

# SPEKTRUM

 UNIVERSITÄT  
BAYREUTH

8. JAHRGANG • AUSGABE 1 • NOVEMBER 2012

ZUKUNFTSFORUM 2012

„Wasser im globalen Wandel“  
Interview mit Prof. Dr. Klaus Töpfer

SEITEN 6-11

WASSER GLOBAL

Wieviel Wasser  
braucht der Mensch?

SEITEN 6-25

REGIONEN IM FOKUS

Von Oberfranken  
bis zum „Dach der Welt“

SEITEN 26-53

PERSPEKTIVEN

Herausforderungen für  
Wissenschaft und Praxis

SEITEN 54-78



# Wasser – Ressource der Zukunft

**W**asser im globalen Wandel – das ist das Leitthema dieser neuen Spektrum-Ausgabe und ebenso des Zukunftsförums, das Universität und Stadt Bayreuth erneut gemeinsam veranstalten. Die fantastische Montage des Titelbilds erinnert dabei an eine unabänderliche Tatsache: Von keiner anderen Ressource hängt das Leben auf dem „Blauen Planeten“ so unmittelbar ab wie vom Wasser.

Die Texte, Tabellen und Bilder in dieser Ausgabe zeigen aber auch: Das weltweit verfügbare Trinkwasser ist äußerst ungleich verteilt, mit gravierenden Folgen für die Lebens- und Überlebenschancen auf der Erde.

Was also ist zu tun, damit es in Zukunft für alle Menschen genügend sauberes Wasser gibt? Die Frage richtet sich mit zunehmender Eindringlichkeit auch an die Wissenschaft. Die Vielfalt der Disziplinen, die an innovativen Lösungen mitwirken können, spiegelt sich in den Forschungs- und Arbeitsgebieten der Autoren und Interviewpartner, deren Beiträge diese Spektrum-Ausgabe vereint. Transdisziplinäres Denken und ethisches Engagement sind gefordert, damit neue Erkenntnisse zu gerechten und nachhaltigen Entwicklungen führen.

Denn das Recht auf Wasser ist – die Vereinten Nationen haben es ausdrücklich bekräftigt – ein grundlegendes Menschenrecht.

Seien Sie herzlich willkommen beim Zukunftsförum 2012!

Ihre

Christian Wißler  
Stabsstelle Presse, Marketing  
und Kommunikation

Birgit Thies  
Bayreuther Zentrum für Ökologie und  
Umweltforschung

Titelbild: Fotomontage  
Andreas Gaube (Fotos: sst)

## DAS REDAKTIONSTEAM DIESER AUSGABE



Christian Wißler M.A.,  
Fachwirt Public Relations  
(BAW), Stabsstelle Presse, Mär-  
keting und Kommunikation der  
Universität Bayreuth.



Dr. Birgit Thies, Geschäfts-  
stelle des Bayreuther  
Zentrums für Ökologie und  
Umweltforschung (BayCEER),  
Universität Bayreuth.



Nora Marie Zaremba, B.A.,  
Masterstudiengang Glo-  
bal Change Ecology (Elitenetz-  
werk Bayern) an der Universität  
Bayreuth.



Asja Bernd, B.A., Master-  
studiengang Global  
Change Ecology (Elitenetzwerk  
Bayern) an der Universität  
Bayreuth.

# Liebe Leserinnen und Leser,

Im vergangenen August hat das Stockholm International Water Institute (SIWI) gewarnt, dass die Ernährung der Weltbevölkerung im Jahr 2050 mit dann 9 Milliarden Menschen infolge einer zu geringen Wasserverfügbarkeit nicht mehr zu gewährleisten sei. Das SIWI ist eines der renommiertesten Wasserforschungsinstitute der Welt und befasst sich mit globalen Fragen der Wasserversorgung. Grund für diese Warnung ist der hohe und stetig wachsende Fleischverbrauch der Bevölkerung in den reichen Ländern und den Schwellenländern.

Ich habe diese kurze Zeitungsnotiz meinen beiden Söhnen vorgelesen, die beide Fleisch als Grundnahrungsmittel betrachten. Die Reaktion war Empörung und Zurückweisung dieses „blödsinnigen Zusammenhangs“, da doch genügend Wasser in Ländern wie Brasilien vorhanden sei, in denen sehr viel Fleisch produziert wird.

Wir haben dann schrittweise den Zusammenhang analysiert, und am Grummeln konnte ich feststellen, dass sie sich der Logik der Argumentation nicht ganz entziehen konnten: Die Produktion von Fleisch aus Futtermitteln wie beispielsweise Soja verbraucht etwa das 10-fache an Wasser als die direkte Produktion von Nahrungsmitteln wie etwa

Getreide. Dadurch wächst der Wasserbedarf für die Weltnahrungsmittelproduktion ins Unermessliche und kommt an seine physikalischen Grenzen.

Dieses Beispiel bringt anschaulich zum Ausdruck, dass die Zusammenhänge zwischen der physikalischen Verfügbarkeit einer Ressource und den sozialen Konsequenzen alles andere als einfach sind und eben nur auf einen zweiten oder gar dritten Blick verständlich werden.

Ziel des Zukunftsforums „Wasser im globalen Wandel“ ist es, diese Zusammenhänge sichtbar und für ein breiteres Publikum besser verständlich zu machen. Denn nur dann lassen sich auch die politischen Entscheidungen vermitteln, die zweifellos in naher Zukunft anstehen.

Ich wünsche Ihnen viele Aha-Momente bei der Lektüre dieses Spektrums – und hoffe, Sie auf dem Zukunftsforum begrüßen zu dürfen!

Stefan Peiffer

Lehrstuhl für Hydrologie,  
Geschäftsführender Direktor des Bayreuther  
Zentrums für Ökologie und Umweltforschung



Der Hydrologe Prof. Dr. Stefan Peiffer ist gemeinsam mit Prof. Dr. Carl Beierkuhnlein vom Lehrstuhl Biogeografie Ideengeber des diesjährigen Zukunftsforums „Wasser im globalen Wandel“.

## IMPRESSUM

### Spektrum-Magazin der Universität Bayreuth

Auflage: 2.500 Stück

#### HERAUSGEBER:

Universität Bayreuth  
Harald Scholl und Christian Wißler,  
Stabsstelle Presse, Marketing und  
Kommunikation (V.i.S.d.P.)

#### REDAKTION:

Christian Wißler, Birgit Thies,  
Nora Marie Zarembo, Asja Bernd

#### KONTAKTANSCHRIFT:

Stabsstelle Presse, Marketing und  
Kommunikation der Universität Bayreuth  
95440 Bayreuth  
Telefon (09 21) 55 - 53 56 / - 53 24  
Telefax (09 21) 55 - 53 25  
pressestelle@uni-bayreuth.de  
www.uni-bayreuth.de

#### DRUCK:

Holtz AG, Neudrossenfeld

#### SATZ UND LAYOUT:

GAUBE media agentur, Bayreuth  
Telefon (09 21) 5 07 14 41  
spektrum@gaube-media.de

#### BILDQUELLEN-KENNZEICHNUNG:

sst: www.shutterstock.com  
cp: www.clipdealer.com

*Diese Ausgabe des SPEKTRUM wurde auf  
wasserschonendem Recyclingpapier gedruckt.*

**Alle Beiträge sind bei Quellenangaben und Belegexemplaren frei zur Veröffentlichung.**

# Wasser im globalen Wandel

- 2 **Wasser – Ressource der Zukunft.**  
Editorial von Christian Wißler und Birgit Thies, Redaktion.
- 3 **Präambel.** Von Stefan Peiffer, Direktor des BayCEER.
- 4 **Inhaltsverzeichnis.**

## WASSER GLOBAL

- 6 **Wasser im globalen Wandel.**  
Interview mit Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Klaus Töpfer zu Herausforderungen und Fortschritten in globaler Perspektive.
- 12 **Virtuelles Wasser.**  
Was ist das, wer verbraucht es und vor allem: wie viel davon?



- 16 **Wasser- und Energieversorgung.**  
Eine globale Herausforderung.
- 22 **Wasser, ein knappes Gut.**  
Interview mit Dr. Ines Dombrowsky zum Wassermanagement in Entwicklungs- und Industrieländern.



## ZUKUNFTSFORUM

- 45 **Das Zukunftsforum.**  
Wissenschaft – Kultur – Gesellschaft.
- 79 **Programm.**  
16. November 2012, Universität Bayreuth.



## REGIONEN IM FOKUS

- 26 **Wasser in Oberfranken.**  
Wie viel Wasser brauchen wir, und wo wird es gewonnen?
- 32 **Wer gräbt wem das Wasser ab?**  
Dem Wasser auf der Spur mit stabilen Isotopen in Portugal.
- 36 **Wasser für 6 Millionen Einwohner.**  
Privatisierung im staatlichen Wassermanagement von Khartum.
- 40 **Wasserversorgung im Umland von Khartum.** Serau als Fallbeispiel.
- 42 **Ingenieure ohne Grenzen.**  
Bayreuther Studierende engagieren sich für Wasserprojekte in Afrika.





- 46 **Auf dem „Dach der Welt“.** Die Rolle Tibets bei der Wasserversorgung Südostasiens.
- 50 **Starkregen garantiert.** Von der Landwirtschaft in den Bergen Südkoreas bis zum Trinkwasser in Seoul.

## TRINKWASSER

- 49 **Trinkwasserqualität.** Was drin sein muss ...
- 63 ... und was nicht hineingehört.



54 Chancen erkennen und technologische Möglichkeiten ausschöpfen. Lösungen für Probleme finden und diese wirtschaftlich gestalten. Die Vision einer „Severless City“, einer kanallosen Stadt. Alles ist im Kreislauf.

## PERSPEKTIVEN

- 54 **Technologien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft.** Interview mit Dr.-Ing. E.h. Hans Huber, Vorsitzender des Aufsichtsrates der HUBER SE.



64

Extremereignisse und ihre Wirkung auf die Pflanzen erforschen: Die EVENT-Experimente im ÖBG.

- 60 **Aufwärts in die Atmosphäre.** Die Bedeutung der Verdunstung für die Verfügbarkeit von Wasser.
- 64 **Biodiversität trocken gelegt.** Forschung im Ökologisch-Botanischen Garten der Universität Bayreuth.
- 68 **Risiko und Entwicklung.** Sozialwissenschaftliche Kompetenz im Zentrum für Naturrisiken und Entwicklung Bayreuth.
- 70 **Das Menschenrecht auf Wasser.** Interview mit Prof. Dr. Silke Ruth Laskowski, Universität Kassel.
- 76 **Lernen an Stationen.** Das Thema Wasser im Schulunterricht.



■ CHRISTIAN WIßLER

# Wasser im globalen Wandel

HERAUSFORDERUNGEN UND FORTSCHRITTE IN GLOBALER PERSPEKTIVE

INTERVIEW MIT PROF. DR. DR. H.C. MULT. KLAUS TÖPFER,  
TRÄGER DES WILHELMINE-VON-BAYREUTH-PREISES 2012 DER STADT BAYREUTH

**H**err Professor Töpfer, im Jahr 2000 haben 189 Mitgliedstaaten der Vereinten Nationen acht große „Millenniums-Entwicklungsziele“ beschlossen. Unter anderem haben sie sich dazu verpflichtet, bis 2015 den Anteil der Menschen zu halbieren, die keinen dauerhaft gesicherten Zugang zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser haben. 2015 endet auch die von den Vereinten Nationen ausgerufene Dekade „Water for Life“. Diese Initiative soll die Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft, aber auch die Öffentlichkeit insgesamt für die Herausforderung einer menschenwürdigen Wasserversorgung sensibilisieren. Doch in den letzten Jahren haben die internationale Finanz- und Bankenkrise und die Zukunft des Euro immer stärker die allgemeine Aufmerksamkeit beansprucht. Wird das Thema „Wasser“ dadurch völlig in den Hintergrund gedrängt?

**Töpfer:** Ich glaube das nicht. Wir sind ja häufig mit einem eurozentrischen Blick unterwegs und glauben, wenn bei uns kaum über Wasser gesprochen wird, spricht man in der Welt nicht darüber. Man vergisst dabei, dass Europa in Bälde nur noch fünf Prozent der Weltbevölkerung ausmacht. Doch wenn Sie einmal aus den engen Grenzen Europas herausgehen, werden Sie sehen, dass die Wasserherausforderung sich richtigerweise als ein ganz stabiles Thema in der Diskussion hält und Anstöße zum Handeln gibt. Das kann man allein daran festmachen, dass es gelungen ist, das Recht auf Wasser zu einem Menschenrecht zu machen. Von manchen wird ein solches Recht vielleicht als akademischer Anspruch abgetan, aber in vielen Ländern der Welt spielt der Nachdruck, welchen das Menschenrecht den damit einhergehenden Herausforderungen verleiht, eine große Rolle. Auch wenn Probleme der Wasserversorgung bei uns derzeit in den Hintergrund treten, wäre es ein großer Fehler, wenn Deutschland sich aus diesem „Megathema“ verabschieden würde.

**Wißler:** Drängende Fragen auf den Gebieten der Wasserinfrastruktur und des Wassermanagements sind häufig von der Art, dass sie letztlich auf lokaler und regionaler Ebene gelöst werden müssen. Welche Rolle können internationale Institutionen und Organisationen dabei übernehmen?

**Töpfer:** Eine globale Wasserkonvention, wie sie von manchen gefordert wurde, ist aus meiner Sicht in der Tat nicht sinnvoll. Aber es gibt andere Wege, wie beispielsweise die Vereinten Nationen in einzelne Länder und Regionen hineinwirken können.

Die UNO hat in den letzten Jahrzehnten sehr erfolgreich dazu beigetragen, dass Regierungen und Behörden verschiedener Länder bei der Nutzung gemeinsamer Wassereinzugsgebiete kooperieren. In Südostasien etwa arbeiten Vietnam, Kambodscha und weitere Anrainerstaaten des Mekong schon seit langem in der „Mekong River Commission“ zusammen. Auch der Weltgipfel 2002 in Johannesburg hat Anstöße dafür gegeben, dass sich immer mehr solcher „Flussgebietskommissionen“ gebildet haben. Konventionen und rechtsverbindliche Regelungen in diesem Bereich sind vorbeugende Friedenspolitik im besten Sinne des Wortes! Europa hat in dieser Hinsicht als Vorbild gewirkt – denken Sie nur an die Konvention zum Schutz des Rheins, die in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt wurde und geholfen hat, ähnliche Abkommen in anderen Weltregionen auf den Weg zu bringen.

**Wißler:** Kann man angesichts dieser Fortschritte auf multilateraler Ebene nicht den Eindruck gewinnen, dass die Verhältnisse innerhalb einzelner Staaten dahinter zurückbleiben? In der politischen Diskussion hat sich der Begriff der „Wasser-Governance“ eingebürgert, um auf ungelöste Probleme zu verweisen, die ihre Ursache in schlechter Regierungsführung, korrupten Verwaltungen und unzulänglicher Organisation haben ...

**Töpfer:** Mit der Governance-Problematik sprechen Sie ein ganz zentrales Thema an. Allerdings ist die Gesetzgebung in den meisten Ländern gut, wir haben vielerorts wunderbare Wassergesetze, die teilweise auch mit internationaler Unterstützung entwickelt wurden. Die gravierenden Probleme beginnen, wenn es darum geht, diese Gesetze

## ZUR PERSON

### Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Klaus Töpfer

war von 1987 bis 1994 Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; von 1994 bis Anfang 1998 Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Ende 1997 wählte ihn die UNO-Generalversammlung einstimmig zum Exekutivdirektor des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP), das er bis 2006 von Nairobi aus leitete. Darüber hinaus war er von 2001 bis 2010 Mitglied und zuletzt auch Stellvertretender Vorsitzender im Rat für Nachhaltige Entwicklung.

Heute arbeitet Klaus Töpfer in Potsdam als Direktor des 2009 gegründeten Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS). Zugleich hat er eine Professur für Umwelt und nachhaltige Entwicklung an der Tongji-Universität in Shanghai inne. Seit 2008 ist er Vizepräsident der Welthungerhilfe.

umzusetzen und ihre Einhaltung zu kontrollieren. Beispielsweise haben wir, als ich für UNEP – das Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen – gearbeitet habe, die Wasserversorgung aller großen afrikanischen Städte untersucht und festgestellt: In keiner dieser Großstädte, von Addis Abeba bis nach Kapstadt, liegt der Wasserverlust im Verteilungsnetz bei unter 50 Prozent. Es gibt technische Defekte und organisierten Wasserdiebstahl; hinzu kommen große Schwierigkeiten bei der Messung des Wasserverbrauchs und bei der kostendeckenden Bezahlung des Wassers. Ganz ähnliche Probleme gibt es in Zentral- und Südamerika; alles Governance-Probleme, die eine alsbaldige Lösung der Wasserfrage nicht erwarten lassen.

Hier in Deutschland mokieren wir uns oft über die öffentliche Verwaltung, weil sie angeblich zu langsam und ineffizient arbeitet. Aber wenn Sie

bildung von Fachkräften im Wassermanagement widmen könnten – und zwar auf allen beruflichen Ebenen.

Für Resignation gibt es, bei allen ungelösten Fragen, keinen Grund. Denn vielerorts erleben wir heute auch Beispiele für gelungene Wasser-Governance.

So gibt es in Südafrika heute ein sehr sinnvolles Wasserpreissystem: Eine Grundmenge von Wasser ist sehr niedrig bepreist; aber bei steigendem Verbrauch

erhöht sich der Preis pro Menge. Solche richtigen und wichtigen Ansätze müssen weiter ausgebaut werden.

**Wißler:** *Inwieweit können westliche Industriestaaten dazu beitragen, dass in Afrika und Südamerika strukturelle Voraussetzungen für eine effiziente „Wasser-Governance“ geschaffen werden? Besteht die Gefahr, dass entsprechende Initiativen nicht als partnerschaftliche Hilfe, sondern – in Erinnerung an die Zeit des Kolonialismus – als Fremdbestimmung wahrgenommen werden?*

**Töpfer:** Zweifellos ist in manchen Ländern erheblicher Schaden entstanden, weil unter dem Einfluss des Westens höchst unverantwortliche Struktur-reformen umgesetzt wurden. Ein drastisches Beispiel ist der so genannte „Guerra del Agua“, der Wasserkrieg, der sich in der bolivianischen Metropole Cochabamba abgespielt hat. Auf Druck des Internationalen Währungsfonds wurde die Wasserversorgung privaten Firmen und Investoren übertragen. Die Wasserpreise stiegen rasant, es kam zu massiven Protesten und einem Generalstreik, schließlich wurde das Kriegsrecht über die Stadt verhängt. Westliche Regierungen und Firmen, aber auch internationale Organisationen sollten also sehr umsichtig agieren. Wir dürfen nicht den Ehrgeiz haben, eigene ökonomische Standards in kürzester Zeit auf ärmere Länder übertragen zu wollen. Und wir müssen den enormen lokalen und regionalen Unterschieden Rechnung tragen, mit denen wir es beispielsweise in Südamerika und Afrika zu tun haben.

Das gilt übrigens nicht nur für die Nord-Süd-Zusammenarbeit, sondern ebenso für Süd-Süd-Kooperationen, deren Bedeutung ständig zunimmt.

„GERADE BEI DER WASSERVERSORGUNG ZEIGT SICH, DASS WIR DIE ANSTEHENDEN PROBLEME NICHT ALLEIN UNTER ÖKONOMISCHEN ODER TECHNISCHEN ASPEKTEN ANGEHEN DÜRFEN.“

Abb. 1: Blick von einem Hügel auf das Zentrum von Cochabamba in Bolivien, Schauplatz des sogenannten „Guerra del Agua“, ausgelöst durch einen rasanten Anstieg der Wasserpreise infolge von Privatisierungsmaßnahmen. Foto: Shanin (cd)



in Afrika sind, lernen Sie die Verlässlichkeit der deutschen Bürokratie schätzen! Die Qualität der öffentlichen Verwaltung muss in vielen Ländern dringend weiterentwickelt werden. Ein wichtiger Schritt auf diesem Weg wären Partnerschaften von Städten und Stadtwerken, die sich speziell der Aus-

Als ich im Frühjahr dieses Jahres nach längerer Zeit wieder in Nairobi war, habe ich die Stadt fast nicht wiedererkannt – auch infolge der massiven Investitionen aus China in die öffentliche Infrastruktur.

**Wißler:** Wie wird die Rolle Deutschlands in der internationalen Entwicklungszusammenarbeit eingeschätzt?

**Töpfer:** Die Deutschen sind nach meinem Eindruck ein sehr angesehener und akzeptierter Partner, angefangen von Regierungsvertretern bis hin zu NGOs. Ich bin derzeit Vizepräsident der Welthungerhilfe und mache auch in dieser Funktion die Erfahrung, dass Deutschland international einen guten Ruf genießt. Man vertraut unserem technischen und wissenschaftlichen Know-how.

**Wißler:** Ist dieses Vertrauen nicht auch eine Chance, um in der Zusammenarbeit von Hochschulen und Forschungseinrichtungen gemeinsame Ansätze und Lösungen zur Wasserversorgung zu entwickeln?

**Töpfer:** Ganz sicher. Ich freue mich wirklich darüber, aus wie vielen Ländern Studenten nach Deutschland kommen – in unseren großen Universitäten ist ja nahezu die gesamte Mitgliedschaft der Vereinten Nationen vertreten. Wir haben in den letzten Jahrzehnten im Hochschulbereich sehr viel an Reputation, an Vertrauen zurückgewinnen können – nicht zuletzt auch deshalb, weil es bei uns zum Grundkanon gehört, dass man Englisch sprechen kann. Mit Studienangeboten in englischer Sprache sind wir auf gutem Weg, international wieder voll wettbewerbsfähig zu werden. Viele Studenten, die aus anderen Regionen der Welt zu uns kommen, kehren mit ihren hier erworbenen Kompetenzen wieder in ihre Heimatländer zurück und geben dort wichtige Impulse für wissenschaftliche und technologische Prozesse. Meiner Überzeugung nach ist es geradezu ein Indikator für die Entwicklungsfähigkeit eines Landes, wie viele junge Leute ins Ausland gehen und mit einem Studienabschluss wieder in ihr Heimatland zurückkehren. China und Indien unternehmen bemerkenswerte Anstrengungen, um durch Auslandsprogramme für ihre Studenten die eigene Wirtschaft zu stärken und ihre Studenten auch wieder in die heimische Wirtschaft und Gesellschaft zu integrieren.

Zugleich ist es auch ein großer Vorteil für Deutschland, wenn wir in unseren Universitäten hochtalentiertere und engagierte Studenten aus anderen Ländern ausbilden. Um nur ein Beispiel zu nen-



nen: Der Forschungsminister Chinas, Professor Wan Dang, hat in Niedersachsen an der TU Clausthal promoviert und war anschließend bei Audi in Ingolstadt in leitenden Funktionen für Forschung und Entwicklung tätig. Die Zusammenarbeit im wissenschaftlichen Bereich, mit Partnern in Asien, Afrika oder Südamerika, ist also für uns selbst eine Zukunftsinvestition.

**Wißler:** Müssen nicht Natur-, Technik- und Kulturwissenschaften bei derartigen Kooperationen stärker ineinandergreifen? Bei großen Herausforderungen wie der Wasserversorgung werden innovative Lösungen wohl nur dann auf Akzeptanz stoßen, wenn kulturelle und religiöse Aspekte dabei mitberücksichtigt werden ...

**Töpfer:** Ja, das ist eine *conditio sine qua non*. Wer heute glaubt, die großen Zukunftsthemen ließen sich allein in naturwissenschaftlich-technischer Dimension behandeln, wird nicht allzu weit

Abb. 2: Der Mekong, einer der längsten Flüsse der Erde. Vietnam, Kambodscha und weitere Anrainerstaaten kooperieren schon seit langem und mit Erfolg in der „Mekong River Commission“.

Abb. 3: Blick auf Shanghai. Das großtechnologische Abwassersystem der chinesischen Metropole ist hochgradig energieintensiv. Foto: Fuyu Liu (sst)

kommen. Wir brauchen dieses Zusammenwirken mit den Kultur- und Geisteswissenschaften, auch über die Interdisziplinarität hinaus. Eine übergreifende, transdisziplinäre Entwicklung von Wissenschaft sollte der Tatsache Rechnung tragen, dass in einer globalen Wissensgesellschaft Menschen zusammenleben, die von ganz unterschiedlichen Voraussetzungen herkommen, sich weiterbilden und zur Lösung von Zukunftsfragen beitragen wollen. Gerade bei der Wasserversorgung zeigt sich, dass wir die anstehenden Probleme nicht allein unter ökonomischen oder technischen Aspekten angehen dürfen. Es gibt keine Weltreligion, in der Wasser nicht eine klare spirituelle Dimension hat, sei es beispielsweise im Christentum in der Taufe oder im Islam. Wasser gilt bei vielen Menschen in der Welt als eine Gabe Gottes. Unter diesen Voraussetzungen ist eine marktwirtschaftliche Privatisierung des Wassers – vorsichtig gesagt – ein „No Go“; sie wird sogar als Affront empfunden.

Auch die Folgen für soziale Strukturen sollten wir immer mitbedenken, wenn wir technische Verbesserungen auf den Weg bringen. Wenn es in afrikanischen Dörfern gelingt, einzelne Haushalte direkt mit Wasser zu beliefern, ist das natürlich ein großer Vorteil. Aber dies bedeutet auch, dass Frauen sich nicht mehr beim Wasserholen treffen und sich miteinander unterhalten; mit anderen Worten, etablierte Verhaltensmuster geraten unter Druck. Die Solarkocher, die so genannten „cook stoves“, die Sonnenenergie in Wärme umwandeln, sind auch eine wunderbare Sache. Die mit Holz betriebenen Feuerstellen, die verschiedene Gesundheits- und Umweltprobleme verursachen und die durch diese neue Technik ersetzt werden sollen, werden aber von den Menschen in Afrika nicht bloß als

Abb. 4: Washtag in einem Dorf in Rajasthan, Indien. Foto: Space Factory / Shutterstock.com



Kochgelegenheit wahrgenommen. Sie erfüllen in den Haushalten eine soziale Funktion, und Feuer hat dabei eine starke Symbolkraft. Grundsätzlich gilt also, dass technische Innovationen von sozialwissenschaftlicher Seite mit vorbereitet werden müssen.

**Wißler:** *Gegenwärtig rückt das Thema „Energie“ im öffentlichen Bewusstsein und in politischen Diskussionen immer stärker in den Vordergrund. Können von dieser Entwicklung auch Impulse für den Umgang mit der „Wasser“-Thematik ausgehen?*

**Töpfer:** Wir beobachten gegenwärtig, dass diese beiden Zukunftsfragen immer stärker miteinander verknüpft werden. Dabei wird, wie ich hoffe, die Einsicht wachsen, dass großtechnologische Lösungen in vielen Entwicklungsländern keine Rolle spielen können. Die sind in der Regel zu energieintensiv und zu kapitalintensiv. Ich habe mir beispielsweise in China die beiden riesigen Kläranlagen angesehen, die 80 km vor Shanghai an der Küste liegen. Hier wird das Abwasser durch gewaltige tunnelartige Röhren hindurchgepumpt. Ein solches System verbraucht enorm viel Energie. Deshalb sind meine chinesischen Gesprächspartner heute der Auffassung, dass ein dezentrales Abwassersystem vermutlich vorteilhafter gewesen



wäre. Aber als die Kläranlagen vor Shanghai errichtet wurden, hatten dezentrale Konzepte und Technologien überhaupt keine Chance, sich gegen die Planung dieser großtechnologischen Anlagen durchzusetzen. Wir müssen in der internationalen Entwicklungszusammenarbeit künftig viel stärker darauf achten, dass energieeffiziente Lösungen, die den lokalen Erfordernissen flexibel angepasst sind, zum Zuge kommen können.

**Wißler:** *Wie schätzen Sie in diesem Zusammenhang den Stand der Technik im Bereich der Meerwasserentsalzung ein? Fortschritte auf diesem Gebiet sind vermutlich unabdingbar, um eine wachsende Weltbevölkerung künftig mit Trinkwasser versorgen zu können. Aber bisher scheint die Entwicklung von großtechnologischen Konzepten geprägt.*

**Töpfer:** Die Techniken, die bisher zum Einsatz kommen, sind sehr energieintensiv. Und sie sind in ökologischer Hinsicht keineswegs unproblematisch. Ich selbst arbeite an einem Projekt in Katar mit, das insbesondere darauf abzielt, durch die Entsalzung von Meerwasser die Wasserversorgung der Bevölkerung zu verbessern. Dabei stellt sich die Frage, ob wir die bei der Entsalzung anfallende Lauge wieder ins Meer zurückleiten sollen. Inwieweit werden die küstennahen Zonen in ihrer

biogenen Produktivität durch große Laugenmengen geschädigt? Derartige Gefahren sind bisher noch zu wenig erforscht. Ich bedaure es, dass wir weltweit auf dem Gebiet der Meerwasserentsalzung technologisch nicht so recht vorankommen und dass wir mangels verfügbarer Alternativen oft auf großtechnische Anlagen setzen. Die Umkehrosmose ist zwar ein bekanntes Prinzip der Wasseraufbereitung, wird aber in der Industrie noch längst nicht in dem Umfang eingesetzt, wie das wünschenswert wäre.

In der arabischen Welt und darüber hinaus ist ein wachsendes Interesse zu beobachten, Solarenergie für die Meerwasserentsalzung und damit für die Trinkwassergewinnung einzusetzen. Das ist in Weltregionen mit hoher Sonneneinstrahlung eine interessante Perspektive, denn dort können wir die nötige Solarenergie durch solarthermische Kraftwerke gewinnen. Diese Technologie macht es im Unterschied zu der bei uns üblichen Photovoltaik möglich, Sonnenenergie in größerem Maßstab nicht nur zu erzeugen, sondern auch relativ kostengünstig zu speichern.

**Wißler:** *Gibt es – weltweit betrachtet – eine Entwicklung im Umgang mit der Wasserproblematik, die aus Ihrer Sicht besonders ermutigend oder vielversprechend ist?*

**Töpfer:** Ja, da könnte ich vieles nennen: Auf die internationale, friedliche Beziehungen fördernde Zusammenarbeit in der „Mekong River Commission“ hatte ich ja schon hingewiesen. Von diesen Prozessen wird auch China beeinflusst, obwohl es nicht Mitglied dieser Kommission ist. Die südostasiatische Mekong-Region ist eine der lebendigsten und sicherlich eine der zukunftsweisenden Regionen der Welt. Eine ganz andere Entwicklung, die sich in kleinerem Maßstab abspielt und die ich mit großer Neugier verfolge, sind die erfolgreichen Anstrengungen, Wasserkreisläufe zu schließen. Durch moderne Techniken insbesondere des Wasser-Recyclings gelingt es einer wachsenden Zahl von Unternehmen, „wasserautark“ zu werden. Ich hoffe, dass dieser Trend sich immer stärker in die Privathaushalte hinein fortsetzen wird. Was hocheffiziente Kläranlagen betrifft, da haben wir in Deutschland schon Maßstäbe gesetzt. Es hat noch nie eine Zeit gegeben, wo das Trinkwasser so gut war wie gegenwärtig hier bei uns.

**Wißler:** *Herr Professor Töpfer, haben Sie vielen Dank für dieses Gespräch!*



Christian Wißler, der an der Universität Bayreuth für Wissenschaftskommunikation verantwortlich ist, führte das Interview.



■ ASJA BERND

# Virtuelles Wasser

WAS IST DAS, WER VERBRAUCHT ES UND VOR ALLEM: WIE VIEL DAVON?

■ Salzsee in Sibirien. Nur die Salzkruste bleibt im heißen Steppenklima im Sommer zurück. Aufgenommen Sommer 2008, Transbaikalien/Ostsibirien. Foto: Katja Fleckenstein

**W**enn wir über Wasserverbrauch sprechen, denken wir meist ans Duschen, die Autowäsche oder Regenwasser-Toiletten. Doch es gibt mehr als das Wasser, welches wir in den Abfluss fließen sehen: Das Wasser in/hinter den Produkten, die wir täglich kaufen.

1.000 Liter für ein Steak, 130 Liter für eine Tasse Kaffee und 1.700 Liter für eine Tafel Schokolade – sehr effizient klingt das nicht. Um Lebensmittel, aber auch andere Güter herzustellen, ist Wasser nötig und oft nicht gerade wenig davon. Theoretisch ist das klar – doch wer denkt im Supermarkt über den Wasserverbrauch von Tomaten, Wattlepads oder einer Rasierklinge nach? Um eben diesen ermitteln zu können, entwickelte der britische Geograph John Anthony Allan 1993 das Konzept des virtuellen Wassers.

