



UFZ-Experten

HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR UMWELTFORSCHUNG – UFZ

NOVEMBER 2011



IN SACHEN WASSER

Der Schutz und die nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser ist eine globale Aufgabe. Die weltweit und regional sehr unterschiedlichen Wasserprobleme erfordern vielfältiges und anspruchsvolles Wissen. UFZ-Experten zeigen aus der Sicht ganz unterschiedlicher Disziplinen auf, welche Aspekte ein integriertes Ressourcenmanagement beinhaltet und wie Lösungsansätze einer modernen Wasserforschung aussehen können.



HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ

INHALT

| | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| S. 2 | Einleitung |
| Wasser und ... | |
| S. 4 | ... Globaler Wandel |
| S. 8 | ... Modellierung |
| S. 13 | ... Gesellschaft |
| S. 17 | ... Landnutzung |
| S. 20 | ... Boden |
| S. 24 | ... Altlasten |
| S. 28 | ... Ökologie |
| S. 32 | ... Recht |
| S. 36 | Standpunkt: Wasser und Menschenrecht |
| S. 37 | Kurzinformationen |
| S. 40 | Das UFZ – Ein kurzer Überblick |

■ Impressum

Herausgeber: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit · Permoserstraße 15 · 04318 Leipzig
Tel.: 0341 / 235-1269 · Fax: 0341 / 235-1468
e-mail: info@ufz.de · Internet: www.ufz.de

Wissenschaftlicher Geschäftsführer: Prof. Dr. Georg Teutsch
Administrativer Geschäftsführer: N. N.

Redaktion: Doris Böhme (verantw.), Bettina Hennebach, Andreas Staak

Bildredaktion: Andreas Staak

Fotos: André Künzelmann u. a.

Satz und Layout: noonox media GmbH, Leipzig

Druck: DS Druck-Strom GmbH, Leipzig

November 2011

EINLEITUNG

Seit Juli 2010 gibt es ein Menschenrecht auf sauberes Wasser – die praktische Umsetzung hinkt weit hinterher: Nach wie vor haben weltweit knapp eine Milliarde Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. 2,6 Milliarden Menschen leben ohne Toiletten und hygienische Abwasserentsorgung. Prognosen gehen davon aus, dass die Weltbevölkerung bis 2050 auf neun Milliarden Menschen anwachsen wird. Szenarien zum globalen Temperaturanstieg gehen von zwei bis sechs Grad Celsius bis 2100 aus, so dass die ohnehin vorhandenen Wasserprobleme sich verschärfen und neue hinzukommen werden. Darüber hinaus wird der steigende Bedarf an Nahrung und Energie in den Entwicklungs- und Schwellenländern zu einem weltweit deutlich höheren Wasserverbrauch führen und in vielen Regionen an die Grenzen der verfügbaren Ressourcen reichen. Die Folgen werden – je nach Ausgangssituation, klimatischer und geografischer Lage und politischen Rahmenbedingungen – ganz unterschiedlich ausfallen. Ebenso die Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft und Politik.

In den meisten mittel- und nordeuropäischen Ländern haben wir es primär mit Wasserqualitätsproblemen zu tun – jahrzehntelange Industrialisierung und intensive Landwirtschaft haben ihre chemischen Spuren hinterlassen sowie die Morphologie und die biologische Qualität zahlreicher Gewässer verändert. Die Einführung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie wirkt dem erfolgreich entgegen und hat inzwischen dazu geführt, dass 90 Prozent der Flüsse und Seen in Deutschland wieder einen guten chemischen Zustand haben. Ein guter ökologischer Zustand ist bisher jedoch nur bei 10 Prozent erreicht. Auch wird der Klimawandel Europa nicht völlig verschonen. Prognosen sagen für einige heute schon sehr trockene Regionen im Mittelmeerraum Niederschlagsrückgänge zwischen 20 und 40 Prozent bis zum Jahr 2070 voraus. Andernorts wiederum werden Extremniederschläge die Zahl der Hochwässer deutlich erhöhen. Wasser- und Abwassertechnologien müssen an diese veränderten Randbedingungen angepasst werden. Die besondere wissenschaftliche Herausforderung liegt dabei in der Entwicklung komplexer und trotzdem verlässlicher Observatorien- und Prognose-systeme für den Einzugsgebietsmaßstab mit Zeitperspektiven bis zu 100 Jahren.

In den ariden und semiariden Regionen Asiens, Afrikas oder Lateinamerikas haben wir es vor allem mit einem quantitativen Wasserproblem zu tun, bei dem die zunehmende Verschlechterung



der Wasserqualität erschwerend hinzukommt. Hier heißen die Herausforderungen: Effizientere Wassernutzung vor allem in der Landwirtschaft, innovative Technologien zur Wassereinsparung bzw. -wiederverwendung, präzise Wasserbilanzen sowie nachhaltiges Wassermanagement. Darüber hinaus geht es nach wie vor auch um die Erschließung neuer Wasserressourcen. Es wird zudem notwendig sein, wasserintensive Aktivitäten dorthin zu verlagern, wo Wasser ausreichend vorhanden ist, denn häufig exportieren wasserarme Länder wasserintensive landwirtschaftliche Produkte auf Kosten der knappen heimischen Wasserressourcen.

Doch so unterschiedlich diese Wasserprobleme weltweit auch sein mögen – in der Wissenschaft ist man sich einig, dass sie einen gemeinsamen Lösungsansatz haben: Ein integriertes Wasserressourcenmanagement (IWRM). Das bedeutet, dass qualitative, quantitative, ökologische, technische und soziale Aspekte des Wassermanagements integriert betrachtet werden müssen, dass Landnutzungs-, Klima- und demografischer Wandel zu berücksichtigen und die wasserabhängigen Sektoren der Wirtschaft einzubeziehen sind.

Die Voraussetzungen in der deutschen Wasserforschung sind dafür prinzipiell sehr gut: Wir entwickeln anspruchsvolle Technologien, Umweltbeobachtungs- und Frühwarnsysteme, hydrologische Modelle und besitzen viel Know-how in der Gewässeranalytik und Wasserwirtschaft. Jährlich fließen zwischen 200 und 250 Millionen Euro an öffentlicher Förderung und weitere Mittel aus der Wirtschaft in die deutsche Wasserforschung – verteilt auf mehr als 150 öffentlich geförderte Einrichtungen. Was allerdings bisher fehlt, sind langfristig angelegte Vernetzungsstrukturen, um das verteilt vorhandene Wissen optimal zu nutzen. Moderne anwendungsorientierte Wasserforschung erfordert die Integration vieler Einzeldisziplinen aus den Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften und kann deshalb auch von keiner Institution kompetent alleine abgedeckt werden.

Das UFZ hat 2009 vom Helmholtz-Senat das Mandat erhalten, ein Konzept – die Water Science Alliance – zu entwickeln, das helfen soll, die beobachteten Defizite in der Kooperation bzw. Vernetzung zu überwinden. Mit dieser Wasserforschungsallianz soll ein verlässlicher Rahmen geschaffen werden, in dem ausgewählte, wichtige Themen der Wasserforschung integriert bearbeitet werden können,

in dem die führenden Forschergruppen und Institutionen in geeigneter komplementärer Weise gemeinsame Forschungsziele und Strategien entwickeln und umsetzen und dabei Partner aus Behörden und der Wirtschaft von Beginn an einbeziehen. Außerdem sollen die Fähigkeiten der nächsten Generation von „Wasserwissenschaftlern“ gefördert werden. In Zusammenarbeit mit Akteuren der Wasserforschung und Wasserwirtschaft sowie den Forschungsförderern – dem Bundesforschungsministerium und dem Bundesumweltministerium sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft – wurden in einem „White Paper“ die Themenbereiche definiert, für die zunächst der größte Forschungsbedarf gesehen wird (siehe S. 38).

Das UFZ hat dabei explizit die Rolle des „facilitators“, d. h. des Initiators und Begleiters bei der Umsetzung, erhalten, weil es die integrierte Wasserforschung in den letzten Jahren erheblich ausgebaut hat und unter seinem Dach eine sehr breite und international anerkannte Kompetenz mit heute 17 direkt im Wasserbereich tätigen Departments entstanden ist. Die besondere Fachkompetenz des UFZ reicht dabei von der Gewässerbiologie und -chemie über die Ökotoxikologie, Bodenphysik und die Geohydrologie bis hin zur Einzugsgebietshydrologie sowie Modellentwicklung und Visualisierung auf allen Ebenen. Hinzu kommen Know-how in Mess- und Erkundungstechniken und eine langjährige Expertise in der sozio-ökonomischen Forschung, die in der Wasserforschung unverzichtbar sind.

Experten des UFZ in Sachen Wasser werden Ihnen in dieser Broschüre interessante und nicht immer offensichtliche Zusammenhänge zwischen Wasser und Boden, Modellierung, Gesellschaft, Landnutzung, Ökologie, Altlasten und Recht vorstellen.

Prof. Dr. Dr. h.c. Georg Teutsch
Wissenschaftlicher Geschäftsführer des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung – UFZ



Prof. Dr. Dietrich Borchardt

Er ist Leiter des Departments Aquatische Ökosystemanalyse am UFZ in Magdeburg und Inhaber des gleichnamigen Lehrstuhls an der TU Dresden. Er ist zudem Sprecher des UFZ-Fachbereiches Wasser- und Bodenforschung und verantwortlich für das Programm-Topic „Nachhaltiges Wasserressourcenmanagement“ am UFZ. Seine Forschungsschwerpunkte sind ökologische Wirkungszusammenhänge in Gewässern, ökologische Modellierung und Integriertes Wasserressourcenmanagement (IWRM).

e-mail: dietrich.borchardt@ufz.de

Wasser in ausreichender Menge und Qualität sicher zur Verfügung zu stellen, ist für den Menschen und die natürlichen Ökosysteme eine überlebenswichtige Frage. Obwohl Wasser weltweit betrachtet scheinbar im Überfluss vorhanden ist (mehr als 70 Prozent der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt), so ist nur ein sehr kleiner Teil davon als Trinkwasser direkt nutzbar (etwa 0,3 Prozent). Zudem ist das Wasser weltweit nicht gleich verteilt und es entstehen hohe Nutzungsdynamiken als Trinkwasser, als Brauchwasser für die Industrie, zur Energieproduktion oder für die Pflanzenproduktion in der Landwirtschaft – teilweise in Regionen, in denen das Wasser schon von Natur aus knapp ist. Globale Wassernutzungen hängen dabei entweder direkt mit dem Bevölkerungswachstum zusammen (im Jahr 2050 wird mit einer Weltbevölkerung von etwa neun Milliarden Menschen mit entsprechendem Trinkwasserbedarf gerechnet) oder sie entstehen aufgrund wachsender Nahrungsmittel- und Konsumgüterproduktion, dem Energiebedarf und anderen Ressourcennutzungen.

Alle diese Entwicklungen finden vor dem Hintergrund des sich weltweit manifestierenden Klimawandels statt. Es wird erwartet, dass sich durch die damit zusammenhängenden Temperatur- und Niederschlagsverschiebungen das Wasserdargebot an Oberflächen- und Grundwasser in vielen Weltregionen direkt oder indirekt erheblich verändern wird – und zwar in unterschiedliche Richtungen. Um den zukünftigen Herausforderungen durch einen sich entweder



Der Trinkwasserbedarf im Vergleich einzelner Regionen unterscheidet sich erheblich. Beträgt er für ländliche Räume in Entwicklungsländern 20 bis 30 Liter pro Einwohner und Tag, so liegt er in manchen Industrieländern bei 300 Litern pro Einwohner und Tag (USA). Durch die starke Urbanisierung wird für die Entwicklungsländer ein ähnlich hoher Trinkwasserbedarf pro Einwohner erwartet, wie er heute schon in entwickelten Regionen zu beobachten ist.



Experten rechnen im Jahr 2050 mit einer Weltbevölkerung von neun Milliarden Menschen. Um die Menschen ausreichend mit Nahrungsmitteln zu versorgen, müssen einerseits bestehende landwirtschaftliche Flächen intensiver genutzt bzw. andererseits neue Flächen für die Landwirtschaft erschlossen werden, beispielsweise auch in trockenen Gebieten durch Bewässerung.

schnell ändernden Bedarf oder ein sich änderndes Wasserdargebot gewachsen zu sein, müssen integrierte Ansätze für die nachhaltige Nutzung und Bewirtschaftung von Wasserressourcen in Regionen entwickelt und umgesetzt werden. Der Schlüssel liegt in sektorübergreifenden Anpassungsstrategien, flexiblen Infrastrukturen und einer wesentlich höheren Ressourceneffizienz aller Wassernutzungen.

Globaler Wandel

Unter globalem Wandel versteht man verschiedene Veränderungsprozesse, die weltweite Bedeutung oder Ausdehnung haben. Die wichtigsten das Wasser betreffenden Wandelprozesse sind das Bevölkerungswachstum und die demografischen Entwicklungen, der Klima- und der Landnutzungswandel.

Bevölkerungswachstum

Das Bevölkerungswachstum bzw. die demografischen Veränderungen hängen dabei eng mit Wasser-, Nahrungsmittel-, Rohstoff- und Energiebedarf zusammen. Es wird in den nächsten Jahrzehnten bis 2050 eine weitere Zunahme der Weltbevölkerung von heute 6,9 Milliarden auf rund neun Milliarden Menschen erwartet. Damit verbunden ist zunächst eine unmittelbare Zunahme des direkten Trinkwasserbedarfs. Dieser ist heutzutage weltweit sehr unterschiedlich und beträgt weniger als 20 bis 30 Liter pro Einwohner (l/E) und Tag in den ländlichen Regionen von Entwicklungsländern bis hin zu mehr als 300 l/E und Tag in hoch entwickelten Regionen wie beispielsweise in den USA. In Deutschland liegt der aktuelle durchschnittliche Trinkwasserverbrauch bei rund 120 l/E und Tag und ist in den letzten 20 Jahren von vormals über 140 l/E und Tag deutlich zurückgegangen. Zukünftig wird immer mehr Wasser für die

schnell wachsenden urbanen Räume in vielen Regionen der Welt zur Verfügung gestellt werden müssen. Der demografische Wandel – Bevölkerungswachstum in Entwicklungsländern, Bevölkerungsschwund und ein wachsender Anteil älterer Menschen in europäischen Städten – wird auch die Abwasserentsorgung vor neue Aufgaben stellen, denn auch hier werden sich Mengen, Inhaltsstoffe und Rahmenbedingungen in ganz unterschiedlichem Maße verändern. Nach einigen Statistiken leben seit 2007 erstmals in der Geschichte weltweit mehr Menschen in Städten als in ländlichen Regionen, und es wird erwartet, dass sich dieser Trend weltweit fortsetzen wird.

Mit dem Bevölkerungswachstum ist eine weitere Inanspruchnahme von Wasserressourcen verbunden, insbesondere durch die Nahrungsmittelproduktion, den Energiebedarf und die industrielle Produktion von Konsumgütern. Dabei kann die Landwirtschaft insgesamt als „Wassernutzer Nr. 1“ gelten, denn zum einen ist das Pflanzenwachstum direkt wasserabhängig und zum anderen beansprucht die Bewässerungswirtschaft den regionalen Wasserhaushalt in erheblichem Maße. Für die Produktion von einem Kilogramm pflanzlichem Protein werden nach Zahlen der FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) zirka zwei bis drei Kubikmeter (also 2.000 bis 3.000 Liter) Wasser benötigt. Demnach spielt die landwirtschaftliche Wassernachfrage eine viel erheblichere Rolle als die Trinkwassernachfrage.

In noch stärkerem Maß wird Wasser aber bei der Produktion von tierischem Eiweiß beansprucht (etwa 15 Kubikmeter Wasser pro Kilogramm Produkt bei der Rinderproduktion). Die Zusammenhänge zwischen dem Bevölkerungswachstum und dem Wasserbedarf hän-

gen deshalb auch mit der Veränderung von Lebensstilen, den Ernährungsgewohnheiten und dem Energiebedarf zusammen. Weltweit gibt es beispielsweise eine enge Korrelation zwischen dem Bruttoinlandsprodukt und dem Fleischkonsum: Die Ernährungsweise in den entwickelten Ländern ist aufgrund wachsender Fleischimporte mit großen Strömen von sogenanntem virtuellem Wasser verbunden. Damit ist das Wasser gemeint, das zur Produktion und Weiterverarbeitung von Gütern und Lebensmitteln benötigt wird und versteckt (virtuell) in diesen Produkten enthalten ist. So führt beispielsweise der Export von landwirtschaftlichen Produkten (z. B. Obst und Gemüse, Energie- und Futterpflanzen) aus warmen, trockenen Regionen (z. B. Mittelmeerraum) in gemäßigte Klimaregionen (z. B. Mitteleuropa) zu einem „virtuellen Wasserhandel“ aus wasserarmen in wasserreiche Gebiete und somit zu einer Verstärkung der natürlichen Ungleichgewichte. Der virtuelle Wasserbedarf wird beispielsweise für Deutschland auf rund 4.000 Liter pro Person und Tag geschätzt.

Landnutzungswandel

Der weltweite Energiebedarf wird wegen der Endlichkeit der fossilen Energieträger zukünftig in immer stärkerem Maße auch durch Bioenergie gedeckt werden müssen. Die Produktion von Bioenergiepflanzen erfordert entsprechende landwirtschaftliche Flächen und Wasser. Und schon heute kommt es in einzelnen Weltregionen zu Nutzungskonkurrenzen zwischen der Lebensmittel- und der Energieproduktion. Gleichzeitig sind bestimmte intensive Produktionsmethoden im Energiepflanzenanbau mit erhöhtem Dünger- und Pestizideinsatz verbunden, was wiederum zu einer weiteren Belastung der natürlichen Wasserressourcen führt.

Klimawandel

Es ist wissenschaftlich nachgewiesen, dass ein Klimawandel weltweit wirksam ist, sich aber im Hinblick auf die damit zusammenhängenden Temperatur- und Niederschlagsveränderungen regional



Im Mittelmeerraum trifft starkes Bevölkerungswachstum oder auch wirtschaftliche Dynamik auf knappes Wasser. Daher gehen Prognosen von einer Verschärfung der Wasserkonflikte in dieser Region aus.
Foto: © Özgür Donmaz

sehr unterschiedlich manifestieren wird. Beispielsweise wird für Deutschland bzw. Mitteleuropa erwartet, dass es regional sowohl ein höheres als auch ein niedrigeres Wasserdargebot geben wird. So ändert sich die Sommer-/Winter-Verteilung, indem Extremereignisse wie Starkniederschläge und Dürreperioden insgesamt zunehmen.

Besonders gravierende Probleme werden dort entstehen, wo das Wasser bereits heute schon von Natur aus knapp ist, der Klimawandel zu weiteren Temperaturerhöhungen und Rückgängen der Niederschläge führt und das Bevölkerungs- oder industrielle Wachstum hoch sind. Beispiele für solche Regionen sind die Länder rund um das Mittelmeer, in Zentralasien oder Teile Indiens.



Der Anteil von Bioenergie an der Energieproduktion steigt – und damit nehmen die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen und Wasser zu. Inzwischen entstehen schon heute in manchen Weltregionen Konkurrenzsituationen zwischen der Lebensmittel- und Energieproduktion.

Mit dem globalen Rückgang der Biodiversität und dem irreversiblen Verlust ökologischer Funktionen eröffnen sich weitere Problemfelder, die eng mit dem Schutz der natürlichen Wasserökosysteme verknüpft sind.

Global denken – regional handeln

Die zentrale Herausforderung besteht in der langfristigen Sicherung von Menge und Qualität vorhandener Wasserressourcen sowohl für den Menschen als auch für die natürlichen Ökosysteme, die wiederum Dienstleistungen für den Menschen bereitstellen. Und das unter sich teilweise schnell und großräumig ändernden Rahmenbedingungen wie Klimawandel, Bevölkerungswachstum, Änderung der Landnutzung und Industrialisierung. Wesentlich ist dabei, dass Wasserressourcen einerseits regional unterschiedlich verteilt sind, andererseits auch regional unterschiedlich stark genutzt werden. Zum Beispiel sind Grundwasserspeicher oder Flussgebiete, die zur Trinkwasserversorgung oder zur Bewässerung genutzt werden, immer räumlich begrenzt. Auch die Trinkwassernetze und Kanalisationen von Städten sind regional abgegrenzt. Es kommt also darauf an, dass unter den Randbedingungen globaler Wandelprozesse die regionalen Wassernutzungen in den verschiedenen Sektoren (Trinkwasser, Brauchwasser, Landwirtschaft, Energiegewinnung usw.) geordnet und aufeinander abgestimmt werden. In diesem Sinne hat das bekannte Motto „*think globally, act locally*“ eine ganz konkrete Bedeutung. Es bedeutet auch, dass die Nutzungen mit der verfügbaren Menge, der Qualität und den ökologischen Funktionen der Oberflächen- und des Grundwassers in eine Balance gebracht, mit anderen Worten nachhaltig gesichert werden müssen.

Es kommt hinzu, dass die Stand- und Fließgewässer „Hotspots“ der Biodiversität sind und diese ebenfalls durch das Management der Wasserressourcen betroffen ist. Obwohl die Binnengewässer der Erde nicht einmal ein Zehntausendstel des Wasservolumens der Erde beinhalten und nur einen proportional sehr geringen Teil der Erdoberfläche bedecken, leben in ihnen 12 Prozent aller bekannten Arten. Zirka 41 Prozent der Fischarten und 25 Prozent aller Wirbeltierarten sind mehr oder minder direkt von Süßwasserökosystemen abhängig, wobei die Binnengewässer der Erde wiederum nur einen proportional sehr geringen Teil der Erdoberfläche bedecken. Die Oberflächengewässer und das Grundwasser haben außerdem eine Reihe von natürlichen Funktionen und erbringen ökologische Dienstleistungen, die für den Menschen von großer Bedeutung sind (z. B. Trinkwasser- und Energiebereitstellung, Transport- und Selbstreinigungskapazität, Nahrungsressourcen, ästhetische und kulturelle Werte) und die von keinem anderen Ökosystem oder von Technologien erbracht werden können.

Lösungsansätze

Benötigt werden qualitativ hochwertige, sektorübergreifende Systemlösungen, da viele Treiber wie demografische Entwicklungen, Energiebedarf, Nahrungsmittelproduktion und Rohstoffgewinnung sich stark auf die Wasserwirtschaft auswirken. Das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) trägt mit seinem Forschungsschwerpunkt „Wasser“, in dem mehr als 150 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der unterschiedlichsten Disziplinen arbeiten – Hydrogeologen, Limnologen, Biologen, Chemiker, Ökotoxikologen, Informatiker, Ingenieure, Umweltjuristen, Ökonomen und Soziologen – sowie zahlreichen nationalen und internationalen Kooperationspartnern zu diesen Systemlösungen bei.

Konkret bedeutet dies:

- ▶ Unsere wissenschaftlichen Methoden müssen in der Lage sein, zukünftige Entwicklungen globaler Wandelprozesse und deren Konsequenzen mit höherer Genauigkeit und Verlässlichkeit aufzuzeigen als dies bisher möglich ist.
 - ▶ Die Effizienz der Wassernutzungen muss in den einzelnen Nutzungsbereichen weiter und zum Teil erheblich gesteigert werden, insbesondere in der Landwirtschaft, aber auch beim Trinkwasser, in der Industrie, bei der Rohstoffgewinnung bzw. -verarbeitung sowie der Abwasserreinigung. Die Wassernutzungen müssen dabei die Gesichtspunkte von Ressourcenschonung, Ressourcenwiedergewinnung bzw. -verwertung berücksichtigen.
 - ▶ Wasserinfrastrukturen müssen sehr viel flexibler gestaltet werden – vor allem in der Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung, um sich an demografische Entwicklungen und den Klimawandel anpassen zu können.
 - ▶ Wasserinfrastrukturen müssen so geplant und errichtet werden, dass der Betrieb und die Refinanzierung langfristig gesichert sind.
 - ▶ Die rechtlichen Instrumente für die einzelnen Wassernutzungen müssen besser aufeinander abgestimmt und insgesamt wirksamer angewendet werden.
 - ▶ Ökonomische Instrumente müssen sehr viel konsequenter eingesetzt werden (insbesondere Kostendeckungsprinzipien, Verursacherprinzipien), um eine Ressourcen schonende Wassernutzung zu fördern.
 - ▶ Wirksame Institutionen/Verwaltungen und aufgeklärte/verantwortungsbewusste Verbraucher spielen eine Schlüsselrolle für das Erreichen nachhaltiger Wassernutzungen und einen wirksamen Gewässerschutz.
 - ▶ Entsprechende Managementstrategien müssen kurzfristig bereit gestellt werden und sie sollten in Stufen umsetzbar sein. ■
- ▶ **Einen Hörbeitrag zu diesem Thema finden Sie im Internet:**
www.ufz.de/podcasts-wasser



Stand- und Fließgewässer sind „Hotspots“ der Biodiversität. Es leben dort überproportional viele Arten und es gilt daher, diese Lebensräume zu schützen und ihre natürlichen Funktionen zu erhalten.



Dr. Luis Samaniego

Er ist Wissenschaftler im Department Hydrosystemmodellierung am UFZ. Dr. Luis Samaniego studierte Bauingenieurwesen an der Universität Escuela Politécnica Nacional in Quito, Ecuador. 1997 beendete er erfolgreich das Masterprogramm „Master of Infrastructure Planning“ an der Universität Stuttgart. Dort schrieb Luis Samaniego am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung 2003 seine Doktorarbeit zu hydrologischen Wirkungen aufgrund von Landnutzungsänderungen.

Derzeit steht im Mittelpunkt seiner Forschungen die Weiterentwicklung des mesoscale Hydrologic Model (mHM), welches die Wechselbeziehungen zwischen Land-Vegetation-Atmosphäre einbeziehen soll.

e-mail: luis.samaniego@ufz.de



PD Dr. Michael Rode

Er ist stellvertretender Leiter des Departments Aquatische Ökosystemanalyse am UFZ und Leiter der Forschungsgruppe „GIS, Water Quality & Modelling“. 1989 erhielt er sein Diplom in Agronomie und Umweltsicherung an der Universität Gießen. In seiner Doktorarbeit ging es um diffuse Einträge von Phosphor in Oberflächengewässer (1995). Er habilitierte 2008 an der Universität Potsdam.

