

# Kontaminierte Böden Grundw

Megasites – Altlasten in XXL

S. 20

Σ> Natürlich sanieren?

S. 23

Σ> Wasser – die konfliktreichste Ressource der Welt?

S. 25

Geowissenschaftler, Chemiker, Biologen und Ingenieure des UFZ entwickeln innovative Managementstrategien, mit denen kontaminierte Megasites erkundet, bewertet und behandelt werden können. Sie entwickeln neue analytische und ökotoxikologische Methoden, untersuchen das natürliche mikrobiologische Abbaupotenzial („Natural Attenuation“) im Grundwasser und konzipieren kostengünstige innovative Sanierungsverfahren.

Die SAFIRA-Forschungsinfrastruktur an verschiedenen Standorten in Deutschland (z.B. Bitterfeld, Leuna und Zeitz) und anderen Regionen der Welt bietet ideale Bedingungen, die Strategien im Feldversuch zu testen.

Sprecher des Forschungsthemas „Neue Strategien für das Management von kontaminierten Böden und Grundwasser“:  
Dr. Holger Weiß, Leiter des Departments Grundwassersanierung

# en und asser managen





# Megasites – Altlasten in XXL

Holger Weiß und Doris Böhme

In Deutschland und in allen übrigen Industrieländern der Welt gibt es eine große Anzahl von Standorten, die durch großflächige industrielle Vornutzungen belastet sind. Konservativen Schätzungen zufolge sind es allein in Europa Tausende, im Osten Deutschlands etwa zwei Dutzend. Vor allem der Bergbau, die erdölverarbeitende und chemische Industrie, aber auch Güterumschlag und militärische Inanspruchnahme von Flächen haben seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert zu ökologischen Belastungen für Böden, Grundwasser und Oberflächengewässer geführt, deren Ausmaße oft ganze Landschaftsteile betreffen. Sie werden deshalb auch als Megasites bezeichnet. Betroffen sind innerstädtische Flächen, historische Industriegebiete am Rande von Siedlungen, aber auch ehemals militärisch genutzte Gebiete in naturnahen Landschaften. Wachstum und Stagnation, Ansiedlung neuer Wirtschaftszweige oder industrieller Rückbau, Bevölkerungszuwachs oder Arbeitslosigkeit und Abwanderung der Menschen – das Schicksal von Städten und Regionen hängt davon ab, ob und wie das schwierige Erbe bewältigt wird, das die Industrie hinterlassen hat.



### Ein ökologisches und ökonomisches Dilemma

Über viele Jahrzehnte wurden an Standorten der Chemieindustrie Tausende verschiedener Chemikalien gehandhabt, an Standorten der Erdölverarbeitung Millionen Tonnen Produkte pro Jahr umgesetzt – nicht ohne Verluste, Leckagen oder Kriegsschäden. An unzähligen Stellen sickerten über lange Zeiträume große Mengen der unterschiedlichsten Schadstoffe in den Untergrund. Die betroffenen Flächen sind häufig viele Hektar bis zu mehreren Quadratkilometern groß. Trotzdem sind es „nur“ etwa fünf Prozent der Grundwasserkörper Deutschlands, die aufgrund von Schadstoffeinträgen aus so genannten Punktquellen nicht den Qualitätsanforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) genügen. Das hat eine gerade abgeschlossene Erfassung des Zustandes der Grundwasserkörper Deutschlands ergeben. Diese fünf Prozent jedoch sind nahezu ausschließlich auf derartige Megasites zurückzuführen.

Soll also die Qualität solcher Grundwässer und der mit ihnen verbundenen Oberflächengewässer verbessert werden – und das verlangt die Wasserrahmenrichtlinie – müssen innovative Managementkonzepte gefunden werden. Denn es ist weder möglich, die riesigen Flächen vollständig zu erkunden und alle Schäden zu erfassen, noch können alle Schadstoffe aus dem Untergrund entfernt werden. Nahe liegende Lösungsansätze zur Sanierung und letztendlich Risikominimierung für Mensch und Umwelt, wie sie bei kleineren und überschaubaren Schadensfällen anwendbar sind, scheiden bei diesen Größenordnungen aus. Niemand ist technisch dazu in der Lage, herkömmliche Sanierungsverfahren auf den Quadratkilometer-Maßstab zu übertragen. Und niemand hätte die dafür notwendigen mehrstelligen Millionenbeträge.

