis Heinz

# Arsen und Spitzenforschung

Um gefährliche Durchfallerkrankungen zu bekämpfen, unterstützen internationale Hilfsorganisationen in den 70er Jahren zum Beispiel in Bangladesh das Bohren von Grundwasserbrunnen. Rund fünf Millionen Handpumpen wurden installiert, damit den Familien des asiatischen Landes direkt im Haus oder auf dem Hof sauberes Trinkwasser zur Verfügung steht, weitere fünf bis sechs Millionen für die Landwirtschaft. Und das Projekt war erfolgreich: Seit es die Pumpen gibt, ist die Säuglingssterblichkeit stark zurückgegangen.

## Teufel und Belzebug

Doch der augenfällige Nutzen war begleitet von einer negativen Entwicklung: Mitte der Neunziger bemerkte man in der gleichen Region die Häufung übermäßiger Hautpigmentierung, Funktionsstörungen von Leber und Niere und verschiedener Krebsformen. Alles deutete auf Arsenvergiftungen. Und tatsächlich erbrachten Analysen, dass über eine Million dieser segensreichen Trinkwasserbrunnen – 30 Millionen Menschen schöpfen daraus – mit diesem Element

belastet sind. Der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) festgelegte Grenzwert wurde um das Fünffache überschritten. Ähnliche Probleme wie in Bangladesh tauchten auch in Vietnam auf. Doch so weit muss man nicht reisen, um auf arsenhaltiges Grundwasser zu stoßen. Vom Erzbergbau verursachte Kontaminationen gibt es auch in Sachsens Süden.

Global gesehen ist Arsen heute der problematischste Schadstoff im Trinkwasser. Vor allem in armen Ländern reichen die Analysemöglichkeiten nicht



Der Arsentest ist so leicht handhabbar wie ein handelsüblicher Schwangerschaftstest.



Fotos Vietnam: Hauke Harms, UFZ



**Trinkwasserbrunnen in einem Vorort von Hanoi (links oben). Global gesehen ist Arsen heute der problematischste Schadstoff im Trinkwasser. So auch in Vietnam.**

aus, um Millionen von Wasserfassungen zu testen. Aber nur durch solch einen Test könnten die Bewohner eines Dorfes erfahren, auf welchen benachbarten Brunnen sie zeitweise ausweichen sollten oder ob das Wasser gefiltert werden muss. Es wird daher händelringend nach einfachen, preisgünstigen und dennoch verlässlichen Alternativen zum aufwändig ausgestatteten professionellen Labor gesucht.

### **Bakterien als Vorkoster des Gift-Cocktails**

An dieser Suche beteiligen sich auch die Umweltmikrobiologen des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle. Ihr Ausgangspunkt ist die Tatsache, dass Pflanzen, Tiere und Bakterien den Kampf gegen das Zellgift Arsen schon seit Jahrmillionen führen. Die Bakterien haben dabei mikroskopisch kleine Pumpen entwickelt, die in die Zellen eingedrungene Gifte wieder ausschleusen, bevor sie ihre Wirkung entfalten. Nun sind Bakterien allerdings zu klein, um für den Fall der Fälle ständig die für das jeweilige Gift geeigneten Pumpen einsatzbereit zu halten. Sie reagieren mittels genetischer Schaltmechanismen

erst bei tatsächlichem Kontakt mit dem Gift. Diese Schalter spielen die zentrale Rolle bei der Entwicklung einer Analyseverfahren für das Arsen, die biologisch hoch komplex ist, aber in der Anwendung denkbar einfach zu sein verspricht.

Das Grundprinzip des Tests wurde in der Schweiz entwickelt. Es basiert auf der Möglichkeit, Bakterien gentechnisch so zu verändern, dass sie bei Kontakt mit Arsen Farbreaktionen zeigen oder Licht abstrahlen. Mikrobiologen verschiedener Forschungseinrichtungen arbeiten nun parallel an handhabbaren Tests. Am UFZ setzt man auf die Vorteile eines Streifens, der einem handelsüblichen Schwangerschaftstest ähnelt und problemlos von jedermann zu verwenden wäre, sei es im abgelegenen tropischen Dorf oder auf dem Campingplatz im Vogtland. Dazu werden die Bakterien in getrockneter Form auf Papier aufgebracht. Dessen Blau-Färbung nach Kontakt mit arsenhaltigem Wasser kann mit bloßem Auge interpretiert werden.

Die Entwicklung dieses patentierten Tests findet am UFZ gemeinsam mit der Universität Lausanne statt. Parallel zur Entwicklung eines marktfähigen Produktes werden bereits Feldtests, Informationsveranstaltungen und Anwenderschulungen in den betroffenen Regionen durchgeführt.