Seine Forschungsschwerpunkte sind unter anderem die Modellierung und das Monitoring der Fließgewässerqualität, diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge und die GIS-basierende hydrologische Modellierung.

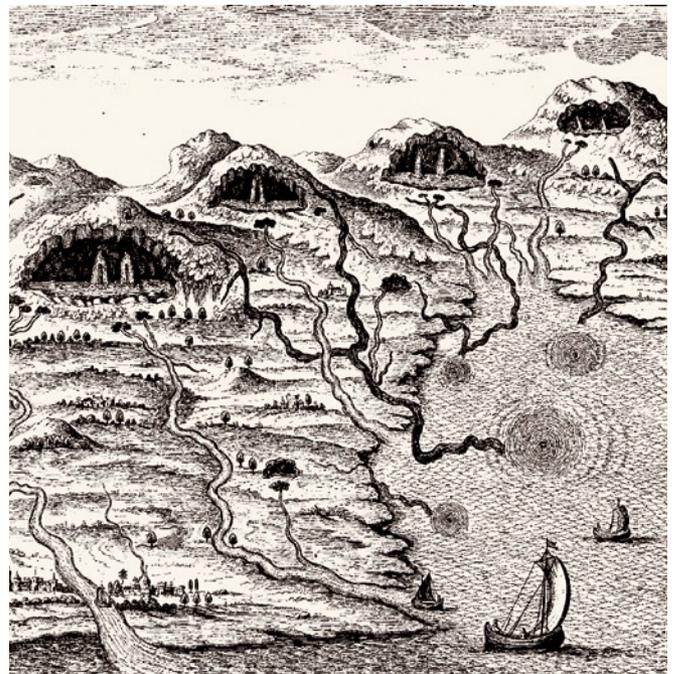
e-mail: michael.rode@ufz.de

Hydrologische Modelle (Dr. Luis Samaniego)

Acqua „vetturale di natura“. (Da Vinci)

Wasser, der Träger der Natur.

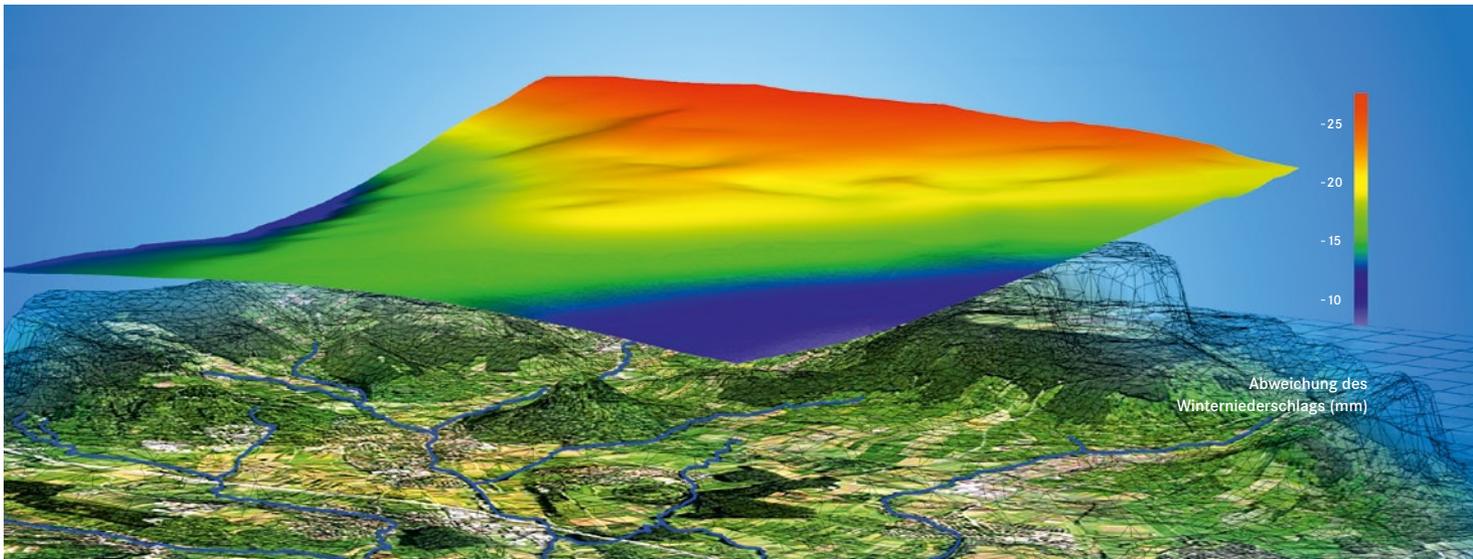
Thales von Miletus (600 v. Chr.) stellte fest, dass einer der elementaren endgültigen Stoffe auf der Welt Wasser sein müsse, da er offensichtlich lebenswichtig für alle bekannten Lebensformen ist, er in allen möglichen Zuständen der Materie vorkommt und er den größten Teil der Erdoberfläche bedeckt. Seit dieser Zeit betrachten sowohl Philosophen als auch Wissenschaftler „Wasser als die treibende Kraft der gesamten Natur“ (da Vinci). Was bis zur Aufklärung jedoch für jeden unklar blieb, war, wie der Wasserzyklus wirklich funktioniert und wie insgesamt die Einzelkomponenten mengenmäßig zu bestimmen sind.



Im Gegensatz zu heute existierten früher viele falsche Vorstellungen über den Wasserzyklus. Kircher (17. Jh.) glaubte beispielsweise, dass die Quellen in den Höhenlagen der Berge aus unterirdischen Kanälen gespeist werden, die die Quellen wiederum mit sehr großen Strudeln am Grund der Meere verbinden.

Quelle: Kircher's system of springs, rivers and seas from *Mundus Subterraneus* (1665 edn.)

Eine der ersten Vermutungen über den Wasserzyklus geht auf Aristoteles (350 v. Chr.) zurück: Er betrachtete den Wasserzyklus als ein endloses, periodisches und sich niemals änderndes System mit der Sonne als Antriebskraft hinter den Verdunstungs- und Niederschlagsprozessen. Die Vorstellung hielt sich bis Vitruvius (1 v. Chr.), der behauptete, Grundwasser sei das Ergebnis von Niederschlägen in Bergen, welche – nachdem sie in die Erdoberfläche eingesickert sind – später im Flachland in Flüssen und Quellen erscheinen. Bis zum Mittelalter gab es kaum Fortschritte. Vielmehr gab es in dieser Zeit viele falsche Vorstellungen über den Wasserzyklus.



UFZ-Modellierer arbeiten an der Verbesserung hydrologischer Modelle. In der oberen Ebene ist beispielsweise die Abweichung des Winterniederschlags vom langjährigen Mittel einer Region dargestellt. Grafik: Jesse (www.jesse3d.de)

Kircher (17. Jh.) glaubte beispielsweise, dass die Quellen in den Höhenlagen der Berge aus unterirdischen Kanälen gespeist werden, die die Quellen wiederum mit sehr großen Strudeln am Grund der Meere verbinden. Die ersten richtigen Vorstellungen vom Wasserzyklus „basierend auf Beobachtungen“ gehen auf da Vinci und Passily (beide 16. Jh.) zurück. Da Vinci bemerkte als erster, dass der unzählige Male wiederkehrende Durchfluss großer Flüsse in der Summe zu einem viel größeren Volumen führt als das, welches in den Ozeanen enthalten ist.

Heutige Hydrologen haben einen Aspekt gemeinsam mit diesen alten Gelehrten: Alle von ihnen aufgestellten Hypothesen beinhalten in irgendeiner Art und Weise Prozesse und das Innenleben des Wasserzyklus. Es gibt jedoch einen grundlegenden Unterschied zwischen modernen Hydrologen und deren antiken Vorfahren: Heute sind Experimente und deren Schlussfolgerungen mächtige Werkzeuge, um Theorien zum Wasserzyklus zu entwickeln. Der Prozess, den wir Modellierung nennen, setzt sich aus folgenden Schritten zusammen:

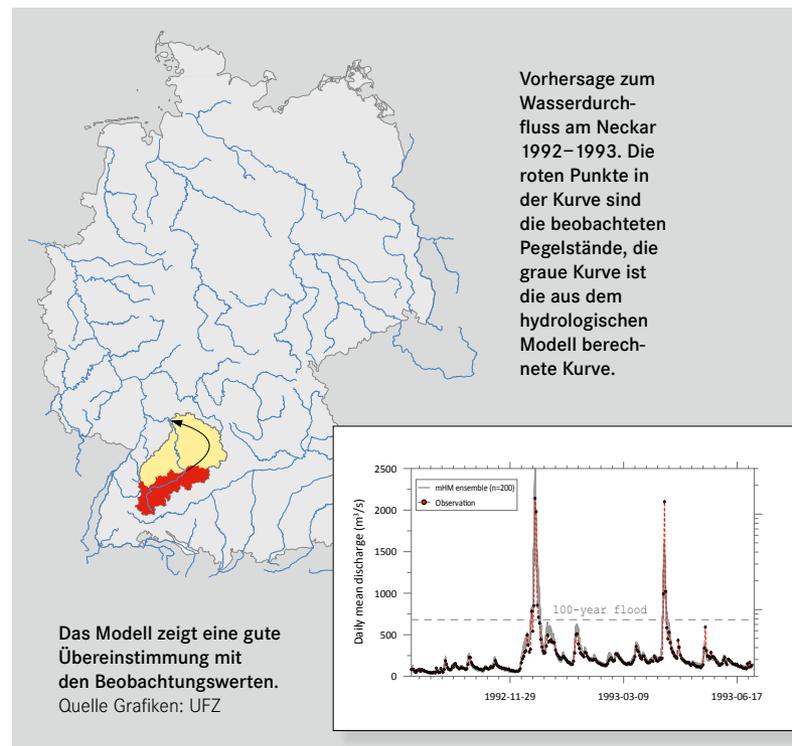
- ▶ Definition der zu beobachtenden Variablen
- ▶ Ausarbeiten eines formalen Systems, welches sich aus Hypothesen zusammensetzt
- ▶ Bewertung der Ergebnisse des formalen Systems gegenüber unabhängigen Beobachtungen

Ein hydrologisches Modell, wie das Mesoscale Hydrological Modell (mHM), welches Forscher am Department Hydrosystemmodellierung des UFZ entwickelten, ist im Prinzip nichts anderes als die Übersetzung einer Anzahl bestimmter und gut akzeptierter Hypothesen, welche die Bewegung des Wassers durch die Landschaft mit einem numerischen Algorithmus bestimmen. Das Hauptziel des Modells ist es, die Durchflussganglinie eines Flusses an einer bestimmten Pegelmessstelle nachzubilden, um so eine vernünftige Evaluierung des Modells zu ermöglichen.

Der zweite grundlegende Unterschied zu früher ist die Anwendung des Prinzips der Falsifizierbarkeit nach Popper (1935). Das Prinzip besagt, dass nur Hypothesen in Modelle (z. B. in hydrologische Mo-

delle) einfließen dürfen, die durch Experimente oder Beobachtungen getestet werden können (verifiziert oder falsifiziert).

71 Prozent der Erde ist mit Wasser bedeckt, aber nur drei Prozent davon sind Süßwasser. Von diesem schon kleinen Anteil ist nur der Bruchteil von 0,3 Prozent Oberflächenwasser, welches die Basis für die Lebensvorgänge auf der Erdoberfläche für Menschen sowie Pflanzen und Tiere ist. Der Rest des Süßwassers ist in ewigen Eiskappen und Gletschern (69 Prozent) sowie tiefen Grundwasserleitern (30 Prozent) gebunden. Daher ist das tiefere Verständnis dieses kleinen Wasseranteils entscheidend für das Schicksal der Menschheit. Die am UFZ in der Wasserforschung tätigen Wissenschaftler wollen diesen kleinen Anteil des globalen Wasserhaushaltes verstehen und berechnen.



Vorhersage zum Wasserdurchfluss am Neckar 1992–1993. Die roten Punkte in der Kurve sind die beobachteten Pegelstände, die graue Kurve ist die aus dem hydrologischen Modell berechnete Kurve.

Das Modell zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Beobachtungswerten. Quelle Grafiken: UFZ

In der hydrologischen Modellierung unterscheiden Experten zwei grundlegende Formen der Modellierung: Die quantitative und die qualitative Modellierung. Quantitative Modelle erfassen den Wasserdurchfluss durch verschiedene Kompartimente (Boden, Oberflächengewässer, Atmosphäre). Die qualitative Modellierung beschreibt den Fluss von Stoffen innerhalb des Wasserkreislaufes. Dazu gehört beispielsweise die Konzentration von Stoffen, deren Transport sowie chemisch-biologische Abbauprozesse von Stoffen. Die quantitative hydrologische Modellierung ist die Grundlage für qualitative Modelle wie beispielsweise die Gewässergütemodellierung.

Die großen Herausforderungen in der quantitativen hydrologischen Modellierung

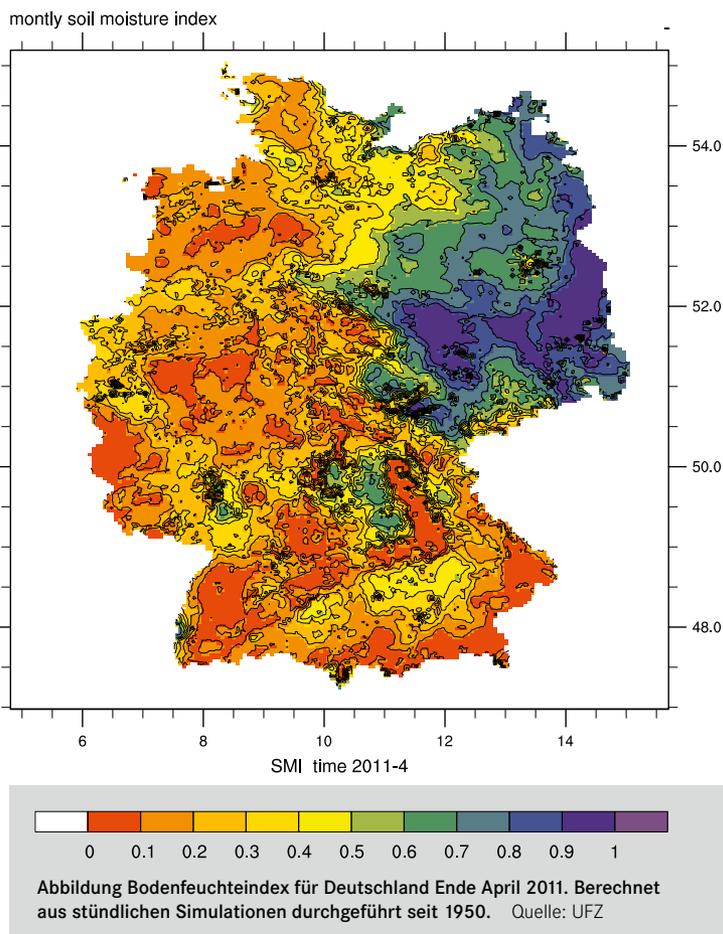
Im Grunde sind alle Modelle falsch, aber einige sind nützlich. (George Box)

Seit dem 18. Jahrhundert gab es große Fortschritte in Messtechnik, Physik, Meteorologie, Bodenphysik, Biologie, Fernerkundung und Geologie. Sie alle trugen zur Entwicklung der heutigen hydrologischen Modelle bei. Trotzdem bleiben viele Fragen noch unbeantwortet, wie zum Beispiel: Wie können diese Modelle für Skalen parametrisiert werden, die größer als punktuelle Laborexperimente und Lysimetermessungen (Bereich von 0,01 bis 10 Metern) sind, auf denen physikalische Theorien normalerweise direkt getestet werden können.

Besondere Bedeutung hat die typische Skala beim Wassermanagement: Sie bewegt sich auf der Mesoskala, d. h. in Größenordnungen von 10^2 bis 10^4 km² (100–10.000 Quadratkilometer). Das entspricht Flächenskalen von Flussgebieten. Leider ist es auf einer solchen Skalenebene beispielsweise unmöglich, die Wasserdurchlässigkeit des Oberbodens genau zu bestimmen. Solche Eigenschaften lassen sich daher nur indirekt ableiten. Auch ist nicht bekannt, ob die auf der niedrigen Skala getesteten Gleichungen auch für die Mesoskala, also ganze Flussgebiete, gelten. Und es stellt sich die Frage, wie wichtig die kleinskalige Heterogenität von Bodenoberflächeneigenschaften für die Abschätzung von effektiven Parametern auf der Mesoskala ist. So ist das Ausmaß von Rückkopplungseffekten bei Prozessen zwischen den Kompartimenten Boden-Pflanze-Atmosphäre unsicher. Genauso gibt es noch viele offene Fragen zu den Folgen der vom Menschen verursachten Effekte auf den Wasserkreislauf. Beispiele solcher menschlichen Effekte sind der Landnutzungswandel und der starke Kohlendioxidanstieg in der Atmosphäre. Bestehende hydrologische Modelle sind in ihren Vorhersagen noch ungenau. Die Hauptgründe dafür sind das starke nicht-lineare und stochastische Verhalten von Wetter, Lücken beim Verstehen von Prozessen und die unzureichende Qualität von Messdaten für die relevante Größenskala. Verantwortungsvolle Politiker und Entscheidungsträger sollten daher sowohl die Grenzen bestehender Modelle im Auge haben als auch Folgen für das Management von Wasserressourcen, Anpassungen an den Klimawandel und Klimaschutzstrategien berücksichtigen. Im Rahmen dieses Kontexts konzentriert die Arbeitsgruppe „Stochastische Hydrologie“ ihre Forschungsaktivität auf drei übergreifende große Herausforderungen:

► Herausforderung 1

Aufgrund der Tatsache, dass an den meisten Standorten am Gewässernetz weltweit keine Pegelmessungen vorliegen, also auch keine Durchflussmessungen vorhanden sind, ist es von grundlegender



Bedeutung, einerseits bessere Modelle zu entwickeln und andererseits ein Parametrisierungsschema aufzustellen, welches die Unsicherheit von Vorhersagen an solchen Standorten minimiert. Genaue Abflussvorhersagen sind wesentlich für die Einführung von Echtzeit-Hochwasservorhersagen und Warnsystemen (siehe Abbildungen zu Vorhersagen zum Wasserdurchfluss am Neckar, S. 9).

► Herausforderung 2

Planer und Wassermanager benötigen nicht nur den Durchfluss, sondern auch andere hydrologische Variablen, wie die Rate der Grundwasserneubildung, die Bodenfeuchte an der Oberfläche und die Verdunstungsraten. Sie benötigen diese Werte, um frühzeitig vor Dürre zu warnen, ihre Wasserreservoir optimal zu betreiben und den Wasserverbrauch für die Bewässerung abzuschätzen. Dafür müssen wir dringend die Fähigkeit entwickeln, das Wasser global auf einer Skala von ein bis fünf Kilometern zu beobachten und dessen Bewegung vorherzusagen. Die weitere Verbesserung der Nutzung von Fernerkundungsdaten ist sicherlich die einzige kosteneffektive Alternative, um dieses Ziel zu erreichen (siehe Abbildung Bodenfeuchteindex für Deutschland Ende April 2011. Berechnet aus stündlichen Simulationen durchgeführt seit 1959, links).

► Herausforderung 3

Die dritte und möglicherweise komplexeste Herausforderung ist die Vorhersage von hydrologischen Variablen, die von nicht-stationären Wettersystemen angetrieben werden (beispielsweise unter dem Einfluss des Klimawandels). Der Klimawandel macht die klassische Extremwert-Statistik bedeutungslos, da vergangene hydrologische Daten statistisch nicht mehr repräsentativ für zukünftige klimatische Zustände sind. Wenn in diesem Bereich daher in den nächsten Jahrzehnten kein Fortschritt erzielt wird, werden viele technische

Bauwerke wie Dämme, Überläufe, Abwasserkanäle und Brückenpfeiler Gefahrenstufen ausgesetzt, die in ihrer Planungsphase nicht berücksichtigt wurden. Dadurch besteht zukünftig die Gefahr, dass sie den neuen Belastungen nicht standhalten.

Wasser: Leben und Zerstörung

Die Vereinigten Staaten haben lange von sich selbst gedacht, ein Land im Überfluss zu sein, und geschichtlich hatten wir üppige Ressourcen. Aber heute zehren wir Stück für Stück unsere Fischerei, unseren Boden, unser Wasser aus. Hinzu kommt, dass wir ans Ende der Weltressourcen kommen. (Jared Diamond)

Nach den Vereinten Nationen sind extreme hydro-klimatische Ereignisse der Hauptgrund für die großen Naturkatastrophen. Allein 2008 betrug die durch Dürre verursachten Verluste 570 Mrd. Dollar. Beobachtungen bestätigen die Zunahme der globalen Durchschnittstemperatur um 1 Grad Celsius über dem Land im Vergleich zu vorindustriellen Zeiten. Darüber hinaus zeigen in den letzten 50 Jahren Trends die Zunahme heißer Wetterextreme und die Abnahme von kalten Extremen. Auch nahm in dieser Zeit die Intensität von Niederschlags extremen zu. Folglich erwarten Wissenschaftler aufgrund des Klimawandels, dass sich die Wasserbilanz von Flussgebieten und die Verteilung der Feuchte in den oberen Bodenschichten ändern.

Prognosen gehen weltweit von sehr großen sozio-ökonomischen Kosten durch den Klimawandel aus. Früher oder später müssen Zielkonflikte sowohl zwischen Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen als auch deren gegebenen Unsicherheiten in einer offenen Diskussion zwischen Stakeholdern, Wasserplanern und Wissenschaftlern abgewogen werden. Denn eine Strategie des „Nichtstun“ ist keine brauchbare Alternative. Leistungsfähige hydrologische Modelle und Simulationstechniken werden dringend für die Auswahl nachhaltiger Aktionspläne für bestimmte Regionen benötigt. Diese Aufgabe ist das langfristige Ziel der Forschungsgruppe am UFZ.

Gewässergütemodellierung (Dr. Michael Rode)

Für das erfolgreiche Wassermanagement werden robuste Methoden für die Ermittlung von Nähr- und Schadstoffeinträgen in die Gewässer aus den diffusen, zumeist landwirtschaftlichen Quellen sowie aus punktuellen Einträgen der Siedlungswasserwirtschaft und der Industrie benötigt. Trotz erheblicher Anstrengungen, die stoffliche Belastung der Oberflächengewässer zu reduzieren, sind die Nährstoffbelastungen immer noch zu hoch. Beispielsweise wird die Gewässergüteklasse II für Gesamt-Phosphor nur an 27 Prozent der Fließgewässermessstellen in Deutschland erreicht. Bei der Nährstoffbelastung der Gewässer dominieren inzwischen die Einträge aus diffusen Quellen, welche vor allem landwirtschaftlichen Ursprungs sind. Der Anteil der diffusen Quellen liegt bei 80 Prozent beim Stickstoff und 70 Prozent beim Phosphor. Der Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer beträgt in Deutschland etwa 30 Tonnen pro Jahr – jedoch behaftet mit einem hohen Unsicherheitsbereich. Das sind etwa 0,1 Prozent der verwendeten Mengen. Auch bei den Schwermetalleinträgen haben die diffusen Quellen gegenwärtig einen dominierenden Anteil von ungefähr 80 Prozent. Die Eintragspfade der Schwermetalle sind vielfältig und umfassen maßgeblich die Kanalisationen und nicht an die Kanalisa-

tion angeschlossene Siedlungen, die Bodenerosion und Grundwasserzuflüsse.

Die Nährstoffbelastung und die hierdurch bedingte Anreicherung von Nährstoffen in Binnen- und Küstengewässern sind nicht beschränkt auf Zentraleuropa. Es handelt sich um ein weltweites Umweltproblem und es sind erhebliche Anstrengungen erforderlich, um die Belastungen zu reduzieren und deren ökologische Wirkungen zu minimieren. Das zeigt sich insbesondere in den wachsenden Problemen der wirtschaftlich stark aufstrebenden asiatischen Länder wie China und Indien. Hier verstärkt sich das Problem der Gewässerbelastung noch dadurch, dass in diesen Regionen das Trinkwasser vornehmlich aus Oberflächengewässern entnommen wird. Seit vielen Jahren verwenden Praktiker Gewässergütemodelle, um wissenschaftliche Grundlagen für Entscheidungen beim Gewässermanagement zu liefern. Mit den Modellen kann eine Verbindung zwischen Managementmaßnahmen und deren Wirkung auf die Gewässerökosysteme hergestellt werden. Modelle helfen, die dominierenden Eintragspfade in die Gewässer zu bestimmen, die Effizienz von Maßnahmen zu bewerten, mit denen Umweltziele erreicht werden sollen, und kostengünstige Maßnahmenkombinationen auszuwählen. Aufgrund zunehmender rechtlicher Anforderungen beispielsweise durch die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) oder des Clean Water Act in den Vereinigten Staaten gewinnen das integrierte Einzugsgebietsmanagement und der Einsatz von Gewässergütemodellen an Bedeutung.

Wodurch sind Gewässergütemodelle gekennzeichnet?

Um Nährstoffeintrag und Schadstoffbelastung der Oberflächengewässer zu kontrollieren, ist es notwendig, die Landnutzung mit den Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Oberflächengewässer zu verknüpfen und hierbei die physikalischen, chemischen und biologischen Wechselwirkungen zu berücksichtigen. Gewässergütemodelle versuchen, die räumliche und zeitliche Dynamik der betrachteten Stoffe zu beschreiben. In den zurückliegenden Jahrzehnten erweiterten Experten die Anzahl von Stoffen und Stoffgruppen, die in Gewässergütemodellen berücksichtigt werden, stetig. Die Modelle lassen sich anhand ihrer Komplexität, ihres Anwendungsgebietes (Einzugsgebiet, Fließgewässer, Seen und Talsperren) und ihrer Beschaffenheitsgrößen (Nährstoff, Sauerstoffgehalt, Schwermetalle, organische Schadstoffe) unterscheiden.

