

# ETH GLOBE

Das Magazin der ETH Zürich, Nr. 4/Dezember 2011

## Wasser das kostbare Gut

FC Basel  
Ernährungstipps vom Profi

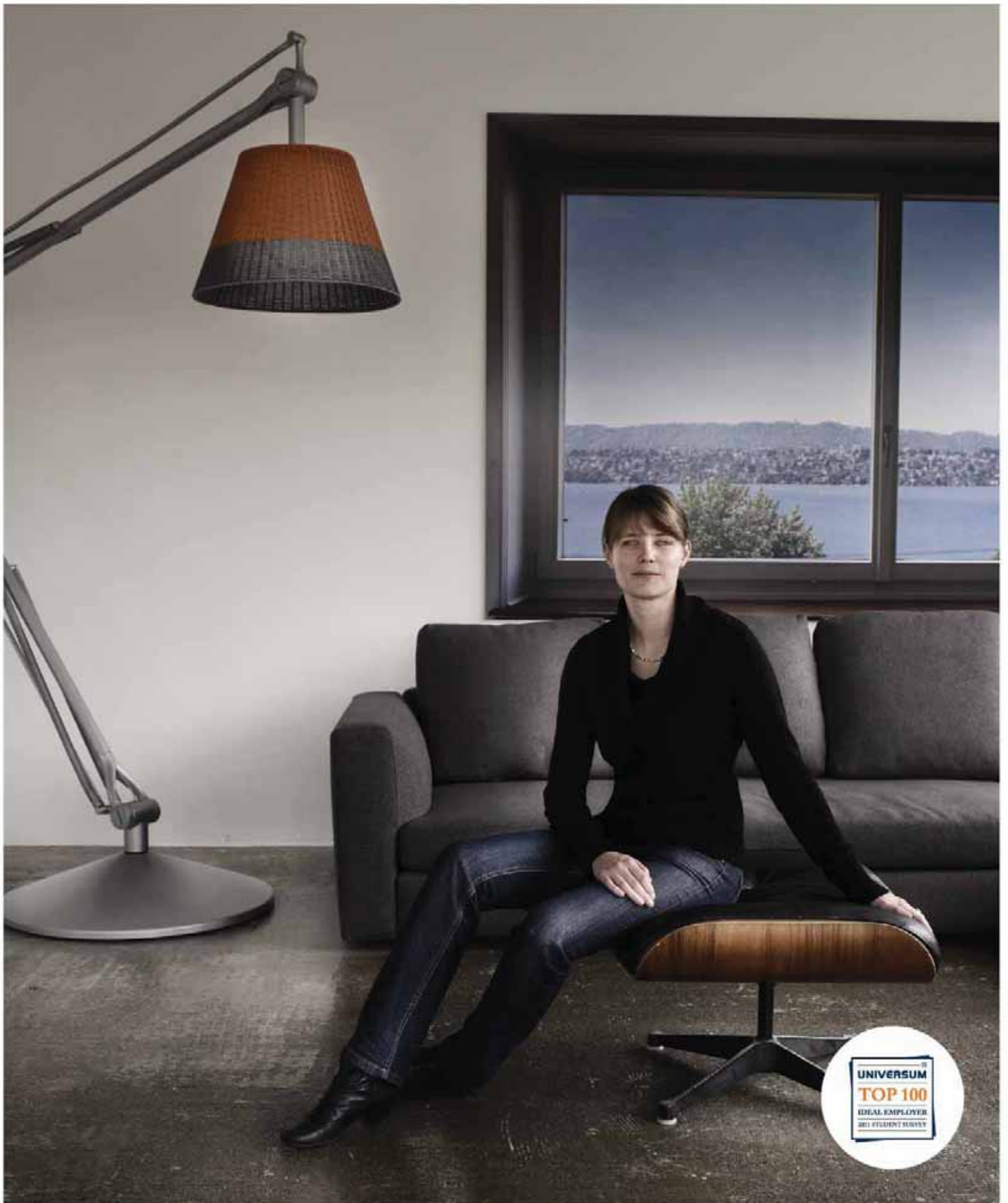
Im Porträt  
Der Herr der Schwarzen Löcher

Widerstand zwecklos  
Das Jubiläum des Supraleiters



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Open Systems gehört mit seinen Mission Control Security Services im Bereich IT-Sicherheit zu den europaweit anerkannten Anbietern. Wir arbeiten von Zürich und Sydney aus in einem dynamischen Umfeld in über 150 Ländern. Bei uns kannst Du Dein Wissen in einem jungen Team in die Praxis umsetzen und rasch Verantwortung übernehmen. Infos über Einstiegs- und Karriereöglichkeiten sowie Videos findest Du auf unserer Website. [www.open.ch](http://www.open.ch)

# Liebe Leserin, lieber Leser



Ralph Eichler, Präsident der ETH Zürich  
(Bild: Giulia Marthaler)

**E**s sprudelt, gurgelt, spritzt, rauscht und fliesst. Wasser präsentiert sich in unzähligen Formen, Farben und Tönen. Vom nassen Gut gibt es auf der Erde im Ganzen genug, trotzdem ist es an vielen Orten Mangelware. Hauptsächlich fehlt sauberes Trinkwasser, ein elementares humanes Bedürfnis. Unermüdlich arbeitet die Natur im Kreislauf: Wasser in grossen Mengen, vor allem auf der Oberfläche von Ozeanen, verdunstet durch Sonneneinstrahlung, der leichte Wasserdampf steigt auf in kältere Luftschichten und kondensiert dort zu Wolken. Der Wind bläst die feuchte Luft aufs Festland, wo aus gesättigten Wolken Regen, Schnee oder Hagel fällt. Über Grundwasserfluss, Quellen und Flüsse fliesst das Wasser zurück ins Meer. Dabei nutzt es der Mensch ausser zum Trinken und Kochen für seine zivilisatorischen Errungenschaften: Speicherseen in den Bergen zur Energiespeicherung und Elektrizitätsgewinnung, die breiten Flüsse als Transportwege, Kühlwasser für Wärmemaschinen, Warmwasser zum Heizen oder Duschen und Kaltwasser für zahlreiche weitere Anwendungen. Wasser ist existenziell für die Lebewesen und ihr Wachstum, läuft doch die eigentliche Biologie in  $H_2O$  ab. Ein Knackpunkt übrigens für Physiker, die für ihre Experimente das Vakuum bevorzugen. Wasser ist auch wichtigstes Lebensmittel für Mensch und Tier, eine Art Lebenselixier. Doch 800 Millionen Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser, betroffen davon ist jeder neunte Erdenbürger. Probleme betreffend Wasserverschmutzung tauchen auf, wenn Industrie- und Zivilisationsabfälle verunreinigt entsorgt werden. Aber auch auf natürliche Weise, wenn giftige Stoffe aus Gesteinen ausgewaschen und von Flüssen weitertransportiert werden. Beispielsweise lässt sich Arsen aus dem Himalaya im Grundwasser des bevölkerungsreichen Staats Bangladesch nachweisen. Technologien und Kulturen berühren sich

stark und bedingen einen gesellschaftlichen Dialog, dies gilt für Entwicklungsländer wie auch Industriestaaten. Die Forschung kann bei der Wassernutzung in all ihren Formen echte Fortschritte bringen. So suchen Wissenschaftler nach trockenheitstoleranteren Nutzpflanzen, die ebenfalls unter veränderten Umweltbedingungen infolge des Klimawandels gute Erträge liefern. Die ETH Zürich arbeitet an vielen Projekten zur Wasserproblematik in verschiedenen Weltregionen. Profitieren davon können Dorfbewohner in Benin, chinesische Bauern, Fischer am Sambesi, aber auch Schweizer Fussballer. Das zeigen die mannigfaltigen Beiträge in dieser Ausgabe des ETH GLOBE, bei deren Lektüre ich Ihnen viele wasserreiche Einsichten wünsche.

Ralph Eichler  
Präsident der ETH Zürich

## 3 Editorial

Blitzlicht

### 6 Luft ablassen

Mithilfe eines Modells optimieren ETH-Forscher den Wirkungsgrad von Pumpspeicherkraftwerken.

Am Puls

### 8 Der Ernährungsprofi des FC Basel



ETH-Forscher Paolo Colombani gehört seit neuestem zum Team des FC Basel. Dort macht er Shaqiri, Streller und Co. sportphysiologisch beine.

Kompakt

### 13 Nachrichten aus der ETH

#### IMPRESSUM

Herausgeber: ETH Zürich. Redaktion: Hochschulkommunikation, Thomas Langholz (Leitung), Martina Märki, Christine Heidemann. Mitarbeit: Lukas Denzler, Lars Gubler, Florian Meyer, Bernd Müller, Catarina Pietschmann, Peter Rüegg, Philipp Theisoohn, Alice Werner, Klaus Wilhelm, Felix Würsten. Fotos: Titelbild: Crafft. Inserate: Gol Uni-Werbung, St. Gallen, Tel. 071 244 10 10, E-Mail info@go-uni.com. Gestaltung: Crafft Kommunikation AG, Zürich. Korrektorat und Druck: Swissprinters Zürich AG. Auflage: 23000, erscheint viermal jährlich. Weitere Infos und Kontakt: [www.ethz.ch/ethglobe](http://www.ethz.ch/ethglobe), [ethglobe@hk.ethz.ch](mailto:ethglobe@hk.ethz.ch), Tel. 044 632 42 52. ISSN 1661-9323. Adressänderungen an [ethglobe@hk.ethz.ch](mailto:ethglobe@hk.ethz.ch)



ETH Globe wird klimaneutral gedruckt mit myclimate.

## Fokus: Wasser – das kostbare Gut

### 14 Unser Durst nach Wasser

Wie viel Wasser verbraucht der Mensch – und wofür? Die Statistiken zeigen: Wasser ist die Grundlage der Welternährung.

### 16 Planungshilfe für China

Im chinesischen Yanqi-Becken können die Verantwortlichen die potenziellen Auswirkungen wasserwirtschaftlicher Eingriffe mithilfe eines ETH-Computermodells testen.

### 18 Vorbild Sambesi



Wie bei anderen grossen Flüssen zeichnen sich auch beim Sambesi Nutzungskonflikte ab. Doch die Zeichen stehen günstig für eine einvernehmliche Lösung.

### 21 Wasser-Fakten

Sauberes Wasser für alle ist längst nicht selbstverständlich.

### 22 Beim Trinkwasser ist nicht alles klar

Welchen Effekt hat der Bau von öffentlichen Brunnen oder Wasserpumpen in Entwicklungsländern wirklich? Forscher der ETH und der FU Amsterdam haben es in Benin untersucht.

### 24 Pflanzen am Limit

Was Nutzpflanzen dürreresistenter macht. Ein Blick in die Labore der Agrarwissenschaftler.

## 27 Wasser-Fakten

In vielen Produkten steckt mehr Wasser, als wir denken.

## 28 Konfliktstoff Wasser



Die Weltbevölkerung wächst beständig – und mit ihr die Nachfrage nach der begrenzten Ressource Wasser. Doch steigt damit auch die Kriegsgefahr? Politikwissenschaftler Thomas Bernauer gibt Antwort.

## 31 Dialog statt Alleingang

UNEP-Experte Anjan Datta erklärt, warum es so wichtig ist, die Bevölkerung in die Wasserplanung mit einzubeziehen.

## 32 Wasser-Fakten

Wo Wasser künftig Mangelware wird.

## 33 Ab drei Grad wird's kritisch



Als Folge des Klimawandels wird auch das Produktionsrisiko in der hiesigen Landwirtschaft grösser. Wissenschaftler der ETH Zürich und der Forschungsanstalt Agroscope stellen sich den Herausforderungen.

---

Kompakt

## 36 Nachrichten aus der ETH

---

ETH Aktuell

## 38 DEZA-Jubiläum

Die Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit feierte kürzlich ihr 50-jähriges. Mit der ETH verbindet sie eine langjährige Partnerschaft.

---

Serie

## 40 Naturstoffe: Faszination, Vorbild und Herausforderung

---

Profil

## 42 Der Mathematiker Demetrios Christodoulou

---

Nachgefragt

## 45 Was Berufsoffiziere an der ETH lernen

---

ETH Zürich Foundation

## 46 Stiftungen als ein Motor des Fortschritts

---

Historie

## 48 Das Jubiläum des Supraleiters

---

Kolumne

## 50 Theisoohns Welt



Mit dieser Anlage wird der Luftwiderstand in der neuen Zentrale des Kraftwerks Horgen-Lötsch simuliert. Rechts im Bild sind die beiden Dampfer zu sehen. Wenn das Wasser durch den Kanal zu den Pumpen fließt, entweichen die Luftblasen nach und nach. (Bild: Andreas Schlumpf, ETH Zürich)

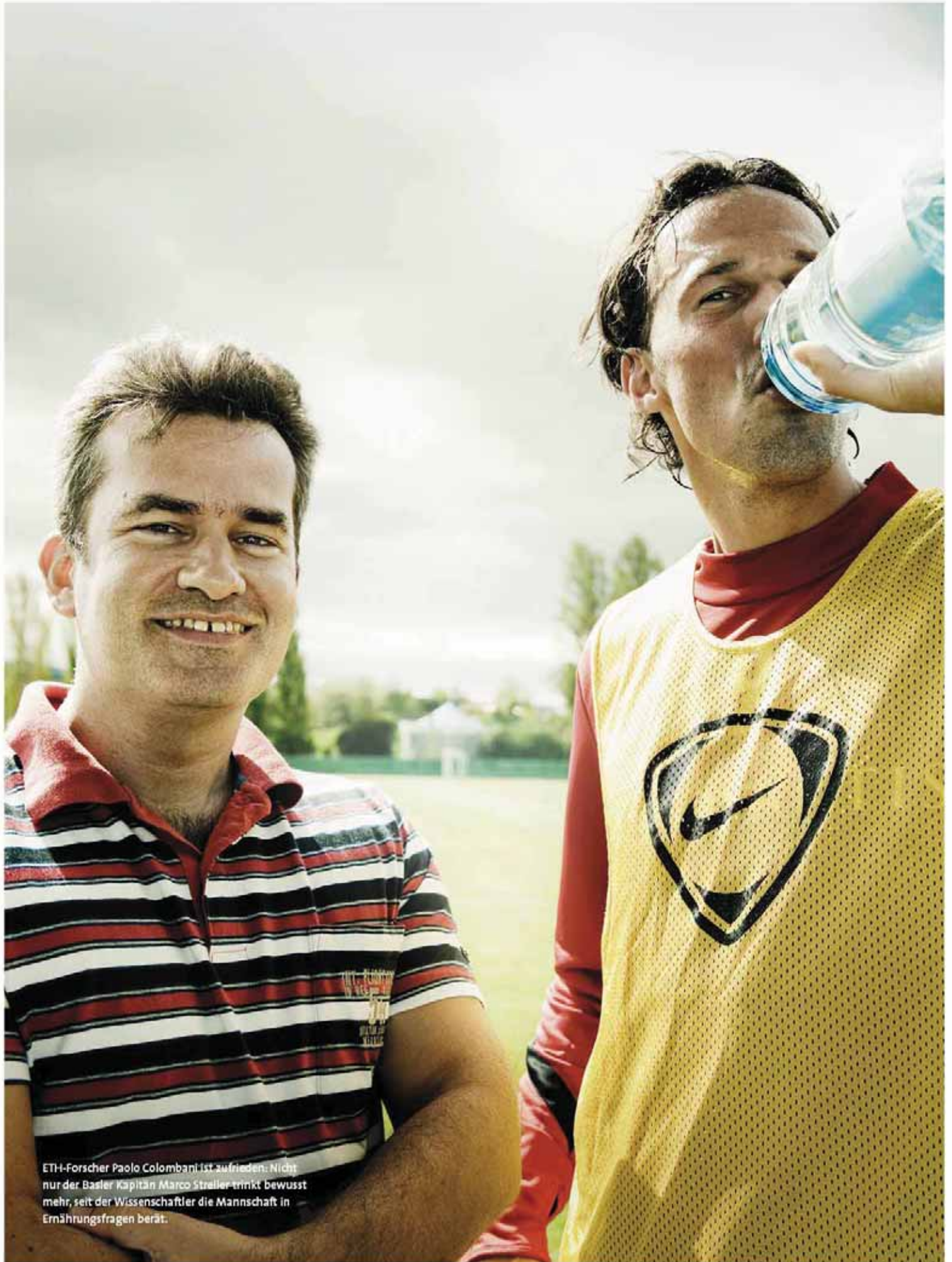


## Luft ablassen

Mit Pumpspeicherkraftwerken lässt sich überschüssiger Strom effizient speichern und bei Bedarf wieder zurückgewinnen. Da in den kommenden Jahren immer mehr «unregelmässig» anfallender Solar- und Windstrom produziert werden wird, werden solche Kraftwerke für die Stromwirtschaft immer wichtiger. Deshalb wird auch das Pumpspeicherkraftwerk Hongrin-Léman im Schweizer Kanton Waadt ausgebaut. Es nutzt den Stausee Lac de l'Hongrin als oberen und den Genfersee als unteren Speicher. Die neue Kraftwerkszentrale wird im sogenannten hydraulischen Kurzschluss betrieben: Wenn im Netz nicht genügend überschüssiger Strom für den Betrieb der Pumpen vorhanden ist, wird die fehlende Energie mit den Turbinen erzeugt. Dadurch lässt sich das Kraftwerk sehr flexibel betreiben. Damit die Pumpen ihren optimalen Wirkungsgrad erreichen können, darf jedoch keine Luft ins Wasser gelangen. Doch genau das passiert beim «Turbinieren». Die Anlage muss daher so gebaut werden, dass die Luft komplett entweichen kann, bevor das Wasser hochgepumpt wird.

Wie eine solche Kraftwerkszentrale aussehen könnte, untersuchen zurzeit Wissenschaftler an der ETH-Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW). Dazu haben sie ein Detailmodell im Massstab 1:8,78 aus PVC und Acrylglas gebaut, das im Oktober 2011 in Betrieb genommen wurde. Durch die transparente Bauweise können die Forscher von aussen genau beobachten, wie die Luft in den beiden Turbinen ins Wasser gelangt und später im Kanal nach und nach wieder entweicht.

→ [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)



ETH-Forscher Paolo Colombani ist zufrieden: Nicht nur der Basler Kapitän Marco Streller trinkt bewusst mehr, seit der Wissenschaftler die Mannschaft in Ernährungsfragen berät.



# Der Ernährungsprofi des FC Basel

Paolo Colombani, ETH-Ernährungswissenschaftler und Experte in Sachen Sporternährung, gehört seit neuestem zum Team des amtierenden Schweizer Fussballmeisters FC Basel. Dort macht er Shaqiri, Streller und Co. sportphysiologisch Beine – indem er unter anderem dafür sorgt, dass die Kicker «richtig» essen und trinken.

Text: Christine Heidemann, Fotos: Roland Tännler

Der Platz liegt etwas versteckt, einige hundert Meter vom Stadion St. Jakob-Park entfernt, das von den Baslern liebevoll «Joggeli» genannt wird. Schon von weitem hört man Anfeuerungsrufe; es wird abwechselnd geflucht und gejubelt. Ab und an lugt ein Ball hinter der den Platz umzäunenden Hecke hervor. Kein Zweifel, hier sind Fussballer in Aktion. Genauer gesagt, die erste Mannschaft des amtierenden Schweizer Fussballmeisters FC Basel.

Wer das Trainingsgrün betritt, stolpert als Erstes über zahlreiche Mountainbikes. Zum Warmmachen radeln die Spieler von den Umkleidekabinen auf den Platz, weiss Paolo Colombani, der sogleich von Trainer Heiko Vogel begrüsst wird. Auch zwei Spieler nutzen die kurze Unterbrechung, um dem ETH-Wissenschaftler die Hand zu geben.

Seit Mai dieses Jahres gehört Paolo Colombani quasi zum Team. Der 43-jährige Ernährungswissenschaftler und Mitbegründer des «Swiss Forum for Sport Nutrition» an der ETH Zürich hat sich spätestens seit seinem Bestseller «Fette Irrtümer», in dem er mit gängigen Ernährungsmythen aufräumt, einen Namen gemacht. Über die von Colombani angebotenen Weiterbildungen in Sporternährung wurde auch einer der Sportärzte des FC Basel auf den ETH-Wissenschaftler aufmerksam.

«Wir haben uns generell Gedanken darüber gemacht, wie wir die Leistung unserer Spieler noch optimieren können. Und da sind wir sehr schnell auf das Thema Ernährung gekommen

und mussten feststellen, dass wir darüber nicht optimal Bescheid wissen», erinnert sich Trainer Heiko Vogel an jenes Teammeeting, bei dem der Name «Paolo Colombani» das erste Mal fiel.

## Die Chemie stimmt

Am Anfang, gibt er schmunzelnd zu, habe man zwar ein wenig Bedenken gehabt, da Paolo, wie ihn hier alle nennen, aus Zürich komme und zu Jugendzeiten beim langjährigen Rivalen FC Zürich kickte. Aber nach dem ersten Gespräch war schnell klar: Die Chemie stimmt. «Seither geht es steil bergauf», sagt Vogel. Unter anderem dank verbesserter Sportgetränke, die die Kicker vor, während und nach einem Training und Spiel zu sich nehmen. Und dank eines optimierten Timing: wann genau was und wie viel verabreicht wird. Bei beidem gab es «room for improvement», wie Paolo Colombani es ausdrückt.

«Es gibt nicht das eine Getränk für alle und für jede Situation.» Ein 60 Kilogramm leichter Spieler braucht nicht die gleiche Menge an Nährstoffen wie ein 90 Kilogramm schwerer Spieler und auch das Timing der Einnahme muss nicht für alle identisch sein. Ausserdem entsprach eines der eingesetzten Sportgetränke noch nicht den neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen. «Ich habe daher den Getränkehersteller dazu angeregt, die Zusammensetzung des Sportdrinks zu optimieren», berichtet Colombani. Ein Prototyp des neuen

Getränks ist inzwischen produziert und wird gerade getestet.

Den offenbaren Erfolg von Colombanis Arbeit bestätigt neben dem Trainer auch Mannschaftskapitän Marco Streller: «Es wird eindeutig mehr getrunken, seit Paolo hier ist.» Besonders beeindruckt hätten die Mannschaft die Vorträge des ETH-Wissenschaftlers während des Trainingslagers im bayerischen Rottach-Egern im Juni dieses Jahres. Dort informierte der Ernährungsexperte die Spieler darüber, wie wichtig es ist, sich vor allem vor und während eines Spiels richtig zu ernähren.

So sei erwiesen, dass die Leistung im Fussballspiel nicht nur gegen Ende des Spiels, sondern auch zu Beginn der zweiten Halbzeit niedriger ist. Die Grundidee einer gezielten Ernährung und sportphysiologischen Vorbereitung sei es daher, diesem Leistungseinbruch entgegenzuwirken. Wie er das genau erreichen will, verrät Colombani allerdings nicht: «Man muss ja nicht unbedingt alle Trümpfe bekannt geben», sagt er mit einem Augenzwinkern.

Kein Geheimnis macht der Wissenschaftler jedoch daraus, wie er die Energiespeicher der Spieler nach einer Partie so schnell wie möglich wieder auffüllt – nämlich mit einem speziellen Kohlenhydrat-Eiweiss-Regenerationsgetränk. Das stammt vom offiziellen Partner des FC Basel in Sachen Sportgetränke und wurde von Paolo Colombani bereits vor gut zehn Jahren an der ETH in einem von seinen Forschungsprojekten untersucht. Die bewusste

Regeneration gelte vor allem für die sogenannten «Englischen Wochen», in denen die Kicker innerhalb von sieben Tagen bis zu drei Spiele absolvieren müssen. «Das geht an die Substanz, insbesondere wenn in der Mitte der Woche ein Champions-League-Spiel ansteht». Um den Spielern zu demonstrieren, wie viel Flüssigkeit sie bei einer Partie verlieren, bestimmte der Ernährungsexperte zusammen mit den Physiotherapeuten deren individuellen Flüssigkeitsverlust, indem er sie vor und nach einem Spiel auf die Waage stellte. «Das war gerade für die jüngeren Spieler, die das noch nie gemacht hatten, sehr interessant», sagt Kapitän Marco Streller.