Dringend gefragt sind also alternative Konzepte für den sinnvollen Umgang mit solchen Flächen. Denn wer möchte es verantworten, potenzielle Gefahren schlummern zu lassen, ganze Regionen

aufzugeben oder deren Nutzung extrem zu reduzieren?

Ein ökologisches und ökonomisches Dilemma, denn unter dem Gesichtspunkt einer nachhaltigen Landnutzung ist in den dichtbesiedelten Regionen Mitteleuropas der „Verbrauch“ der Ressource Fläche unbedingt zu reduzieren. Die Bundesregierung fordert, dass bis zum Jahre 2020 der „Flächenverbrauch“ von derzeit etwa 120 Hektar auf 30 Hektar pro Tag verringert wird (siehe auch Beitrag Seite 16). Statt also „neue“ Flächen für Industrie, Siedlungsbau und Infrastruktur in Anspruch zu nehmen, muss zukünftig in verstärktem Maße auf bereits genutzte und heute häufig brachliegende Flächen zurückgegriffen werden. Da aber solche Grundstücke mit großen Unsicherheiten über deren Wertminderung behaftet sind, werden sie gemieden. Wer geht schon gerne ein ökonomisches Risiko ein, das eine nicht vorhersehbare Sanierungsverpflichtung birgt? Ganz abgesehen davon, dass solche Standorte häufig nicht gerade den besten Ruf haben.

### Neue Konzepte braucht das Land

Was tun die Wissenschaftler, um das ökologische und ökonomische Dilemma zu lösen? Sie entwickeln innovative Managementkonzepte, um die Risiken, die von solchen Megasites ausgehen, zu minimieren, und integrieren dabei die sozioökonomischen Aspekte einer Wertsteigerung der Flächen. Dass dabei Geowissenschaftler, Chemiker, Biologen, Ingenieure, Ökonomen, Sozialwissenschaftler und Umwelt-





„Direct push“-Bohrgerät im Einsatz. Es ermöglicht, den Untergrund schnell, effektiv und hoch aufgelöst zu erkunden, Proben zu nehmen, online zu untersuchen und damit Schadstoffquellen zu lokalisieren oder Grundwassermessstellen und Monitoringsysteme zu installieren. Das Besondere: Im Gegensatz zu herkömmlichen Bohrgeräten, bei denen mit Bohrschnecken der Untergrund erschlossen wird, arbeiten diese Systeme mit einem Hohlgestänge, das in den Untergrund gedrückt wird (direct push).

juristen zusammenarbeiten müssen, liegt in der Natur der Sache. Neben Messen, Erkunden und Beobachten sind konzeptionelle Arbeit und Abstimmung erforderlich, müssen aufwändige infrastrukturelle Voraussetzungen an den Modellstandorten geschaffen und Pilotversuche umgesetzt werden. Die Wissenschaftler kombinieren naturwissenschaftliche Fakten mit einer Risikobewertung verschiedener Sanierungs- bzw. Handlungsoptionen, berücksichtigen dabei Rahmenbedingungen wie nationale Gesetze oder die EU-Wasserrahmenrichtlinie und analysieren und vergleichen die notwendigen Kosten.

Bereits jeder einzelne Schritt ist eine Herausforderung für die Wissenschaftler. Wie gefährlich sind die komplexen Schadstoffgemische für Tier- und Pflanzengemeinschaften oder den Menschen? Welche der Substanzen sind die tatsächlichen Übeltäter? Oft geht die toxische Wirkung von Verbindungen aus, die

bisher nicht wahrgenommen worden sind, die erst durch Licht oder Luft oder nur in Kombination mit anderen Stoffen ihr Gefahrenpotenzial entwickeln. Gezielte Sanierung macht also erst dann Sinn, wenn durch kombinierte chemische und biologische Testmethoden sowie Computermodelle die Übeltäter und deren Wirkung identifiziert sind. Und selbst wenn nach zahlreichen Experimenten und Prognosen Referenzfälle vorliegen, bleiben viele Fragen offen: Gibt es Ausnahmen von der Regel? Ist das, was im Labor oder Computermodell funktioniert, für reale Ökosysteme, die viel komplexer sind als ein Versuch im „Reagenzglas“, anwendbar?

