

BULLETIN

MAGAZIN DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

WASSER – GUT OHNE GRENZEN?

Globale Wasserressourcen

WIRD WASSER KNAPP?

Berge als Süßwasserquelle

GEBIRGSWASSER IM KLIMAWANDEL

Massenbewegungen

WENN WASSER DIE ERDE INS RUTSCHEN BRINGT

Trinkwasser in der Schweiz

EIN ALLTÄGLICHES GUT

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

INHALT

- 6_ Globale Wasserressourcen
WIRD WASSER KNAPP?
Wolfgang Kinzelbach
- 10_ Grundwasser
KNAPPE RESSOURCE IM NÖRDLICHEN AFRIKA
Tobias Siegfried
- 14_ Bewässerungswirtschaft und Versalzung
WASSERHAUSHALT IM YANQI-BECKEN
Philip Brunner
- 18_ Interessenkonflikt um ein Naturwunder
NACHHALTIGE NUTZUNG DES OKAVANGO-DELTAS
Peter Bauer
- 22_ Hochwasser als Phänomen
WAHRNEHMUNG UND DIFFERENZIERUNG
Dietmar Grebner und Joachim Gurtz
- 26_ Hochwasser in Europa
GRENZÜBERSCHREITENDE ZUSAMMENARBEIT NOTWENDIG
Paolo Burlando
- 30_ Berge als Süßwasserquelle
GEIRGSWASSER IM KLIMAWANDEL
Paolo Burlando
- 36_ Massenbewegungen
WENN WASSER DIE ERDE INS RUTSCHEN BRINGT
Sarah Springman und Lukas Arenson
- 40_ Trinkwasser in der Schweiz
EIN ALLTÄGLICHES GUT
Urs von Gunten
- 46_ Chemische Spurensuche
NEUE VERUNREINIGUNGEN IN ABWASSER UND GEWÄSSERN
Walter Giger, Alfredo C. Alder, Eva M. Golet, Hans-Peter E. Kohler, Christa S. McArdell, Eva Molnar und Christian Schaffner
- 50_ Umweltarchiv Wasser
WASSER IM SPIEGEL DES KLIMAS
Rolf Kipfer und Martin Frank
- 54_ En bref
EREIGNISSE AN DER ETH
- 66_ Alumni Aktuell



Die Erde ist derzeit der einzige Planet unseres Sonnensystems, auf dem Wasser in flüssiger Form vorhanden ist.

WASSER FÜR DEN BLAUEN PLANETEN

MARTINA MÄRKI-KOEPP

Wer kennt sie nicht, die Worte der Genesis: «Im Anfang schuf Gott den Himmel und die Erde. Die Erde war wüst und leer, Finsternis lag über der Urflut, und der Geist Gottes schwebte über den Wassern...» Die Genesis der Bibel ist nicht der einzige Schöpfungsmythos, der durch die grenzenlose Ungeformtheit des Wassers inspiriert wurde und der den Ursprung des Lebens im Wasser ortet. Ganz ähnlich beginnt zum Beispiel der Schöpfungsmythos der Maya in ihrer heiligen Schrift Popol Vuh: «Noch war der Erde Antlitz nicht enthüllt. Nur das sanfte Meer war da und des Himmels weiter Raum. Noch war nichts verbunden. Nichts gab Laut, nichts bewegte, nichts erschütterte, nichts brach des Himmels Schweigen. Noch gab es nichts Aufrechtes. Nur die ruhenden Wasser, das sanfte Meer, einsam und still. Nichts anderes. Unbeweglich und stumm war die Nacht, die Finsternis. Aber im Wasser umflossen von Licht, waren diese: Tzakol, der Schöpfer, Bitol, der Former, der Sieger Tepeu und die Grünfederschlange Gucumatz...»

Doch wie kam das Wasser auf den Blauen Planeten? Die Wissenschaft nimmt an, dass vor etwa 4,6 Milliarden Jahren eine erste Atmosphäre entstanden ist, die aber infolge starker Temperaturzunahme durch Konzentration von radioaktiven Elementen und Meteoriteneinschlägen schnell wieder verdampft ist. Erst die anschliessende Abkühlung auf unter 100 Grad C erlaubte eine zweite Atmosphäre mit Wasserdampf, entstanden als vulkanisches Ausgasungsprodukt vor etwa 4 Milliarden Jahren. In der Folgezeit sind dann durch Ausregnen die Ozeane entstanden.