#### Wissenschaft war im Fussball lange tabu

Fussball und Wissenschaft – das war selbst im internationalen Spitzensport lange keine gängige Verbindung. Während Schwimmer, Eisschnellläufer, Bob- oder Rennfahrer früh den Beistand von Forschern suchten, setzten Fussballtrainer und -betreuer weiterhin auf altbewährte Methoden, nach denen die meisten von ihnen einst selbst trainiert worden sind. «Ich habe vor zehn Jahren auch noch nicht daran gedacht, dass ich mal auf solche Dinge achte», gesteht Basels Coach Heiko Vogel. Fitness- und Mentaltrainer etwa, die in anderen Sportarten längst zum Trainingsalltag gehörten, sind lange Zeit als Schnickschnack abgetan worden, der im Traditionssport Fussball nichts zu suchen hat. Doch im ständig wachsenden, auch wirtschaftlichen Wettkampf der Vereine kann heutzutage fast nur noch beste-

hen, wer mit wissenschaftlichen Methoden das Optimum aus seinem Team herausholt, ist auch Vogel überzeugt. «Wir wollen ja heutzutage einen möglichst kompletten Profi. Und der sollte die Möglichkeiten, die ihm eine Leistungssteigerung bringen, auch nutzen. Im legalen Bereich natürlich», betont er. Ausserdem liessen sich vor allem durch eine optimale Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme Verletzungen vermeiden.

Einer der ersten Vereine, die wissenschaftliche Methoden in fast schon unheimlich perfekter Form eingesetzt haben, war der AC Mailand. Dort liefern die Spieler bereits seit Jahren ihre Körper zur Dauerüberwachung aus: «Milanello», das Trainingslager des 18-fachen italienischen Meisters, ist ein Forschungszentrum für Bioanalytik. Nichts bleibt hier dem Zufall überlassen, alle möglichen Körperdaten, egal ob Skelett- oder Gebisszustand, Beweglichkeit der Augen, Blut- und Urinwerte der Spieler werden erfasst. Kein physischer und psychischer Einbruch, keine Kaloriensünde bleibt ohne Datenspur. Sobald die Mailänder Stars im Umkleideraum das Trikot übergezogen haben, beginnt die Aufzeichnung. Fortan laufen sämtliche während ihres Aufenthaltes in Milanello ermittelten Werte per Computer an eine zentrale Datenbank.

#### Mailands Geheimlabor

Dieser Speicher steht im «Milan Lab», einem unterirdischen Labor. Es ist abgeschirmt wie eine Geheimdienstzentrale und das Herz der ganzen Anlage: ein nüchterner, 300 Quadrat-



Ob wie hier beim Training oder im Spiel: Die Kicker des FC Basel haben gelernt, mehr auf ihre Ernährung zu achten. Künftig will das Betreuungsteam mithilfe von ETH-Forscher Paolo Colombani noch mehr auf die individuellen Bedürfnisse der Spieler eingehen – um das Optimum aus jedem einzelnen herauszuholen.





Auf Erfolgskurs – mit wissenschaftlichem Beistand: Der amtierende Schweizer Fussballmeister FC Basel.

meter grosser Raum mit Monitoren und Servern, den ausser der Mannschaft selbst nur ein kleiner Kreis von Wissenschaftlern, Therapeuten und technischen Angestellten betreten darf – allerdings erst, wenn ein Scanner am Eingang den Besucher anhand seines Fingerabdruckes identifiziert hat.

Es ist der Computer, der die Verfassung jedes einzelnen Mailänder Elite-Kickers auf einer Befindlichkeitsskala von 1 bis 10 bewertet. Er ist es auch, der im Zweifelsfall rotes Licht gibt: Spielverbot; Einspruch nicht möglich. Orange bedeutet, dass der Spieler sorgfältig überwacht werden muss. Grün steht für «okay» und Blau für eine optimale Verfassung zwischen 8 und 10 auf der Skala.

#### Der Mittelweg ist das Ziel

Wäre so ein System Orwell in Basel denkbar? «Wenn mir einer ein «Milan Lab» schenken würde, würde ich nicht nein sagen», sagt Heiko Vogel lachend. Doch von einer solchen kostenintensiven Totalüberwachung ist man nicht nur in Basel noch meilenweit entfernt – und strebt sie auch gar nicht an. Der goldene Mittelweg sei das Ziel. Dennoch wollen auch die Basler mit Paolo Colombanis Hilfe noch mehr in Richtung Perfektion gehen, auch wenn dieser Begriff hier eine etwas andere Bedeutung hat als in Mailand.

Einen Fitness- und Mentaltrainer gibt es hier zwar längst auch schon. Ansonsten stehe man aber noch ganz am Anfang, was die Wissenschaft im Basler Fussball angehe. «Wo das hin-

führt, kann ich jetzt noch gar nicht sagen», so Heiko Vogel. Schliesslich sei das auch eine finanzielle Frage. Ganz sicher aber noch zu einer spezifischeren Betreuung jedes einzelnen Kickers.

#### Individuelles Screening

«In einem nächsten Schritt», so Colombani, «wollen wir wie bereits beim Training oder Wiederaufbau nach einer Verletzung auch im Bereich Ernährung verstärkt auf die individuellen Bedürfnisse der Spieler eingehen.» Dies könne mithilfe biomedizinischer Screenings à la Milanello durchgeführt werden. «Aber es gibt simplere und mit grosser Wahrscheinlichkeit gleich effektive Methoden», ist der ETH-Forscher überzeugt.

Dabei interessiert ihn zum Beispiel, ob ein Spieler nach dem Essen bestimmter Lebensmittel mehr oder weniger Hunger hat. Oder wie er bestimmte Nahrungs- oder Zusatzmittel verträgt, wenn er sie vor oder während des Trainings oder Spiels einnimmt.

Doch egal, welche Anpassungen noch auf die Kicker des FC Basel zukommen, Heiko Vogel ist wichtig, dass die Veränderungen nach und nach eingeführt, seine Jungs nicht unnötig überfordert werden. Aber dafür hat der ETH-Fachmann, so scheint es, genau das richtige Gespür: «Ich gehe Schritt für Schritt vor, warte auf ein Feedback, insbesondere der Physiotherapeuten, die meine wichtigsten und absolut zuverlässigen Ansprechpartner in der alltäglichen Umsetzung sind, und gehe dann erst ins Finetuning».

Auch habe er sich am Anfang bewusst im Hintergrund gehalten, seine Tipps ausschliesslich über die Betreuer weitergegeben. Grundsätzlich seien die Spieler aber offen für Veränderungen, sind sich alle Beteiligten einig. Vor allem, wenn sie mitbekämen, dass andere Top-Vereine es genauso machen, und sie die Vorteile an ihrem Körper selbst spürten.

Für Trainer Heiko Vogel hat der Trend in Richtung gläserner Einheitsprofi, die Verwissenschaftlichung des Fussballs jedoch ganz klar seine Grenzen. «Manches dient nur der Show», ist er überzeugt und mahnt, den gesunden Menschenverstand, «das Persönliche» bei aller Taktik und Technik nicht aus den Augen zu verlieren.

Und seien wir doch mal ehrlich: Was wäre ein Fussballspiel ohne geniale Pechvögel, ohne hochnäsige Primadonnen oder zartbesaitete Spielertypen? Ohne Überraschungen und vermeintliche Fehlentscheidungen? Es wäre schlichtweg langweilig. Und womöglich schiesst am Ende gerade der etwas müdere Spieler, der zu wenig getrunken und gegessen hat, das matchentscheidende Tor.

→ [www.ethglobe.ethz.ch/colombani](http://www.ethglobe.ethz.ch/colombani)

## «Live»-Verdauung beobachten

ETH-Forscher haben eine Methode entwickelt, mit der sie im lebenden Organismus Enzyme beobachten können, die Gluten spalten. Dies ist ein wichtiger Schritt zur Entwicklung wirksamer Verdauungsproteine, die gegen Zöliakie eingesetzt werden können.

Zöliakie oder Glutenunverträglichkeit beeinträchtigt den Alltag der Betroffenen



Das zum Beispiel in Weizentrost enthaltene Gluten ist für Zöliakie-Patienten schädlich: Dünndarmzotten einer gesunden Person (unten links) neben denen einer erkrankten. (Bilder: istockphoto und DZG e.V.)

stark. Heute haben sie nur eine Möglichkeit, um die Folgen der Krankheit zu bekämpfen: Sie müssen ihre Ernährung so umstellen, dass sie getreidefrei ist. Ein Ansatz, um die Krankheit dauerhaft zu behandeln, ist die Spaltung des Gluten-Proteins durch geeignete Enzyme.

Entscheidend dabei ist, wie viele Enzyme in welcher Form verabreicht werden müssen, um den Verdauungsprozess zu normalisieren. Um das herauszufinden, haben Jean-Christophe Leroux, Professor für Pharmazeutische Wissenschaften an der ETH Zürich, und sein Doktorand Gregor Fuhrmann ein Modellprotein entwickelt, das sowohl Gluten als auch einen Farbstoff enthält. Letzterer sorgt dafür, dass das Protein zu fluoreszieren beginnt, sobald es verdaut wird. Mithilfe eines bildgebenden Verfahrens konnten die Forscher die Enzymaktivität dadurch «live» verfolgen. Die Methode erlaubt erstmals Aussagen über die Enzymaktivität im Magen-Darm-Trakt und kann so helfen, die therapeutische Effizienz von Enzymen zu steigern. Die Forscher haben zudem ein Polymer entdeckt, welches das Gluten bindet und damit unschädlich macht: Der Polymer-Gluten-Komplex passiert den Verdauungstrakt unverdaut. Erste Versuche bei Mäusen verliefen erfolversprechend.

## 15 000 Besucher an der Scientifica



Wie kann man Wärme in Elektrizität umwandeln? Die Antwort fanden Interessierte auf den Zürcher Wissenschaftstagen. (Bild: Frank Brüderli)

Universität und ETH Zürich führten vom 26. bis 28. August erstmals die Zürcher Wissenschaftstage «Scientifica» durch. Rund 15 000 Besucherinnen und Besucher liessen sich in den Hauptgebäuden der beiden Hochschulen von Wissenschaft begeistern. 250 Forschende gewährten dem Publikum auf anschauliche Weise Einblicke in ihre Arbeiten. Das Angebotsspektrum war breit: Es reichte von Ernährungsfragen bis zu Selbstversuchen zur eigenen Willenskraft. Der Ansturm auf die Chemie-Shows, die Kindervorlesungen und den Roboter-Programmierungskurs war so gross, dass die Angebote ausgebucht waren. Im Scientifica-Zelt auf der Polyterrasse präsentierten Forscher in «Science Slams» auf unterhaltensame Weise ihre Arbeit. Persönlichkeiten wie Bundesrätin Eveline Widmer-Schlumpf oder der Schauspieler Mike Müller im Gespräch mit Wissenschaftlern waren die Highlights der «Science-Talks». Roland Siegwart, Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen der ETH Zürich, zog eine durchweg positive Bilanz: «Es ist der Scientifica gelungen, dass alle von den Begegnungen an den Zürcher Wissenschaftstagen profitieren konnten.»

## ETH hält Position im internationalen Ranking

Das «Times Higher Education Ranking 2011/12» hat der ETH Zürich ein ausgezeichnetes Zeugnis ausgestellt. Im weltweiten Hochschul-Ranking liegt die ETH in diesem Jahr erneut auf Platz 15. Damit ist sie weiterhin die führende Hochschule in Kontinentaleuropa. Seit letztem Jahr basiert die Beurteilung auf 13 statt wie bisher sechs Kriterien. Mit der guten Platzierung werden die Anstrengungen der ETH Zürich in Sachen Internationalisierung, Lehre und Drittmittelbeschaffung gewürdigt.



Die ETH Zürich zeigt sich im Hochschul-Ranking solide. (Bild: ETH Zürich).

## Wussten Sie schon?

Jährlich fallen 110 000 km<sup>3</sup> Regenwasser zur Erde. Den grössten Teil davon benötigen die natürlichen Ökosysteme. Der Mensch verwendet 4500 km<sup>3</sup> des Regenwassers pro Jahr. Allein 70 Prozent dieses Wassers braucht er, um seine Felder zu bewässern. Weitere 18 000 km<sup>3</sup> der jährlichen Niederschlagsmenge tragen teilweise zur Ernährung bei, indem sie Felder, die im Trockenfeldbau bewirtschaftet werden, und Weiden mit Feuchtigkeit versorgen.

**110 000** km<sup>3</sup>/Jahr  
Niederschlag auf die Kontinente

**18 000** km<sup>3</sup>/Jahr

Trockenfeldbau und bewirtschaftete Weiden und Forste

Die vom Mensch genutzten 4500 km<sup>3</sup>/Jahr verteilen sich wie folgt:



**70 %**

**Bewässerung  
Landwirtschaft**

In den letzten 50 Jahren haben sich die künstlich bewässerten Anbauflächen verdreifacht.



**21 %**

**Industrie**

Nach Schätzungen der UNO wird die Industrie bis zum Jahr 2025 weltweit doppelt so viel Wasser verbrauchen wie heute.



**9 %**

**Haushalt**

Im Haushalt werden je nach Weltgegend 30 bis 200 Liter Wasser pro Tag verbraucht, als Trinkwasser 2 bis 5 Liter.

**4500** km<sup>3</sup>/Jahr  
Entnahme durch  
den Menschen

# Kostbares Wasser

Martina Märki

Kaum ein Stoff ist so verbreitet wie Wasser. Wasser gehört zu den ersten und häufigsten Elementen im Universum. Es entstand sehr früh nach dem Urknall, noch bevor sich die «Ursuppe» zu Gestirnen verfestigte, also lange vor der Erde. Und kaum ein Stoff ist so unverzichtbar wie Wasser. Der menschliche Körper besteht zu mehr als der Hälfte – aus Wasser. Es ist für uns gleichbedeutend mit Leben. Doch den wenigsten ist bewusst, was genau das heisst.

Deshalb wird der Fokus dieser Ausgabe von ETH Globe begleitet von Illustrationen, die vor allem eines zeigen: Zahlen und Fakten übers Wasser. Einige der in diesem Fokus präsentierten Statistiken<sup>1</sup> zeigen Überraschendes, zum Beispiel, dass wir viel mehr Wasser brauchen, als uns bewusst ist: Ein Mensch braucht zwei bis fünf Liter Trinkwasser täglich. Doch das ist nur der geringste Teil des Wassers, das wir zum Leben benötigen. Für Haushalt und sanitäre Zwecke verbrauchen wir, je nachdem in welcher Weltgegend wir leben, zwischen 30 und 200 Liter täglich. Insgesamt macht das knapp 10 Prozent des gesamten menschlichen Wasserbedarfs aus. Weitere 20 Prozent verbraucht die Industrie. Der grösste Teil des Wassers, das die Menschen nutzen, nämlich 70 Prozent, geht jedoch in die Landwirtschaft. Dabei steckt in einem Kilogramm Rindfleisch etwa fünf- bis fünfzehnmal soviel Wasser wie in einem Kilogramm Getreide, wenn man die Menge Wasser betrachtet, die nötig ist, um das Rindfleisch oder das Getreide zu erzeugen. Man nennt dies auch virtuelles Wasser. So gesehen steckt auch in einer Tasse Kaffee viel mehr Wasser als nur der Tasseninhalt, nämlich 140 Liter.

Die Statistiken zeigen: Wasser ist die Grundlage der Welternährung. Diese ist zunehmend gefährdet – und zwar nicht nur in extremen Dürregebieten wie derzeit in Somalia. Menschliche Aktivitäten und der Klimawandel führen weltweit zu neuen Problemen. Wasser- und Nahrungsmittelknappheit gehen so letztlich alle an. Auch die Regionen Europas sind direkt oder indirekt mit ihren Folgen konfrontiert.

Schon lange arbeitet die ETH Zürich an Projekten zur Wasserproblematik in den verschiedensten Regionen der Welt, zusammen mit anderen wissenschaftlichen oder entwicklungspolitischen Institutionen und mit lokalen Partnern. ETH Globe zeigt eine kleine Auswahl dieser Projekte – in Asien, in Afrika und in Europa.

<sup>1</sup> Quellen: Wolfgang Kinzelbach: Wird Wasser knapp? (unv. Vortrag). Lars Müller et al.: Wem gehört das Wasser? 2006.

50 000 km<sup>3</sup>/Jahr  
Natürliche Ökosysteme

# Planungshilfe für China

**Ohne Wasser keine Nahrung. Doch Bewässerung ist nicht gleich Bewässerung. Eine gut angepasste Wasserbewirtschaftung ist besonders in trockenen Regionen gefragt. Das zeigt die Situation im Yanqi-Becken. Die Erfahrungen aus einer intensiven Landwirtschaftszone in China kommen auch Studierenden in Zürich zugute.**

Martina Märki

Das Yanqi-Becken liegt in der Provinz Xinjiang im Westen Chinas. Durch Xinjiang führt ein grosser Teil der östlichen Seidenstrasse. Hier leben Uiguren und zahlreiche andere Nationalitäten. In diesem von hohen Gebirgen umgebenen Gebiet wurde das Yanqi-Becken seit Mitte des 20. Jahrhunderts zu einer der landwirtschaftlich produktivsten Regionen der Provinz. Eine Produktivität, die nur mit sehr sorgfältigem Wassermanagement langfristig aufrechterhalten werden kann, erklärt Wolfgang Kinzelbach, Professor für Hydromechanik an der ETH Zürich. Denn schon jetzt droht ein schwerwiegendes Umweltproblem, die Bodenversalzung durch unsachgemässe Bewässerung.

Seit etwa zehn Jahren forschen Kinzelbach und sein Team in diesem Gebiet. Mithilfe von Bohrlochdaten, Abflussmengen, dem Salzgehalt von Gewässern und Bodenproben und mithilfe von Satellitenfernerkundungsdaten untersuchten sie den Wasserhaushalt im Yanqi-Becken. So haben die Forscher nicht nur ein vollständiges hydrologisches Modell der Situation vor Ort erstellt, sondern mithilfe von ETH-Wirtschaftswissenschaftler Rolf Kappel, Professor am NADEL (Nachdiplomstudium für Entwicklungsländer), auch wirtschaftliche Aspekte in das Modell integriert.

Nun können die zuständigen Behörden in Xinjiang bei der Zukunftsplanung nicht nur am Computer testen, welche Auswirkungen eine Massnahme auf die Wasserverhältnisse

und die Bodenfruchtbarkeit des Gebiets haben wird, sondern auch gleich noch Kosten und Folgekosten berechnen. Und das ist wichtig: Denn «wirklich nachhaltig sind Massnahmen nur, wenn sie ökologische und ökonomische Ansprüche berücksichtigen», sagt Kinzelbach. Es gilt einen tragfähigen Kompromiss zwischen beiden Ansprüchen zu finden. Denn gerade China hat in den vergangenen Jahrzehnten die wirtschaftliche Entwicklung in der Regel vor ökologische Überlegungen gestellt.

Wirtschaftliche und ökologische Interessen ins Gleichgewicht zu bringen ist nicht einfach, aber dank des Computermodells nun leichter möglich, ist Kinzelbach überzeugt. Denn am Computer lassen sich nun eine Vielzahl von Lösungsvarianten durchspielen. Dabei zeigt sich, dass Massnahmen auf ganz unterschiedlichen Ebenen getroffen werden können. Um das zu verdeutlichen, lohnt sich ein Blick auf die gegenwärtige Situation.

## Landwirtschaft nur mit Vollbewässerung

Im Yanqi-Becken herrscht trockenes, kontinentales Klima. Es regnet selten, und der Niederschlag von 80 Millimetern pro Jahr ist praktisch bedeutungslos. Landwirtschaft ist dennoch möglich, aber nur mit Vollbewässerung. Das Wasser dafür stammt aus dem Kaidu und seinen Nebenflüssen, die vom Gebirge her in den grössten See der Provinz und einen der grössten Süsswasserseen Chinas, den Bostan-See fliessen. Die Bauern bewässern heute ihre

Ackerflächen vor allem, indem sie Flusswasser umleiten und damit die Felder überfluten. Angebaut werden Wein, Tomaten, Reis, Ölsaaten, Baumwolle, roter Pfeffer und anderes. Die Bevölkerung hat sich innerhalb der letzten 50 Jahre verdoppelt. Das führte zu einer starken Ausweitung der bewirtschafteten Flächen, und damit stieg auch der Wasserverbrauch für die Bewässerung.

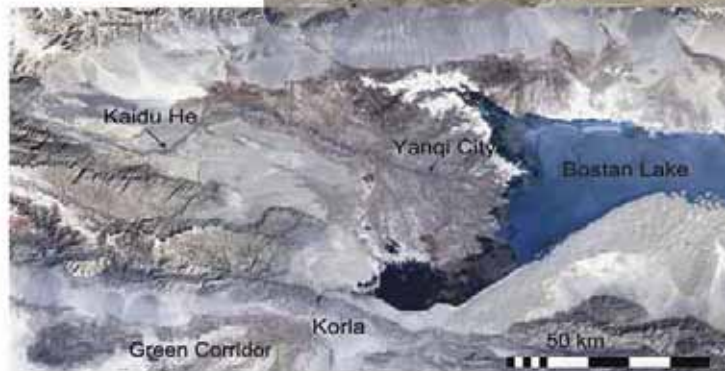
## Felder drohen zu versalzen

Auf den ersten Blick ist die Bewässerung ein Erfolg – doch sie hat Folgen: Durch die regelmässige Überflutung ist der Grundwasserspiegel stark gestiegen und liegt jetzt an vielen Stellen weniger als zwei Meter unter der Erdoberfläche. Kapillarkräfte ziehen das Wasser nach oben, wo es verdunstet. Zurück bleiben aus dem Boden gelöste Salze. Immer mehr Felder drohen so zu versalzen und können nicht mehr bebaut werden. Aber auch der Bostan-See ist gefährdet. Wegen der intensiven Nutzung des Flusswassers gelangt immer weniger Frischwasser in den See. Gleichzeitig führen Drainagekanäle aus den Feldern dem See extrem salziges Wasser zu. Weil das Seewasser immer salziger wird, ist bereits der Fischbestand geschädigt. Es fliesst nun auch weniger Wasser aus dem See ab in den unteren Flusslauf. Dort vertrocknen die Wüstenpappelwälder, die bisher ein wichtiges Ökosystem darstellen, da sie die Bewegung der Sanddünen in diesem Gebiet stoppen.

Die Situation ist ernst, aber nicht aussichtslos. «Es gibt viele Möglichkeiten, die Lage zu verbessern», erklärt Kinzelbach. Die Bauern könnten zum Beispiel ihren Anbau auf Sorten umstellen, die weniger Wasser zum Gedeihen brauchen. Es würde auch schon etwas helfen, wenn man die Bewässerungskanäle abdichtet, weil so weniger Wasser ans Grundwasser verloren geht oder ungenutzt verdunstet.



Impressionen aus dem Yanqi-Becken: Pappeln schützen vor Sanddünen (unten). Das Gebiet mit dem Bostan-See, einem der grössten Süsswasserseen Chinas (ganz unten). Versalzung als Folge ungünstiger Bewässerungsmethoden (rechts).



Kinzelbach und sein Team plädieren jedoch eher dafür, die Bewässerungsmethode zu ändern. Die Bauern könnten direkt das Grundwasser nutzen, anstatt Flusswasser auf die Felder zu leiten. Das würde einerseits den Grundwasserspiegel wieder senken und damit den kapillaren Anstieg verhindern. Andererseits ist das sedimentfreie Grundwasser bestens geeignet für die wassersparende sogenannte Tröpfchenbewässerung. Die Bauern müssten dafür nicht einmal auf andere Feldfrüchte umstellen, da die wichtigsten Pflanzen im Yanqi-Becken auch mit dieser Bewässerungsart gut gedeihen.

#### Auch ökonomisch sinnvoll

Im Computermodell hat sich diese Methode nicht nur als ökologisch effizient, sondern auch als wirtschaftlich erstaunlich günstig erwiesen. Erstaunlich deshalb, weil die Leitungen und Tropfer Kosten verursachen und die Grundwasserförderung mit Stromkosten verbunden ist. Das Wasser in den bestehenden Kanälen dagegen fliesst, durch die Schwerkraft getrieben, von selbst. Aber da die Pflan-

zen nun gezielt bewässert werden können, wird einerseits Wasser und andererseits teurer Dünger eingespart. Zudem steigt der Ertrag. «Diese Vorteile kompensieren die höheren Kosten bei weitem», erklärt Kinzelbach.

Ein Problem allerdings bliebe oder würde sogar noch verstärkt, gibt Ökonom Rolf Kappel zu bedenken: «Wenn die Bewässerung insgesamt billiger und der spezifische Wasserverbrauch geringer wird, ist der Anreiz für die Bauern gross, mehr Land zu kaufen und zu bebauen. Das würde letztlich den ökologischen Gewinn der Massnahme wieder zunichtemachen.» Um das zu verhindern, müsste ein höherer Wasserpreis festgesetzt werden. «Das Wasser ist derzeit ohnehin zu billig, weil es subventioniert wird, um die Landwirtschaft zu fördern», sagt Kappel.