Ein wichtiges Ziel der Einzugsgebietsmodelle ist die Abbildung der räumlichen Variabilität, die die Eintragsprozesse in die Fließgewässer



Bei der Nährstoffbelastung der Gewässer dominieren inzwischen die Einträge aus diffusen Quellen, welche vor allem landwirtschaftlichen Ursprungs sind. Foto: © W-FOTO, Fotolia.com

ser sehr häufig kennzeichnen. Die Modellierung von Einzugsgebieten ist sehr komplex, da Wasser und Stoffflüsse und deren Umsatz in verschiedenen Landschaftskompartimenten (Boden, Grundwasserleiter und Fließgewässer einschließlich der Wechselwirkungen zwischen Fluss und Aquifer) zu beschreiben sind. Das führt zu einem erheblichen Datenbedarf für die Anwendung der Modelle. Sehr detaillierte räumliche Untersuchungen können häufig nur in sehr kleinen Gebieten durchgeführt werden. Die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse über das dominierende Transport- und Umsetzungsverhalten auf größere Landschaftsausschnitte oder ganze Flusseinzugsgebiete ist ähnlich wie bei der bereits oben beschriebenen quantitativen Hydrologie nicht einfach, da die Bedeutung von Verlagerungsprozessen (z. B. mit dem Oberflächenabfluss) auch von der Größe des betrachteten Einzugsgebietes abhängig ist. Zudem ist es oft schwierig, die räumliche Variabilität der Rechenergebnisse mit Messdaten zu überprüfen.



Getigter Flohkrebs (*Gammarus tigrinus*) aus der Mittelalpe. Modelle, die die Wirkung von Nähr- und Schadstoffeinträgen auf aquatische Lebensgemeinschaften ermitteln, zeichnen sich generell durch eine hohe Komplexität aus. Foto: Michael Beyer/UFZ

Um den Transport von Stoffen in einem Einzugsgebiet korrekt zu ermitteln, ist es nicht nur notwendig, die Einträge in das Gewässer zu berechnen. Vielmehr müssen Wissenschaftler und Praktiker auch den gewässerinternen Abbau und Rückhalt von Stoffen richtig ermitteln. Neuere Untersuchungen zeigen, dass beispielsweise der Abbau von Nitrat in Fließgewässern sehr bedeutsam sein kann und somit auch die Nitratfracht aus einem Einzugsgebiet stark beeinflusst. Das ist wichtig, wenn die für die Einträge besonders sensiblen Flächen in einem Einzugsgebiet bestimmt werden sollen.

Modellierung gewässerinterner Prozesse

Im Vergleich zu Einzugsgebietsmodellen konzentrieren sich Fließgewässergütemodelle ausschließlich auf gewässerinterne Prozesse und lassen die Umgebung außen vor. Fließgewässergütemodelle ermitteln vornehmlich die Wirkung von Nähr- und Schadstoffeinträgen auf den Gewässerstoffhaushalt und aquatische Lebensgemeinschaften. Weil detaillierte Fließgewässergütemodelle auch biologische Vorgänge wie Algenwachstum oder das Abweiden von Algenmatten am Bachgrund durch Zooplankton beschreiben, zeichnen sich diese Modelle generell durch eine hohe Komplexität und Anzahl von Modellparametern aus.

Der kontinuierliche Anspruch, so viele Erkenntnisse wie möglich in die „Stand des Wissens“-Modelle aufzunehmen, hat zu einer ständig wachsenden Komplexität der Modellstrukturen geführt. Und je mehr Prozesse in einem Modell einfließen, desto höher ist auch der Bedarf an Beobachtungen und Messdaten, um Modellergebnisse mit hinreichender Sicherheit zu erzielen. Beispiel Fließgewässerplank-

tonmodelle: Die Anzahl von Modellparametern, die durch Messdaten bestimmt werden müssen, nimmt im Quadrat mit der Anzahl der Modellkomponenten zu.

Deshalb muss bereits bei der Auswahl und Entwicklung von Gewässergütemodellen die optimale Modellkomplexität bestimmt werden, um potenzielle Managementoptionen mit einer akzeptablen Spanne von Unsicherheiten bewerten zu können – eine kritische Aufgabe. Neuere Untersuchungen zeigen, dass für die Ermittlung der Stoffumsätze im Fließgewässer den Vorgängen in der Bach- oder Flussole (Boden – Wasser- Grenzschicht) eine besondere Bedeutung zukommt. Jedoch variiert die Bedeutung in Abhängigkeit von der Größe des Fließgewässers. In kleinen Gewässern sind beispielsweise Austauschvorgänge zwischen dem Freiwasser und der Bachsole häufig stärker ausgeprägt als in großen Flüssen. In diesem dominieren Stofftransport- und Umsetzungsprozesse im frei fließenden Wasserkörper. Forschungen haben gezeigt, dass die Bach- oder Flussole eine sehr wichtige Rolle in der Erhaltung und Regulierung des gewässerinternen Nährstoffhaushaltes und des Selbstreinigungspotenzials des Gewässers spielt. Die Erforschung dieser Prozesse und deren Berücksichtigung in Fließgewässergütemodellen steht allerdings noch am Anfang.

Forschung zur Gewässergütemodellierung am UFZ

Nach wie vor sind die heutigen Gewässergütemodelle mit großen Unsicherheiten und Wissensdefiziten behaftet. Ursache ist vor allem die eingeschränkte Datenverfügbarkeit. Dennoch sind sie inzwischen ein wichtiges Handwerkszeug für Wassermanager, um ein integriertes Wassermanagement in Flussgebieten umzusetzen. Ohne den Einsatz von Modellierungstools wäre es beispielsweise nicht möglich, den Einfluss alternativer Managementmaßnahmen oder den Einfluss des Klimawandels auf die Gewässergüte zu bewerten. Die Forschung zur Gewässergütemodellierung am UFZ konzentriert sich darauf, die Verknüpfung von Transportprozessen auf der Landoberfläche mit den Transport- und Umsatzprozessen im Gewässer zu verbessern. Zum einen erproben Forscher neue Ansätze, um die Fließwege des Wassers vom Land zum Fließgewässer zu ermitteln, da diese beispielsweise entscheidend die Höhe des Eintrags von Nährstoffen von landwirtschaftlichen Flächen bestimmen. Darüber hinaus sind die Prozesse im Gewässer in den derzeit verfügbaren Modellen nur unzureichend abgebildet. Häufig fehlen in den Managementmodellen die Beschreibungen der Nährstoff- und Schadstoffumsätze in der Flussole. Hierzu ist ein besseres Verständnis der biogeochemischen Umsetzungen und deren Abhängigkeit vom Austausch zwischen dem Wasserkörper und den Bachsedimenten erforderlich. Hydrologische Observatorien, also Mess- und Beobachtungsstationen in und an Gewässern, die im Rahmen des Helmholtz-Projektes TERENO (www.tereno.net, siehe auch S. 37) installiert werden, sollen helfen, derartige Prozesse besser zu verstehen. Dabei handelt es sich um langfristige Untersuchungskonzepte in ausgewählten Einzugsgebieten mit mehreren Tausend Quadratkilometern, in denen gezielt kleinräumige Prozessuntersuchungen mit Untersuchungen zu großräumigen und langfristigen Änderungen in Flussgebieten durch Landnutzung und Klimawandel verknüpft werden. Damit wird eine systematische Datengrundlage für die Weiterentwicklung der Gewässergütemodelle geschaffen.

Nur wenn wir unser Prozessverständnis auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen verbessern und konsequent neue Methoden bei der Bewertung der Simulationsergebnisse entwickeln, werden Modelle eine breite Akzeptanz in Wissenschaft und Praxis finden. ■

WASSER UND GESELLSCHAFT

Wasser ist lebensnotwendig. Jeder Mensch benötigt etwa zwei Liter am Tag zum Trinken. Der durchschnittliche Tagesverbrauch an Leitungswasser liegt in Deutschland hingegen bei 125 Liter. Hier haben wir ausreichend sauberes Trinkwasser, anderswo hingegen sind Wasserversorgung und Hygiene katastrophal. Das Management der Ressource Wasser ist eine globale Herausforderung der Gesellschaft.

In den Jurtensiedlungen der Mongolei verbrauchen die Menschen nur etwa zehn Liter am Tag, in den USA durchschnittlich rund 260 Liter und in den Vereinigten Arabischen Emiraten bis zu 500 Liter am Tag. Wasser ist eben nicht nur ein Lebensmittel, es ist auch ein Indikator für Luxus und Armut. Nach Angaben der UN haben weltweit rund eine Milliarde Menschen nicht genügend Trinkwasser – die Hälfte davon Kinder. Etwa 2,6 Milliarden Menschen leben unter ungenügenden sanitären Bedingungen, was zu Krankheiten führt, an denen rund fünf Millionen Menschen pro Jahr sterben. Hinzu kommen katastrophale Folgen, die Dürren oder Fluten gerade in den ärmsten Regionen der Welt immer wieder mit sich bringen, wie die derzeitige Hungersnot in Ostafrika oder die Überschwemmungen in Sri Lanka Anfang dieses Jahres. Diese Fakten werden oft unter dem Schlagwort „Wasserkrise“ zusammengefasst.



In den Jurtenvierteln in der Mongolei verbrauchen die Einwohner nur ungefähr 10 Liter Wasser pro Tag. Am Stadtrand von Darkhan muss man das Trinkwasser mit Kanistern nach Hause tragen.

Foto: Lena Horlemann/UFZ



Dr. Bernd Klauer

Er ist Wissenschaftler im Department Ökonomie am UFZ. Seit 2007 leitet Dr. Bernd Klauer die Arbeitsgruppe „Sozialwissenschaftliche Wasserforschung“.

Bernd Klauer hat an der Universität Heidelberg Mathematik studiert und promovierte 1997 zu dem Thema „Nachhaltigkeit und das Problem der Bewertung von Natur“. Seine derzeitigen Forschungsschwerpunkte sind unter anderem Theorie und Methoden der Entscheidungsunterstützung, multikriterielle und monetäre Bewertung sowie Theorie im Grenzbereich von Ökonomie und Ökologie.

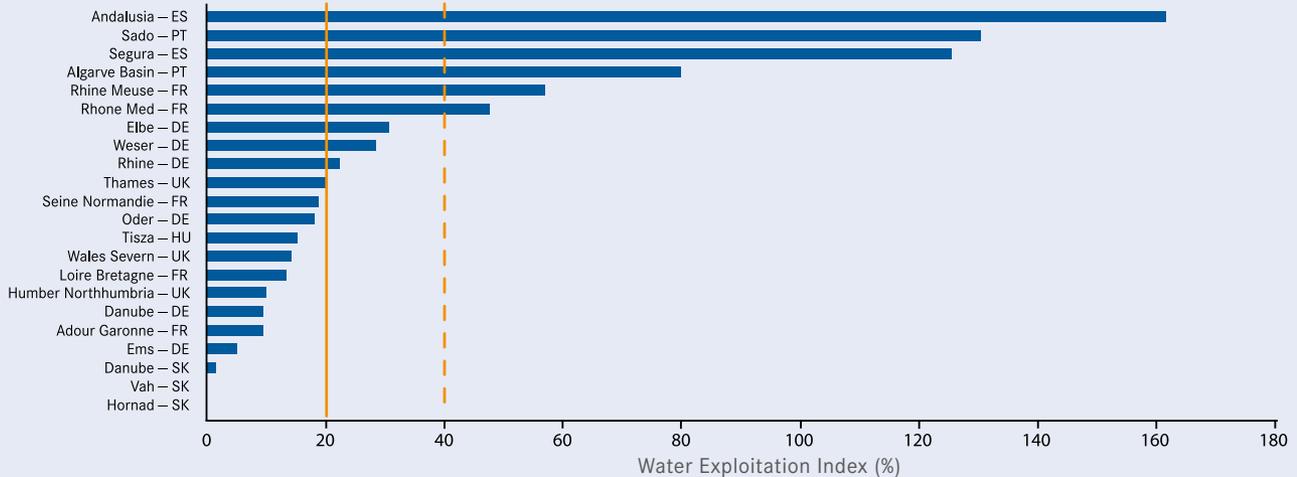
e-mail: bernd.klauer@ufz.de

Wasserprobleme sind Probleme der Gesellschaft in ihrem Umgang mit Wasser

Der Wasserdirektor im Bundesumweltministerium Dr. Fritz Holzwarth stellte in einem Interview (siehe UFZ-Spezial „In Sachen Wasser“) klar: „Wir haben keine globale Wasserknappheit. Es handelt sich um regionale Wasserkrisen in der arabischen Welt, in großen Teilen Afrikas, Asiens, Südamerikas und immer mehr auch im Süden Europas. (...) Die Wasserkrise ist eine Governancekrise.“ Mit anderen Worten, das eigentliche Problem ist nicht, dass Wasser fehlt, sondern dass die Ressourcen nicht richtig gemanagt werden. Die Gesellschaften gehen mit dem verfügbaren Wasser oft unverantwortlich um.

Doch nicht nur der Umgang mit Wasserknappheit ist ein Problem, es gelingt auch nicht, das Wasser sauber zu halten. Schadstoffe gelangen in unterschiedlichen Mengen, Gemischen und auf

Water Exploitation Index (WEI) for selected river basins across Europe



In der Grafik ist der „Water exploitation index“ für verschiedene Flusseinzugsgebiete in Europa aufgetragen. Der Index gibt an, um welchen Faktor der anthropogene Wasserverbrauch das gesamte regionale Wasserdargebot unter- bzw. übersteigt. Bei einem Anteil von über 20 Prozent spricht man von Wasserstress, ab 40 Prozent von schwerem Wasserstress, der ökologische Schäden nach sich zieht und sicherlich nicht nachhaltig ist. Die Grafik zeigt, dass in einigen südeuropäischen Einzugsgebieten extreme Wasserknappheit herrscht.

Quelle: European Environment Agency: Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought, EEA Report No. 2/2009, Kopenhagen, S. 17–18

unterschiedlichsten Wegen in den gesamten Wasserkreislauf, also in Flüsse, Seen, Meere und das Grundwasser. Letztendlich werden Qualitätsprobleme damit auch wieder zu Quantitätsproblemen, denn verschmutztes Wasser, insbesondere Fluss- und Grundwasser, kann nicht für die Trinkwasserversorgung genutzt werden – zumindest nicht ohne aufwändige Aufbereitung. Von den Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und viele wichtige Funktionen und Leistungen der Gewässer ganz zu schweigen.

Viele der Wasserprobleme entstehen indirekt: Flussbegradigungen, Ufer- und Sohlebefestigungen, Sedimenteinträge und andere anthropogene Veränderungen der Flussläufe und das Düngen der Felder beeinträchtigen die Gewässerökologie – also Fische und andere Wasserorganismen sowie deren Funktionen in den Gewässern. Das hat wiederum negative Folgen für die Selbstreinigung und schließlich die Sauberkeit der Gewässer. In Deutschland sind immerhin 91 Prozent der Flüsse in keinem ökologisch guten Zustand. Kaum findet man noch einen Bach, geschweige denn einen größeren Fluss, der in einem naturbelassenen Zustand ist und in dem die Fische, Wasserpflanzen und Kleinlebewesen vorkommen, deren ursprünglicher Lebensraum es einmal war.

Die Probleme, die Menschen mit Wasser haben können, sind so vielfältig wie die Nutzungsmöglichkeiten. Deshalb ist es für einen verantwortlichen Umgang mit der Ressource Wasser notwendig, den gesamten Wasserkreislauf zu betrachten, die verschiedenen direkten und indirekten Wasserdienstleistungen zu berücksichtigen sowie alle Nutzer und Betroffenen einzubeziehen. Das schließt den Klimawandel, die Wirtschafts- und Verkehrsentwicklung und den demographischen Wandel ein.

Nachhaltiges Wassermanagement – eine Gemeinschaftsaufgabe

Das Management der Ressource Wasser ist also eine gewaltige Herausforderung, wenn auch keine ganz neue: Natürlich haben sich Menschen schon immer darum gekümmert, dass sie genügend sauberes Wasser unter anderem zum Trinken und Waschen haben. Im antiken Rom gab es bereits eine ausgeklügelte Wasserver- und

-entsorgung. Die Hygieneprobleme in den großen mitteleuropäischen Städten wurden vor etwa 100 Jahren durch den Bau von Abwasserkanalnetzen und Rieselfeldern erfolgreich gelöst. Die Fluten des Oberrhein wurden in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts vom Ingenieur Johann Gottfried Tulla eingedämmt, die Malaria zurückgedrängt und die Flussniederungen für die Landwirtschaft nutzbar gemacht. Eine gut organisierte Wasserwirtschaft gibt es also schon lange, aber die komplexen Wirkungen wurden nicht vollständig überblickt und die wasserwirtschaftlichen Eingriffe waren zu einseitig auf ihre spezifischen Zwecke bezogen.

INTEGRIERTES WASSERRESSOURCEN-MANAGEMENT

Integriertes Wasserressourcenmanagement (IWRM) bezeichnet ein Management, das sich an gesellschaftlichen Zielen wie der Wohlfahrtssteigerung und dem Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen ausrichtet und integrativ ist. Integrativ bedeutet unter anderem, dass

- ▶ ökologische, ökonomische und soziale Ziele gemeinsam und gleichberechtigt zu verfolgen sind,
- ▶ die verschiedenen gesellschaftlichen und private Akteure, insbesondere jedoch die direkt Betroffenen in Planungs- und Entscheidungsprozessen einzubeziehen sind und
- ▶ sowohl wissenschaftliches Wissen als auch praktische Erfahrungen für Entscheidungen genutzt werden sollen.

Die bekannteste und häufig zitierte Definition von IWRM wurde von der Global Water Partnership im Jahre 2000 gegeben:

„IWRM is a process which promotes the co-ordinated development and management of water, land and related resources, in order to maximize the resultant economic and social welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems.“

Deshalb heißt der Leitbegriff des heutigen Wassermanagements „Integriertes Wasserressourcenmanagement“ (IWRM). Damit ist eine Organisation der Wassernutzungen gemeint, die an dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung ausgerichtet ist und alle Wassernutzungen sowie den Schutz der Natur im Auge hat (vgl. Kasten 1).

Weil Wasser lebenswichtig ist und weil die Organisation der verschiedenen Nutzungen auf die eine oder andere Weise alle betrifft, ist das Wasserressourcenmanagement eine Gemeinschaftsaufgabe. Mit anderen Worten: Wasserressourcenmanagement ist Teil der Daseinsvorsorge und damit zunächst eine Sache des Staates. Der Staat muss letztendlich dafür sorgen, dass Trinkwasser zur Verfügung steht und die Flüsse und Seen sauber sind. In Deutschland macht er das zum Beispiel, indem er Wasserver- und -entsorgungsunternehmen beauftragt und kontrolliert sowie Vorschriften zur Nutzung und Reinhaltung der Gewässer erlässt. An grenzüberschreitenden Flüssen wie der Elbe oder dem Rhein muss Deutschland sich mit den anderen Anliegern koordinieren, denn die Schadstoffe machen an den Grenzen nicht halt.

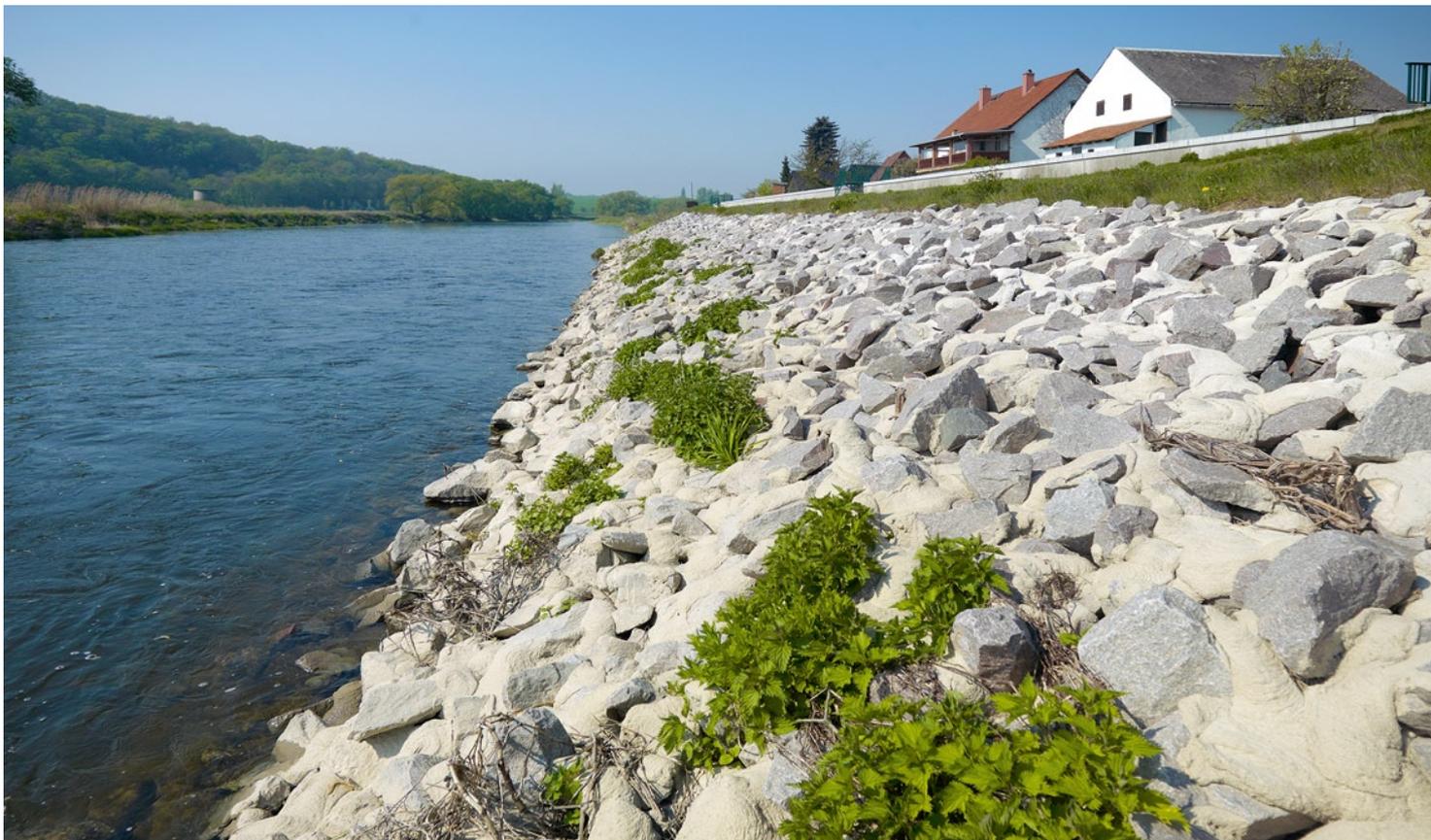
Während man seit den 1970er Jahren in (West-)Deutschland mit einer auf Verschmutzungsgrenzwerten und technischen Regelungen basierenden Gesetzgebung große Fortschritte bei der Reinhaltung der Gewässer gemacht hat und Trinkwasser seither als das am besten kontrollierte Lebensmittel gilt, blieb der ökologische Zustand der Flüsse und Seen äußerst unbefriedigend. Wo gibt es noch Flussperlmuscheln, Lachse oder Aale? Nur in wenigen Gewässern entspricht die Artenzusammensetzung dem, was in menschlich unbeeinflussten Gewässern vorgefunden werden würde. Die üblichen Instru-

mente des Staates und der von ihm beauftragten Wasserwirtschaft reichen nicht aus, um im Sinne eines nachhaltigen, integrierten Wasserressourcenmanagements die Wassernutzungen langfristig zu sichern und gleichzeitig intakte Ökosysteme herzustellen. Hierfür bedürfte es einer sektorübergreifenden Gesetzgebung oder einer Super-Regulierungsbehörde mit entsprechenden Handlungsvollmachten, für deren Errichtung es offensichtlich keinen politischen Willen gibt. Deshalb ist der Staat für ein IWRM auf die freiwillige Mithilfe vieler privater Akteure angewiesen, und es sind Tendenzen unübersehbar, die auf den Einsatz indirekter Steuerungsmittel, wie etwa Wassernutzungsabgaben, oder kooperativer Strategien (siehe Infobox „Governance“ auf S. 16) setzen.

Ansätze eines modernen, vorbildlichen Wasserressourcenmanagements – die EG-Wasserrahmenrichtlinie

Die Herausforderungen eines nachhaltigen, integrierten Wasserressourcenmanagements stellen sich weltweit. Wenn man nach Beispielen sucht, wo und wie diesen Herausforderungen bisher am Besten begegnet wurde, stößt man auf die europäische Wasserrahmenrichtlinie – kurz WRRL. Sie ist ein Gesetzeswerk, das in vielerlei Hinsicht als ambitioniert und innovativ betrachtet werden kann und Vorbildcharakter besitzt – sowohl für das Wasserressourcenmanagement außerhalb der EU als auch für die europäische Umweltgesetzgebung in anderen Bereichen.

Die WRRL wurde im Jahre 2000 verabschiedet und fordert ein an Flusseinzugsgebieten ausgerichtetes Management und eine sektorübergreifende Koordination, insbesondere eine Zusammenarbeit von Wasser- und Landwirtschaftspolitik. Ihr zentrales, ehrgeiziges Um-



Uferbefestigungen an der Mulde in Sachsen. Zwar sind die chemischen Belastungen von Flüssen und Seen in Deutschland erheblich zurückgegangen, trotzdem bleibt der ökologische Zustand der meisten Gewässer unbefriedigend. Häufig sind wasserbauliche Maßnahmen wie Ausbau für die Schifffahrt oder Hochwasserschutz dafür verantwortlich.

weltziel ist es, prinzipiell in allen Grundwässern, Oberflächen- und Küstengewässern bis zum Jahr 2015 einen guten Gewässerzustand zu erreichen. Die WRRL verpflichtet die Mitgliedstaaten auf dieses Umweltziel, schreibt aber nicht im Detail vor, auf welche Weise die Staaten es erreichen sollen. Das gibt den Behörden die Freiheit, neuartige Instrumente und insbesondere Governanceinstrumente zu verwenden – was diese auch tun. So wurden in vielen Bundesländern sogenannte Gewässerbeiräte gegründet, in denen Interessensvertreter wichtiger gesellschaftlicher Gruppen sitzen. Hier treten die Behörden nicht so sehr als Prinzipal, sondern eher als Verhandlungspartner oder gar als Moderator von Interessen auf. So lassen sich zuweilen überraschende Fortschritte erzielen.