Die Erde ist der einzige Planet unseres Sonnensystems, auf dem Wasser in flüssiger Form vorhanden ist. Tatsächlich ist die Erde zu 70 Prozent mit Wasser bedeckt. Darum wird sie auch der Blaue Planet genannt. Der grösste Teil der riesigen Wassermenge schwappt allerdings in den Ozeanen und ist salzig. Nur etwa drei Prozent sind Süßwasser. Davon sind zwei Drittel in den Gletschern und Eisbergen gefroren. Der Rest des Süßwassers fließt in Flüssen und Seen oder ist als Grundwasser unter der Erde versteckt – und wie die meisten Güter dieser Erde höchst ungleichmässig verteilt. Die erneuerbare Wassermenge pro Person und Jahr wird häufig als Mass der Wasserverfügbarkeit verwendet. In der Schweiz beträgt die erneuerbare Wassermenge pro Person und Jahr beispielsweise 6520 m³, in Algerien 770 m³, in Saudi-Arabien 160 m³. In Ländern mit erneuerbaren Wassermengen von unter 1700 m³ herrscht bereits Wasserknappheit. Unter 1000 m³ besteht eigentlicher Wassermangel.

ETH-Forschende befassen sich mit beidem: mit dem nachhaltigen Umgang mit Wassermangel und Wasserüberfluss. Und sie tun dies nicht nur theoretisch, sondern in ganz konkreten lokalen und internationalen Projekten auf der ganzen Welt. Denn Wasser kennt zwar keine Grenzen, aber es ist kein grenzenloses Gut.



Martina Märki-Koepf
Redaktorin ETH-Bulletin

WIRD WASSER KNAPP?

WOLFGANG KINZELBACH

In der Presse werden Kriege ums Wasser heraufbeschworen, die UNO ruft 2003 zum Jahr des Süsswassers aus, internationale Konferenzen zu Wasserfragen häufen sich. Wird Wasser tatsächlich knapp?

Ein Blick auf die Wasserbilanz unserer Erde (Abb. 1) zeigt die Grösse der erneuerbaren Ressource. Der Kreislauf wird angetrieben durch den Niederschlag: Auf die Landmasse der Erde fallen jährlich von neuem rund 110 000 km³ Wasser. Der grösste Verbraucher von Süsswasser ist die natürliche Vegetation, die fast die Hälfte davon durch Evapotranspiration in Wasserdampf überführt. Aber schon in vergleichbarer Grössenordnung liegt mit 18 000 km³ pro Jahr die Evapotranspiration durch den Trockenfeldbau. Die Menschheit und die Natur stehen also in Konkurrenz um die Wasserressourcen der Erde.

In der Analyse der Situation ist es zweckmässig, Wasserressourcen nach Vorrat und jährlicher Erneuerungsrate zu unterscheiden. Die Oberflächenwasserressourcen sind vom Volumen her mit rund 100 000 km³ relativ klein, ihre Erneuerungsrate von 40 000 km³/Jahr ist dagegen sehr gross. Die mittlere Verweilzeit eines Wassertropfens im Oberflächenwasser beträgt nur 2,5 Jahre. Bei den Grundwasserressourcen ist es gerade umgekehrt. Sie stellen mit rund 10 000 000 km³ ein sehr grosses Reservoir dar, das mit einer Rate von 3000 km³/Jahr nur sehr langsam, nämlich im Mittel alle 33 000 Jahre, erneuert wird. Grundlage für die nachhaltige Bewirtschaftung muss die jährlich wiederkehrende Erneuerungsrate sein, während der Vorrat nur zum Ausgleich von zeitlichen Schwankungen dienen sollte.

Die von der Erdoberfläche ablaufenden und dem Menschen in Fliessgewässern, Seen und Grundwasserleitern zugänglichen Süsswasserressourcen betragen 13 000 km³/Jahr, von denen wir derzeit etwa ein Drittel nutzen. Wie kann man da von Wasserknappheit und Krise sprechen?

Lokal statt global

Die globalen Zahlen sind irreführend. Sie geben Mittelwerte über die Erde an. Sie verschleiern die Probleme, indem sie die Dürre einer Region gegen die Überschwemmung in einer anderen aufrechnen. Die UNO definiert 1000 m³ pro Person und Jahr als die Grenze, unterhalb der Wassermangel besteht. Diese Zahl umfasst den Pro-Kopf-Mindestwasserbedarf für alle menschlichen Aktivitäten in Haushalt, Ackerbau und Industrie. Akzeptiert man diese Definition, so leiden heute rund 500 Mio. Menschen weltweit an Wassermangel. Im Jahr 2025 werden es wahrscheinlich schon 3 Milliarden sein. Wasser muss also regional betrachtet werden, will man die Probleme sachgerecht analysieren.

Eine Verknappung der regionalen Ressourcen kann durch das Bevölkerungswachstum, das voraussichtlich noch bis Mitte des Jahrhunderts anhalten wird, durch Misswirtschaft und durch Klimaveränderungen ausgelöst werden.