Ohne lenkende Eingriffe seitens der Behörden wird es nicht gelingen, die Situation im Yanqi-Becken in umweltfreundliche Bahnen zu lenken. Dafür müssen die Behördenmitarbeiter aber für ökologische Anliegen sensibilisiert und ausgebildet werden. Das Computermodell ist dafür eine gute Hilfe. Bereits wurde

es von lokalen Behörden getestet. Auch an der ETH Zürich soll es in Zukunft zur Ausbildung von Wasserfachleuten eingesetzt werden: als Simulationsspiel mit dem Namen «Simsalin». Als innovatives Lehrprojekt wurde die Fertigstellung der Online-Lernumgebung für angehende Wassermanager durch die ETH gefördert.

So weit, so gut. Doch ist eine Simulation eines weit entfernten und exotischen Tals an der Seidenstrasse nicht etwas gar sehr speziell? Nein, antwortet Kinzelbach überzeugt. Denn der Widerspruch zwischen Ökonomie und Ökologie ist auch in anderen Gebieten in ähnlicher Weise vorhanden. Das Computermodell lässt sich, das Vorhandensein eines Simulationsmodells mit entsprechenden Daten vorausgesetzt, auch auf andere Gebiete übertragen. Was man im Yanqi-Becken lernt, kann also auch anderswo von Nutzen sein.

→ [www.ethglobe.ethz.ch/Yanqi-Hydromodell](http://www.ethglobe.ethz.ch/Yanqi-Hydromodell)

→ [www.ethglobe.ethz.ch/Yanqi-Ökonomie](http://www.ethglobe.ethz.ch/Yanqi-Ökonomie)



Wie sich der Bau von Staudämmen am Sambesi auf den Wasser- und Nährstoffhaushalt im Einzugsgebiet des viertlängsten Flusses Afrikas auswirkt, untersuchen ETH-Forscher unter anderem am Sambesi-Nebenfluss Kafue (oben) sowie am Kariba-Staudamm. Letzterer staut den Sambesi an der Grenze zwischen Sambia und Simbabwe. (Bilder: ADAPT)

# Vorbild Sambesi

Wie bei anderen grossen Flüssen zeichnen sich auch beim Sambesi durch unterschiedliche Nutzungsansprüche Konflikte zwischen und innerhalb der beteiligten Staaten ab. Beim viertlängsten Fluss Afrikas jedoch stehen die Zeichen günstig für eine einvernehmliche Lösung. Die Grundlagen dazu haben ETH-Forschende mitentwickelt.

Felix Würsten

Er ist Lebensader für Millionen von Menschen, Energielieferant, Lebensraum für seltene Tiere und Pflanzen – und ein spannendes Forschungsobjekt für die Wissenschaft: Der Sambesi, mit einer Länge von über 2500 Kilometern und einem Einzugsgebiet von rund 1,3 Millionen Quadratkilometern der viertlängste Fluss Afrikas, steht wie viele andere grosse Flüsse dieser Welt vor einem rasanten Wandel. Bereits in wenigen Jahren könnte dies zu Konflikten unter den acht Anrainerstaaten führen.

«Der Sambesi ist für die Forschung ein interessantes Studienobjekt, weil zum einen die Struktur des Einzugsgebiets vielfältig und komplex ist», erklärt Thomas Bernauer, Professor für Internationale Beziehungen am Departement Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften (D-GESS). «Zum anderen wird der Sambesi heute noch weitgehend konfliktfrei genutzt. Im Gegensatz zu anderen Flusssystemen, bei denen beispielsweise der Klimawandel zwangsläufig zu massiven Konflikten führen wird, lässt sich beim Sambesi diese günstige Ausgangslage durch vorausschauendes Handeln bewahren. Das macht diesen Fluss zu einem eigentlichen Modellfall, der als Vorbild für andere Einzugsgebiete dienen könnte.

Beim «African Dams Project» (ADAPT) des «Competence Center Environment and Sustainability» (CCES) untersucht Bernauer zusammen mit anderen Wissenschaftlerinnen und

Wissenschaftlern der ETH Zürich, der Eawag und der EPF Lausanne, wie der Fluss langfristig genutzt werden könnte. So sollen beispielsweise mit einer Reihe von Dammprojekten der Sambesi und seine Nebenflüsse stärker zur Stromgewinnung genutzt werden – ein verständliches Anliegen, sind die Anrainerstaaten doch für ihre wirtschaftliche Entwicklung dringend auf neue Energiequellen angewiesen. Doch die Wasserkraft hat auch ihre Schattenseiten: Zum einen verdunstet aus den Stauseen viel Wasser und geht so verloren; zum anderen wird durch die Stromproduktion der saisonal schwankende Wasserabfluss verändert. Darunter leiden die ökologisch wertvollen Feuchtgebiete, die als Touristenattraktion ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor sind.

## Ökologisches Gleichgewicht verschiebt sich

In den Kafue Flats, einem grossen Feuchtgebiet am Nebenfluss Kafue, haben die ETH-Forschenden diese Auswirkungen genauer untersucht. «Mit dem Bau des Itezihitezi-Staudamms hat sich der minimale Abfluss während der Trockenzeit ungefähr verdoppelt, der maximale Abfluss während der Regenzeit hat dagegen markant abgenommen», fasst Wolfgang Kinzelbach, Professor für Hydromechanik am Departement Bau, Umwelt und Geomatik, die Lage zusammen. Dadurch verschiebt sich das ökologische Gleichgewicht, auf das seltene Arten wie die Kafue Lechwe,

eine endemische Antilopenart, angewiesen sind. Aus ökologischer Sicht wäre es ideal, wenn der Itezihitezi-Staudamm vor allem im Februar und März viel Wasser ablassen würde, damit die Feuchtgebiete in der natürlichen Saison überflutet werden. Doch eine solche Regelung wäre wiederum für die Stromproduktion ungünstig, weil das Wasser so nicht optimal genutzt werden kann.

Heute wird der Abfluss aus dem Itezihitezi-Stausee durch starre Regeln festgelegt, die beiden Anliegen nicht gerecht werden. Das Team von Kinzelbach hat deshalb ein hydrologisches Modell entwickelt, mit dem sich die Abflüsse basierend auf aktuellen Satellitendaten in Echtzeit modellieren lassen. Dadurch könnte der Stausee viel flexibler bewirtschaftet werden, was eine bessere Abstimmung mit den ökologischen Anliegen ermöglichen würde. «Es geht nicht nur darum, die touristisch attraktiven Feuchtgebiete zu erhalten, sondern auch die Lebensgrundlage der lokalen Fischer», ergänzt Kinzelbach.

Doch selbst wenn die Abflüsse flexibler geregelt sind, lassen sich Konflikte nicht völlig ausschliessen: «Wenn die Kraftwerke das Wasser nicht so ablassen können, wie es für sie günstig ist, müssen sie wirtschaftliche Einbussen in Kauf nehmen», erläutert Rolf Kappel, Professor für Probleme der Entwicklungsländer am D-GESS. «Haben die Kraftwerke Priorität, werden die anderen Gruppen finanziell benachteiligt.» Kappels Gruppe hat daher das hydrologische mit einem ökonomischen Modell ergänzt. Dadurch können die ETH-Forscher Szenarien entwickeln, wie sich die künftige Wassernutzung wirtschaftlich auswirkt. «Je nachdem, wie man die Randbedingungen definiert, sieht die optimale Nutzung anders aus», erklärt Kappel. «Unser Modell liefert also keine «richtige» Antwort, wie die Wasserressourcen des Sambesi genutzt werden sollen, sondern die Grundlagen für ausgewogene politische Entscheide».

Der Bau eines Staudamms führt aber nicht nur zu veränderten Wasserständen im Unterlauf, sondern beeinflusst auch den Nährstoffhaushalt im Fluss. «Unsere Messungen beim Kariba-Damm, der den Sambesi an der Grenze zwischen Sambia und Simbabwe staut, ergaben, dass 70 bis 90 Prozent des Stickstoffs und Phosphors im Stausee zurückgehalten werden», sagt Bernhard Wehrli, Professor für Aquatische Chemie am Departement Umweltwissenschaften. Aufgrund von Schätzungen gehen die Wissenschaftler zudem davon aus, dass der grösste Teil der Sedimentfracht im Stausee verbleibt. Die verschiedenen Staudämme im Einzugsgebiet des Sambesi bewirken also, dass der grosse Strom heute wesentlich weniger Material ins Meer führt als früher. Welche Folgen dies für das ökologisch wertvolle Delta in Mosambik hat, lässt sich erst ansatzweise erkennen.

Zusammen mit den anderen ETH-Forschenden war Wehrli auch an den Studien beteiligt, die sich mit den konkreten ökologischen Auswirkungen in den Kafue Flats befassen. Aufgrund von älteren Aufzeichnungen konnte die Gruppe von Peter Edwards, Professor für Pflanzenökologie am Departement Umweltwissenschaften, aufzeigen, wie sich die Verteilung der verschiedenen Habitate seit dem Bau des Itzhitezhi-Damms verschoben hat. Das ursprüngliche Grasland, so ergab der Vergleich, wird zunehmend durch invasive Büsche verdrängt,

welche die heimischen Arten zurückdrängen. Auch hier wollen die ETH-Wissenschaftler mithilfe von Modellen Zusammenhänge aufzeigen. Gemeinsam mit den Pflanzenökologen und Partnern an der Eawag hat das Team von Wehrli die Analyse der Lebensräume mit Simulationen kombiniert, welche die Abflüsse und die Nährstoffverteilung modellieren.

Um das System im Detail zu verstehen, haben die Wissenschaftler ein Monitoring aufgebaut, mit dem sie die Überflutung der Feuchtgebiete während der Regenzeit und den darauf folgenden Rückzug des Wassers verfolgen können. Das Wasser, das aus den Feuchtgebieten wieder zurück in den Kafue strömt, weist teilweise gar keinen Sauerstoff mehr auf, stellen die Ökologen erstaunt fest. «Ob es vor dem Bau des Stausees solche anaeroben Phasen ebenfalls gegeben hat, wissen wir nicht», sagt Wehrli. «Es könnte jedoch gut sein, dass sich die Situation seither verschärft hat.»

#### Wie entwickelt sich die Landwirtschaft?

Ein weiterer potenzieller Auslöser für Konflikte um das Wasser des Sambesi ist die Landwirtschaft. In den kommenden 30 Jahren wird sich die Bevölkerung im Einzugsgebiet des Sambesi verdoppeln. Dementsprechend müssen mehr Nahrungsmittel produziert werden. Die heutige Landwirtschaft in der Region ist noch stark durch traditionelle Anbauformen geprägt und kommt weitgehend ohne künstliche

Bewässerung aus. Untersuchungen der FAO zeigen nun, dass auch mit einer moderaten Bewässerung die Produktivität um das Drei- bis Vierfache gesteigert werden könnte.

#### Zuckerrohr für China

Wesentlich problematischer wäre aus Sicht der Wassernutzung, wenn im Einzugsgebiet des Sambesi eine Agroindustrie für den Weltmarkt Nahrungsmittel herstellen würde. Erste Ansätze dazu gibt es bereits: So wird in Sambia seit kurzem Zuckerrohr für China angebaut. Mit seiner Forschung versucht Bernauer, die grossen Zusammenhänge solcher Entwicklungen aufzuzeigen. Gemeinsam mit den Hydrologen aus dem Projektteam hat seine Gruppe ein Modell entwickelt, mit dem der Wasserhaushalt über das ganze Einzugsgebiet hinweg simuliert werden kann. Dieses Modell kann aufzeigen, wie die beteiligten Staaten ihre teilweise gegensätzlichen Interessen miteinander in Einklang bringen könnten. Denn neben der Energieerzeugung, der Landwirtschaft und dem Erhalt der Feuchtgebiete gibt es noch andere Ansprüche.

So hat insbesondere Mosambik ein vitales Interesse an einem funktionierenden Hochwasserschutz. Und Namibia und Botswana überlegen, ob sie nicht einen Teil des Wassers ableiten sollen, um ihre notorische Wasserknappheit zu überwinden.

«Mit der Zambezi Watercourse Commission (Zamcom) steht eigentlich bereits eine Institution zur Verfügung, um solche Differenzen zu bereinigen», erläutert Bernauer. Ob die internationale Kommission die Erwartungen tatsächlich erfüllen kann, ist allerdings unklar. Sambia als wichtigstes Land des Einzugsgebiets ist der Kommission bisher noch nicht beigetreten. «Es ist zu hoffen, dass sich die acht beteiligten Staaten auf gemeinsame Regeln einigen können», sagt Bernauer. «Es wäre äusserst fatal, wenn nun jeder Staat ohne Absprache seine eigenen Projekte vorantreiben würde, um sich möglichst viel des Wassers zu sichern. Damit wäre die Chance für eine sinnvolle Lösung vertan.»

→ [www.cces.ethz.ch/projects/nature/adapt](http://www.cces.ethz.ch/projects/nature/adapt)

---

## African Dams Project

Das African Dams Project (ADAPT) des Kompetenzzentrums Umwelt und Nachhaltigkeit (CCES) des ETH-Bereichs untersucht die Auswirkungen der heutigen und künftigen Wassernutzung im Einzugsgebiet des Sambesi. An dem interdisziplinär ausgerichteten Projekt beteiligen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der ETH-Departemente Umweltwissenschaften (UWIS), Bau, Umwelt und Geomatik (BAUG) und Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften (GESS) sowie Forschende der EPFL und der Eawag. In einem ersten Modul modellieren sie den Einfluss von verschiedenen Nutzungsformen auf den Wasserhaushalt im gesamten Einzugsgebiet des Sambesi; in einem zweiten Modul untersuchen sie am Beispiel des Nebenflusses Kafue, wie sich der Bau von Staudämmen auf die ökologisch wertvollen Feuchtgebiete auswirkt.

## Wussten Sie schon?

Sauberes Wasser aus dem Wasserhahn zu jeder Zeit und Toiletten sind für uns selbstverständlich. In Afrika, Asien und Lateinamerika hingegen müssen Menschen oft meilenweit gehen, nur um zu ein paar Litern Wasser zu kommen. Mangelnde Wasserversorgung und fehlende sanitäre Anlagen werden besonders in den wachsenden Elendsvierteln der Megacities zum immer grösseren Problem.

### Trinkwasser und Haushalt

**30 – 200**

*Liter Wasser braucht der Mensch täglich für den Haushalt*

Zu persönlichen Zwecken verbraucht ein Mensch in den USA pro Tag rund 300 Liter, in Europa 160 Liter und in Afrika 30 Liter.

**80 %**

*aller Erkrankungen in der Dritten Welt*

**werden durch Wassermangel oder verunreinigtes Wasser verursacht**

Täglich sterben 6000 Menschen, vor allem Kinder unter fünf Jahren, an Durchfallerkrankungen.

**800 000 000**

*800 Millionen Menschen haben*

**keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser**

**2 – 5**

*Liter Wasser braucht der Mensch täglich als Trinkwasser*

**2 000 000 000**

*2 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sauberen Toiletten und Waschgelegenheiten*

Das sind in Afrika 40% der Gesamtbevölkerung, in Asien 52% der Gesamtbevölkerung.





# Beim Trinkwasser ist nicht alles klar

Rund 800 Millionen Menschen auf der Welt haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser, trotz grosser Anstrengungen der Entwicklungshilfe. Eine Studie von Forschern der ETH Zürich und der FU Amsterdam hat den Effekt solcher Massnahmen am Beispiel Benins untersucht.

Klaus Wilhelm

Verschmutztes Trinkwasser ist eines der grössten gesundheitlichen Probleme in Afrika. Auch in Benin, dem kleinen Land nordwestlich Nigerias mit seinen acht Millionen Einwohnern. Einem der ärmsten Staaten überhaupt: Etwa die Hälfte der Einwohner bleibt unter der internationalen Armutsgrenze von 1,25 Dollar Einkommen täglich. Meist leben die Menschen in Dörfern, die anders strukturiert sind als etwa in der Schweiz: Einen Dorfkern sucht man vergeblich; die Lehmhütten der Haushalte verstreuen sich auf einem vergleichsweise grossen Gebiet. Vor allem für Frauen und Mädchen bedeutet das täglich stundenlang laufen, um Wasser am nächsten Fluss, Tümpel oder traditionellen Brunnen zu holen. Sehr oft verschmutztes Wasser, das besonders die Kinder, aber auch Erwachsene an Durchfall und anderen Leiden er-

kranken lässt. «Allerdings wandeln sich die Dinge langsam», sagt Isabel Günther, Assistenzprofessorin für Entwicklungsökonomie am NADEL der ETH Zürich. Dies kann sie nach Abschluss einer gemeinsamen Studie mit der Freien Universität Amsterdam feststellen, die den Effekt des Baus von öffentlichen Brunnen beziehungsweise Wasserpumpen im Süden des Landes gemessen hat – soweit das empirisch und statistisch machbar ist.

## Nationales Wasserprogramm

«Unsere Studie ist eine der wenigen, die den Effekt einer gross angelegten bilateralen Entwicklungshilfemassnahme wissenschaftlich beleuchtet hat», sagt die Ökonomin – was angesichts der Masse solcher Projekte überrascht. Im konkreten Fall geht es um das Na-

tionale Wasserprogramm von Benin, das die einheimische Verwaltung organisiert und leitet, aber von der deutschen und niederländischen Regierung mit jährlich rund zwölf Millionen Euro gespeist wird. Das erklärte Ziel: mit dem Bau kommunaler Brunnen respektive Wasserpumpen den Zugang zu sauberem Wasser auf dem Land zu verbessern. Das Ganze im Rahmen der Millennium-Ziele der Vereinten Nationen, wonach die Zahl der Menschen ohne nachhaltigen Zugang zu sauberem Wasser bis 2015 halbiert werden soll. Die dafür optimale Lösung – der Bau eines Leitungsnetzes und eine Versorgung mit Wasserhähnen in jedem Haushalt – können sich Länder wie Benin bisher nicht annähernd leisten.

Was also bringt das Programm der kommunalen Brunnen? Um den spezifischen Effekt einer Wasserpumpe abseits anderer Einflussgrössen festzustellen, haben die Forscher ausgenutzt, dass einige Dörfer im Jahr 2009, andere erst 2010 oder später ihre(n) Brunnen bekamen. So liessen sich zwei vergleichbare Gruppen bilden. In 100 der «2009er-Dörfer», der sogenannten Interventionsgruppe, wurden per Befragung Anfang 2009 alle relevanten Daten vor dem Brunnenbau in einer repräsentativen Stich-



Verschmutztes Wasser aus Tümpeln oder verunreinigte Transportgefäße sind Quellen für Durchfallerkrankungen. Doch neue kommunale Brunnen (ganz rechts) allein können die Wasserqualität nur bedingt verbessern. (Bild: Isabel Günther)

probe der Haushalte erhoben: unter anderem zu verbrauchter Wassermenge, der Wasserqualität und Gesundheitsaspekten. Das Gleiche wurde Anfang 2009 auch in jenen 100 Dörfern ermittelt, die erst später Brunnen erhielten. Diese dienten als Kontrollgruppe. Hinsichtlich Bevölkerungs- und Infrastruktur, geografischer Lage und ökonomischen Ausgangsbedingungen waren alle Dörfer vergleichbar. Nach Ende der Massnahme in den «2009er-Dörfern», also vor Beginn des Brunnenbaus in den Dörfern der Kontrollgruppe, wurden alle relevanten Daten überall noch einmal abgefragt. Dann rechneten die Forscher aus: Was hat sich verändert in den Dörfern der Interventionsgruppe nach Bau der Brunnen im Vergleich zu den Dörfern der Kontrollgruppe.

#### Brunnen allein helfen nicht viel

Erstes und wichtigstes Ergebnis der Studie, die von der deutschen und niederländischen Entwicklungshilfe finanziert wurde: «Die Versorgung mit neuen kommunalen Brunnen ist eine effektive Massnahme und verbessert die Wasserqualität erheblich, messbar an der Menge der enthaltenen *Escherichia coli*-Bakterien», betont Günther. Aber, und das ist der Wermutstropfen: Nur an der Quelle. Auf dem Weg nach Hause und im Haushalt selbst wird das Wasser wieder kontaminiert. Entweder weil die Transportgefäße von vornherein belastet sind oder weil sie durch das Eintauchen von Händen beim Schöpfen des Wassers in den Haushalten verseucht werden. «Das ist mit den überwiegend verwendeten Gefässen nahezu unvermeidlich», sagt die ETH-Ökonomin, «ich habe es selbst ausprobiert.»

So sinkt auch die Zahl der Durchfallerkrankungen nicht – bedingt durch das Wasser und die allgemeinen sanitären Bedingungen in und um die Lehmhütten. «Das ist ein Punkt, an dem wir zukünftig ansetzen müssen», merkt Isabel Günther an, «der Bau von kommunalen Brunnen allein führt nur noch selten zu Gesundheitsverbesserungen.» Gefragt sei gleichzeitig eine Hygiene-Strategie, die nicht nur auf das schwer zu verändernde Verhalten von Menschen abzielt. Technische Lösungen könnten helfen, etwa die Zugabe von Chlor zum Wasser oder der Einsatz von Filtern. Es bringe schon etwas, «wenn man neue, mit Hähnen bestückte Wasserspeicher an die Leute verteilt, obwohl das sicher nicht die ganze Lösung ist». Kurzum: Es braucht mehr Geld aus der Entwicklungshilfe für den vernachlässigten Hygiene-Bereich sowie eine nationale, koordinierte Hygiene-Strategie.

Nächste wichtige Erkenntnis: Der Bau von Brunnen verkürzt die Beschaffungszeit für Wasser um fast eine Stunde täglich. Diese Zeitersparnis könnte noch grösser sein, wenn lange Schlangen an den Brunnen vermieden werden könnten. Viele Haushalte verbrauchen nun jedoch mehr Wasser als zuvor. Das heisst, die Frauen gehen jetzt, bedingt durch die kürzere Distanz, häufiger zur Wasserpumpe. Die reine Distanz zur Wasserstelle sei deshalb kein gutes Kriterium, um den Zeitaufwand für die Wasserbeschaffung einzuschätzen. Und: Erstaunlicherweise nutzen nicht alle Frauen die neuen Wasserquellen. 2010 zogen 26 Prozent der Haushalte trotz neuer Brunnen die traditionellen Wasserquellen vor, und weitere 28 Prozent nutzen sowohl den neuen Brunnen als auch die ungeschützte alte Wasserquelle.

Dass der Bau der Brunnen jahrelang einer reinen Nachfragestrategie gefolgt ist, bewertet Isabel Günther als nicht optimal. Denn weil in der Vergangenheit jedes Dorf für den Bau eines Brunnens 200 Euro berappen musste, bekamen einige grössere und wohlhabendere schon eine zweite oder dritte Wasserstelle, wohingegen ärmere Dörfer lange leer ausgingen. Eine datenbasierte Verteilung sei geschickter, wo die Behörden sich ansehen, wer bereits wie viele Wasserpumpen hat – gemessen an den Bewohnern in einem bestimmten Umkreis.

Ob der Bau der Brunnen die wirtschaftliche Entwicklung positiv beeinflusst hat, ist auch mit statistischen Methoden kaum nachweisbar, weil ökonomische Prozesse einfach von zu vielen Faktoren abhängen. Dennoch hat die Zürcher Forscherin versucht, den spezifischen Effekt der Zeitersparnis auf die wirtschaftliche Entwicklung abzuschätzen. Hochgerechnet ergibt sich für einen Haushalt – allein bedingt durch den neuen Brunnen – eine Erhöhung des jährlichen Einkommens um fast ein Prozent. «Über verbesserte Wasserqualität und die damit eingesparten Gesundheitskosten», sagt Isabel Günther nochmals, «könnte man allerdings viel mehr erreichen.»

Die Forscherin betont, dass die Ergebnisse der Studie nicht nur relevant für Benin seien, sondern fundierte Hinweise für die Wasser-Strategie in ganz Afrika gäben. Und dass es wünschenswert wäre, «wenn die saubere Methodik unserer Studie öfter bei der Bewertung von Entwicklungsmaßnahmen eingesetzt würde.»

→ [www.nadel.ethz.ch](http://www.nadel.ethz.ch)

# Pflanzen am Limit

Leiden Nutzpflanzen unter Dürren und Trockenheit, geht ihr Ertrag massiv zurück. Deshalb besteht die Gefahr, dass sich die Nahrungsmittelkrise in Zukunft bei sich rasch verändernden Umweltbedingungen zuspitzt. Die Agrarwissenschaft setzt nun Hoffnung in trockenheitstolerante Pflanzen.