Arjen Hoekstra und später Ashok Chapagain spannen die Idee am UNESCO Institute for Hydrological Education weiter zum „Wasserfußabdruck“. Dieser stellt dar, wie viel Wasser eine Person, eine Firma oder auch ein Land verbraucht. In Deutschland sind das pro Person und Tag weit mehr als 4.000 Liter. Nur rund 4 Prozent werden direkt im Haushalt verbraucht, die restlichen Wassermengen stecken in unseren Lebensmitteln und industriellen Produkten. Ein hoher Wasserverbrauch ist nicht automatisch schlecht – es kommt darauf an, wie effizient das Wasser genutzt wird, ob es gereinigt und zurückgewonnen werden kann und wie viel Wasser überhaupt zur Verfügung steht. Gerade in Entwicklungsländern sind diese Fragen jedoch problematisch – und die Industriestaaten sind Nutz-

INFO

**Was bedeutet virtuell?**

Der Begriff ist etwas irreführend, da man annehmen könnte, das Wasser sei nicht real. Das stimmt aber nicht, wie man gerade in Regionen mit Wassermangel feststellen kann. Im Englischen wird virtuelles Wasser auch als „hidden water“ bezeichnet, also verstecktes Wasser. Dieser Begriff verdeutlicht, worum es geht: Wie viel ein Produkt auf dem Weg bis zum Verkauf tatsächlich verbraucht, auch wenn das am Ende nicht sichtbar ist. Weitere Infos und Zahlen gibt es auf der Website [www.wasserfussabdruck.org](http://www.wasserfussabdruck.org) und auf der deutlich ausführlicheren englischen Seite [www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org) des Water Footprint Network.

nießer durch ihren enormen Konsum. Ein Anlass für die Studierenden des Elite-Masterstudiengangs Global Change Ecology, nachzuschauen, welche Produkte wie viel verbrauchen:

Abb. 1: Schreibblock aus holzgewonnenem Zellstoff. (sst)



**1) PAPIER**

Für ein einziges Blatt Papier aus Holzfasern werden zwischen 4 und 19 Litern Wasser allein für die Holzproduktion verbraucht. Die Zahlen schwanken je nach Baumart und Wuchsort – Eukalyptus benötigt in Brasilien etwa deutlich weniger Wasser als in China. Pro Kilo Papier sind das zwischen 657 und 799 Liter, wobei der größte

Abb. 2: Eukalyptus-Plantage. Foto: Yuttasak Jannarong (sst)



INFO

**Woraus setzt sich der Wasserfußabdruck zusammen?**

Arjen Hoekstra und sein Kollege Ashok Chapagain entwickelten drei Kategorien: Blaues, grünes und graues Wasser. **Blau** ist Grund- und Oberflächenwasser aus Seen und Flüssen, das während der Produktion dem Produkt hinzugefügt wird oder verdunstet. Regenwasser, das im Boden gespeichert, jedoch nicht zu Grundwasser wird, wird als **grün** bezeichnet. Es verdunstet direkt oder durch Pflanzen. **Graues** Wasser ist jenes, das in der Herstellung von Gütern verwendet und verschmutzt wird.

## AUTORIN



Foto: Martin Wegmann

**Asja Bernd B.A.**

Asja Bernd studiert im Master-Studiengang Global Change Ecology an der Universität Bayreuth, um zu verstehen, wie und mit welchen Konsequenzen der Mensch seine Umwelt verändert. Sie will anderen dies erklären können und zeigen, wie faszinierend die Welt ist, weshalb sie zuvor ihren Bachelor in Wissenschaftsjournalismus abgeschlossen hat. Da Kommunikation sie begeistert, hat sie an dieser Ausgabe des Spektrums und weiteren Projekten der Uni Bayreuth mitgearbeitet und möchte im Beruf diese Leidenschaft mit ihrem Interesse an Umweltthemen verbinden.

Teil in den Wäldern verdunstet. Wie viel bei der Papierherstellung dazu kommt, hängt davon ab, mit welchem Verfahren das Holz zu Zellstoff verarbeitet wird.

Bei Recycling-Papier sind es dagegen nur 20 Liter pro Kilo, und nebenbei braucht man weniger Energie und muss keine Bäume fällen. Papier kann etwa fünf- bis sechsmal recycelt werden, weltweit reduziert die Herstellung von Recycling-Papier den Wasserfußabdruck der Papierindustrie um etwa 40 Prozent.

**2) BIOKRAFTSTOFFE**

Ähnlich wie beim Papier hängt der Wasserverbrauch für Biokraftstoffe davon ab, aus welchen Pflanzen sie hergestellt werden. Für Bio-Diesel aus

Soja benötigt man 11.400 Liter pro Liter Kraftstoff, für Bio-Ethanol dagegen deutlich weniger: Alkohol aus Mais verbraucht 2.854 Liter Wasser pro Liter; wird er aus Zuckerrohr hergestellt, nur 2.107 Liter. Ethanol auf Zuckerrübenbasis verbraucht sogar nur 1.188 Liter. Außerdem beträgt der Anteil an grauem Wasser (s. Infokasten S.13) bei Bio-Diesel nur zwei Prozent, bei Ethanol dagegen zwischen 6 und 19 Prozent (für Zuckerrohr beziehungsweise Zuckerrübe).

**3) NAHRUNGSMITTEL**

Rund 70 Prozent des weltweit genutzten Wassers benötigen wir für die Nahrungsmittelproduktion, ein Drittel davon, um tierische Produkte zu erzeugen. Fast das gesamte Wasser wird für das Futter verwendet, da etwa sieben Kalorien aus Pflanzen nötig sind, um eine Fleisch-Kalorie zu gewinnen. Die Tiere müssen also ein Vielfaches des Energiewertes fressen, den sie am Ende liefern – mit dem entsprechenden Wasserverbrauch.

Rinderaufzucht ist besonders wasserintensiv: Für ein Kilo Rindfleisch werden 15.415 Liter benötigt – das ist 20-mal mehr als für ein Kilo Getreide und 45-mal mehr als für ein Kilo Gemüse. Außerdem braucht man deutlich mehr Futter pro Kilo als für Schweine- oder Hühnerfleisch: acht- beziehungsweise elfmal mehr! Auf Rind zu verzichten, sich vegetarisch oder vegan zu ernähren, bedeutet also eine ganze Menge virtuelles Wasser zu sparen und die Umwelt auf mehrfache Weise zu schonen. So wird in Brasilien Regenwald abgeholzt, um Soja anzubauen. Und wer denken mag, dass vor allem Vegetarier Soja essen: 85 Prozent der produzierten Menge gehen in die Fleischerzeugung.

Problematisch ist Landwirtschaft außerdem in trockenen Gebieten. Spanien, Italien und Griechenland produzieren Tomaten für ganz Europa: Schlechte Bewässerungssysteme lassen vielerorts Wasser versickern; die Böden versalzen, da das Wasser schnell verdunstet und die enthaltenen Salze zurückbleiben, und generell verschärft sich die Knappheit.

**4) BAUMWOLLE**

Für ein Kilo Baumwolle sind rund 10.000 Liter Wasser nötig. Umgerechnet braucht man für ein T-Shirt von 250 Gramm also 2.500 Liter und für eine Jeans von 800 Gramm 8.000 Liter. Die tatsächliche Men-

Abb. 3: Reifes Baumwollfeld.  
Foto: Microstock Man (sst)





Abb. 4: Der Aralsee verlandet zunehmend, wie die Bilder aus den Jahren 1989, 2003 und 2012 zeigen. Da die Landwirtschaft bereits in den 1960er Jahren begann, zeigt das Bild von 1989 nicht die ursprüngliche Größe. (Bilder: NASA, aufgenommen mit: Landsat, AQUA MODIS, TERRA MODIS)

ge hängt vom Gebiet ab, in dem die Baumwolle angebaut wurde, sowie vom Herstellungsverfahren der Kleidung, etwa der Färbetechnik. Da Baumwollpflanzen oft bewässert werden, ist etwa ein Drittel des Bedarfs blaues Wasser.

Baumwollanbau kann enorme Auswirkungen auf die Umwelt haben, wie das Beispiel des Aral-Sees zeigt. Seit den 1960ern wurden im heutigen Kasachstan und Usbekistan im großen Stil Baumwolle und andere Nutzpflanzen angebaut. Um die Plantagen zu bewässern, entnahmen die Menschen Wasser aus den Zuflüssen des Sees, so dass dessen Wasserspiegel zu sinken begann, während der Salzgehalt anstieg. Die ehemaligen Hafenstädte liegen heute teilweise über 100 Kilometer vom Ufer entfernt, die Fischerei der Gegend ist zusammengebrochen. Zurück geblieben ist eine Staub- und Salzwüste mit Pestizid- und Herbizidrückständen sowie anderen Giften. Nach einer Studie von Chapagain und Kollegen aus dem Jahr 2006 ist die EU25 durch den Import von Baumwolle und anderen Produkten für rund 20 Prozent der Austrocknung des Aral-Sees (Abb.4) verantwortlich.



aus Spanien zu verzichten, kann daher bereits ein erster Schritt sein, den eigenen Wasserfußabdruck zu verkleinern und die Umwelt zu schonen.



Abb. 5 (links): Baumwoll-T-Shirt. (sst)  
Abb. 6: Baumwollplantage mit Sprinkleranlage. Foto: Simeon Chatzilidis (sst)

## HINWEIS

### Interaktive Ausstellung

Eine interaktive Ausstellung rund um virtuelles Wasser lädt in den Gewächshäusern des Ökologisch-Botanischen Gartens während des Zukunftsforsums „Wasser im Globalen Wandel“ am 16. November ein, sich über das Thema zu informieren. Entwickelt haben sie Studierende des Masterstudiengangs Global Change Ecology im Elitenetzwerk Bayern: Sabine Birnbeck, Luiz Domeignoz Horta, Christian Hardt, Veronika John, Julia Legelli, Jonas Rönnefarth, Paul Schumacher, Laura Sommer, Nora Zarembo. Der Artikel entstand in Kooperation mit ihnen. Die Ausstellung kann auf Wunsch auch ausgeliehen werden.



■ ANDREAS JESS

# Wasser- und Energieversorgung: eine globale Herausforderung

■ Eine Meerwasser-Entsalzungsanlage versorgt eine karibische Insel mit Trinkwasser. Foto: Jo Ann Snover (sst)

**S**üßwasser ist das kostbarste Gut aller menschlichen Ressourcen. Denn 97 % des Wassers auf der Erde sind Salzwasser. Die verbleibenden 3 % Süßwasser befinden sich zu rund 70 % als Eis an den Polkappen und in Gletschern. Der verbleibende Anteil von 1 %, also der für den Menschen nutzbare Anteil, ist praktisch nur Grundwasser, da nur 0,3 % des globalen Süßwassers in Flüssen und Seen zu finden ist.

Nutzbares Frischwasser ergibt sich durch Regen über Landflächen; leider verdunsten etwa 2/3. Die Differenz von Niederschlag und Verdunstung sind die Ressourcen, die aber durch Überflutungen und durch den Abtransport durch Flüsse ins Meer nur zu 20 % ökonomisch nutzbar sind. Im globalen Mittel sind dies jährlich 1.200 m<sup>3</sup>/Kopf bzw. täglich 3.300 Liter/Kopf; dies stimmt mit dem heutigen mittleren Frischwasserbedarf überein (Tabelle 1).

Die größten Süßwasserressourcen liegen in Asien und Südamerika, die kleinsten in Europa und Australien/Ozeanien. Zusammengenommen würden die auf der Erde vorhandenen Süßwasserressourcen grundsätzlich ausreichen, um die derzeit auf der Erde lebenden Menschen zu versorgen. Doch entscheidend sind nicht die Wassermengen, sondern die Verfügbarkeit des Wassers je Einwohner – und die ist weltweit sehr ungleich verteilt. Sie ist in Asien besonders gering und in Australien/Ozeanien besonders hoch. Zwei Drittel der Weltbevölkerung leben in Regionen, die nur ein Viertel des Regens erhalten (Tabelle 1).

## DER TÄGLICHE WASSERVERBRAUCH PRO KOPF IM WELTWEITEN VERGLEICH

Um den Wasserverbrauch eines Landes zu charakterisieren, wird heute die bildliche Redeweise vom „Wasserfußabdruck“ verwendet (Tab. 2). Dieser Begriff bezeichnet den direkten Verbrauch im Haushalt und den indirekten Verbrauch bei der Produktion bzw. beim Verbrauch landwirtschaftlicher und industrieller Güter. Innerhalb der letztgenannten Kategorien wird jeweils zwischen dem internen und dem externen Fußabdruck unterschieden:

- Der interne Abdruck eines Landes ist die Wassermenge, die zur inländischen Produktion von Waren verbraucht wird – abzüglich des Wassers, das als virtuelles Wasser in denjenigen Waren enthalten ist, die ins Ausland exportiert werden.
- Der externe Abdruck eines Landes hingegen ist die Wassermenge, die als virtuelles Wasser in denjenigen Waren enthalten ist, die aus dem Ausland importiert und im Inland verbraucht werden.

Den insgesamt größten Wasserfußabdruck haben die USA mit rund 6.800 Litern täglich pro Person, er ist damit mehr als dreimal so groß wie der Wasserfußabdruck Chinas mit knapp 2.000 Litern täglich pro Person. Deutschland liegt mit etwa 4.200 Litern dazwischen.

Der global größte Wasserverbraucher ist die Landwirtschaft (85 %), gefolgt von der Industrie (10 %) und den Haushalten (5 %). Beim externen Anteil des virtuellen Wassers für landwirtschaftliche und industrielle Güter gibt es große Unterschiede zwischen einzelnen Ländern. So ist in Indien der exter-

**AUTOR**



**Prof. Dr. Andreas Jess**

leitet seit Oktober 2001 den Lehrstuhl Chemische Verfahrenstechnik an der Universität Bayreuth. Zu seinen Forschungsgebieten gehören Kraftstoffe und Chemikalien aus Erdgas, Erdöl, Kohle und erneuerbaren Energieträgern sowie die sozialen und ökologischen Aspekte der Energieversorgung.

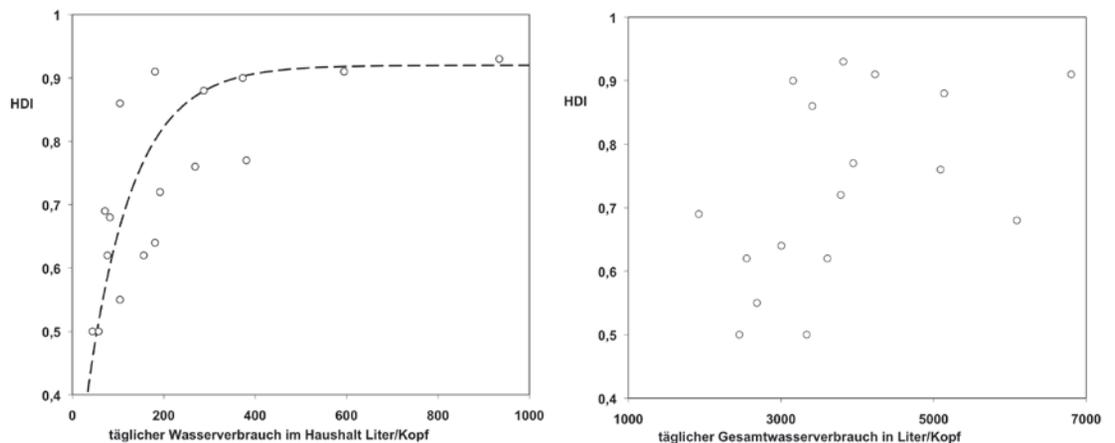
Kontinent	Fläche in Mio. km <sup>2</sup>	Bevölkerung 2011 in Mio.	Ressourcen in km <sup>3</sup> /Jahr	Verfügbarkeit in 1000 m <sup>3</sup> /Jahr (20 % der Ressourcen)	
				je km <sup>2</sup>	je Einwohner
Europa	11	738	2.900	55	0,8
Nord-/Mittelamerika	24	529	7.890	65	3
Afrika	30	995	4.050	27	0,8
Asien	44	4.140	13.510	62	0,6
Südamerika	18	386	12.030	134	6,2
Australien/Ozeanien	9	36	2.404	54	13,4
Welt	136	6.824	ca. 40.000	ca. 60	1,2

Tabelle 1: Wasserverfügbarkeit (2011) und Wasserressourcen (1998) nach Kontinenten

Tabelle 2: Anteile am täglichen Wasserverbrauch in ausgewählten Ländern (1997 - 2001)

Land	Täglicher Wasserverbrauch (Fußabdruck) in Litern pro Person					gesamt	Niederschlag in mm (2002) (1 mm = 1 Liter/m <sup>2</sup> )
	direkt (Haushalte)	indirekt (virtuell)					
		landwirtschaftl. Güter		Industriegüter			
		intern	extern	intern	extern		
USA	595	3.266	732	1.668	540	6.801	715
Russland	268	3.781	775	249	14	5.087	460
Deutschl.	181	1.189	1.655	625	584	4.234	700
Japan	373	452	1.682	296	353	3.156	1.670
Indien	104	2.485	38	52	5	2.684	1.080
China	71	1.548	110	178	16	1.923	645
Welt	156	2.485	438	216	110	3.405	800

Abb. 1: Einfluss des Wasserverbrauchs in den Haushalten und des Gesamtverbrauchs auf den Human Development Index (2011); HDI-Werte kleiner als 0,4 werden nur in einigen afrikanischen Ländern erreicht. Australien und die USA haben einen sehr hohen Wasserverbrauch in den Haushalten von mehr als 900 bzw. knapp 600 Litern pro Kopf und Tag, aber dennoch keinen höheren HDI als Länder mit einem deutlich geringeren Verbrauch.



ne Anteil vernachlässigbar, aber in Japan vor allem infolge von Nahrungsmittelimporten dominant. In Deutschland halten sich die externen und internen Anteile etwa die Waage (Tabelle 2).

### WASSER UND WOHLSTAND: WIEVIEL WASSER STEHT JEDEM MENSCHEN ZU?

Wie hoch ist der Wasserverbrauch, den jeder Mensch für einen ausreichenden Wohlstand benötigt? Um diese Frage zu beantworten, ist der Human Development Index (HDI) der Vereinten Nationen hilfreich. Es handelt sich dabei um einen Wohlstandsindikator, der mit jeweils gleicher Gewichtung das Pro-Kopf-Einkommen (kaufkraftkorrigiert), die medizinische Versorgung (Lebenserwartung) und den Bildungsgrad eines Landes berücksichtigt. Bei Entwicklungsländern ist der HDI kleiner als 0,5; bei Schwellenländern liegt er zwischen 0,5 und 0,8; bei Industrieländern ist der HDI höher als 0,8.

In Ländern, die einen HDI-Wert größer als 0,8 erreicht haben, liegt der tägliche Verbrauch von Haushaltswasser mindestens bei 100 Litern pro Kopf (Abb. 1). Ein höherer Verbrauch führt allerdings nicht zu einer merklichen Steigerung des HDI, also des Wohlstands. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass hier eine Grenze erreicht wird, von der an eine weitere Steigerung des Haushaltswasserverbrauchs nicht zu rechtfertigen ist. Länder, die einen Wert von 100 Litern deutlich überschreiten – wie etwa Deutschland (181 Liter/Kopf/Tag), Japan (373 Liter/Kopf/Tag) oder die USA (595 Liter/Kopf/Tag) – sollten sich daher in der Pflicht sehen, Maßnahmen für eine effizientere Wassernutzung zu ergreifen und den Verbrauch von Haushaltswasser deutlich zu senken.

Eine deutliche Senkung des Haushaltswasserverbrauchs in den Industrieländern ist auch deshalb angezeigt, weil zu erwarten ist, dass der Wohlstand in einigen Entwicklungs- und Schwellen-

ländern in den kommenden Jahrzehnten steigen wird; zum Beispiel in China, Indonesien, Indien, Pakistan oder Bangladesch. Derzeit liegt der Haushaltswasserverbrauch dort noch bei unter 100 Litern/Kopf/Tag. Aber wenn sich insbesondere die Sanitärwasserversorgung verbessern wird, von der zurzeit große Bevölkerungsanteile dieser Länder ausgeschlossen sind, ist auch mit einem Anstieg des Wasserverbrauchs zu rechnen.

Eine Abhängigkeit des Human Development Index vom Gesamtwasserverbrauch ist nicht so deutlich erkennbar wie die Abhängigkeit vom Haushaltswasser (Abb. 1). Tendenziell steigt der HDI zwar mit zunehmendem Gesamtverbrauch, aber die Streubreite ist groß. Hier spielen geographische Gegebenheiten eine Rolle: So hat Thailand einen niedrigen HDI (0,68) aber einen hohen Gesamtverbrauch (6.090 Liter/Kopf/Tag). In China mit praktisch gleichem HDI (0,69) sind es nur 1.900 Liter je Kopf und Tag, also weniger als in Bangladesch mit einem sehr niedrigen HDI (0,5), aber einem Verbrauch von 2.455 Litern/Kopf/Tag. Dies liegt am jährlichen Niederschlag, der in Thailand und Bangladesch hoch ist (1.620 bzw. 2.670 Liter/m<sup>2</sup>) und in China mit 645 Liter/m<sup>2</sup> deutlich geringer.

Ungeachtet dieser Streubreite lässt sich der Statistik eines klar entnehmen: In allen Ländern, in denen der tägliche Gesamtwasserverbrauch deutlich unter 3.000 Litern pro Kopf liegt, ist der HDI kleiner als 0,8. Daher scheint ein Verbrauch von ungefähr 3.000 Litern/Kopf/Tag für einen ausreichenden Lebensstandard erforderlich zu sein. Interessanterweise entspricht dieser Wert ungefähr der Wassermenge, die im weltweiten Durchschnitt jeder Mensch täglich verbraucht. Derzeit liegt dieser Wert bei 3.400 Litern pro Kopf und Tag – wobei die Unterschiede zwischen einzelnen Ländern und Regionen extrem groß sind. Falls die Weltbevölkerung, wie prognostiziert, bis zum Jahr 2050 auf 9 Mrd. Menschen ansteigt, wird die Wasserversorgung noch problematischer werden.

### GRENZEN DES RESSOURCENVERBRAUCHS: DER „ÖKOLOGISCHE FUßABDRUCK“

Wenn vor dem Hintergrund dieser demographischen Entwicklung Programme und Maßnahmen entwickelt werden, um die Menschheit ausreichend mit Wasser – und ebenso mit Nahrung und Energie – zu versorgen, so darf dies nicht zu einem weiteren Raubbau an Ressourcen und nicht zu irreparablen Umweltschäden führen. Vor einer solchen Fehlentwicklung warnt der „Ökologische Fußabdruck“, der in „Planet Earth“ gemessen wird. Um diesen Wert für eine Region zu berechnen, wird zunächst die Größe der Fläche ermittelt, die benötigt wird, um die von den Einwohnern verbrauchten

Ressourcen (Energie und Rohstoffe) zur Verfügung zu stellen – dauerhaft und unter Fortführung heutiger Produktionsbedingungen. Neben der Fläche für Nahrung, Kleidung und Nutzholz wird dabei auch die (Wald-)Fläche berücksichtigt, die für die Bindung der anthropogenen Kohlendioxidemissionen notwendig ist (derzeit im Weltdurchschnitt ca. 50 %). Diese Gesamtfläche wird dann hochgerechnet auf die Weltbevölkerung insgesamt. Auf diese Weise wird erkennbar, wieviel Fläche benötigt würde, falls alle Menschen auf der Erde den Lebensstil und den Lebensstandard hätten, den die Menschen in der jeweiligen Region haben.

Wenn die Größe dieser Fläche ins Verhältnis gesetzt wird zu der nutzbaren Landfläche, die auf der Erde tatsächlich verfügbar ist, ergibt sich eine Kennzahl in der Einheit „Planet Earth“. Für Afrika liegt dieser Wert bei 0,7; denn der Ressourcenverbrauch auf diesem Kontinent ist relativ gering. Man hätte somit also noch eine Flächenreserve von 30 % der real vorhandenen Flächen, wenn alle Menschen so leben würden wie in Afrika. Die Europäische Union hat hingegen einen Ökologischen Fußabdruck von 2,2. Das heißt: Wir bräuchten mindestens noch eine zweite Erde, wenn alle Menschen so leben würden wie wir in der EU. Nordamerika hat sogar einen Wert von 4,4 erreicht (Tabelle 3).

Die vermutlich einzige Chance, den Ökologischen Fußabdruck – insbesondere den der Industrieländer – zu reduzieren, ist eine weitgehende Umstellung von fossilen auf alternative Energieträger. Immer deutlicher stellt sich dabei auch heraus, dass Lösungen der globalen Wasserproblematik aufs engste mit Fragen der Energieversorgung verknüpft sind.

... NUR 1 % DES AUF DER ERDE  
BEFINDLICHEN WASSERS IST FÜR  
DEN MENSCHEN NUTZBAR ...

Kontinent	Ökologischer Fußabdruck in "Planet Earth"
Afrika	0,7
Mittlerer Osten und Zentralasien	1,1
Asien / Pazifik	0,8
Europa (EU)	2,2
Europa (Nicht-EU)	1,7
Lateinamerika / Karibik	1,1
Nordamerika	4,4
Welt	1,3

Tabelle 3: Ökologischer Fußabdruck in verschiedenen Regionen 2005.



**Tabelle 4: Vergleich globaler Mengen an Wasser und Energie.** Diese Tabelle zeigt eine Beispielrechnung, die verdeutlicht, dass zukünftige globale Probleme der Wasserversorgung vor allem im Hinblick auf die enormen Mengen, die in der Landwirtschaft benötigt werden, nicht bzw. nur sehr begrenzt durch Meerwasserentsalzung lösbar sind.

\* gerechnet als Erdöl, auch wenn nur etwa 1/3 durch Erdöl gedeckt wird. Zum Vergleich der globale Primärenergieverbrauch: Erdöl (34 %), Kohle (27 %), Erdgas (21 %), Kernkraft (6 %), Wasserkraft (2 %), traditionelle Biomasse/Brennholz (6 %), kommerzielle Biomasse (3 %), Sonstiges (Wind, Solar: 1 %).

Parameter	Mittelwert pro Kopf und Tag
<b>Wasserverbrauch</b>	<b>insgesamt: 3400 Liter</b> <b>Haushalte: 156 Liter</b>
<b>Süßwasserproduktion durch Meerwasserentsalzung</b>	<b>6 Liter (in 2007)</b>
<b>(Primär-) Energieverbrauch insgesamt (gerechnet als Erdöl, 1 kg = ca. 1,1 Liter*)</b>	<b>5,4 Liter</b>
<b>Erdölverbrauch (ca. 1/3 des Gesamtenergieverbrauchs)</b>	<b>1,8 Liter</b>
<b>notwendiger Energiebedarf zur Deckung des globalen Wasserbedarfs durch Meerwasserentsalzung</b>	<b>insgesamt: 3,4 Liter Öl(-Äquivalente)</b> <b>Haushalte: 0,16 Liter Öl(-Äquivalente)</b>
<b>Kosten zur Deckung des globalen Wasserbedarfs durch Meerwasserentsalzung</b>	<b>insgesamt: 3,40 Euro</b> <b>Haushalte: 0,16 Euro</b>

### MEERWASSERENTSALZUNG: EIN WEG ZUR GLOBALEN TRINKWASSERVERSORGUNG?

Lässt sich das Problem Wasserknappheit global dadurch entschärfen, dass Frischwasser nicht nur aus natürlichen Ressourcen (Grund- und Bodenwasser, Niederschläge), sondern überdies durch die Entsalzung von Meer-, Brack- und Abwasser gewonnen wird? Meerwasserentsalzung ist eine ausgereifte Technologie, die seit vielen Jahren Stand der Technik ist. Dabei haben sich zwei verschiedene Technologien etabliert: die sogenannte Umkehrosmose (Membranverfahren), die einen Marktanteil von etwa einem Drittel hat, und die Mehrstufenverdampfung.

Zurzeit gibt es weltweit etwa 14.000 Wasserentzugsanlagen (2/3 Meerwasser, 1/3 Brack- und Abwasser) mit einer Gesamtproduktion von 70 Mrd. Liter pro Tag. Die Kapazitäten zur Wasserentzug sind geographisch stark konzentriert. Dies gilt vor allem für die reichen Golfstaaten mit

billiger Energie (Erdgas, Erdöl). 72 % der Frischwasserproduktion entfallen auf nur 10 Länder (Werte von 2008): Saudi-Arabien (17 %), Vereinigte Arabische Emirate (14), USA (14 %), Spanien (9 %), China (4 %), Kuwait (4 %), Qatar (3 %), Algerien (3 %), Australien (2 %) und Japan (2 %). Israel gewinnt mittlerweile ein Viertel seines Haushaltswassers durch Entsalzung, Spanien und China planen deutliche Kapazitätserweiterungen. Derzeit werden im globalen Mittel täglich aber nur 6 Liter pro Kopf durch Meerwasserentsalzung gewonnen, wobei allein der Wasserverbrauch in Haushalten im globalen Mittel 156 Liter pro Kopf und Tag beträgt.

Um den gesamten globalen Wasserbedarfs durch Meerwasserentsalzung zu decken, wäre ein enorm hoher Energieaufwand erforderlich. Er würde bei täglich 3,4 Litern Öl-Äquivalenten liegen bzw. bei 0,16 Liter Öl-Äquivalenten allein für den Wasserbedarf der Haushalte („Öl-Äquivalente“ sind heute eine international übliche Maßeinheit für den Energieverbrauch). Zum Vergleich: Der derzeitige tägliche mittlere Erdölverbrauch beträgt weltweit 1,8 Liter/Kopf. Infolge des hohen Energieaufwands sind auch die Kosten der Meerwasserentsalzung entsprechend hoch. Die Kosten, die bei einer Deckung des weltweiten Wasserbedarfs durch Meerwasserentsalzung entstünden, lägen täglich bei 3,40 € pro Kopf (davon entfielen 0,16 € auf die Bereitstellung von Haushaltswasser). Dabei ist zu berücksichtigen, dass 80 % der Menschheit im Jahr 2005 ein tägliches Einkommen unter 7,00 € (10,00 US \$) hatten und 50 % sogar unter 2,00 €. Daher ist die Meerwasserentsalzung – realistisch betrachtet – eine Technologie, die nur regional begrenzt eingesetzt werden kann, um den Frisch-

**Abb. 2: Filteranlage in einer Entsalzungsanlage. Foto: Paul Vinten (sst)**





wasserbedarf in wasserarmen Regionen zu befriedigen; nämlich, wie es derzeit der Fall ist, nur in (energie)reichen Ländern (Tabelle 4).

### TRANSPORTE VON FRISCHWASSER: EINE GANGBARE ALTERNATIVE?

Könnte der Antransport von Frischwasser aus wasserreichen Regionen ein geeignetes Mittel sein, um wasserarme Regionen weltweit zu versorgen? Diese Überlegung liegt zunächst einmal nahe, denn schließlich werden seit Jahrzehnten riesige Mengen an Energie in Form von Erdöl, Erdgas und Kohle per Schiff oder Pipeline transportiert. Allein beim Erdöl sind es täglich etwa 13 Mrd. Liter Erdöl, im globalen Mittel also 1,8 Liter je Weltbürger. Doch bei genauem Hinsehen zeigt sich, dass ein Wassertransport von frischwasserreichen in -arme Regionen über größere Strecken nicht zu leisten ist. Derzeit liegt der Gesamtwasserverbrauch im globalen Mittel bei 3.400 Liter/Kopf/Tag. Unterstellt man beispielsweise einen Transportweg von 3.000 km, so läge der Energieverbrauch zur Deckung dieses Bedarfs bei 14 Litern Öl-Äquivalenten/Kopf/Tag und wäre damit noch deutlich höher als die Meerwasserentsalzung (Tabelle 4).

Dass dies ökonomisch und ökologisch völlig unrealistisch ist, zeigt folgende Abschätzung: Mit der derzeit weltweit bereitgestellten Primärenergie (Erdöl, Erdgas, Kohle, Kernenergie, Wasserkraft, Biomasse etc.) von 5,4 Litern Öl-Äquivalenten/Kopf/Tag könnte nur etwa ein Drittel der global benötigten Wassermenge über längere Strecken transportiert werden. Da diese Energie naturgemäß für die Strom-, Wärme und Kraftstoffherzeugung benötigt wird, würde sich der globale Energiever-

brauch verdoppeln – mit allen negativen Folgen für das Klima. Der Abbau der Energiereserven und -ressourcen würde sich erheblich beschleunigen.

Eine bessere Wasserversorgung in Entwicklungs- und Schwellenländern wird angesichts der weiter steigenden Weltbevölkerung schwierig zu erreichen sein. Eine Meerwasserentsalzung oder der Transport von Frischwasser über lange Distanzen kann – im Hinblick auf eine verantwortungsbewusste Energie- und Klimapolitik – nur lokal und in relativ geringem Umfang Abhilfe schaffen. Als vorrangiger globaler Lösungsweg verbleibt daher nur eine noch effizientere Nutzung des kostbaren Gutes Frischwasser.