Deshalb identifizieren Grundwasserforscher des UFZ Untersuchungsgebiete innerhalb von Modellstandorten, die besonders gut geeignet sind, um beispielsweise das Verhalten organischer Schadstoffe, deren Transport und natür-

lichen Abbau, An- und Einlagerungen an Bodenbestandteile oder Verdünnungseffekte zu studieren. Dazu nutzen und entwickeln sie in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern anderer Forschungseinrichtungen innovative Mess-, Erkundungs-, Monitoring- und Sanierungsmethoden.

Ziel ist neben der Methoden-, Konzept- und Technologieentwicklung auch der Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit. Der Umgang mit historischen Belastungen im regionalen Maßstab ist eine Aufgabe, die die Zeiträume der Belastungsgeschichte bei weitem überdauern wird. Das Bewusstsein hierfür zu schaffen, ist eine ebenso dringende Aufgabe wie die Bereitstellung der Werkzeuge zu ihrer Bewältigung. ■

Der Geologe Dr. Holger Weiß leitet das Department Grundwassersanierung.

Mario Schirmer und Doris Böhme

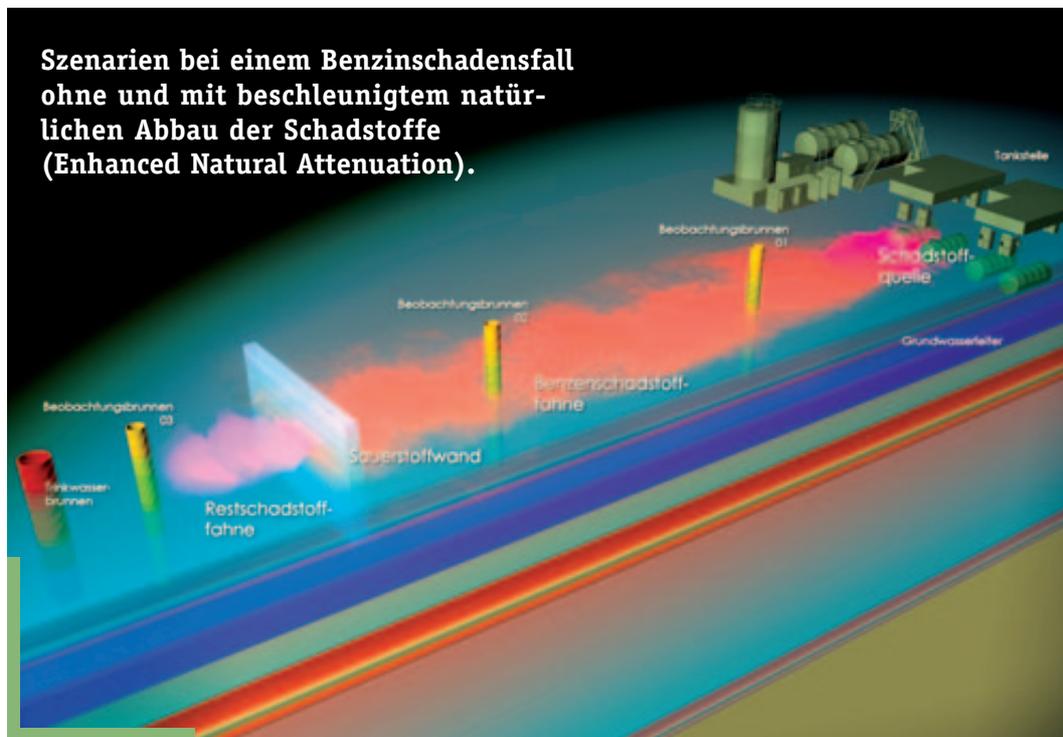
# Natürlich sanieren?