Peter Rüegg

Durch den Klimawandel steigen nicht nur die weltweiten Durchschnitts- und Spitzentemperaturen. Wissenschaftler gehen auch davon aus, dass sich die Niederschlagsverteilung stark verändern wird: Während einige Regionen dieser Welt mit stärkeren, heftigeren und häufigeren Regenfällen rechnen müssen, wird es in anderen Gebieten trockener.

Die landwirtschaftliche Produktion stellt das vor zum Teil immense Schwierigkeiten. Gerade die verheerende Trockenheit in Russland 2010 und die langanhaltende Dürre in Australien hatten massive Ertragsausfälle zur Folge. Afrika und Südasien, die stark von der Landwirtschaft abhängen, dürften von der Klimaerwärmung stark betroffen sein. Schätzungen zufolge wird das südliche Afrika bis zum Jahr 2050 beim Hauptnahrungsmittel Mais bis zu einem Viertel seiner Erträge einbüßen. Das wird sich eine Welt, in der die Bevölkerung weiterhin wächst und der Nahrungsmittelbedarf entsprechend steigt, auf die Dauer nicht leisten können. Denn zugleich gehen jährlich ungefähr zehn Millionen Hektar fruchtbarer Boden durch Überbauung, Versalzung oder Erosion verloren. Theoretisch müsste die Welt bis 2050 aber auf der gleichen Anbaufläche wie heute das Doppelte produzieren.

Wissenschaftler an Hochschulen suchen deshalb nach Möglichkeiten, den Ertrag der wichtigsten Nutzpflanzen, wie Mais, Getreide oder auch Maniok, unter den kommenden Bedin-

gungen mindestens zu erhalten, wenn nicht zu verbessern. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die sogenannte Trockentoleranz oder Trockenheitsresistenz.

## Suche nach dem richtigen Genmix

Ein einfaches Rezept – wie ein einziges Gen –, das eine Nutzpflanze gegenüber Trockenstress immun machen würde, gibt es aber nicht. «Das ist etwa so unmöglich, wie ein Gen zu finden, das Menschen gegenüber Armut immun macht», sagt Achim Walter, Professor am Institut für Agrarwissenschaften der ETH Zürich.

Der Pflanzenphysiologe arbeitet mit seinem Team, der Gruppe für Kulturpflanzenwissenschaften, deshalb auch nicht direkt an der Entwicklung von neuem, trocken tolerantem Saatgut, sondern an der «Phänotypisierung». Dabei geht es ihm darum, sehr detailliert zu charakterisieren, welche genetische Variante einer Pflanze unter welchen Umweltbedingungen wie erfolgreich ist. Anders gesagt: Simulieren die Wissenschaftler im Labor Trockenstress, möchten sie herausfinden, ob Typ A oder Typ B besser wächst und mehr Ertrag verspricht. «Das mag trivial klingen, kann aber im Feld nur in Zeiträumen von Jahren untersucht werden», sagt Walter. «Mit unseren Versuchen können wir aber die wichtigen Parameter, wie die Wachstumsrate, innerhalb weniger Tage messen.» Wärmebildaufnahmen etwa ermöglichen es dem Forscher, die Verdunstung auf der

Blattoberfläche festzuhalten. Je mehr Wasser verdunstet, desto kühler ist es auf den Blättern. Die Verdunstung auf der Blattoberfläche erlaubt auch Aussagen darüber, ob eine Pflanze durch Wassermangel gestresst ist. Denn Pflanzen «schwitzen». Und zwar über Spaltöffnungen, die meist auf der Unterseite der Blätter sitzen. Die Pflanze kann diese Spaltöffnungen steuern. Über sie nimmt die Pflanze CO<sub>2</sub> auf und gibt Wasserdampf und Sauerstoff ab. Ist es heiss und trocken, schliesst sie die Spaltöffnungen. Das stoppt den Wasserverlust, aber auch die Photosynthese, da dann der CO<sub>2</sub>-Nachschub für den Aufbau von Zuckern, Stärke und von Biomasse fehlt, was weniger Ertrag zur Folge hat.

«Wir möchten solche Messtechniken ausbauen und eine Plattform für die Forschung schaffen, um Typen von Pflanzen unterschiedlicher Genkombinationen effizient vermessen zu können», sagt Walter. Und kennt man erst den Genotyp, der unter Trockenstress den besten Ertrag verspricht, ist ein wichtiger Schritt hin zur Züchtung von trocken tolerant Sorten getan.

Andreas Hund, Privatdozent und wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe von Achim Walter, verfolgt einen anderen Ansatz. Er erforscht, wie sich Trockenstress auf das Wurzelsystem von Mais auswirkt. Und umgekehrt, wie sich die Wurzelarchitektur auf die Trockentoleranz auswirkt. Reichen Wurzeln tiefer in den Boden hinein, kann Mais Wasser aufnehmen, selbst wenn die oberste Bodenschicht ausgetrocknet ist. Dadurch kann die Pflanze auch während kritischer Phasen ihr Wachstum beibehalten. «Es braucht nicht zwingend mehr Wurzeln, sondern eher die richtige Strategie und das richtige Timing. Effiziente Wurzelsysteme sind zum kritischen Zeitpunkt am richtigen Ort.»

Andreas Hund möchte herauszufinden, welche Gene für Ausbildung und Ausgestaltung des





Eine Handvoll Körner von trockenresistentem Mais. Die Sorte wurde vom CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center) mit Partnern aus Tansania entwickelt. (Bild: Anne Wamalwa / CIMMYT)



Ein Bauer in Malawi zeigt eine Maissorte, die trotz Trockenheit und schlechtem Boden guten Ertrag bringt. (Bild: Anne Wamalwa / CIMMYT)



Fünf Monate alte Cassava-Pflanzen nach mehrwöchiger Trockenheit. Oben: Transgene IPT-Cassava-Pflanzen behalten die Blätter länger am Stängel. Unten: Die Blätter der Wildtyp-Cassava-Pflanzen altern früher, und die Pflanzen verlieren sukzessive die Blätter.

Wurzelsystems massgeblich verantwortlich sind. Kennt man diese Gene, ist es leichter, die gewünschten Eigenschaften in Pflanzen einzuzüchten. Diese sogenannte «Marker-gestützte Selektion» wird in der Resistenz-züchtung gegen Pflanzenkrankheiten bereits routinemässig eingesetzt. Bei diesem Zuchtverfahren stützen sich die Forscher nicht mehr nur auf äussere Merkmale, sondern analysieren das Erbgut, um Gene zu finden, die ein gewünschtes Merkmal hervorbringen. Das hilft, rasch passende Kreuzungspartner auszuwählen.

Gerade weil es nicht ein Gen gibt, das eine Pflanze trockenresistent macht, versuchen

Forscher, über Umwege den gewünschten Effekt – nämlich möglichst wenig Ernteverluste bei Trockenheit – zu erzielen. Wilhelm Gruissem, Professor für Pflanzenbiotechnologie der ETH Zürich, etwa hat für Maniok, eine der wichtigsten Stärkelieferanten für die Bevölkerung der Tropen, einen anderen Ansatz gewählt, um Ertragsausfälle zu reduzieren. Maniok ist im Gegensatz zu Mais an den Wechsel von Trockenzeit und Regenzeit angepasst. Die Pflanze verfügt über eine unterirdische Speicherwurzel, welche den von den oberirdischen Pflanzenteilen gebildeten Zucker als Stärke einlagert. In der Trockenzeit wirft Maniok die Blätter ab. Dadurch kann kein Wasser mehr über die Spaltöffnungen entweichen. Die Pflanze lebt in dieser Zeit von ihren Reserven aus der unterirdischen Speicherwurzel, was den Ertrag teils erheblich schmälert. Gruissem und seine Gruppe arbeiten deshalb daran, Maniokpflanzen zu entwickeln, die bei Trockenheit ihre Blätter nicht vollständig abwerfen und dadurch den Ertrag erhalten oder gar steigern.

#### Erfolgreicher Ansatz

Die Pflanzenbiotechnologen haben Maniok ein Gen eingefügt. Dieses trägt die Information für ein bestimmtes Enzym für den Aufbau eines bestimmten Pflanzenhormons, welches die Lebensdauer der Blätter verlängern kann. Anhand von Versuchen im Gewächshaus konnten die Forscher zeigen, dass ihr Ansatz erfolgreich ist: Nach zwei Monaten Trockenstress verloren «wilde» Maniokpflanzen die Hälfte ihrer Blätter, während die gentechnisch veränderten Pflanzen nur 10 bis 20 Prozent der Blätter abgeworfen hatten. Auch Feldstudien in China verliefen erfolgreich.

Das Projekt hat Gruissem nun ausgeweitet. Er hat neue Genkonstrukte entwickelt. Zudem arbeiten er und seine Gruppe mit einem Maniok-Züchter in Kenia zusammen, um natürlich

trockentolerante Manioksorten mit den transgenen Pflanzen zu vergleichen. «Das wird uns helfen, den Mechanismus der Trockentoleranz besser zu verstehen», sagt der ETH-Professor. «Diese Information können wir dann einsetzen, um die konventionelle Züchtung von trocken-toleranten Manioksorten zu beschleunigen, welche die Bauern bevorzugen, oder um unseren gentechnischen Ansatz auf bevorzugte Sorten auszuweiten.»

#### Viele Wege sind notwendig

Auch grosse Saatgutfirmen sind derzeit daran, trockenresistente Pflanzen zu entwickeln. BASF und Monsanto etwa gehen davon aus, dass sie Anfang 2012 einen neuen Mais auf den Markt bringen können, der trockenresistenter ist als herkömmliche Sorten. Auch dieser Effekt basiert auf einem eingebauten Gen. Dieses stammt allerdings aus einem Bakterium und verhilft der Pflanze zu einer generellen Stressresistenz, was sich auch positiv gegen Trockenheitsstress auswirkt.

Für Achim Walter ist Gentechnik ein wichtiges Instrument, um dieses komplexe Problem zu lösen. «Um gegen Ernteverluste durch Trockenheit vorgehen zu können, brauchen wir eine ganze Palette von Massnahmen. Transgene Pflanzen zu erzeugen ist eine davon, aber nicht die einzige Lösung», sagt Walter. Helfen können auch optimierte Bewässerungssysteme, der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, effiziente Düngung oder die Wahl einer idealen Fruchtfolge. Auch an diesen Themen arbeiten Forschungsgruppen der ETH. «Es ist eine Stärke der ETH, dass verschiedene Arbeitsgruppen von unterschiedlicher Seite her an das Problem herangehen», betont der Pflanzenphysiologe.

→ [www.kp.ethz.ch](http://www.kp.ethz.ch)

→ [www.ethglobe.ethz.ch/cassava](http://www.ethglobe.ethz.ch/cassava)

## Wussten Sie schon?

Wir verbrauchen mehr Wasser, als wir glauben. Denn die Produktion vieler Güter verschlingt Unmengen von Wasser, ohne dass wir einmal den Wasserhahn aufdrehen. Das Wasser, das aufgewendet wird, um ein Produkt zu erzeugen, wird als virtuelles Wasser bezeichnet. In einem Kilogramm Rindfleisch steckt fünf- bis fünfzehnmal mehr virtuelles Wasser als in einem Kilo Getreide.

### Virtuelles Wasser

So viel Wasser ist nötig, um folgende Produkte herzustellen:



**1100**

Liter Wasser für  
1 kg Weizen



**2000**

Liter Wasser für  
1 Baumwoll-  
T-Shirt



**20 000**

Liter Wasser für  
1 Kleinwagen



**300 000**

Liter Wasser für  
1 grossen PKW



**4500**

Liter Wasser für  
1 kg Hühnereier



**900**

Liter Wasser für  
1 kg Mais



**1000**

Liter Wasser für  
1 Liter Milch



**35**

Liter Wasser für  
1 Tasse Tee



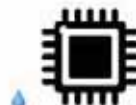
**140**

Liter Wasser für  
1 Tasse Kaffee



**15 000**

Liter Wasser für  
1 kg Rindfleisch



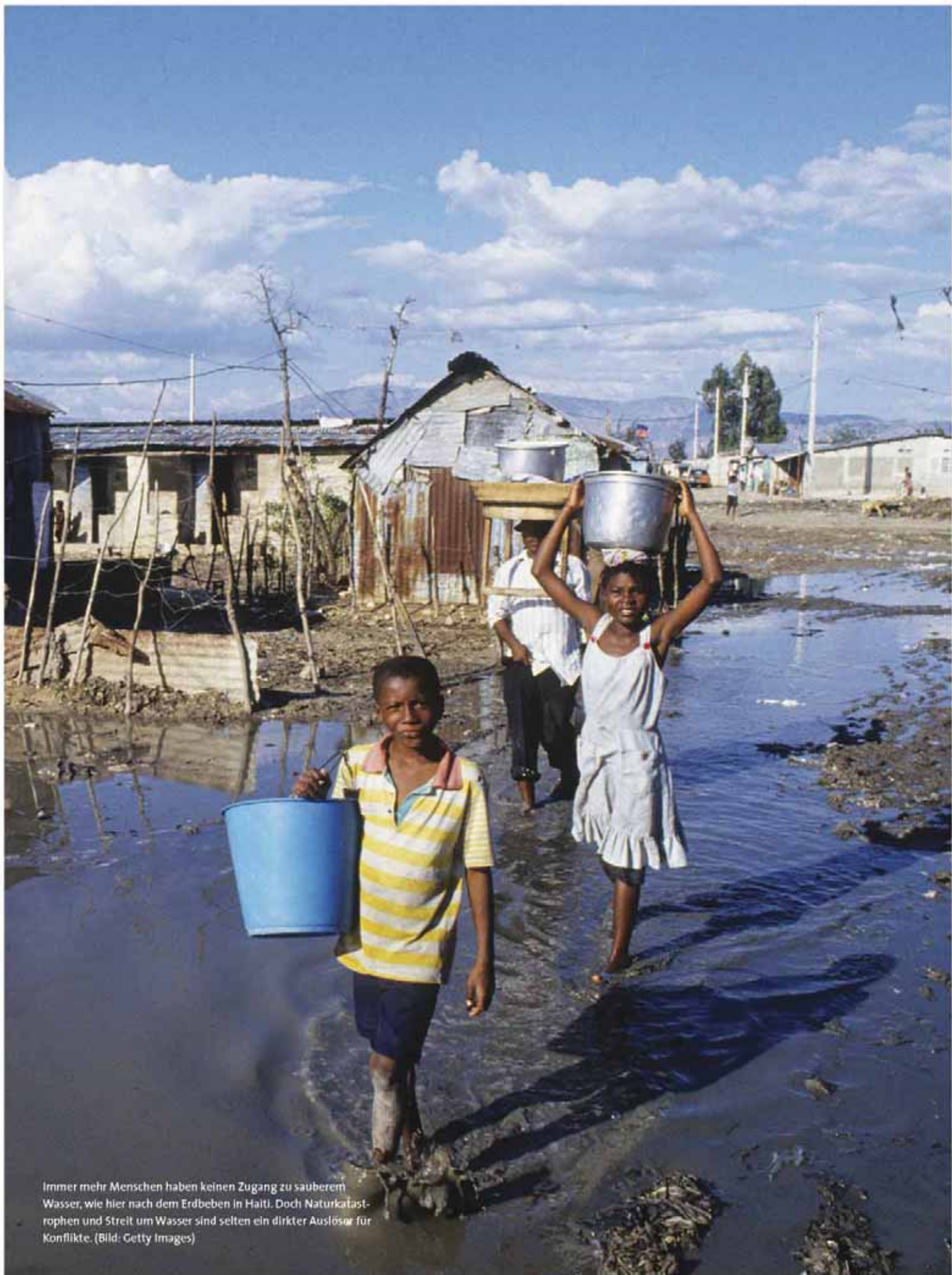
**32**

Liter Wasser für  
1 Mikrochip



**4000**

Liter Wasser für  
1 kg Reis



Immer mehr Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Wasser, wie hier nach dem Erdbeben in Haiti. Doch Naturkatastrophen und Streit um Wasser sind selten ein direkter Auslöser für Konflikte. (Bild: Getty Images)

# «Der Krieg um Wasser ist Spekulation»

Die Weltbevölkerung wächst auf über sieben Milliarden Menschen. Damit steigt auch die Nachfrage nach der begrenzten Ressource Wasser. Doch führt Wassermangel zu Krieg und welche Länder sind besonders gut dagegen gewappnet? Ein Gespräch mit Thomas Bernauer, Professor für Politikwissenschaft.

Interview: Thomas Langholz

Der frühere UN-Generalsekretär Boutros Gali prophezeite: «Die Kriege der Zukunft werden um Wasser geführt.» Hat er Recht?

*Thomas Bernauer:* Dieser Aussage stehe ich sehr kritisch gegenüber. Als Wissenschaftler beobachtet man vor allem das Nachweisbare aus der Vergangenheit und versucht daraus Schlüsse auf Entwicklungen in der Zukunft zu ziehen – alles andere ist Spekulation. Unsere Untersuchungen bestätigen diese Aussage nicht.

Das heisst, es wird nicht zu Kriegen kommen? Das habe ich nicht gesagt. Doch bevor ich eine solche Aussage treffe, muss ich erst einmal die Begriffe differenzieren. Es wird oft pauschal von Krieg und Konflikten gesprochen. Was ist darunter zu verstehen? Ist es ein verbaler Konflikt innerhalb eines Landes, eine Auseinandersetzung zwischen zwei Dörfern oder ein Krieg zwischen zwei Ländern, also ein internationaler Gewaltkonflikt?

Wie beurteilen Sie das Konfliktpotenzial zum Thema Wasser?

Es gibt verschiedene Auseinandersetzungen um Wasser. In der Vergangenheit gab es jedoch weder einen internationalen Krieg noch Bürgerkriege um Wasser. Einige Bürgerkriege werden heute in Ländern geführt, in denen das Wasser knapp ist, zum Beispiel Sudan oder

Ostanatolien. Wasser ist bei diesen Konflikten aber eine Begleiterscheinung und nicht die Ursache.

Es ist aber eine Tatsache, dass Süsswasser immer knapper wird. In Europa zum Teil durch Touristen, die viel mehr Wasser verbrauchen, als das Land hat, oder auch durch die wachsende Weltbevölkerung mit jetzt über sieben Milliarden Menschen, die Wasser benötigen. Die Wassermenge auf der Erde bleibt konstant. Durch den Klimawandel verändert sich aber der hydrologische Kreislauf auf der Welt. Dadurch bekommen einige Regionen weniger Wasser, andere leiden unter Überschwemmungen. Das heisst, die bestehenden Ressourcen werden etwas anders verteilt. In einem Projekt zum Sambesi (siehe Seite 18) haben wir untersucht, welcher Effekt mehr Einfluss auf den Wassermangel hat – die Klimaveränderung oder wirtschaftliche und soziale Entwicklungen. Wir stellten fest, dass die erhöhte Nachfrage durch das Bevölkerungswachstum und andere menschliche Faktoren einen viel grösseren Effekt auf die Wasserressourcen hat und haben wird als der Klimawandel. Den grössten Bedarf hat die Landwirtschaft. Wenn die Anbaumethoden geändert werden, indem die bewässerte Landwirtschaft intensiviert wird, kann dies sogar im sehr wasserreichen Sambesi zu einem Wassermangel führen.

Das heisst, unter diesen Umständen erhöht sich das Risiko von Konflikten um Wasser? Ob Wasserknappheit zu Konflikten oder sogar Kriegen führt, wird schon länger diskutiert. Es gibt hierzu zwei Lager: Auf der einen Seite die malthusianische Denktradition und auf der anderen Seite die Pragmatiker. Der Ökonom Malthus ging davon aus, dass die landwirtschaftlichen Erträge nicht im selben Masse steigen können, wie die Bevölkerung wächst. Irgendwann geht die Schere zu weit auf, und es kommt zu Konflikten um knappe Ressourcen zur Nahrungsmittelproduktion. Durch Kriege und Krankheiten wird die Anzahl der Menschen dann verringert, und das System ist wieder im Gleichgewicht. Daher stammt auch die Idee vom Krieg um Wasser. Die Forschung hat diese Behauptung inzwischen widerlegt. Ohne Zweifel wird Wasser knapper. Die Forschung zeigt aber, dass Gesellschaften meist recht kreativ und innovativ sind und sich anpassen können, vor allem wenn die Wasserknappheit nicht zu schnell akut wird.

Mit welchen Mitteln?

Beispielsweise durch politische und wirtschaftliche Institutionen, die das Wasser effizienter verteilen und dadurch das Konfliktpotenzial reduzieren. Oder durch technologische Innovationen zur effizienteren Wassernutzung, zum Beispiel durch verbesserte Pflanzenarten und Anbaumethoden.

Welche Ansicht vertreten Sie selbst?

Eher eine pragmatische und optimistische Sicht. Die sozialwissenschaftliche Forschung, zu der auch meine Gruppe beiträgt, zeigt, dass es zu Konflikten um Wasser kommen kann. Wasserkonflikte lassen sich in den meisten Fällen jedoch durch gut konzipierte gesellschaftliche Institutionen so weit regeln, dass sie nicht zu einem Bürgerkrieg oder internationa-

## Zur Person



Thomas Bernauer, Professor für Politikwissenschaft (Internationale Beziehungen) am Departement für Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften (D-GESS) der ETH Zürich. In Forschung und Lehre beschäftigt er sich mit Fragen der internationalen Wirtschafts- und Umweltpolitik. Er und sein Forschungsteam sind im Zentrum für Vergleichende und Internationale Studien (CIS) und dem Institut für Umweltentscheidungen (IED) angesiedelt. Zurzeit ist er auch Mitglied des Präsidiums des Schweizerischen Nationalfonds.

len Krieg eskalieren. Es treten zwar immer wieder kleinere «Brandherde» auf, indem sich zum Beispiel Nomaden gewalttätig um eine Wasserquelle streiten. Einen grossen «Flächenbrand» im Sinne kriegerischer Ereignisse um Wasser konnten wir jedoch nicht finden. Insbesondere wohlhabendere Staaten, die über technische Innovationskraft verfügen, sowie Demokratien sind besser in der Lage, Wasserkonflikte zu vermeiden oder zumindest unterhalb der Gewaltschwelle zu halten.

**Funktionierende Rechtssysteme und technische Innovationskraft fehlen jedoch oft in Entwicklungsländern. Das heisst, die Ärmsten der Armen sind eher konfliktgefährdet?**  
Das Risiko gewalttätiger Wasserkonflikte ist in Ländern wie Sudan, Kenia und Somalia sicher höher als in der Schweiz oder Australien. Trotzdem ist die Sicht, dass das Fehlen von Wohlstand, Demokratie und Rechtsstaatlichkeit gleich zu gewaltsamen Wasserkonflikten führen muss, zu mechanistisch. Selbst in Staaten, in denen das Risiko von Wasserkonflikten hoch ist, sehen wir, dass diese Konflikte nicht in einen Krieg eskalieren.

**Es gibt auch die These, dass Staaten Wasser als Druckmittel einsetzen. Dann braucht es keine Panzer, sondern dem anderen Land wird einfach der Wasserhahn abgedreht.**

Diese Behauptung ist nicht haltbar. Ein Staudamm ist ein Milliardenprojekt. Staaten lassen Staudämme bauen, um Energie und Wasserprobleme zu lösen, und nicht, um einem Untertan das Wasser zu nehmen oder ihn mit einer solchen Drohung unter Druck zu setzen. In Kriegen wird manchmal Wasserinfrastruktur zerstört, und einige Beobachter interpretieren diese Handlungen als Kriege um Wasser. Auch dies ist unsinnig, denn es geht dabei nicht darum, sich das Wasser des Gegners anzueignen, sondern

einfach um die Zerstörung ökonomisch wichtiger Infrastruktur.

**Wenn Wasserkonflikte nur ein geringes Kriegsrisiko bergen, wieso ist dieses Thema dann so prominent in den Medien?**

Dürre, Klimawandel, Krieg – das sind attraktive Medienthemen. Werden solche Phänomene miteinander verbunden, die im Prinzip eigentlich wenig miteinander zu tun haben, lässt sich noch mehr öffentliche Aufmerksamkeit erzeugen. Argumente für eine strengere Klimapolitik, die auf eine «Klimawandel = Kriege um Wasser»-Rechtfertigung setzen, sind jedoch riskant und tun den ansonsten völlig legitimen Forderungen nach einer Reduktion der Treibhausgas-Emissionen längerfristig keinen Gefallen.

→ [www.cis.ethz.ch](http://www.cis.ethz.ch)

→ [www.ied.ethz.ch](http://www.ied.ethz.ch)

# «Wir brauchen eine neue Form des Dialogs»

Der Ökonom Anjan Datta arbeitet seit 2002 beim United Nations Environment Programme (UNEP). Mit ETH Globe sprach der Experte für Wasserressourcen-Management darüber, warum es so wichtig ist die Gesellschaft in die Wasserplanung mit einzubeziehen.