Saalemündung in die Elbe. Die Wasserrahmenrichtlinie der EU (WRRL) fordert ein an Flussgebieten ausgerichtetes Management. Ziel der WRRL ist es, bis zum Jahr 2015 einen guten Gewässerzustand von Grundwässern sowie Oberflächen- und Küstengewässern zu erreichen.

Angesichts der Komplexität der Aufgabe ist es allerdings nicht verwunderlich, dass die Umsetzung der WRRL insgesamt nur schleppend vorangeht und sich immer wieder Schwierigkeiten auftun. Zu nennen ist hier insbesondere die ausufernde Inanspruchnahme von Ausnahmeregelungen gemäß Artikel 4 WRRL, so dass die flächendeckende Realisierung eines guten Gewässerzustandes weit in die Zukunft verschoben wird. Allein in der Bundesrepublik wurden für 82 Prozent aller Oberflächengewässer Ausnahmetatbestände in Form einer Fristverlängerung in Anspruch genommen. Ähnliche Zahlen melden auch die anderen EU-Mitgliedsstaaten. Trotz dieser Schwierigkeiten und Unzulänglichkeiten bei der Umsetzung der WRRL muss ganz klar festgehalten werden, dass mit der WRRL ein Paradigmenwechsel vollzogen worden ist, der die einmalige Chance bietet, Signale bei der Lösung einer weltweiten Zukunftsaufgabe zu setzen.

Forschung zu Wasser und Gesellschaft am UFZ

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie ist für die Sozialwissenschaftler des UFZ ein hervorragend geeignetes Beispiel, um daran die praktischen und theoretischen Probleme eines integrierten Wasserressourcenmanagements zu studieren und Schlussfolgerungen für die Lösung von Wasserproblemen in anderen Regionen der Welt zu ziehen. Darüber hinaus befassen sich die UFZ-Forscher mit dem Management von Hochwasserrisiken, dem Umgang mit Wasserknappheiten sowie der Anpassung wasserbezogener Infrastruktursysteme an den demographischen und klimatischen Wandel. Diese Bandbreite der Themen und Projekte erfordert die unterschiedlichsten Methoden und Herangehensweisen: Gemeinsam mit Naturwissenschaftlern des UFZ untersuchen die Ökonomen, Juristen, Politologen, Geographen, Soziologen und Philosophen, wie die unterschiedlichen Akteure aus der Wasser- und Landwirtschaft, den zuständigen Ministerien, Umweltbehörden und -verbänden auf lokaler, regionaler, auf Bundes und EU-Ebene innerhalb bestimmter gesellschaftlicher Rahmenbedingungen zusammenwirken. Sie analysieren, wie politische Entscheidungen über die Nutzung und Gestaltung von Gewässern und Landschaften getroffen werden und welches Wissen, welche wissenschaftlichen Erkenntnisse dafür benötigt und auch abgerufen werden. Sie wollen verstehen, wie ökologische und ökonomische Faktoren zusammenwirken und welche Rolle sie in Entscheidungsprozessen spielen.

Die Wissenschaftler entwickeln verschiedene Verfahren der Bewertung und Entscheidungsunterstützung weiter, wie beispielsweise Kosten-Nutzen-Analysen, Kosteneffektivitätsanalysen sowie daraus abgeleitete multikriterielle Analysen und Kombinationen. Sie nehmen Risiko- und Vulnerabilitätsanalysen vor und entwerfen partizipative Verfahren der Entscheidungsunterstützung im Auftrag von und in Zusammenarbeit mit Entscheidungsträgern. Mit Blick auf die Regelungsprobleme eines Wasserressourcenmanagements untersuchen sie, mit welchem Mix aus rechtlichen und ökonomischen Instrumenten diese am besten gelöst werden können. So geht es unter anderem um die Frage, ob und wie Wassernutzungsabgaben erhalten und weiterentwickelt werden können, denn wer sich zu marktwirtschaftlicher Umweltpolitik und zu einer effizienten Zielerfüllung im Gewässerschutz bekennt, muss auch bereit sein, für die „Restnutzung“ einer Wasserressource im Sinne der Kostendeckung zu zahlen. Nur wenn die verschiedenen staatlichen und nicht-staatlichen Akteure verantwortlich mit dem knappen und lebenswichtigen Gut Wasser umgehen, können die Wasserprobleme der Welt nachhaltig gelöst werden. ■

GOVERNANCE

Ganz allgemein werden unter Governance Strukturen von Entscheidungsfindung und Koordination von Handeln und Verhalten unterschiedlicher Akteure verstanden. In den Politikwissenschaften wird Governance oft als ein Gegenbegriff zu Government verwendet. Während Government die klassische hierarchische Steuerung des Staates durch Ge- und Verbot meint, bezeichnet Governance unterschiedliche Formen nicht-hierarchischer Steuerung wie z. B. kooperatives Regieren, aktivierte Selbstregulierung und Partizipation.

Von manchen Autoren wird der Governancebegriff nicht einfach beschreibend verwendet, sondern er hat bei ihnen vielmehr normative, wertende Obertöne. Dort gilt Governance als einerseits besonders demokratisch und andererseits als effektiver als das klassische hierarchische Government, bei dem der Staat die Bürger bevormundet. Diese Einschätzung ist unseres Erachtens zu undifferenziert: Governanceinstrumente können einerseits die Handlungsmöglichkeiten des Staates erweitern, indem sie Akteure dazu motivieren, in seinem Sinne zu handeln. Andererseits besteht zugleich die Gefahr, dass der Staat seine Durchsetzungsmacht teilweise aufgibt und dadurch manche Ziele nicht erreichbar werden (vgl. Petersen und Klauer 2011).

WASSER UND LANDNUTZUNG

Noch in diesem Jahr wird die Weltbevölkerung die 7 Milliarden Grenze übersteigen. Insbesondere in den Schwellenländern wie China und Indien nimmt der Lebensstandard deutlich zu. Diese beiden Tendenzen führen zu einem höheren Ressourcenbedarf und somit zu einer steigenden Konkurrenz um wichtige Ressourcen, wie um land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen, um Lebensmittel und natürlich um Wasser. Zwar gibt es global gesehen genug Wasser, aber der überwiegende Teil ist Meereswasser und durch den hohen Salzgehalt ist es nicht oder nur mit hohem energetischen Aufwand nutzbar. Darüber hinaus sind die Wasserressourcen auf der Erde nicht gleichmäßig verteilt. In vielen Regionen ist das nutzbare Wasser schon heute limitierend für die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft und wichtiger Wirtschaftszweige wie der Landwirtschaft.

Wassernutzung und Landwirtschaft

Etwa zwei Drittel des global genutzten Wassers entfällt auf den landwirtschaftlichen Sektor. Die Industrie und die Haushalte spielen mit ungefähr 30 Prozent nicht die dominierende Rolle. Zwar gibt es regional große Unterschiede in der Verteilung des Wasserverbrauchs, aber weltweit ist die Landwirtschaft der Hauptnutzer. Das bedeutet, die Zunahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche wie auch die Intensivierung der landwirtschaftlichen Flächennutzung führt zu einem Anstieg des Wasserbedarfs. Neue Kulturpflanzensorten sowie die Weiterzüchtung bestehender Kulturpflanzen führen teilweise zu einem höheren Wasserbedarf. Hinzu kommt, dass die bereits schon sichtbaren Auswirkungen des Klimawandels die Wasserverfügbarkeit für die Landwirtschaft komplizierter werden lassen. Trockenphasen auf der einen Seite und Starkregenereignisse auf der anderen Seite nehmen zu. Die Landwirtschaft reagiert darauf, indem stärker bewässert wird. Global hat nach Angaben der Welternährungsorganisation (FAO) von 1961 bis 2009 die landwirtschaftlich genutzte Fläche insgesamt nur um 12 Prozent zugenommen, die bewässerte Fläche aber um 117 Prozent. Diese wenigen Fakten zeigen, dass die Landwirtschaft und die Intensivierung der Landnutzung einen ganz erheblichen Einfluss auf den Wasserbedarf haben.



Die Landwirtschaft verbraucht etwa zwei Drittel des global genutzten Wassers. Das ist fast doppelt so viel Wasser wie die Industrie und Haushalte zusammen verbrauchen.



Dr. Stefan Klotz

Er ist seit 1996 Leiter des Departments Biozönoseforschung am UFZ in Halle. Nach dem Studium der Biologie und Chemie an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg promovierte er zur Dynamik und Ökologie städtischer Floren.

Stefan Klotz ist seit 2006 Präsident der European Ecological Federation, der Föderation der nationalen wissenschaftlichen ökologischen Gesellschaften und Präsident des deutschen Netzwerkes für ökologische Langzeitforschung (LTER-D; Long Term Ecological Research). Seine wissenschaftlichen Schwerpunkte sind die Pflanzenökologie, das Problem der biologischen Invasionen und das Verhältnis zwischen Klimawandel, Landnutzungswandel und der Dynamik der Floren und Ökosysteme.

e-mail: stefan.klotz@ufz.de

Landnutzung und Qualität der Wasserressourcen

Die globalen Landnutzungsveränderungen haben nicht nur einen größeren Wasserbedarf zur Folge, sondern beeinflussen auch stark die Qualität des zur Verfügung stehenden Wassers. Global werden heute zwischen 110 und 120 Terragramm Stickstoff (das entspricht etwa 4,5 Millionen Lastwagenladungen) in Form von Mineraldüngern ausgebracht, 1960 waren es nur etwas mehr als 10 Terragramm. Die Nutzung von Mineraldünger hat also gewaltig zugenommen. Die Kulturpflanzen können jedoch nicht allen Stickstoff nutzen und in Biomasse umsetzen. Nach Angaben des Umweltbundesamtes gibt es heute in Deutschland einen Stickstoffüberschuss (von den Pflanzen nicht verwerteter Stickstoff) von mehr als 100 Kilogramm pro Hektar und Jahr. Dieser Überschuss lag 1960 noch bei weniger als 60 Kilogramm pro Hektar und Jahr. Ein großer Teil dieses Stickstoffs geht als Nitrat in die Grund- und Oberflächengewässer und schädigt dadurch unsere Wasserressourcen ganz erheblich. Ähnlich sieht es mit der Pestizidbelastung aus. Die Pestizidmengen, die ausgebracht



Die Energieproduktion durch Kulturpflanzen ist durch einen sehr hohen Wasserverbrauch gekennzeichnet. Im Vergleich zu Kohle, Erdgas oder Rohöl ist – um die gleiche Menge an Energie aus Biomasse zu erzeugen – das 24- bis 140-fache an Wasser notwendig. Derzeit ist Mais in Deutschland eine der wichtigsten Pflanzen zur Erzeugung von Bioenergie über die Biogasanlagen. Foto: Dr. Stefan Klotz/UFZ

werden, sind global extrem gestiegen. Pestizidrückstände sind im Grund- und Oberflächenwasser zu finden. Die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) genannten Grenzwerte werden global häufig überschritten. Die verfügbare Wasserqualität ist somit auf das engste mit der Art und Intensität der Landnutzung verknüpft.

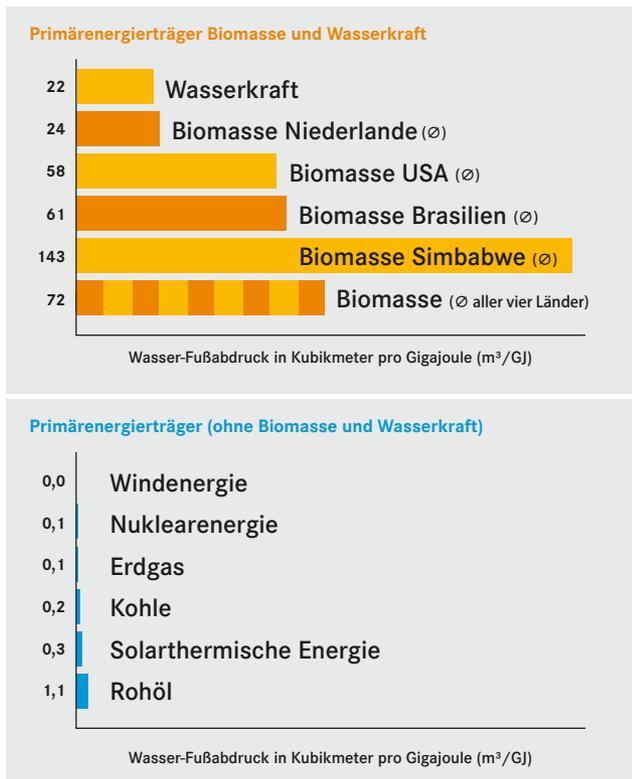
Zunehmend produziert die Landwirtschaft heute nicht nur Lebensmittel, sondern auch Biomasse zur energetischen Verwertung. Global und auch national haben die Flächen zur Produktion von Biomasse erheblich zugenommen. Diese zusätzliche Biomasseproduktion hat natürlich Konsequenzen für den Wasserbedarf. Während bisher der Wasserbedarf für die Energieproduktion relativ gering war, wird dieser in Zukunft durch die wachsende Bedeutung der Bioenergie gewaltig steigen. Der Wasserbedarf für die Produktion von einem Gigajoule Energie ist bei den klassischen Primärenergieträgern wie Kohle, Erdgas und Rohöl noch relativ gering und schwankt zwischen 0,1 und 1,1 Kubikmetern Wasser pro Gigajoule. Wird Biomasse für die Erzeugung der gleichen Menge Energie verwendet, steigt der Wasserbedarf um das 24- bis 140-fache. Die scheinbar umweltfreundliche Energieproduktion durch Biomasse entpuppt sich bei dieser Betrachtung als riesiges Umweltproblem – nicht nur, was die Belastung der Umwelt mit Mineraldüngern und Pestiziden betrifft, sondern auch, was den Wasserverbrauch angeht. Besonders kritisch ist die Situation in den tropischen sowie in semiariden und ariden Gebieten.

Während die Energieproduktion über Biomasse in den Niederlanden noch mit 24 Kubikmetern Wasser pro Gigajoule auskommt, sind es in Simbabwe schon 143 Kubikmeter (nach Gerbens-Leenes et al 2009; siehe Grafik 1). Letztere Autoren haben die „Fußabdruck-Methode“ (Footprint) zur Quantifizierung der Wasserinanspruchnahme entwickelt. Ursprünglich wurde das Konzept des ökologischen Fußabdrucks von Mathis Wackernagel und William E. Rees 1994 begründet – es gibt die Fläche an, die zur Erfüllung der menschlichen Bedürfnisse notwendig ist. Nach Hoekstra ist der Wasserfußabdruck die Menge Wasser, die zur Herstellung eines Produkts benötigt wird.

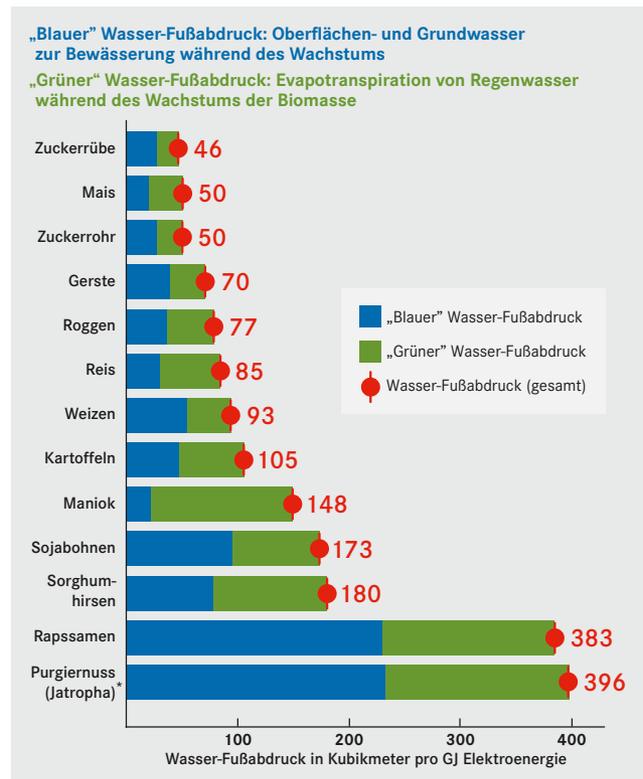
Bezogen auf den Wasserbedarf unterscheiden Experten nun zwischen Blauem und Grünem Wasserfußabdruck. Der „Blaue Wasserfußabdruck“ ist die Menge an Oberflächen- und Grundwasser, die für die Bewässerung verwendet und während der Wachstumsphase der Pflanzen genutzt bzw. verdunstet wird. Der „Grüne Wasserfußabdruck“ ist die Menge an Regenwasser, die die Pflanze während der Wachstumsphase nutzt.

Vergleicht man nicht nur Regionen oder einzelne Länder, sondern spezielle Kulturen, fallen gleichfalls sehr große Unterschiede auf (siehe Grafik 2). Während die klassischen Kulturpflanzen (z. B. Zuckerrüben und Mais), die auch in den temperaten Zonen wie in Europa und Nordamerika wachsen können, vergleichsweise moderate Wassermengen benötigen, sind es die neu propagierten Pflanzen wie die Purgiernuss (*Jatropha*) oder aber auch der Raps, die besonders viel Wasser zur Produktion der gleichen Menge an Energie verbrauchen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass neue Landnutzungsformen, die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion und insbesondere die Bioenergieproduktion sowohl den regionalen als auch den globalen Wasserbedarf massiv erhöhen. Bereits die Wahl der Kulturpflanze entscheidet also ganz erheblich über den Wasserbedarf. Die Produktion regenerativer Energien über Biomasse scheint aus der Sicht des Wasserbedarfs eine Sackgasse zu sein. Die Erzeugung von erneuerbarer Energie durch Nutzung der Sonnenstrahlung oder des Windes ist eine Alternative.

Der „Wasser-Fußabdruck“ von Primärenergieträger



Wassernutzung von 13 Kulturen zur Bioenergieproduktion



Die **Grafik 1 (links)** zeigt an, wie viel Wasser verbraucht wird, um eine bestimmte Menge an Energie zu produzieren (gemessen in Gigajoule GJ; 1 Gigajoule entspricht ungefähr der Menge an Energie, die in 26,5 Litern Öl enthalten ist). Die Grafik zeigt, dass zur Herstellung von Energie aus Biomasse relativ viel Wasser benötigt wird. 1 Kubikmeter Wasser sind 1.000 Liter.

Die **Grafik 2 (rechts)** zeigt das gewichtete globale Mittel der Wassernutzung („Water Footprint“) von 13 Kulturen zur Bioenergieproduktion in m³/GJ (Elektroenergie).

* Durchschnitt für fünf Länder (Indien, Indonesien, Nicaragua, Brasilien und Guatemala)

Nach: Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A. Y., van der Meer, T. H. (2009): The water footprint of energy. Ecological Economics, 68 (4), 1052-1060; PNAS 106, 10219-10223.

Forschung zur Landnutzung am UFZ

Das UFZ forscht zu den beiden Schwerpunkten „Wasserressourcen“ und „Landnutzung“ sowie zu deren Wechselbeziehungen. Gleichfalls entwickeln UFZ-Wissenschaftler Indikatoren, damit frühzeitig Trends und negative Entwicklungen sichtbar gemacht werden können. Zum Beispiel suchen sie nach Pflanzenmerkmalen, die Landnutzungsänderungen, den Klimawandel und die veränderte Wasserverfügbarkeit anzeigen. Aus den Pflanzenmerkmalen definieren die Wissenschaftler Indikatoren und entwickeln Strategien für eine angepasste Landnutzung. Charakteristisch für die UFZ-Forschung zu diesem Thema ist die Interdisziplinarität. So beinhaltet das Problem der Wasser- und Landnutzung naturwissenschaftliche und sozio-ökonomische Aspekte. Beide Bereiche müssen zusammengebracht werden, um umfassende Problemanalysen zu gewährleisten und auch allgemeine Lösungen vorschlagen zu können. Zwar sind Umweltprobleme oft sehr spezifisch an bestimmte Regionen gebunden oder sie differieren zwischen den Regionen, dennoch gibt es auch generalisierbare Gesetzmäßigkeiten. Deshalb arbeitet das UFZ in solchen ausgewählten sensiblen Regionen und setzt die Ergebnisse dann in einen globalen Kontext. ■



Die Nutzung von Kulturpflanzen zur Energieproduktion ist mit einem hohen Wasser- und Landverbrauch verbunden. Dagegen wird für die Erzeugung von regenerativer Energie durch Windkraftanlagen kein Wasser verbraucht.



Prof. Hans-Jörg Vogel

Er leitet seit 2005 das Department Bodenphysik am UFZ. Hans-Jörg Vogel studierte an der Universität Hohenheim Agrarwissenschaften und machte dort 1993 seinen Doktor. Es folgten Forschungsstationen in Avignon (Frankreich), wieder Hohenheim und an der Uni Heidelberg. 2005 habilitierte er an der ETH Zürich in Bodenphysik. Prof. Hans-Jörg Vogel befasst sich mit Wasser- und Stofftransport in Böden und damit, wie die verschiedenen Fließpfade durch die ungesättigte Zone von der Bodenoberfläche bis ins Grundwasser modelliert werden können. Dabei sind die räumliche Struktur terrestrischer Systeme und deren Einfluss auf Stoffströme von besonderem Interesse.

e-mail: hans-joerg.vogel@ufz.de

Kein Wasser ohne Boden, kein Boden ohne Wasser. Das scheint vielleicht etwas schlicht, trifft aber die enge Wechselwirkung zwischen der obersten Haut unseres Planeten und seinem speziellen „Saft“ recht gut. Im Boden trifft sich die Atmosphäre mit der Hydro- und der Biosphäre und das Ganze im Ambiente der Geosphäre. Damit sind Böden wohl das komplizierteste Umweltkompartiment. Hier sorgt eine Vielzahl biogeochemischer Prozesse ständig für das Recycling von organischen und anorganischen Stoffen, bewerkstelligt von einer großen Vielfalt an Mikroorganismen und Bodentieren. Im Boden leben deutlich mehr Organismen als auf dem Boden. Das gilt sowohl für die Artenanzahl als auch für deren Masse. Ohne Wasser als wesentliche Voraussetzung biologischer Aktivität und als Transportmittel für gelöste Stoffe wäre das nicht möglich – also kein Boden ohne Wasser. Darüber hinaus sorgt der Boden als biogeochemischer Reaktor dafür, dass viele Schadstoffe, die gewollt oder ungewollt in die Umwelt und in den Boden gekommen sind, in der Regel nicht bis ins Grundwasser gelangen, sondern in der biologisch aktiven Bodenzone herausgefiltert werden – also kein sauberes Wasser ohne Boden.



Bodenprobenahme im Nahen Osten von Dr. Tino Rödiger (links) und Dr. Christian Siebert (rechts), UFZ. Im Bohrstock lassen sich verschiedene Bodentypen unterscheiden und ihre spezifischen Eigenschaften auch in Bezug auf den Wasserhaushalt beurteilen.

Boden ist nicht gleich Boden

Die Funktion als Lebensraum und reaktive Zone im globalen Stoffkreislauf gilt allgemein für Böden. Im Detail gibt es jedoch große Unterschiede. Je nach dem, wo man ein Loch gräbt, findet man verschiedene Bodentypen, die sich in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften deutlich unterscheiden können. In Abhängigkeit vom geologischen Ausgangsmaterial, vom örtlichen Klima, der Position im Relief der Landschaft und der lokalen Vegetation stellt sich an einem Standort eine Art Gleichgewicht im komplexen Wirkungsgefüge von Böden ein. Dieses Gleichgewicht manifestiert sich in charakteristischen physikalischen, biologischen und chemischen Eigenschaften – es entwickeln sich bestimmte Bodentypen. Dabei spielt der lokale Wasserhaushalt, der von all den genannten Standortfaktoren maßgeblich bestimmt wird, eine zentrale Rolle für die Bodenbildung.



Regenwürmer haben wichtige Funktionen. Sie lockern den Boden auf, vermischen die organische mit der mineralischen Substanz und ihre Röhren sorgen für eine hohe Wasserleitfähigkeit unter nassen Bedingungen und für die Belüftung des Untergrundes.

Foto: Dr. Otto Ehrmann

Böden als Filter

Böden sind über sehr lange Zeiträume entstanden und sind in der Regel in ihren charakteristischen Eigenschaften stabil, zumindest auf den von uns typischerweise betrachteten Zeitskalen in der Größenordnung von Jahrzehnten. Wird jedoch das Gleichgewicht über die Maßen gestört, etwa durch Erosion, Abbau von organischer Substanz oder Zerstörung der Bodenstruktur durch Verdichtung, kann es eine kleine Ewigkeit dauern, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Auch die an sich positive Filterwirkung von Böden kann letztlich dazu führen, dass sich Schadstoffe anreichern und schließlich das Gleichgewicht nachhaltig gestört wird. Und wenn er erst einmal voll ist, kann dieser Filter eben nicht einfach ausgewechselt werden wie bei einem Staubsauger. Genauso wie Wasser ist Boden eine nicht vermehrbare Georessource. Allerdings kann die Wasserqualität mit technischem Aufwand wieder hergestellt werden, bei Böden sind wir hier auf natürliche Prozesse angewiesen.

Böden als Wasserspeicher

Neben seiner Funktion als reaktive Zone ist der Boden auch ein effizienter Wasserspeicher. Er macht zum einen dadurch ein üppiges Pflanzenwachstum möglich. Zum anderen steuert er die Wasserflüsse in der Landschaft. Das Niederschlagswasser rieselt nicht einfach nach den Gesetzen der Schwerkraft durch den Boden in Richtung Grundwasser, sondern wird im Boden festgehalten. Der Grund dafür

liegt in der feinporösen Struktur des Bodens und den speziellen Eigenschaften von Wasser. Die hohe Oberflächenspannung zwischen Wasser und Luft sorgt dafür, dass Wasser auch gegen die Schwerkraft in den Bodenporen wie in einem Schwamm gehalten wird. Je kleiner die Poren, desto stärker die kapillare Bindung des Wassers.