Abb. 3: Meerwasser-Entsalzungsanlage.  
Foto: irabel8 (sst)

### LITERATUR

- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resources Management* 21, 35 - 48.
- Hoekstra, A. Y., Hung, P. Q. (2002). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of Water Research Report Series No. 11*, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.
- <http://data.worldbank.org>
- Jess, A. (2010), What might be the energy demand and energy mix to reconcile the world's pursuit of welfare and happiness with the necessity to preserve the integrity of the biosphere? *Energy Policy* 38, 4663-78.
- Kern, C., Kaiser, P., Unde, R., von Olshausen, C., Jess, A. (2011), Considerations concerning the energy demand and mix for global welfare and stable ecosystems. *Chem. Ing. Techn.* 83, 1777-91.
- Lattemann, S. (2011), Meerwasserentsalzung. In: Lozan, J. L. et al., *Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle?*
- MacKay D.J.C. (2008). *Sustainable Energy - without the hot air*. UIT Cambridge (available free online from [www.withouthotair.com](http://www.withouthotair.com)).
- Shiklomanov, I. (2000). Appraisal and assessment of world water resources. *Water Intern.* 25, 11-32.
- Sophocleus, M. (2004). Global and Regional Water Availability and Demand: Prospects for the Future. *Natural Resources Research* 13, 61 - 75

WASSER GLOBAL

■ NORA MARIE ZAREMBA

# Wasser, ein knappes Gut

ZUM WASSERMANAGEMENT  
IN ENTWICKLUNGS- UND  
INDUSTRIELÄNDERN

INTERVIEW MIT  
DR. INES DOMBROWSKY,  
DEUTSCHES INSTITUT FÜR  
ENTWICKLUNGSPOLITIK, BONN

■ Brunnen in Marokko, Afrika.  
Foto: Agostinho Goncalves (sst)



**W**ie sinnvoll ist die Unterscheidung zwischen westlichen Ländern und Entwicklungsländern in Wasserfragen?

**Dombrowsky:** Wasserknappe Länder sind ökonomisch betrachtet gar nicht unbedingt die ärmsten Länder. Man muss nämlich unterscheiden zwischen physischer und ökonomischer Wasserknappheit. Von physischer Wasserknappheit betroffen sind auch Industriestaaten wie der Südwesten der USA sowie aufsteigende Schwellenländer wie Teile von China oder die arabische Halbinsel. Entwicklungsländer, darunter viele Länder in Subsahara-Afrika, sind eher von ökonomischer Wasserknappheit betroffen. Viele Menschen in Entwicklungsländern haben keinen Zugang zu erschwinglichem Wasser in ausreichender Menge und Güte. Diese Missstände sind auf finanzielle und institutionelle Gründe sowie fehlende Kapazitäten zurückzuführen – sie fallen in den Bereich Wasser-Governance.

**Zaremba:** Warum sind denn die Wasserprobleme der Entwicklungsländer auch die der westlichen Welt?

**Dombrowsky:** Zu allererst müssen indirekte Wasserflüsse in beide Richtungen betrachtet werden. Hier spielt das Thema „Virtuelles Wasser“ eine große Rolle. Dabei kann der Konsum von Produkten in Industriestaaten, die in wasserknappen Ländern hergestellt wurden, dort lokal die Wasserknappheit oder Verschmutzung verstärken. Aber Industriestaaten können durch Lebensmittelexporte in wasserarme Entwicklungsländer die Wasserknappheit dort auch abschwächen. Denn dann wird dort weniger Wasser für die Landwirtschaft benötigt. Zum Beispiel hat Ägypten in der Vergangenheit relativ große Mengen Getreide aus den USA importiert, also sogenannte virtuelle Wasserimporte.

**Zaremba:** Lebensmittelexporte der Industriestaaten in wasserarme Regionen können also helfen. Müssen wir aber generell unseren westlichen Lebensstil ändern, damit sich die Wasserproblematik global entspannt?

**Dombrowsky:** Ich sehe das nicht so. Wie wir hier unser Wasser im Alltag nutzen, hat einen lokalen Effekt. Global betrachtet spielt nicht unser Wasserverbrauch, sondern unser Konsumverhalten die tragende Rolle. Das liegt am virtuellen Wassergehalt in Nahrungsmittel oder Kleidern. Durch unser Konsumverhalten haben wir den eigentlichen Einfluss auf globale Wasserressourcen.

**Zaremba:** Das schränkt uns möglicherweise in unserem Konsum ein, davon sind wir direkt betroffen. Aber sonst: Warum kann es uns nicht gleichgültig sein, wenn es woanders auf der Welt immer trockener wird?

**Dombrowsky:** Intakte Wasser-ökosysteme in Entwicklungsländern können für uns einen Existenzwert haben. Wir mögen aus einer Region in einem Entwicklungsland zwar keinen direkten Nutzen ziehen, weil wir ganz woanders wohnen, aber die Existenz dieser Region ist uns wichtig und deshalb sind wir auch bereit, für seinen Erhalt zu zahlen. Ein weiteres Argument, warum die Probleme der Entwicklungsländer uns etwas angehen, ist unser Anreiz zur Unterstützung, auch aus dem Interesse heraus, zwischenstaatliche Konflikte um Wasser zu verhindern.

**Zaremba:** Was sind denn eigentlich die Hauptprobleme der Entwicklungsländer beim Thema Wassernutzung?

**Dombrowsky:** Wasserprobleme der Entwicklungsländer sind zu unterscheiden in physische und ökonomische Wasserknappheit. Weiterhin spielt das Problem der Wassersicherheit eine Rolle. Oft wird ja nur von Wasserknappheit geredet, aber zu viel Wasser, durch Überflutungen und andere Extremwetterereignisse, kann auch zu einer Gefahr werden. Weiterhin kommt das Problem der Basisanitärversorgung hinzu, wie fehlende oder unzureichende Abwasserentsorgung. Mit der richtigen Technologie könnten viele dieser Probleme gelöst werden.

„GLOBAL BETRACHTET (...) SPIELT UNSER KONSUMVERHALTEN DIE TRAGENDE ROLLE.“

#### ZUR PERSON

#### Dr. Ines Dombrowsky

Die Umwelt-Ökonomin Dr. Ines Dombrowsky leitet seit 2010 die Abteilung „Umweltpolitik und Ressourcenmanagement“ am Deutschen Institut für Entwicklungspolitik (DIE) in Bonn. Zuvor forschte sie am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig zum Management grenzüberschreitender Flüsse (Elbe, Jordan, Nil, Rhein). Sie war für die World Bank in der „Nile Basin Initiative“ aktiv und für die GTZ im Nahen Osten tätig. Ihre Arbeitsgebiete sind die Institutionen-, Umwelt- und ökologische Ökonomik, Wasser-Governance und grenzüberschreitendes Gewässermanagement, die Institutionalisierung von integriertem und adaptivem Wasserressourcenmanagement in der Modellregion Mongolei sowie Anpassungen an den Klimawandel.



#### INFO

#### Wasser-Governance

Der Begriff „Wasser-Governance“ beschränkt sich nicht auf die nationale Gesetzgebung eines Staates im Bereich der Wassernutzung. Vielmehr umfasst „Wasser-Governance“ auch all jene Entscheidungsprozesse politischer, ökonomischer und sozialer Akteure wie Regierung, Privatsektor und Zivilbevölkerung darüber, wie lokale Wasserressourcen genutzt und verwaltet werden, sowie die formalen und informellen Regeln (Institutionen), nach denen diese ablaufen.

## INFO

## Physische und ökonomische Wasserknappheit

Physische Wasserknappheit liegt vor, wenn in einer Region nicht genug Wasser vorhanden ist, um den Bedarf zu decken, bzw. wenn vorhandene Wasserressourcen zu mehr als 75 Prozent genutzt werden, was beispielsweise häufig in Trockengebieten der Fall ist. Von ökonomischer Wasserknappheit wird gesprochen, wenn ein Land eigentlich genug Wasservorräte besitzt, aber aus sozioökonomischen oder politischen Problemen Defizite in der Wasserversorgung bestehen.

Entwicklungsländer sind aber über diese genannten Probleme hinaus häufig von Governance-Problemen betroffen. Als Forschungseinrichtung untersuchen wir solche Governanceprozesse in Entwicklungsländern, also die beteiligten Akteure, ihre Entscheidungsprozesse und Institutionen und inwiefern diese einem nachhaltigen Wassermanagement zuträglich sind.

**Zaremba:** *Brauchen unterschiedliche Regionen unterschiedliche Konzepte von Wassermanagement?*

**Dombrowsky:** Erneut muss hier zwischen physischer und ökonomischer Wasserknappheit unterschieden werden. In reichen, aber wasserarmen Ländern können beispielsweise Meerwasserentsalzungsanlagen gebaut werden, wenn sie dort ökonomisch Sinn machen. Darüber hinaus müssen aber Anreize zum Wassersparen getroffen werden. Entwicklungsländer, die von ökonomischer Wasserknappheit betroffen sind, brauchen eine funktionierende Wasser-Governance und finanzielle und technische Hilfe in der Wasserversorgung, wie den Bau von Brunnen und entsprechender Wassersysteme.

Abb. 1: Nachhaltiger Umgang mit der Ressource Wasser: Am Kharaa-Fluss in der Mongolei wird IRWM getestet.



**Zaremba:** *Wasser als kommerzielles Gut und als Menschenrecht: Braucht Wasser einen Preis?*

**Dombrowsky:** Wasser braucht dann einen Preis, wenn es als Dienstleistung angeboten wird und diese mit Kosten, zum Beispiel dem Bau und Betrieb entsprechender Leitungssysteme, verbunden ist. Ein minimaler Verbrauch sollte günstig oder kostenfrei sein, damit ein Mensch sein Grundbedürfnis auf Wasser stillen kann. Ich würde dann davon sprechen, dass das Menschenrecht auf Wasser gewährleistet ist. Natürlich treten Konflikte auf. Die Wasserversorgung soll kostendeckend sein, damit die Kosten der Bereitstellung gedeckt sind. Wasser soll aber auch für die Armen erschwinglich bleiben. Und natürlich muss mögliche Wasserknappheit berücksichtigt werden, es muss also effizient verteilt werden. Es ist nicht leicht einen Ansatz zu finden, der diesen drei Anforderungen gerecht wird.

**Zaremba:** *Welche Lösungsansätze gibt es?*

**Dombrowsky:** In vielen Entwicklungsländern wird der sogenannte „Increasing Block Tariff“ (IBT) angewandt. Beim IBT richtet sich der Wasserpreis nach der Verbrauchsmenge. Im untersten Block, als Beispiel nenne ich hier einen Wasserverbrauch im Bereich null bis drei Kubikmeter pro Monat, ist der Wasserpreis pro Kubikmeter relativ niedrig. Wird dieser Verbrauch überschritten, rutscht der Verbraucher in den nächsten Block mit einem höheren Preis pro Kubikmeter. Beim IBT geht es darum, hauptsächlich die Kosten für die Wasserbereitstellung zu decken und Wasser für arme Bevölkerungsschichten erschwinglich zu halten. Aber gerade im untersten Verbrauchsblock gibt es zu wenig Anreize zum Wassersparen.

**Zaremba:** *Was wäre denn eine Alternative zum IBT?*

**Dombrowsky:** Ökonomisch effizienter und besser aus ökologischer Sicht ist das Modell des Einheitspreises mit Subventionen, der sogenannte „Uni-

form Tariff with rebate“. Bei diesem Modell wird unabhängig vom Wasserverbrauch immer derselbe Preis pro Kubikmeter gezahlt, der so gesetzt sein muss, dass er die Knappheit des Wassers widerspiegelt. Dann haben alle denselben Anreiz zum Sparen. Arme Bevölkerungsschichten bekommen eine finanzielle Kompensation, um ihr Grundbedürfnis auf Wasser befriedigen zu können. Allerdings ist damit nicht automatisch gewährleistet, dass auch die Kosten der Bereitstellung gedeckt werden.

**Zaremba:** Was sind die Anreize für nachhaltiges Wassermanagement aus Sicht des Staates?

**Dombrowsky:** Der Staat sollte ein Interesse daran haben, den aktuellen Bedarf zu decken, aber auch Wasser als Ressource für nachkommende Generationen zu sichern. Das ist natürlich in der Praxis nicht immer so. Aus einem Projekt in der Mongolei kann ich berichten: Dort wurde der Ausbau des Bergbaus massiv gefördert, was mit erheblichen negativen Auswirkungen auf das Wasser verbunden ist. Wasser soll in die Wüste Gobi transportiert werden. Neben dem hohen Wasserverbrauch verschmutzen verschiedene Rückstände das Wasser. Aber auch hier tut sich etwas. Mitarbeiter der dortigen Wasserverwaltung haben sich dafür eingesetzt, dass mit der Ressource Wasser zukünftig besser umgegangen wird. Es wurden schon einige entsprechende Gesetzesänderungen verabschiedet.

**Zaremba:** Welche Länder betreiben ein vorbildliches Wassermanagement?

**Dombrowsky:** Ein Vorbild könnte Südafrika darstellen. Hier wird das Menschenrecht auf Wasser explizit in der Verfassung formuliert. Wasserrechte und Landrechte sind voneinander getrennt. So haben nicht zwangsläufig jene mit viel Landbesitz auch viele Wassernutzungsrechte, sondern diese Wassernutzungsrechte werden vom Staat vergeben. Dann können Gerechtigkeitskriterien und ökonomische und ökologische Kriterien berücksichtigt werden. Ferner gibt es geregelte ökologische Mindestabflüsse für Gewässer. Es gibt sogenannte Flussgebietsorganisationen, die konkurrierende Nutzungsinteressen auf der Flussgebietsebene ausgleichen sollen. Natürlich ist die Umsetzung all dieser Maßnahmen nicht einfach. Aber es ist zumindest ein vorbildlicher Ansatz.

**Zaremba:** Tragen denn UN-Konferenzen zum besseren Umgang mit Wasser bei?

**Dombrowsky:** Indirekt können Beschlüsse internationaler Konferenzen sicherlich zu einem besseren Umgang mit Wasser beitragen. Beispielhaft ist die Rio-Konferenz von 1992. Dort wurde die Agenda 21 verabschiedet, und mit ihr das Konzept des Integrierten Wasserressourcenmanagements, IWRM genannt, beschlossen. Beim IWRM kommt es darauf an, einen Ausgleich der drei Dimensionen effiziente Wasserallokation, soziale Wassersicherung und ökologischer Schutz der Ressource Wasser zu schaffen.

**Zaremba:** Könnten Sie ein praktisches Beispiel für IWRM benennen, so wie es die Agenda 21 vorsieht?

**Dombrowsky:** IWRM ist ein sehr abstraktes Konzept, für das es viele verschiedene Definitionen gibt.

In der Mongolei werden derzeit Flussadministrationen und Flussgebietsräte eingerichtet, um das Wasser integriert auf der Ebene von Einzugsgebieten zu bewirtschaften. Das wird üblicherweise als IWRM-Ansatz verstanden. Allerdings würden

manche erst von IWRM sprechen, wenn das auch entsprechend umgesetzt ist.

**Zaremba:** Ihre Prognose zum Abschluss: Wie verändert der Klimawandel das Thema Wasser? Was muss hier unternommen werden?

**Dombrowsky:** Extremwetterereignisse werden zunehmen. In manchen Regionen wird es mehr regnen, und in manchen Regionen wird sich das Problem der Wasserknappheit zusätzlich verschärfen. Darauf muss in der Weise reagiert werden, dass die Forschung zum Wassermanagement verschiedene hydrologische Szenarien aufgreift. Im Wassermanagement müssen langfristig flexiblere Ansätze verfolgt werden.



Nora Marie Zaremba studierte Politik- und Wirtschaftswissenschaften in Bonn, danach arbeitete sie ein Jahr lang in einem Bildungsprojekt in Südindien und erfuhr dort tagtäglich, wie wichtig das Thema Umwelt für nachhaltige Entwicklung ist. Derzeit studiert sie den Masterstudiengang Global Change Ecology an der Universität Bayreuth.

## „WASSER SOLL [...] AUCH FÜR DIE ARMEN ERSCHWINGLICH BLEIBEN“

### INFO

#### IWRM

Mit dem Prinzip des Integrierten Wasserressourcenmanagements (IWRM) soll eine nach Menge und Güte nachhaltige Bewirtschaftung der miteinander in Wechselwirkung stehenden oberirdischen Gewässer, der Grundwasserleiter und gegebenenfalls auch der Küstengewässer geleistet werden. Dies soll die soziale und wirtschaftliche Entwicklung sowie die Funktionsfähigkeit lebenswichtiger Ökosysteme sichern.

### INFO

#### Wassermindestbedarf (definiert durch WHO)

Die Weltgesundheitsorganisation setzt den täglichen Mindestbedarf an sauberem Wasser für Trinken und Kochen auf 7,5 Liter und für Trinken, Kochen und Hygiene auf mindestens 20 Liter an. Für Wäschewaschen, Gartenbau etc. wird dann weiteres Wasser benötigt.



REGIONEN IM FOKUS

■ JOHANNES LÜERS

# Wasser in Oberfranken

WIE VIEL WASSER  
BRAUCHEN WIR, UND WO  
WIRD ES GEWONNEN?

■ Die Trinkwassertalsperre Mauthaus – auch Ködel-  
talsperre genannt – wurde 1975 als erste bayerische  
Anlage dieser Art in Betrieb genommen. Aus ihr wird ein  
Siebtel des Trinkwasserbedarfs in Oberfranken gedeckt.  
Foto: Hajo Dietz

## EIN BLICK AUF DEN FREISTAAT BAYERN

**D**as Wasseraufkommen für die öffentliche Wasserversorgung – also für die Trinkwasserabgabe an Haushalte und Kleingewerbe – beläuft sich nach Angaben des Bayerischen Landesamts für Statistik und Datenverarbeitung in den letzten 15 Jahren in ganz Bayern auf rund 1,06 Milliarden Kubikmeter (m<sup>3</sup>) im Jahresdurchschnitt. Davon werden rund 900 Millionen Kubikmeter aus eigenen Quellen auf dem Staatsgebiet von Bayern gewonnen, der Rest des Trinkwassers (16 %) wird als Fremdbezug aus den benachbarten Ländern zugeführt. Die Trinkwassergewinnung erfolgt in ganz Bayern zu 70 % aus Grundwasserreserven, zu 20 % direkt aus Quellwasser und zu 10 % aus Oberflächengewässern, das heißt aus Talsperren oder Uferfiltrat.

Dem gegenüber steht der Wasserverbrauch von rund 3,8 Milliarden Kubikmetern aus der nicht-öffentlichen Wasserversorgung: Die Energiewirtschaft verbraucht davon im Schnitt 77 %, das verarbeitende Gewerbe 23 %. Der überwiegende Teil der 3,8 Milliarden Kubikmeter wird von den Betrieben selbst gewonnen, mehr als 90 % aus Oberflächengewässern. Der Rest wird aus dem öffentlichen Trinkwassernetz zugeführt oder von anderen Betrieben übernommen. Somit wird im Durchschnitt seit 1995 pro Jahr in Bayern eine Gesamtmenge von 5 Milliarden Kubikmetern Frischwasser für die Energiegewinnung, für wirtschaftliche Tätigkeiten, zur privaten Nutzung sowie zur Bewässerung in der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt. Die Bewässerung schlägt in Bayern dabei nur mit rund 1 % des Gesamtverbrauchs zu Buche.

### TRINKWASSER IN OBERFRANKEN

Selbst im für die Verhältnisse in Mitteleuropa regenreichen Bayern ist der Trinkwasserverbrauch größer als dessen Gewinnung im Land selbst. In Oberfranken liegt der jährliche Verbrauch bei rund 85 Mio. Kubikmetern Trinkwasser für den Hausbedarf (84,8 Mio. im Jahr 2010). Davon werden nur 78 % im Bezirk selbst gewonnen, der Rest wird via Fernleitung aus dem Mündungsgebiet der Lech bei Genderkingen als „Fremdbezug“ zugeleitet.

Die Eigengewinnung in Oberfranken erfolgt zu 60 % aus Grundwasserreserven und zu 20 % direkt aus dem Quellwasser von etwa 500 gefassten Quellen und Brunnen. Rund 20 % des Trinkwassers stam-

men aus Oberflächengewässern, es wird fast ausschließlich in der Trinkwassertalsperre Mauthaus bei Kronach gewonnen. Gebaut zwischen 1968 und 1975 ist die frühere Ködeltalsperre die erste bayerische Trinkwassertalsperre überhaupt. Voll gefüllt beträgt ihre Wasseroberfläche 92 Hektar und es sind 20,7 Millionen Kubikmeter Wasser gespeichert. Davon werden in der Regel 12 Millionen Kubikmeter pro Jahr als Rohwasser entnommen und in der Anlage Rieblisch zu Trinkwasser aufbereitet. Auf diese Weise werden etwa 14 % des Trinkwasserbedarfs in Oberfranken gedeckt.

Für die Trinkwassernutzung entscheidend ist die Menge des durch den Erdboden und durch das Gestein gefilterten (sauberen) Grund- und Quellwassers, aber auch die Verweildauer oder Speicherzeit des versickerten Niederschlagswassers. Dabei bestimmen zwei Faktoren die Wassermenge, die für die so genannte Grundwasserneubildung jährlich zur Verfügung steht:

- Niederschlag und Verdunstungsrate in der jeweiligen Region
- die Beschaffenheit des geologischen Untergrundes

### GRUNDWASSERNEUBILDUNG I: NIEDERSCHLAG UND VERDUNSTUNG

Der Niederschlag in Oberfranken und den benachbarten Mittelgebirgen weist in der Regel eine

AUTOR



#### Dr. Johannes Lüers

ist seit 2003 Mitglied der Abteilung Mikrometeorologie bei Prof. Dr. T. Foken, Universität Bayreuth, von 2005 bis 2011 als Hochschulassistent. Seit April 2011 vertritt und leitet er als Professor die Abteilung Klimatologie der Universität Bayreuth.

Dr. Lüers interessiert sich generell für Auswirkungen des Klimawandels, sowohl auf globaler wie auf regionaler Ebene. In Forschung und Lehre legt er Schwerpunkte auf Energie- und Stoff-Austauschprozesse zwischen Boden, Vegetation und Atmosphäre, Kohlendioxid-Bilanzen sowie turbulente Energie- und Stoffflüsse in der bodennahen Atmosphäre – in Mitteleuropa (Wälder), in den Subtropen (Landwirtschaft) und in arktischen, polaren Regionen (Tundra). Dr. Lüers betreut die meteorologischen Messstationen des BayCEER.

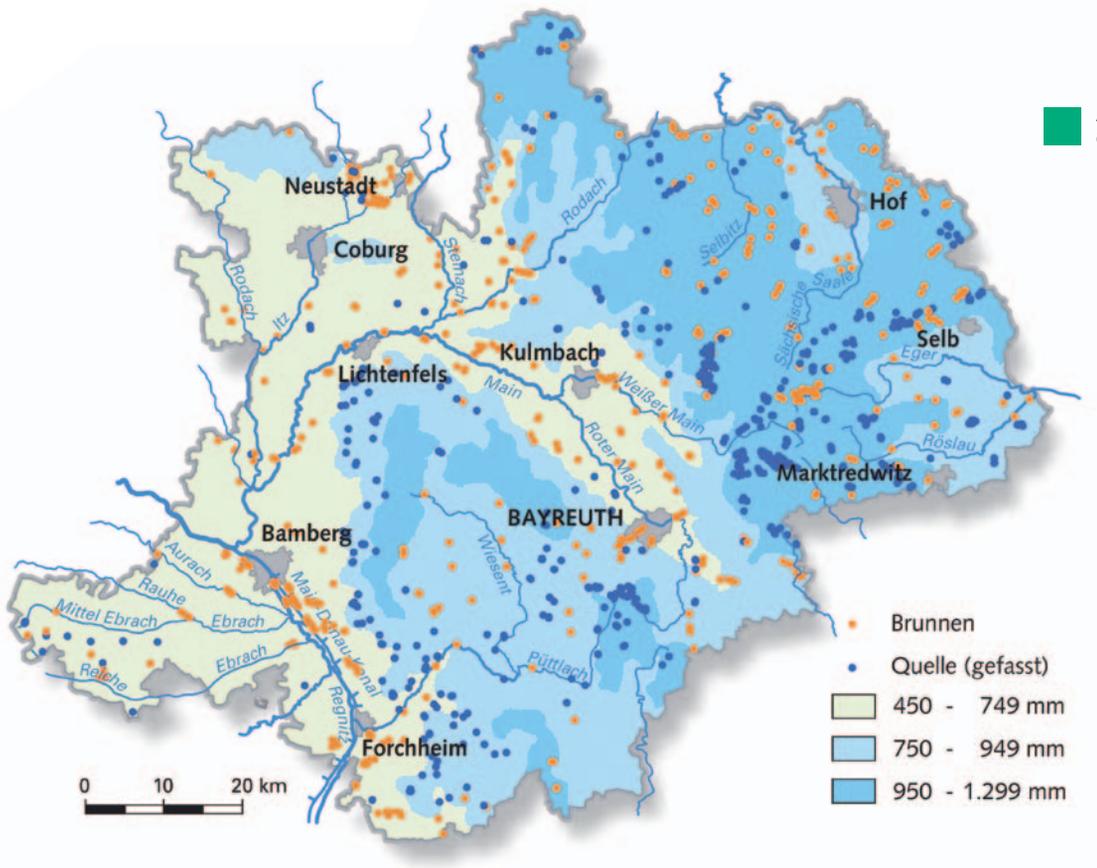


Abb. 1: Niederschlagsverteilung, gefasste Quellen und Brunnen Oberfrankens.

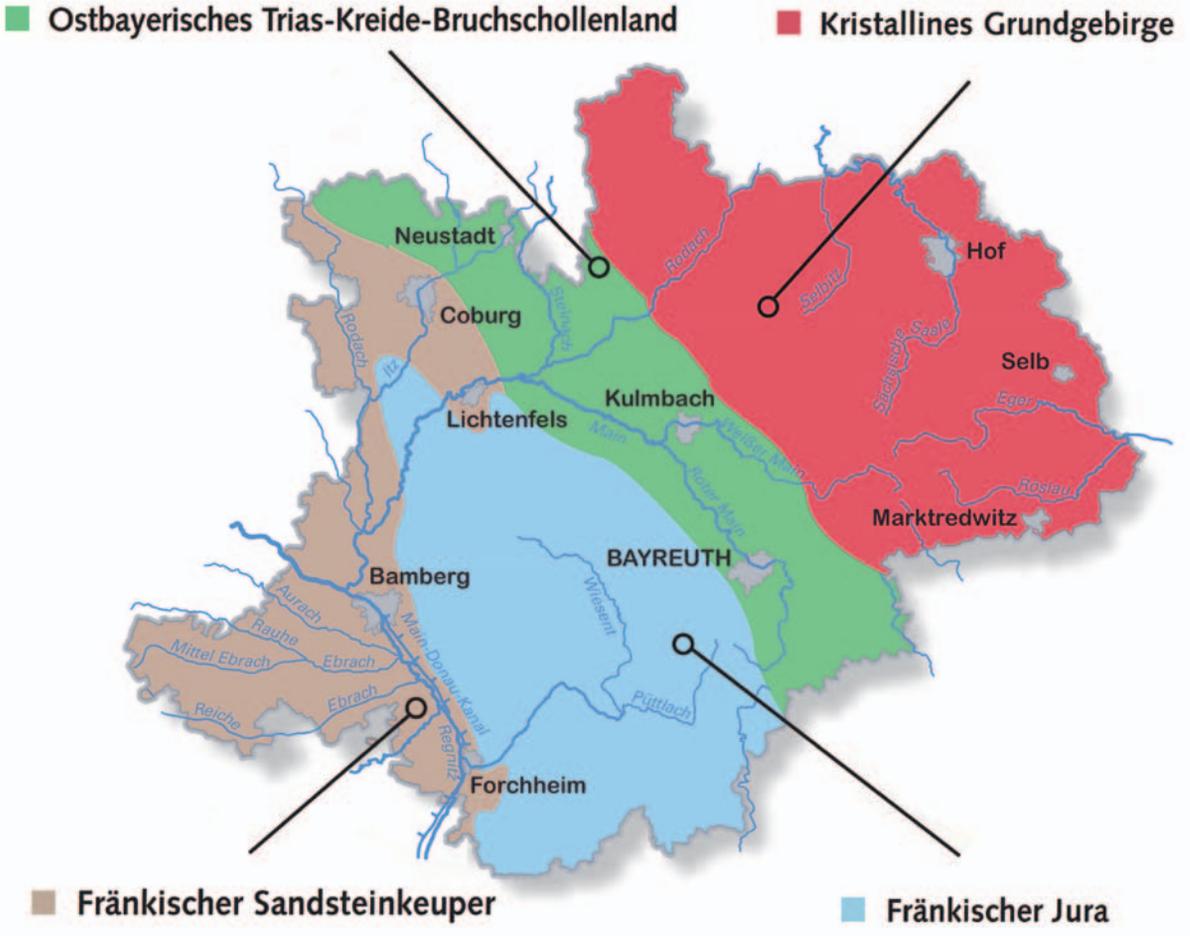


Abb. 2: Geologischer Untergrund in Oberfranken. Die Bedeutung der Gesteinsarten für die Wasserspeicherung wird im Text erläutert. Grundlage der Karten: Broschüre Trinkwasser für Oberfranken: Wege zu einer nachhaltigen Wasserwirtschaft in der Region, 2010, Regierung von Oberfranken, Bayreuth.

typische Zunahme mit der Geländehöhe auf. Die Abbildung 1 zeigt diesen Zusammenhang: wenig Regen, zum Teil weniger als 450 mm im Jahr, fällt entlang der Flusstäler Main und Regnitz; mittlere Regenmengen zwischen 750 und 950 mm fallen in der Fränkischen Schweiz; mit bis zu 1300 mm im Jahr gibt es vergleichsweise viel Regen in den Gebirgsregionen Fichtelgebirge und Frankenwald. Auf kleineren Maßstäben zeigen sich markante kleinräumige Unterschiede in der Verteilung der jährlichen Niederschlagsmenge: Die Hänge und Täler Oberfrankens sind je nach Lage unterschiedlich stark den anströmenden Luftmassen und damit – beispielsweise – dem Stauniederschlag bei Westwetterlagen ausgesetzt.

Wieviel Wasser bleibt übrig, wenn vom jährlichen Niederschlag die Verdunstungsmenge abgezogen wird? Eine Überschlagsrechnung kann dies verdeutlichen:

Angenommen die Fläche Oberfrankens von 7.231,47 km<sup>2</sup> (das sind 10,3 % der Fläche Bayerns) erhält durch Niederschlag auf einem Drittel 600 Liter Wasser pro m<sup>2</sup> und Jahr, auf dem zweiten Drittel 850 und dem letzten Drittel 1.125 Liter Wasser pro m<sup>2</sup> und Jahr. Das ergibt insgesamt eine Menge von 6.200 Milliarden m<sup>3</sup> oder 6.200 km<sup>3</sup> Wasser pro Jahr - etwa 129 Mal die Wassermenge des ganzen Bodensees.

Wie bilanziert sich diese riesige Wassermenge im hydrologischen Kreislauf Oberfrankens weiter? Laut den Studien des Verbunds „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA) beträgt die Gebietsverdunstung ganz Bayerns – also direkte Verdunstung des Niederschlags an Oberflächen sowie indirekte durch die Vegetation – 55 % der Niederschlagsmenge. Auf Oberfranken übertragen bleiben somit nach Abzug der Verdunstung 2.790 km<sup>3</sup> Wasser pro Jahr übrig: sie fließen ober- und unterirdisch aus Oberfranken ab, in schnellem Tempo in Bächen und Flüssen, langsamer im Boden als Zwischen- oder Basisabfluss aus dem Grundwasser.

## GRUNDWASSERNEUBILDUNG II: GEOLOGISCHER UNTERGRUND

Die Abbildung 2 gibt genauere Auskunft über die geologischen Gegebenheiten. In den trockeneren Teilen Oberfrankens – Fränkischer Sandsteinkeuper um Bamberg, Coburg, Forchheim – beob-

achtet man geringen Niederschlag und wenig Grundwasserneubildung, es gibt keine größeren natürlichen Seen und die Wassermenge kleinerer Fließgewässer nimmt im Sommer extrem ab.

Für das kristalline Grundgebirge in Fichtelgebirge und Frankenwald überwiegen durch höheren Niederschlag und geringere Verdunstung mittlere Raten der Grundwasserneubildung. Die Granite oder Gneise im Untergrund haben jedoch nur wenige Spalten und Klüfte und können so nur vergleichsweise wenig Wasser aufnehmen. Die Grundwasservorräte werden daher rasch wieder an die Oberflächengewässer Weißer Main, Eger und Saale abgegeben. Für die Wasserversorgung sind nur tief reichende Verwitterungszonen wie im Weißenstädter Becken oder auf zentralen Bergkuppen wie Ochsenkopf und Schneeberg von Bedeutung.

Der Streifen des Ostbayerischen Trias-Kreide-Bruchschollenlandes um Neustadt, Kulmbach und Bayreuth besteht aus schollenartig zerbrochenen und verschobenen Gesteinsschichten. Grundwasserführende Schichten – zumeist Sandsteine – und nicht wasserleitende Schichten wechseln sich kleinräumig über mehrere unterirdische Stockwerke ab.

Tabelle 1: Öffentliche Wasserversorgung (Trinkwasser Hausbedarf) in Bayern und im Regierungsbezirk Oberfranken für das Jahr 2010. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung 2010 - Kennziffer Q I 1-3j.2010.