### **Wie pflichtbewusst sind Bakterien?**

Auch wenn der Prototyp des Teststreifens schon funktioniert, gibt es noch unbeantwortete Fragen: Wie gelingt es, die Bakterien auf dem Streifen bis zu ihrem Einsatz zwar inaktiv, aber am Leben zu erhalten und sie genau zum geforderten Zeitpunkt aus dem Trocken-Schlaf zu erwecken? Oder wie vergleichbar und aussagestark sind die Verfärbungen, wenn nicht alle Mikroben auf dem Streifen ihre „Pflicht“ tun? Und nicht zuletzt wird debattiert, inwieweit der Einsatz gentechnisch veränderter Bakterien zu akzeptieren ist. ■

*Der Mikrobiologe Prof. Hauke Harms ist Leiter des Departments Umweltmikrobiologie.*

Thomas Neu und Marlis Heinz

# Tiefgründiges an der

Jeder kennt Biofilme, und meist kämpft er gegen sie an: beim Zähneputzen oder sobald sich in den Ecken des Badezimmers Schimmelpilze zeigen, wenn sich grünlicher Belag in der Blumenvase festgesetzt hat oder man in einem Fluss beim Balancieren über glitschige Steine auszurutschen droht. Übles verursachen diese mikrobiellen Gemeinschaften auch in technischen Systemen, beispielsweise in Wärmeaustauschern, Rohrleitungen oder auf Schiffsrümpfen. In der Medizin drohen gefährliche Infektionen, wenn sie sich auf Geräten und Implantaten ansiedeln, die in den menschlichen Körper eingeführt werden.

## Biofilme – Schutz und Bedrohung

Was jedoch nicht heißt, dass Biofilme ausschließlich Negatives mit sich bringen. Im Gegenteil. In der Natur haben Biofilme eine wichtige Aufgabe im Kreislauf der Stoffe. Bei der so genannten Erzlaugung werden Bakterien für die Metallgewinnung eingesetzt, um auch noch Erze mit niedrigem Metallgehalt kostengünstig zu nutzen. Auf der menschlichen Haut leben ganze Heerscharen von Mikroorganismen, die sie gegen das Eindringen schädlicher Erreger verteidigen. Biofilmprozesse werden auch gezielt verwendet, um Essig zu erzeugen oder Abluft beziehungsweise Abwässer zu reinigen.

Um Mikroben zu nutzen, wird denen zuerst einmal sehr viel Platz angeboten. In der Regel sind das die Oberflächen von Sandkörnern, Basalt, Bims oder auch Lockenwicklern ähnelnde Formen aus Kunststoffen. Diese großflächigen Träger werden in Biofilmreaktoren gepackt, durch die dann das zu reinigende Wasser oder die Luft strömt. Den Mikroorganismen wird damit reichlich

Foto: Margarete Mages, UFZ

**Grüner Belag auf Steinen in Flüssen oder Seen ist nichts anderes als ein Biofilm.**

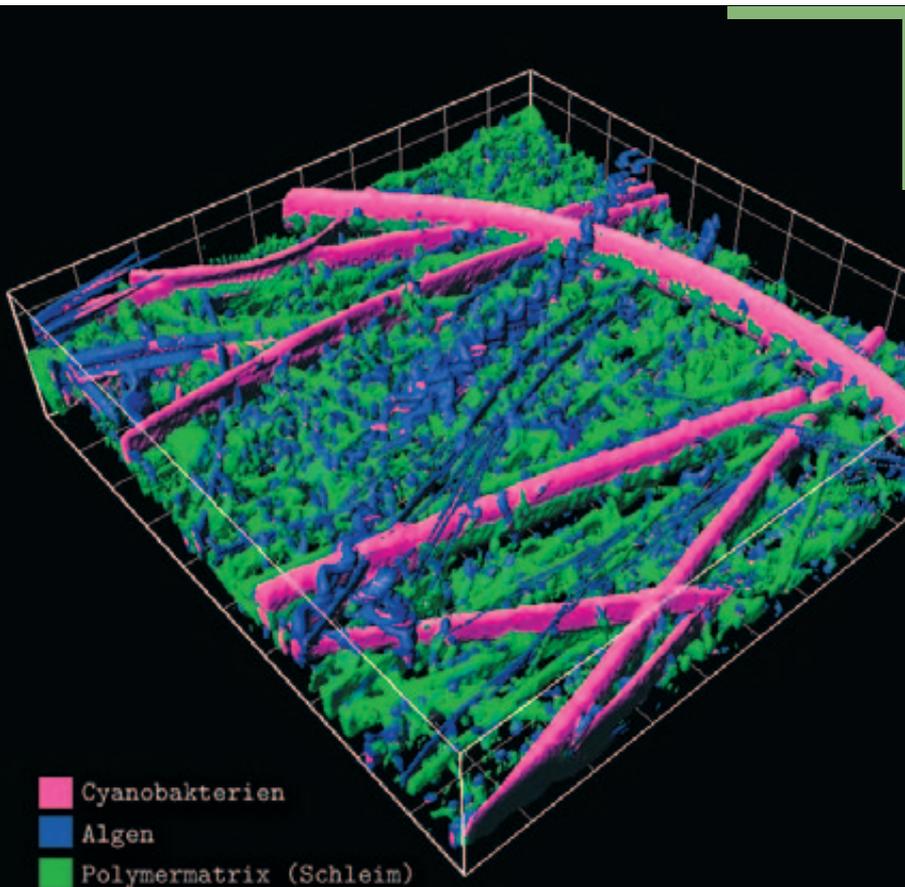


Nahrung serviert – sie können sich über die Schadstoffe hermachen.