Wenn Benzin aus Tankleckagen im Boden versickert und ins Grundwasser gelangt, bildet es große Lachen, die auf dem Grundwasserspiegel schwimmen. Die Schadstoffe aus diesen Quellen bewegen sich dann ähnlich wie der Rauch aus einem Schornstein in der Luft mit dem langsam fließenden Grundwasser in Richtung Abstrom. Sie werden Schadstofffahnen genannt. Wissenschaftler haben nachgewiesen, dass sich Schadstofffahnen bestimmter Stoffgruppen im Grundwasser nur begrenzt ausdehnen. Natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse (Natural Attenuation) können die Ausbreitung von Schadstoffen in Grundwasserleitern verlangsamen oder vollständig zum Stillstand bringen. Schadstoffmoleküle können an Bodenpartikeln anhaften, eingelagert oder durch Mikroorganismen aufgefressen werden. Beispielsweise bilden chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKWs) oder die so genannten BTEX-Aromaten – das ist die Sammelbezeichnung für Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol – quasi stationäre Schadstofffahnen. Das heißt, die Schadstoffmenge, die über die Quelle in den Abstrom gelangt, ist genauso groß wie die Menge, die von den Mikroorganismen im Grundwasser abgebaut wird.

## Beobachten und überwachen

Dieses natürliche Phänomen wollen UFZ-Wissenschaftler gezielt als Alternative zu herkömmlichen und oft sehr teuren Grundwassersanierungsverfahren nutzen, die in Deutschland und weltweit jährlich riesige Geldsummen ver-

## Szenarien bei einem Benzinschadensfall ohne und mit beschleunigtem natürlichen Abbau der Schadstoffe (Enhanced Natural Attenuation).



Grafik: André Künzelmann

schlingen. Voraussetzung ist allerdings, dass die zeitaufwändigen Prozesse stabil ablaufen und keine Schutzgüter wie Trinkwasserbrunnen oder Flüsse gefährden. Deshalb ist nicht nur eine Genehmigung durch die zuständige Fachbehörde erforderlich, sondern auch ein umfangreiches Beobachtungsprogramm. Man bezeichnet diese Sanierungsstrategie als „Monitored Natural Attenuation“ (MNA).

Am Standort Zeitz entwickeln Wissenschaftler des UFZ und anderer Forschungseinrichtungen effektive Methoden, die es ermöglichen zu beweisen, dass solche Rückhalte- und Abbauprozesse im Grundwasser tatsächlich stabil ablaufen. Dazu gehören unter anderem zeitlich und räumlich integrierende Massenflussberechnungen sowie mikrobiologische und isopenchemische Methoden. 

## Nachhelfen

Falls sich jedoch schwer abbaubare Substanzen wie zum Beispiel Methyl-tertiär-Butyl-Ether (MTBE) im Schadensherd und der Schadstofffahne befinden, scheidet Monitored Natural Attenuation als Sanierungsstrategie aus, da im Abstrom liegende Schutzgüter potenziell gefährdet wären. In diesen Fällen muss versucht werden, die „Natural Attenuation“ gezielt zu unterstützen und zu beschleunigen. Diesen Ansatz bezeichnen die Experten als „Enhanced Natural Attenuation“ (ENA). Da MTBE ein ernst zu nehmendes Grundwasserproblem ist, studieren die Wissenschaftler am Chemiestandort Leuna die entscheidenden Prozesse beim Abbau von MTBE mittels ENA. Dafür haben sie ein so genanntes Konditionierungsrinnenbauwerk konzipiert, das es ermöglicht, Substanzen und Mikroorganismen im offenen Gerinne oder in Reaktionskammern dem Grundwasserleiter zuzumischen. Beispielsweise wird durch gezielte Dosierung von Sauerstoff der aerobe mikrobielle Abbau des MTBE

## WISSENSWERTES

### Methyl-tertiär-Butyl-Ether (MTBE)

wird in Nordamerika seit den 70-er Jahren dem Benzin zugesetzt, um die Oktanzahl zu erhöhen und die Luftverschmutzung zu senken. Es ist bis zu etwa 50 g/l wasserlöslich, wird im Wasser transportiert, ist nur schwer biologisch abbaubar und hat einen auffälligen Geruch und Geschmack – selbst bei Konzentrationen von weniger als 20 µg/l.