Merkmal (Stand 2010)	Bayern	Oberfranken
<b>Einwohner am Ort der Hauptwohnung</b>	<b>12.519.100</b>	<b>1.073.800</b>
<b>Angeschlossen an Wasserversorgung</b>	<b>12.401.600</b>	<b>1.069.200</b>
<b>Eigengewinnung durch Wasserversorgungsunternehmen (WVU) in Bayern bzw. in Oberfranken (in 1000 m<sup>3</sup>)</b>	<b>854.039</b>	<b>66.266</b>
<i>davon aus Grundwasser</i>	<i>611.597</i>	<i>40.063</i>
<i>davon aus Quellwasser</i>	<i>156.473</i>	<i>12.932</i>
<i>davon aus Oberflächenwasser (Talsperre, Uferfiltrat)</i>	<i>85.969</i>	<i>13.271</i>
<b>Fremdbezug aus benachbarten Bundesländern oder Nachbarstaaten bzw. aus anderen Regionen Bayerns</b>	<b>169.168</b>	<b>18.533</b>
<b>Gesamt Wasseraufkommen (in 1000 m<sup>3</sup>)</b>	<b>1.023.207</b>	<b>84.799</b>
<b>Wasserabgabe an Letztverbraucher</b>	<b>725.091</b>	<b>58.730</b>
<i>davon an Haushalte</i>	<i>584.117</i>	<i>48.949</i>
<i>davon an gewerbliche und sonstige Abnehmer</i>	<i>140.974</i>	<i>9.781</i>
<b>Wasserabgabe zur Weiterverteilung</b>	<b>175.001</b>	<b>16.514</b>
<b>Wasserwerkseigenverbrauch</b>	<b>23.140</b>	<b>2.081</b>
<b>Wasserverluste/Messdifferenzen</b>	<b>99.944</b>	<b>7.516</b>
<b>Gesamt Wasserverbrauch (in 1000 m<sup>3</sup>)</b>	<b>1.023.176</b>	<b>84.841</b>

## INFO

## Wasserkreislauf – die Bilanz: Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Grundwasser

Seit mindestens 3 Milliarden Jahren der Erdgeschichte hat sich die globale Wassermenge nicht mehr verändert. Einzig die Verteilung der Wasserreserven über den Planeten ist großen Schwankungen unterworfen. Eingebettet ins globale Klimasystem der Erde, steuert der hydrologische Kreislauf die Verteilung des Wassers und der im Wasser enthaltenen Energie zwischen Hydrosphäre mit Ozeanen und Flüssen, Atmosphäre mit Wasserdampf und Wolken, Kryosphäre mit Gletschern, Eis und Schnee sowie dem Grundwasser in Pedo- und Lithosphäre. Für eine Erdregion sind in der Kreislaufbilanz die aus der Atmosphäre fallenden Schnee- und Regenmengen der Wassergewinn, Verdunstung und Abfluss sind der Verlust und das Grundwasser (zumeist) der Speicher.

Die größten Grundwasservorkommen in Oberfranken liegen im Fränkischen Jura. Die Kalk- und Dolomitgesteine der Fränkischen Schweiz mit ihren zahlreichen Höhlen und Klüften sind hier wichtige und ergiebige Karstgrundwasserleiter. Auf der anderen Seite sind die oberflächennahen Grundwässer des Bruchschollenlandes und des Jura sensibel gegenüber Schadstoffeinträgen wie bakteriellen Belastungen, Nitrat und Pflanzenschutzmittel – hier fehlen ausreichend mächtige Deckschichten, die das durchsickernde Wasser filtern.

## BLICK IN DIE ZUKUNFT: REICHEN DIE GRUNDWASSERRESERVEN AUS?

Der Großteil unseres Trinkwassers wird aus dem Grundwasser gewonnen oder aus Quellen, die sich aus diesem unterirdischen Wasserspeicher speisen. Werden diese Reserven in unserer Region zukünftig ausreichen? Laut der Regierung von Oberfranken wird die mögliche Grundwasserneubildungsrate auf 13 % der Jahresniederschlagsmenge geschätzt, das sind rund 806 km<sup>3</sup> Wasser pro Jahr auf der Fläche Oberfrankens. Eine große Zahl im Vergleich zum oberfränkischen Wasserverbrauch von insgesamt 0,12 km<sup>3</sup> pro Jahr für Trinkwasser und Frischwasser in Energiewirtschaft und verarbeitendem Gewerbe!

Doch hier trägt der erste Blick: Diese Menge steht nicht wirklich für die Wasserversorgung zur Verfügung. Zum einen sind die 806 Kubikkilometer neues Grundwasser pro Jahr durch die unterschiedlichen Niederschlagsregionen und den vielgestaltigen Gesteinsuntergrund in Oberfranken sehr heterogen verteilt. Das erschwert die technische und nachhaltige Förderung des Grundwassers. Zum anderen ist die Verweilzeit des Grundwassers aufgrund der Geologie in großen Teilen Oberfrankens deutlich geringer als in anderen Mittelgebirgsre-

Abb. 3: Der Weißenstädter See.  
Foto: Tourismuszentrale  
Fichtelgebirge / A. Hub



gionen Deutschlands – aus dem oberfränkischen Gebiet fließt ein bedeutender Anteil des im Boden versickerten Wassers schnell wieder in Bächen und Flüssen ab. Das führt dazu, dass in weiten Teilen Oberfrankens die nachhaltige Wassergewinnung, mit der langfristig sauberes Grundwasser erhalten wird, schon heute an ihre Fördergrenzen stößt.

Diese Situation wird sich durch die von uns Menschen verursachte rapide Veränderung des Erdklimas mit großer Sicherheit verschärfen. Dafür sprechen die Ergebnisse der umfangreichen regionalen Klimastudien der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und des Deutschen Wetterdienstes im Kooperationsvorhaben KLIWA sowie eine Studie des Bayreuther Zentrums für Ökologie und Umweltforschung BayCEER von 2008: Für die nahe Zukunft in 2021 bis 2050 sind vor allem beträchtliche saisonale Verschiebungen der Niederschlagsmengen zu erwarten. Die leicht erhöhten Winterniederschläge werden den deutlichen Verlust an Regen in den Frühlings- und Sommermonaten, verbunden mit dann erheblich höherer Verdunstung, nicht kompensieren können – auch in den wärmer werdenden Wintern wird ein größerer Anteil des Niederschlags als bisher direkt verdunsten.

Bestätigt sich bis 2050 zwischen Frühjahr und Hochsommer die Tendenz zu längeren Phasen mit negativer klimatischer Wasserbilanz, in denen die Verdunstungsleistung die Regenmengen übersteigt, und wird sich die Umstellung von lang andauerndem Landregen hin zu kurzzeitigen Starkregenereignissen fortsetzen, ist abzusehen: Die in Oberfranken bereits heute geringe Grundwasserneubildung wird merklich absinken, die Verweilzeit des Grundwassers wird sich vermutlich weiter verkürzen. Dadurch verringert sich die Menge an gespeichertem Wasser. Negative Folgen für die Eigengewinnung von Trink- und Frischwasser in Oberfranken liegen daher auf der Hand. Ob der sich abzeichnende steigende Fremdbezug von Trinkwasser über das Fernwassernetz aus benachbarten Regionen kostenneutral und umweltschonend realisierbar sein wird, ist fraglich.

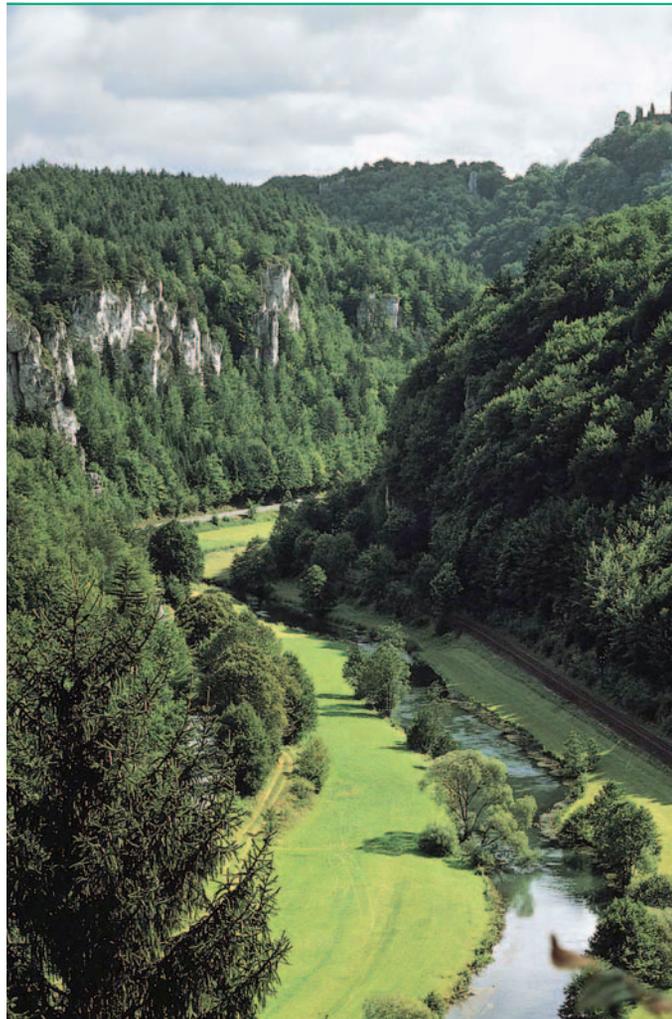


Abb. 4: Das Wiesenttal in der Fränkischen Schweiz / im Fränkischen Jura. Foto: Tourismusverband Fränkische Schweiz

## REFERENZEN

- Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung - Bayern: [www.statistik.bayern.de](http://www.statistik.bayern.de)
- Beierkuhnlein, C; Foken, T (2008): Klimaanpassung Bayern 2020, Studie für das Landesamt für Umwelt Bayern, 42 S.
- Beierkuhnlein, C; Foken, T; Schmid, N; Wolf, B; Gohlke, A; Alt, M; Thomas, S M; Stahlmann, R; Dech, S; Jentsch, A; Kuzyakov, Y; Matzner, E; Menzel, A; Peiffer, S; Rötzer, T; Steffan-Dewenter, I; Tenhunen, J; Walther, GR; Burghardt, D; Wiesenberg, G; Glaser, B; Jacobeit, J; Pretzsch, H; Beck, C; Melzer, A; Erhard, D (2008): Klimawandel in Bayern. Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten, Bayreuther Forum Ökologie, 113, 501 S.
- Fernwasserversorgung Oberfranken (FWO): [www.fwokronach.de](http://www.fwokronach.de)
- KLIWA - Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft - KLIWA-Heft 17 (2012): Auswirkung des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz.
- Lüers, J; Foken, T (2004): Klimawandel in Oberfranken, Der Siebenstern, 73, 149-153.
- Regierung von Oberfranken (2010): Broschüre Trinkwasser für Oberfranken: Wege zu einer nachhaltigen Wasserwirtschaft in der Region, Herausgeber Regierung von Oberfranken, Ludwigstraße 20, 95444 Bayreuth; Redaktion und Bearbeitung Richard Langmeyer, [www.regierung.oberfranken.bayern.de](http://www.regierung.oberfranken.bayern.de)



■ CHRISTIANE WERNER  
BIRGIT THIES

# Wer gräbt wem das Wasser ab?

DEM WASSER AUF DER SPUR MIT STABILEN ISOTOPEN

■ Laserspektrometer im Feldeinsatz unter  
Korkeichen in Portugal. Foto: C. Werner

**W**asser oder  $H_2O$  ist ein kleines Molekül aus zwei Wasserstoff- und einem Sauerstoffatom – es ist die Basis des Lebens auf der Erde und kommt flüssig, gasförmig oder auch als Eis in fast allen Teilen unserer Umwelt vor. Soviel Wissen haben die meisten aus der Schule ins Leben mitgenommen.

Wie aber lassen sich die Wege des Wassers innerhalb eines Ökosystems im Detail nachvollziehen? Für diese Frage setzen Forscher dem Wasser auf seinen Wegen durch Boden oder Bäche gerne ungiftige, meist farbige „Tracer“ zu. Diese Methode hilft jedoch nicht weiter, wenn der Durchgang des Wassers durch lebende Organismen oder ganze Pflanzengemeinschaften gefragt sind. Hier greifen die Wissenschaftler – in der Ökosystemforschung wie auch in der Kriminalistik – auf „stabile Isotope“ zurück.

Die Arbeitsgruppe Ökosystemforschung von Prof. Dr. Christiane Werner untersucht die Wege des Wassers sowie weitere biogeochemische Kreisläufe dort, wo Wasser Mangelware ist: in den Korkeichen- und Kiefernwäldern am Mittelmeer sowie in den Dünen an den Küsten Portugals. Das Verständnis dieser Ökosysteme soll helfen, sie mit Blick auf den erwarteten Klimawandel zu schützen und zu nutzen.

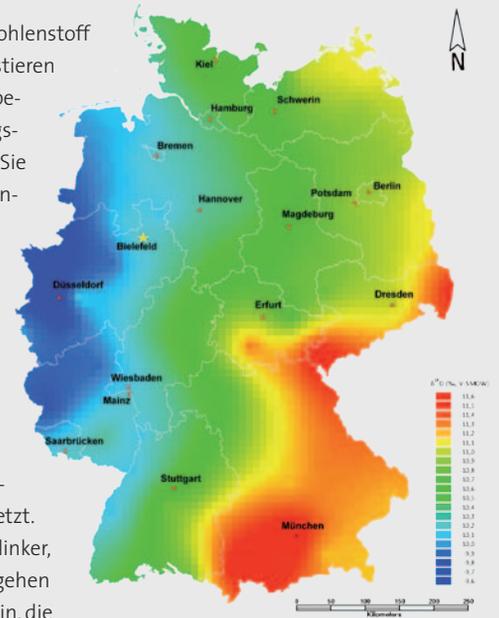
## ANALYSEWERKZEUGE

Isotopenanalysen werden inzwischen in den verschiedensten Disziplinen der ökologischen Forschung eingesetzt. Am Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung gibt es daher ein eigenes Labor für Isotopen-Biogeochemie. Das Team von Prof. Dr. Gerhard Gebauer analysiert für die BayCEER-Arbeitsgruppen die Isotopenhäufigkeit an speziell miteinander kombinierten Analysegeräten, deren Name die Komplexität der Materie verdeutlicht: „Elementaranalysator – Isotopenverhältnis-Massenspektrometer“ ist hier nur ein Beispiel.

Prof. Werner bringt eine neue Analyseoption mit in den Bayreuther Forschungsbereich: Mit dem robusten Laserspektrometer lassen sich beispielsweise Wasserproben direkt „im Feld“ auf ihre Isotopenzusammensetzung hin untersuchen.

## Warum sind stabile Isotope spannend?

Von vielen Elementen wie Wasserstoff (H), Kohlenstoff (C), Stickstoff (N) oder Sauerstoff (O) existieren verschiedene stabile Isotope: Atome mit unbegrenzter Lebensdauer und gleicher Ordnungszahl, jedoch unterschiedlichen Kernmassen. Sie sind nicht radioaktiv und kommen mit geringen relativen Häufigkeiten in der Natur vor. Gemessen wird immer das Verhältnis des schweren zum leichten Isotop – beispielsweise  $^{18}O/^{16}O$  – im Isotopenmassenspektrometer oder durch Laserspektroskopie. Spannend für die Wissenschaft werden stabile Isotope durch **Fraktionierungsprozesse** in der Natur: Die verschiedenen Isotope des jeweiligen Elementes werden hier mit verschiedenen Raten umgesetzt. Die leichten Isotope sind im allgemeinen flinker, sie reagieren und diffundieren schneller, gehen leichter Bindungen zu anderen Elementen ein, die



Simulierte Isotopenverteilung im Regenwasser in Deutschland (Programm: [www.waterisotopes.org](http://www.waterisotopes.org))



Ein Blick ins Innere des Messcontainers mit laufenden Isotopenanalysen am Laserspektrometer. Foto: C. Werner

auch schneller wieder gebrochen werden. Die schweren Isotope sind dagegen reaktionsträger. Dadurch unterscheiden sich die Ausgangssubstanzen von den Produkten einer Reaktion in ihrer Isotopenzusammensetzung: Es findet eine Fraktionierung statt. Diese Änderung in der Isotopenzusammensetzung gibt den Forschern Hinweise auf die zugrundeliegenden Prozesse.

Wenn Wolken und Feuchtigkeit sich mit dem Wind über den Landmassen verteilen, ergibt sich hierdurch ein charakteristisches Verteilungsmuster der Isotopen im Regenwasser, welches von Pflanze, Tier und Mensch aufgenommen wird. So lässt sich auch die Herkunft von Geweben aus Pflanzen und Tieren erschließen, da sie das ortstypische Isotopenmuster aus Regen- und Trinkwasser widerspiegeln.

## Dünen in Portugal: der Siegeszug der Gold-Akazie

Das Team um Prof. Werner untersuchte mit stabilen Isotopen ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$  und  $^{15}\text{N}$ ), wie die aus Australien eingeschleppte Gold-Akazie sich in mediterranen Dünen an der portugiesischen Küste ausbreitet. Die Gold-Akazie (*Acacia longifolia*) hat gegenüber anderen Pflanzen einen entscheidenden Vorteil: Sie kann den Nährstoff Stickstoff mit Hilfe von Knöllchenbakterien auch aus der Luft – statt nur aus dem Boden – aufnehmen. Dadurch wächst sie besser und gräbt anderen Pflanzen buchstäblich Nährstoffe und das wenige Regenwasser ab.

Mittels Raum- und Isotopenanalysen („Isoscaping“) kamen die Forscherinnen weiteren Auswirkungen auf die Spur: die stickstoffreichen Akazienblätter düngen beim Verrotten Pflanzen in bis zu acht Meter Entfernung vom Baum. Obwohl die Akazien nur auf einem Drittel der Fläche präsent sind, verändern sie so knapp zwei Drittel der Dünenflächen. „Dünen sind empfindliche Ökosysteme, die auf langsames Wachstum angewiesen sind“, sagt Prof. Werner. Wachsen hier einige Pflanzenarten schneller als üblich, verbrauchen sie auch mehr Wasser. Der Boden wird trockener, andere Arten können sich nicht mehr durchsetzen und die Pflanzenvielfalt auf den Dünen nimmt ab. Die Gold-Akazie verändert so als einzelne eingeschleppte Art ein ganzes Ökosystem in den Dünen Portugals.



Die aus Australien stammende Gold-Akazie in den Dünen Portugals. Foto: C. Werner



Blühende Gold-Akazie. Die Bäume können Stickstoff aus der Luft aufnehmen und so schneller wachsen. Foto: C. Werner

## Invasion im Unterholz: Kiefernwälder am Mittelmeer



Die Gold-Akazie macht sich auch im „Untergeschoss“ von Kiefernwäldern im Mittelmeerraum breit – sie wächst zwar weniger hoch als die Kiefern, ist aber wegen ihrer Luft-Stickstoffnutzung durchaus konkurrenzstark.

Ändert sich durch den „Eindringling“ die Wasser- und Kohlenstoffbilanz der Wälder? Da am Mittelmeer Wassermangel die Regel ist, wurde bisher angenommen, dass die Wälder dort bereits das verfügbare Wasser maximal ausnutzen und dieses Gleichgewicht durch eindringende „Neophyten“ nicht verändert werden kann. Das Team um Prof. Werner fand hier ein Gegenbeispiel: Die mit Akazien unterwachsenen Wälder verdunsteten insgesamt mehr Wasser als reine Kiefernwälder. Die Kiefern haben in Konkurrenz mit den Akazien bedeutend weniger Wasser zur Verfügung und sind im Wachstum gebremst. Dies wirkt sich negativ auf die Nutzung von Bauholz aus.

Portugal: australische Gold-Akazien graben den einheimischen Kiefern das Wasser ab. Foto: C. Werner



## Wassernutzung in mediterranen Korkeichenwäldern

Um die Wassernutzung in einem mediterranen Korkeichenwald zu untersuchen, nutzen die Forscher  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnisse, kombiniert mit  $^{13}\text{C}$ -Isotopen sowie Wasser- und Kohlenstoffflussmessungen. Damit kommen sie im DFG-Projekt WATERFLUX zu weitreichenden Aussagen über die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Teilen des Ökosystems – Bäume, Krautschicht, Boden – und der Atmosphäre. So trägt der Unterwuchs im Frühjahr zu 50 Prozent der Netto-primärproduktion bei – und fixiert damit etwa die Hälfte des insgesamt vom System benötigten Kohlenstoffs.

Dieses Wissen ist bedeutsam, da Wälder die größten terrestrischen Kohlenstoffsinken sind und damit einen wichtigen Puffer für den Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre bilden. Die hier untersuchten savannenartigen Wälder werden zudem von den Menschen in Portugal zur Produktion von Kork und zur Beweidung genutzt. Zukünftig wird sich den Prognosen zufolge der Wassermangel gerade im Mittelmeerraum verschärfen: Es gilt zu verstehen, welche Risiken damit für die Korkeichenwälder und für die hier lebenden Menschen verbunden sind.

Korkeichenwälder  
„Montado“ in Portugal.  
Foto: C. Werner

### AUTORIN



#### Prof. Dr. Christiane Werner

leitet seit Sommer 2012 an der Universität Bayreuth die Arbeitsgruppe Ökosystemforschung in Agrar- und natürlichen Systemen. Zuvor war sie an der Universität Bielefeld Juniorprofessorin für Pflanzenökophysiologie und leitete dort das Labor für Stabile Isotope.

Schon seit 2000 ist Prof. Werner ökologischen Fragen mittels stabiler Isotopen auf der Spur, durch ihre Teilnahme am Europäischen Research Training Netzwerk NETCARB (Network for Ecophysiology in Closing Terrestrial CARbon Budget).



■ ANNE-SOPHIE BECKEDORF

# Wasser für 6 Millionen Einwohner

PRIVATISIERUNG IM STAATLICHEN WASSERMANAGEMENT VON KHARTUM

■ Rohre für den Wasserleitungsbau in Thoura. Foto: Anne-Sophie Beckedorf

Das von der DFG und der französischen Agence Nationale de Recherche finanzierte Forschungsprojekt („WAMAKHAIR: Water Management in Khartoum International Research Project“) beschäftigt sich mit der Wasserverteilung und ihren sozialen und politischen Hintergründen in der sudanesischen Hauptstadt. Das Projekt wird seit vier Jahren von Prof. Detlef Müller-Mahn (Lehrstuhl für Bevölkerungs- und Sozialgeographie) in Zusammenarbeit mit Partnern in Paris, Fribourg (Schweiz) und Khartoum koordiniert. Ziel des Projektes ist es, das urbane Wassermanagement und seine aktuellen Veränderungen im Zusammenhang mit sozio-ökonomischen und politischen Prozessen zu betrachten. Im Mittelpunkt stehen dabei Untersuchungen zur Privatisierung der Wasserversorgung und ihren Auswirkungen in der Stadtbevölkerung.

Das Fallbeispiel Khartoum ist vor allem aus zwei Gründen interessant: Zum einen lassen sich hier einige der in vielen afrikanischen Großstädten gegenwärtig ablaufenden Stadtentwicklungs- und Urbanisierungsprozesse besonders markant beobachten; zum anderen werden durchaus auch Unterschiede zwischen dem Sudan und anderen Staaten deutlich. Beispielsweise ist das neoliberale

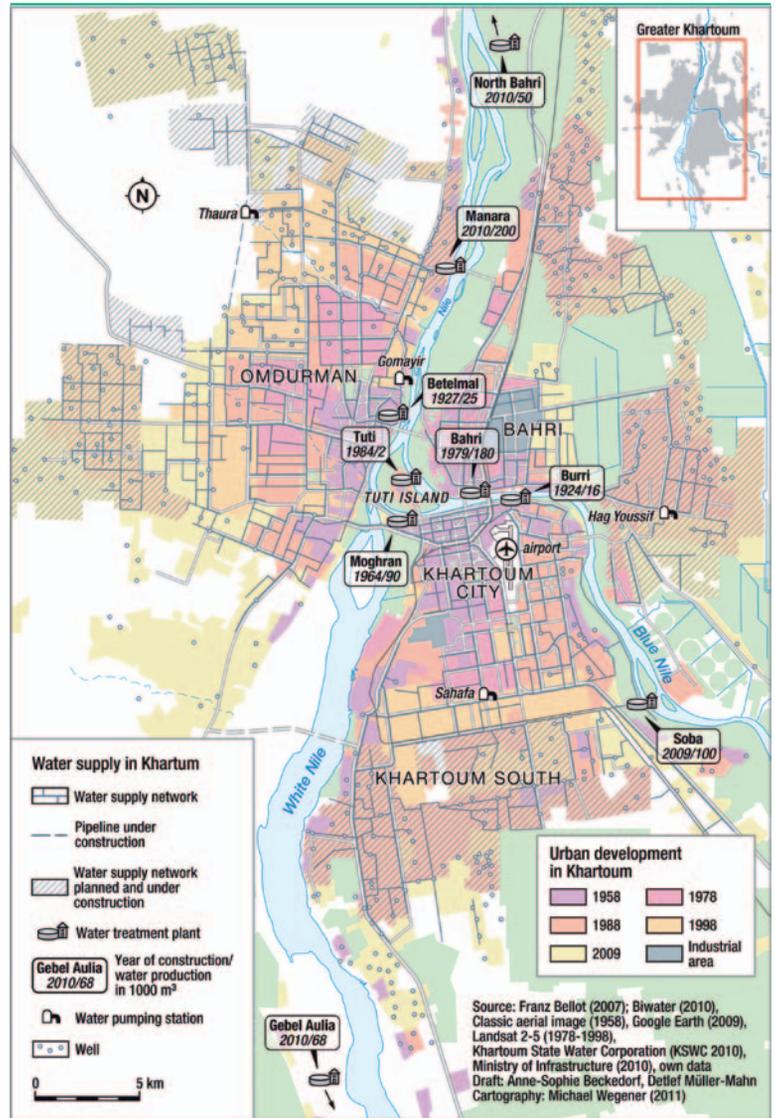
Reformprogramm des Sudan im Gegensatz zu anderen afrikanischen Staaten nicht extern ‚aufgetrieben‘, sondern Resultat einer internen politischen Agenda, was zu einem tieferen Verständnis von ‚lokalen‘ Initiierungen ‚globaler‘ Reformprogramme beiträgt.

**INFO**

### Projekt WAMAKHAIR

Gegenwärtig wird an einem gemeinsamen Buch gearbeitet, das die Ergebnisse des Projektes zusammenfasst und im Jahr 2013 erscheinen soll. Im Rahmen von WAMAKHAIR entstehen an der Universität Bayreuth auch mehrere Dissertationen. Die Doktorarbeit von Anne-Sophie Beckedorf mit dem Titel „Political waters. Neoliberal reforms and governmental water management in Khartoum“ ist im September 2012 im Lit-Verlag erschienen. Eine weitere Dissertation von Salma Abdalla, die sich mit der Bedeutung von islamischen Institutionen bei der Wasserverteilung beschäftigt, steht kurz vor dem Abschluss. Eine dritte Arbeit von Azza Mustafa behandelt den Zusammenhang von Identitätskonstruktionen und Wasser unter den Bewohnern der in Khartoum liegenden Insel Tuti Island. Ausführliche Informationen sind auch auf der Webseite des Projekts zu finden:

- [www.wamakhair.uni-bayreuth.de](http://www.wamakhair.uni-bayreuth.de)



Khartoum, die Hauptstadt des Sudan, ist in den letzten Jahrzehnten enorm gewachsen und hat gegenwärtig etwa sechs Millionen Einwohner. Die Ausdehnung der Stadt zeigt die Karte (Abb. 1). Hier ist auch die gegenwärtige Wasserversorgung in Khartoum ersichtlich, die sich sowohl aus Nilwasser, gefördert von mehreren Wasserwerken am Nil, als auch aus Grundwasser aus mehreren hundert Brunnen zusammensetzt. Über Leitungsnetze oder über Eselskarren wird Wasser aus den

Abb. 1: Städtische Entwicklung und Wasserversorgung von Khartoum.



Abb. 2 (oben): Wassertransport durch Eselskarren in Dar Essalam, März 2010.

Abb. 3: Wasserwerk Betelmal, September 2009.

Wasserwerken und Brunnen an die Haushalte weitertransportiert.

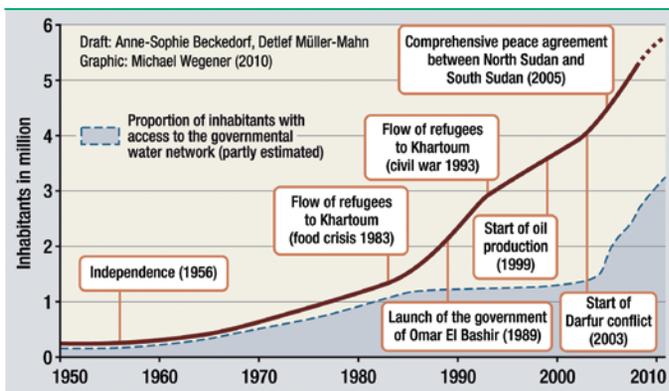
Ein Vergleich zwischen der Bevölkerung von Khartum und dem geschätzten Anteil der Bevölkerung, die an das staatliche Wassernetz angeschlossen ist, zeigt, dass insbesondere in den 1990er Jahren etwa die Hälfte der Menschen keinen Zugang zur staatlichen Trinkwasserversorgung hatte. Die Grafik (Abb. 4) veranschaulicht diese Versorgungslücke.

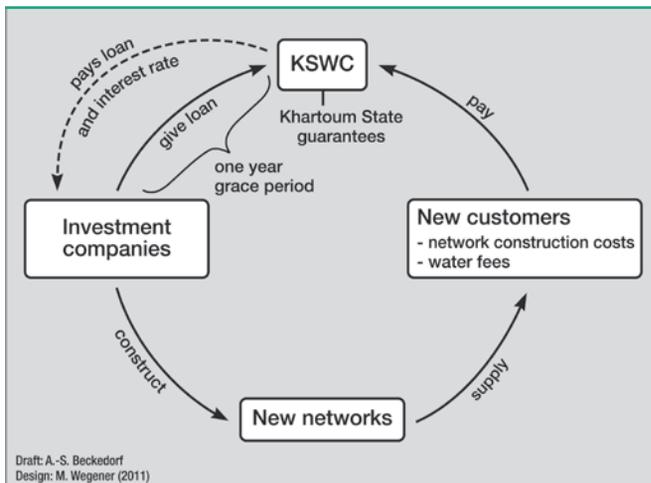
Diese Grafik macht auch deutlich, dass im letzten Jahrzehnt verstärkt Anstrengungen unternommen wurden, diese Versorgungslücke wieder zu schließen. So wurden seit 2001 zahlreiche Reformen in das Khartumer Wassermanagement eingeführt, unter anderem die Privatisierung von Teilbereichen der Versorgungskette. So wurden beispielsweise das Eintreiben von Wasserrechnungen, der Bau von Wasserleitungen und der Betrieb von Wasserwerken an Privatfirmen outgesourct. Während früher die staatliche Wasserbehörde Khartoum State Water Corporation (KSWC) für diese Aufgabenbereiche verantwortlich war, sind es nun Privatfirmen, die gegen eine Gebühr Wasserrechnungen im Auftrag von KSWC eintreiben oder Wasserleitungen legen.

Als Beispiel beschreibt die Abbildung 5 das System des Leitungsbaus über Investitionsfirmen. Diese leihen der KSWC Geld für ein Jahr, mit dem neue Wasserleitungen durch die Investitionsfirma gebaut werden können. Nach Ablauf eines Jahres zahlt die KSWC den ursprünglichen Kredit sowie einen Zinssatz zurück an die Investitionsfirma. Die Idee ist, dass KSWC dieses Geld durch neue Kunden rückfinanzieren kann, die sie durch den Bau neuer Leitungen gewonnen hat.

In der Praxis funktioniert dieses System jedoch nicht immer. Der Bau von Wasserleitungen ist um einiges teurer als der Wasserpreis, den neue Kunden an die KSWC bezahlen müssen. Deshalb kann keine komplette Refinanzierung erfolgen, sondern es sind Subventionen durch die Khartumer Stadtregierung notwendig, die jedoch nicht immer dazu gewillt ist. Zusätzlich verschwindet viel Geld durch Privatgeschäfte zwischen einigen Entscheidungsträgern in der KSWC und einigen Investitionsfirmen. Auch werden manche Wasserleitungen gar nicht erst fertig gestellt, so dass die Wasserversorgung stagniert. Insgesamt kann man zusammenfassen, dass Privatisierungs-

Abb. 4: Einwohner und staatliche Wasseranschlüsse in Khartum, 1950 bis 2010.





maßnahmen im Khartumer Wassermanagement zwar Investitionen geschaffen und den Leitungsausbau vorangetrieben haben, dass jedoch hierbei auch ein großer Anteil an Investitionen versickert und der Leitungsausbau zu einem (zu) hohen Preis geschieht.

Ein Ergebnis dieser Untersuchung ist folglich, dass es, um eine Verbesserung der Trinkwasserversorgung zu erreichen, weniger auf den Modus von Wasserversorgungssystemen ankommt – wie Privatisierung oder Verstaatlichung – als vielmehr auf die Art und Weise, wie Wassermanagement konkret abläuft. Mit anderen Worten: Ob die Wasserversorgung funktioniert, ist zum Großteil unabhängig davon, wie sie organisiert ist – ob dezentral oder zentral, privat oder öffentlich, kommerziell oder gemeinnützig. Worauf es jedoch ankommt, ist die jeweilige institutionelle Steuerung (governance), die nur im empirisch-lokalen Rahmen erfasst werden kann. Insofern ist dieser Beitrag auch als ein Plädoyer zu verstehen für eine Forschung, die sich nicht (nur) an ‚globalen‘ Konzepten und Debatten orientiert, sondern (auch) Raum lässt für ‚lokale‘, detaillierte, mikropolitische und kontextbezogene Studien und Erkenntnisse.