Interview: Christine Heidemann

Die Hungerkatastrophe in Ostafrika hat uns gerade jüngst wieder vor Augen geführt, wie sehr wir von der Ressource Wasser als Lebensgrundlage abhängen. Sie beschäftigen sich beim UNEP unter anderem mit Fragen des Wassermanagements. Sind solche Katastrophen auch Folge von fehlendem oder falschem Management?

Anjan Datta: Ein Hauptproblem ist, dass die wenigsten Nutzer die Ressource Wasser als Gesamtsystem betrachten. Jeder Sektor, sei es die Landwirtschaft oder die Industrie, konzentriert sich in der Regel nur auf seine Bedürfnisse. Das ist eine sehr isolierte Betrachtungsweise, die zu unangemessener Nutzung, ja Missbrauch der Ressource führt. Wasser wird als immer verfügbares, kostenloses Gut betrachtet. Erst seit kurzem gibt es flächendeckende Wasserressourcen-Management-Pläne, die eine nachhaltige Nutzung und gerechte Verteilung der Ressource Wasser für menschliche Bedürfnisse und für die Natur garantieren sollen.

Sofern diese Pläne auch von den Regierungen umgesetzt werden...

Ja, das ist in der Tat schwierig. Ein Plan ist ein Stück Papier. Er muss auch entsprechend in der Gesellschaft kommuniziert werden. Für viele Regierungen ist die Arbeit mit der Entwicklung eines Planes erledigt. Doch die Umsetzung ist das Entscheidende. Und das funktioniert nur, wenn die Regierung die notwendigen institutionellen Voraussetzungen schafft und die Ver-

antwortung an die geeignete Stufe möglichst weit unten delegiert. Ob dies bis auf Dorfebene hinabgehen sollte oder nur bis auf Bezirksebene muss im Einzelfall entschieden werden. Wichtig ist jedoch, dass es passiert. Dennoch wird es leider immer wieder Akteure geben, die sich nicht an die Regeln halten, die Wasser verschwenden und verschmutzen – zulasten vor allem der ärmeren Bevölkerung. So leidet ein Teil der afrikanischen Gesellschaft heute an den Folgen des Handelns anderer.

Was wäre eine Lösung?

Wir brauchen dringend eine neue Form des Dialogs. Die Gesellschaft muss viel stärker mit einbezogen werden und sich auch entsprechend engagieren, wenn es darum geht, die Ressource Wasser nachhaltig zu bewirtschaften. Vertreter von Kommunen, Industrie, Umweltgruppen und Wissenschaft müssen in einem konstanten Dialog miteinander stehen. Denn gesellschaftliche, ökologische und ökonomische Interessen dürfen sich nicht gegenseitig ausschliessen.

Manchmal, so scheint es, bedarf es jedoch erst einer Katastrophe, bis es zu einem Dialog und Veränderungen kommt ...

Das ist richtig. Zum Beispiel hat die UNEP durch das Projekt «Integrated Watershed and Coastal Area Management» die Insel Saint Lucia in den Kleinen Antillen dabei unterstützt, an Schulen ein System zum Auffangen von Regenwasser einzurichten. Als dann 2010 der

Hurrikan «Tomas» über die Insel hinwegfegte, gab es nirgendwo mehr Wasser – ausser an den Projekt-Schulen. Das hat den Premierminister so beeindruckt, dass er fortan die Regenwasser-Gewinnung in allen Gesundheitszentren zur Pflicht gemacht hat. Und zurzeit wird gerade überprüft, ob Regenwassergewinnungs-Anlagen in jedes neues Gebäude auf der Insel integriert werden sollen. Katastrophen können Regierungen zum Umdenken bewegen. Das passiert zur Zeit auch in Afrika. Dort ist die Regenwasser-Gewinnung Teil des Aufbauprozesses.

Und wenn die Regierung nicht aktiv wird?

Dann können die Menschen immer noch selbst die Initiative ergreifen, sofern sie die Technologien und Mittel dazu haben. Das heisst aber nicht, dass wir uns zurücklehnen können, in der Hoffnung, dass sich alles von selbst regelt. Wir müssen uns bewusst sein, dass wir weltweit zwar genügend Wasserreserven haben, aber mit diesen auch äusserst sorgfältig umgehen müssen, um eine globale Wasserkrise zu verhindern.

## Zur Person

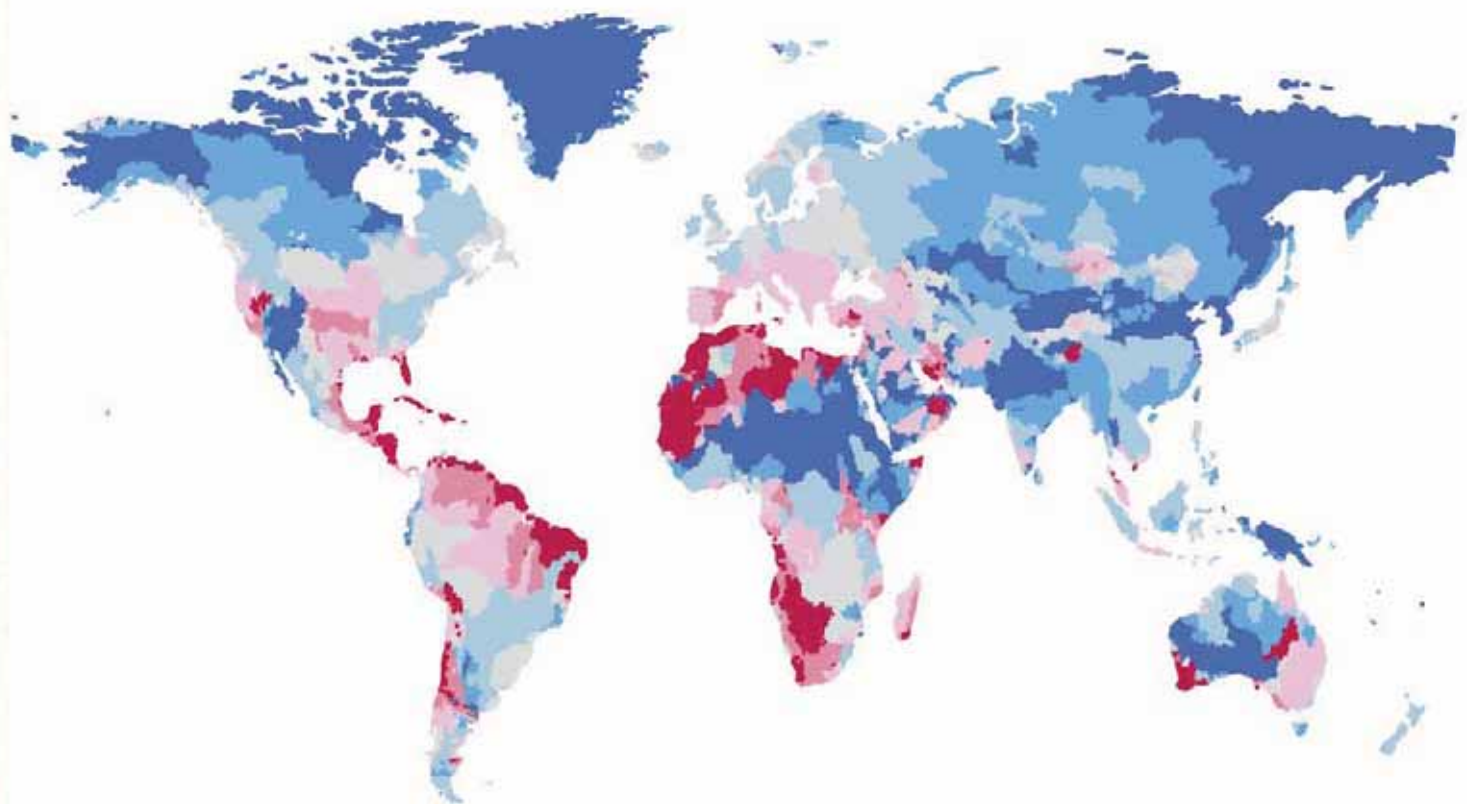


Der Ökonom Anjan Datta leitet beim Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) in Nairobi das «Secretariat of the Global Partnership on Nutrient Management». Zuvor war er unter anderem für die Weltbank sowie verschiedene Forschungsinstitute und NGOs tätig. Dabei publizierte er ausgiebig zum Thema «Land- und Wasserressourcenmanagement».

## Wussten Sie schon?

Wasser ist auf der Erde sehr ungleich verteilt. In vielen Regionen ist Wasser schon lange knapp, und die Knappheit nimmt dort zu. Die UNO spricht von erstem Wassermangel, wenn einem Menschen weniger als 1000 m<sup>3</sup> Wasser pro Jahr zur Verfügung stehen. 2025 werden bereits 3 Milliarden Menschen unter erstem Wassermangel leiden. Wasserknappheit wird in Teilen Südamerikas, in den Ländern rund ums Mittelmeer und im Mittleren Osten, in Australien und in Südafrika zunehmen. In Ostasien wird durch den Klimawandel mehr Wasser zur Verfügung stehen.

## Wasserverfügbarkeit im Jahr 2070



So ändert sich die Wasserverfügbarkeit im Vergleich zu heute:





# Ab drei Grad wird's kritisch

Als Folge des Klimawandels wird das Produktionsrisiko in der Schweizer Landwirtschaft grösser, und der Bewässerungsbedarf könnte deutlich steigen. Mit den damit verbundenen Herausforderungen beschäftigen sich Wissenschaftler der ETH Zürich und der Forschungsanstalt Agroscope ART.

Lukas Denzler

Die Schweiz verfügt im Unterschied zu vielen anderen Ländern über beträchtliche Wasserressourcen. Die Landwirte kommen in den meisten Regionen des Landes bisher ohne künstliche Bewässerung zurecht. Lediglich in den trockenen und zentralen Alpentälern wurde seit dem Mittelalter ein ausgedehntes Bewässerungssystem angelegt. Berühmt sind etwa die spektakulären Kanäle im Wallis, die Suonen. Rund die Hälfte der heute in der Schweiz bewässerten Flächen liegt dort, und ein grosser Teil des Wassers wird nach wie vor über die Suonen transportiert.

Doch sollte der Klimawandel den Wasserhaushalt nachhaltig verändern, könnte sich die Situation auch in der Schweiz verschärfen – mit entsprechenden Folgen für die Landwirtschaft.

## Keine Erfahrung mit Bewässerung

Eine moderate Klimaerwärmung von 2 bis 3 Grad Celsius würde sich zwar voraussichtlich tendenziell positiv auf das Pflanzenwachstum auswirken. So wird beispielsweise die potenzielle Jahresproduktion der Wiesen als Folge der längeren Vegetationsperiode zunehmen. Aber ab einer Erwärmung von etwa 3 Grad Celsius wird es kritisch: «Dann dürften auch in der Schweiz die negativen Auswirkungen überwiegen», sagt Jürg Fuhrer von der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Agroscope ART in Reckenholz-Zürich. In der Schweiz liegt deshalb der Fokus derzeit auf der Verfüg-

barkeit von Wasser und dem Bewässerungsbedarf. So konnte Fuhrer vor zwei Jahren zeigen, dass schon heute rund ein Viertel der landwirtschaftlichen Nutzfläche bewässerungsbedürftig ist. Auf diesen Flächen liessen sich die Erträge durch eine Zusatzbewässerung steigern. «In der Schweiz haben wir allerdings wenig Erfahrung mit der Bewässerung und effizienten Bewässerungstechnologien», gibt Fuhrer zu bedenken. Werde künftig mehr bewässert, so müssten in diesem Bereich Fortschritte erzielt werden.

Besonders stark wirken sich Hitzeperioden auf den Ertrag aus. Der Schweizerische Bauernverband schätzte die Verluste im Trockensommer 2003, der oft als Beispiel für das künftige Sommerklima angeführt wird, auf bis zu 500 Millionen Franken. In Süd-, Mittel- und Osteuropa wurde der ökonomische Schaden der Missernten auf 12,3 Milliarden Dollar beziffert.

## Frühwarnsystem für Trockenperioden

In Mitteleuropa erwarten die Forscher infolge des Klimawandels eine Zunahme von Trockenperioden. Welche Rolle die Böden bei der Entstehung von Hitzewellen spielen, untersucht Sonia Seneviratne mit ihrem Team am Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich. Es hat sich gezeigt, dass, wenn die Böden ausgetrocknet sind und kaum noch Wasser verdunsten, das Risiko von Hitzeperioden stark ansteigt. Der Feuchtezustand des Bodens ist

somit ein guter Indikator für die Wahrscheinlichkeit einer bevorstehenden Hitzeperiode. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61) soll nun erstmals ein Frühwarnsystem für Trockenperioden entwickelt werden. «Eine Verbesserung der Vorhersage auf Zeiträume von bis zu sechs Wochen ist realistisch», sagt Sonia Seneviratne. Ziel des Projektes, bei dem auch Vertreter der Landwirtschaft involviert sind, ist es, eine virtuelle Plattform für Trockenperioden aufzubauen.

Seit Ende September stehen nun auch die vom Zentrum für Klimamodellierung (C2SM) der ETH Zürich und von MeteoSchweiz gemeinsam erarbeiteten neuen Klimaszenarien 2011 zur Verfügung. Die Temperaturerhöhung könnte ab 2050 in einem Bereich liegen, in dem negative Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion zu erwarten sind. Bei den Niederschlägen sind die Unsicherheiten grösser. Doch für die in der Landwirtschaft bedeutsamen Sommermonate zeigen die Modelle für die zweite Hälfte des Jahrhunderts je nach Region und Szenario über-

## NFP 61

Das Nationale Forschungsprogramm «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61) erarbeitet wissenschaftliche Grundlagen und Methoden für einen nachhaltigen Umgang mit den Wasserressourcen. Die beteiligten Wissenschaftler untersuchen die von den klimatischen und gesellschaftlichen Veränderungen hervorgerufenen Auswirkungen auf diese Ressource und identifizieren die Risiken und zukünftigen Konflikte, die mit der Wassernutzung verbunden sind.

→ [www.nfp61.ch](http://www.nfp61.ch)

einstimmend einen deutlichen Rückgang der Niederschläge von 15 bis 30 Prozent.

### Zunehmende Variabilität der Erträge

Die neuen Klimaszenarien erlauben es den Wissenschaftlern von Agroscope, ihre Pflanzenwachstumsmodelle mit den aktuellsten Klimadaten zu betreiben. Und diese bilden wiederum die Grundlage für weitere Modelle, die auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Mit deren Entwicklung beschäftigt sich die Forschungsgruppe für Agrarökonomie an der ETH Zürich in verschiedenen Projekten des Schweizer Nationalfonds (Nationaler Forschungsschwerpunkt Klima und NFP 61) sowie des Kompetenzzentrums für Umwelt und Nachhaltigkeit (CCES). «Unsere bisherigen Untersuchungen zeigen, dass aufgrund des Klimawandels bei den mittleren Erträgen keine dramatischen Veränderungen zu erwarten sind», sagt Robert Finger, Oberassistent in der Gruppe. Stark zunehmen werde aber die Variabilität von Jahr zu Jahr. Mit anderen Worten: Für den Landwirt steigt das Produktionsrisiko. Dies gelte für die Bewirtschaftung von Grasland, aber insbesondere auch für den Anbau von Ackerkulturen, sagt Finger. Im Fokus stünden vor allem Kulturen wie etwa Mais

oder Kartoffeln, die auf ein ausreichendes Wasserangebot im Sommer angewiesen sind. In der Landwirtschaft geht es vor allem darum, geeignete Massnahmen zu finden, um das Produktionsrisiko zu reduzieren. Durch die höheren Temperaturen verlängert sich die günstige Zeitperiode für den Anbau von Mais. Weil für den Mais vor allem trockene Sommer kritisch sind, könnte sich eine zeitliche Verschiebung der Saat als einfache Anpassungsmassnahme erweisen. Eine Bewässerung der Maisfelder würde zwar zu höheren und weniger variablen Erträgen führen, sagt Robert Finger. Der damit verbundene ökonomische Gewinn für die Landwirte sei aber in vielen Fällen eher bescheiden. «Die künftigen Marktbedingungen und das politische Umfeld haben einen deutlich grösseren Einfluss auf die Schweizer Landwirtschaft als der Klimawandel und eine allfällige Bewässerung der Kulturen», ist der Agrarökonom überzeugt. Die Schweizer Bauern wirtschaften derzeit in einem relativ risikoarmen Umfeld. Insbesondere haben die von der Produktion unabhängigen Direktzahlungen an die Bauern einen immer grösseren Anteil am bäuerlichen Einkommen. Und diese vermögen wetterbedingte Ertragsverluste zu einem gewissen Grad abzufedern.

Wetterbedingte Ernteausfälle könnten durch entsprechende Versicherungen abgedeckt werden. Bei Hagelschäden etwa hat sich die Schweizer Hagelversicherung bewährt. Seit einiger Zeit bietet diese im Rahmen eines Versuchs auch eine erweiterte Ackerbau-Pauschalversicherung für Schäden infolge von Trockenheit und Starkregen an. Im Ausland sind Landwirtschafts-Versicherungen gegen Ertragsausfälle stärker verbreitet als in der Schweiz. Oft könnten diese aber nur dank staatlicher Unterstützung ihre Leistungen anbieten, sagt Robert Finger. Neben dem Fokus auf klassischen Versicherungsinstrumente wird im Rahmen einer Doktorarbeit gegenwärtig untersucht, ob indexbasierte Versicherungen eine sinnvolle Ergänzung zu den heute verbreiteten Policen darstellen. Die Idee dabei ist, dass ein Landwirt dann die Versicherungssumme ausbezahlt bekommt, wenn bestimmte klimatische Kriterien überschritten werden – etwa ein Index für Trockenheit.

### Fallstudie in der Broye

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass eine grossflächige Bewässerung für die Schweizer Landwirtschaft nicht die Lösung sein kann. Regional und für bestimmte Kulturen könnte der Bewässerungsbedarf jedoch zunehmen. In der Broye, einem Gebiet südwestlich des Murtensees, wo unter anderem für den Kartoffelanbau bereits heute oft bewässert wird, untersuchen die Forscher der Gruppe für Agrarökonomie und von Agroscope derzeit im Rahmen einer Fallstudie, wie das landwirtschaftliche Produktionssystem optimiert werden und wie die Politik eine sinnvolle Entwicklung steuern könnte. Das Pionierprojekt ist Teil des NFP 61. Bereits zeichnen sich in der Broye Konflikte zwischen der landwirtschaftlichen Produktion und einem umweltverträglichen Einsatz von Wasser aus Fliessgewässern ab. Als zweite Region für eine weitere Fallstudie wählten die Forscher das eher feuchte Gebiet um den Greifensee, wo aktuell kaum bewässert wird.

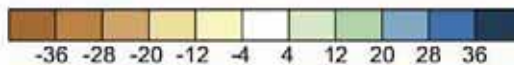
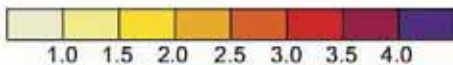
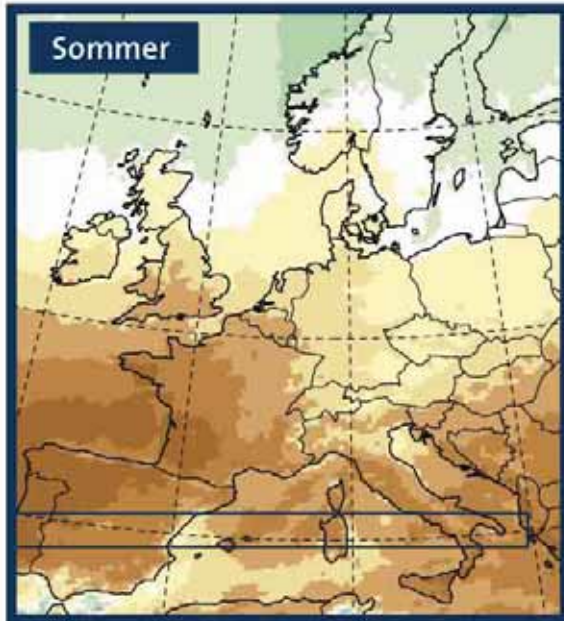
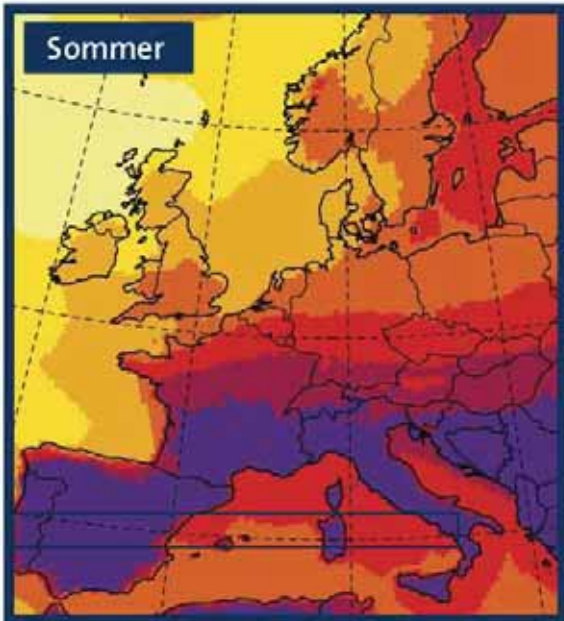
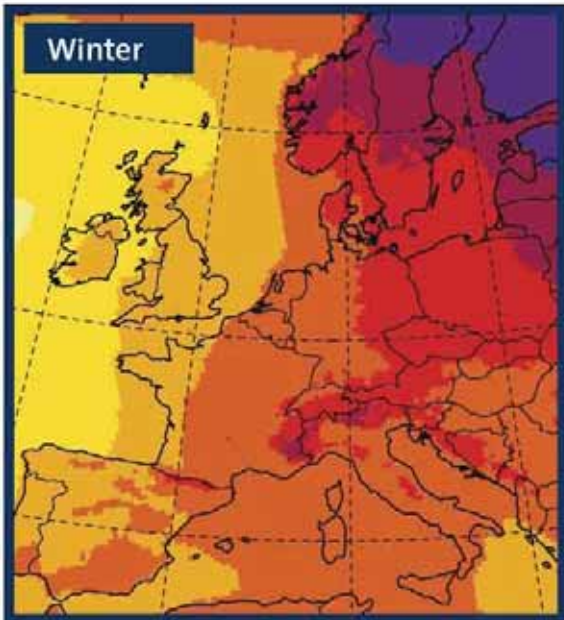
## Stand der Bewässerung in der Schweiz

Gemäss einer Schätzung des Bundesamtes für Landwirtschaft aus dem Jahr 2006 werden immerhin etwa 5 Prozent der bewirtschafteten Landwirtschaftsfläche bewässert. Neben den Wiesen im Wallis und Südbünden sind es vor allem Spezialkulturen, bei denen die Qualität der Erzeugnisse entscheidend ist. Beim Gemüse werden drei Viertel bewässert. Beim Obst und den Reben sind es etwa ein Drittel der Kulturen, bei den Kartoffeln 16 Prozent. Rund zwei Drittel der für die Bewässerung benötigten Wassermenge wird über Suonen, offene Bewässerungskanäle, in das Bewässerungsgebiet geführt. Diese traditionelle Bezugsart ist vor allem im Wallis vorherrschend und versorgt rund die Hälfte der bewässerten Fläche. Je rund 4 bis 7 Prozent der Wassermenge werden aus Kanälen und Bächen, aus Flüssen oder aus dem Grundwasser entnommen. Mit nur je 1 Prozent ist die Entnahmemenge aus Seen sowie aus dem Trinkwassernetz bescheiden.

# Prognostizierte Klimaänderung 2070 bis 2099

Temperaturänderung (°C)

Niederschlagsänderung (%)



Temperatur- und Niederschlagsänderungen für Winter und Sommer, wie sie anhand von Klimamodellen berechnet werden. Die Grafik zeigt die mittlere Änderung aus allen Modellen für den Zeitraum 2070 bis 2099 gegenüber den Jahren 1980 bis 2009, für ein mittleres (A1B) Treibhausgas-Emissionsszenario. (Quelle: Swiss Climate Change Szenarios CH2011)

## Zelltod durch Biorechner

Forschern ist es gelungen, ein biologisches Computernetzwerk in menschliche Zellen einzubauen, das Krebszellen erkennt und zerstört. Kobi Benenson, Professor für Synthetische Biologie an der ETH Zürich, stellte zusammen mit seinem Forscherkollegen Ron Weiss vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) einen Schaltkreis aus verschiedenen Genen vor, dessen Aufgabe es ist, im Innern einer menschlichen Zelle Gesundheitsinformationen zu sammeln und gleich auch eine Behandlung einzuleiten. Der «Biorechner» soll zwischen Krebszellen und gesunden Zellen unterscheiden können und bei entarteten Zellen den Zelltod einleiten. Er tritt in Aktion, wenn im Inneren der Zelle fünf krebsspezifische Faktoren in ausreichender Konzentration vorhanden sind.