Im Unterschied zum ständig wassergesättigten Bereich des Grundwassers werden Böden oft auch als „ungesättigte Zone“ bezeichnet. Sie können von trocken bis nass je nach vorhandenem Porenvolumen (meist zwischen 30 und 50 Volumenprozent) unterschiedliche Mengen an Wasser speichern. Aufgrund der Kapillarkräfte befindet sich das Wasser dabei immer in den kleinen, die Luft dagegen in den großen Poren. Diese Rauteilung begründet auch die besondere Qualität des Bodens als Lebensraum, der den Organismen sowohl Wasser als auch Sauerstoff bietet.

Wird der Boden feuchter, werden nach und nach auch die größeren Poren mit Wasser gefüllt, bis schließlich auch große Regenwurmröhren Wasser leiten, die dann als effektive Drainagen funktionieren. Hier gibt es dann tatsächlich kein kapillares Halten mehr. Dieses Phänomen sorgt aber auch dafür, dass unter nassen Bedingungen oder bei starken Niederschlägen gelöste Stoffe sehr schnell in die Tiefe verlagert werden und so die reaktive Zone des Oberbodens umgehen. So findet man mitunter auch solche Stoffe im Grundwasser, die dort aufgrund ihrer biochemischen Eigenschaften eigentlich gar nicht erwartet werden sollten. Was gut ist für die Drainage und den Gashaushalt hat manchmal auch unerwünschte Effekte für die Stoffverlagerung.

Die Speicherkapazität von Böden ist eine hydrologisch wichtige Größe auf der Skala von Einzugsgebieten. Sie bestimmt, ob Perioden mit hohen Niederschlagsintensitäten abgepuffert werden können oder ob der Pegel im Bach schnell über eine kritische Marke gehoben wird. Ist der Speicher einmal voll, landet der nächste Regentropfen mehr oder weniger direkt im Oberflächengewässer. Und damit steigt auch die Gefahr von Hochwasser. In diesem Zusammenhang ist die tägliche Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland kritisch zu sehen. Sie liegt bei etwa 94 Hektar, was etwa 134 Fußballfeldern entspricht.

Böden als Wasserleiter

Auch die Wasserleitfähigkeit der obersten Bodenschichten ist eine wichtige Größe für das Abflussgeschehen. Sie bestimmt, welche Regenmengen noch geschluckt werden können, oder umgekehrt, ab welcher Niederschlagsintensität das Wasser nicht mehr in den Boden, sondern auf dem Boden zum nächsten Vorfluter fließt. Das Wasser nimmt dabei häufig auch einiges an Oberboden mit, der damit der Erosion zum Opfer fällt. Ein biologisch aktiver, lockerer Oberboden ist dabei deutlich günstiger als ein verdichteter oder verschlammter Oberboden.

Ohne die Wasserspeicherung von Böden wären grüne, blühende Landschaften schwer vorstellbar und die Produktion von Nahrungsmitteln müsste vollkommen andere Wege gehen. Um ein Kilogramm Getreide zu produzieren, werden auf dem Acker zwischen 400 und 750 Liter Wasser benötigt, die während der Vegetationsperiode von den Pflanzen aufgenommen werden und durch die Blätter in die Atmosphäre verdampfen (Transpiration) bzw. die direkt von der Bodenoberfläche verdunsten (Evaporation). Bei Mais sind dies noch deutlich mehr (ca. 1500 l) und beim Nassreisbau sogar bis zu 3000 Liter Wasser pro Kilogramm Reis!

Aus landwirtschaftlicher Perspektive sollte nach Möglichkeit das vorhandene Wasser in produktive Transpiration investiert werden und nicht durch unproduktive Evaporation verloren gehen. Dabei spielt einmal mehr die Wasserleitfähigkeit der obersten Bodenschicht eine wichtige Rolle. Und wieder ist ein lockerer Oberboden wesentlich günstiger als ein verdichteter. Doch jetzt geht es nicht um eine möglichst hohe Leitfähigkeit bei starken Niederschlägen, sondern um eine möglichst kleine Wasserleitfähigkeit unter trockenen Bedingungen. Tatsächlich hat eine aufgelockerte oberste Bodenschicht unter mäßig feuchten Bedingungen viele luftgefüllte Grobporen, die den kapillaren Aufstieg des Wassers an die Bodenoberfläche verhindern und damit die Evaporation deutlich reduzieren. Im Gegensatz dazu holt sich ein verdichteter Oberboden über die Kapillarkräfte das Wasser aus tieferen Bodenschichten an die Oberfläche. Das ist die physikalische Begründung der alten Bauernregel: „Einmal gehackt ist zweimal gegossen“.

Wenn Wasser im Boden knapp wird

Weltweit werden etwa 70 Prozent des verfügbaren Frischwassers für die landwirtschaftliche Produktion eingesetzt, wobei über 40 Prozent dieser Produktion über Bewässerung erfolgt. Ungefähr 2,4 Millionen Quadratkilometer unserer Erdoberfläche werden zurzeit bewässert – und das natürlich vor allem in Regionen, wo Wasser eher Mangelware ist. Immer häufiger kommt dabei auch Abwasser zum Einsatz, und das enthält allerlei Unerwünschtes, vor allem aber



Zu Oberflächenabfluss und Erosion auf Ackerflächen kommt es, wenn die Niederschlagsintensität größer wird als die Wasserleitfähigkeit des Oberbodens. Foto: Dr. Otto Ehrmann



Pflanzen entwickeln Strategien, um auch unter extremen Bedingungen das nötige Quantum Wasser zu bekommen. Die unmittelbare Umgebung ihrer Wurzeln wird dabei optimiert. Foto: Fotolia.com

auch eine große Menge an organischen Stoffen. Oft wird damit der Teufel mit dem Belzebub ausgetrieben. Denn diese organischen Verbindungen legen sich auf die inneren Oberflächen der Böden. Und sobald sie austrocknen und ihren Wassermantel verlieren, werden sie wasserabweisend (hydrophob). Dieses Phänomen findet man auch häufig im heimischen Blumentopf, wenn man eine Zeitlang vergessen hat, die organische Torferde feucht zu halten. Wenn dann gegossen wird, bleibt das Wasser an der Oberfläche stehen, obwohl die Erde darunter knochentrocken ist. Genau dasselbe passiert bei der Beregnung solcher hydrophobisierter Böden. Das Wasser infiltriert nicht gleichmässig, sondern nur punktuell, oder fließt gleich oberflächlich ab. Die Pflanzen haben wenig davon. Eine effiziente Bewässerungstechnik muss die physikalischen und chemischen Wechselwirkungen zwischen Wasser und Boden berücksichtigen.

Bodenforschung am UFZ

Ein Forschungsschwerpunkt im Department Bodenphysik am UFZ ist die Beziehung zwischen strukturellen Eigenschaften von Böden und ihrer Funktion als Reaktor und Wasserspeicher. Ein altes Handicap der Bodenwissenschaftler ist die Tatsache, dass das Objekt ihrer Forschung im wahrsten Sinne des Wortes undurchsichtig ist. Am UFZ behelfen sich die Wissenschaftler mit einer Technik, die in der Medizin schon lange gebräuchlich ist, der Röntgentomographie, kurz CT. Allerdings ist der Tomograph der Bodenphysiker für die Materialforschung optimiert. Er erlaubt Einsichten in die ungestörte Struktur von Böden mit einer Auflösung bis zu fünf Mikrometern.

Damit erhalten die Forscher vollkommen neue Einblicke in den Lebensraum Boden. Sie haben auch Methoden entwickelt, die Komplexität der Bodenstruktur mit einer Auswahl von aussagekräftigen Parametern zu quantifizieren. Dazu gehören die Größenverteilung der Poren, ihre räumliche Verbindung (Konnektivität) und die Ausdehnung der inneren Grenzflächen. Die Porenstruktur des Bodens wird als Spiegel seines ökologischen Zustandes betrachtet. Bodenorganismen bauen sie aktiv auf und gestalten sie. Andererseits bestimmt die Porenstruktur, wie Wasser und Sauerstoff verteilt und transportiert werden. Sie charakterisiert damit den Gleichgewichtszustand des Bodens.

Die Reaktorfunktion des Bodens wird nicht nur von der Art und Menge der vorhandenen Organismen oder den chemischen Eigenschaften der Stoffe bestimmt, sondern eben auch ganz entscheidend von der physikalischen Struktur des Reaktors selbst: Ist ein organisches Molekül für Mikroorganismen überhaupt erreichbar oder wurde es etwa von einem Regenwurm in ein dichtes Bodenaggregat verpackt? Ist genügend Wasser und Sauerstoff für die nötigen Stoffwechselprozesse verfügbar?

Das ganze System Boden ist eben doch deutlich mehr als die Summe seiner Teile. Mit diesen Einsichten werden am UFZ Modelle für den Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt von Böden entwickelt, die insbesondere auch die strukturellen Bodeneigenschaften und somit die physikalischen Randbedingungen mit einbeziehen. Dasselbe gilt für die Modellierung des Wasserhaushaltes, der in hohem Maße strukturabhängig ist.

Mit diesen Ansätzen soll es möglich werden, einen engeren Zusammenhang zwischen Bodenfunktionen und den jeweiligen Standortbedingungen, insbesondere Klima und Landnutzung, herzustellen. Die Wissenschaftler wollen besser verstehen, wie sich eine veränderte Niederschlagsverteilung oder eine veränderte Bewirtschaftung der



Die Röntgentomographie – kurz CT – erlaubt Einsichten in die ungestörte Struktur von Böden mit einer Auflösung bis zu fünf Mikrometern.

Böden auf ihren Stoffhaushalt sowie auf den Wasser- und Stofftransport auswirken.

Eine wichtige Rolle spielen dabei auch die Pflanzen. Mit ihren Wurzeln und ihren Blättern vergrößern sie die Grenzfläche zwischen Boden und Atmosphäre um ein Vielfaches und sind dabei bemüht, die im Boden gespeicherten Wasservorräte optimal zu nutzen. Eine Arbeitsgruppe im Department Bodenphysik erforscht die bemerkenswerten Mechanismen, die es den Pflanzen ermöglichen, auch bei knappen Wasserressourcen zu überleben. Durch die Ausscheidung eines organischen Gels erleichtern sie sich nicht nur das Eindringen in den oft dichten Boden, sondern verändern dadurch auch das Wasserhaltevermögen und die Wasserleitfähigkeit in ihrer unmittelbaren Umgebung. Mit dieser Taktik können die einzelnen Wurzeln das Wasser aus einem größeren Volumen schöpfen. Die Wechselwirkung zwischen Boden und Pflanze und eine effiziente Nutzung der knappen Wasserressourcen bei der Produktion von Nahrungsmitteln wird in Zukunft immer wichtiger werden.

Hydropedologie – ein relativ neues Forschungsfeld

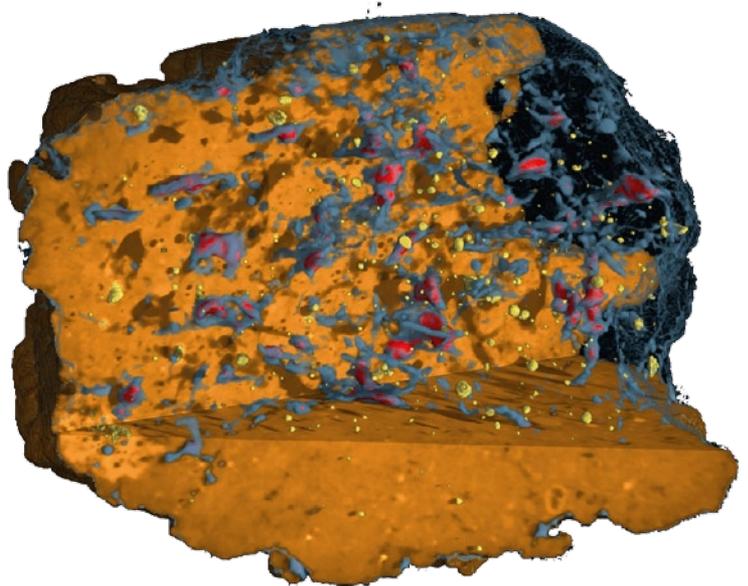
Für den regionalen Wasserhaushalt sind die Bodeneigenschaften wichtig. Allerdings ist es nicht ausreichend, diese Eigenschaften an einzelnen Punkten in der Landschaft detailliert zu studieren. Vielmehr ist die möglichst lückenlose Verteilung dieser Eigenschaften über größere Landoberflächen gefragt.

Damit beschäftigt sich die sogenannte Hydropedologie. Wie der Name schon sagt, verbindet die Hydropedologie die Bodeneigenschaften mit der Hydrologie.

Das bodenkundliche Wissen über die Entwicklung von Böden in Abhängigkeit der Standortbedingungen soll genutzt werden, um zu einer Wahrscheinlichkeitsverteilung von funktionellen Bodeneigenschaften wie Wasserspeicherkapazität und Wasserleitfähigkeit nicht nur punktuell, sondern in der Landschaft zu kommen. Dabei wird

ein breites Spektrum von (Fern-)Erkundungsmethoden zur flächenhaften Messung solcher Standortfaktoren wie Relief, Vegetation oder Tongehalt eingesetzt. So bekommt die hydrologische Modellierung wertvolle Informationen über die Wasserdynamik in der ungesättigten Zone, die bis jetzt nur indirekt über die Analyse von Pegelständen geschätzt werden konnte. ■

Im kommenden Jahr findet zu diesem Forschungsfeld die „2nd International Conference on Hydropedology“ am UFZ in Leipzig statt: www.ufz.de/hydropedology2012



3D CT-Aufnahme der Porenstruktur eines Bodenaggregates (Durchmesser 15 mm) mit der Verteilung von Wasser (blau), Luft (rot) und Quarzkörnern (gelb). Abbildung: Steffen Schlüter/UFZ



Prof. Dr. Frank-Dieter Kopinke

Er ist Leiter des Departments Technische Umweltchemie, UFZ. Von 1970-1975 studierte Frank-Dieter Kopinke Chemie an der Technischen Hochschule Leuna-Merseburg. Mit der Promotion über die „Sulfochlorierung von Paraffinen“ schloß er sein Studium 1975 ab. Aktuelle Forschungsgebiete sind die Umweltkatalyse, die Reinigung von Wasser, Sanierungstechnologien sowie die Nanotechnologie. Frank-Dieter Kopinke ist Mitautor der 2010 erschienen „Roadmap der deutschen Katalyseforschung“ der German Catalysis Society. 2000 war er Kurt-Schwabe Preisträger der Sächsischen Akademie der Wissenschaften.

e-mail: frank-dieter.kopinke@ufz.de



Prof. Dr. Holger Weiß

Er ist Leiter des Departments Grundwassersanierung am UFZ. Prof. Dr. Holger Weiß studierte an der TU Clausthal von 1979 bis 1986. 1990 promovierte er über Sedimentologie, Tektonik und Lagerstättenkunde einer Eisenerzlagerstätte in Brasilien (Minas Gerais). Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind die Sanierung von kontaminierten Böden und Grundwässern sowie die Nutzung des geologischen Untergrundes als Stoff- und Energiespeicher.

e-mail: holger.weiss@ufz.de

Grundwasser als erneuerbare Ressource

Der weitaus größte Teil der nutzbaren Süßwasservorräte dieses Planeten ist Grundwasser (8×10^{15} Kubikmeter). Ein Vergleich mit dem Durchsatz im meteorologisch-hydrologischen Wasserkreislauf von 5×10^{13} Kubikmeter pro Jahr macht deutlich, dass Jahrhunderte für die Bildung und Auffüllung der globalen Grundwasservorräte zutreffend sind. Der Anteil, mit dem Grundwasser zur Deckung des Trinkwasserbedarfs beiträgt, ist von Land zu Land sehr unterschiedlich (z. B. nur zwei Prozent in Kanada, aber 80 Prozent in der Schweiz). In Deutschland beträgt dieser Anteil rund 65 Prozent.

Glücklicherweise zählt Deutschland zu jenen Ländern mit einem ausreichenden Wasserdargebot (165×10^9 Kubikmeter pro Jahr). Im Unterschied zu anderen Rohstoffen wird Wasser nicht verbraucht, sondern nur gebraucht. Dennoch sollten wir uns eine Besonderheit der Ressource Grundwasser bewusst machen: Grundwasser wird im Kreislauf des Wassers ständig neu gebildet und ist insofern eine erneuerbare Ressource. Gleichzeitig ist es sehr empfindlich gegenüber Verschmutzung. Bereits kleinste Mengen an Verunreinigungen können große Grundwasservorkommen wegen der äußerst geringen Fließgeschwindigkeiten über lange Zeiträume unbenutzbar machen. Insofern besitzt es auch Eigenschaften einer nicht-erneuerbaren (oder nur langsam erneuerbaren) Ressource. Wir verstoßen nicht gegen Prinzipien der Nachhaltigkeit, wenn wir Grundwasser zur intensiven Nutzung entnehmen und dabei langfristig das Gleichgewicht zwischen Entnahme und Neubildung beachten. Wir hinterlassen nachfolgenden Generationen allerdings nur mit hohem Aufwand sanierbare Altlasten, wenn wir punktuelle Schadstoffeinträge in das Grundwasser zulassen. Die größte Gefahr für eine auch langfristig unumkehrbare Entwertung von Grundwasservorräten geht jedoch von diffusen, großflächigen Einträgen von Nähr- und Schadstoffen aus. Wir werden weder heute noch in Zukunft die technischen und ökonomischen Mittel haben, diese aus dem Grundwasser zurückzuholen.



Grundwasser ist eine erneuerbare Ressource, da es sich im Kreislauf des Wassers ständig neu bildet. Jedoch ist es sehr empfindlich gegenüber Verunreinigungen, insbesondere wenn es später als Trinkwasser genutzt wird. In Deutschland beträgt der Anteil von Grundwasser zur Deckung des Trinkwasserbedarfs 65 Prozent.



Grundwasserbohrung in Jordanien. Im Gegensatz zu Deutschland ist in vielen Ländern die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung angespannt. In Jordanien sind beispielsweise aufwendige Bohrungen notwendig, um Grundwasser aus großen Tiefen zu gewinnen.

Aus guten Gründen liegen Schadstoffgrenzwerte für die Trinkwassernutzung sehr niedrig, für viele organische Verbindungen im unteren ppb-Bereich (ppb = parts per billion). Anschaulich gesprochen: Ein Liter Benzol würde ausreichen, um 10^5 bis 10^6 Kubikmeter Wasser (je nach verwendetem Grenzwert) zu vergiften. Ein Liter Methyltertiärbuthylether (MTBE), ein nahezu ungiftiger Stoff, würde wegen seiner niedrigen Wahrnehmungsschwelle (geruchsintensiv) noch 10^4 Kubikmeter Wasser ungenießbar machen. Beide Stoffe sind Bestandteile von Vergaserkraftstoffen und sind auf diesem Wege ubiquitär (weit verbreitet) geworden. Etwa zwei Drittel der oberflächennahen Grundwasserleiter in Deutschland gelten bereits heute als „anthropogen beeinflusst“, d. h. sie weisen Spuren menschlich (anthropogen) verursachter Belastungen auf. Anders als man vielleicht erwarten würde, ist die Industrie nur zu einem geringen Anteil (weniger als fünf Prozent) direkt an der Grundwasserbelastung beteiligt. Die größten Anteile steuern die Landwirtschaft (Überdüngung, Biozide), häusliche Abwässer (undichte Abwasserkanäle) und der Verkehr bei. Zu einer langfristig unumkehrbaren Entwertung von Grundwasservorräten kann auch deren Versalzung durch künstliche Bewässerung führen.

Grundwasserschutz und Altlastensanierung

Die Kontamination von Grundwasserleitern ist, anders als die Verschmutzung von Oberflächengewässern, für die meisten Menschen nicht unmittelbar wahrnehmbar. Trotz dieses Umstandes wird Grundwasserschutz auf hohem Niveau akzeptiert, weil Trink- und Grundwasser im öffentlichen Bewusstsein, zumindest in Deutschland, eng miteinander verbunden sind.

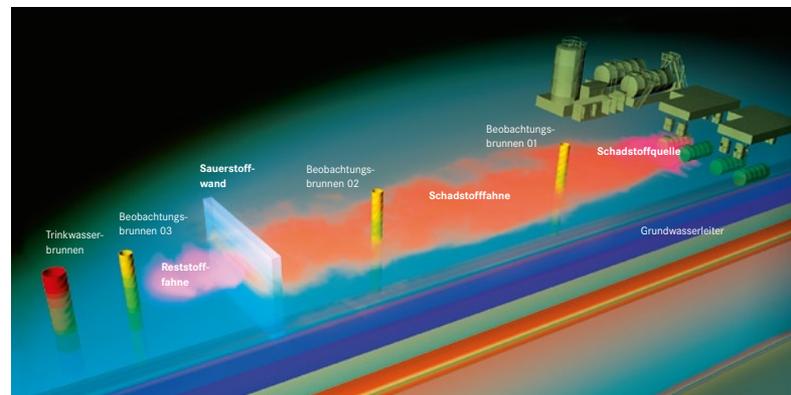
Welches sind nun die übergeordneten Ziele bei der Sanierung von eingetretenen Grundwasserschäden? Zunächst und generell soll das Restrisiko für Schutzgüter vernachlässigbar gering und tolerierbar sein. Oberstes Schutzgut ist immer die Gesundheit des Menschen, daneben die Qualität von Ökosystemen. Ein Maßstab für zu unterschreitende Restkontaminationen kann die natürliche oder bereits anthropogen beeinflusste Hintergrundbelastung sein. Der Umkehrschluss – wenn keine konkreten Schutzgüter betroffen sind, besteht keine Sanierungsnotwendigkeit – scheint plausibel, ist jedoch problematisch. Sanierungsziele sollten immer unter Berücksichtigung der Angemessenheit des Aufwandes und der Umweltbilanz von Sanierungsmaßnahmen festgelegt werden. Ansonsten laufen wir Gefahr, dass technischer Umweltschutz gut gemeint, aber letztlich

gegen die Umwelt gerichtet ist, weil die Sanierung mehr Ressourcen verbraucht als geschützt und regeneriert werden.

Allgemein kann man Schadstoffeinträge ins Grundwasser als diffus oder als punktuell klassifizieren. Diffuse Schadstoffeinträge, z. B. aus der Landwirtschaft, führen zu flächenhaften Kontaminationen. Punktuelle Schadstoffeinträge, z. B. aus Industrie oder Verkehr, führen zu räumlich begrenzten Kontaminationen, von denen aus sich sogenannte Schadstofffahnen im Aquifer (Grundwasserleiter) ausbreiten können. Letztere sind – wenn auch mit hohem Aufwand – prinzipiell sanierbar. Großräumige Grundwasserverschmutzungen sind nach heutigem Stand mit technischen Mitteln nicht sanierbar.

Konzepte und Technologien zur Grundwassersanierung

Häufig unterscheidet man Sanierungsverfahren nach der Intensität der technischen Maßnahmen in aktive und passive Verfahren oder nach dem Ort der Wasserbehandlung in *ex situ*- (außerhalb des Aquifers) und *in situ*-Maßnahmen (im Aquifer). In der Praxis dominieren seit Jahrzehnten Pump&Treat-Verfahren, bei denen das kontaminierte Grundwasser an die Oberfläche gepumpt und dort behandelt wird. Beispiele für passive Verfahren sind durchströmte Reinigungswände, sogenannte Permeable Reactive Barriers, bei



Schadensszenario nach einem Benzinunfall mit *in situ* Reinigungswand. Es gibt unterschiedliche Konzepte und Technologien zur Grundwassersanierung. In der Praxis weit verbreitet sind Pump&Treat-Verfahren, die jedoch häufig hohe Sanierungskosten nach sich ziehen. Passive Reinigungswände sind eine energiesparende Alternative dazu. Natural Attenuation Verfahren nutzen den natürlichen Abbau von Schadstoffen bzw. greifen nur punktuell in den Schadstoffabbau ein (Enhanced Natural Attenuation).



UFZ-Pilotanlage Compartment Transfer (COTRA) in Leuna, Sachsen-Anhalt. Ein zu den Einfachtechnologien zählendes Verfahren ist das Konzept des Compartment Transfers. Nach diesem Konzept wird ein Schadstoff von einem Umweltkompartiment, beispielsweise Grundwasser, in dem er schwer abbaubar ist, in ein anderes Kompartiment überführt, wie die Atmosphäre, wo er schneller abbaubar ist.

denen das kontaminierte Grundwasser im Aquifer verbleibt und dort behandelt wird. Die am häufigsten genutzten Reinigungsmittel sind Aktivkohle und metallisches Eisen. Am unteren Ende einer Intensitätsskala von Maßnahmen steht das Konzept des natürlichen Abbaus und Rückhalts (Natural Attenuation), das auf die Selbstreinigungskräfte eines Aquifers setzt und diese gegebenenfalls durch technische Maßnahmen unterstützt (Enhanced Natural Attenuation).

Für **Pump&Treat**-Verfahren steht das gesamte Spektrum der physikalischen, chemischen und biologischen Verfahren zur Abwasserreinigung zur Verfügung. Sie haben sich jedoch als wenig effektiv für eine Quellensanierung erwiesen und müssen meist über sehr lange Zeiträume von vielen Jahren bis Jahrzehnten betrieben werden. Die Folge sind hohe Sanierungskosten. Pump&Treat-Verfahren werden häufig, wohl zu Unrecht, als „Technologie von gestern“ angesehen. Die große Mehrzahl aller in Betrieb befindlichen Grundwasserreinigungsanlagen in Europa und Nordamerika arbeitet nach diesem Prinzip. Pump&Treat-Verfahren bilden nach wie vor das Rückgrat der Grundwassersanierung in der Praxis.