AUTORIN

**Anne-Sophie Beckedorf**

studierte von 2003 bis 2006 Geographische Entwicklungsforschung an der Universität Bayreuth. Nach ihrem Bachelor-Abschluss absolvierte sie von 2006 bis 2008 am Institut für Internationale Beziehungen und Entwicklungsstudien (HEID) in Genf einen Masterstudiengang auf dem Gebiet der Entwicklungsstudien. 2008 bis 2011 folgte die Promotion am Lehrstuhl für Bevölkerungs- und Sozialgeographie bei Prof. Dr. Detlef Müller-Mahn an der Universität Bayreuth. Gleichzeitig war Anne-Sophie Beckedorf Mitarbeiterin im Projekt „Water Management in Khartoum International Research Project (WAMAKHAIR)“. Für ihre Dissertation, die 2012 unter dem Titel „Political waters. Governmental water management and neoliberal reforms in Khartoum“ als Buch erschien, erhielt sie den Dissertationspreis der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Vorderer Orient (DAVO).



Abb. 5 (links): System der Finanzierung von Wasserleitungen über Investitionsgesellschaften.

Abb. 6: Wasserleitungen in Thoura, November 2009.

Abb. 7: Installation von Wasserleitungen in Thoura, Dezember 2009.

Abb. 8: Installation von Wasserleitungen in Thoura, September 2010.



# Wasserversorgung im Umland von Khartum

## SERAU ALS FALLBEISPIEL

### AUTORIN



### Salma Abdalla

ist Junior Fellow der Bayreuth International Graduate School of African Studies und arbeitet als Koordinatorin im DAAD African Good Governance Network (AGGN) mit. Das Thema ihrer Dissertation lautet: "Coping with Water Scarcity: the Role of Zakat Institutions in Water Distribution in Khartoum".

**S**erau ist eine ehemals ländliche Siedlung, die durch die enorme Ausdehnung der Doppelstadt Omdurman-Khartum in den vergangenen zwei Jahrzehnten zu einem Stadtviertel am Rande der Metropole geworden ist. Die außerordentlich dynamischen Siedlungsprozesse und sozialen Veränderungen in diesem ländlich-städtischen Übergangsraum spiegeln sich in einem Bereich der Infrastrukturversorgung, der für eine Stadt in der Wüste von besonderer Bedeutung ist, nämlich in der Wasserversorgung. Auch das Fallbeispiel Serau ist Teil des internationalen Forschungsprojekts „WAMAKHAIR“ am Lehrstuhl für Bevölkerungs- und Sozialgeographie. Das Projekt untersucht den Zugang zu Trinkwasser und die damit verbundenen politischen Auseinandersetzungen in der sudanesischen Hauptstadt als Ausdruck gesellschaftlicher Veränderungen.

Ursprünglich bildete Serau eine bäuerlich geprägte, von den urbanen Regionen klar unterscheidbare Gemeinde. Doch infolge des Bevölkerungswachstums wurde sie im Verlauf der letzten 20 Jahre immer stärker in die wachsende Metropole integriert. Die Entwicklung des Stadtviertels ist dadurch geprägt, dass hier Menschen ganz unterschiedlicher Herkunft zusammenleben: sesshaft gewordene Nomaden, Ackerbauern und junge großstädtische Mittelschichtfamilien. Als Ureinwohner gelten die Gamaia. Sie siedelten sich hier vor mehr als 100 Jahren an, betrieben Ackerbau und vererbten ihren Landbesitz an die nachkommenden Generationen. In den 1980er Jahren wanderten vom Westen des Sudan her nomadische Gruppen der Kababish und der Hawawir ein, die vor allem wegen der anhaltenden Dürre ihre Heimatregionen verlassen hatten. Die Immigranten wurden von den Gamaia freundlich aufgenommen und erhielten eigenen Landbesitz, zumal sie als neue Arbeitskräfte für die Landwirtschaft benötigt wurden. Auch nach dieser Einwanderungswelle behielt das Dorf daher zunächst seinen ländlichen Charakter. Da ein Anschluss an das zentrale städtische Wassernetzwerk von Khartum fehlte, waren die Einwohner auf alte

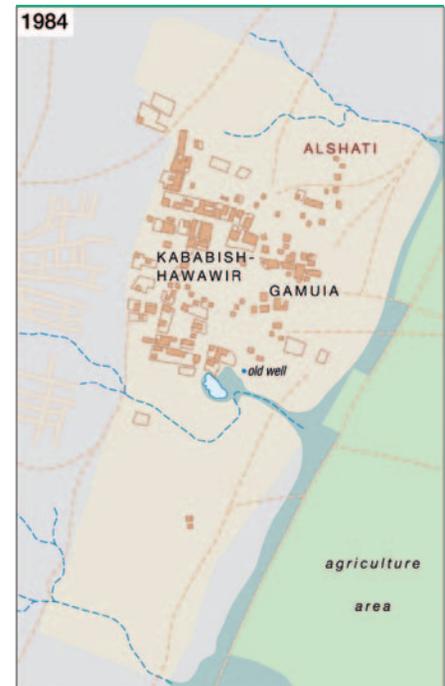


Abb. 1+2 (rechts): Die Besiedlung von Serau im Vergleich: 1984 und 2010.

Brunnen mit oftmals geringer Wasserqualität angewiesen. Auf Eselskarren wurde das Wasser ins Dorf transportiert.

In den zwei Jahrzehnten nach 1990 änderte sich jedoch das Bild. Serau erlebte einen starken Zugang von Menschen aus verschiedenen städtischen Zentren des Sudan. Ziel dieser Neuankömmlinge war Khartum; aber weil die Bodenpreise und die Lebenshaltungskosten in der Peripherie weitaus günstiger als im Stadtzentrum waren, ließen sie



sich in den Außenbezirken der Hauptstadt nieder. Wie viele andere Siedlungen im Umland von Khartum, wandelte sich Serau damit von einer ländlichen, in ethnischer und kultureller Hinsicht homogenen Gemeinde zu einem vielfältigen Ensemble unterschiedlicher Gruppierungen. Diverse soziale Bindungen, wirtschaftliche Interessen und Fähigkeiten bestimmten das Alltagsleben. Anders als die nomadischen Zuwanderer in früheren Jahrzehnten, wurden die neuen städtisch geprägten Bewohner als Konkurrenten angesehen – insbesondere bei der Inanspruchnahme sozialer Dienstleistungen. Gerade die Frage der Wasserversorgung bot häufig Anlass für Rivalitäten.

Weil aber seitens der Hauptstadt Khartum oder der sudanesischen Zentralregierung keine Dienstleistungen in der Wasserversorgung zur Verfügung standen, entwickelten insbesondere die städtisch geprägten Neubürger in Serau eigene Initiativen,

um die lokalen Strukturen in diesem existenziellen Bereich zu erneuern. Intoleranz und Diskriminierung, die ihnen im Umgang mit der alteingesessenen Bevölkerung widerfuhr, verstärkten dabei ihre sozialen Beziehungen untereinander. Einer dieser Einwohner, der erst 2001 zugezogen war, unterhielt gute persönliche Kontakte zur Zakat, einer quasi-staatlichen (Almosen-)Behörde. Diese leistete daher finanzielle Unterstützung für den Bau eines neuen und tieferen Brunnens mit guter Wasserqualität und für den Bau von Wasserleitungen bis zu den einzelnen Häusern. Heute werden rund 40 Prozent der Haushalte über dieses neue lokale Wassernetz versorgt. Weil die Gruppe der Neubürger mit städtischem Erfahrungshintergrund stetig anstieg, konnte sie einen wachsenden Einfluss auf den lokalen „Volksrat“ (lajna shaabiya) gewinnen. Auch auf diesem Weg gelang es, den Ausbau der Wasserversorgung in Serau zu voranzubringen. Ein hauptsächliches Ziel war dabei der Anschluss an das zentrale Leitungsnetz der Hauptstadt.

Trotz dieser Verbesserungen zugunsten des gesamten Stadtviertels konnten die Rivalitäten zwischen den verschiedenen Bevölkerungsgruppen nicht völlig überwunden werden. Vor allem die alteingesessenen Bürger und die Wasserhändler opponierten gegen die Initiativen, die von den „Zugezogenen“ ergriffen wurden. Deshalb gilt in der Peripherie der Metropole Khartum auch weiterhin: Fortschritte in der Infrastruktur und im Wassermanagement sind mit der Herausforderung verbunden, die Sichtweisen und Interessen diverser Bevölkerungsgruppen auszugleichen, die für die demographische Struktur des Umlands von Khartum immer noch prägend sind.



Abb. 3: Besonders Frauen und Kinder profitieren vom Anschluss an die Wasserversorgung.

Abb. 4 (links): Hochtank an einem Brunnen in Serau.



Abb. 5: Junger Wasserverkäufer mit Eselskarren in Serau.



■ NORA MARIE ZAREMBA

# Ingenieure ohne Grenzen

BAYREUTHER STUDIERENDE ENGAGIEREN SICH FÜR WASSERPROJEKTE IN AFRIKA

■ Krankenhausgelände des Lutheran Hospitals in Karatu: Kinder entnehmen Wasser für den Eigengebrauch. Foto: Eray Ulcay

In Kadjebi, einer kleinen Stadt in Ghana, fällt regelmäßig der Strom aus. Dann funktionieren natürlich auch die elektrischen Wasserpumpen auf dem Gelände der Kadjebi-Asato Secondary School nicht mehr. Früher bedeutete Stromausfall für viele der 1.500 Schüler: Wassereimer schleppen. Also raus aus den Klassenzimmern und hin zum Brunnen, wo das Wasser dann mit der Hand hochgepumpt wurde. Die Eimer mussten in die Küche getragen werden, 200 Meter weit.

Kraftraubendes Wasserpumpen und Eimer schleppen ist in der Schule in Kadjebi nun vorbei, dank einer solarbetriebenen Grundwasserpumpe. Solche Pumpen sind in vielen Regionen Afrikas sinnvoll, da Sonneneinstrahlung und Wasserbedarf zeitgleich auftreten. Die Pumpe in Kadjebi wurde einfach in einem Brunnen der Schule installiert. Seitdem gibt es Wasser zum Kochen ganz ohne Strom. Installiert wurde die Pumpe von Lehrern und Schülern aus Ghana mit Unterstützung von Kevin Glowienka und Michael Kolb, Umweltingenieure an der Universität Bayreuth, die sich für die *Ingenieure ohne Grenzen* engagieren. Sie erfuhren von einem Pfarrer aus Ghana, der in Eichstätt studiert hatte, von der defizitären Wasserversorgung der Schule in Kadjebi. Die beiden Studenten wollten sofort helfen.

Es dauerte allerdings fast zwei Jahre, bis Glowienka und Kolb dann tatsächlich zur Implementierung nach Ghana reisen konnten. Vorher mussten Anträ-

ge gestellt und Sponsoren gefunden werden. Ein Sponsor aus Berlin übernahm fast die gesamten Kosten. Sowohl die Pumpe als auch die Photovoltaikanlage wurden bei einem Händler in Ghana gekauft. Auf diese Weise konnte das Projekt aus Deutschland die lokale Wirtschaft ein wenig unterstützen. Und sollte es einmal Probleme mit der Pumpe geben, dient der Händler vor Ort als Ansprechpartner. Allzu viele Schwierigkeiten fürchteten die angehenden Ingenieure beim Aufbau der Pumpe nicht. Solartechnik kannten sie bereits aus ihren Unikursen. Und drei Wochen Aufenthalt auf dem Schulcampus schienen auch mehr als genug Zeit, um das Projekt solarbetriebene Pumpe mit Erfolg durchzuführen.

In Ghana angekommen, entwickelte sich der eigentlich sichere Auftrag für das Zweiergespann zu einem echten Abenteuer. Zunächst dauerte die Reise durch Urwald und Steppe wegen diverser Autopannen viel länger als geplant. Und dann hatte der Vertreiber der Pumpe qualitativ minderwertige Ware geliefert. „Erst nach zwei weiteren Anläufen hatten wir schließlich die entsprechende Technik bekommen. Einen Tag vor dem Abflug haben wir die Pumpe dann zum Laufen gebracht“, berichtet Glowienka. Am Ende konnten die beiden Studenten beruhigt ins Flugzeug Richtung Deutschland steigen: Projekt erfolgreich beendet.

Bei den Bayreuther *Ingenieuren ohne Grenzen* steht bereits der nächste Auftrag zum Thema Wasserversorgung in Afrika an. In Karatu, Tansania, soll die



Abb. 1: Abschiedsfoto am Krankenhaus Haupteingang, (v.l.n.r.): Mr. Panga (Hospital Technician), Kevin Glowienka, John Kulle (Secretary of Administration), Eray Ulcay. Kevin Glowienka studiert Umwelt- und Bioingenieurwesen (Dipl.-Ing.) mit Schwerpunkt Energietechnik an der Universität Bayreuth. Eray Ulcay studiert Energietechnik im Masterstudiengang in Bayreuth, davor Maschinenbau (Bachelor) an der Hochschule Regensburg.



Wasserversorgung eines Krankenhauses verbessert werden. Eray Ulcay hat mit den Beteiligten des Krankenhauses mehrere Lösungen diskutiert. Jede dieser Möglichkeiten bietet Vor- und Nachteile. So besitzt das Krankenhaus eine eigene Wasserquelle, von der Wasser zum Krankenhaus gefördert werden könnte. Diese ist jedoch verunreinigt, so dass eine aufwändige Aufbereitung von Nöten wird. Sauberes Grundwasser könnte zum Beispiel durch Tiefenbohrungen gewonnen werden. Da der Grundwasserspiegel in den letzten Jahren jedoch stark gesunken ist und mittlerweile laut Angabe eines lokalen Bohrunternehmers bis zu 200 Meter tief gebohrt wird, ist die Suche nach einer geeigneten Stelle für die Bohrung sehr schwierig und kostenaufwändig. Die dritte Möglichkeit ist die Nutzung von Regenwasser, wobei das Wasser in der Regenzeit über die Dachflächen aufgefangen und in Zisternen gespeichert wird.



Abb. 2: Bestandsaufnahme aller technisch relevanten Objekte auf dem Krankenhausgelände des Lutheran Hospitals in Karatu, Tansania. Hier: Polytanks zur Wasserspeicherung.

Abb. 3: Begutachtung einer in Beton gefassten Wasserquelle.

## INFO

## Ingenieure ohne Grenzen

Der Verein *Ingenieure ohne Grenzen* wurde 2003 in Marburg gegründet und befasst sich mit der Lösung ingenieurtechnischer Aufgaben in Entwicklungsländern. In mittlerweile 28 Regionalgruppen und fünf Kompetenzgruppen engagieren sich über 1.300 Berufstätige, Studenten und Rentner verschiedener Fachrichtungen. Neben der Lösung der ingenieurechnischen Problemstellungen im Projekt spielt auch Fundraising sowie Öffentlichkeitsarbeit eine zentrale Rolle, sodass der Verein nicht nur Ingenieuren offen steht. Jeder, der sich in der Entwicklungszusammenarbeit engagieren möchte, ist willkommen.

# Das Zukunftsforum: Wissenschaft – Kultur – Gesellschaft

Die Anfänge des Zukunftsforums gehen auf das Jahr 2008 zurück. Die gemeinsame Plattform von Universität und Stadt Bayreuth wurde gegründet, um zukunftssträngige Themen im Gespräch zwischen Wissenschaft und Partnern aus Kultur, Technik, Wirtschaft und Politik zu reflektieren. Das Zukunftsforum ist dem Dialog von Wissenschaft und Öffentlichkeit verpflichtet. Es soll in einer zunehmend ausdifferenzierten Gesellschaft und globalisierten Welt einen Beitrag zur Orientierung leisten, indem natur- und geisteswissenschaftliche Fragestellungen zusammengeführt und mit zentralen Zukunftsfragen der Gesellschaft verknüpft werden.

## STADT UND UNIVERSITÄT BAYREUTH ALS PARTNER

Die Universität Bayreuth ist als Bildungsstätte und kulturelle Einrichtung Teil einer der europäischen Aufklärung verpflichteten Gesellschaft. Die zunehmende technische, politische, wirtschaftliche und kulturelle Vernetzung der Welt fordert die europäische Gesellschaft heraus, über ihr Selbstverständnis neu nachzudenken. Das Zukunftsforum will dafür eine Plattform der Reflexion bieten, die einerseits wissenschaftliche Problemkreise mit außerwissenschaftlichen Themen der Gesellschaft und andererseits europäische mit globalen Wissenskulturen verbindet.

Die Stadt Bayreuth ist historisch maßgeblich geprägt durch die Zeit der Aufklärung im 18. Jahrhundert. Markgräfin Wilhelmine von Bayreuth hat damals den Anschluss an die europäische Entwicklung gesucht und intensiven Austausch mit führenden Köpfen der Aufklärung gepflegt. Die Mitwirkung am Zukunftsforum ist die zeitgemäße Anknüpfung an diese Tradition. Toleranz und Humanität stehen heute in der globalisierten Welt im Kontext kultureller Vielfalt. Der mit 10.000 € dotierte Wilhelmine-von-Bayreuth-Preis wird daher an Persönlichkeiten verliehen, die sich in herausragender Weise um Toleranz und Humanität in kultureller Vielfalt verdient gemacht haben.



## PREISTRÄGER DES WILHELMINE-VON-BAYREUTH-PREISES

Gewürdigt werden Akteurinnen und Akteure eines offenen interkulturellen Dialogs, international engagierte Kulturschaffende, die sich für die Verbindung unterschiedlicher Kunst- und Kulturformen einsetzen, Personen oder Gruppen, die sich auf internationaler Ebene für Humanität und Toleranz engagieren, und visionäre Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die über die Grenzen ihrer Disziplin hinaus an Zukunftsfragen arbeiten.



## PREISTRÄGER DER LETZTEN JAHRE

- 2012 – Zukunftsforum „Wasser im globalen Wandel“:  
Prof. Dr. rer. pol. Dr. h.c. mult. **Klaus Töpfer**
- 2011 – Zukunftsforum „ÜberMorgen – Trendsetter Afrika“:  
**Madjiguène Cissé**, Menschenrechtsaktivistin
- 2010 – Zukunftsforum „Energie: Globale Herausforderungen – Regionale Kooperationen – Lokale Initiativen“: Seine Königliche Hoheit **Prinz Hassan von Jordanien**
- 2009: Dirigent **Daniel Barenboim**
- 2008 – Zukunftsforum „Was den Menschen heilig ist – Religionen und Werte im Wandel“:  
**Wole Soyinka**, Träger des Literatur-Nobelpreises

■ THOMAS FOKEN  
WOLFGANG BABEL

# Auf dem „Dach der Welt“

DIE ROLLE TIBETS BEI DER  
WASSERVERSORGUNG  
SÜDOSTASIENS

■ Messkomplex zur Bestimmung der Verdunstung mittels Turbulenzmessungen am Ufer des Nam Co Sees. Durch die hier vorherrschende Land-See-Windzirkulation konnten jeweils für ca. einen halben Tag Daten über dem See bzw. über dem Land gewonnen werden. Foto: T. Foken



**B**etrachtet man die Landkarte von Asien, so ist unschwer zu erkennen, dass alle Flüsse vom Indus im Westen bis zum Gelben Fluss im Osten in Tibet entspringen (Abb. 2). Zwar gehört das Tibetische Hochplateau mit Höhen von 4.000 bis 5.000 Metern eher zu den niederschlagsärmeren Gebieten in der Welt, doch zumindest in den Gebirgsregionen in 6.000 bis 8.000 Metern Höhe fallen in der Monsunzeit erhebliche Niederschlagsmengen vorwiegend als Schnee. Diese werden zum Teil in den Gletschern gespeichert. Sie garantieren somit für die in Tibet entspringenden Flüsse auch in den trockeneren Jahreszeiten hohe Abflussmengen.

Die große Bedeutung des aus Tibet kommenden Wassers für die Versorgung in Südostasien und den indischen Subkontinent steht im krassen Gegensatz zur mangelnden Verfügbarkeit verlässlicher Daten aus dieser Region. Dies betrifft sowohl die geringe Dichte der Messnetze als auch die geringe Bereitschaft Chinas, vorhandene Daten frei zugänglich zu machen. Die politische Brisanz wird noch dadurch erhöht, dass China offensichtlich erhebliche Wassermengen zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen in Südostchina einsetzt. Die Problematik wird weiterhin durch den Klimawandel verschärft, in dessen Folge nicht nur die Gletscher verstärkt abschmelzen, sondern die Trockenheit besonders in Westtibet zunimmt.

Im Rahmen des europäischen Projekts CEOP-AEGIS – „Verbesserung eines Überwachungssystems für das Wasserressourcen-Management“ – untersuchen Wissenschaftler aus Europa und China mittels hydrologischer Modellierung die Wasserverfügbarkeit in Südostasien. Dabei besteht die Datengrundlage im Wesentlichen aus Fernerkundungsdaten, die Aussagen zur Oberflächentemperatur und -feuchte, zum Niederschlag und zur Pflanzenbedeckung ermöglichen. Die komplette Wasserbilanz muss dann durch Modellrechnungen ermittelt werden. Der Universität Bayreuth (BayCEER, Abt. Mikrometeorologie) kam dabei die Aufgabe zu, vor Ort gemessene Daten als sogenannten „ground truth“ bereitzustellen, also Messdaten zu erheben, mit denen Modelle kalibriert werden können. Dabei geht es vorrangig um Angaben zur Verdunstung.

Hierfür wurden zwei Wege beschritten:

- Drei Jahre der chinesischen Messungen an vier Stationen auf dem tibetischen Hochplateau wurden in einen qualitätsgeprüften, korrigierten und umfassend beschriebenen Datensatz überführt, der den Mitarbeitern an CEOP-AEGIS zur Verfügung gestellt wurde. Dazu besuchten mehrere chinesische Kollegen in den letzten Jahren die Universität Bayreuth.
- Zum anderen führte die Universität Bayreuth in den Jahren 2009 und 2010 eigene Messungen durch, um mittels speziell erfasster Daten Modellansätze zur Verdunstungsbestimmung testen zu können. 2012 war es aus zolltechnischen Gründen in Peking nicht möglich, die Geräte nach Tibet einzuführen.

Wieviel Wasser verdunstet, hängt von vielen Details ab: Dazu gehören sowohl die Sonneneinstrahlung als auch Beschaffenheit und Bewuchs der Landoberflächen. Sowohl die hohe Einstrahlung in Tibet als auch die trockene und dünne Bodenschicht lassen die Nutzung der in Mitteleuropa gut validierten Verdunstungsmodelle nicht ohne Weiteres zu. Es waren deshalb speziell für Tibet abgestimmte Modifikationen notwendig, die nach entsprechenden Tests auch für das hydrologische Modell übernommen werden sollen. Der im Jahr



Abb. 1: Bayreuther Klimaforscher installieren Messgeräte im tibetischen Hochland.

## AUTOREN



### Wolfgang Babel, M.Sc.

studierte Geoökologie an der Universität Bayreuth. Nach seinem Bachelor-Abschluss absolvierte er, ebenfalls in Bayreuth, den Master-Studiengang Global Change Ecology im Elitenetzwerk Bayern. Seit März 2009 ist er Doktorand in der Abteilung Mikrometeorologie der Universität Bayreuth. In seinen Forschungsarbeiten befasst er sich insbesondere mit dem Energie- und Stoffaustausch zwischen Landoberfläche und Atmosphäre auf dem Hochland von Tibet und mit dessen Modellierung. In Kürze schließt er eine Arbeit zur Modellierung des Energieaustausches in Tibet ab. Dazu hielt er sich insgesamt dreimal auf dem tibetischen Hochplateau auf.

Abb. 2: Flusssysteme in Südostasien. Einzugsgebiete sind beispielhaft für Gelben Fluss und Brahmaputra hervorgehoben, eine dunkelrote Linie kennzeichnet den Umriss des Hochlands von Tibet (Quelle: CEOP-AEGIS, Z. Verkerdy).



Abb. 3: Messfeld der Mt. Everest-Messstation.

2009 gewonnene Datensatz am Ufer des Nam Co Sees (Kapitelbild) ermöglichte es dabei, sowohl Modelle für Seen als auch für alpine Steppen anzupassen, deren Vegetation von *Kobresia* dominiert sind. In Abb. 4 wird ein Tagesgang der Verdunstung gezeigt: ein Beispiel für eine gelungene Modellanpassung. Durch die Verwendung eines zusätzlichen Footprint-Modells konnten auch Verdunstungsmessungen von „gemischten Ober-

flächen“ – mit unterschiedlichen Anteilen an See- und Landflächen – mit entsprechenden Modellierungen verknüpft werden.

Das im April 2013 seinen Abschluss findende CEOP-AEGIS Projekt hat umfangreiche Werkzeuge sowohl für die Messdatenbereitstellung, an der die Universität Bayreuth mitwirkte, als auch für die Anwendung von Fernerkundungsdaten und die Entwicklung des hydrologischen Modells erarbeitet. Dies ist die Basis dafür, um in naher Zukunft die Wasserbilanz Tibets auch bei geringer Datenverfügbarkeit zuverlässig modellieren zu können. Ebenso ist es möglich, vor Trockenheit oder Überflutungen rechtzeitig zu warnen.

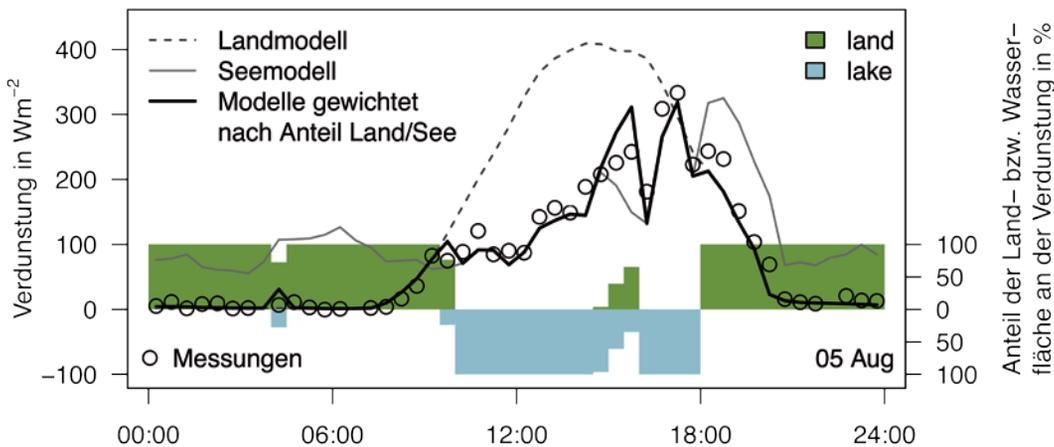


Abb. 4: Tagesgang der Verdunstung (linke Ordinate) am 5. August 2009 am Ufer des Nam Co Sees. Dabei stellen die Kreise die Messdaten und die dicke schwarze Linie die Modelldaten dar. Je nach Anteil der Verdunstung vom See oder von den *Kobresia* dominierten alpinen Steppen (rechte Ordinate) wird das Seem-Modell (dicke graue Linie) bzw. das Landmodell (gestrichelte graue Linie) als Referenz verwendet (Quelle: T. Biermann und W. Babel).

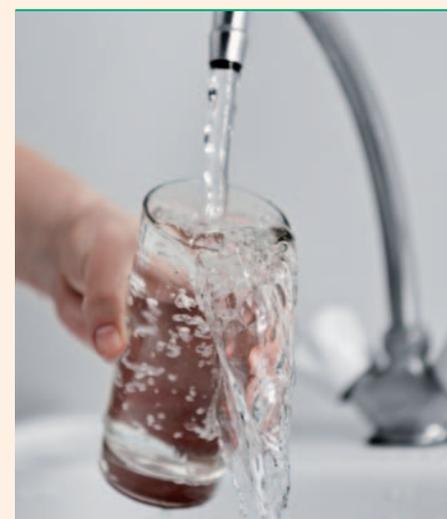
# Trinkwasserqualität

## WAS DRIN SEIN MUSS ...

Im Mai 2001 wurde in Deutschland eine Neufassung der Trinkwasserverordnung erlassen, die Grenzwerte für einzelne Stoffe – gemessen in Milligramm pro Liter – werden fortlaufend dem neuesten Erkenntnisstand über ihre Schädlichkeit angepasst. Die Verordnung soll „die menschliche Gesundheit vor den nachteiligen Einflüssen, die sich aus der Verunreinigung von Wasser ergeben“



schützen. Viele Inhaltsstoffe des Wassers sind allerdings lebensnotwendig für den Menschen und nur in sehr großen Dosen schädlich:



Inhaltsstoff		Grenzwert [mg/l]
Natrium	Natrium wird aus Gesteinen und Böden gelöst, Trinkwasser enthält im Schnitt 50 Milligramm Natrium pro Liter. Bei Mineral- und Heilwasser liegt dieser Wert wesentlich höher. Durch die Gesteine bedingte Überschreitungen des Natrium-Grenzwertes bleiben bis zu 500 Milligramm pro Liter [mg/l] außer Betracht. Es ist ein essentielles Element, kann jedoch vor allem beim Salzen von Speisen auch überdosiert werden.	200
Magnesium	Das in vielen Mineralien enthaltene Magnesium ist mitverantwortlich für die Wasserhärte, „hartes“ Wasser führt beim Erhitzen zu unerwünschten Ablagerungen. Magnesium ist als essentieller Stoff Bestandteil von zahlreichen Enzymen und für viele Körperfunktionen notwendig. Fälle von Magnesiumvergiftung sind nicht bekannt, hoch dosiert wirkt es als Abführmittel. Ein Mangel zeigt sich in Trägheit und Muskelschwäche.	–
Calcium	Calcium kommt in allen natürlichen Gewässern vor und ist neben Magnesium Bestandteil der Wasserhärte. Es stabilisiert als Puffer den pH-Wert des Wassers und verbessert seinen Geschmack. Kein anderes Element kommt in größeren Mengen im Menschen vor, seine vielfältigen Funktionen erfordern eine tägliche Aufnahme von 800 – 1000 Milligramm. Auch hartes Wasser hilft dabei - Trinkwasser sollte einen Härtegrad von 8,4 dH nicht unterschreiten.	–
Kalium	Kalium kommt in verschiedenen Mineralien vor, aus denen es durch Verwitterung gelöst wird. Für den Menschen ist Kalium essentiell, täglich sollten 2 – 3,5 Gramm aufgenommen werden. Während sich sein Gegenspieler Natrium in der intrazellulären Flüssigkeit befindet, kommt Kalium in den Zellen vor und hält dort das osmotische Gleichgewicht aufrecht. Das Verhältnis von Natrium zu Kalium lag früher bei 1:16 und liegt nun bedingt durch den höheren Kochsalzkonsum bei etwa 3:1.	–
Eisen	Ins Trinkwasser wird Eisen meist durch ältere, eisenhaltige Leitungsrohre eingetragen. Es ist als essentielles Spurenelement unbedenklich, für den täglichen Bedarfs sind 5-30 Milligramm erforderlich. Bei höherer Eisenkonzentration können Trübungen, Rostflecken und metallischer Geschmack des Wassers auftreten, der festgelegte Grenzwert schützt außerdem Behälter und Rohrleitungen vor Ablagerungen.	0,2
Kupfer	Rohre aus Kupfer werden oft verwendet, es kommt auch in Warmwasserbereitern oder Armaturen aus Messing vor. Ein niedriger pH-Werte des Trinkwassers begünstigt die Freisetzung, die Wasserversorger überwachen den Kupfergehalt ab pH 7,4. Der Tagesbedarf des lebensnotwendigen Spurenelements liegt bei 0,08 mg/kg Körpergewicht für Kinder und 0,03 mg/kg für Erwachsene (WHO). Bei Säuglingen kann eine erhöhte Aufnahme von Kupfer die Leber schädigen, Kinder sollten nicht mehr als 0,5 mg/kg Körpergewicht zu sich nehmen – Erwachsene sind weit weniger sensibel.	2
Mangan	Mangan ist für den Menschen ein essentielles Element. Auch relativ große Einnahmen werden meist ohne größere Probleme vertragen und bis zu 5 Milligramm pro Tag als ungefährlich angesehen. Im Trinkwasser beeinflussen erhöhte Konzentrationen Geschmack und Farbe. Auf der Wäsche kann Mangan, das vor allem in sauerstoffarmem Grundwasser und meist zusammen mit Eisen vorkommt, braun-schwarze Flecken hinterlassen.	0,05
Zink	Zink ist ein lebenswichtiges Spurenelement für den menschlichen Organismus. Der Tagesbedarf eines Erwachsenen liegt bei 0,2 Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht, bei Kindern noch höher. Erst wenn größere Mengen aufgenommen werden (150-facher Tagesbedarf), treten Beschwerden auf. Zink gilt in den Konzentrationen, in denen es von verzinkten Eisenrohren abgegeben wird, als unbedenklich.	–



FORTSETZUNG AUF SEITE 63



■ BIRGIT THIES

# Starkregen garantiert

VON DER LANDWIRTSCHAFT IN DEN BERGEN SÜDKOREAS BIS ZUM TRINKWASSER IN SEOUL

■ Woher weht der Wind, und wie viel Regen fällt?  
Justieren einer Wetterstation im Haeon Becken.  
Kleines Bild: Koreanische Briefmarke mit dem 1973  
erbauten Soyang-Damm.