Die Forscher testeten das Gen-Netzwerk in Krebszellen aus dem Gebärmutterhals und in gesunden Zellen. Zuerst mussten sie herausfinden, welche Kombination von Signal-Molekülen für Krebszellen spezifisch genug sind, um die Zerstörung gesunder Zellen auszuschliessen. Schwierig dabei war, dass es im menschlichen Körper ungefähr 250 verschiedene Zelltypen und unzählige Varianten von Krebszellen gibt. Der jetzt entwickelte Zellcomputer kann fünf Faktoren miteinander verknüpfen und daraus die richtige Diagnose stellen. Dies ist ein wichtiger Schritt zu einer funktionalen Methode zur Behandlung von Krebspatienten. Der Versuch Benensons ist der erste seiner Art an lebenden Zellen. In einem nächsten Schritt will er diese Zellcomputer in einem geeigneten Tiermodell testen.



Das Schaltschema des Zellcomputers in der menschlichen Zelle. (Grafik: Y. Benenson/R. Weiss)

## ETH Spin-offs an der Spitze



David Niederer, Manuel Aschwanden und Mark Blum vom ETH-Spin-off Optotune. (Bild: Optotune)

In der Schweiz werden jedes Jahr rund 35 000 neue Firmen gegründet. Das Institut für Jungunternehmen (IFJ) hat nun die 100 erfolgreichsten Start-up-Unternehmen der Schweiz erkoren. 33 dieser jungen Unternehmen wurden von ETH-Absolventen gegründet oder werden als offizieller Spin-off geför-

dert. Auch die Spitzenplätze der Top-100-Liste sind fest in der Hand der ETH: Auf dem ersten Platz liegt der Linsenentwickler Optotune, auf dem zweiten Platz die Firma Dacuda, die in diesem Jahr eine neuartige Scanner-Maus auf den Markt brachte. Einen Platz dahinter liegt die von ETH-Absolventen gegründete Terminfindungs-Software Doodle. Die ETH Zürich unterstützt seit den Neunzigerjahren Forscherinnen und Forscher beim Aufbau eines eigenen Unternehmens mit Beratung, Infrastruktur und Vermittlung von Kontakten. Zudem haben sie die Möglichkeit, an zahlreichen Wettbewerben zur Förderung von Geschäftsideen teilzunehmen. Die erstplatzierte Firma Optotune gewann 2008 auch den Wettbewerb «venture» von ETH Zürich, McKinsey und der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) des Bundes.

## EU-Geld für Zürcher Forscher

Der Europäische Forschungsrat (ERC) hat in diesem Jahr zum vierten Mal die begehrten «ERC Starting Grants» vergeben. Der «Starting Independent Researcher Grant» unterstützt Projekte von vielversprechenden jungen Wissenschaftstalenten und ermöglicht ihnen den Aufbau einer eigenen Forschungsgruppe. Sieben Wissenschaftler der ETH Zürich und der Universität Zürich erhalten in diesem Jahr über zehn Millionen Euro für die Grundlagenforschung. Damit bestätigen die Hochschulen ihren Qualitätsausweis der vergangenen Jahre:

2010 gingen zehn, 2009 fünf «ERC Starting Grants» nach Zürich. Insgesamt zeichnet der ERC Forschende aus 38 Ländern aus. Unter den Preisträgern befinden sich 22 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die an einer Forschungsinstitution in der Schweiz arbeiten. Die Grants verteilen sich auf die

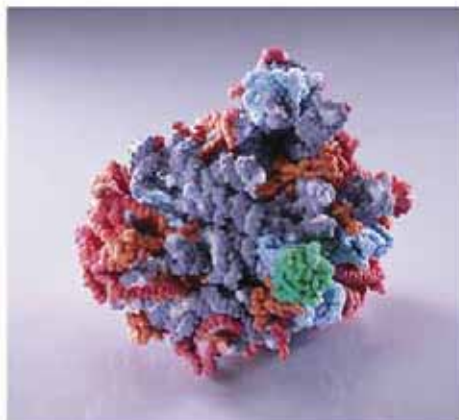
EPF Lausanne (6), die ETH Zürich (5) und die Universitäten Bern (4), Genf (2), Zürich (2), Basel (1) und Lausanne (1).



Zürcher Forschende erhalten über zehn Millionen Euro Fördergeld. (Bild: ElenaR / Fotolia.com)

## Protein-Fabrik der Zelle

Die zelluläre Maschine, die die Erbinformation Stück für Stück abliest und darauf basierend Eiweisse herstellt, das sogenannte Ribosom, ist eines der komplexesten Enzyme, die es in der Biologie gibt. Es besteht aus zwei Untereinheiten, die ihrerseits aus mehreren Dutzend Proteinen und weiteren Molekülen zusammengesetzt sind. Vor einem Jahr haben Forscher unter der Leitung von ETH-Professor Nenad Ban bereits die dreidimensionale Struktur der kleineren der beiden Untereinheiten bei einem höheren Organismus entschlüsselt, die sogenannte 40S-Untereinheit. Nun doppelten sie nach und veröffentlichten im Fachmagazin «Science» die Form der grösseren 60S-Untereinheit.



Diese Struktur klärten die Forscher beim einzelligen Wimperntierchen *Tetrahymena thermophila* auf. Damit haben die Forscher zum ersten Mal die Struktur der grossen Ribosomen-Untereinheit eines höheren Lebewesens aufgelöst. Zu dieser Gruppe von Lebewesen gehören auch Pilze, Pflanzen und Tiere. Die Ribosomen-Untereinheit des Wimperntierchens ist jenen von anderen höheren Lebewesen ähnlich, darunter auch der des Menschen.

Bereits vor zehn Jahren haben Forscher die Struktur beider Untereinheiten des Ribosoms von Bakterien entschlüsselt und erhielten 2009 den Nobelpreis für Chemie. Die Ribosomen höherer Lebewesen sind grösser und komplexer aufgebaut als jene von Bakterien.

Der Vergleich der Ribosomenstruktur von Bakterien und von höheren Lebewesen wird es Wissenschaftlern ermöglichen, neue Wirkstoffe gegen schädliche Organismen wie Bakterien, Fungizide oder Viren zu entwickeln.

Untereinheit des Ribosoms eines höheren Organismus. (Bild: Katharina Bohm, Felix Voigts-Hoffmann / ETH Zürich)

## Kosmischer Teilchenbeschleuniger



Das FACT-Teleskop nimmt erste Daten auf. (Bild: IPP / ETH Zürich)

Es ist eines der grossen Rätsel der Wissenschaft: Vor 99 Jahren entdeckte der österreichische Physiker Viktor Hess, dass unsere Erde fortwährend von hochenergetischen Teilchen aus den Tiefen des Alls getroffen wird. Wo diese Teilchen – auch kosmische Strahlung genannt – herkommen, ist noch weitgehend ungeklärt.

Mit sogenannten Cherenkov-Teleskopen wird nach den extrem schwachen Lichtblitzen gefahndet, die von hochenergetischen Teilchen in der Atmosphäre erzeugt werden. Forschende der ETH Zürich haben nun eine innovative Kamera mit dem Namen FACT entwickelt, mit der sich die von der kosmischen Strahlung induzierten Lichtblitze erstmals auch bei viel Umgebungslicht, zum Beispiel bei Vollmond, nachweisen lassen. Im Oktober konnten bereits die ersten Lichtblitze gemessen werden.

Für das neue Teleskop entwickelte die ETH Zürich mit der Universität Zürich spezielle Lichtleiter. Daraus wurde an der ETH Zürich eine neuartige Kamera mit 1440 Sensoren gebaut.

Mit der neuen Kamera wird es möglich, das Phänomen der kosmischen Strahlung lückenloser zu beobachten. Davon versprechen sich die Forscher, die Wirkungsweise dieses «kosmischen Teilchenbeschleunigers» bald besser verstehen zu können.

## «Informatik-Oscar» für Disney-Forscher

Markus Gross, Professor am Departement Informatik der ETH Zürich und Direktor von Disney Research Zurich, ist mit dem «Swiss ICT Award» geehrt worden. Mit dem Preis werden Persönlichkeiten aus den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnologie gewürdigt. «Der Wissenstransfer zwischen Forschung und Wirtschaft ist enorm wichtig. Mit unseren Technologien können wir dazu einen sichtbaren Beitrag leisten», sagt Gross.



Markus Gross mit dem «Swiss ICT Award». (Bild: SwissICT)

# Lokale Lösungen für globale Probleme

Die Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit, kurz DEZA, feierte jüngst ihr 50-jähriges Bestehen an der ETH. Mit der Hochschule verbindet sie eine langjährige Partnerschaft – eine Zusammenarbeit, die sich im Laufe der Zeit immer wieder gewandelt hat und vielleicht gerade deshalb so erfolgreich ist.

Felix Würsten

Dass eine Bundesbehörde ihr 50-jähriges Jubiläum an der ETH Zürich feiert, erscheint auf den ersten Blick ungewöhnlich. Doch die Ursprünge der gemeinsamen Geschichte von ETH und DEZA, der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit, reichen bis in die frühen 1950er-Jahre zurück. Damals wurde die ETH immer wieder angefragt, ob sie nicht Experten für Projekte in Entwicklungsländern vermitteln könne. Schliesslich übernahm die Hochschule die Koordination der Schweizerischen Entwicklungshilfe – eine Aufgabe, die sich jedoch schon bald als zu umfangreich entpuppte. Und so wurde sie zunächst dem damaligen Bundesamt für Industrie, Gewerbe und Arbeit übertragen, ehe dann 1961 der Dienst für technische Zusammenarbeit gegründet wurde, aus dem später die DEZA entstand.

«In der ersten Phase war Entwicklungshilfe ein rein technisches Problem», blickt Botschafter Martin Dahinden, Direktor der DEZA, zurück. Doch mit der Zeit habe sich immer deutlicher gezeigt, dass Projekte nur dann erfolgreich realisiert werden können, wenn man auch soziale und wirtschaftliche Faktoren berücksichtige. Durch diesen Perspektivwechsel hat sich die Entwicklungszusammenarbeit im Laufe der letzten Jahre verändert: Sie ist vielfältiger und anspruchsvoller geworden und integriert heute das Wissen aus ganz verschiedenen Disziplinen. Zudem haben sich auch die politisch-wirt-

schaftlichen Rahmenbedingungen fundamental verändert. «Der Austausch in der heutigen globalisierten Welt ist viel intensiver als früher, wodurch die Zusammenhänge komplexer geworden sind», erläutert Dahinden. Wenn etwa die USA ihren Farmern mit Subventionen ermöglicht, günstigen Weizen zu produzieren, und diese dann das Getreide nach Südamerika exportieren, hat das nicht nur für die dortigen Bauern Konsequenzen. «Die Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung verändern sich – mit den entsprechenden Folgen für das Gesundheitswesen.»

Von der Wissenschaft erhofft sich der DEZA-Chef daher, dass sie vermehrt solche komplexen Zusammenhänge aufzeigt. «Wir können heute die lokalen Probleme nicht mehr lösen, wenn wir die globalen Zusammenhänge ausblenden.» Deshalb bearbeitet die ETH Zürich heute Fragestellungen in Entwicklungs- und Schwellenländern interdisziplinär – etwa im Nord-Süd-Zentrum, wo Ingenieure, Umwelt-, Geistes- und Sozialwissenschaftler zusammenarbeiten. Oder im neuen ETH-Kompetenzzentrum «World Food System», das sich mit Fragen der globalen Ernährung beschäftigt.

## Neue Möglichkeiten für die Forschung

Dass sich seit 1989 die Entwicklungszusammenarbeit verändert hat, bestätigt auch Rolf Kappel, Leiter des Nachdiplomstudiums für

Entwicklungsländer (Nadel) an der ETH Zürich. «Weil wir heute in einer multipolaren Welt leben, ergeben sich ganz neue Möglichkeiten für die Entwicklungszusammenarbeit. Heute können wir Themen angehen, die wir früher nicht angerührt hätten, weil die geopolitische Situation so festgefahren war.» Und so befassen sich ETH-Forschende heute nicht nur mit Fragen aus den Bereichen Bauwesen, Wasser- und Energieversorgung, Landwirtschaft oder Verkehr, sondern auch mit politisch sensiblen Themen wie der Reform von Bildungssystemen, der Förderung von demokratischen Prozessen oder Aspekten einer verantwortungsbewussten Regierungsführung.

Gerade die klare Arbeitsteilung trägt wesentlich dazu bei, dass DEZA und ETH in vielen Projekten erfolgreich zusammenarbeiten: «Die DEZA macht direkte Entwicklungs- und Katastrophenhilfe und engagiert sich in der Entwicklungspolitik; die ETH hingegen erarbeitet die wissenschaftlichen Grundlagen, um die anstehenden Probleme zu bewältigen», hält Wolfgang Kinzelbach, Direktor des Nord-Süd-Zentrums an der ETH Zürich, fest. «Im Idealfall führt unsere Forschung zu einer wirkungsvolleren Entwicklungshilfe. Doch das ist nicht das primäre Ziel unserer Arbeit.»

In der Praxis lassen sich Entwicklungszusammenarbeit und wissenschaftliche Forschung nicht immer so klar trennen, hat Rolf Kappel festgestellt. Bei vielen Entwicklungsprojekten sei die Expertise von Wissenschaftlern gefragt – und das mit möglichst raschen Ergebnissen. «Langfristig orientierte Forschung und kurzfristige wissenschaftliche Beratung müssen sauber getrennt werden, damit es nicht zu gegenseitigen Frustrationen kommt.»

Dabei sind die ETH-Forschenden noch einem anderen Spannungsfeld ausgesetzt: Auf der einen Seite müssen sie den Ansprüchen einer Spitzenhochschule genügen. Auf der anderen Seite arbeiten sie in einem Umfeld, das der



(Bild: iStockphoto)

Spitzenforschung nicht gerade förderlich ist. Denn um an die notwendigen Daten in den Entwicklungsländern zu kommen, brauchen die Wissenschaftler oft viel Geduld. Etwa weil Behörden die Informationen nur zögerlich zur Verfügung stellen oder weil Feldmessungen wesentlich zeitraubender sind als hierzulande. Hinzu kommt, dass die ETH-Forschenden bei ihren Projekten stets auch mit lokalen Partnern kooperieren. «Und die arbeiten eben unter ganz anderen Rahmenbedingungen als wir», so Kappel.

Auch bei der DEZA ist man sich bewusst, dass sich die ETH hier in einer besonderen Situation befindet. «Ich bin überzeugt, dass Spitzenforschung auch im Armutskontext möglich ist», sagt Dahinden. «Gerade durch die Knappheit der Ressourcen in diesen Ländern ergeben sich immer wieder überraschend innovative Lösungen, die auch für eine Spitzenhochschule von Interesse sein könnten.» Zum Beispiel, wenn in einem Land ein Gesundheitswesen mit sehr limitierten finanziellen Ressourcen aufgebaut werden müsse.

Eine besonders enge Zusammenarbeit pflegen DEZA und ETH in der Ausbildung. Bereits seit mehr als 40 Jahren bietet die ETH mit dem NADEL ein spezifisches Studienpro-

gramm für angehende Experten in der Entwicklungszusammenarbeit an. Gerade in der Lehre gibt es laut Kappel viele Synergien: «Neben der Ausbildung von Nachwuchskräften, die zum Teil auch von der DEZA rekrutiert werden, führen wir Weiterbildungen für DEZA-Mitarbeitende durch. Zugleich sind DEZA-Mitarbeiter als Dozierende am Nadel tätig.» Auch direkt vor Ort kann die ETH einen wirksamen Beitrag zur Ausbildung leisten, indem sie Studierende aus den Partnerländern in die Forschungsprojekte einbezieht und teilweise auch an der ETH Zürich ausbildet. «Es ist allerdings nicht ganz einfach, Leute zu finden, die unseren Anforderungen genügen», ergänzt Kinzelbach, der im Laufe der letzten Jahre immer wieder Studierende aus Entwicklungsländern ausgebildet hat.

#### Zukunftspläne

Ein erneuerter Wandel in der Zusammenarbeit steht nun ab dem nächsten Jahr bevor: Die DEZA wird nicht mehr in Eigenregie Forschungsinstitutionen unterstützen, sondern künftig in enger Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Nationalfonds (SNF) gezielt Projekte finanzieren. An der engen Partnerschaft zwischen ETH und DEZA dürfte sich mit

dem neuen Modus allerdings nichts ändern – im Gegenteil, ist Martin Dahinden überzeugt: «Wir haben noch nicht das ganze Potenzial ausgeschöpft. Gerade im Energiebereich sehe ich zahlreiche Möglichkeiten für weitere Kooperationen.»

→ [www.deza.admin.ch](http://www.deza.admin.ch)

## Zur Person

Botschafter Martin Dahinden studierte Wirtschaftswissenschaften an der Universität Zürich. Seit 2008 ist er Direktor der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit.  
(Bild: © Philippe Christin)



# Naturstoffe: Faszination, Vorbild und Herausforderung

Die Natur macht es vor, Chemiker bauen es nach. Und sie modifizieren die Moleküle, damit sie als Medikament noch wirksamer und verträglicher sind. Ein Blick in die Reagenzgläser der Naturstoffchemiker an der ETH.

Catarina Pietschmann

Wer bei Naturstoffen an Kamillentee und Ingwer denkt, liegt schon richtig. Doch es geht um nicht weniger als alle Substanzen, die Lebewesen in ihren Zellen produzieren. Alles, was zum Aufbau, Lebenserhalt und Wachstum von Organismen nötig ist, zählt zu den primären Naturstoffen. Also Lipide, Aminosäuren, Zuckerbausteine und vieles mehr. Nicht lebensnotwendig sind die Sekundärmetaboliten – dazu gehören Kamillenhaltstoffe & Co. –, von denen die Naturheilkunde seit Jahrtausenden profitiert. Aber sie haben dennoch wichtige Funktionen. Locken zum Beispiel wohlduftend Sexualpartner an, helfen als klebrige Falle beim Beutemachen oder kommen zum Einsatz, wenn das eigene Leben oder die «Sippe» in Gefahr ist.

Vor allem die zweite Gruppe ist für die Naturwissenschaft und die Medizin ein Eldorado. Denn was Pflanzen oder Tieren das Überleben sichert, könnte auch uns helfen. Wie das lähmende Gift der Kegelschnecken: Conotoxine lindern Schmerzen, wo selbst Morphium nicht mehr ausreicht. Oder Taxol, ein Wirkstoff aus der pazifischen Eibe, der heute vielen Krebspatienten das Leben rettet.

Gerade die kleinsten Lebewesen haben oft Erstaunliches in petto. Dagegen wirkt alles, was menschliche Zellen zustande bringen, wie «mein erstes Lego-Objekt». Etwa die marine Alge *Karenia brevis*. Sie verknüpft zehn fünf- bis neungliedrige Ringe kunstvoll zu strickleiterartigen Gebilden – dem Nervengift Breve-toxin A. Während der Algenblüte rafft es

massenhaft Fische und anderes Meeresgetier dahin. Eine andere Alge trumpft mit Maitotoxin auf – ähnlich gestrickt, nur viel länger. Einfache Bodenbakterien produzieren Vancomycin, ein filigranes Molekülgerüst wie feinste Spitze, das Ärzte erfolgreich gegen multiresistente Bakterienstämme einsetzen.

## Komplexer Nachbau

Möglichst komplexe Biomoleküle über eine ebenso elegante wie möglichst kurze Folge von chemischen Reaktionen im Labor korrekt nachgebaut zu haben, zeugt von der Exzellenz einer synthetischen Forschungsgruppe. Um Taxol wetteiferten Anfang der 1990er-Jahre 40 der weltbesten Naturstoffteams. Totalsynthese ist jedoch mehr als eitler Konkurrenzkampf mit der Natur und unter Fachkollegen. «Meist bilden Organismen nur winzigste Mengen davon», sagt Karl-Heinz Altmann, Naturstoffchemiker an der ETH. «Es verbietet sich schon wegen der Nachhaltigkeit, den Meeresboden nach sehr langsam wachsenden Tiefseeschwämmen abzugrasen, die ein Krebsmittel produzieren.»

Anspruchsvoll ist der Nachbau von Naturstoffen nicht nur wegen der Molekülgrösse, sondern auch weil Naturstoffe viele chirale Zentren enthalten: sogenannte asymmetrische Kohlenstoffatome mit vier unterschiedlichen Resten. Deshalb ergeben sich bei gleicher atomarer Verknüpfung räumlich unterschiedlich angeordnete Verbindungen: Stereoisomere. Zehn dieser Zentren im Molekül bedeuten 1024

Stereoisomere (2<sup>n</sup>). Aber nur eines ist und wirkt wie der Naturstoff! Ziel ist also eine möglichst stereoselektive Synthese. Dabei wird das Molekül meist nicht «von rechts nach links» zusammengesetzt, sondern in der Planung gedanklich in mehrere Bausteine zerlegt. Sie werden getrennt mittels chemischer Reaktionen hergestellt (synthetisiert) und am Schluss verknüpft. «18, 19 Reaktionsstufen, länger sollte die längste lineare Sequenz nicht sein», meint Altmann. Doch in der Summe kommen dann doch schnell mal 60 Stufen zusammen. Wie kürzlich bei seinem Mycolacton, dem Auslöser einer schweren tropischen Hautinfektion.

## Mittel gegen Tumore

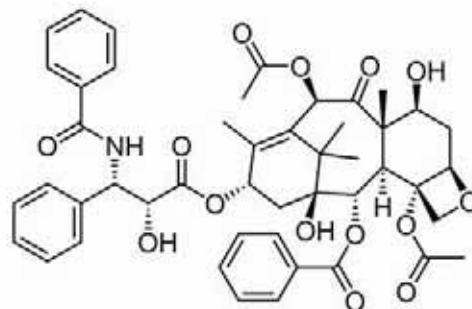
Besonders interessiert sich Altmann für Stoffe mit Antitumorwirkung. Er hat eine Reihe «mittelmässig komplexer» Stoffe nachgebaut und eine Vorliebe für Makrolactone – grosse ringförmige Moleküle aus der Gruppe der Ester. Er lacht. «Ja, stimmt. Makrozyklen sind weniger flexibel, füllen deshalb die Bindungstasche am Zielprotein besser aus als lineare Moleküle.» Einige Antibiotika gehören dazu – und eben Krebsmittel wie die Epothilone. Sie wirken auf die Bausteine jener röhrenförmigen Proteine (Mikrotubuli), die das Gerüst jeder Zelle bilden. Diese sind bereits eine etablierte Zielscheibe der Chemotherapie. Blockiert man sie, kann der Tumor nicht wuchern. Altmanns Arbeit geht über die Synthese hinaus. «Wir versuchen auch herauszufinden, was unsere Moleküle am Tubulin bewirken.» Was kann man am Molekül verändern oder gar ganz weglassen, ohne dass es seine Wirkung verliert? Der Bau von «abgespeckten» Naturstoffvarianten und biologische Tests gehören zur Arbeit von Altmanns Team.

## Wirkungen verstehen

Erick Carreiras Gruppe arbeitet unter anderem an Chlorosulfo-Lipiden, Molekülen, die mit vie-



Komplexe Schönheiten aus der Natur:  
Rechts: Taxol aus der pazifischen Eibe wird  
in der Krebstherapie verwendet.  
Unten: Vancomycin, der Stoff einer einfachen  
Bodenbakterie, wirkt erfolgreich gegen  
multiresistente Bakterienstämme.



len Chloratomen gespickt sind. Schwere Vergiftungen mit Meeresfrüchten gehen auf sie zurück. «Wie sie wirken, ihre Rolle im Ökosystem, toxikologische Effekte – alles ist weitgehend unklar», erzählt Carreira. Ähnlich sieht es beim Fungizid Amphotericin B aus, einem Hoffnungsträger sogar gegen Alzheimer: 1954 entdeckt – aber die Wirkung ist kaum verstanden. Das ist typisch für viele Naturstoffe. Carreira glaubt, dass bestimmte Strukturelemente einer Substanz mit ihrer biologischen Funktion korrespondieren. «Durch die Synthese wollen wir auch die geheime Sprache, die kodierte Funktion des Naturstoffs verstehen.» Carreiras zweite Spezialität sind ungewöhnliche Molekülfragmente, die sein Team gemeinsam mit Forschern des Unternehmens Hoffmann-La Roche entwickelt. Sie modulieren die pharmakologischen Eigenschaften der untersuchten Naturstoffe. «Etwa Oxetan, das polare Äquivalent einer bestimmten Methylgruppe: Es hat die gleiche Grösse, macht die Substanz aber wasserlöslicher.»