Eine Alternative und sinnvolle Ergänzung zu Pump&Treat-Verfahren stellen **passive Reinigungswände** dar. Sie werden *in situ* im Abstrom von Schadensherden quer zur Grundwasserfließrichtung eingebaut und sind so konzipiert, dass die Abreinigung durch chemische Reaktionen oder Immobilisierung der gelösten Schadstoffe ohne externe Energiezufuhr passiv – über Jahre und Jahrzehnte hinweg – funktioniert. Dieses Konzept ist auch für hydraulisch heterogene Aquifere geeignet. Es ist nicht nur wirtschaftlich, sondern auch aus psychologischer Sicht für den Schadenseigner attraktiv: Aus einer „unendlichen Geschichte“ mit ungewissem Ausgang wird eine klar definierte, abgeschlossene Maßnahme. Den offensichtlichen Vorteilen passiver *in situ*-Technologien stehen jedoch Grenzen und Nachteile gegenüber, z. B. wird nur die Schadstoffausbreitung unterbunden, nicht aber die Schadstoffquelle selbst saniert. Ohne die (Wieder-) Entdeckung von metallischem Eisen (Fe⁰) als kostengünstiges und umweltfreundliches Reduktionsmittel hätten reaktive Barrieren sicher niemals die große Aufmerksamkeit erfahren, die ihnen seit Veröffentlichung der ersten Arbeiten von R. W. Gillham von der Universität Waterloo Anfang der 90er Jahre zuteil geworden ist.

Das Konzept, aktive Sanierungsmaßnahmen durch Rückgriff auf das Selbstreinigungspotenzial von Böden und Aquiferen zu ersetzen, erscheint ökologisch und volkswirtschaftlich sinnvoll, weil damit Ressourcen gespart werden können. **Natural Attenuation (NA)** beruht auf der Beobachtung, dass Schadstofffahnen in kontaminierten Aquiferen in aller Regel nur eine begrenzte Ausdehnung erreichen und die meisten Schadstoffe langfristig auch ohne aktive Sanierungsmaßnahmen „verschwinden“. Zum Stillstand einer Schadstofffahne tragen neben mikrobiologisch basierten Abbauprozessen auch Sorption (Anreicherung eines Stoffes in einer Phase oder an der Grenzfläche zwischen zwei Phasen), Verdünnung und Verflüchtigung bei – Prozesse, die keine Verringerung der Schadstofffracht bewirken. Um Natural Attenuation als legitime Alternative zu aktiven Sanierungsmaßnahmen zu akzeptieren, könnte man zusätzliche Beweise für einen tatsächlichen Schadstoffabbau fordern. Glücklicherweise bietet die moderne Isotopenanalytik einen eleganten Weg, diesen Nachweis zu führen. Die Isotopensignatur entlang einer Schadstofffahne kann Auskunft darüber geben, durch welche Prozesse eine Konzentrationsabnahme verursacht wird und ob tatsächlich ein Schadstoffabbau stattfindet. Natural Attenuation- und Enhanced Natural Attenuation-Konzepte wirken über lange

Zeiträume. Sie erfordern in jedem Fall eine qualifizierte analytische Begleitung. Daraus ist der Begriff „Monitored Natural Attenuation“ entstanden.

Aus der Sicht des Schadenseigners ist das NA-Konzept in seinen verschiedenen Versionen meist attraktiv, weil es mit deutlich geringeren Kosten verbunden ist als aktive Sanierungsmaßnahmen. Das Risiko, damit zu versagen, wird jedoch in eine ferne Zukunft verlagert und möglicherweise der Allgemeinheit aufgebürdet. Die grundsätzlichen Bewertungen von Natural Attenuation-Konzepten sind auch heute noch sehr kontrovers: Sie reichen vom „kontrollierten Nichtstun“ bis zur „kostengünstigen Sanierungsmethode“. In Fällen, in denen der Schadstoffherd im Aquifer begrenzt und gut lokalisierbar ist, ist eine Quellensanierung der Fahnenbegrenzung vorzuziehen. Dafür werden zunehmend ***in situ*-Oxidationsverfahren** angewendet. Sie basieren auf der Injektion von starken Oxidationsmitteln wie Wasserstoffperoxid, Permanganat oder Persulfat in den Aquifer, möglichst direkt in die Schadstoffquelle. Alle diese Reagenzien wirken aggressiv und schnell. Nach unserer Einschätzung verbleiben jedoch beträchtliche Risiken, insbesondere durch Bildung toxischer Abbauprodukte (Metabolite) aus den primären Schadstoffen, wenn man die Reaktionsbedingungen nur unvollständig kontrollieren kann. Genau diese Einschränkung trifft aber für praktisch alle *in situ*-Maßnahmen zu: Da das Reaktionsmedium – der Grundwasseraquifer – sehr heterogen ist, lassen sich die injizierten Reagenzien nur sehr schwer mit den Schadstoffen vermischen. Von einer Kontrolle der Reaktionsbedingungen kann nicht die Rede sein. Ebenso könnte man derartige *in situ*-Maßnahmen als „ambitionierte Abenteuer“ bezeichnen.

Trends bei der Entwicklung und Erprobung von *in situ*-Verfahren

Nach unserer Einschätzung ist gegenwärtig weltweit keine wirklich neue Technologie-relevante Entwicklungslinie zu erkennen. Der Fortschritt besteht zurzeit in einer Verbesserung bekannter Verfahrensprinzipien und deren intensiver Erprobung im Feldmaßstab. Neben der Entwicklung hochleistungsfähiger, meist relativ aufwändiger Reinigungstechnologien kann man einen Trend hin zu Einfachtechnologien beobachten, die mit einem minimalen, eben noch angemessenen technischen Aufwand auszukommen versuchen. Der Vorteil solcher Verfahren liegt neben niedrigen Kosten auch in dem Erfahrungssatz, dass einfache Technologien meist zuverlässiger arbeiten als hochtechnisierte Verfahren.

Dieser Trend wurde am UFZ in Form des **Compartment Transfer-Konzeptes (COTRA)** aufgenommen. Kerngedanke des Konzeptes ist die Überführung eines Schadstoffes aus einem Umweltkompartiment, z. B. Grundwasser, in dem er schwer abbaubar ist, in ein anderes Kompartiment, z. B. die Atmosphäre, in der er schnell (photochemisch) abgebaut wird. Der Aufwand für eine Schadstoffverlagerung ist meist deutlich geringer als für eine Schadstoffeliminierung. Schadstoffverlagerung verbunden mit der Kontamination eines anderen Mediums – Compartment Transfer – ist aber nach gängiger Meinung und Rechtslage in Deutschland kein erlaubtes Mittel. Insofern stellt es einen Tabubruch dar. Wir halten dieses Konzept dennoch für sinnvoll und – abhängig vom Einzelfall – für prüfenswert.

Offene Fragen – Forschungsbedarf

Bereits in den 90er Jahren wurde im Zusammenhang mit der Finanzierung des Superfund-Programms im US-Kongress intensiv



Das am UFZ entwickelte Carbolron™ ist ein Verbundmaterial aus Mikroaktivkohle und Nanoeisen. Carbolron wurde für den direkten Einsatz in belasteten Grundwasserleitern optimiert. Foto: Dr. Robert Köhler/UFZ

darüber debattiert, woran die Ziele für eine Grundwassersanierung ausgerichtet werden sollten. Spätestens bei der Rechtfertigung der entstehenden Sanierungskosten ist die Frage zu beantworten: „How clean is clean?“ Für die große Mehrzahl der kontaminierten Standorte gilt: Technologien nach dem Stand der Technik können Trinkwasserqualität („health-based“ Standards) nicht wieder erreichen – nicht mit vertretbarem Aufwand, nicht heute und wohl kaum in absehbarer Zukunft. Vorbeugender Grundwasserschutz ist unbestritten aus ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht die beste Strategie. Trinkwasser ist ein Naturprodukt und soll es bleiben. Und wie bereits in der Einleitung betont, verstoßen wir nicht gegen Regeln der Nachhaltigkeit, wenn wir große Mengen an Grundwasser zur Nutzung entnehmen. Wir belasten aber zukünftige Generationen, wenn wir Aquifere verschmutzen. Die Pflicht zum verantwortungsvollen Umgang mit der Naturressource Grundwasser sollten wir als Generationenvertrag begreifen und festschreiben. Alle guten Absichten können jedoch bestehende Grundwasserschäden – Altlasten – nicht ungeschehen machen und, realistisch betrachtet, das Entstehen zukünftiger Belastungen nicht vollständig ausschließen.

Sanierungsforschung am UFZ

Am UFZ wird ein breites Spektrum von Wasserbehandlungs- und Sanierungstechnologien bearbeitet. Sie reichen von naturnahen Einfachverfahren, wie Wurzelraumanlagen (Constructed Wetlands) bis hin zu ausgefeilten chemisch-katalytischen Verfahren, wie der Palladium-katalysierten Hydrodechlorierung von chlororganischen Verbindungen. UFZ-Forscher haben u. a. den weltweit leistungsfähigsten Katalysator für diese Reaktion auf Basis von Palladium auf nano-Magnetit entwickelt. Das Trägermaterial Magnetit ist nicht nur umweltfreundlich, sondern ermöglicht wegen seiner ferrimagnetischen Eigenschaften auch eine elegante Abtrennung und Rückgewinnung der Nanoteilchen aus dem behandelten Wasser durch Magnetoseparation. Ein weiteres Beispiel für neue Sanierungsreaktionen ist das am UFZ entwickelte Carbolron™, ein Verbundmaterial aus Mikroaktivkohle und Nanoeisen. Das Reagenz ist für die *in situ*-Anwendung in kontaminierten Aquiferen optimiert und verbindet die hervorragenden Sorptionseigenschaften von Aktivkohle mit der chemischen Reaktivität von metallischem Eisen.

Gleichberechtigt neben der Entwicklung neuer Materialien und Verfahren steht die Lösung konkreter, praktischer Probleme. UFZ-Forscher haben beispielsweise eine vorhandene Grundwasserreinigungsanlage am Standort Bitterfeld, die 200 Kubikmeter hoch kontaminiertes Grundwasser pro Stunde reinigen kann, optimiert: Sie haben ein neues, angepasstes Verfahren zur Entschwefelung von Strippgasen entwickelt.

Schließlich stellt sich das UFZ auch dem Anspruch, deutschland- und weltweit ein sichtbares Kompetenzzentrum auf dem Gebiet der Sanierungsforschung mit einem klaren Schwerpunkt Grundwasser und Boden zu bilden. Wir sind Ansprechpartner für Sanierungspflichtige, Behörden und Politik. ■

► **Einen Hörbeitrag zu diesem Thema finden Sie im Internet:**
www.ufz.de/podcasts-wasser



In der Grundwasserreinigungsanlage am Standort Bitterfeld, die bis zu 200 Kubikmeter hochkontaminiertes Grundwassers pro Stunde reinigt, führte das Stripping-Verfahren zu Problemen mit den im Grundwasser enthaltenen Schwefelverbindungen. In einer Container-basierten Pilotanlage (blaue Container auf dem Foto) testeten UFZ-Wissenschaftler erfolgreich ein neues Verfahren zur Entschwefelung dieser Strippgase. Foto: Dr. Robert Köhler/UFZ



Dr. Karsten Rinke

Karsten Rinke ist Leiter des Departments Seenforschung am UFZ. Schwerpunkte seiner Arbeit liegen auf der Ökosystemmodellierung von Standgewässern und dem Management der Wasserqualität in Seen und Talsperren. Er studierte Biologie an der Universität Göttingen und der TU Dresden mit den Schwerpunkten Limnologie, Mikrobiologie und Wasserwirtschaft. Von 2005 bis 2010 forschte Karsten Rinke am Limnologischen Institut der Universität Konstanz über die Wasserqualität des Bodensees.

Seit Mai 2010 ist er am UFZ und beschäftigt sich seitdem mit der Wassergüte und Bewirtschaftung von Trinkwassertalsperren sowie den Auswirkungen des Klimawandels auf Talsperren und Seen.

e-mail: karsten.rinke@ufz.de



Prof. Dr. Markus Weitere

Markus Weitere ist Leiter des Departments Fließgewässerökologie am UFZ. Die Schwerpunkte seiner Forschung sind die Stoffumsätze in Fließgewässern, die gewässerinterne Kontrolle von Eutrophierung und die Biofilmforschung.

Er ist im Gewässerbeirat Sachsen-Anhalt und berät die Landesregierung bei der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Darüber hinaus erstellt Markus Weitere Gutachten für zahlreiche Fachzeitschriften (Limnologie, Ökologie) sowie nationale und internationale Einrichtungen zur Forschungsförderung.

e-mail: markus.weitere@ufz.de

Ohne Wasser kein Leben. Wenige Worte, die sehr komprimiert die Erkenntnis beschreiben, dass Wasser eine essentielle Ressource für alle Lebewesen ist. Über diesen ressourcenbezogenen Blickwinkel hinaus ist Wasser aber auch ein eigenständiger Lebensraum. Wasser bedeckt über 70 Prozent der Erdoberfläche. Damit nehmen aquatische Ökosysteme in unserer Biosphäre eine dominante Rolle ein. In ihnen sind über 700 Gigatonnen organischer Kohlenstoff enthalten. Das entspricht ungefähr der Menge an Kohlenstoff, welcher in Form von Kohlendioxid in der Atmosphäre enthalten ist, oder der Menge Kohlenstoff in allen Landpflanzen. Die Algen im Wasser leisten 45 Prozent der globalen Primärproduktion, obwohl sie lediglich ein Prozent der Weltpflanzenbiomasse ausmachen. Kurzum, die aquatischen Ökosysteme bestimmen maßgeblich die globalen Stoffkreisläufe. Deshalb ist ein gutes Verständnis ihrer Funktionsweise die Grundlage für einen verantwortungsvollen und nachhaltigen Umgang des Menschen mit den natürlichen Ressourcen auf unserem Planeten.

Aquatische Ökosysteme stellen elementare Dienstleistungen für die Menschheit zur Verfügung. Sie sind Grundlage für Trink-, Brauch- und Bewässerungswasser, die biologische Selbstreinigung, Fischerei, Transport, Erholung und Biodiversität. Bei genauerer Betrachtung dieser Leistungen fällt auf, dass sie zu einem großen Teil von Süßgewässern zur Verfügung gestellt werden. Obwohl lediglich 0,3 Prozent des global verfügbaren Wassers in Flüssen und Seen enthalten ist, sind es jedoch genau diese Ökosysteme, welche elementare Dienstleistungen wie die Trink- und Brauchwasserversorgung bereitstellen. Nicht zufällig sind historische Zivilisationen und unsere heutigen großen urbanen Kulturräume entlang großer Flüsse und Seen entstanden. Aber nicht nur aus menschlicher Sicht, sondern auch aus ökologischem Blickwinkel spielen Süßwasser-Ökosysteme eine sehr große Rolle. Obwohl sie weniger als ein Prozent der Erdoberfläche ausmachen, sind sie Lebensraum für über zehn Prozent aller bekannten Tierarten. Bei Wirbeltieren beträgt der Anteil sogar 35 Prozent. Süßwasser bildet daher einen Hotspot der Biodiversität.

Wasser in der Wissenschaft „Ökologie“

Warum sich Ökologen für das Wasser – insbesondere das Süßwasser – interessieren, hat aber noch einen ganz anderen Grund: Aquatische Systeme eignen sich hervorragend für experimentelle Arbeiten. Ein experimenteller Ansatz hilft uns, Prozesse nicht nur zu messen, sondern auch zu verstehen, wie sie gesteuert werden. Hierdurch kann die ökologische Forschung wichtige Impulse für das gezielte Management von Ökosystemen und natürlichen Ressourcen liefern.

Kein Ökologe kann die Räuber-Beute-Interaktionen zwischen Löwen und Gnus im Labor unter kontrollierten Randbedingungen untersuchen. Ebenso wenig lässt sich die Sukzession von Graslandschaften zu Waldsystemen unter konstanten Temperatur- und Nährstoffbedingungen im Freiland beobachten. Denn die räumlichen und zeitlichen Skalen vieler ökologischer Prozesse entziehen sich einer wissenschaftlichen Bearbeitung in Form des klassischen Experiments, in dem außer dem zu testenden Prozess alle anderen Umweltfaktoren konstant gehalten werden. Diese philosophisch bedingten Einschränkungen mögen zwar als akademische Fachsimpelei abgetan

werden. Sie sind aber in der Tat einer der Gründe dafür, dass die Ökologie soviel Zeit benötigte, um sich zu einer exakten Wissenschaft zu entwickeln.

Erst die Ausrichtung auf aquatische Systeme machte es den Ökologen möglich, einen mechanistischen, system-orientierten Ansatz zu entwickeln, der heute die Grundlage der modernen Ökologie ist. Denn viele der komplexen Interaktionen zwischen Organismen und ihrer Umwelt lassen sich in einem Glas Wasser beobachten. In jedem Tropfen Wasser aus einem See oder Fluss existieren unzählige Organismen, die miteinander in Konkurrenz stehen, sich vermehren, Ressourcen konsumieren oder als Räuber andere Organismen jagen. In einem Glas Wasser „stecken“ also dieselben Dynamiken und Gesetzmäßigkeiten, die in der Serengeti, im Ozean oder im tropischen Regenwald wirken. Im Gegensatz zu den Bedingungen im Freiland sind die Bedingungen im Labor kontrolliert. Und nur so ist experimentelles Arbeiten möglich.

Als G. F. Gause in den 1930er Jahren das Exklusionsprinzip formulierte – ein grundlegendes Gesetz in der Ökologie, welches besagt, dass zwei Organismen nicht koexistieren können, wenn sie dieselbe ökologische Nische besetzen – machte er sich diese Vorteile zu Nutze. Er arbeitete mit verschiedenen Einzellern, die er in Bechergläsern mit Wasser kultivierte und untersuchte. Gause legte damit eine wichtige Grundlage für unser heutiges Verständnis von Konkurrenzbeziehungen zwischen Organismen und letztlich der Dynamik von Ökosystemen. Jedoch werden die Fragestellungen mit zunehmendem Wissensfortschritt und mit neuen Herausforderungen im Zuge des globalen Wandels immer komplexer. Über das Erforschen genereller Prinzipien im kleinen Mikrokosmos hinaus wollen wir heute auch verstehen, wie sich Ökosysteme in Zukunft ändern. Auch wollen wir wissen, an welchen „Schrauben“ gedreht werden kann, um die Serviceleistungen von Ökosystemen in einer sich wandelnden Welt zu erhalten. Wir müssen also unsere experimentellen Manipulationen (z. B. die Zugabe neuartiger Umweltchemikalien) in einen möglichst naturnahen Kontext setzen. Nicht zuletzt aus diesem Grunde entwickelt das UFZ derzeit eine große mobile Mesokosmenanlage (MOBICOS), welche Ökologen und Umweltwissenschaftlern als Forschungsplattform dient, um die Steuerung elementarer Prozesse, Leistungen und Eigenschaften von Ökosystemen in einer kontrollierten Umgebung zu untersuchen.



Süßgewässer sind ein Hotspot der Biodiversität.

Bild links: Arten der Gattung *Hydropsyche* gehören zu den Köcherfliegen (*Trichoptera*). Sie bauen keinen Köcher, sondern erstellen Netze, mit denen Nahrung aus dem Wasser gefiltert wird. Arten der Gattung *Hydropsyche* sind strikt an Fließgewässer gebunden, da sie passiv aus dem Wasser Nahrung filtern.

Bild rechts: Der Große Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) ist ein allesfressender Flohkrebs, der als eingewanderte Art inzwischen in fast allen deutschen Flüssen vorkommt. Er wird mit dem Aussterben heimischer Amphipoda in Verbindung gebracht. Sein Ursprungsgebiet sind die Unterläufe von Flüssen, die in das Schwarze Meer münden.

Foto: Sven Bauth/UFZ

Belastungen aquatischer Ökosysteme durch den Menschen

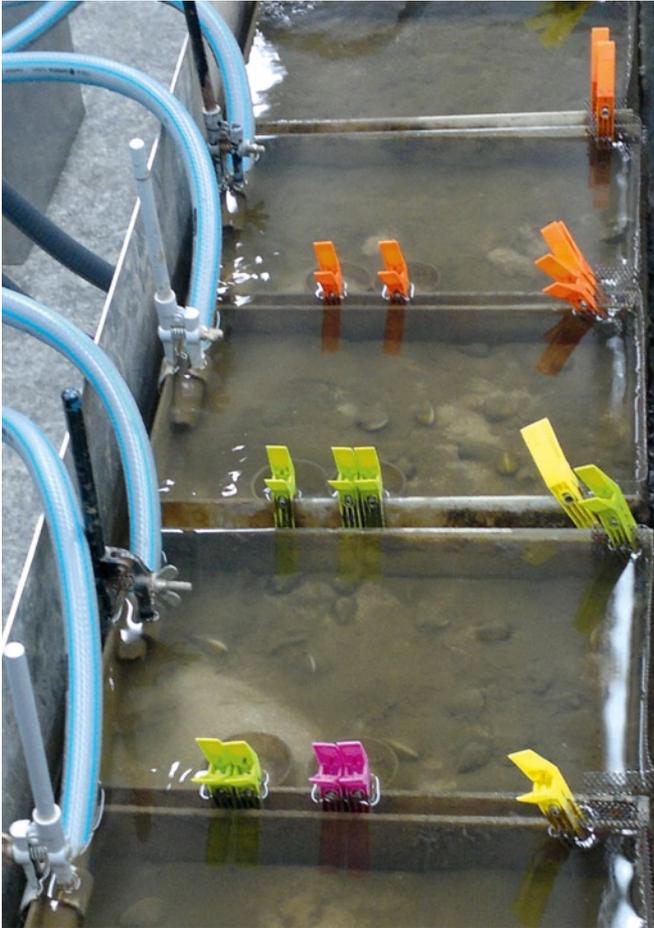
Dank der sich rasch entwickelnden aquatischen Ökologie, die in ihrer modernen Form seit etwa 100 Jahren betrieben wird, hat sich unser Verständnis von der Funktionsweise aquatischer Ökosysteme deutlich verbessert. Mit diesem Wissen – etwa über die wesentlichen Stressoren in Flüssen und Seen – war es möglich, in zahlreichen Industrieländern Maßnahmen zur Verbesserung ihres ökologischen Zustandes erfolgreich umzusetzen. Beispielsweise identifizierten Wissenschaftler in den 1970er Jahren mit substantieller Unterstützung durch die OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) die Ursache der galoppierenden Eutrophierung von Oberflächengewässern: die steigende Phosphatkonzentration in Gewässern. Denn Phosphor ist die primäre begrenzende Ressource für das Wachstum von Algen. Diese Erkenntnis hat dazu geführt, dass der Phosphoreintrag in

MOBICOS – WASSERFORSCHUNG IM CONTAINER



MOBICOS-Container an der Elbe
Foto: Helge Norf/UFZ

MOBICOS (Mobile Aquatic Mesocosms) sind in oder an Gewässern stationierte mobile Container, in denen naturnahe Untersuchungen und Experimente durchgeführt werden können. Das Oberflächenwasser wird im Container in Versuchsbecken, welche den Umweltkompartimenten nachempfunden sind, geleitet und kann dann dort untersucht oder „experimentell“ manipuliert werden. Durch gezielte Manipulationen kann so die Reaktion von Ökosystemen auf neuartige Stressoren (einzeln oder in Kombination) getestet werden. Gleichzeitig können Maßnahmen zur Verbesserung von Ökosystemleistungen experimentell überprüft werden. Beides bildet eine wichtige Voraussetzung für die wissenschaftlich fundierte Erarbeitung von Managementstrategien. Die Container können universell in fließenden, aber auch stehenden Gewässern eingesetzt werden. Der Einsatz der mobilen Mesokosmen im Bodeeinzugsgebiet innerhalb des „Terrestrial Environmental Observatory“ der Helmholtz-Gemeinschaft (TERENO) ist nur eine von vielen verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten der mobilen „Experimentierboxen“. MOBICOS ist darüber hinaus eine Plattform, die auch von externen Kooperationspartnern genutzt werden kann.



In der MOBICOS-Anlage findet eine Vergleichsstudie zum Wachstum von Körchenmuscheln (*Corbicula fluminea*) in Rhein und Elbe statt. Die Muschel filtert Partikel aus der Wassersäule und kann die Belastung durch übermäßiges Wachstum von Algen reduzieren. Im Rhein kommt die Muschel in großen Mengen vor. Sie ist jedoch in der Elbe relativ selten, obwohl beispielsweise das Nahrungsangebot und die Sedimente optimal sind. Ein identisches Experiment läuft auf der Ökologischen Rheinstation in Köln, um die Frage beantworten zu können: Was sind die Ursachen für die unterschiedlichen Häufigkeiten der Körchenmuschel in Rhein und Elbe? Foto: Helge Norf/UFZ

unsere Gewässer deutlich reduziert wurde. Es wurden Technologien entwickelt, um Phosphat aus dem Abwasser zu entfernen. In vielen Ländern wird inzwischen auf den Zusatz von Phosphaten in Waschmitteln verzichtet.