Über 80 Prozent des jährlichen Regens fallen in Korea in der Monsunzeit im Juli und August. Große Teile des Landes – auch „asiatische Alpen“ genannt – sind gebirgig, auf zum Teil steilen Hängen wird Ginseng und Obst angebaut, in flacheren Bereichen Reis. Starkregen führt dazu, dass enorme Mengen von Bodenmaterial, beladen mit Nährstoffen und Kunstdünger, in die Bäche, Flüsse und Seen geschwemmt werden. Gleichzeitig sind Stauseen Trinkwasserreservoir für die Metropolregionen – in der Republik Korea wird ein Großteil des Trinkwassers aus Oberflächenwasser gewonnen. Den Wassertransport in den bergigen Einzugsgebieten zu verstehen, ist daher ein wesentliches Ziel der internationalen Graduiertenschule **TERRECO**.

Seit dem Frühjahr 2009 arbeiten in Südkorea über 70 deutsche und koreanische Wissenschaftler, von Doktoranden bis Professoren, zum Thema **„Ökologische Heterogenität in komplexem Gelände: Ökosystemare Produktivität, Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität in Bergregionen“**. Das wichtigste Untersuchungsgebiet Haean liegt an der Grenze zu Nordkorea. Die Forscher haben sich Großes vorgenommen. Sie wollen verstehen, wie Änderungen in Klima, Landnutzung und Gesellschaft die Dienstleistungen der Ökosysteme beeinflussen, angefangen vom kleineren Wassereinzugsgebiet Haean bis hin zur regionalen Skala, auf der der Stausee Soyang die Menschen in Seoul mit Trinkwasser versorgt.

Transdisziplinär ist das TERRECO-Projekt, denn es verbindet Ökologie und Hydrologie mit Ökonomie und Politik. Die von der Deutschen Forschungsgesellschaft DFG und ihrem Gegenpart KOSEF in Korea finanzierte internationale Graduiertenschule bildet junge Wissenschaftler aus, die sich aus ganz verschiedenen Ländern kommend auf das Projekt nach Bayreuth beworben haben. Als Spezialisten im Fachgebiet ihrer Promotion sammeln sie durch interdisziplinäre Kurse und Workshops sowie im Austausch miteinander Einblicke in die größeren Zusammenhänge von den Natur- bis hin zu den Sozialwissenschaften. Ein solch breiter Blickwinkel soll den jungen Wissenschaftlern helfen, in ihrem Beruf Verantwortliche in Politik und Gesellschaft in oft sehr komplexen Entscheidungssituationen gut zu beraten.

Zurück zum Teilbereich „Wasser“: Die Hydrologen haben seit Beginn des Projekts vor drei Jahren

zahlreiche Messstationen und Abflusswehre gebaut, um zu verstehen, auf welchen Wegen das Regenwasser durch Haean fließt. In den Wäldern auf den Gipfeln der Berge gelangt etwa die Hälfte des Niederschlags ins Grundwasser, anders sieht es weiter unten in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten aus: Hier fließt über 80 Prozent des Regenwassers auf der Oberfläche ab und nimmt dabei wertvollen Boden mit. Zum Teil wird das Problem durch die Anbaumethoden verschärft: So werden die schattenliebenden Ginsengpflanzen mit schrägen Planen überspannt. Diese leiten den aufprallenden Regen in Kanäle, in denen das Wasser mit gebündelter Kraft ins Tal rauscht.

Die Forscher haben sich auch die Chemie des Wassers angeschaut. Während sich die Nitratbelastung des Abflusses bei Starkregen verdünnt und verringert, steigt die Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff und organischen Schwebstoffen. Nach ihren Abschätzungen setzt die Erosion in Haean schon bei vergleichsweise geringen Regenmengen ein.

Welcher Anteil der Nährstoffe im Wasser auf dem Weg zum nächsten Bach von den Pflanzen aufgenommen wird, wollen die Wissenschaftler noch herausfinden. Ebenso soll mit stabilen Isotopen untersucht werden, wie viel Nitrat im Flachland im Austausch zwischen Oberflächen- und Grundwasser eliminiert wird. Das nächste große Ziel des TERRECO-Teilprojekts ist es herausfinden, wie sich die Prozesse in den Bergen und Niederungen von

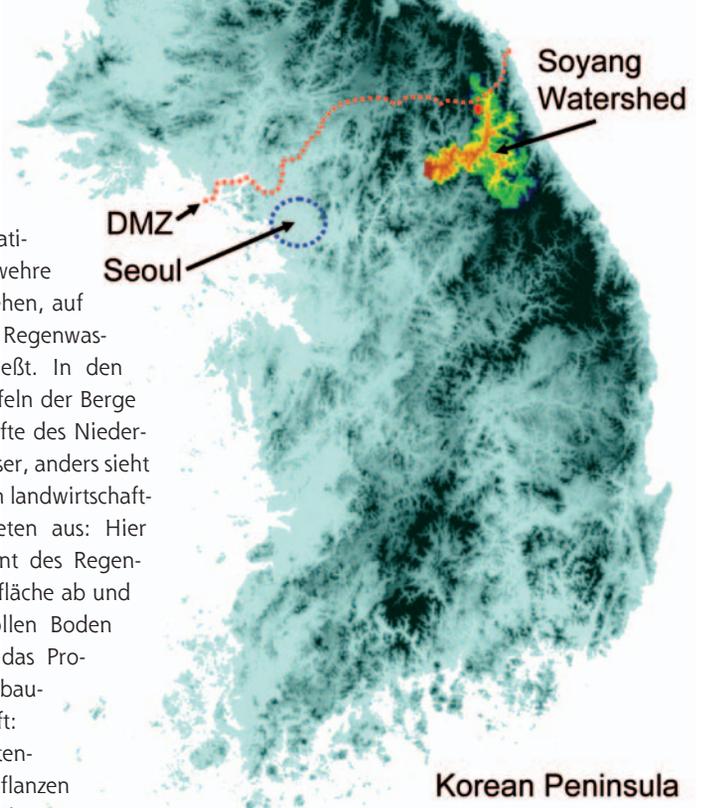


Abb. 1: Karte von Südkorea mit der Lage des Soyang-Einzugsgebiets, der Hauptstadt Seoul und der Grenze zu Nordkorea DMZ (demilitarisierte Zone).

AUTORIN



**Dr. Birgit Thies**

leitet die Geschäftsstelle des Bayreuther Zentrums für Ökologie und Umweltforschung. Sie arbeitet zum einen hinter den Kulissen in Management und interner Kommunikation, andererseits macht sie das große Forschungsspektrum am BayCEER für Interessierte zugänglich. In zahlreichen Veranstaltungen organisiert das Team der Geschäftsstelle den Austausch der Forscher untereinander und mit der Öffentlichkeit.

Abb. 2: Diskussionsrunde mit Hydrologie-Professor Stefan Peiffer in der Feldstation in Haean.

Einzugsgebieten wie Haean auf das Wasser im 64 Kilometer langen Stausee Soyang auswirken. Was passiert im Jahresverlauf mit dem Material, das zur Monsunzeit aus Wäldern, Obstplantagen, Ginseng- und Reisfeldern in den See geschwemmt wird? Der Soyang-Stausee ist angereichert mit Nährstoffen und somit voller Algen, die Zersetzung der angeschwemmten Äste und Stämme in den Sedimenten setzt Methan frei. Die Forscher hoffen, über das Verständnis der chemischen Prozesse im See Ansatzpunkte zu finden, wie sich die hohe Nitratbelastung verringern lässt.



INFO

TERRECO

Das TERRECO-Projekt ist eine Kooperation zwischen der Kangwon National University in Südkorea, dem Koreanischen Waldforschungsinstitut KFRI und der Universität Bayreuth. Die internationale Graduiertenschule wird finanziert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und ihrem Gegenpart KOSEF in Korea.

Ziel der transdisziplinären Forschungen ist es zu verstehen, wie der erwartete Klimawandel das Leben im koreanischen Untersuchungsgebiet beeinflussen wird – angefangen von den Auswirkungen natürlicher Prozesse auf Land- und Forstwirtschaft bis hin zu den Erwartungen und Handlungsoptionen der Menschen.

- [www.bayceer.uni-bayreuth.de/terreco](http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/terreco)

zessen auf und im Boden, zum anderen nehmen sie die Menschen in den Blick: Sozialgeographen erfragen die Einstellung der einheimischen Bauern zu Klimawandel und alternativen Anbaumöglichkeiten – viele von ihnen wurden vor über 50 Jahren hierher umgesiedelt, da die Gebiete nahe der Grenze zu Nordkorea am 38. Breitengrad im Koreakrieg große Bevölkerungsverluste erlitten. Ökonomen berechnen mit Modellen Gewinne und Verluste für Bauern und Umwelt, wenn beim Reis weniger Kunstdünger eingesetzt würde. Die Selbstversorgung mit Reis ist eine der Prioritäten in der Wirtschaftspolitik Südkoreas, obwohl der Reisanbau hier relativ teuer ist und etwa zwei Drittel aller Reisfelder künstlich bewässert werden müssen. In Szenarienmodellen wird zudem geprüft, was sich ändern würde, wenn der Trinkwasserpreis ansteige: Dieser deckt zurzeit nur 30 % der hohen Aufbereitungs- und Produktionskosten.

Hier greifen die Forschungen der Hydrologen wie ein Zahnrad in die Arbeiten der anderen Teilgruppen. Diese beschäftigen sich zum einen mit der Landwirtschaft und den chemischen Pro-

Abb. 3: Auf einem Rettichfeld in Haean erklärt eine Doktorandin anderen Studierenden und Wissenschaftlern ihr Experiment, mit dem sie die Auswirkungen unterschiedlicher Düngemethoden untersucht.





Abb. 4: Messung der Strömungsprofile an einem Kanal im Haean-Becken während der Monsun-Regenzeit.

Auch die politischen Rahmenbedingungen sind in Südkorea in Bewegung. Etwa zeitgleich mit Beginn des TERRECO-Projekts wurde für das Land die „Green growth strategy“ ausgerufen. Südkorea will damit energieunabhängig und „klimasicher“ werden und sich durch umweltverträgliche Technologien neue Wachstumsmärkte erschließen. Diese neue Politik bewirbt Südkorea weltweit und nimmt durch die Gründung des „Global Green Growth Institute“ eine Vorreiterrolle für Entwicklungs- und Schwellenländer ein.

Unumstritten sind die Strategien nicht: Sie umfassen den massiven Ausbau der vier großen Flüsse Südkoreas durch Begradigung und Vertiefung von Flussbetten – Maßnahmen, die in Deutschland im Sinne von Hochwasserschutz und Auenrenaturierung an vielen Stellen und mit viel Aufwand wieder rückgängig gemacht werden. Und der Bau von 16 neuen Staudämmen geht mit dem Verlust von flussnahe Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen einher. Die Auswirkungen der grundlegenden Neugestaltung der koreanischen Flusslandschaft wollen die Sozialgeographen am Beispiel des Soyang-Einzugsgebiets untersuchen. Dabei umfasst „Wasser-Governance“ für sie viel mehr als das, was die Regierung anordnet – an der Formulierung und Umsetzung der offiziellen Vorgaben wirken faktisch sehr viele Akteure mit. Man darf gespannt sein, ob sich an dieser Politik Südkoreas nach der Ende Dezember stattfindenden Neuwahl und dem Amtsantritt des nächsten Präsidenten im Frühjahr 2013 etwas ändert.

Nach der Aufbauphase, in der nicht nur Messstationen installiert, sondern auch viele neue Kontakte zu

einheimischen Wissenschaftlern geknüpft wurden, sind die ersten Doktoranden mit ihrer Arbeit und Ausbildung fast fertig und haben den Stab an eine zweite Staffel von Nachwuchsforschern übergeben. Aufbauend auf deren Arbeiten soll die „dritte Kohorte“ ab 2015 die gesammelten Erkenntnisse in die Berechnung von Szenarien mit einbringen, um so gut begründete Handlungsoptionen sowohl lokal für die Bauern als auch regional für Regierung und Verwaltung aufzeigen zu können. Doch zunächst einmal geht es im Januar 2013 darum, die Gutachter der DFG davon zu überzeugen, dass sich die transdisziplinären Forschungsarbeiten im komplexen „sozio-ökologischen Gelände“ Südkoreas lohnen. Man darf dem deutsch-koreanischen Projekt – in dem mit Doktoranden aus Ägypten, Ghana, Nepal, Kanada, Myanmar und Frankreich noch einige weitere Nationalitäten mitwirken – dabei viel Erfolg wünschen!

Abb.5: Über die Messung von Strömungsprofilen in Kanälen und Bächen wird die Menge des abfließenden Wassers bestimmt.





■ BIRGIT THIES

# Technologien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft

INTERVIEW MIT DR.-ING. E.H. HANS HUBER, VORSITZENDER DES AUFSICHTSRATES DER HUBER SE UND REFERENT BEIM ZUKUNFTSFORUM 2012

■ Luftaufnahme Produktionsgelände der Firma HUBER SE bei Berching in der Oberpfalz.

**Z**um Einstieg die Generalfrage: Wie kann die große Herausforderung gemeistert werden, den Wasserbedarf der Menschen bei steigender Weltbevölkerung zu decken?

**Huber:** Das ist eigentlich die Frage schlechthin, wobei diese Herausforderung noch dadurch verschärft wird, dass der Lifestyle sich ändert. Weltweit wollen die Menschen den Lifestyle übernehmen, den wir in den Industrieländern gewohnt sind, zum Beispiel die Essgewohnheiten. Aber das schafft Probleme: Je mehr Fleisch wir essen, desto mehr Wasser brauchen wir in der Landwirtschaft, um die entsprechende Tiernahrung zu erzeugen. Hinzu kommt das Wasser, das als virtuelles Wasser unter anderem für Verpackungen oder Transporte benötigt wird. Weil wir bei unseren Berechnungen des Pro-Kopf-Verbrauchs das Landwirtschaftswasser und das virtuelle Wasser gerne vernachlässigen, ist uns selten bewusst, dass der Lifestyle das Problem der steigenden Weltbevölkerung multipliziert. Man muss sich nur das folgende Beispiel vor Augen halten: Wenn wir Fleisch aus Argentinien importieren, bedeutet das insgesamt einen Wasserverbrauch von 16000 Litern für 1 Kilo Fleisch!

**Thies:** Welche Lösungsansätze sehen Sie für die sich verschärfende Wasserproblematik?

**Huber:** Eine ganz wesentliche Chance sehe ich in der Kreislaufwasserwirtschaft. Geschlossene Wasserkreisläufe kennen wir aus der Natur: Das Wasser läuft über Flüsse ins Meer, dort verdunstet es und wird dabei zugleich gereinigt; durch Wolkenbildung, Winde und Regenfälle kehrt es aufs Land zurück und nimmt im Grundwasser die Mineralstoffe auf, die wir im Trinkwasser benötigen. Solche Kreisläufe müssen wir auch im kleinen Maßstab einrichten, bis in die landwirtschaftlichen Betriebe und die einzelnen Haushalte hinein. Die erforderlichen Technologien für eine hygienisch einwandfreie Wiederverwendung des Wassers sind ja vorhanden. Es müssen nur psychologische Barrieren überwunden werden, damit diese Technologien vermehrt zum Einsatz kommen. Man wird um die Meerwasserentsalzung nicht herumkommen. Die Technologien, die zurzeit dafür eingesetzt werden, sind allerdings sehr energie-

aufwändig und müssen weiterentwickelt werden. Denn natürlich wollen wir eine verbesserte Wasserversorgung nicht mit einem erhöhten CO<sub>2</sub>-Ausstoß erkaufen.

Wichtig ist auch, dass wir die drei Bereiche Wasser, Lebensmittel und Energie immer im Gesamtzusammenhang sehen. Ein brandheißes Thema, das zurzeit viel diskutiert wird, ist die Gewinnung von Energie aus Abwasser. Dadurch lassen sich enorme Mengen CO<sub>2</sub> einsparen, und es rechnet sich auch. Wir stehen hier am Anfang einer vielversprechenden Entwicklung. Wenn sich eine ganzheitliche Sichtweise auf Nahrungsketten, Wasserkreisläufe und Energieressourcen durchsetzen würde, wären wir einen wesentlichen Schritt weiter!

**Thies:** Und nun meine alternative und kleinere Einstiegsfrage: In wie viele Länder dieser Erde sind Sie schon für Ihre Firma gereist?

**Huber:** Ich war immer ein neugieriger Mensch und war insgesamt in nahezu 80 Ländern

unterwegs. In etwa 70 Ländern ist unser Unternehmen präsent. Geschäftlich reise ich allerdings nur in Länder, die zwei Voraussetzungen erfüllen: Es muss klare gesetzliche Regelungen geben, und diese müssen korruptionsfrei umgesetzt werden.

„EINE GANZ WESENTLICHE CHANCE SEHE ICH IN DER KREISLAUFWASSERWIRTSCHAFT.“

## ZUR PERSON



### Dr.-Ing. E.h. Hans Georg Huber,

geboren 1942 in Neumarkt in der Oberpfalz, studierte an der TU München Verfahrenstechnik, bevor er gemeinsam mit seinem Bruder die Geschäftsführung der Hans Huber GmbH in Berching bei Neumarkt übernahm. Inzwischen ist er Vorsitzender des Aufsichtsrats der Huber SE. Das Unternehmen agiert weltweit im Bereich Umwelttechnik und liefert Anlagen zur Wasseraufbereitung, Abwasserreinigung und Schlammbehandlung für Kommunen und Industrie. Hans Hubers Engagement im technischen Umweltschutz wurde vielfach ausgezeichnet, unter anderem mit dem Bundesverdienstkreuz am Band, dem Deutschen Umweltpreis und dem Bayerischen Verdienstorden. Die TU München verlieh ihm 2007 die Ehrendoktorwürde.

## INFO

## BSB

Der Biochemische Sauerstoffbedarf gibt die Menge an Sauerstoff an, die zum biotischen Abbau im Wasser vorhandener organischer Stoffe unter bestimmten Bedingungen und innerhalb einer bestimmten Zeit benötigt wird. Der BSB dient als Schmutzstoffparameter zur Beurteilung der Verschmutzung von Abwasser.

**Thies:** *Der Umgang mit Wasser ist in den verschiedenen Ländern bestimmt sehr unterschiedlich. Was hat Sie auf Ihren Reisen beeindruckt – positiv oder negativ?*

**Huber:** Es hat mich zum Beispiel sehr beeindruckt, wie in Singapur – einem wasserarmen Staat – die Kreiswasserlaufwirtschaft umgesetzt wird; nämlich

so, dass die Menschen die Wiederaufbereitung des Wassers psychologisch akzeptieren. Aber es gibt

auch negative Erfahrungen: Bei einem Vortrag an der American University of Sharjah, in einem der Emirate, habe ich den Zuhörern vorgerechnet, was es energetisch kostet, das Wasser zu entsalzen oder im Kreislauf zu nutzen; das Kostenverhältnis ist hier 30:1. Als Antwort kam: „Das interessiert uns nicht, weil wir das billige Erdgas haben.“ Das ist viel zu kurz gedacht.

Was mich immer wieder aufregt, sind Fehlinvestitionen. Da werden schöne Anlagen gebaut, aber dann fehlt es an geschultem Personal oder an der für den Betrieb erforderlichen Elektrizität. Und es ärgert mich, wenn – was weltweit vorkommt – bei Planungen nur die reinen Investitionskosten betrachtet werden und nicht die Life-Cycle-Costs; also die Kosten, die für den Betrieb der Anlage in 30 Jahren anfallen.

**Thies:** *Wie groß ist der Aufwand, eine Abwasseranlage zu produzieren und im Ausland zu installieren – verglichen mit dem Aufwand, sie über 10, 20, 30 Jahre am Laufen zu halten?*

**Huber:** 30 Jahre ist die Abschreibungszeit in unserer Branche. Dabei entfällt der größte Teil der Investitionskosten auf die Kanalsysteme. Bei einem System, das aus Kanalsystem plus einer Klär-

anlage besteht, kostet das Kanalsystem etwa 85 bis 90 Prozent und die Kläranlage rund 10 Prozent. Generell ist es so, dass – vom Kanalsystem abgesehen – die Betriebskosten höher sind als die anfänglichen Investitionskosten. Gerade deshalb ist die technologische Zuverlässigkeit der Anlagen so wichtig.

**Thies:** *Gibt es Möglichkeiten der Kostensenkung?*

**Huber:** Ja, mit dezentralen oder zumindest semi-zentralen Konzepten in der Wasserwirtschaft lassen sich die Betriebskosten nachhaltig senken: Gerade für Großstädte sind mehrere kleinere Kanalsysteme und Kläranlagen vorteilhaft. Denn das Ausfallrisiko, beispielsweise im Falle von Erdbeben, ist deutlich geringer als bei großen, zentralen Anlagen. In den meisten Megacities der Welt ist es auch gar nicht möglich, nachträglich ein großes Kanalsystem einzubauen. Insgesamt müssen wir stärker als bisher auf flexible, bezahlbare und bedienbare Lösungen hinarbeiten, die den Menschen in den unterschiedlichen Städten und Regionen gerecht werden.

**Thies:** *Das Prinzip der Kläranlage, das Schüler in Bayern schon in der vierten Klasse lernen, scheint universal zu gelten: Auf die mechanische Vorreinigung von*

„WIR ERLEBEN HEUTE WELTWEIT, DASS ANDERE LÄNDER DIE IN EUROPA GEMACHTEN FEHLER WIEDERHOLEN.“

Abb. 1: Im Abwasser wird viel Sand mitgeschwemmt: mit einer Sandaufbereitungsanlage wie im Klärwerk Bayreuth lässt er sich in hoher Qualität wiedergewinnen und kann dann sogar auf Spielplätzen eingesetzt werden.



Grobstoffen und Sand folgt die biologische Stufe. Hier bauen Mikroorganismen gelöste organische Verunreinigungen ab. Am Schluss steht die Nachbehandlung des übrig gebliebenen Klärschlammes. Inwieweit muss man dieses Prinzip anpassen, wenn man in andere Regionen und Klimazonen geht?

**Huber:** Das muss man natürlich. Es ist zum Beispiel wichtig, die mechanische Reinigung weiter voranzutreiben, denn auf diesem Weg kann man bereits 70 bis 80 Prozent des biochemischen Sauerstoffbedarfs – kurz: BSB – abbauen. Die mechanische Reinigung ist bedienbar und bezahlbar: Sie kostet nur etwa 20 Prozent gegenüber der biologischen und läuft auch nach einem Stromausfall weiter. Bei der biologischen Reinigung hingegen sterben die Bakterien ab, wenn durch Stromausfall der Sauerstoff fehlt. Die biologische Stufe kann bei guter mechanischer Reinigung im ersten Schritt weggelassen und eventuell später nachgerüstet werden. Im dritten Schritt – der Schlammbehandlung – wird die Phosphorwiedergewinnung in Zukunft wichtig.

**Thies:** Damit sind wir beim Thema Abwasser als Wertstoff: Welche Maßnahmen zur Phosphatrückgewinnung halten Sie – im Hinblick auf die globale Phosphatlimitierung – in Zukunft für praktikabel?

**Huber:** Man kann den Phosphor durch Fällung aus dem Abwasser herausholen. Einfacher und damit auch großtechnisch interessant ist die Gewinnung von Phosphat aus der Asche nach Verbrennung von Klärschlamm. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass sich dadurch enorm viel Energie gewinnen lässt: Getrockneter Schlamm hat die Energie von Braunkohle. Vor kurzem haben wir die Firma „sludge2energy“ gegründet, sie soll die Schlammverwertung zur Energie- und Phosphorrückgewinnung großtechnisch betreiben.



Abb. 2: Mit moderner Membrantechnik lässt sich Abwasser sehr sauber aufbereiten: Sogar Bakterien und teilweise auch Viren werden herausgefiltert.

**Thies:** Die Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser ist wichtig in regenarmen Gebieten der Erde und in Megacities. Wo stehen wir hier in Deutschland?

**Huber:** In Deutschland wird sowohl Grauwasser aufbereitet als auch Regenwasser eingesetzt, allerdings sind diese Technologien wirtschaftlich gesehen beim derzeitigen Wasserpreis an der Grenze. Das liegt natürlich auch am Wasserangebot – in unserem Klima gibt es genügend Wasser: Grundwasser, Oberflächenwasser, Regen für die Landwirtschaft.

**Thies:** Unter Ihrer Leitung wurden die heutigen Geschäftsfelder der HUBER SE – Wasseraufbereitung, Abwasserreinigung und Schlammbehandlung – aufgebaut, rund um die Welt haben Sie Märkte in diesen Bereichen erschlossen. Hat sich in diesem Prozess die Firmenphilosophie, das Leitbild verändert?

**Huber:** Ja natürlich! Ein Firmenleitbild entsteht nicht von heute auf morgen. Zuerst muss man sich über Wasser halten und den Markt erschließen, dann folgen schrittweise gesteigerte Ziele. Heute spielt für uns das Bekenntnis zur Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle – angefangen mit der Produktion



**Abb. 3:** Trennt man das anfallende Abwasser – zum Beispiel mithilfe von Separationstoiletten (siehe Infokasten) – so lässt es sich leichter wiederverwerten. In einer Versuchsanlage wird so bei der Firma HUBER SE der „ReUse-Park“ bewässert und gedüngt. Das Foto ist von 2007, die Bäume sind inzwischen gut gewachsen.



bis hin zur gesamten Denkkette. Deshalb haben wir die integrierte Produktpolitik eingeführt. Dies bedeutet: Schon bei der Konstruktion denken wir darüber nach, wie der Energie- und Ressourcenverbrauch später in der Produktion aussieht und welche Möglichkeiten des Recyclings es gibt. Zum Ziel der Nachhaltigkeit gehört aber auch die Verantwortung für die Mitarbeiter, die in der Regel eine ganze Generation lang bei uns arbeiten.

**Thies:** *Ihr Unternehmen engagiert sich zunehmend auch in der Öffentlichkeitsarbeit, beispielsweise mit einem Video-Wettbewerb für Schüler zum Weltwassertag 2012. Was sind die Gründe dafür?*

**Huber:** Wir wollen den Nachhaltigkeitsgedanken nicht nur intern verfolgen, sondern auch nach außen tragen. Es geht uns darum, dass wir in der

Öffentlichkeit, nicht zuletzt in der eigenen Region, als Firma der Nachhaltigkeit wahrgenommen werden. Dabei wollen wir gezielt die junge Generation ansprechen. Ganz in der Nähe unseres Firmensitzes haben wir ein Grundstück gekauft, wo wir mit Schülern in einem „Nachhaltigkeitspark“ Bäume pflanzen wollen. Weltweit ist heute in der jungen Generation ein Umdenken zu spüren. Als ich vor kurzem in Indien einen Vortrag gehalten habe, waren die älteren Diskussionsteilnehmer der Meinung, Fortschritt sei nur auf Kosten der Natur möglich. Die anwesenden Studenten argumentierten dagegen vehement für nachhaltigen Fortschritt, „progress with sustainability“!

**Thies:** *Werfen wir einen Blick zurück in die Firmengeschichte: Die HUBER SE geht zurück auf einen 1834 gegründeten Kupferschmiedebetrieb ...*

**Huber:** ...gekauft, nicht gegründet! Für 3000 Gulden, das war damals eine Menge Geld. Als Kupferschmiede haben wir mit Ausrüstungen für Brauereien und Brennereien in Bayern viele Jahre lang ein gutes Geschäft gemacht. Als dann die öffentliche Wasserversorgung aufkam, hat mein Großvater hier in der Oberpfalz die ersten Wasserleitungen gebaut. Aber während des Dritten Reichs ist dieser Geschäftsbereich eingestellt worden. Bis in die 60er Jahre hinein wurden dann Stahlkonstruktionen zugeliefert, zum Beispiel geschweißte Baggerfahrgeestelle. 1967 haben mein Bruder und ich die Firma übernommen. Wir wollten etwas Eigenes aufbau-

## Separationstoiletten

In diesen auch Trenntoiletten genannten Systemen werden durch eine speziell entworfene Schüsselform Urin und Feststoffe voneinander getrennt gesammelt und abgeleitet. Das „Gelbwasser“ bzw. der Urin kann als Rohstoff wiederverwendet werden, er enthält etwa 80% Stickstoff, 55% Phosphor und 65% Kalium. Das „Braunwasser“ kann durch die geringere Menge energieeffizienter gereinigt werden. Zu einem umfassenden Konzept gehört weiterhin das Wasch- oder „Grauwasser“-Recycling.



INFO

en, statt zuzuliefern, und haben uns auf Wasser – insbesondere auf Abwasser – konzentriert.

**Thies:** *Ihr Bruder war damals für Fertigung und Finanzen zuständig und Sie für „Vertrieb und Innovationen“. Woher kommen neue Ideen in der Abwassertechnik - was inspiriert einen da?*

**Huber:** Das ist ganz einfach: Man geht in die Märkte hinein und erfährt in direkten Gesprächen, wo den Leuten der Schuh drückt. Und dann überlegt man sich: Wie kann ich das Problem lösen? Genauso funktioniert es auch bei Industrieabwässern: Man sieht spezifische Probleme in der Papierindustrie, der Textilindustrie oder in Gerbereien und fragt sich: Welche technologischen Lösungen kann ich anbieten? Anschließend zwingt einen der Markt dazu, die gefundenen Lösungen wirtschaftlich zu gestalten. Denn die Investitionsbereitschaft ist nur da, wenn es sich auch rechnet.

**Thies:** *Sind finanzielle Anreize eine Grundbedingung für ein umweltgerechteres Verhalten der Menschen?*

**Huber:** Absolut. Als Unternehmen können wir die schönsten Technologien entwickeln – die Kunden werden sie nur dann nutzen, wenn sie entweder einen wirtschaftlichen Vorteil davon haben oder sich durch einen Mangel dazu gezwungen sehen. So ist der Mensch. Wir erleben heute weltweit, dass andere Länder die in Europa gemachten Fehler wiederholen. Die Flüsse werden solange verschmutzt, bis das Wasser nicht mehr trinkbar ist. Erst dann werden Kläranlagen gebaut. Warum geht es nicht umgekehrt? Anscheinend ist der Mensch nur fähig, aus den eigenen Fehlern zu lernen ...

**Thies:** *Die HUBER SE zählt zu den Gründern der „Global Water Franchise Agency“. Was wollten Sie mit dieser Agentur bewirken?*

**Huber:** Wir hatten ehrgeizige Ziele, die sich aber nicht umsetzen ließen: Wir wollten Kläranlagen vorfinanzieren, die Rückzahlung sollte über Anteile an den Kubikmetern behandelten Wassers erfolgen – eine Art Franchising. Leider wurde das Konzept vom Markt nicht angenommen, denn die Zinsen für solche Investitionen liegen in Entwicklungsländern derzeit mit 15 % viel zu hoch. Wir verfolgen das Thema aber weiter.

**Thies:** *Gab es in den letzten Jahrzehnten bahnbrechende, zukunftsweisende Erfindungen in der Abwasserwirtschaft?*

**Huber:** In den letzten 30 Jahren hat die mechanische Reinigung enorme technische Fortschritte gemacht. Mechanisch gut gereinigtes Abwasser hat auch eine Reihe positiver Folgewirkungen: In den Kläranlagen fällt weniger Wartung an, die Pumpen müssen nicht mehr so oft ausgetauscht werden, die Belüftung funktioniert reibungsloser. Ein weiterer großer Fortschritt ist die Membrantechnologie, die seit den letzten 15 Jahren praktiziert wird. Mit Membranen lassen sich mittlerweile sogar Bakterien und teilweise auch Viren zurückhalten, so dass ein sehr sauberes Abwasser entsteht. Die ganzheitliche Denkweise im Sinne der Kreislaufwirtschaft, die wir bereits erwähnt haben, ist ebenfalls ein großer Fortschritt – auch wenn die Entwicklung nur langsam verläuft.

Abb. 4: Die mechanische Reinigungsstufe einer Kläranlage bei der Arbeit.



**Thies:** *Wenn Sie als Ingenieur über das heute Machbare hinausdenken: Welche Erfindung würde den Menschen weltweit entscheidend helfen?*

**Huber:** Ein Traum von mir ist die „Sewerless City“, die kanallose Stadt. Die Technologien dafür gäbe es: Da werden die Abwässer und der biologische Abfall entsorgt, gleichzeitig werden Lebensmittel produziert und Wärme gewonnen. Das wäre die perfekte Kreislaufwirtschaft für die Megacities, in denen in Zukunft immer mehr Menschen leben werden. Jetzt muss jemand die einzelnen Bausteine zusammenfügen. Das ist meine Vision - wir arbeiten daran!

**Thies:** *Vielen Dank für das interessante Gespräch, und weiterhin viel Erfolg für Ihr Unternehmen!*

# Aufwärts in die Atmosphäre

DIE BEDEUTUNG DER  
VERDUNSTUNG FÜR DIE  
VERFÜGBARKEIT VON WASSER

■ Messturm des BayCEER am Waldstein.  
Hier wird seit ca. 15 Jahren auch die Verdunstung  
über einem Fichtenbestand gemessen.



**D**er Klimawandel und die damit häufiger auftretenden Trockenperioden, wie etwa die Frühjahrstrockenheit in Mitteleuropa, führt dazu, dass die Rolle der Verdunstung zunehmend an Bedeutung gewinnt. Wenn die zum Wasserkreislauf gehörende Verdunstung ermittelt wird, sollten dabei auch sie steuernden Faktoren beachtet werden. Diese bleiben meist unbeachtet, wenn – wie bei rein hydrologischen Untersuchungen üblich – die Wasserverfügbarkeit im Wesentlichen als Differenz aus Niederschlag und Abfluss aufgefasst wird.