Solche universellen Bausteine werden Wirkung und Verträglichkeit vieler Arzneimittel optimieren. 30 Prozent der heutigen Medikamente gehen auf sekundäre Naturstoffe zurück. Nimmt man die primären dazu, sind es über 60 Prozent. Was macht diese Substanzen so erfolgreich? «Durch ihre Biosynthese und die biologische Funktion, die sie in der Zelle übernehmen, sind sie darauf getrimmt mit Proteinen zu interagieren», meint Altmann. Es ist die Grundvoraussetzung für einen biologischen Effekt – und genau das, was ein gutes Medikament ausmacht.

#### Unentdeckte Schätze

Was sind die Herausforderungen für die Zukunft der Naturstoffchemie? «Wir brauchen mehr umweltfreundliche und noch selektivere katalytische Verfahren, um die gewünschten Strukturen aufbauen zu können.», sagt Alt-

mann. Die Natur macht es vor: Die Synthese in den Zellen funktioniert hocheffizient bei Körpertemperatur, mit Biokatalysatoren, ohne Umweltschadstoffe und in Wasser. «Ausserdem müssen Herstellungsverfahren auch in grossem Massstab funktionieren.» 100 Milligramm, ein Gramm – das reicht mitunter für die Forschung. Aber allein von Taxol wird weltweit jährlich eine Tonne benötigt. Die Vielfalt der Naturstoffe ist enorm. «Die Natur schafft es mit vergleichsweise simplen Mitteln, Molekülbausteine herzustellen und sie durch nachgeordnete Verschiebungen, Umlagerungen und Verknüpfungen zu komplexen Gerüsten zusammenzubauen. Das könnten wir im Labor niemals schaffen!», gibt Altmann neidlos zu. Vielleicht hat sie tatsächlich für jede Krankheit schon die passende Arznei parat – muss man sie nur finden? Eine noch relativ neue Strategie ist die Suche nach «Silent Gene Clusters». Nach Genen (etwa von Bakterien), die den Bauplan für Substanzen tragen, die vom Organismus aber nicht eingesetzt und deshalb gar nicht

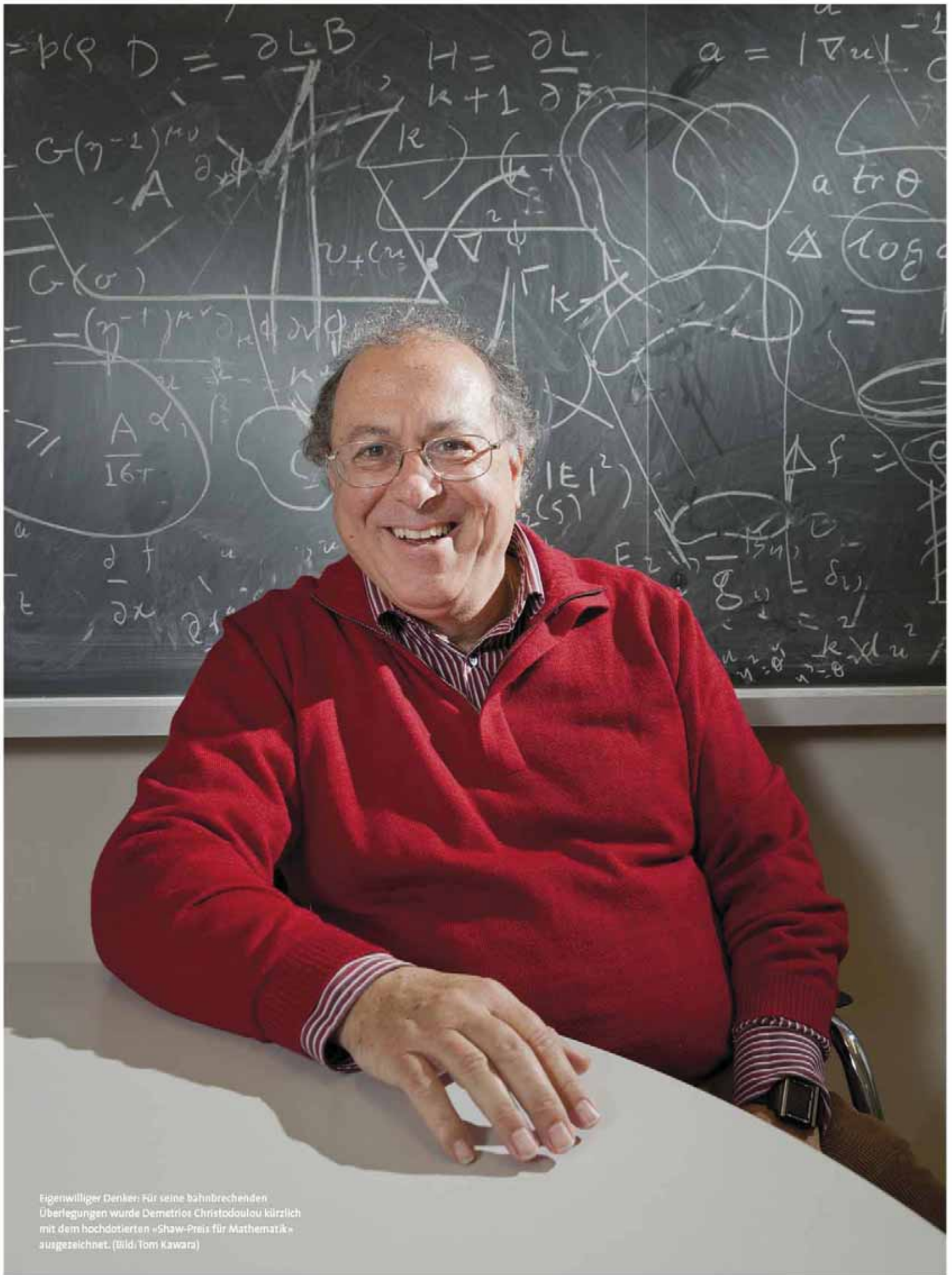
produziert werden. Solche Reserveverbindungen gibt es viele, wie man inzwischen weiss. Nicht nur das Potenzial der existierenden Stoffe auszunutzen, sondern ein Level tiefer zu gehen. Für Altmann ein faszinierendes Konzept. Niemand weiss, welche Wirkstoffschätze noch im grünen Dickicht der Urwälder, auf dem Grund der Ozeane oder in den stillen Genreserven verborgen liegen. Naturstoffchemikern gehen die Forschungsthemen wohl nie aus.

## Jahr der Chemie

Die UNO hat 2011 zum Jahr der Chemie erklärt. ETH Globe stellt in seiner Serie Forschung aus Chemie und Materialwissenschaft vor. Details zum Jahr der Chemie:

→ [www.chemistry2011.ch/](http://www.chemistry2011.ch/)

→ [www.chab.ethz.ch](http://www.chab.ethz.ch)



Eigenwilliger Denker: Für seine bahnbrechenden Überlegungen wurde Demetrios Christodoulou kürzlich mit dem hochdotierten «Shaw-Preis für Mathematik» ausgezeichnet. (Bild: Tom Kawara)

# Ein Wanderer im Weltall

Demetrios Christodoulou ist Mathematiker an der ETH Zürich und weltweit einer der bedeutendsten Experten für Schwarze Löcher. Seine Ideen kommen ihm nachts im Schlaf – und sie führen den Forscher bis in die fernsten und unbekanntesten Winkel von Raum und Zeit.

Florian Meyer

Von Demetrios Christodoulou heisst es, er sei «ins Herz eines Schwarzen Lochs vorgedrungen», denn er hat mit den Mitteln der Mathematik beschrieben, was noch kein Physiker je gemessen hat.

Schwarze Löcher bezeichnen beschränkte Gebiete im Universum, in denen die Gravitationsfelder extrem stark sind. Das Innere eines Schwarzen Lochs ist dabei verborgen hinter einem Ereignishorizont, der wie ein Vorhang alles, was dahinter geschieht, der Beobachtung entzieht. Physiker wännen dort eine «Singularität» und bezeichnen damit das Phänomen, wenn eine Masse im Weltall auf einen so winzigen Punkt zusammenschrumpft, dass ihre Dichte ins Unendliche steigt. Man kann sich diesen Prozess wie den Urknall vorstellen, bei dem man die Zeit zurücklaufen lässt. In der Tat kommt gemäss dem Modell in solch einer «Singularität» lokal die Raumzeit an ein Ende.

## Einsteins offenes Vermächtnis

Wenn eine Masse, etwa ein Stern, immer weiter schrumpft und sich gleichzeitig immer mehr verdichtet, wird in ihrer Umgebung die Schwerkraft sehr gross, was sich durch eine starke Krümmung des Raums und Verzerrung der Zeit bemerkbar macht. Licht, das nahe genug bei diesem Objekt ausgesandt wird oder auch nur daran vorbeiläuft, kann nicht mehr entweichen, sobald das Gravitationsfeld eine gewisse Stärke erreicht. Es öffnet sich also ein «Loch» im Weltall, welches auf den Menschen schwarz wirkt. Da aus dem Innern weder Licht-

strahlen noch sonst Informationen nach aussen dringen, ist eine visuelle Beobachtung von Schwarzen Löchern nahezu unmöglich. Die Forscher sprechen von einer «kosmischen Zensur». Der vorderhand einzige Weg, diese Zensur zu umgehen, sind Beschreibungen in der Sprache der Mathematik.

Genau solchen mathematischen Gleichungen, die physikalische Phänomene wie Wellen, Strömungen und gekrümmte Flächen beschreiben, gilt das Interesse Demetrios Christodoulous – ein Wissenschaftsgebiet, das er meisterhaft beherrscht: «Christodoulou verbindet ein tiefes Verständnis für die Physik mit einer brillanten mathematischen Technik. Das erlaubt ihm, zentrale Forschungsprobleme zu lösen, die sich seit Generationen dem Fortschritt widersetzen», heisst es in der Laudatio der Stifter des «Shaw-Preises 2011 für Mathematik» aus Hongkong. Dieser gilt als der «Nobelpreis Asiens» und zeichnet die Verdienste des 60-jährigen Griechen auf dem Gebiet der mathematischen Grundlagen von Kosmologie und Relativitätstheorie aus. Er selbst sagt bescheiden: «Meine wissenschaftliche Motivation ist die eines Physikers, meine Arbeitsweise die eines Mathematikers.»

Im Prinzip setzt Christodoulou mit seiner Forschung dort an, wo die Gleichungen, die Albert Einstein 1915 in der Allgemeinen Theorie der Relativität aufstellte, versagen. Was im Zentrum eines Schwarzen Lochs passiert, können Einsteins Gleichungen nicht eindeutig erfassen.

Christodoulous Liebe zur Mathematik begann mit der Geometrie: Sein Vater war ein mittelständischer Bankangestellter, der aus Alexandria nach Athen eingewandert war und dort eine Griechin heiratete, deren Eltern aus Kleinasien hatten flüchten müssen.

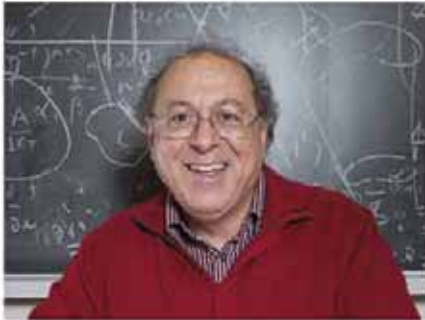
## Initialzündung im Sommer 1966

Der Vater führte den jungen Demetrios in die Welt der antiken Wissenschaften ein. Besonders Euklids Methodik zur Beschreibung des Raums faszinierte ihn und entfachte im Sommer 1966 seine Begeisterung für Mathematik und Physik. Nach und nach arbeitete er alle Geometriebücher in der Bibliothek durch: «Ich löste damals mathematische Probleme mit einer Leidenschaft wie andere Leute Kreuzwörterrätsel», erinnert sich Christodoulou. Sein Talent blieb nicht lange unbemerkt: Rasch hatte er sich bei Ingenieurstudierenden den Ruf erworben, dass er ihre Übungsaufgaben mit Leichtigkeit lösen konnte. Schliesslich wurde Achille Papapetrou, ein griechischer Relativitätstheoretiker vom Institut Henri Poincaré in Paris, auf ihn aufmerksam und stellte ihn 1968 John Archibald Wheeler vor.

Wheeler, ein Physikprofessor aus Princeton, hatte ein Jahr zuvor als Erster den Begriff des «Schwarzen Lochs» formuliert und weilte damals in Paris. Er prüfte Christodoulou, und der 17-Jährige überzeugte ihn so sehr, dass er ein Stipendium erhielt, mit dem er an der Universität Princeton Physik studieren und 1971 promovieren konnte. 1981 lernte Christodoulou in New York Shing-Tung Yau kennen. Der chinesische Pionier der geometrischen Analysis vermittelte ihm das letzte noch nötige Rüstzeug, um die Rätsel der Kosmologie anzugehen.

## Wie ein Stein, der ins Wasser fällt

Dazu gehören die Gravitationswellen: Albert Einstein hatte ihre Existenz 1915 im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie vorher-



## Zur Person

Demetrios Christodoulou ist seit 1. Oktober 2001 ordentlicher Professor für Mathematik und Physik an der ETH Zürich. Seine wissenschaftliche Laufbahn begann er 1972 als Research Fellow am California Institute of Technology. Von 1973 bis 1981 folgten Stationen als Professor für Theoretische Physik an der Universität Athen, als Gast am CERN in Genf, als Forscher am International Center for Theoretical Physics in Triest und als Humboldt-Stipendiat am Max-Planck-Institut in München. Ab 1981 war er Gast («Visiting Member») am Courant Institute in New York. 1983 wurde er Assistenzprofessor für Mathematik und Physik an der Universität Syracuse, die ihn 1985 zum ordentlichen Professor ernannte. Von 1992 bis 2001 war er Professor für Mathematik an der Universität Princeton.

→ [www.ethglobe.ethz.ch/christodoulou](http://www.ethglobe.ethz.ch/christodoulou)

gesagt. Weder Teilchenphysiker noch Astronomen konnten sie jedoch bis heute direkt mit Detektoren messen oder mit Teleskopen beobachten. In der Theorie entstehen Gravitationswellen immer dann, wenn sich Massen im Universum bewegen. Sie breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit im Weltall aus und stören die Raum-Zeit-Geometrie. Dadurch können sie den Raum stauchen oder dehnen. Um sich dieses Phänomen vorzustellen, greifen die Physiker auf das «See-Paradigma» zurück: Dieses Leitbild besagt, dass sich Gravitationswellen auf ähnliche Weise im Weltraum fortpflanzen wie Wellen, die sich kreisförmig auf der Wasseroberfläche ausbreiten, wenn man einen Stein ins Wasser wirft.

Zur Beschreibung solcher «Kugelwellen» verwenden die Physiker denselben Gleichungstyp, wie ihn die Astronomen seit Isaac Newton zur Berechnung der Bewegungen von Planeten gebrauchen – nämlich sogenannte Differentialgleichungen. Allerdings handelt es sich dabei nicht um die «gewöhnlichen» Gleichungen Newtons, sondern um «partielle» Differentialgleichungen wie diejenigen von Leonhard Euler zur Beschreibung von Gasen und Flüssigkeiten. 1991 konnte Christodoulou mit solchen Gleichungen einen feinen Unterschied zwischen Wasser und Weltall nachweisen: Während sich im Fall von Wasserwellen die Wasseroberfläche in jedem Fall in den ursprünglichen Zustand zurückbegibt, können im Weltraum Situationen eintreten, in denen sich die Raum-Zeit-Geometrie nach dem Durchgang von Gravitationswellen in einem «flachen» Zustand befindet, der sich vom ursprünglichen Zustand auf komplexe Weise unterscheidet.

Mit einem weiteren mathematischen Beweis konnte Christodoulou ausserdem zeigen, dass Schwarze Löcher auch aus Wechselwirkungen zwischen Gravitationswellen hervorgehen können. Den grössten Coup landete Christodoulou, als er bewies, dass «nackte Singulari-

täten», die nicht von einem Schwarzen Loch verhüllt sind, vorkommen können. Der englische Mathematiker Roger Penrose hatte die Existenz von «unverhüllten» Singularitäten verneint. Christodoulou wies aber nach, dass sie wohl möglich, aber so instabil sind, dass sie nur höchst selten vorkommen können.

### Erträumte Berechnungen

«In gewisser Hinsicht scheint in der Physik nichts vollständig gefestigt zu sein», resümiert Christodoulou schmunzelnd – wohl wissend, dass seine Überlegungen, so fantastisch sie auch klingen mögen, schon bald experimentell nachgewiesen werden könnten. Etwa mithilfe von hochauflösenden Radioteleskopen, mit denen sich der von Christodoulou beschriebene «Memory Effect» von Gravitationswellen präzise messen liesse.

Charakteristisch für Christodoulou ist seine Arbeitsweise. Seine Berechnungen führt er meistens im Schlaf aus und schreibt sie am Morgen danach auf: «Der Schlaf ist die einzige Zeit, in der ich nicht abgelenkt werde.» Auch beugt er sich nicht dem Publikationsdruck. Er publiziert, wie er sagt, nur alle drei bis fünf Jahre eine Arbeit und hält sich lieber an Isaac Newton, der sagte: «Wer Fehler vermeidet, verschwendet wenigstens nicht die Zeit anderer Leute.»

# «Was lernt ein Berufsoffizier an der ETH Zürich, Herr Wenger?»

Interview: Thomas Langholz

**Andreas Wenger:** Zusammen mit der Militärakademie bereitet die ETH Zürich angehende Berufsoffiziere auf ihre zukünftigen Aufgaben als wissenschaftlich geschulte Fachleute in militärischen und sicherheitspolitischen Fragen vor. An der ETH erhalten sie eine sehr breite Ausbildung. Neben den staatswissenschaftlichen Fächern wie Recht, Politik, Wirtschaft, Gesellschaft und Geschichte sind dies auch militärwissenschaftliche Vorlesungen in Strategie, Psychologie, Soziologie sowie Führung und Kommunikation. Die Ausbildung endet mit einem Bachelorabschluss in Staatswissenschaften.

**Werden die Vorlesungen von ETH-Professoren durchgeführt?**

Für die militärwissenschaftlichen Fächer kommen die Dozierenden der MILAK an die ETH. Die staatswissenschaftlichen Fächer werden überwiegend von ETH-Professoren unterrichtet. Bei den Grundvorlesungen sitzen die angehenden Berufsoffiziere mit ETH-Studierenden zusammen.

**Die Militärakademie an der ETH Zürich feiert in diesem Jahr ihr 100-jähriges Bestehen.**

**Braucht es einen solchen Studiengang heute noch?**

Mehr denn je. Offiziere benötigen heute ein anderes Rüstzeug als noch vor 100 Jahren. Moderne Armeen sind sehr komplex. Ihre Aufgaben sind anspruchsvoller, aber auch umstrittener geworden. Auf welche Bedrohungsbilder haben sich Armeen einzustellen? Wie wirken sich Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft auf das Militär aus? Wie viel darf Sicherheit kosten und wie kann sie finanziert werden? Auch solche Fragen sollten militärische Führungskräfte heute beantworten können. Die dazu notwendigen rechtlichen, politischen, wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und technischen Kenntnisse müssen auf einer fun-

dierten wissenschaftlichen Ausbildung beruhen. Diese leistet die ETH in enger Kooperation mit der MILAK.

**Warum wurde die Militärausbildung gerade an der ETH angesiedelt?**

Die ETH als «Eidgenössische Schule» ist direkt dem Bund unterstellt. Daher war es naheliegend, die Schweizer Offiziere dort ausbilden zu lassen. Hinzu kam, dass die technischen Ingenieursfächer für die damalige Ausbildung sehr wichtig waren. Heute ist der Studiengang sehr viel breiter und in das Department Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften eingebunden.

**Ein Teil der Ausbildung umfasst auch die Militärstrategie. Wie kommt diese in einer neutralen Schweiz zum Einsatz?**

Eine Militärstrategie und eine Doktrin bilden die Leitlinien für eine Armee. Unsere Armee dient der Verteidigung und der Friedensförderung, und sie hat die Aufgabe, die Behörden bei der Bewältigung von nationalen und internationalen Katastrophen zu unterstützen. Die Doktrin zeigt, was eine Armee können muss, um ihre Aufgaben erfüllen zu können. Es ist ein Planungswerkzeug für die Politik, um eine Armee der Zukunft gestalten zu können.

**Welchen Stellenwert hat die akademische Ausbildung an der ETH für die militärische Karriere?**

Die Armee braucht gut ausgebildete Berufsoffiziere, die über eine solide Hochschulbildung verfügen. In der Armeeführung arbeiten sie mit zivilen Partnern an der Schnittstelle zur nationalen und internationalen Politik zusammen. Dazu brauchen sie eine Bildungskompetenz, die vergleichbar ist mit derjenigen der meist gut gebildeten Milizkader und die der Ausbildung der zivilen Partner in nichts nachsteht.



## Zur Person

Andreas Wenger, Professor für schweizerische und internationale Sicherheitspolitik, leitet das Center for Security Studies (CSS). Als Delegierter des Studiengangs Staatswissenschaften ist er für die Ausbildung der Berufsoffiziere der Schweizer Armee an der ETH verantwortlich. Er studierte an der Universität Zürich Geschichte, Politikwissenschaft und Deutsche Literatur. Zu seinen Schwerpunkten in Lehre und Forschung gehören Fragen der transatlantischen Beziehungen, der amerikanischen und russischen Aussen- und Sicherheitspolitik, der europäischen Sicherheitsarchitektur und der zukünftigen Ausgestaltung der schweizerischen Aussen- und Sicherheitspolitik.

# Ein Motor des Fortschritts

Die ETH Zürich Foundation bringt Wissenschaftler und private Geldgeber zusammen – zur Förderung von Lehre und Forschung an der ETH. Als Botschafter gesellschaftsrelevanter Themen nehmen Stiftungen dabei eine besondere Rolle ein. So ermöglicht die Stiftung Mercator Schweiz Forschung zum Potenzial ökologischer Landwirtschaft.

Alice Werner



Für Ruth Kamula, Bäuerin in Kenia, könnte trockenresistenter Mais ein Weg aus der Armut sein. (Bild: Anne Wamalwa/CIMMYT)

Welchen Stellenwert nehmen Stiftungen im heutigen Wissenschaftsbetrieb ein? Hat privates Engagement immer noch selbstlos zu erfolgen oder sollte man sich vom romantischen Bild des rein altruistischen Förderers verabschieden? Dürfen sich Stiftungen vertraglich Mitspracherechte zum optimalen Gebrauch der Fördergelder einräumen lassen und ihre Kooperation für die eigene Pressearbeit nutzen? Und wenn ja: Wo liegt dann die Grenze?

## Wissenstransfer durch Partnerschaften

Den Handlungsrahmen zwischen privaten Donatoren und der ETH Zürich steckt die ETH Zürich

Foundation als unabhängige, gemeinnützige Stiftung explizit ab. «Wir verstehen uns als Brückenglied zwischen Aussen- und Innenwelt der ETH mit dem Ziel, wirkungsvolle Partnerschaften mit Unternehmen, Organisationen und Privatpersonen aufzubauen», sagt Nathalie Fontana, Projektleiterin Fundraising. «Unter anderem zum Wissenstransfer in die Gesellschaft.»

Sie verweist auf das entsprechende Reglement, den «Code of Conduct»: Wer eine Professur an der ETH fördert, ein Forschungsprojekt unterstützt oder in Talentförderungsprogramme investiert, darf weder Einfluss auf die For-

schung nehmen noch erwirbt er damit einen Anspruch auf die (Erst-)Verwertung von Ergebnissen. Stifter und andere Donatoren haben auch keine ressourcenlenkende Funktion: Schenkungen werden von der ETH Zürich Foundation gebündelt und effizient für Förder-elemente innerhalb der strategischen Fokusthemen der Hochschule eingesetzt. Nathalie Fontana betont: «Die Freiheit der Wissenschaft wird nicht tangiert.»

Hinzu kommt: Als finanzielle Quelle macht der Drittmittelbereich, zu dem auch Stiftungsgelder zählen, zwanzig Prozent des ETH-Budgets aus. 2010 durfte die ETH Zürich Foundation Schenkungszusagen in Höhe von 75 Millionen Franken entgegennehmen – demgegenüber steht ein Gesamtbudget von 1,3 Milliarden Franken. Allein dieses Grössenverhältnis zeigt: Eine finanzielle Abhängigkeit, die vonseiten der Hochschule zu Opportunismus führen könnte, besteht nicht.