Das heißt, man kann zum einen die Vorteile der Biofilme nutzen oder sie – beim „biofilm engineering“ – sogar maßgeschneidert einsetzen. Zum anderen möchte man sie dort kontrollieren, wo sie lästig oder gar gefährlich werden. Deshalb werden Biofilme in der Umwelt, in technischen Systemen und in der Medizin sehr intensiv erforscht. Auch am UFZ – in der Magdeburger Fließwasser-ökologie.

Aber wie dringt man ins Innere von Biofilmen vor? Ein Blick ins Labor: Dort stehen verschiedene Mikrokosmen – so genannte Biofilmreaktoren – in denen zum Beispiel die Bakterien als weiße oder gelbliche Filme auf 15 Zentimeter langen Kunststoffträgern wachsen, welche auf rotierenden Zylindern befestigt sind. Kleine Stücke dieser Träger können direkt gefärbt und mit dem Mikroskop untersucht werden. Zumeist erzeugen die Forscher Biofilme aus Flusswasser oder aus Belebtschlamm von Kläranlagen. Da

# Oberfläche



**Dreidimensionale Aufnahmen von Biofilmen mithilfe der Laserscanning-Mikroskopie.**

in der Umwelt bzw. Gewässern Licht einen entscheidenden Einfluss auf die Mikroorganismen hat, nutzen sie auch spezielle Fließrinnen, in denen die auf den Trägern wachsenden grünen phototrophen Biofilme mit Licht bestrahlt werden. Mitunter sammeln die Wissenschaftler ihre Biofilme auch direkt in der Umgebung, holen Flusswasser, Steine oder ausgelegte Aufwuchsträger aus dem Fluss oder aus dem Grundwasser ins Labor. In der Regel untersuchen sie auf beiden Wegen keine Reinkulturen, son-

dern natürliche Biofilme aus gemischten Gemeinschaften.

## Marker verraten die Strukturen

Bis dahin ist vieles mit bloßem Auge zu beobachten. Aber die Ökologen wollen wissen, wie sich solch ein Film aufbaut. Welche Mikroorganismen sind dort zu finden? Welche gehen über welchen Zeitraum Beziehungen zueinander ein? Wie stabil sind diese? Welche Schadstoffe wurden absorbiert und besonders intensiv abgebaut? Also brauchen die

Quelle dreidimensionale Aufnahmen: Thomas Neu, UFZ

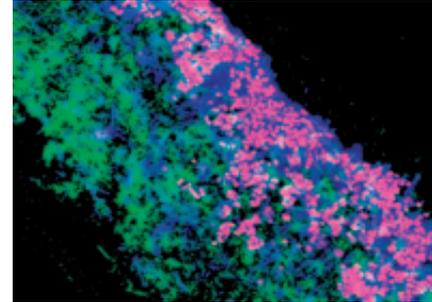


Foto: Annette Hagens, UFZ

## Ausgelegte Aufwuchsträger für Biofilme im Fluss.

Forscher für die Charakterisierung der mikrobiellen Gemeinschaften den Blick in die Tiefen des Films. Ihr wichtigstes Instrument hierfür ist die Laser-Scanning-Mikroskopie.

Dazu werden verschiedene Fluoreszenzsonden eingesetzt, die – wenn man sie mit Licht einer speziellen Wellenlänge bestrahlt – die markierten Strukturen (Zellen, Polymere, Mikrohabitate) hervorheben. Dann kommt der Biofilm mit dem oft kaum erkennbaren Belag unter das Mikroskop. Und dort zeigt sich selbst ein nur 50 Mikrometer starker Film als ein Berg aus Mikroorganismen, eingebettet in eine schleimige Matrix. Mithilfe des Laser-Mikroskops wird nun die Probe optisch in Scheiben geschnitten. Später setzt man die Bildserien im Computer zu einem dreidimensionalen Abbild zusammen. Solche Abbilder sind auf dem Bildschirm wie ein Würfel frei im Raum zu drehen und offenbaren dabei all die filigranen Figuren, die miteinander verhakht und verwoben sind. Mit den gewonnenen Daten beginnen die Forscher nun Systeme zu modellieren, um damit voraussagen zu können, wie ein Biofilm sich unter bestimmten Umständen verhalten wird. ■

*Der Mikrobiologe Dr. Thomas Neu ist Leiter der Arbeitsgruppe „Mikrobiologie von Grenzflächen“ im Department Fließgewässerökologie.*