Dabei muss man sich beim Wasserkreislauf gegenwärtigen, dass im weltweiten Durchschnitt jährlich über dem Festland  $111 \cdot 10^3 \text{ km}^3$  Niederschlag fallen. Davon stammen  $71 \cdot 10^3 \text{ km}^3$  aus der Verdunstung und nur  $40 \cdot 10^3 \text{ km}^3$  aus dem Transport feuchter Luft von den Ozeanen auf das Festland (Daten: Houghton, 1997). Damit wird klar, dass Niederschlag ein „hausgemachtes“ Produkt ist. Je weiter man vom Meer entfernt ist, umso größer ist der Verdunstungsanteil am Niederschlagswasser. Somit ist die Wasserverfügbarkeit aus dem Niederschlag auch in den küstenfernen Gebieten Deutschlands unmittelbar an die Verdunstung über dem Land gebunden.

Dabei muss man berücksichtigen, dass im weltweiten Durchschnitt etwa 48 % der Verdunstung aus der Transpiration der Pflanzen stammen. 36 % stammen aus der Verdunstung vom Boden und weitere 16 % aus der Interzeptionsverdunstung, das heißt aus verdunstetem Niederschlagswasser, das an Pflanzenteilen abgelagert war (Daten: Dirmeier et al., 2006). Somit spielt die Funktionalität der Ökosysteme eine ausschlaggebende Rolle im Verdunstungsprozess. Denn versiegelte Flächen liefern nur einen geringen Anteil aus der Verdunstung der feuchten Oberfläche; der größere Anteil geht in den Abfluss.

Damit stellt sich sofort die Frage, welche Faktoren die Verdunstung steuern können. Dies sind im Wesentlichen zwei: die Bodenfeuchte und die Fähigkeit der Atmosphäre, den Verdunstungsprozess überhaupt zu ermöglichen. Weltweite Modellrechnungen haben gezeigt, dass nur in ariden und

Monsungebieten die Bodenfeuchte eine steuernde Wirkung hat. In ganz Europa – mit Ausnahme des Südens der Iberischen Halbinsel – hat die Atmosphäre die steuernde Wirkung (s. Seneviratne et al., 2010). Wesentliche Faktoren sind dabei die verfügbare Energie aus der Strahlung (abzüglich der Wärmeleitung in den Boden und des fühlbaren Wärmestroms, der die Erwärmung der Luft verursacht) und die Effizienz des turbulenten Wasserdampftransportes – im Wesentlichen abhängig von der Windgeschwindigkeit und der Struktur des Ökosystems.

Weiterhin spielt das Wasserdampfsättigungsdefizit eine große Rolle: Trockenere und wärmere Luft kann deutlich mehr Wasser aufnehmen als feuchte

und kühle Luft. Dass in unseren Breiten die Bodenfeuchte keine maßgebliche Rolle spielt, hat auch der heiße Sommer 2003 gezeigt. Der trockene Juni brachte faktisch

keine Einschränkungen in den ökosystemaren Flüssen, erst der ebenfalls trockene August führte zu entsprechenden Einschränkungen (s. Spektrum (2011) Nr. 1, 50 – 53). Auf Grund der Wasserverfügbarkeit im Boden kann man in unseren Breiten davon ausgehen, dass ein Ökosystem eine Trockenperiode bis zu einem Monat überstehen kann.

Die Steuerungsfunktion der Atmosphäre für den Verdunstungsprozess ist der Menschheit seit langem bekannt. Abb. 1 zeigt eine Anpflanzung auf Lanzarote, die durch einen nach Südwesten offenen Steinwall gegen den Nordostpassat geschützt ist. Damit bleibt das geringe Wasserangebot aus Taufall und

**DIE MESSUNG DER VERDUNSTUNG IST EIN BISLANG AUSSERORDENTLICH STIEFMÜTTERLICH BEHANDELTES PROBLEM.**

**AUTOR**



**Prof. Dr. Thomas Foken**

leitet die Abteilung Mikrometeorologie des BayCEER. Seit fast 40 Jahren befasst er sich mit Fragen des Energie- und Stoffaustausches zwischen der Atmosphäre und der Unterlage – vorrangig Ökosysteme aber auch Wasserflächen. Schwerpunkt liegt dabei auf experimenteller Seite, gerade in den letzten Jahren entstanden aber auch einige Arbeiten zur Modellierung. Die Forschung ist eingebettet in nationale und internationale Projekte und Forschungsverbünde. Seit 15 Jahren ist er auch an europäischen Forschungsinitiativen beteiligt und hier seit fünf Jahren in Tibet.

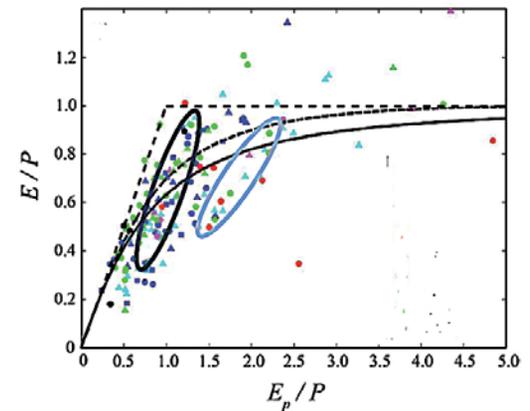


Abb. 1: Obstbaum auf Lanzarote, der durch einen Steinwall gegen den Nordostpassat geschützt ist.

Abb. 2 (rechts): Abhängigkeit des Verhältnisses aus Verdunstung und Niederschlag (Ordinate) zum Verhältnis aus potenzieller Verdunstung und Niederschlag (Abszisse) nach Williams et al. (2012). Die gestrichelten Geraden geben die natürlichen Grenzen nicht bewässerter Ökosysteme an. Die Kurven geben die mittleren Verhältnisse dieser beiden Quotienten an – gestrichelt: klassische Abhängigkeit nach Budyko; durchgezogen: Analyse nach der von Williams gefundenen Abhängigkeit. Die Punkte geben Mittelwerte zu einzelnen Ökosystemmessungen an (für Details s. Williams et al., 2012). Dunkelblau hervorgehoben sind Laubwälder, und hellblau Nadelwälder.

Nebel für die Pflanze erhalten. Die Reduktion der Windgeschwindigkeit ist ein wirksames Mittel, um die Verdunstung zu reduzieren, denn hohe Windgeschwindigkeiten trocknen Oberflächen durch verstärkte Verdunstung besonders schnell aus.

Die Messung der Verdunstung ist ein bislang außerordentlich stiefmütterlich behandeltes Problem. Die Wetterdienste messen an einigen Stationen die sogenannte potenzielle Verdunstung mit wassergefüllten Kesseln. Dies ist aber nur das maximal mögliche Verdunstungspotenzial. Es kann von der wirklichen Verdunstung deutlich abweichen. Verdunstungsangaben entstammen im Wesentlichen Modellrechnungen. Dabei gibt es seit 15 bis 20 Jahren das internationale Kohlendioxid austausch-Messprogramm FLUXNET für viele Ökosysteme, zu dem auch die Messstation am Waldstein im Fichtelgebirge gehört (Eingangsbild). Hier lag das Schwergewicht bei der Auswertung der gemessenen Daten aber auf der Kohlenstoffaufnahme von Ökosystemen. Teilweise wurde noch die Wassernutzungseffizienz von Ökosystemen ermittelt, also das Verhältnis aus Verdunstung und Kohlenstoff-



aufnahme. Verdunstungsdaten liegen zwar als Energiegehalt des verdunsteten Wassers vor, doch erfolgte kaum ihre hydrologische Auswertung.

Kürzlich ist ein erster Artikel erschienen (Williams et al., 2012), bei dem die Universität Bayreuth vor allem methodische Zuarbeit leistete. Darin wird die Verdunstung in Abhängigkeit von Klimazonen und Ökosystemen untersucht. Die Bedeutung der Arbeit liegt in der Möglichkeit, Abschätzungen über Verdunstungspotenziale nach Veränderungen in Ökosystemen – sei es durch Klimawandel oder Landnutzungsänderungen – treffen zu können. Hier soll nur vereinfacht in Abb. 2 ein schematischer Auszug gegeben werden. Dabei zeigt sich, dass Laubwälder über einem sehr weiten Bereich des Verhältnisses aus Verdunstung und Niederschlag existieren. Sie befinden sich aber alle in Klimazonen, in denen die potenzielle Verdunstung niedriger als der Niederschlag ist, d.h. es ist auch in trockenen Jahren ein Wasserüberschuss vorhanden. Nadelwälder verdunsten im Verhältnis zum Niederschlag mehr als Laubwälder – allerdings ist in diesen Klimazonen der absolute Niederschlag häufig geringer – und auch die potenzielle Verdunstung ist meist höher als der Niederschlag, d.h. ein zusätzlicher Niederschlag könnte auch noch verdunstet werden.

Die zunehmende Wasserknappheit, die auch den Osten Deutschlands betrifft und in einzelnen Jahreszeiten deutschlandweit zutrifft, fordert detaillierte Kenntnisse zum Verdunstungsprozess und seiner verbesserten Modellierung. Das Problem stellt sich zunehmend komplexer dar und betrifft neben Meteorologen und Hydrologen in hohem Maße auch Ökosystemforscher. Eines kann aber bereits eindeutig gesagt werden: Die Versiegelung von Flächen, die in Deutschland nicht unerheblich ist, und die Zersiedelung, die große Flächen mit hohem Verdunstungspotential in ihrer Effizienz einschränkt, ist schon heute nicht ohne Auswirkung auf die Wasserverfügbarkeit.

## LITERATUR

- Dirmeyer PA, Gao X, Zhao M, Guo Z, Oki T and Hanasaki N (2006) GSWP-2: Multimodel Analysis and Implications for Our Perception of the Land Surface. Bull Amer Meteorol Soc. 87(10):1381-1397.
- Houghton JT (1997): Global warming, 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, 251 pp.
- Seneviratne SI, Corti T, Davin EL, Hirschi M, Jaeger EB, Lehner I, Orlowsky B and Teuling AJ (2010): Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. Earth-Science Reviews. 99(3-4):125-161.
- Williams CA, et al. (2012): Climate and vegetation controls on the surface water balance: Synthesis of evapotranspiration measured across a global network of flux towers Water Resources Res. 48:W06523.

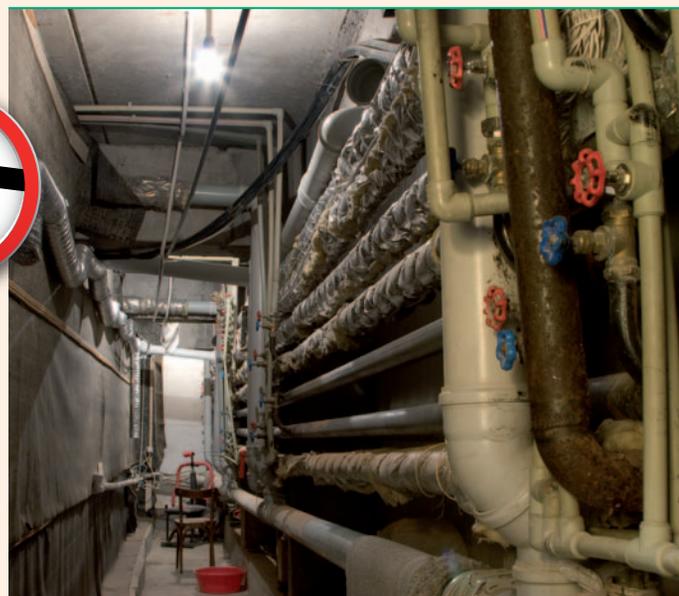
# Trinkwasserqualität

## ... UND WAS NICHT HINEINGEHÖRT (FORTSETZUNG VON SEITE 49)



Die folgenden Elemente sind für unseren Körper nicht essentiell (bei Nickel ist dies noch umstritten) – große oder auch über lange Zeit aufgenommene kleinere Mengen wirken hier als Gift, was sich in den niedrigeren Grenzwerten widerspiegelt.

Das Labor für Chemische Analytik des Bayreuther Zentrums für Ökologie und Umweltforschung bietet Besuchern des Zukunftsforums an, mitgebrachte Trinkwasserproben kostenfrei auf die hier genannten Inhaltsstoffe zu untersuchen. Mindestens 100 Milliliter sind dazu nötig, am besten wird die Probe in einer mit dem zu analysierenden Wasser ausgespülten farblosen Plastikflasche transportiert.



Inhaltsstoff		Grenzwert [mg/l]
Aluminium	Aluminium wird in der Natur bei der Verwitterung bestimmter Mineralien frei. Wir nehmen täglich etwa 5 Milligramm Aluminium ein. Da davon nur ein kleiner Teil tatsächlich absorbiert wird, gilt diese Menge als ungefährlich. Größere Aluminiummengen werden mit neuronalen Schädigungen in Verbindung gebracht, besonders Menschen mit Nierenschäden sind anfällig. Auch ein Allergierisiko ist vorhanden.	0,2
Arsen	Arsen im Grundwasser stammt aus verwitternden Gesteinen und Böden und nimmt in Regionen mit geothermischer Aktivität hohe Konzentrationen an. Auch im Bergbau werden Arsenverbindungen freigesetzt. Weltweit betrachtet ist Arsen im Trinkwasser auch heute noch von großer Bedeutung, es schädigt bei langfristiger Einwirkung fast alle Organe. Akute Vergiftungen durch Trinkwasser treten nicht auf.	0,01
Blei	Wasserleitungen aus Bleirohren können das Trinkwasser belasten. Sie sind in Deutschland erst seit den 1970er Jahren nicht mehr verbaut worden. Schon kleinste Mengen von Blei können sich, über einen längeren Zeitraum stetig eingenommen, im Körper anreichern und zu einer chronischen Bleivergiftung führen.	0,025, ab Dez. 2013: 0,01
Cadmium	Cadmium kann als Verunreinigung von Zink in verzinkten Eisenrohren vorkommen. Es gehört zu den Kumulationsgiften und reichert sich besonders in der Niere an. Daher hat die chronische Toxizität von Cadmium eine größere Bedeutung, akute Vergiftungen sind selten.	0,003
Chrom	Dreiwertiges Chrom(III) ist ein essentielles Spurenelement für den Menschen und sorgt zusammen mit Insulin dafür, dass Glucose wieder aus der Blutbahn beseitigt wird. Chrommangel ist jedoch eine sehr seltene Erscheinung. Eine toxische Wirkung von aufgenommenem Chrom(III) ist eher nicht zu befürchten, sechswertige Chromverbindungen hingegen sind kanzerogen und lösen allergische und asthmatische Reaktionen sowie Vergiftungserscheinungen aus.	0,05
Nickel	Nickel kommt in der Natur beispielsweise in Schiefer, Sandstein, Tonmineralien und Basalt vor. Ob Nickel für den Menschen essentiell ist, ist umstritten. Für Pflanzen dagegen ist das Element lebensnotwendig, wirkt aber in hohen Konzentrationen häufig toxisch, was bei der Bewässerung beachtet werden muss. Eine größere Gefahr als Nickel im Wasser stellt für den Menschen die Inhalation dar, Nickel ist zudem bekannt als häufigster Auslöser für Allergien bei Hautkontakt.	0,02
Uran	In Komplexen gebundenes Uran ist ein ubiquitäres Element in unseren Flüssen, die Quelle für das Uran liegt im Gesteinsaufbau der durch die Flüsse entwässerten Gebiete. Uran findet sich in Deutschland im unbeeinflussten Grundwasser in Konzentrationen von kleiner 1 bis über 100 Mikrogramm pro Liter. Die regelmäßige Einnahme von Trinkwasser mit erhöhten Uragehalten kann zum Auftreten von Nierenkrebs führen.	0,01



### QUELLEN

- [www.lenntech.de/pse/wasser/uebersicht.htm](http://www.lenntech.de/pse/wasser/uebersicht.htm)
- [www.ifau.org/trinkwasser/smetalltwinfo-uebersicht.htm](http://www.ifau.org/trinkwasser/smetalltwinfo-uebersicht.htm)
- [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)



■ ANKE JENTSCH  
ASJA BERND

# Biodiversität trocken gelegt

FORSCHUNG IM ÖKOLOGISCH-BOTANISCHEN GARTEN DER UNIVERSITÄT BAYREUTH

■ Die künstliche Dürre setzt den Wiesenpflanzen sichtbar zu. Wie gut werden sie sich erholen, und wovon hängt ihre Widerstandskraft ab?

**M**it dem Klimawandel verändert sich nicht nur die Temperatur, sondern auch die Niederschläge, insbesondere ihre Verteilung im Jahreslauf. Dabei spielen neben langfristigen Trends auch einzelne Wetterereignisse wie Dürren, Hitzewellen oder Starkregen eine Rolle. Welche Auswirkungen solche extremen Wetterereignisse auf Pflanzen, Ökosystemfunktionen und biotische Interaktionen haben, untersuchen Prof. Anke Jentsch, Lehrstuhl für Störungsökologie und Prof. Carl Beierkuhnlein, Lehrstuhl für Biogeographie, im Ökologisch-Botanischen Garten der Universität Bayreuth.

Extreme Dürreereignisse werden zunehmen, doch wie beeinflussen sie Ökosysteme und deren Funktionen? Dieser Frage gehen die Lehrstühle Störungsökologie und Biogeografie anhand eines Grünland-Ökosystems nach und untersuchen dabei unter anderem, wie Pflanzengesellschaften auf die Trockenheit reagieren. Außerdem wollen sie herausfinden, ob Gemeinschaften mit einer größeren Anzahl von Pflanzenarten und damit höherer Biodiversität anders reagieren als solche mit niedrigerer.

Unter die Lupe genommen hat das Team um Prof. Jentsch fünf Arten, die in mitteleuropäischen Wiesen heimisch sind und unterschiedlichen funktionellen Gruppen angehören: Gräser, Kräuter, und Hülsenfrüchtler oder Leguminosen. Letztere zeichnen sich dadurch aus, dass sie Stickstoff aus der Luft mit Hilfe von Bodenbakterien zu für Pflanzen verfügbarem Stickstoff umwandeln können, weshalb sie auch Stickstofffixierer genannt werden.

Das Projekt umfasste mehrere hundert Versuchsfelder von je einem Quadratmeter Größe mit unterschiedlichen Arten: In denen mit niedriger Biodiversität wuchsen zwei Arten aus derselben funktionellen Gruppe, in anderen Plots dagegen vier Arten aus zwei Gruppen. Am vielfältigsten waren Standorte mit vier Arten aus drei funktionellen Gruppen (Gräser, Krautige, Leguminose). Über fünf Jahre hinweg wurden die Pflanzen einmal jährlich im Sommer einer extremen Dürre ausgesetzt. Von 2005 bis 2007 handelte es sich dabei um eine „Jahrhunderttrockenheit“ von 32 Tagen, also ein Ereignis, das mit hoher Wahrscheinlichkeit nur einmal in 100 Jahren auftritt. In den Jahren 2008 und 2009 wählten die Forscher dagegen eine Jahrtausenddürre, die 42 Tage anhielt. Eine Kontrollgruppe von Pflanzen bekam über den gesamten Zeitraum hinweg Wasser.

Um die Dürre zu simulieren, spannten die Forscher Plastikdächer über die Pflanzen. Da diese das Ergebnis des Experimentes beeinflussen könnten, gab es auch eine Kontrollgruppe, die zwar überdacht war, während der simulierten Dürre aber mit genauso viel Wasser gegossen wurde, wie ringsum durch Niederschläge fiel.

Um herauszufinden, wie sich der wiederholte extreme Wassermangel auf die Pflanzen auswirkt, untersuchten Jentsch und ihre Kollegen 32 einzelne Faktoren, die sich fünf allgemeinen Funktionen von Ökosystemen zuteilen lassen: Produktivität, Wasserregulierung, Kohlenstofffixierung, Nährstoffkreislauf und die Dynamik der Pflanzengemeinschaft, also ob sich beispielsweise invasive Arten ausbreiten oder ob und wie sich die Häufigkeit bestimmter Arten verändert. Für manche der Funktionen lieferte die Studie ein klares Ergebnis, wobei die Resultate auch durch die Niederschläge in den jeweiligen Jahren beeinflusst wurden.

„Eine Herausforderung solcher Experimente ist es, wirklich eine Dürre zu erzeugen“, erklärt Prof. Jentsch. Zunächst manipuliere man ja nur das Wetter. Um zu wissen, ob für die Pflanzen wirklich Dürre herrscht, messen die Wissenschaftler deshalb die Bodenfeuchtigkeit. „Gerade in Gebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit kann der Boden trotz der Wettermanipulation feucht bleiben.“ Die erste gute Nachricht lautete daher: Die Trockenperioden wirkten sich eindeutig auf die Wasserregulation der Systeme aus, die Feuchtigkeit des Bodens

AUTORIN



**Prof. Dr. Anke Jentsch**

ist Professorin für Störungsökologie an der Universität Bayreuth. Sie forscht zu den Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf Ökosystemfunktionen sowie zur Dynamik und Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen nach Störungen.

Abb. 1: Die Versuchsfelder der EVENT-Experimente im Ökologisch-Botanischen Garten der Universität Bayreuth.





Abb. 2: Mit einem speziellen Fahrrad gossen die Wissenschaftler die Pflanzen während des Experiments.

nahm während der Dürren bis zu 30 Prozent ab. In den Jahren 2005 bis 2008 hatte es bereits vor den Versuchen natürliche Trockenzeiten gegeben, was den Effekt noch verstärkte.

Zur Überraschung von Prof. Jentsch und ihren Kollegen wurde die Biomasseproduktion der Pflanzen dagegen nicht signifikant beeinflusst – weder oberirdisch noch unterirdisch. Untersucht wurde unterirdisch die Wurzellänge sowie oberirdisch die Biomasseproduktion und Vegetationsbedeckung. Alle drei Faktoren zeigten jedoch keine eindeutigen Unterschiede zur Kontrollbehandlung, die keine Dürre ausgesetzt war.

Deutliche Auswirkungen hatte die Dürre dagegen auf die Stoffflüsse. Obwohl die Zusammensetzung der Bakterien im Boden gleich blieb, wurde organische Materie langsamer zersetzt. Außerdem sank der Eiweißgehalt der Blätter, die dafür mehr Kohlenhydrate enthielten, was die Qualität der Pflanzen als Viehfutter beeinträchtigt.

Ebenfalls eindeutig veränderte sich die Dynamik und Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaften: Durch die Dürre hatten neue, invasive Arten es schwerer, sich auf den Flächen anzusiedeln - die Stabilität der Systeme erhöhte sich also. Den fünf Versuchsarten erging es innerhalb der Gesellschaften unterschiedlich: Die Leguminosen wurden stärker durch konkurrierende Nachbarn beeinträchtigt, wohingegen manche Gräser von ihren Nachbarn stärker unterstützt wurden. Außerdem alterten die Blätter aller Pflanzen schneller und die Blühdauer veränderte sich.

Insgesamt widerstanden die Pflanzen der Dürre deutlich besser, als das Team erwartet hatte. „Am Ende haben wir einfach so lange Wasser entzogen, bis die Pflanzen abgestorben schienen, also eine terminale Dürre inszeniert.“

Die Ergebnisse dieser Studie sind noch nicht publiziert, bislang lässt sich sagen, dass es über drei Monate dauerte, bis die Biomasse komplett verdorrt war. „Wir hatten erwartet, dass die Leistungsgemeinschaft zusammenbricht und wollten herausfinden, welche Funktionen zuerst ausfallen“, erklärt Prof. Jentsch. Und auch nach drei Monaten Trockenheit regenerierten sich einige Arten wieder. „Das bedeutet, dass die Grünlandvegetation in Mitteleuropa weniger anfällig für Sommerdürre ist als gedacht und als in anderen Teilen der Welt“, resümiert die Wissenschaftlerin. Besonders die Gräser trotzten der Dürre und regenerierten sich, nachdem sie oberirdisch abgestorben waren, schnell wieder vollständig.

Für die Biodiversitätsforschung ist das Projekt außerdem relevant, da Prof. Jentsch und ihre Kollegen zeigen konnten, dass sich die biologische Vielfalt auf die Pflanzen auswirkt. „Eine höhere Biodiversität führte zu geringeren Absterberaten. Die Vegetation war also widerstandsfähiger.“ An Forschungsfragen mangelt es jetzt aber nicht: „Die eigentlich spannenden Fragen liegen jetzt jenseits der Länge der Dürre: Wie wirkt sich die Häufigkeit von Dürren aus oder die Interaktion mit Spätfrost oder der Wintererwärmung?“

Mit SIGNAL, einem neuen Projekt, wollen Jentsch und Kollegen ihre Forschung nun ausbauen: Von Bayreuth aus koordiniert, soll diesmal in sieben eu-



Abb. 3: Felduntersuchungen auf dem Experiment-Areal des ÖBG.

Abb. 4 (rechts): Die Pflanzen werden im Laufe des Experiments auch hohem Starkregen ausgesetzt, das zur Überschwemmung des Bodens führt.



ropäischen Ländern untersucht werden, wie extreme Dürren und invasive Arten Ökosysteme gefährden und ob eine hohe Artenvielfalt oder gar die Präsenz von stickstoff-fixierenden Leguminosen dem entgegenwirken kann. Dafür kooperieren die Ökologen mit Wissenschaftlern aus Belgien, Ungarn, Frankreich, der Schweiz, Bulgarien, Italien und der Türkei. So können Graslandschaften mit unterschiedlichen Arten und unter verschiedenen klimatischen Bedingungen untersucht werden. Prof. Jentsch freut sich bereits auf die neue Herausforderung: „In diesem einmaligen Projekt können wir neuen Fragen nachgehen und unsere experimentellen Ergebnisse auf größere räumliche Gradienten und Kulturlandschaften übertragen“. Besonders gespannt ist Prof. Jentsch auch auf die Zusammenarbeit über verschiedene Länder und Kulturen hinweg.

INFO & KONTAKT

Ökologisch-Botanischer Garten  
Universität Bayreuth  
Inge Raps (Sekretariat)  
www.obg.uni-bayreuth.de  
E-Mail: obg@uni-bayreuth.de



**Öffnungszeiten im Winter (bis einschl. Feb.)**

**Werktags:** Freigelände **8-16 Uhr**,  
Gewächshäuser **(Di-Do) 10-15 Uhr**.  
**Sonn- & Feiertage:** Freigelände **10-16 Uhr**,  
Gewächshäuser **10-16 Uhr**.



INFO

**Erinnern sich Pflanzen an Dürre?**

Können Pflanzen ein „Gedächtnis“ für Trockenzeiten entwickeln? Dieser Frage ging Julia Walter, Mitarbeiterin bei Prof. Jentsch, in einem Topfexperiment nach. Sie zog Gewöhnlichen Glatthafer zunächst unter natürlichen Umweltbedingungen auf – und setzte die Pflanzen im Juni 2009 dann einer 16-tägigen Dürre aus. Eine Kontrollgruppe bekam in dem Zeitraum weiterhin Wasser wie bereits zuvor. Anschließend beschnitten die Forscher die Pflanzen, damit keine Blätter mehr vorhanden waren, die die Trockenheit erfahren hatten.

Um zu testen, ob die Pflanzen aus diesem Ereignis „gelernt haben“, entzogen sie ihnen im September erneut Wasser. Die Blätter selbst waren nach dem Schneiden neu ausgetrieben und somit das erste Mal Trockenheit ausgesetzt. Während der zweiten Dürre bekamen weder die Pflanzen Wasser, die bereits der Dürre ausgesetzt waren, noch die Kontrollgruppe, wieder für 16 Tage. Das Ergebnis: Die Gräser, die bereits Trockenheit erfahren hatten, hatten 7 Prozent mehr lebende Biomasse als die anderen, das heißt sie welkten nicht so stark. Vermutlich bewirkte die erste Dürre, dass die Pflanze schnellere Schutzreaktionen bei einem weiteren Wassermangel zeigte, um zu vermeiden, dass es zu Blattschäden kommt.

Gleichzeitig lief die Photosynthese weniger intensiv und effizient ab als bei den Pflanzen, die nur einmal Wassermangel ausgesetzt waren. Damit versucht sich der Glatthafer vor dem Sonnenlicht und dem Verlust von Wasser zu schützen, eine Reaktion, die kurzfristig das Überleben sichert. Jedoch könnte sie bei länger andauernden und häufigeren Trockenzeiten auch weitere Folgen haben, zum Beispiel, dass weniger Biomasse gebildet wird.

Abb. 5: Die Versuchsflächen der EVENT-Experimente im Ökologisch-Botanischen Garten. Besucher des ÖBG finden die Flächen ganz im Süden des Geländes.



■ DETLEF MÜLLER-MAHN

# Risiko und Entwicklung

SOZIALWISSENSCHAFTLICHE KOMPETENZ  
IM ZENTRUM FÜR NATURRISIKEN UND ENTWICKLUNG BAYREUTH

■ Halbtrockene Regionen in Kenia.  
Foto: S. Kiragu

**S**chon heute ist absehbar: Lang anhaltende Dürreperioden, die zur Verknappung von Trinkwasserressourcen führen, und andere extreme Wetterereignisse haben im 21. Jahrhundert zunehmend katastrophale Auswirkungen. Gesellschaften in den Entwicklungsländern sind dabei einem besonders hohen Katastrophenrisiko ausgesetzt. Denn eine rasche Urbanisierung, der Wandel ländlicher Lebenshaltungssysteme, die Ausbreitung von Infektionskrankheiten und zahlreiche bewaffnete Konflikte vervielfachen die Risiken und tragen dazu bei, dass die Verwundbarkeit gegenüber natürlichen Extremereignissen steigt.

Hier setzt das **Zentrum für Naturrisiken und Entwicklung Bayreuth (ZENEb)** an, eine Forschungseinrichtung der Universität Bayreuth mit Verankerung am Lehrstuhl für Bevölkerungs- und Sozialgeographie. ZENEb versteht sich als Netzwerk für eine sozialwissenschaftlich orientierte Risiko- und Katastrophenforschung in Entwicklungsländern. Das Forschungsinteresse richtet sich auf Fragen im Schnittfeld der Afrika- und der Umweltwissenschaften und fördert insofern interdisziplinäre Verbindungen zwischen zwei profilbildenden Schwerpunkten der Universität Bayreuth. Dieses Engagement hat sich bis heute in mehreren großen Verbundprojekten niedergeschlagen, unter anderem bei der Bayreuth International Graduate School of African Studies (BIGSAS), in der neu eingeworbenen Bayreuth Academy for Advanced African Studies und im Elitestudiengang Global Change Ecology.

Risiken und Katastrophen – wie zum Beispiel Dürre und extremer Wassermangel – werden im wissenschaftlichen Alltag oft als objektive Gegebenheiten eingestuft, die mit naturwissenschaftlich-technischen Methoden und Instrumenten erforscht werden können. Dabei finden jedoch die subjektiven Erfahrungen der Menschen zu wenig Berücksichtigung. Die Forschungsarbeiten am ZENEb wollen

diese Dichotomie überwinden. Sie nehmen deshalb die Bedürfnisse, Fähigkeiten, Gewohnheiten und Zukunftsentwürfe gesellschaftlicher Gruppen in den Blick, die ihre Umwelt als gefährlich erleben und darauf mit Strategien zur Risikobewältigung reagieren. Risiken sind aus dieser Sicht soziale Konstrukte, in denen sich die Auseinandersetzung von Gruppen mit ihrer natürlichen Umwelt ausdrückt. Sie lassen sich durchaus als von außen kommende, von einer bedrohlichen Natur ausgehende Gefahren begreifen; sie müssen aber zugleich als zivilisatorisch erzeugt angesehen werden. Gesellschafts- und Umweltsysteme erscheinen so stark miteinander verwachsen, dass sie für die Forschung ein neues, gleichsam hybrides Territorium bilden.

Die Risikoforschung im ZENEb an der Universität Bayreuth interessiert sich vor diesem Hintergrund zunehmend für die Fähigkeiten der Menschen zur Vorsorge (prevention), Bewältigung (coping) und Abpufferung (resilience), beispielsweise bei der Suche nach Anpassungsstrategien gegenüber dem Klimawandel. Mit der Ausrichtung auf eine derart kombinierte Entwicklungs-, Risiko- und Katastrophenforschung will das Forschungszentrum die auf diesen Gebieten arbeitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler miteinander vernetzen – und zwar unabhängig von Ihren regionalen Forschungskontexten. Zu den bedeutendsten Partnern in Deutschland zählt dabei der interdisziplinäre Afrika-Schwerpunkt der Universität Bayreuth, der die größte derartige Einrichtung in Deutschland ist und innerhalb Europas zu den herausragenden Zentren der Afrikaforschung gehört. Seine Aktivitäten in Lehre und Forschung, in der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses sowie hinsichtlich der Kooperationen mit anderen nationalen und internationalen Afrika-Instituten werden seit 1990 vom „Institut für Afrikastudien“ (IAS) koordiniert.

AUTOR



**Prof. Dr.  
Detlef Müller-Mahn**

leitet seit 2001 an der Universität Bayreuth den Lehrstuhl für Bevölkerungs- und Sozialgeographie und das ZENEb. Schwerpunkte in Forschung und Lehre sind die Entwicklungs- und Risikoforschung, insbesondere unter den Aspekten „Globalisierung“, „Migration“ und „Vulnerabilität“ gegenüber Naturkatastrophen. In Kürze erscheint das von D. Müller-Mahn im Routledge-Verlag herausgegebene Buch: *The spatial dimension of risk. How geography shapes the emergence of riskscape*. London 2012.