Ein Musterbeispiel für die Bekämpfung der Eutrophierung ist der Bodensee. Im See, der insgesamt über vier Millionen Menschen mit Trinkwasser versorgt, war gegen Ende der 1970er Jahre der Phosphorgehalt im Vergleich zu dem natürlichen Zustand mehr als zehnfach erhöht. Mit bedrohlichen Folgen: Die Konzentration potenziell giftiger Blaualgen nahm stetig zu und die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser verringerte sich dramatisch. Der massive Ausbau der Abwasserbehandlung im Einzugsgebiet aller Anrainerstaaten brachte in den frühen 80er Jahren die entscheidende Trendumkehr. Heute hat der Bodensee seinen natürlichen Zustand fast zurück erlangt und ist als oligotrophes (nährstoffarmes) Gewässer klassifiziert. Die Kosten der Bodenseesanierung (die nebenbei bemerkt ein bemerkenswertes Beispiel für erfolgreiche, transnationale Wasserwirtschaft darstellt) beliefen sich auf vier Milliarden Dollar. Gleichwohl diese Investition für einen See luxuriös erscheinen mag, hilft ein zweiter Blick: Mit 1.000 Dollar pro Kopf konnte die Trinkwasserver-

sorgung für vier Millionen Menschen nachhaltig gesichert werden. Eine Investition, die sicher auch in vielen anderen – vor allem wasserarmen – Regionen dieser Welt sinnvoll und lohnenswert wäre. Die Belastung der Gewässer durch Nährstoffe ist mittlerweile in Deutschland deutlich zurückgegangen. Trotz der Anstrengungen und Erfolge liegt die Nährstoffbelastung in heutigen Gewässern oft weit über den natürlichen Hintergrundwerten. Die oft aus diffusen Quellen stammenden Nährstoffe lassen sich jedoch nicht immer durch technisch mögliche und wirtschaftlich vertretbare Maßnahmen weiter reduzieren. Hier ist, parallel zu weiteren Bemühungen zur Nährstoffreduktion, auch die ökologische Forschung gefragt: Welche Struktur brauchen Ökosysteme, um trotz gegebener Nährstoffbelastung optimal zu funktionieren? Und was können wir tun, um dies zu verbessern? Solche Fragen zur Eutrophierung sollen unter anderem in MOBICOS geklärt werden. Denn insbesondere in den sogenannten Schwellenländern tritt diese Eutrophierungsproblematik verstärkt auf. Hier wiederholt sich eine Entwicklung, die die Industrieländer bereits durchgemacht haben: Die industrielle und agrartechnische Entwicklung verläuft rasanter als die Entwicklung von Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz und geht somit zunächst auf Kosten der Umwelt, insbesondere der aquatischen.

Neben den klassischen Belastungen durch Nährstoffe und Giftstoffe treten zunehmend neuartige Stressoren in den Vordergrund. Globalisierung, Klimaveränderungen, Landnutzungswandel und demografischer Wandel bringen einen ganzen Cocktail multipler Stressoren mit sich. Es bleibt bislang offen, wie die aquatischen Ökosysteme darauf reagieren und welche Konsequenzen das für die anthropogenen Nutzungen haben wird.

Belastbare Prognosen setzen ein sehr gutes quantitatives Verständnis der ökologischen Wirkzusammenhänge voraus, welches jedoch nicht in allen Bereichen vorhanden ist. Zahlreiche Studien zeigen allerdings, dass verschiedene Ökosysteme auf bestimmte Stressoren unterschiedlich empfindlich reagieren. In manchen Ökosystemen



Die Wasserqualität von Trinkwassertalsperren leidet zunehmend unter den steigenden organischen Kohlenstoffgehalten (DOC) im Wasser. Um die dazu führenden Prozesse besser zu verstehen und um Prognosen aufzustellen, etabliert das UFZ zurzeit ein Talsperrenobservatorium an der Rappbodetalsperre im Ostharz, der größten Trinkwassertalsperre Deutschlands.

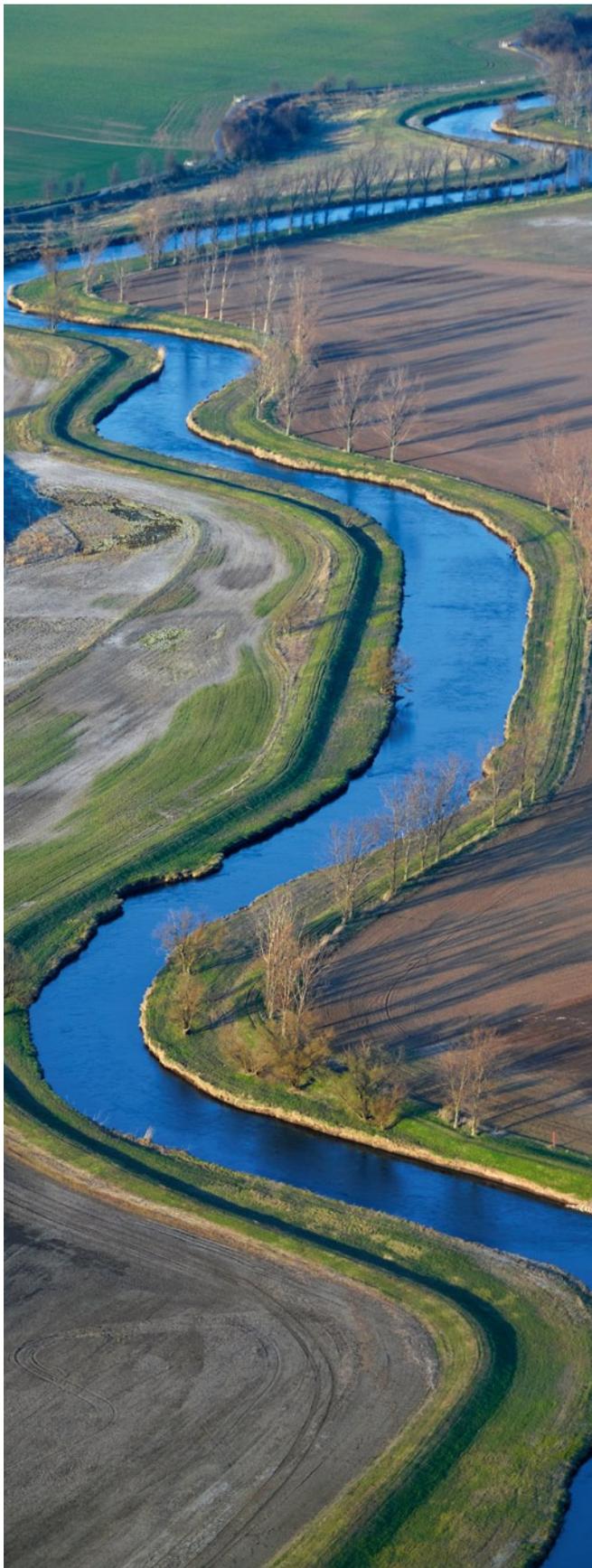
existieren offensichtlich optimierte interne Ökosystemstrukturen, die bewirken, dass sie auf äußere Stressoren weniger sensitiv reagieren.

Die Einheit von Gewässer und Einzugsgebiet

Das Beispiel der Eutrophierung dokumentiert ebenfalls anschaulich, wie sehr der Zustand unserer Gewässer durch menschliche Aktivitäten im Einzugsgebiet beeinflusst wird. Angetrieben durch den hydrologischen Kreislauf wird fortwährend gelöstes und partikuläres Material aus dem Einzugsgebiet in die Gewässer transportiert. Die Flüsse und Seen als Haupt-Transportweg zwischen Land und Meer sind somit im Grunde eine Art „Blutgefäß“, durch das alle Materialien hindurchströmen, wenn sie aus der Landfläche mobilisiert werden. Lediglich der aerosolgebundene Transport in der Atmosphäre stellt hiervon eine Ausnahme dar. Und genau wie Mediziner das Blut untersuchen, um etwas über den Zustand des Körpers zu erfahren, ist für Biologen und Hydrologen die Untersuchung des Wassers ein „Schnelltest“. Die Gewässer sind letztlich empfindliche Sensoren in der Landschaft. Ihre Untersuchung macht es möglich, Prozesse zu erfassen, die in der Fläche des Einzugsgebietes sonst nur schwer greifbar sind. In einer sich rasant ändernden Welt sind die Gewässer deshalb ein wichtiges Studienobjekt, um die Auswirkungen des Menschen auf seine Umwelt zu verstehen.

Die engen Interaktionen zwischen Landschaft und Gewässer zeigen sich zum Beispiel in folgender Entwicklung: Seit über 20 Jahren beobachten Limnologen einen kontinuierlichen Anstieg des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) in den Oberflächengewässern. Gleichzeitig nimmt der Gehalt an organischem Kohlenstoff in Böden ab. Während also Böden degradieren, werden gleichzeitig die Nutzungsmöglichkeiten von Oberflächengewässern eingeschränkt. So leidet z. B. die Wasserqualität von Trinkwassertalsperren zunehmend unter den steigenden organischen Kohlenstoffgehalten (DOC) im Wasser, und die Aufbereitung der Rohwässer im Wasserwerk wird kostenintensiver und technisch schwieriger. Um die Prozesse, die am Umsatz des gelösten organischen Kohlenstoffs beteiligt sind, besser zu verstehen und um Prognosen für den weiteren Verlauf dieser Entwicklung zu generieren, ist ein Verständnis der Einheit von Einzugsgebiet und Gewässer zwingend erforderlich. Hierfür etabliert das UFZ zurzeit ein Talsperrenobservatorium an der Rappbodetalsperre im Ostharz, der größten Trinkwassertalsperre Deutschlands. In enger Kooperation mit dem Talsperrenbetreiber (Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt) und dem Wasserversorger (Fernwasserversorger Elbaue-Ostharz) installieren UFZ-Wissenschaftler ein zeitlich hoch auflösendes Messnetz in und um die Talsperre. Die komplexen Interaktionen zwischen Einzugsgebiet und Talsperre können somit quantitativ erfasst und als Datengrundlage für die Entwicklung prognosefähiger Prozessmodelle verwendet werden.

Über die Grenzen der aquatischen Ökosysteme hinausblickend ergibt sich für die Ökologen nun die Herausforderung, die Gewässer im Kontext mit der Landschaft zu verstehen. Die komplexen und weitreichenden Eingriffe des Menschen in die Biosphäre und ihre Folgen hat Nobelpreisträger Paul Crutzen mit dem Begriff „Anthropozän“ prägnant charakterisiert: Die globalen menschlichen Eingriffe verlangen eine kompartimentübergreifende Betrachtung der globalen Stoffflüsse und deren Interaktionen. Für die Wasserforschung ist das eine große Herausforderung, da Ökologen, Hydrologen, Bodenwissenschaftler, Meteorologen und Ingenieure fachübergreifend zusammenarbeiten müssen – also auch über ihr „Kompartiment“ hinaus. ■



Flüsse sind als Haupttransportweg zwischen Land und Meer im Grunde eine Art „Blutgefäß“, durch die viele Materialien hindurchströmen. Und ähnlich einem medizinischen „Bluttest“ ist für Biologen und Hydrologen die Untersuchung des Wassers ein „Schnelltest“, der Auskunft über den Zustand der Landschaft gibt.

WASSER UND RECHT – RECHTSGRUNDLAGEN UND ORGANISATION DER WASSERWIRTSCHAFT UND DES GEWÄSSERSCHUTZES IN DEUTSCHLAND



Prof. Dr. Wolfgang Köck

Der Jurist leitet das Department Umwelt- und Planungsrecht am UFZ und lehrt an der Juristenfakultät der Universität Leipzig. Einen Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeiten bildet das Wasserrecht. Aktuell befasst er sich mit der Weiterentwicklung von Abwasserabgabe und Wasserentnahmeentgelten zu einer umfassenden Wassernutzungsabgabe und mit Governanceaspekten der nachhaltigen Bewirtschaftung von Wasserressourcen in der EU. Das Department Umwelt- und Planungsrecht befasst sich in vielerlei Hinsicht mit der rechtlichen Bearbeitung der Probleme der Wasserwirtschaft und des Gewässerschutzes, so u. a. mit Verantwortungsstrukturen des Flussgebietsmanagements, Problemen der Wasserwirtschaft im Klimawandel, der Weiterentwicklung der Wassernutzungsabgaben, der Gestaltung infrastrukturegebundener Wasserversorgung und Abwasserentsorgung vor den Herausforderungen des demographischen und des klimatischen Wandels oder den Salzeinleitungen durch die Kaliindustrie im Flusseinzugsgebiet der Weser (Auftrag des Runden Tisches „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“ 2009).
e-mail: wolfgang.koeck@ufz.de

Wasserwirtschaft in Deutschland und die wichtigsten Nutzer

Wasserwirtschaft ist die Bewirtschaftung der Wasserressourcen in qualitativer und quantitativer Hinsicht. Diese Aufgabe schließt den Schutz der Wasserressourcen ein.

Deutschland ist ein wasserreiches Land. Das potenzielle Wasservolumen für die Bewirtschaftung (sogenanntes Wasserangebot) beläuft sich auf jährlich 188 Milliarden Kubikmeter. Von diesem Volumen werden gegenwärtig weniger als 20 Prozent wasserwirtschaftlich genutzt. Nur in einigen Regionen Deutschlands, namentlich in den Flusseinzugsgebieten Elbe, Weser und Rhein, liegt die Nutzungsrate deutlich über 20 Prozent und erreicht damit die Quote, bei der die Europäische Umweltagentur (EEA) bereits von „Wasserstress“ spricht. Der wichtigste Wassernutzer in Deutschland ist die Energiewirtschaft, die für ihre Kraftwerke insgesamt jährlich 19,7 Milliarden Kubikmeter Wasser zu Kühlzwecken entnimmt. Für die öffentliche Trinkwasserversorgung werden jährlich etwa fünf Milliarden Kubikmeter Wasser benötigt. Das insgesamt hohe verfügbare Wasservolumen in Deutschland führt dazu, dass die Mengenbewirtschaftung gegenwärtig – anders als in den exponentiellen Wachstumsjahren des Industrialisierungsprozesses im späten 19. Jahrhundert – nur in einigen Regionen Deutschlands besondere Maßnahmen erfordert.

Die wesentlichen Bewirtschaftungsherausforderungen liegen in der Qualitätsbewirtschaftung. Diese Bewirtschaftungsherausforderungen sind in Deutschland mit Blick auf die chemische Gewässerqualität insgesamt gut bewältigt: 88 Prozent aller Oberflächenwasserkörper weisen bereits heute den von der EU bis 2015 geforderten guten chemischen Zustand auf.

Die ökologische Gewässerqualität erreicht demgegenüber bisher nur in wenigen Gebieten die Zielmarke der Wasserrahmenrichtlinie: nur 10 Prozent der Oberflächenwasserkörper weisen den angestrebten guten Zustand auf bzw. werden ihn fristgerecht bis zum Jahre 2015 erreichen.

Dass die Gewässerbewirtschaftung im Hinblick auf die chemische Qualität insgesamt effektiv ist, liegt wesentlich an der Regulierung der Abwassereinleitungen durch Kläranlagen. Verbleibende Probleme in diesem Bereich sind auf die diffusen Nährstoff- und Pestizideinträge aus der Landwirtschaft zurückzuführen. Die Bewältigung der Probleme der ökologischen Gewässerqualität bereitet demgegenüber sehr viel größere Schwierigkeiten, weil es hier über die Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft hinaus um sehr vielfältige, sehr aufwändige und sehr viel Zeit benötigende Veränderungen in der Gewässerstruktur geht, die die Aufgabenbereiche vieler Akteure berühren, in der Regel nur durch erhebliche öffentliche finanzielle Mittel erreicht und nur zum Teil auf gesellschaftliche Verursacher abgewälzt werden können.



Die Energiewirtschaft in Deutschland entnimmt jährlich 19,7 Milliarden Kubikmeter Wasser zur Kühlung. Damit ist sie der wichtigste Wassernutzer in quantitativer Hinsicht. Foto: Fotolia.com

Verantwortung für die Bewirtschaftung von Wasserressourcen

Verantwortlich für die Bewirtschaftung der Wasserressourcen ist in Deutschland der Staat, der allerdings Aufgaben auf nichtstaatliche Einrichtungen übertragen darf und dies auch vielfach getan hat. Auf der Ebene des Bundes wird die Verantwortung im Wesentlichen durch die Gesetzgebung wahrgenommen. Die Vollziehung der Gesetze und die Organisation der Bewirtschaftungs- und Schutz Aufgabe obliegen demgegenüber grundsätzlich den Ländern.

Seit der Föderalismusreform im Jahre 2006 darf der Bund die Bewirtschaftung und den Schutz der Wasserressourcen vollständig regeln (sogenannte „konkurrierende Gesetzgebungsbefugnis“ – Art. 74 I Nr. 32 Grundgesetz). Der Kompetenzzuwachs des Bundes im Bereich der Wasserbewirtschaftung war aber nur durch einen Verfassungskompromiss zu bekommen. Dieser Kompromiss lautet, dass das Grundgesetz den Ländern im Bereich der Bewirtschaftung und des Schutzes der Wasserressourcen seit der Föderalismusreform beschränkte Abweichungsrechte einräumt, d. h., die Länder dürfen Regelungen treffen, die im Gegensatz zu Bundesregelungen stehen. Von seinen neuen Gesetzgebungskompetenzen hat der Bund Gebrauch gemacht durch sein Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) aus dem Jahre 2009. Das WHG regelt aber nicht alle Aspekte der Bewirtschaftung und des Schutzes abschließend, sondern enthält Verweise auf das Landesrecht und auch Lücken, so dass auch künftig noch die Landeswassergesetze Bedeutung haben werden.

Bedeutungsvoll ist auch die europäische Handlungsebene: Die Bewirtschaftung der Wasserressourcen und der Gewässerschutz in Deutschland sind heute in hohem Maße durch die rechtlichen

Vorgaben der Europäischen Union geprägt. Insbesondere die Bewirtschaftungsziele der Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahre 2000 beinhalten strenge Vorgaben für den Gewässerschutz und binden die Mitgliedstaaten. Die EU wirkt zudem nicht nur durch originär wasserrechtliche Regelungen auf die Bewirtschaftung der Wasserressourcen in Deutschland ein, sondern auch durch Politikinstrumente anderer europäischer Politikbereiche, wie etwa den Finanzbeihilfen, die aus der Gemeinsamen Agrarpolitik für die Finanzierung von Gewässerschutz- bzw. Gewässerentwicklungsmaßnahmen bereitgestellt werden.



Abwassereinleitung in die Bilina (deutsch Biela), einen Nebenfluss der Elbe in Nordböhmen (Tschechien). In Deutschland ist das direkte Einleiten von Abwasser in Gewässer durch das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) von 2009 streng geregelt.



Wesentliche Gewässerbelastungen resultieren aus Pestizid- und Nährstoffeinträgen (Gülle, Dung) in das Grund- und Oberflächenwasser, aber auch aus der Praxis der Entwässerung (Melioration). Fotos: links – Fotolia.com; rechts – LUGV Brandenburg/Timo Riecker, FPB GmbH

Konzeptionelle Grundlagen des Wasserwirtschaftsrechts

Durch das WHG ist eine öffentlich-rechtliche Bewirtschaftungsordnung etabliert worden, die prinzipiell jede Wassernutzung unter einen Erlaubnisvorbehalt stellt. Auf die Wassernutzung besteht kein Rechtsanspruch der Nutzer. Ob eine Nutzung gestattet wird, liegt im Bewirtschaftungsermessen des Staates. Für die Ausübung seines Bewirtschaftungsermessens hat die zuständige Behörde die Bewirtschaftungsziele zu beachten, die das europäische Gewässerschutzrecht vorgibt. Die Bewirtschaftung muss daher so erfolgen, dass ein guter Gewässerzustand erreicht werden kann (Verbesserungsgebot) und darüber hinaus jedenfalls keine erhebliche Verschlechterung des bestehenden Zustandes erfolgt. Die Ausübung des Bewirtschaftungsermessens erfolgt üblicherweise durch die ebenfalls europarechtlich vorgeschriebene Bewirtschaftungsplanung und das Maßnahmenprogramm. Durch diese Pläne sollen die Einzelentscheidungen auf der Gestattungsebene vorbereitet werden.

Das WHG verlangt ergänzend zu den zielbezogenen Bewirtschaftungsanforderungen, dass eine Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Direkteinleitung) nur erteilt werden darf, wenn die Menge und Schädlichkeit des Abwassers so gering gehalten wird, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist. Diese Vorgabe gilt zustandsunabhängig als Mindestanforderung für jede Abwasser-einleitung.

Bewirtschaftungsanforderungen und instrumentell-organisatorische Weichenstellungen: Bewirtschaftungsplanung, Flussgebietsgemeinschaften

Die Wasserrahmenrichtlinie und deren Umsetzung in deutsches Recht haben nicht dazu geführt, die Vollzugszuständigkeiten in Deutschland neu zu ordnen. Zwar muss die Bewirtschaftung nun auf der Ebene von Flusseinzugsgebieten erfolgen, aber der deutsche Gesetzgeber hat für die gesetzlich festgelegten zehn Flusseinzugsgebiete in Deutschland keine zentralen Verwaltungseinheiten geschaffen, sondern er verlangt lediglich, dass die jeweils zustän-

digen Landesbehörden ihre wasserwirtschaftlichen Planungen und Maßnahmen untereinander zu koordinieren haben.

Das formelle Koordinierungsinstrument, das durch das Europarecht und das Bundesrecht zur Verfügung gestellt wird, ist das Maßnahmenprogramm bzw. der Bewirtschaftungsplan. Die Koordinierungsmechanismen zur Erarbeitung dieser Programme und Pläne sind demgegenüber sowohl europarechtlich als auch bundesrechtlich nur sehr partiell geregelt. Ergänzende Regelungen sind dem Landesgesetzgeber überlassen. Die Landesgesetzgeber haben von ihren Möglichkeiten, ergänzende Regelungen zur Maßnahmenprogrammierung und zur Bewirtschaftungsplanung zu erlassen, in unterschiedlicher Weise Gebrauch gemacht. In einigen Landesgesetzen (zum Beispiel im Wassergesetz des Landes Nordrhein-Westfalen) ist festgelegt, dass das zuständige Umweltministerium über Maßnahmen nur im Einvernehmen mit den betroffenen anderen Ministerien entscheiden kann (§ 2d WassG NRW). Insgesamt ergibt sich aus einer Durchsicht der Ländergesetze der Befund, dass das Entscheidungsverfahren über die Maßnahmenprogramme und die Bewirtschaftungspläne eher eine negative Koordination befördert: Jeder beteiligte Akteur hat Möglichkeiten, seine Interessen effektiv zu wahren, so dass nicht nur eine integrative, verursachergerechte Bewältigung der Gewässerbelastungen nicht zu erwarten ist, sondern die Zielerreichung insgesamt fraglich wird.

Die erste Generation der Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne, die in Deutschland fristgerecht im Dezember 2009 erarbeitet war, bestätigt diese Diagnose. Die nunmehr beschlossenen Programme und Pläne zeigen deutlich, dass die neue Koordinierungsaufgabe noch Schwierigkeiten bereitet und dass es neben den Problemen der räumlichen Koordination insbesondere auch unbewältigte Probleme der sachlichen Koordination gibt. Deutschland hat sich nicht darauf beschränkt, Regeln für die Erarbeitung der Pläne und Programme in den einzelnen Bundesländern zu setzen, sondern hat darüber hinaus auch organisatorische Weichenstellungen für eine flussgebietsbezogene Koordination

getroffen. Durch Ländervereinbarungen sind Koordinierungseinrichtungen etabliert worden. Hierzu zählen auf der Ebene der Flusseinzugsgebiete die Errichtung von Flussgebietsgemeinschaften (FGG), wie zum Beispiel die FGG Rhein oder die FGG Elbe. Dabei konnte man anschließen an die völkerrechtlich etablierten Internationalen Flussgebietskommissionen, wie etwa die Internationale Kommission zum Schutze des Rheins. Eine leistungsstarke interministerielle Arbeitsgemeinschaft zur Bewältigung von sektorübergreifenden Aspekten der Wasserwirtschaft sind die FGG allerdings nicht. Zur Lösung komplexer Bewirtschaftungsprobleme taugt diese Organisations- und Entscheidungsstruktur wenig.

Dass komplexe Bewirtschaftungsprobleme neue Herangehensweisen notwendig machen und auch informelle Ansätze hervorbringen, zeigt das Beispiel des Flusseinzugsgebietes Weser. Dort sind durch die Kaliproduktion über viele Jahrzehnte große Mengen salzhaltiges Abwasser in die Werra – einen Hauptarm der Weser – geleitet worden, so dass in den unterliegenden Ländern, namentlich in Niedersachsen und insbesondere in Bremen, kein Trinkwasser mehr aus dem Uferfiltrat des Flusses gewonnen werden konnte und auf eine Fernversorgung aus Talsperren umgestellt werden musste. Um den gravierenden Problemen der Versalzung der Weser wirksam begegnen zu können, zugleich aber die für die strukturarme Region sehr wichtige Kaliproduktion nicht zu gefährden, ist durch Beschluss der Landesregierungen in Hessen und Thüringen ein sogenannter „Runder Tisch“ etabliert worden, dem auch die Landesregierungen von Niedersachsen und Bremen, das Kaliunternehmen K+S, die Gemeinden, deren Grundwasservorräte durch die Versalzung bedroht sind, sowie verschiedene Umweltschutzorganisationen angehören und der von Gewässerexperten und Juristen des UFZ wissenschaftlich begleitet wurde. Der „Runde Tisch Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“ entwickelte in einem umfassenden Verfahren ein Lösungskonzept, dessen Übernahme in den Bewirtschaftungsplan und in das Maßnahmenprogramm allerdings noch aussteht.

Probleme der intersektoralen Koordinierung am Beispiel der Landwirtschaft

Um die europarechtlich festgelegten Ziele in den Flusseinzugsgebieten erreichen zu können, genügt es nicht, die Oberflächen- und Grundwasserkörper und deren unmittelbare Nutzung zu bewirtschaften. Notwendig ist es, die gesamte Landnutzung, soweit sie relevant für die Gewässerzustände ist, in Politikmaßnahmen einzubeziehen. Einer der wichtigsten Landnutzungssektoren ist in Deutschland die Landwirtschaft, die auf vielfältige Weise dafür verantwortlich ist, dass keine guten Gewässerzustände erreicht werden. Wesentliche Gewässerbelastungen aus der Landwirtschaft resultieren aus Nährstoff- und Pestizideinträgen in das Grund- und Oberflächenwasser, aber auch aus der Praxis der Entwässerung (Melioration), die im Verantwortungsbereich der von landwirtschaftlichen Interessen geprägten Wasser- und Bodenverbände liegt.

Weil die Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft aus diffusen Quellen stammen, gerät die ordnungsrechtliche Steuerung an ihre Leistungsgrenzen. Bisher sind mit der europäischen Nitrat-Richtlinie nur Vorgaben für den Auftrag von Dung und Gülle pro Wirtschaftseinheit gemacht worden, wobei auch hier die Kontrolle Probleme bereitet. Diesen Problemen könnte begegnet werden, indem sich die Politikbereiche von Wasserwirtschaft und Landwirtschaft besser abstimmen. Dafür gibt es Ansätze, wie z. B. die sogenannte „Cross Compliance“ der EU, also die Kopplung von Direktbeihilfen für Land-

wirte an die Einhaltung bestimmter umweltrechtlicher Vorschriften, oder die Finanzbeihilfen für den Gewässerschutz, die aus dem Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) gespeist werden. Durchgreifende Erfolge sind aber bisher nicht erzielt worden.