## Stiftungen schaffen Mehrwert

Auch Nadine Felix, stellvertretende Geschäftsführerin der Stiftung Mercator Schweiz, spricht von «Bescheidenheit» in Bezug auf Stiftungsaktivitäten im Bereich Wissenschaftsförderung. «Als Mittler zwischen Gesellschaft und Forschung wollen wir natürlich Themen unterstützen, die wir gemäss unseres Leitbildes als besonders relevant und zukunftsorientiert erachten – aber stets in enger Zusammenarbeit mit unseren universitären Partnern und kongruent zur strategischen Ausrichtung der Hochschule. Dies garantiert uns, dass die Beiträge der Stiftung Mercator Schweiz die grösstmögliche Wirkung entfalten.» Eine korrigierende oder gar kontrollierende Funktion von Stiftungen sieht Nadine Felix daher nicht. Es gehe vielmehr darum, die Beiträge des Bundes mit privaten finanziellen Mitteln sinnvoll zu ergänzen. Diese Komplementärfunktion von Stiftungen schafft einen Nutzen, der über die begrenzte Stiftungssumme hinausgeht. «Auf diesen Mehrwert im Sinne der Sache kommt es uns an.»

Nathalie Fontana bringt «diesen Mehrwert» auf den Punkt: Beschleunigung. Stiftungen mit vergleichbar grossem Stiftungskapital und

Wirkungsfeld wie die Stiftung Mercator Schweiz zeichnen sich durch eine rasche, fokussierte und meist flexible Förderung aus, da sie nicht – wie der Staat – Haushaltsrichtlinien und komplizierten politischen Abstimmungsprozessen unterliegen. Schlank organisiert, können sie zeitnah auf die Förderbedürfnisse einer Hochschule reagieren – «und gewinnen gerade dadurch an Strahlkraft».

Donationen, zum Beispiel auch von Stiftungen, sagt Fontana, seien für die ETH ausserordentlich wichtig. «Denn die Beiträge von öffentlicher Seite sind langfristig verplant. Es sind Stiftungsgelder und andere Schenkungen, die der Schulleitung den notwendigen Handlungsspielraum verschaffen, um etwa neue strategischen Initiativen innerhalb der Schwerpunktthemen der ETH zu lancieren.» Dank privater Förderungen – sei es zugunsten einer neuen Professur oder einer Zuwendung an ein Stipendienprogramm – können Forschungsprojekte deutlich beschleunigt und Nachwuchstalente gefördert werden. Dadurch steigen die Chancen der ETH, sich im internationalen Wettbewerb dauerhaft zu profilieren, die Spitzenposition zu halten oder sogar auszubauen.

#### Kompetenzzentrum «World Food System»

Ein Beispiel für eine befruchtende Partnerschaft zwischen einer Hochschule und einer Stiftung ist das neue Kompetenzzentrum «World Food System» der ETH Zürich. Die interdisziplinäre Wissensplattform verstärkt Forschung im Bereich globale Ernährungssicherheit. Die Stiftung Mercator Schweiz unterstützt die Arbeit des Kompetenzzentrums in den nächsten zehn Jahren mit insgesamt fünf Millionen Franken.

Gefördert werden jährlich vier bis fünf Forschungsprojekte der drei Programmschwerpunkte nachhaltige Landnutzung, natürliche Ressourcen sowie Klimawandel und Agrarökosysteme. Für Nadine Felix von der Stiftung Mercator Schweiz ist «diese erste grössere Synergie mit der ETH» ein Glücksfall: Natürliche Lebensgrundlagen, das ist ein Fokus-thema der Stiftung. «Wir setzen uns für Forschungsprojekte ein, die das Potenzial ökologischer Landwirtschaft wissenschaft-



Vertreter der Mercator Stiftung und der ETH Zürich unterzeichnen die Vereinbarung für die Forschung zur Weiterführung. Von links: Prof. Dr. Nina Buchmann (Leiterin Kompetenzzentrum World Food System ETH Zürich), Albert Kesseli (Geschäftsführer Stiftung Mercator Schweiz), Prof. Ralph Eichler (Präsident ETH Zürich). (Bild: Tom Kawara)

lich und praxisnah untersuchen», informiert Felix. «Das neue Kompetenzzentrum bringt die idealen Voraussetzungen mit, dieses Anliegen der Stiftung erfolgreich umzusetzen – nach dem Motto: Gemeinsam können wir mehr erreichen.» Innovationen anstossen, Nachwuchskräfte ausbilden, den gesellschaftlichen Diskurs anregen.

#### Drehscheibe für Innovationen

Von der Programmpartnerschaft mit der Stiftung Mercator Schweiz spricht Nathalie Fontana als einem «Magnet»: «Stiftungen sind Streuorgane, Botschafter, die der ETH helfen, die Resultate der Forschung in die Gesellschaft zu tragen und Aufklärungsarbeit zu leisten. Eine so präzise Organisation wie die Stiftung Mercator Schweiz hat natürlich eine besondere Signalwirkung – auch auf andere potenzielle Förderer. Insofern ist es nur wünschenswert, wenn Stiftungen in ihren Kommunikationsmitteln auf ihre Kooperationen mit Hochschulen aufmerksam machen.»

Die ETH Zürich und die ETH Zürich Foundation unterstützen hier sogar gezielt die Öffentlichkeitsarbeit, etwa mit gemeinsamen Medienmitteilungen von Hochschule und Förderern sowie speziellen «Dienstleistungspaketen». Denn warum sollten Geldgeber nicht auch be-

stimmte Erwartungen an ihre Förderung knüpfen dürfen? Regelmässige Projektberichte, gemeinsame Besprechungen, Workshops: «Wir sind an langfristigen Partnerschaften interessiert», sagt Fontana, da sei eine intensive Begleitung der entsprechenden Organisationen, ein dynamischer Austausch, sinnvoll – zum Vorteil für beide Seiten.

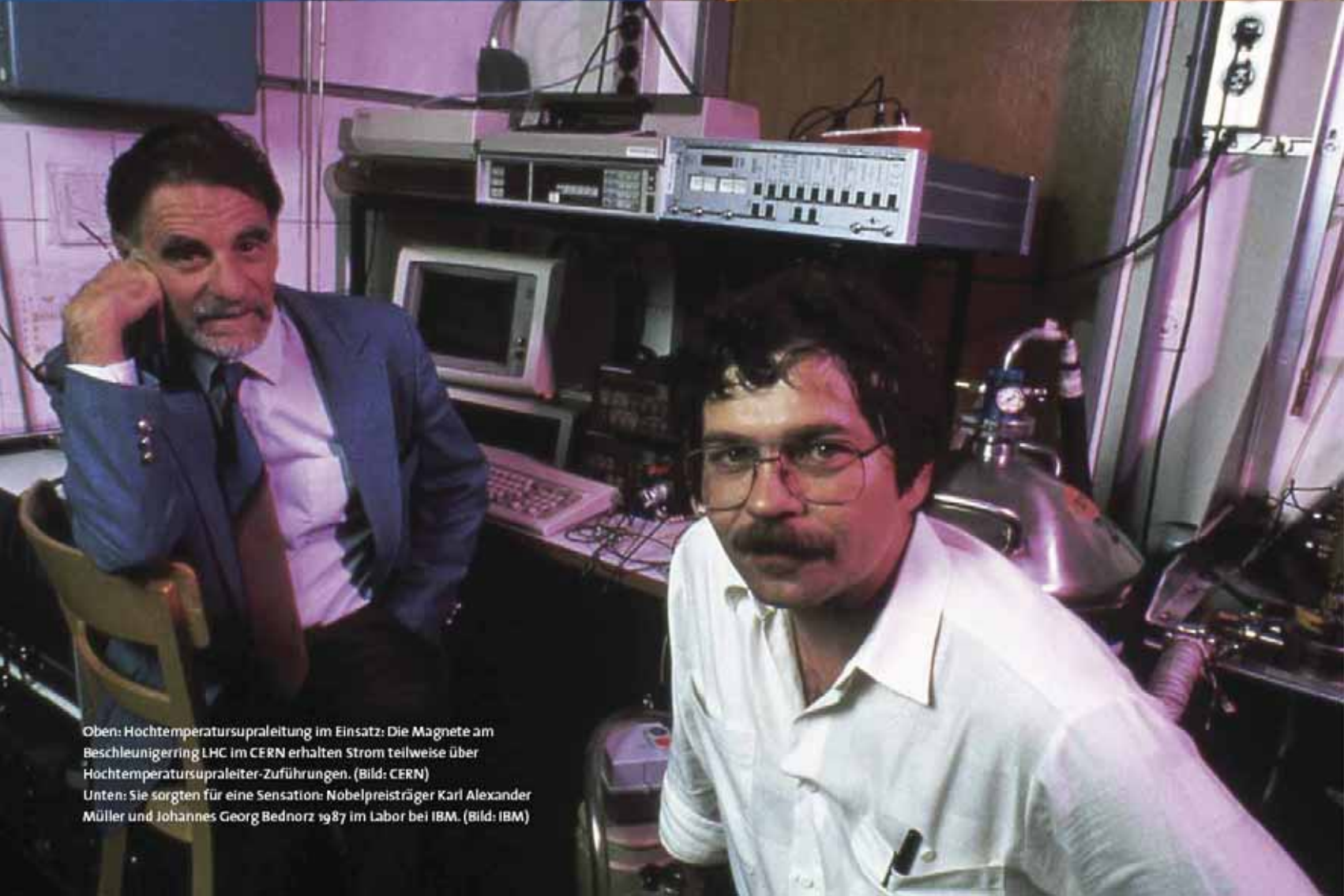
Gerade hat das erste Partnership Council der «World Food System»-Initiative stattgefunden, ein Treffen von ETH-Vertretern, Professoren und Partnern – unter anderem auch zur Netzwerkerweiterung. Nathalie Fontana: «Im Umfeld der Stiftung Mercator Schweiz bewegen sich Persönlichkeiten, die für die Ziele der ETH, aber auch für den einzelnen Professor interessant sein können.» Auch inhaltlich profitiere die ETH immer wieder von dieser Art Dialog zwischen Wissenschaft und Donatoren: Der berühmte Blick von aussen also? Nathalie Fontana nickt: «Wer ihn nicht scheut, kann nur gewinnen», sagt sie überzeugt.

## World Food System

Weitere Informationen über die Förderinitiative World Food System und weitere Initiativen:  
Nathalie Fontana, Projektleiterin  
ETH Zürich Foundation; Tel.: 044 633 69 61,  
E-Mail: [nathalie.fontana@ethz-foundation.ch](mailto:nathalie.fontana@ethz-foundation.ch)

→ [www.ethz-foundation.ch](http://www.ethz-foundation.ch)

# Widerstand zwecklos



Oben: Hochtemperatursupraleitung im Einsatz: Die Magnete am Beschleuniger LHC im CERN erhalten Strom teilweise über Hochtemperatursupraleiter-Zuführungen. (Bild: CERN)  
Unten: Sie sorgten für eine Sensation: Nobelpreisträger Karl Alexander Müller und Johannes Georg Bednorz 1987 im Labor bei IBM. (Bild: IBM)



## Vor 25 Jahren war Zürich Schauplatz eines Paukenschlags in der Wissenschaft: Die IBM-Forscher Karl Alexander Müller und Johannes Georg Bednorz entdeckten den ersten Hochtemperatursupraleiter – und kassierten dafür schon ein Jahr später den Nobelpreis. Die Erforschung der kalten Kabel wurde eines der heissesten Themen weltweit und auch an der ETH.

Bernd Müller

Von der Veröffentlichung zum Nobelpreis in 18 Monaten – normalerweise lässt sich das Nobelpreiskomitee nicht zu einem so spontanen Urteil hinreissen. Ausser 1987: Damals ging der Nobelpreis für Physik an den Schweizer Karl Alexander Müller und den Deutschen Johannes Georg Bednorz, beide vom IBM-Forschungslabor in Rüschlikon bei Zürich. Die preiswürdige Arbeit, mit der sie die Fachwelt und die Nobelpreisjury überzeugten, hatten sie erst am 17. April 1986 eingereicht. Dieses Jahr feiert die Entdeckung der Hochtemperatursupraleitung ihr 25-jähriges Jubiläum.

### IBM-Forscher lösen Boom aus

Supraleiter transportieren den elektrischen Strom widerstandsfrei und ohne Verluste – der Traum aller Energiefachleute. Der Haken dabei: Sie tun das nur, wenn man sie unter eine bestimmte Temperatur – die sogenannte Sprungtemperatur – abkühlt. Das entdeckte 1911 (noch ein runder Geburtstag!) der niederländische Physiker Heike Kamerlingh Onnes. Damals waren Temperaturen nahe am absoluten Temperaturnullpunkt bei minus 273,15 Grad Celsius nötig, um den Effekt zu beobachten. 75 Jahre lang glaubte niemand, dass es Materialien geben könnte, die bei höheren Temperaturen als etwa 30 Kelvin (etwa minus 243 Grad) supraleitend werden. Doch Bednorz und Müller kochten in ihrem Labor Verbindungen aus Kupfer mit Sauerstoff – sogenannte Kuprate – mit einer Prise Barium und Lanthan. So fanden sie eine Keramik, die bereits beim Abkühlen auf 35 Kelvin ihren elektrischen Widerstand verliert. «Wir waren schon ein bisschen exotisch, es mit metallischen Oxiden zu versuchen», sagt Georg Bednorz.

Die Entdeckung löste ein ungeheures Echo aus. Forschungsgruppen rund um dem Globus suchten nach Materialien, die bei noch höheren Temperaturen supraleitend sein konnten. Bednorz, der an der ETH Zürich pro-

moviert hatte und dort schon mit seinem späteren Mitstreiter Müller zusammenarbeitete, stieg schon bald aus der Supraleiterforschung aus. «Ich wollte nicht mit Tausenden Kollegen in dieselbe Richtung schwimmen.» Doch gerade dieser weltweite Forschungsboom hat viele weitere Erfolge gebracht. So wurde die Sprungtemperatur immer höher geschraubt, zunächst über die magische Grenze von 77 Kelvin, die es erlaubt, statt mit teurem flüssigem Helium mit billigem flüssigem Stickstoff zu kühlen.

### Weltrekord an der ETH

1993 konnten die ETH-Forscher Hans Rudolf Ott und Andreas Schilling in der Zeitschrift *Nature* mit einer neuen Verbindung aus Quecksilber, Barium, Kupfer und Sauerstoff den bis dahin unerreichten Wert von 133,5 Kelvin (rund minus 140 Grad Celsius) publizieren – Weltrekord! Zum Vergleich: Heute, 18 Jahre später, wird als aktueller Weltrekord häufig ein Wert von 138 Kelvin (minus 135 Grad Celsius) genannt. Angaben über Weltrekorde sind allerdings grundsätzlich mit Vorsicht zu geniessen, gibt Ott, der inzwischen emeritiert ist, zu bedenken. Unter Druck beispielsweise seien vereinzelt auch schon wesentlich höhere Werte von über 150 Kelvin gemessen worden, und es gebe immer wieder neue, überraschende Verbindungen. Ein Supraleiter, der bei Zimmertemperatur den Strom verlustfrei transportiert und die Energieprobleme der Menschheit löst, ist allerdings bisher ein Traum geblieben.

Für Bertram Batlogg, Professor am Laboratorium für Festkörperphysik an der ETH Zürich, ist die Herausforderung dieses intellektuell anspruchsvollen Gebiets faszinierend. So seien erst heute die elektronischen Zustände, die zum makroskopischen Quantenzustand der Supraleitung führen, gut erforscht, auch dank enormem Fortschritt bei den Messmethoden. Dabei gibt es immer wieder Überraschungen: So entdeckten japanische Forscher vor drei

Jahren supraleitende Eisenverbindungen mit unerwartet hohen Sprungtemperaturen. Auch dies galt bis dahin als unwahrscheinlich, weil der Magnetismus ein Gegenspieler der Supraleitung ist. Zwar sind die Sprungtemperaturen dieser Eisenpniktide mit rund 55 Kelvin weniger spektakulär, doch die letzten 25 Jahre haben gezeigt, wie schnell sich Temperaturrekorde nach oben schrauben können.

### Aus Zukunftsmusik wird Realität

Gelassen kontert Batlogg die Standardfrage nach den Anwendungen. Die gebe es durchaus, wenn auch nicht so spektakulär, wie Laien sich das vorstellten. Die bekanntesten Einsatzgebiete der Hochtemperatursupraleitung sind starke Magnete, wie sie am LHC-Beschleuniger am Genfer CERN zum Einsatz kommen, oder in Magnetresonanztomographen. Allerdings: Die Kabel in den Magneten bestehen heute noch aus herkömmlichen Metallen, die mit flüssigem Helium gekühlt werden müssen. Die Stromzuführung zu den Magneten des LHC erfolgt jedoch bereits teilweise über Hochtemperatursupraleiter.

Anwendungen sind also Mangelware. Doch es gibt sie. Etwa die drei stickstoffgekühlten Kabel von je 600 Meter Länge, die im US-Bundesstaat New York in einem Pilotprojekt eine Leistung von 600 Megawatt übertragen, obwohl sie mit Kühlmantel nur jeweils 20 Zentimeter dick sind. Weniger spektakulär, aber nicht minder vielversprechend ist die erste echte kommerzielle Anwendung der Hochtemperatursupraleitung, ein Heizer der deutschen Firmen Biltmann und Zenergy Power, der Aluminium zur Verformung aufheizt und dabei nur die Hälfte Energie braucht.

Oder der supraleitende Generator, den der deutsche Energieversorger E.ON in sein Wasserkraftwerk Hirschaid in Bayern eingebaut hat. Er ist kleiner als der alte Generator, leistet dennoch 36 Prozent mehr.

Bertram Batlogg macht keinen Hehl daraus, dass in der Erforschung neuer Supraleiter die Musik inzwischen in China spielt, wo viele Wissenschaftler arbeiten, die aus den USA zurückgekehrt sind. Das Team an der ETH Zürich konzentriert sich auf seine Stärken. Und die liegen – neben anderen Aktivitäten, etwa mit organischen Halbleitern – im Züchten und Schneiden von supraleitenden Kristallen. Ebenfalls führend sind die ETH-Forscher bei der Bestimmung der kritischen Stromstärke in extrem hohen Magnetfeldern, bei der die Supraleitung in einem Material zusammenbricht.

# Woher wir gekommen sind

Philipp Theisoohn ist Oberassistent an der Professur für Literatur- und Kulturwissenschaft der ETH Zürich. Für ETH Globe macht er sich als Kolumnist Gedanken über Gott und die Welt.



**Dem Wassermangel fehlt immer noch die Macht der Bilder – höchste Zeit also, dass wir uns von dieser Macht unabhängig machen, findet unser Kolumnist und appelliert an die dürre Vernunft.**

Abseits aller technischen Herausforderungen ist und bleibt die Bewältigung globaler Krisen zuallererst ein Problem der globalen Partizipation. Vor der Frage, wie und ob man das Problem der Erderwärmung oder das der endlichen Rohstoffe in den Griff bekommen kann, steht die Frage, wie man es der Menschheit begreiflich machen kann, dass es sich hierbei überhaupt um Probleme handelt. Es geht also um Bewusstseinsbildung, und das menschliche Bewusstsein ist in der Regel leider nur sehr schwer zu beeindrucken. Es reagiert selten auf Argumente, sondern wird von Bildern gesteuert – und diese Bilder verbleichen nur allzu schnell. Will sagen: globale Bewusstseinsveränderungen werden im Grunde nur durch Katastrophen erzeugt, also durch solche, denen man die Katastrophe auch ansehen kann.

Vermutlich ist diese Abhängigkeit von katastrophaler «Performance» genau die Schwierigkeit, die den rationalen Umgang mit der Ressource Wasser so verkompliziert. «Wassermangel» ist kein effektiver Bildspender, da mögen wir über die Dokumentationen aus Ostafrika in regelmäßigen Abständen noch so entsetzt sein. Es ist eine stille Gewalt, die uns aus diesen Aufnahmen entgegenblickt, es gibt da keine Explosionen, keine einstürzenden Brücken und Häuser. Dass Dürreperioden, die Abertausenden Menschen das Leben kosten, uns etwas angehen – und dass dieses «Angehen» sich nicht einfach nur auf unser Mitgefühl beschränkt, sondern vielmehr auch an die sicherheits- und wirtschaftspolitische Vernunft appelliert –, das ist noch längst nicht in unserem Bewusstsein angekommen.

Im Gegenteil: wenn wir uns überhaupt Gedanken über das Wasser machen, dann geht es dabei nicht um ein Zuwenig, sondern um ein Zuviel an Wasser. In Zeiten, in denen die Nachrichtenlage zunehmend von Tsunamis und Hochwassern von Thailand bis ins Lötschental beherrscht

wird, muss es uns zwangsläufig seltsam erscheinen, wenn Wissenschaftler und Politiker schon seit mehr als einem Jahrzehnt davon reden, dass in naher Zukunft Wasser immer öfter zu einer entscheidenden Kriegsfrage werden könnte. Wer sich nie wirklich mit der kontinentalen Verteilung der Süsswasservorkommen beschäftigt hat (bei denen der eurasische Teil der Welt in punkto Pro-Kopf-Vorrat übrigens allemal schlechter dasteht als der afrikanische Kontinent, von Nord- und Südamerika einmal ganz zu schweigen), dem wird nicht einleuchten, warum es je die Idee einer «Weltwassercharta» gab. Schliesslich suggerieren uns die Bilder, dass man die Welt eher vor dem Wasser schützen solle als umgekehrt. Der Forderung nach einem «guten Umgang» mit unserem Wasser fehlt somit die symbolische Kraft, in unserem Kulturkreis bleibt sie allein auf die Vernunft angewiesen. Und wenn ich beispielsweise meine heutige Morgendusche kurz Revue passieren lasse, dann ist auch die Vernunft im Zweifel ein ziemlich schläfriges Geschöpf, das gegen das blitzsauber aufgestellte Verlangen nach einem sich in Bewegung setzenden Blutkreislauf nicht den Hauch einer Chance hat. Man sieht die Verschwendung ja auch nicht, sondern sie versickert im Ablauf. Für jede zusätzlich aufgenommene Kalorie haben wir mehr Aufmerksamkeit als für einen Liter Trinkwasser.

Dabei ist die Sachlage ganz einfach: Am Wasser entscheidet sich die Frage, was der Mensch eigentlich ist. Sieht er, im Vollbad sitzend, seinen Artgenossen weiterhin beim Verdursten zu, dann werden die Folgen dieses Missverhaltens nicht vor seiner Haustür haltmachen. Zu Recht – denn eine Spezies, die ihre eigene Nahrungsgrundlage verschwendet, ist ein Systemfehler und wird über kurz oder lang von der Erdoberfläche verschwinden müssen. Schon Douglas Adams wusste: Vermutlich hat das ganze Malheur an jenem Tag angefangen, an dem wir aus dem Wasser gestiegen sind. Wenn wir nicht wieder dorthin zurückwollen, sollten wir damit anfangen, unsere wichtigste Ressource anständig zu verwalten.



## SEEKING THE WORLD'S BEST POSTDOCS

Dank einer grosszügigen Schenkung des im letzten Jahr verstorbenen Unternehmers und Mäzens Dr. Branco Weiss verfügt die ETH Zürich über ein einzigartiges Förderprogramm für herausragende Postdocs. Society in Science – The Branco Weiss Fellowship ermöglicht es jungen Wissenschaftlern aus der ganzen Welt, bis zu fünf Jahre lang an einem Ort ihrer Wahl einem selbst bestimmten Forschungsprojekt nachzugehen. Für Postdoktoranden der ETH ist dies auch eine Möglichkeit, Erfahrungen im Ausland zu sammeln. Die aktuelle Bewerbungsfrist läuft bis zum 1. Februar 2012.

[www.society-in-science.org](http://www.society-in-science.org)

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**society  
in science**  
The Branco Weiss Fellowship

# Climate change, aging populations, earthquakes, tsunamis, computer crime, global recession. Take your pick.

Risky place, Planet Earth. But as one of the world's leading reinsurers, risk is our business. Risk in every shape and form. In every walk of life. As a graduate at Swiss Re, your job will mean coming to grips with all those global issues that make life today so risky – and so challenging. Whether your discipline is natural science, mathematics, business administration, medicine, law, finance, or just about anything else for that matter, we're looking for exceptional people who are up for spending 18 months of their life on our graduates@swissre programme. At Swiss Re, risk is the raw material we work with, but what our clients value are the opportunities we create. And – hey – this could be you.

Seize your opportunity at [www.swissre.com/graduates](http://www.swissre.com/graduates)

Swiss Re