INFO

## ZENEb

Derzeit sind folgende Forschungsprojekte am ZENEb angesiedelt:

- Wassermanagement in Khartum (WAMAKHAIR)
- Verwundbarkeit, Risikodiskurse und Krisenbewältigung in der Afar Region, Äthiopien
- Bewältigung von multiplen kumulativen Stressfaktoren und Schocks in Westkenia
- Anpassung an den Klimawandel in Ostafrika: Zur Politik einer reisenden Idee
- Soziales Lernen als Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel in Äthiopien und Kenia





■ CHRISTIAN WIßLER

# Das Menschenrecht auf Wasser

INTERVIEW MIT PROF. DR. SILKE RUTH LASKOWSKI, UNIVERSITÄT KASSEL

■ Halle der Generalversammlung der  
Vereinten Nationen in New York.  
Foto: Songquan Deng / Shutterstock.com

**V**or zwei Jahren, am 28. Juli 2010, hat sich die Generalversammlung der Vereinten Nationen ausdrücklich zum Menschenrecht auf Wasser bekannt. „...Recognizes the right to safe and clean drinking water and sanitation as a human right that is essential for the full enjoyment of life and all human rights“, heißt es in der UN-Resolution. Das Recht auf sauberes Trinkwasser und auf eine sanitäre Grundversorgung wird darin als ein zentrales Menschenrecht aufgefasst, ohne das alle anderen Menschenrechte nicht realisiert werden können. Die Resolution fordert daher die UN-Mitgliedsstaaten auf, ärmere Länder bei der Versorgung ihrer Bevölkerungen mit Trinkwasser und Sanitäranlagen zu unterstützen. Ist diese Resolution lediglich ein Appell, oder stellt sie eine völkerrechtliche Verpflichtung dar?

**Laskowski:** Für sich genommen, ist diese Resolution nur „soft law“. Denn die UN-Generalversammlung hat nicht die Kompetenz, eigenes Völkerrecht zu setzen. Gleichwohl ist die Bedeutung der Resolution nicht zu unterschätzen. Denn darin bekräftigen die Vereinten Nationen explizit eine Position, die sich rechtlich gesehen aus dem Völkervertragsrecht herleiten lässt, und zwar aus den Artikeln 11 und 12 des UN-Sozialpakts. In diesen Artikeln geht es um das Menschenrecht auf angemessene Ernährung und Gesundheit. Der UN-Sozialpakt wurde 1966 einstimmig von der UN-Generalversammlung unter der Bezeichnung „International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights“ verabschiedet. Für seine rechtliche Interpretation ist ein UN-Ausschuss zuständig, das „Committee on Economic, Social and Cultural Rights“. Dieses Gremium hat 2002 in seinem „General Comment No. 15“



dargelegt und festgestellt, dass der UN-Sozialpakt ein Menschenrecht auf Wasser begründet – ein Recht, das unabdingbar ist, um ein Leben in menschlicher Würde zu führen.

Diese Interpretation des UN-Sozialpakts, in dem noch nicht explizit von einem Menschenrecht auf Wasser die Rede ist, hat sich als wegweisend erwiesen und findet weltweit immer stärkere Anerkennung. Neuere Menschenrechtsabkommen, die sich beispielsweise der Gleichbehandlung von Frauen oder dem Schutz von Kindern widmen (CEDAW und UN-Kinderrechtskonvention), enthalten explizite Regelungen, die den Zugang zu Wasser und Sanitäranlagen betreffen. Darin kommt das individuelle Recht auf Zugang zur Grundversorgung mit Wasser und Sanitärleistungen als existentielles Menschenrecht klar zum Ausdruck. Die UN-Resolution von 2010 spiegelt daher eine längere konsequente Rechtsentwicklung wider, die ihren Ursprung im UN-Sozialpakt und seiner Auslegung hat.

## ZUR PERSON

### Prof. Dr. Silke Ruth Laskowski

ist seit 2009 Professorin für Öffentliches Recht, Völkerrecht und Europarecht, Schwerpunkt Umweltrecht, am Institut für Wirtschaftsrecht der Universität Kassel. Die völker-, europa- und verfassungsrechtliche Verankerung des Menschen- und Grundrechts auf Wasser stehen im Mittelpunkt ihres Buches: „Das Menschenrecht auf Wasser – Die rechtlichen Vorgaben zur Sicherung der Grundversorgung mit Wasser und Sanitärleistungen im Rahmen einer ökologisch-nachhaltigen Wasserwirtschaftsordnung“, Tübingen 2010.



Abb. 1: Kambodschanisches Mädchen beim Wasserpumpen. Die UN-Kinderrechtskonvention enthält explizite Regelungen, die den Zugang zu Wasser und Sanitäreinrichtungen betreffen.

Foto: Irina Ovchinnikova / Shutterstock.com

**Wißler:** Was folgt aus diesem Vertragswerk für die UN-Mitgliedsstaaten? Sind deren nationale Regierungen dazu verpflichtet, bestimmte Maßnahmen im Bereich der Trinkwasser- und Sanitärversorgung zu ergreifen?

**Laskowski:** Da gibt es unterschiedliche Lesarten. Allmählich setzt sich aber international die Auffassung durch, dass die Artikel 11 und 12 des UN-Sozialpakts eine echte Verpflichtung aller Staaten begründen, die den Vertrag unterzeichnet haben. Im Kern läuft diese Verpflichtung darauf hinaus, dass jeder Staat dafür sorgen muss, dass alle Menschen in seinem Hoheitsgebiet 20 Liter Trinkwasser täglich zur Verfügung haben. Dies ist das absolute Minimum, das jeder Mensch benötigt, um seine Grundbedürfnisse in Bezug auf Trinkwasser und sanitäre Versorgung zu decken. Die Weltgesundheitsorganisation hat diesen täglichen Mindestbedarf wissenschaftlich ermittelt und in ihren Richtlinien festgelegt.

**Wißler:** Werfen wir einen Blick auf unsere eigene Verfassung. Inwieweit enthält das Grundgesetz Ansätze für ein Menschenrecht auf Wasser?

**Laskowski:** Hier kann man zunächst einmal auf Artikel 2 Abs. 2 verweisen, wonach jeder Mensch das Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit hat; aber auch auf den Artikel 1 Abs.1: „Die Würde des Menschen ist unantastbar. Sie zu achten und zu schützen ist Verpflichtung aller staatlichen Gewalt.“ Das Recht auf Leben ist ein zentraler Bestandteil des ungeschriebenen, aber zwingend einzuhaltenden Völkerrechts, des „ius cogens“.



Wenn man dies beachtet, kann man auch aus der deutschen Verfassung ein Recht auf Wasser herleiten.

**Wißler:** Manche Staaten, wie beispielsweise Südafrika, haben in ihre nationalen Verfassungen explizit ein Recht auf Wasser eingebaut. Würden Sie es begrüßen, wenn das Recht auf Wasser als ein soziales Grundrecht auch in das Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland aufgenommen würde? Würden sich daraus staatliche Verpflichtungen ableiten las-

## VEREINTE NATIONEN

### Resolution adopted by the General Assembly 64/292. The human right to water and sanitation

The General Assembly,

[...]

1. *Recognizes* the right to safe and clean drinking water and sanitation as a human right that is essential for the full enjoyment of life and all human rights;

2. *Calls upon* States and international organizations to provide financial resources, capacity-building and technology transfer, through international assistance and cooperation, in particular to developing countries, in order to scale up efforts to provide safe, clean, accessible and affordable drinking water and sanitation for all;

[...]



*sen, die über die von Ihnen zitierten Grundgesetzartikel in Verbindung mit dem Völkerrecht hinausgehen?*

**Laskowski:** Nein, das nicht. Aber dennoch halte ich die Idee, das Recht auf Wasser im Grundgesetz zu verankern, für ausgezeichnet. Denn eine solche Verfassungsbestimmung würde den Gesetzgeber und alle staatlichen Instanzen in Deutschland ständig dazu ermahnen, sich nachhaltig mit der Herausforderung einer menschenwürdigen Trinkwasserversorgung zu befassen. Die Kernverpflich-

tung, die sich aus dem UN-Sozialpakt ergibt, hat ja mehrere Rechtsaspekte: Zunächst einmal geht es um den Schutz natürlicher Ressourcen und um nachhaltiges Wassermanagement. Ohne diese ökologischen Voraussetzungen könnte der Staat überhaupt nicht gewährleisten, dass es in seinem Hoheitsgebiet eine funktionierende Infrastruktur gibt, die Zugang zu sauberem Trinkwasser bietet. Die staatlichen Behörden sollten also angesichts des Klimawandels und seiner Folgen rechtzeitig darüber nachdenken, wie die Trinkwasserversorgung bei künftig zu erwartenden Trockenperioden gesichert werden kann.

Darüber hinaus sollten der Gesetzgeber und die staatlichen Behörden in Deutschland viel stärker den menschenrechtlichen Aspekt der Wasserversorgung beachten. Bisher ist es für uns selbstverständlich, dass die Trinkwasserlieferungen und die Abwassersysteme funktionieren. Aber es gibt in Deutschland eine wachsende Armut, und das Sozialsystem hat sich – nicht zuletzt infolge der Hartz-IV-Gesetzgebung – massiv geändert. Es kommt mittlerweile auch in Deutschland vor, dass Familien von der Wasserversorgung abgeschnitten werden, weil sie ihre Wasserrechnungen nicht begleichen können. In der Regel wehren sich die Betroffenen nicht gegen solche „Cut-offs“. Aber schon vor einigen Jahren, im April 2007, hat das Oberverwaltungsgericht Bremen ein wichtiges Urteil (Az.: S 2 B 157/07) gefällt: Eine Familie mit fünf minderjährigen Kindern konnte ihre Wasserrechnungen nicht bezahlen, weil der staatliche Träger der Grundversicherung (§ 22 Sozialgesetzbuch II) die Kostenübernahme verweigerte. Daher kündigte das regionale Versorgungsunternehmen an, die Wasserlieferung einzustellen. Das im Eilverfahren angerufene Gericht entschied, dass die Rechnung umgehend zu begleichen war, um akute Gesundheitsgefahren vor allem für die Kinder infolge einer mangelnden Wassergrundversorgung zu verhindern. An diesem Beispiel zeigt sich sehr deutlich, welche Konsequenzen die in der Verfassung garantierten Grundrechte im konkreten Einzelfall haben können. Der Staat steht in der Verantwortung dafür, dass minderjährige Kinder genügend Wasser zum Trinken und für die sanitäre Versorgung bekommen.

**Wißler:** *Sollte der Staat Einfluss auf die Wasserpreise nehmen, um zu gewährleisten, dass Wasser für untere Einkommensgruppen bezahlbar bleibt?*

**Laskowski:** Ich denke, wir sollten in der Tat über die Einführung von Sozialtarifen nachdenken. Die

Trinkwasserversorgung gehört in den Bereich der Daseinsvorsorge, die der Staat durch seine Sozialgesetzgebung aktiv unterstützen muss – genauso wie die Energieversorgung. Aufgrund der Armutsentwicklung gibt es in Deutschland bereits Familien, die sich keine ausreichende Heizung mehr leisten können. Der Staat darf den Zugang zu Wasser, Energie und Wohnraum, ebenso wie zu den Bildungseinrichtungen, nicht völlig dem freien Wettbewerb privater Anbieter überlassen.

**Wißler:** Plädieren Sie dafür, dass ausschließlich der Staat für die Wasserversorgung zuständig sein sollte, oder kann eine gerechte Wasserversorgung auch bei einem Nebeneinander von öffentlich-rechtlichen und privaten Anbietern gewährleistet sein? Ein staatliches Monopol ist ja noch keine Garantie für Verteilungsgerechtigkeit ...



Abb. 2: Begrüßungszeremonie auf dem UN-Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg 2002. UN Photo/Eskinder Debebe.

**Laskowski:** Das ist richtig. Grundsätzlich ist zunächst einmal entscheidend, dass der Staat nicht wie ein privatwirtschaftliches Großunternehmen agieren darf, sondern dem Gemeinwohl verpflichtet ist. Er muss sicherstellen, dass die Menschen auf seinem Hoheitsgebiet – also nicht allein die eigenen Staatsbürgerinnen und Staatsbürger – zu gleichen Anteilen von Leistungen profitieren, die von existenzieller Bedeutung sind. Das bedeutet nicht, dass die Wasserversorgung ausschließlich in der Hand staatlicher Betriebe sein sollte. Der Staat hat allerdings sicherzustellen, dass private Wasser-

versorgungsbetriebe ihre Aufgaben so erfüllen, wie er selbst sie erfüllen müsste. Denn Wasser ist kein Gut, über dessen Verteilung allein der Markt entscheiden darf. Wasser ist eine öffentliche Ressource, die der Allgemeinheit gehört. Sie muss der Allgemeinheit so zur Verfügung gestellt werden, dass niemand von der Versorgung ausgeschlossen wird. Das heißt auch: Private Unternehmen dürfen die Preise nicht beliebig erhöhen; es sollte eine Obergrenze geben. Diese kann der Staat gesetzlich regeln.

**Wißler:** Sollte der Staat nicht aber zugleich eine Subventions- und Preispolitik vermeiden, die keine Anreize zum sparsamen Umgang mit Trinkwasser enthält und Verschwendung fördert?

**Laskowski:** Ja, an diesem Punkt kommt wieder der ökologische Aspekt des Rechts auf Wasser zum Tragen. Der Staat muss die verfügbaren Wasserressourcen schützen und vor Übernutzung bewahren. Diese Pflicht bezieht sich auf die Qualität der Ressourcen, die nicht durch Abwässer in verantwortungsloser Weise verunreinigt werden dürfen; sie bezieht sich aber auch auf die Quantität des verfügbaren Wassers. Dem Recht der Bevölkerung auf ausreichende Mengen sauberen Wassers entspricht auf staatlicher Seite die Pflicht zu einem ökologisch-nachhaltigen Wassermanagement. In Deutschland hat der Bundestag im Jahr 2009 das Wasserhaushaltsgesetz mit dem Ziel erneuert, den Nachhaltigkeitsgrundsatz zu stärken. Auf europäischer Ebene enthält die europäische Wasserrahmenrichtlinie grundlegende Vorschriften zum Schutz der Wasserressourcen.

**Wißler:** Gibt es ein europäisches Land, in dem die Implementierung des Menschenrechts auf Wasser besonders weit fortgeschritten ist?

**Laskowski:** Bei wissenschaftlichen Untersuchungen ist mir die Gesetzgebung in Belgien positiv aufgefallen, und zwar in der Region Flandern. Hier gibt es staatliche Regelungen, die darauf hinauslaufen, dass jeder Einwohnerin und jedem Einwohner eine bestimmte Menge Trinkwasser unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden muss. Diese Menge überschreitet sogar die täglichen 20 Liter, die von der Weltgesundheitsorganisation als Mindestbedarf definiert wurden. So ist in Flandern gewährleistet, dass Privathaushalte nicht von der Wasserversorgung abgehängt werden dürfen – selbst wenn Wasserrechnungen, aus welchen Gründen auch immer, nicht bezahlt wurden.



Abb. 3: Wasserzähler zeigen mit Hilfe eines eingebauten Flügelrads das Volumen der durchgeflossenen Wassermenge an. Das Prinzip wurde schon 1851 in England entwickelt. (Foto: sst)

„WASSER IST EINE ÖFFENTLICHE RESSOURCE, DIE DER ALLGEMEINHEIT GEHÖRT. SIE MUSS DER ALLGEMEINHEIT SO ZUR VERFÜGUNG GESTELLT WERDEN, DASS NIEMAND VON DER VERSORGUNG AUSGESCHLOSSEN WIRD.“

**Wißler:** Die eingangs zitierte Resolution der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2010 fordert die UN-Mitgliedsstaaten dazu auf, in ihren Beziehungen untereinander dafür zu sorgen, dass alle Menschen einen Zugang zu sauberem und bezahlbarem Trinkwasser haben. Wirtschaftlich starke Länder sollen die Entwicklungsländer beim Aufbau einer entsprechenden Wasserversorgung unterstützen. Was kann die Wasserwirtschaft in Deutschland in diesem Zusammenhang leisten?

**Laskowski:** In Hinblick auf die internationale Entwicklungszusammenarbeit ist es ein Vorteil, dass die deutsche Wasserwirtschaft überwiegend öffentlich-rechtlich organisiert ist. Deshalb kann und sollte sie im Rahmen von europäischen und internationalen „Public-Public-Partnerships“ daran mitwirken, dass in Afrika, Asien und Südamerika selbstverwaltete, demokratisch verfasste Systeme der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung entstehen. Die Weitergabe entsprechender Konzepte, aber natürlich auch der Austausch von Technologie und Know-How, sind dabei wichtige Erfolgsfaktoren.

**Wißler:** Seit einiger Zeit sind in der internationalen Politik Tendenzen erkennbar, die auf eine stärkere Betonung nationaler Interessen, ja sogar auf eine gewisse Renationalisierung hinauslaufen. Sind Sie dennoch optimistisch, dass es zu einer Vertiefung und Ausweitung der multilateralen Zusammenarbeit kommt, um das Menschenrecht auf Wasser und auf eine sanitäre Grundversorgung umzusetzen?

**Laskowski:** Ja; denn dies liegt schon im eigenen Interesse der Industrieländer. Wenn es nicht gelingt, die Wasser- und Sanitärversorgung weltweit voranzubringen, und wenn sich die Situation infolge des Klimawandels noch verschärft, wird die Zahl der Umweltflüchtlinge drastisch steigen. Bereits heute haben etwa 2,4 Milliarden Menschen keinen ausreichenden Zugang zu sanitären Anlagen, 1,2 Milliarden werden nicht angemessen mit Trinkwasser versorgt. Die drei UN-Weltgipfel von 1992, 2000 und 2002 haben wesentlich dazu beigetragen, dass die globale Wasserkrise und das Menschenrecht auf Wasser ins Rechtsbewusstsein der Weltgemeinschaft gerückt sind.

Ich denke, man sollte auch die moralische Ausstrahlungskraft, die von internationalen menschenrechtlichen Regelungen ausgeht, nicht unterschätzen. Die Weltgemeinschaft kann zwar nur in begrenztem Umfang Sanktionen gegen Staaten aussprechen, die sich solchen Regelungen entziehen wollen. Aber es hat sich mittlerweile gezeigt, dass internationale Abkommen und Beschlüsse schon aufgrund ihrer moralischen Komponente eine steuernde Wirkung entfalten können.

**Das Interview führte Christian Wißler, Stabsstelle Presse, Marketing und Kommunikation der Universität Bayreuth.**



**PERSPEKTIVEN**

■ FRANZ X. BOGNER  
CHRISTIAN FREMERY

# Lernen an Stationen

DAS THEMA WASSER  
IM SCHULUNTERRICHT

■ Schülerinnen und Schüler untersuchen den Schilfkläranlagen-Zufluss am Jugendwaldheim des Nationalparks Bayerischer Wald.

**W**asser ist in nahezu jedem Lehrplan ein Thema, wir alle wissen, dass es lebensnotwendig ist. Am Lehrstuhl Didaktik der Biologie der Universität Bayreuth wird gegenwärtig vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ein Unterrichtsprojekt innerhalb des Verbundprojekts PRiMaT gefördert. **PRiMaT** steht für **Präventives Risikomanagement in der Trinkwasserversorgung**. Das Forschungsprojekt bringt hauptsächlich Chemiker und Wasseringenieure zusammen, wie der Projekttitel schon erahnen lässt: Im BMBF-Verbundprojekt arbeiten 18 Partner aus Wasserversorgung, Industrie und Forschung zusammen. Die Koordination des Gesamtprojekts liegt in den Händen des Technologiezentrums WASSER (TZW) in Karlsruhe. Man wollte jedoch diesmal explizit die Öffentlichkeitsarbeit einbezogen haben. Professor Franz Bogner: „Das Thema Wasser ist auch in Forschungskreisen nicht mehr ausschließlich ein chemisch-analytisches. Ohne ein konsequentes Einbeziehen der Öffentlichkeit – die ja schließlich auch all die Millionen Forschungsgelder zur Verfügung stellt – kommt man nicht an das gewünschte Endziel, Trinkwasser als wertvollstes Lebensmittel zu schätzen und zu schützen“.

Die Aufgabe des Bayreuther Z-MNU (Zentrum zur Förderung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts) und des Lehrstuhls der Didaktik der Biologie liegt denn auch in der Expertise der Risikokommunikation und einer konsequenten schulischen Umsetzung: Es gilt, einen disziplinübergreifenden und interaktiven Ansatz für eine Kommunikation zwischen den relevanten Akteuren und der Öffentlichkeit zu schaffen. Ein wichtiger Teil des PRiMaT-Projektes ist daher die Schulbildung, die im Rahmen einer Promotionsstudie umgesetzt wird:



**Abb. 1: Lernen an Stationen:**  
Schülerinnen studieren  
Materialien zum Wasserkreislauf.

In Kooperation mit ausgewählten Partnern des PRiMaT-Projekts werden Lehrer/-innen und Schüler/-innen eingebunden und zum Unterricht an außerschulische Lernorte eingeladen. Ein Unterrichtsbeispiel ist das Projekt „Trinkwasser“ im Jugendwaldheim Wessely-Haus des Nationalparks Bayerischer Wald, das für den fächerübergreifenden Unterricht in den MINT-Fächern ausgelegt ist. Die Zielgruppe betrifft die 9. bis 11. Jahrgangsstufe, wobei der prinzipielle Ablauf für jede Jahrgangsstufe identisch ist. Da das Lernen an Stationen in den höheren Jahrgangsstufen schon bekannt ist, bedarf es nur einer kurzen Erläuterungsphase, bevor die Schüler/-innen einen ca. 2-stündigen Lernzirkel mit 9 Stationen bearbeiten. Der Zirkel ist so aufgebaut, dass man bei jeder Station einsteigen kann. Die jeweilige Gruppengröße pro Station sollte 4 bis 5 Schüler/-innen nicht überschreiten, um ein optimales Arbeiten und Lernen zu gewährleisten.

## AUTOREN



### Prof. Dr. Franz X. Bogner

leitet seit 2004 den Lehrstuhl für Didaktik der Biologie an der Universität Bayreuth. Zugleich ist er hier Direktor des Zentrums zur Förderung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts (Z-MNU). Diverse Forschungsaufenthalte führten ihn in den letzten Jahren immer wieder ins Ausland. Schwerpunkte in der Forschung sind derzeit die Koordination des 25 Partner umfassenden EU-Projekts PATHWAY, sowie die Zusammenarbeit in drei weiteren parallelen EU-Projekten und im PRiMaT-Projekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

### Christian Fremerey M. Sc.

absolvierte an der Universität Bayreuth den MINT-Modellstudiengang Biologie/Chemie für das Lehramt an Gymnasien. Er gehörte zum ersten Jahrgang dieses innovativen Bachelor-Master-Studiengangs. Seit seinem Staatsexamen arbeitet er als Doktorand des Lehrstuhls im PRiMaT-Projekt.



Abb. 2: Gleich geht es los: Christian Fremerey erläutert, was es mit dem Lernzirkel Trinkwasser auf sich hat.

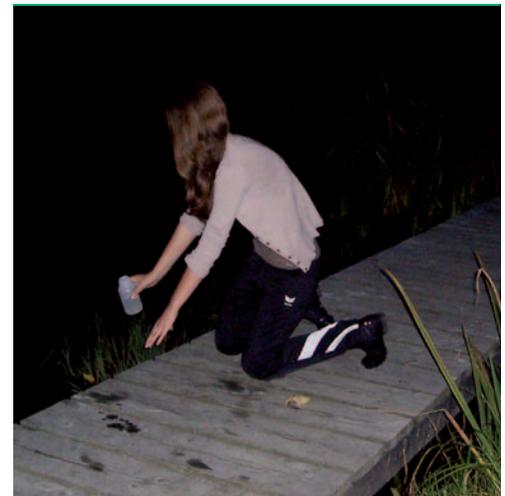
Alle Schüler/-innen bearbeiten in einem individuellen Arbeitsheft ihre Arbeitsaufträge. Für die Stationen stehen nämlich immer mehr Informationen zur Verfügung als für die Beantwortung der Fragen benötigt werden. Einerseits sollen Schüler/-innen angeleitet werden, aus einer Fülle von Informationen die für sie wichtigen Details herauszuziehen, andererseits können schnellere oder besonders interessierte Schüler/-innen tiefer in die jeweilige Materie einsteigen. Pro Station sind in der Regel 15 Minuten Bearbeitungszeit festgelegt, danach wird gewechselt. Innerhalb des Lernzirkels lernen die Schüler/-innen verschiedene Dinge zum Thema „Trinkwasser“. Es gibt Stationen zum Vorkommen, dem Wasserkreislauf, der Gewinnung, der Nutzung, der Aufreinigung, potentiellen Gefahren des Wassers sowie der Nachhaltigkeit. Innerhalb der Stationen variiert auch die Darbietung des zu lernenden Stoffes. Es gibt text- und grafikbasierende Stationen, Stationen mit Lehrfilmen, Informationsbroschüren und/oder kleineren Experimenten.

Abb. 3 (rechts): Entnahme einer Wasserprobe am Löschwasserteich.

Um ein konkretes Unterrichtsbeispiel zu nennen, wären die fünf verschiedenen Trinkwasserarten gut geeignet: Dabei gilt es, Unterschiede und/oder Gemeinsamkeiten von Leitungswasser, natürlichem Mineralwasser, natürlichem Heilwasser, Quellwasser und Tafelwasser zu erfassen. Gleichzeitig stehen Informationsfilme von ARD und NDR über den Geschmack der verschiedenen Wässer zur Verfügung, ebenso ein Film der Sendung „Wissen vor 8“. Bei allen Beiträgen geht es darum, dass Wasser

nicht gleich Wasser ist. Nicht nur im ökologischen Fußabdruck und den Kosten, sondern auch im Geschmack ist Trinkwasser zu unterscheiden: Schüler/-innen können durch verschiedene Kostproben die Unterschiede schmecken. Sie können sich im Selbstversuch davon überzeugen, dass es nahezu keinen Geschmacksunterschied bei stillem Mineral-, Quell-, Tafel- oder Leitungswasser gibt.

Nach Abschluss des Lernzirkels folgt eine Begehung der hauseigenen biologischen Schilfkläranlage mit Begutachtung des Zu- und Ablaufs. Dadurch wird vor allem die Leistung der Bodenschichten als natürlicher Filter deutlich. Nach der gut halbstündigen Besichtigung führen die Schüler/-innen gezielt ausgewählte Wasserexperimente durch. Diese beinhalten zunächst Wasseruntersuchungen verschiedener Rohwasserproben mit einfachen visuellen und titrimetrischen Testverfahren auf Parameter, die auch für die Trinkwasseranalyse wichtig sind. Weiter werden Experimente zur Wasseraufreinigung durch verschiedene Verfahren durchgeführt. Unter anderem wird noch einmal die Reinigungskraft des Bodens verdeutlicht und dabei der Nachhaltigkeitsgedanke gefestigt, dass es wichtig ist, diesen nicht zu sehr zu belasten und zu verschmutzen.



Lernen zum Thema Wasser kann also sehr aufschlussreich sein und einem viele Zusammenhänge eröffnen, die nicht im Schulbuch stehen. Lernen in einem forschend-entdeckenden Ansatz hilft außerdem leichter zu lernen, spielend zu lernen, mit Spaß zu lernen und weniger zu vergessen. Das Thema Wasser ist ein oft vernachlässigtes Thema, es hat diesen Zugang mehr als verdient.

Das „Zukunftsforum: Wissenschaft – Kultur – Gesellschaft“ wurde 2008 gegründet, um zukunftssträchtige Themen im Gespräch zwischen Wissenschaft, Kultur, Technik, Wirtschaft und Politik zu reflektieren. Das Forum führt natur- und geisteswissenschaftliche Herangehensweisen zusammen und verknüpft sie mit zentralen Zukunftsfragen der Gesellschaft.

## Symposium

Wasser ist das Lebensmittel Nr. 1 und steht zunehmend im Spannungsfeld von Politik, Recht und wirtschaftlichen Interessen. Das Symposium will Lösungen aufzeigen für einen sinnvollen Umgang mit Wasser im globalen Wandel. Ausrichter ist das Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung.



Es berichten und diskutieren dazu Expertinnen und Experten aus den Bereichen Wasser und Politik, Wasser in Entwicklungsländern und Wassertechnik. Studierende führen die Besucher des Forums auf eine Entdeckungsreise zum Thema „Virtuelles Wasser“. **Trinkwasserproben** können zur kostenlosen Analyse mitgebracht werden, Wassermusik und eine Performance am See runden das Symposium ab.

## Preisverleihung

Im Anschluss an das Symposium wird der Wilhelmine-von-Bayreuth-Preis 2012 an **Prof. Dr. Klaus Töpfer** verliehen. Seine Vita steht für die Verknüpfung von Umweltpolitik, Einsatz für Ressourcenschonung und Engagement für Toleranz und Humanität in kultureller Vielfalt.

## Termin

**16. November 2012**  
Beginn Symposium 10.00 Uhr  
Beginn Preisverleihung 18.00 Uhr  
(Einlass 17.30 Uhr)

## Veranstaltungsorte

**Audimax Universität Bayreuth und  
Ökologisch-Botanischer Garten**

## Partner/Veranstalter:



Design gesponsort von **OPUS**

- 10.00 ● **Eröffnung des Zukunftsforums 2012**  
Prof. Dr. Hans-Werner Schmidt  
Vizepräsident der Universität Bayreuth  
  
Brigitte Merk-Erbe,  
Oberbürgermeisterin der Stadt Bayreuth  
  
Musik aus Luft und Wasser  
Ensemble Liquid Soul, Berlin
- 10.30 ● **Wasser und Politik:  
Das Menschenrecht auf Wasser**  
Prof. Dr. Silke R. Laskowski, Universität Kassel
- 11.15 ● **Virtuelles Wasser - eine Entdeckungsreise**  
Studierende Global Change Ecology im  
Elitenetzwerk Bayern  
  
Einführung im Audimax, anschließend  
geführte Touren im Ökologisch-  
Botanischen Garten ÖBG  
  
**Mittagessen im Gewächshaus des ÖBG**  
(Selbstkostenpreis)
- 14.00 ● **Wasser in Entwicklungsländern:  
Herausforderungen im Management**  
Dr. Ines Dombrowsky,  
Deutsches Institut für Entwicklungspolitik, Bonn
- 14.45 ● **Wasser und Technik:  
Angepasste Technologien für Wasser unter  
globalen, nachhaltigen Aspekten**  
Dr. E.h. Hans G. Huber,  
Huber SE in Berching, Oberpfalz
- 15.30 ● **Kaffeepause**
- 16.00 ● **Wasser in der Welt von Morgen  
Podiumsdiskussion mit**  
- Dr. Ines Dombrowsky  
- Dr. E.h. Hans G. Huber  
- Prof. Dr. Silke R. Laskowski  
- Prof. Ulrich Reinhardt,  
BAT Stiftung für Zukunftsfragen  
- Studierende Global Change Ecology  
- Prof. Dr. Klaus Töpfer  
  
Moderation: Bernhard Borgeest, Focus
- 17.00 ● **S/IE haben die Wahl  
Performance am See**  
Franz Pröbster Kunzel  
See am Audimax
- 18.00 ● **Festakt zur Verleihung des Wilhelmine-  
von-Bayreuth-Preises der Stadt Bayreuth  
an Prof. Dr. Klaus Töpfer**  
  
**Begrüßung**  
Oberbürgermeisterin Brigitte Merk-Erbe  
Prof. Dr. Rüdiger Bormann, Präsident UBT  
  
**Laudatio:** Dirk Steffens, ZDF  
  
**Preisverleihung  
Vortrag des Preisträgers**  
  
**Rahmenprogramm:**  
kontrast - Bayreuther Filmfest e. V.  
Ensemble Liquid Soul  
Helga Haberkern-Tietz, Studiobühne Bayreuth
- **Anschließend: Empfang**  
Auf Einladung der Stiftung für Zukunfts-  
fragen – eine Initiative der British  
American Tobacco

# Wasser im globalen Wandel

Zukunftsforum: Wissenschaft – Kultur – Gesellschaft

**16. November 2012**  
**(Audimax Uni Bayreuth)**

**10 Uhr** **Öffentliches Symposium**  
mit Experten aus Wissenschaft, Entwicklungspolitik  
und Technik  
**Entdeckungsreise „Virtuelles Wasser“**  
**Kostenlose Trinkwasseranalysen**

**18 Uhr** **Verleihung Wilhelmine-von-Bayreuth-Preis**  
Preisträger: Prof. Dr. Klaus Töpfer  
Laudator: Dirk Steffens, ZDF  
  
Perspektivenwechsel:  
Wassermusik - Performance  
am See - Kurzfilm Wasser

ZUKUNFTS  
**FORUM**  
WISSENSCHAFT · KULTUR · GESELLSCHAFT

**BAYREUTH**

UNIVERSITÄT  
BAYREUTH

STIFTUNG FÜR ZUKUNFTSFRAGEN  
EINE INITIATIVE VON BRITISH AMERICAN TOBACCO

Der Eintritt ist frei - um  
Anmeldung wird gebeten



**Bayceer**

Bayreuther Zentrum für  
Ökologie und Umweltforschung