Selbst bei guter Politikabstimmung und Realisierung des Verursacherprinzips wird man sich bei der Verbesserung des ökologischen Zustandes – nach allem, was bisher in Deutschland zu beobachten ist – am ehesten Zielabweichungen in Kauf nehmen müssen. 150 Jahre Industrialisierung haben zu Strukturveränderungen der Gewässer geführt, die sich schwerlich wieder in einen naturnahen Zustand zurück versetzen lassen. Hier wird man künftig von einem zustandsbezogenen zu einem funktionsbezogenen Ansatz wechseln müssen.

Fazit

Die Bewirtschaftung und der Schutz der Wasserressourcen ist durch die Errichtung einer öffentlich-rechtlichen Bewirtschaftungsordnung, durch die Ausrichtung der Bewirtschaftung an die europarechtlich vorgegebenen Bewirtschaftungsziele, durch leistungsfähige Instrumente, wie insbesondere das Erlaubnissystem für die Benutzung des Wassers und die strengen Abwassereinleitungsstandards, sowie durch eine leistungsfähige Wasserwirtschaftsverwaltung der Länder und durch organisatorische Koordinierungsmechanismen, wie etwa die Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und die Flussgebietsgemeinschaften, gekennzeichnet. Insbesondere durch die Wasserrahmenrichtlinie ist die räumliche Koordination der Bewirtschaftungsaufgabe deutlich aufgewertet und sind entsprechende Organisationen und Verfahren etabliert worden. All dies ist dem Gewässerschutz sehr zugute gekommen.

Obwohl die deutsche Wasserwirtschaft – auch im internationalen Vergleich – stolz auf das Erreichte sein kann, ist Vieles noch nicht gut gelöst. So sind zwar Koordinierungsmechanismen für die räumliche und sachliche Integration etabliert worden, aber die Entscheidungswege zwischen den in einer Flussgebietsgemeinschaft liegenden Ländern sind auf Konsens angelegt. Es dominiert die negative Koordination mit Auswirkungen auf das Gesamtergebnis: Die Gewässerzustände erreichen vielerorts noch nicht den europarechtlich geforderten „guten Zustand“ (bzw. das „gute ökologische Potenzial“ für erheblich veränderte Wasserkörper). Das liegt vor allem daran, dass die Integration des Gewässerschutzes in andere sektorale Politikbereiche wie die Agrarpolitik noch nicht ausreichend gelungen ist. Die defizitäre Politikintegration ist aber kein hausgemachtes deutsches Problem, sondern ein Mehrebenenproblem. Es nimmt seinen Anfang in defizitärer Abstimmung zwischen europäischer Gewässerschutz- und Agrarpolitik und setzt sich auf der nationalen und auch auf der Ebene der Bundesländer fort.

Selbst bei guter Politikabstimmung und Realisierung des Verursacherprinzips wird man sich bei der Verbesserung des ökologischen Zustandes – nach allem, was bisher in Deutschland zu beobachten ist – am ehesten Zielabweichungen in Kauf nehmen müssen. 150 Jahre Industrialisierung haben zu Strukturveränderungen der Gewässer geführt, die sich schwerlich wieder in einen naturnahen Zustand zurück versetzen lassen. Hier wird man künftig von einem zustandsbezogenen zu einem funktionsbezogenen Ansatz wechseln müssen. ■■■

► **Einen Hörbeitrag zu diesem Thema finden Sie im Internet:**
www.ufz.de/podcasts-wasser

STANDPUNKT: WASSER UND MENSCHENRECHT – DAS RECHT AUF WASSER HAT (S)EINEN PREIS!



Prof. Dr. Erik Gawel ist stellvertretender Leiter des Departments Ökonomie am UFZ und Direktor des Instituts für Infrastruktur und Ressourcenmanagement der Universität Leipzig. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehört auch die Ökonomie des Gewässerschutzes. Er leitete das UBA-Forschungsprojekt zur Zukunft der Wassernutzungsabgaben und führt derzeit für das BMBF das Forschungsvorhaben Infracass durch.

e-mail: erik.gawel@ufz.de

Seit über drei Jahrzehnten steht das Recht auf Wasser auf der internationalen rechtspolitischen Agenda. Mit der Sorge um die Trinkwasserversorgung der wachsenden Weltbevölkerung wird der Ruf nach einem solchen Recht – vorgebracht von Globalisierungskritikern, Nichtregierungsorganisationen oder durch internationale Organisationen – immer lauter. Auf der Ebene internationaler Deklarationen ist zwischenzeitlich eine gewisse Etablierung eingetreten; umso dringlicher wären nunmehr nationale Umsetzungsperspektiven zu entwickeln, die dem Recht auf Wasser die nötige Mindestkonturierung verleihen könnten, vor allem aber Chancen auf konkrete Rechtsdurchsetzung eröffnen. Noch weithin unklar erscheinen aber bislang die normative Reichweite einer solchen Rechtsposition sowie ihre Stellung im Konzert zum Teil widerstreitender Anliegen einer ökologisch-nachhaltigen Wasserwirtschaftskonzeption.

Ausgangspunkt der Bemühungen um ein Recht auf Wasser ist zumeist die Feststellung, dass Wasser und Wasserdienste Güter mit besonderer Charakteristik darstellen, die den üblichen Verfahren der Güterbereitstellung daher zu entziehen seien. So formuliert die EG-Wasserrahmenrichtlinie bereits im ersten Erwägungsgrund: „Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss.“, nicht ohne bemerkenswerterweise im weiteren Verlauf in bisher nicht gekanntem Ausmaß auf eine ökonomische Bewirtschaftungsperspektive zu setzen, um die Ziele des Gewässerschutzes zu erreichen (wirtschaftliche Analyse, Kostendeckungsgrundsatz, Einbeziehung von Umwelt- und Ressourcenkosten). Zweifellos ist Wasser existenziell, der Schutz der Wasserressourcen lebensnotwendig und daher eine der wichtigsten Gemeinwohlaufgaben. Allerdings streitet aus ökonomischer Sicht nicht die existenzielle Relevanz eines Gutes für staatliche Garantiestellungen, sondern erst besondere Eigenschaften in der Güterbereitstellung. So wird etwa das lebenswichtige Gut Brot ohne weiteres dem Markt überlassen – mit akzeptablem gesellschaftlichem Ergebnis.

Das Recht auf Wasser hebt aus der Vielzahl konkurrierender Wassernutzungen den Trinkwasserbedarf privater Haushalte heraus und nobilitiert diesen durch einen Grundrechtsanspruch. Damit rücken aber die Zielkonflikte und Alternativkosten der Wasserversorgung in den Mittelpunkt der Betrachtung. Wasserdienste im Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung sind knappe ökonomische Güter. Ihre Bereitstellung erfordert volkswirtschaftliche Ressourcen, die auch an anderer Stelle gesellschaftliche Werte schaffen könnten und uns deshalb etwas „kosten“. Wasserdienstleistungen berühren zudem in vielfältiger Weise ökologische Fragen des Wasserhaushaltes. Probleme der Wasserbereitstellung können daher nicht ausschließlich unter sozialen Versorgungsgesichtspunkten betrachtet werden. Ökologisch verträgliche und zugleich verschwendungsfreie (effiziente) Ressourcennutzung sowie eine auskömmliche Finanzierung der Dienstleister sind ebenfalls wichtige Anliegen einer „ökologisch-nachhaltigen Wasserwirtschaft“, wie der deutsche Gesetzgeber in § 1 WHG nunmehr das normative Leitbild formuliert.

Die konkurrierenden Anliegen der Nutzungseffizienz, der ökologischen Nachhaltigkeit und der Refinanzierung bedienen auf lange Sicht über vielfältige Rückkopplungen gerade auch die Nachhaltigkeit von Versorgungssicherheit für ein Recht auf Wasser: Nur wo die Refinanzierung von Wasserdienstleistungen dauerhaft gesichert ist, ein intakter Naturhaushalt ein ausreichendes Wasserdargebot vorhält und mit knappen Ressourcen verschwendungsfrei gewirtschaftet wird, kann ein Recht auf Wasser insbesondere in Entwicklungsländern nachhaltig gesichert werden. Zudem kann man kaum erwarten, dass durch ein Grundrecht bereits konkrete Probleme der Wasserversorgung gelöst werden könnten: Die Verankerung in der südafrikanischen Verfassung bietet dafür einen eindrucklichen Beleg.

Soweit sich das Recht auf Wasser gegen Zugangshürden „unerschwinglicher“ Preise richtet, muss man beachten, dass in einer einzigen Variable, dem Preis, widerstreitende Gemeinwohlbelange versöhnt werden müssen – die Bezahlbarkeit, die betriebswirtschaftliche Effizienz der Produktion, die volkswirtschaftliche Ressourceneffizienz und die ökologische Nachhaltigkeit. Eine in Bezug auf den Preis schrankenlose Güterverfügung stellte einzelne Nutzer von der Ressourcenverantwortung frei und führte zu verschwenderischem Umgang mit knappen und ökologisch vulnerablen Ressourcen, der bei nicht-privilegierten, aber ebenfalls legitimierten Nutzern zu zusätzlichen Knappheitsfolgen führt.

Wasser ist lebenswichtig und kann in bestimmten Basisfunktionen nicht substituiert werden. Gerade deswegen sollten Nutzungen generell nicht von Ressourcenverantwortung freigestellt werden. Im Gegenteil sichert erst die Beachtung von wohldefinierten Zugangshürden – etwa in Gestalt vollkostendeckender Preise – langfristig eine nachhaltige Versorgung.

KURZINFORMATIONEN

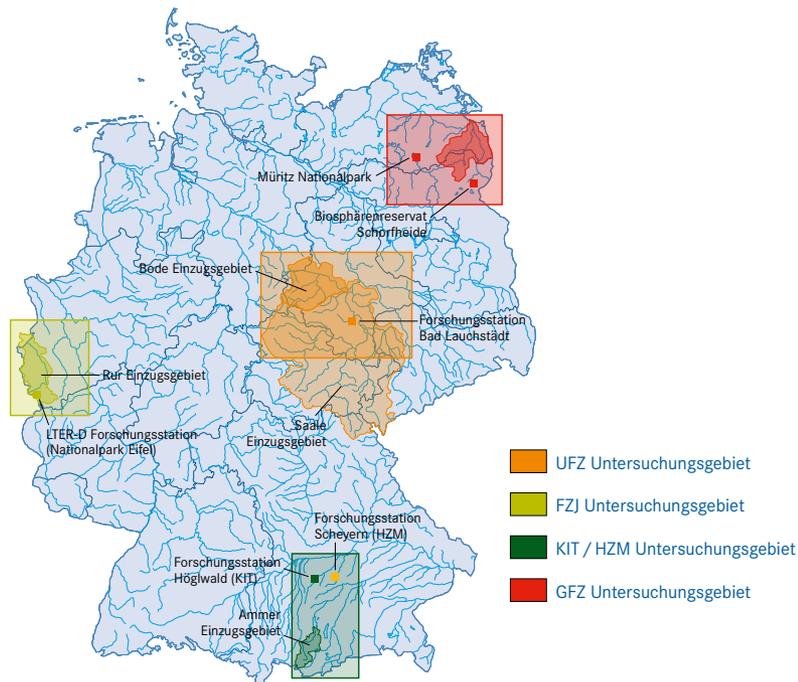
TERENO



Ein Schwerpunkt der Umweltbeobachtung im Projekt TERENO liegt auf dem Rappbode-Talsperrensystem. Hier installieren die Forscher eine Tauchsonde, um aussagekräftige Daten über die Wasserqualität zu erheben.

Nicht weniger als ein neues Erdbeobachtungs-Netzwerk ist das 2008 gestartete Projekt TERENO (**TER**restrial **EN**vironmental **Ob**servatories). Mehrere Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft haben sich darin zusammengeschlossen, um großräumig, ganzheitlich, interdisziplinär und methodisch vielfältig die langfristige Entwicklung der Umwelt zu erforschen. Dazu wird ein Mosaik aus Beobachtungen, Untersuchungen, Messergebnissen, Modellierungen und Experimenten zusammengefügt, das die Basis für die Vorhersage zukünftiger Entwicklungen bildet.

TERENO wird vom Forschungszentrum Jülich (FZJ) koordiniert. Projektpartner sind das Helmholtz-Zentrum München (HMGU), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das Helmholtz-Zentrum Potsdam (GFZ), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) sowie das UFZ. Im Fokus stehen vier Regionen Deutschlands (Nordosten, Mitteldeutschland/Harz, Rheingraben/Eifel, Voralpenregion), in denen langfristig erkundet wird, wie sich Klimaänderung und Landnutzungswandel regional auf Wasserkreisläufe, Klima und Wetter, biologische Vielfalt, Boden und Luftqualität auswirken. Dafür werden die verschiedensten mobilen und stationären Messtechniken eingesetzt. Darüber hinaus wird untersucht, welche sozioökonomischen Konsequenzen Veränderungen von Klima und Landnutzung haben, um gezielt Anpassungsstrategien entwickeln zu können.



Dr. Steffen Zacharias

Steffen Zacharias ist Mitarbeiter des Departments Monitoring- und Erkundungstechnologien. Er ist Mitglied im Scientific Steering Committee von TERENO und koordiniert am UFZ die Forschungsarbeiten im TERENO-Observatorium „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“.



Dr. Jan Fleckenstein

Dr. Jan Fleckenstein ist seit 2010 Leiter des Departments Hydrogeologie am UFZ. Ein Schwerpunkt seiner Forschungsarbeit liegt in der Quantifizierung und Simulation der Interaktionen zwischen Grund- und Oberflächenwasser und Prozessen in der hyporheischen Zone (Übergangszone zwischen Grund- und Oberflächenwasser), die u. a. an der Selke, einem Nebenfluss der Bode im TERENO-Untersuchungsgebiet, studiert werden.



Prof. Dr. Ralf Merz

Prof. Dr. Ralf Merz ist Leiter des Departments „Catchment Hydrology“ am UFZ in Halle, verbunden mit einem Ruf an die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Forschungsschwerpunkt ist die Analyse und Modellierung hydrologischer Prozesse auf größeren Raumskalen (hydrologische Einzugsgebiete).

Kontakte: Dr. Steffen Zacharias, steffen.zacharias@ufz.de; Dr. Jan Fleckenstein, jan.fleckenstein@ufz.de;
Prof. Dr. Ralf Merz, ralf.merz@ufz.de

WATER SCIENCE ALLIANCE

Die Water Science Alliance ist ein Instrument zur Bündelung und Stärkung der deutschen Wasserforschung. Um die großen Herausforderungen im Wasserbereich zu bewältigen, ist ein ganzheitlicher Forschungsansatz notwendig, der die verschiedenen Natur- und sozial-ökonomischen Wissenschaften integriert und dessen Lösungsstrategien über den Wassersektor hinausgehen.

Die sechs bisher ausgewiesenen Forschungsbereiche der Water Science Alliance (White Paper) sind:

- 1. Einfluss des Globalen Wandels auf die Wasserressourcen (Szenarienentwicklung)**
- 2. Innovationen für ein nachhaltiges Wasserressourcen-Management**
- 3. Quantifizierung von Wasser- und Stoffkreisläufen auf der regionalen Skala: Schutz von Umwelt und Gesundheit**
- 4. Integrierte Observations- und Explorationskonzepte**
- 5. Entwicklung komplexer Systemmodelle und Datenintegration**
- 6. Komplexes Wassermanagement im Circum-Mediterranen Raum**

Die Water Science Alliance wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt. Das UFZ hat 2009 vom Helmholtz-Senat das Mandat erhalten, die Water Science Alliance zu entwickeln.



Water Research Horizon Conference

Im Rahmen der Water Science Alliance findet jedes Jahr eine Water Research Horizon Conference statt. Bei der ersten Konferenz 2010 wurde das White Paper entwickelt. Thema der zweiten Konferenz im Juni 2011 waren Wasserqualität und Massenflüsse innerhalb von Wassereinzugsgebieten. Die dritte Konferenz wird im Juni 2012 stattfinden. Die Water Research Horizon Conference soll sich als Plattform der Wasser-Community etablieren, auf der gemeinsam neue Ideen, neue Visionen und neue Horizonte entwickelt werden.

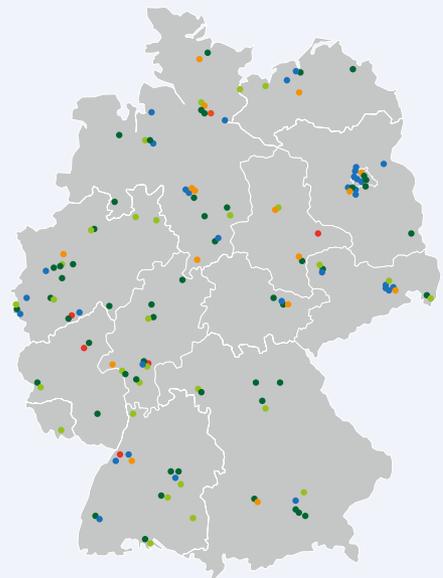
Kontakt:

Elisabeth Helen Krüger, Koordinatorin Water Research Activities (TERENO-MED, WSA),
elisabeth.krueger@ufz.de

www.watersciencealliance.de

WASSERFORSCHUNG IN DEUTSCHLAND – EINRICHTUNGEN

Stand November 2010



- Bundesbehörde
- Landesbehörde
- Forschungseinrichtung (außeruniversitär)
- Universität
- Fachhochschule



IWAS UND WESS

Zwei wichtige Bausteine der Water Science Alliance sind die Internationale Wasserforschungsallianz Sachsen (IWAS) und die Water and Earth system Science (WESS). In IWAS entwickeln Wissenschaftler des UFZ und der Technischen Universität Dresden sowie Praxispartner wie die Stadtentwässerung Dresden GmbH/Gelsenwasser AG angepasste Systemlösungen für die jeweiligen Wasserprobleme in verschiedenen sensiblen Regionen der Erde (Ukraine, Mongolei, Saudi Arabien/Oman, Vietnam, Brasilien). IWAS wird durch das BMBF im Rahmen des Programms „Spitzenforschung und Innovation in den Neuen Ländern“ gefördert.

In WESS, einer Kooperation mit den Universitäten Tübingen, Stuttgart und Hohenheim, werden die Auswirkungen sich verändernder Umweltbedingungen auf den Wasserkreislauf und Stoffflüsse in Wasser, Boden und Atmosphäre untersucht.

Kontakte (IWAS): Prof. Dr. Dietrich Borchardt, Dept. Aquatische Ökosystemanalyse, dietrich.borchardt@ufz.de; Prof. Dr. Peter Krebs, TU Dresden, peter.krebs@tu-dresden.de; www.iwas-sachsen.ufz.de

Kontakt (WESS): Dr. Hermann Rügner (WESS-Koordinator), Universität Tübingen, h.ruegner@uni-tuebingen.de

EXPERTEN AUS ALLER WELT TAUSCHTEN SICH IN DRESDEN ÜBER GLOBALE WASSERPROBLEME AUS



Auf der Konferenz zum Integrierten Wasserressourcenmanagement (IWRM) diskutierten Experten unter anderem den Know-how Transfer von Wassertechnologien in Schwellen- und Entwicklungsländer. Fotos: Klaus-Dieter Sonntag

Wasserexperten aus aller Welt diskutierten am 12./13. Oktober 2011 in Dresden über die nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Wasser. Etwa 400 Wissenschaftler und Mitarbeiter von Politik, Verwaltung, Unternehmen und der Entwicklungszusammenarbeit aus über 50 Ländern haben an der Konferenz zum Integrierten Wasserressourcenmanagement (IWRM) teilgenommen. Sie widmeten sich in über 100 Vorträgen, Diskussionen und zahlreichen Posterbeiträgen der nachhaltigen Bewirtschaftung von Wasser.

Behandelt wurden dabei aktuelle Fragen des Wassersektors wie z. B.: Wie kann die Wasserbewirtschaftung in Zeiten des Klimawandels nachhaltig geplant werden? Welche Technologien tragen zu einer effizienten Nutzung von Wasser bei? Wie kann deutsches Know-how in Schwellen- und Entwicklungsländern genutzt werden? Wie kann ein flexibles und integratives Wasserressourcenmanagement konzipiert werden? Die Konferenz wurde vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) organisiert, vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und von der International Water Association (IWA) sowie dem Global Water Systems Project (GWSP) unterstützt.

Die Bandbreite der Konferenz gestaltete sich so vielfältig wie die Wasserprobleme es weltweit sind: Kostenfragen bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland, Modernisierung des Wassersektors in Osteuropa, Einfluss des Klimawandels auf die Trinkwasserversorgung in Zentralasien, Bevölkerungswachstum in Lateinamerika, Wasserrecycling im Mittelmeerraum oder Dürren in Ostafrika waren nur einige der Themen, die die Experten in Dresden diskutiert haben.

Am Ende der Konferenz waren sie sich einig, dass ein nachhaltiges Wasserressourcen-Management nur Sektoren übergreifend funktionieren kann: Auf horizontaler Ebene muss es Bereiche wie Landwirtschaft, Energiegewinnung, Rohstoffnutzung, Umwelt und Wissenschaft beinhalten und vertikal sollte es sich auf internationaler, nationaler, regionaler und lokaler Ebene bewegen. Das kann nur mit Öffentlich-Privaten Partnerschaften funktionieren sowie in einem engen Dialog zwischen staatlichen Institutionen, Wissenschaft, Nichtregierungsorganisationen und der Gesellschaft.



Der Sprecher des UFZ-Forschungsbereiches „Nachhaltiges Management von Wasserressourcen“, Dietrich Borchardt, zog am Ende ein positiv-kritisches Resümee: „Das IWRM-Konzept hat innerhalb der letzten 20 Jahre eine breite Zustimmung in den meisten Ländern weltweit erfahren. Doch obwohl ein beträchtlicher Fortschritt erreicht wurde, IWRM in die nationale Politik, Strategien und Gesetze einzubeziehen, hinkt die eigentliche Umsetzung hinterher. Die Realisierung der jeweiligen Programme muss beschleunigt werden, da die Dynamik von Veränderungsprozessen in vielen Regionen auf der Welt sehr schnell ist und bereits zu irreversiblen Schäden an Wasserressourcen führt.“

www.bmbf.iwrm2011.de

Die Spezialausgabe des UFZ-Newsletters „In Sachen Wasser“ gibt – über das UFZ-Expertenheft hinaus – Einblicke in aktuelle Projekte und Themenschwerpunkte aus der interdisziplinären Wasserforschung des UFZ, beispielsweise über Stoffflüsse, giftige Chemikalien in Gewässern, dreidimensionale Einblicke in den Untergrund, Lösungsansätze für die Wasserprobleme in Jordanien und der Mongolei oder die Bedeutung von Flussauen.

Download und Bestellung: www.ufz.de/index.php?de=21987



FORSCHEN FÜR DIE UMWELT

Im **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ** erforschen Wissenschaftler die Ursachen und Folgen der weit reichenden Veränderungen unserer Umwelt. Ihre Aufgabe besteht darin, zur Lösung konkreter Umweltprobleme beizutragen. Für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft stellen sie Wissen über die komplexen Systeme und Beziehungen in der Umwelt bereit und empfehlen Instrumente und Handlungskonzepte.

Die Helmholtz-Forscher befassen sich mit dem Management von Wasserressourcen und den Folgen des Landnutzungswandels für die biologische Vielfalt und die Ökosystemfunktionen. Sie entwickeln Sanierungsstrategien, Monitoring- und Erkundungsmethoden für kontaminiertes Grund- und Oberflächenwasser, Böden und Sedimente. Sie untersuchen das Verhalten und die Wirkung von Chemikalien in der Umwelt und auf die Gesundheit und das Immunsystem des Menschen und arbeiten an Modellen zur Vorhersage von Umweltveränderungen. Dabei berücksichtigen sie sozialwissenschaftliche und ökonomische Fragestellungen. Die naturwissenschaftlich ausgerichtete Umweltforschung ist deshalb am UFZ eng mit den Human-, Sozial- und Rechtswissenschaften vernetzt.

Das UFZ wurde 1991 gegründet und hat heute etwa 1.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und ein Gesamtbudget von mehr als 90 Millionen Euro. Seit seiner Gründung ist einer der Forschungsschwerpunkte des UFZ das Management der Ressource Wasser. Lag der Fokus in den neunziger Jahren noch sehr stark auf dem Umgang mit Altlasten in Grund- und Oberflächengewässern und deren nachhaltiger Sanierung, ist der Forschungsansatz der etwa 150 „Wasserforscher“ des UFZ heute ein viel breiterer. Mit seiner Expertise auf den Gebieten der Erkundung, des Monitorings, der Modellierung und Visualisierung von Prozessen und Stoffflüssen in aquatischen Ökosystemen sowie des Integrierten Wasserressourcenmanagements will das UFZ seinen Beitrag leisten, das seit 2010 erklärte Menschenrecht auf Wasser umzusetzen.

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ
Permoserstraße 15 · 04318 Leipzig
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit: Telefon: 0341/235-1269 · e-mail: info@ufz.de
www.ufz.de



UFZ-Standort Leipzig
in der Permoserstraße 15



UFZ-Standort Halle
in der Theodor-Lieser-Straße 4



UFZ-Standort Magdeburg
in der Brückstraße 3a

DIE HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT

Die Helmholtz-Gemeinschaft leistet Beiträge zur Lösung großer und drängender Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft durch wissenschaftliche Spitzenleistungen in sechs Forschungsbereichen: Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Schlüsseltechnologien, Struktur der Materie sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr. Die Helmholtz-Gemeinschaft ist mit über 31.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in 17 Forschungszentren und einem Jahresbudget von rund 3,3 Milliarden Euro die größte Wissenschaftsorganisation Deutschlands. Ihre Arbeit steht in der Tradition des großen Naturforschers Hermann von Helmholtz (1821–1894). www.helmholtz.de