Obwohl MTBE seit Jahren auch in Deutschland vor allem den Super Plus Benzinen zugemischt wird (bis zu 14 Masseprozent), wird es bei Benzinschadensfällen nicht routinemäßig gemessen. Demzufolge ist es sehr schwierig einzuschätzen, wie groß das Ausmaß von MTBE-Kontaminationen im Bundesgebiet ist.

durch standorteigene Organismen angeregt oder durch Zugabe von Nitrat als Elektronenakzeptor der anaerobe Abbau im sauerstofffreien Milieu stimuliert. Andere Möglichkeiten sehen die Wissenschaftler in der Isolation und gezielten Vermehrung von Mikroorganismen, die MTBE abbauen können, oder in der Zugabe von Alkanen und Isopropanol, um MTBE über so genannte Cometalismen zu beseitigen. Durch begleitende Laborexperimente optimieren die Wissenschaftler die aufwändigen Versuche in den Reaktionskammern mit dem Ziel, MTBE so effizient wie möglich abzubauen. Der beste Ansatz soll dann direkt in die Sanierungspraxis am Standort Leuna überführt werden – keine Frage also, dass die Geologen, Hydrologen, Chemiker, Biologen und Ingenieure des UFZ eng mit den zuständigen Fachbehörden, den Sanierungspflichtigen und den vor Ort tätigen Ingenieurbüros zusammenarbeiten. ■

*Der Geophysiker Prof. Mario Schirmer leitet das Department Hydrogeologie.*



Konditionierungsrinne für den ENA-Ansatz zum Abbau von MTBE am Standort Leuna.

Christian Siebert, Stefan Geyer und Doris Böhme

# Wasser – die konfliktreichste Ressource der Welt

**H**ohes Bevölkerungswachstum und expandierende Landwirtschaft sorgen dafür, dass schon heute mehr als 1,2 Milliarden Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser mehr haben. Die Tendenz ist steigend. Besonders die niederschlagsarmen Regionen der Erde, wie der Nahe Osten, sind davon betroffen. So auch der Jordangraben mit seinen Anrainern Palästina, Jordanien und Israel. Seit dem Sechstagekrieg 1967 wird der territoriale Streit zwischen Israel und Palästina zunehmend auch einer um das knappe Wasser. Denn eine der bedeutendsten Ressourcen der Region sind die unter der Westbank liegenden Grundwasservorkommen sowie der See Genezareth im Norden Israels. Durch



Foto: UNEP

## Der Jordangraben

Der See Genezareth liegt in Nordisrael im nördlichen Jordangraben und ist mit 209 m unter dem Meeresspiegel der tiefstgelegene Süßwassersee der Erde. Je nach Wasserstand ist er bis zu 21 km lang, an seiner breitesten Stelle 12 km breit, seine Wasserfläche beträgt 165 Quadratkilometer, an der tiefsten Stelle misst er 46 m. Nach dem Toten Meer (ca. 400 m unter NN) ist er das zweittiefst liegende stehende Gewässer der Erde.

den gestiegenen Bedarf werden diese Ressourcen seit Jahren außerdem so übernutzt, dass sich die Wasserqualität durch menschliche Abwässer und zutretende Salzsolen zunehmend verschlechtert.

Doch was haben die Umweltforscher des UFZ damit zu tun? Die politischen Konflikte werden sie nicht lösen, vielleicht aber indirekt zur Lösung beitragen. Denn sie arbeiten seit einigen Jahren mit anderen Helmholtz-Zentren sowie Universitäten aus Deutschland, Israel, Palästina und Jordanien – insgesamt mehr als 20 Kooperationspartnern – an Konzepten und Strategien, in dieser Region ein integriertes Wasserressourcenmanagement aufzubauen.

### WISSENSWERTES

Der Name Seltene Erden stammt aus der Zeit der Entdeckung dieser Elemente und beruht auf der Tatsache, dass sie zuerst in seltenen Mineralien gefunden und aus diesen in Form ihrer Oxide (früher „Erden“) isoliert wurden. Zu den Metallen der Seltenen Erden gehören die chemischen Elemente der 3. Nebengruppe des Periodensystems und die Lanthanoide. Einige Vertreter sind Cer, Gadolinium, Europium und Neodym. Sie kommen im Wasser in Konzentrationen von Billionstel Gramm pro Liter vor. Aufgrund der geringen Konzentration zeigen sie kleinste Veränderungen und Prozesse wesentlich deutlicher an als beispielsweise Hauptelemente wie Kalzium oder Natrium.

Foto: ERDC Data-Center USG, Landsat TM

See Genezareth

Jordangraben

Totes Meer





## See- und Grundwasserprobenahmen im Jordangraben.

### Das Salz in der Suppe

Der einzige Süßwassersee Israels, der See Genezareth, hat ein Volumen von 4,2 Milliarden Kubikmetern Wasser. Knapp die Hälfte des Trinkwassers für Israel und Palästina – mehr als 400 Millionen Kubikmeter Wasser – werden jährlich daraus abgepumpt. Doch der Seespiegel schwankt stark. Fällt zu wenig Niederschlag, dann sinkt sein Pegel rasch ab. Zusätzlich strömt Salzwasser durch bislang nicht lokalisierbare Quellen am Seegrund ein. Dadurch hat der Salzgehalt des Sees längst die für Trinkwasser vorgegebene Grenze der WHO von 250 Milligramm pro Liter erreicht. Welcher Art die Salzquellen sind, war bislang unbekannt. Zu hohe Messfehler ermöglichten nur Schätzungen über die Menge der eintretenden Salze. Daher haben die UFZ-Wissenschaftler eine neue Methode entwickelt, die Quellen zu lokalisieren, zu charakterisieren und zu quantifizieren. So konnten sie mithilfe der Seltenen Erden erstmals einen jährlichen Mindesteintrag von 20.000 Tonnen Salz nachweisen. Kombinierte Untersuchungen von ufernahen Grundwässern und Seewasser, die auf stabilen Isotopen des Sauerstoffs und des Wasserstoffs sowie Elementen wie Kalzium und Brom basieren, führten die Wissenschaftler außerdem zur Ursache des aus dem tieferen Untergrund auf-

steigenden Salzwassers. Es handelt sich um die Überreste eines eingedunsteten urzeitlichen Meeres und einen riesigen Salzkörper, der abgelaugt wird. Aus diesen fundierten Erkenntnissen können Fließwege abgeleitet und Entscheidungen getroffen werden, wo und aus welchen Grundwasserleitern Süß- oder Salzwasser abzupumpen ist, um den Zutritt von Salzwasser in den See zu verringern und dessen Eindringen in süße Grundwasservorkommen zu verhindern.

### Woher nehmen, wenn nicht stehen?

Für die UFZ'ler beinhaltet integriertes Wassermanagement auch neue Ressourcen zu erschließen. So sollen mithilfe einfacher Abwassersysteme wie Pflanzenkläranlagen die großen Mengen an Abwasser so aufbereitet werden, dass sie für landwirtschaftliche Zwecke wieder genutzt werden können. Schadstoffe, die sich im Boden anreichern und hochwertige Grundwässer gefährden könnten, werden dadurch entfernt. Israel besitzt solche Technologien; in Jordanien sind erste Ansätze vorhanden; Palästina hat praktisch keine. Die Wissenschaftler bauen gemeinsam mit deutschen Firmen eine Demonstrationsanlage in Jordanien, um Erfahrungen in die Region zu übertragen und zu



Fotos: Christian Siebert, UFZ

## WISSENSWERTES

**Isotope** sind Atome eines Elements. Sie haben die gleiche Anzahl Protonen und Elektronen, aber eine unterschiedliche Zahl Neutronen im Atomkern. Deshalb haben Isotope eines Elements die gleiche Ordnungszahl, aber unterschiedliche Massenzahlen. **Stabile Isotope** sind allgegenwärtig und strahlen im Gegensatz zu radioaktiven Isotopen nicht. Sie dienen deshalb unter anderem dazu, Stoffwechselwege aufzuklären, Stoffquellen und Stoffströme zu kennzeichnen oder Umsetzungsprozesse anzuzeigen.

sammeln und um die Menschen von der Effizienz der Technologie zu überzeugen. Außerdem entwickeln die Wissenschaftler simple Strategien und Technologien, um beim größten Wasserverbraucher – der Landwirtschaft – Wasser zu sparen. Indem beispielsweise statt Bananen, die extrem viel Wasser benötigen, weniger durstige Pflanzen angebaut werden.

Neben den vielen Natur- und Ingenieurwissenschaftlern sitzen inzwischen auch die Sozioökonomien des UFZ und palästinensische Non Governmental Organisations (NGO) mit im Boot, denn es ist wichtig, auf die komplizierte politische Situation, Religion sowie nationale Traditionen, Bräuche und Sitten Rücksicht zu nehmen und dadurch Vertrauen sowie Akzeptanz zu schaffen. ■

*Die Hydrogeologen Dr. Christian Siebert und Dr. Stefan Geyer sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Department Hydrogeologie.*