Bewässerungswasser und Trinkwasser

Vergleicht man den Preis von Wasser (z. B. 5 Franken pro m³ für Trinkwasser oder 0,01 Franken pro m³ für Bewässerungswasser) mit dem Preis für 1 m³ Benzin (1500 Franken) oder 1 m³ Bier (4000 Franken), so wird klar, dass es eine Wasserkrise nicht im gleichen Sinne wie eine Ölkrise geben kann. Wasser ist zu billig, um ein global gehandeltes Gut zu sein. Trotzdem gibt es eine Möglichkeit, wie Wasserknappheit zu einem globalen Problem werden kann. Dazu muss man sehen, dass rund 70% des gesamten Süsswasserbedarfs auf die Bewässerungslandwirtschaft entfallen. Wirklich getrunken wird nur ein sehr geringer Anteil von weniger als 2 Promille. Bewässerte Landwirtschaft ist für die Nahrungsversorgung entscheidend, da sie 2- bis 3-mal so ertragreich ist wie der Trockenfeldbau. Trotz der anteilmässig wesentlich kleineren Fläche erzeugt die bewässerte Landwirtschaft fast die Hälfte der weltweiten Nahrung.

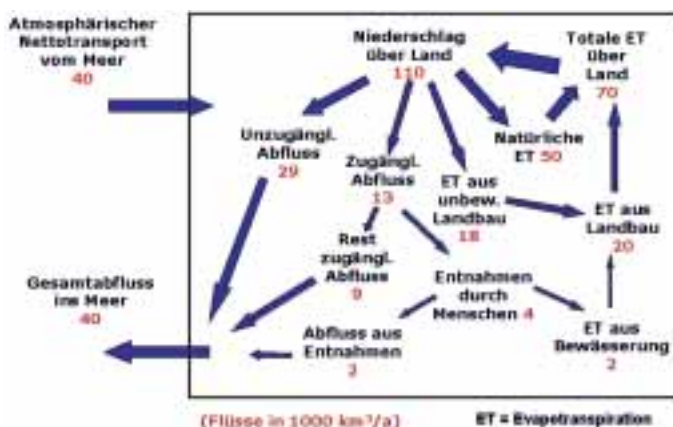


Abb. 1: Globale terrestrische Wasserbilanz.



Die Erde ist zu 70% mit Wasser bedeckt. Nur etwa 2,5% des Wassers auf der Erde sind Süßwasser und davon ist nur etwa $\frac{1}{3}$ zugänglich.





Heute leiden rund 500 Millionen Menschen weltweit unter Wassermangel. Im Jahr 2025 werden es 3 Milliarden sein.



Abb. 2: Bewässerungsanlagen in der libyschen Wüste.

Für die Erzeugung von 1 Tonne Getreide werden 1000–2000 Tonnen Wasser benötigt. Getreide ist also konzentriertes Wasser. Und für Getreide gibt es einen Weltmarkt, über den Wasser zum globalen Problem werden kann. Bis 2050 wird mit rund 3 Mrd. zusätzlichen Menschen auf dem Planeten gerechnet. Um sie zu ernähren, ist bei herködlichem Leben Triticale die Pflanze der bewässerten Hydromechanik. Die Gruppe 60% Fasern mit 30% Grün in optimierten die die Produktion eines Adis in Arabien. Pestschwärme, im Gegensatz zu Methoden für die Erhöhung der Produktion und die in die Nähe der Migration im Wengedat mit, Wasser seit noch nicht mit letzter Sicherheit gesagt werden. Im Gegensatz dazu ist sicher, dass regionale Erhebungs- und andere existieren und die Zukunft abgelesen werden. Dabei ist es durch den Vorstellbar, dass Konfliktpotenziale bis hin zu bewaffneten Auseinandersetzungen resultieren. Dies ist beispielsweise an internationalen Flüssen wie dem Nil, Euphrat und Tigris und vielen anderen der Fall, wo Oberlieger den Unterliegern Prof. Wolfgang Hinkelbadem sie es in Form von Bewässerungswasser verdunsten lassen. wirtschaft, Eidgenössische Technische Bash Trinkwasserproblem ist im Vergleich zum Bewässerungswasserproblem von der

KNAPPE RESSOURCE IM NÖRDLICHEN AFRIKA

TOBIAS SIEGFRIED

Einst waren die Oasen der Sahara als Paradiesgärten bekannt. Doch die heutige Übernutzung der Grundwasservorräte durch die Anrainerstaaten gibt Anlass zur Sorge. Lösungen sind nicht nur ein hydrologisches, sondern auch ein politisches Problem.

Die Sahara, so unwirtlich und karg sie Durchreisenden erscheinen mag, ist äusserst reich an einem Bodenschatz, einem Gut, dessen drastischer Mangel den eigentlichen Charakter jeder Wüste ausmacht – Wasser. Unter dem grossen östlichen und westlichen Erg in Algerien und Tunesien sowie der libyschen Hamada El Hamra befinden sich enorme Grundwasservorkommen. Diese erstrecken sich über eine Fläche doppelt so gross wie Frankreich und enthalten ein Volumen, das schätzungsweise dem zweitausendfachen Inhalt des Bodensees entspricht. Eine substantielle Einspeisung von Wasser trat letztmals in den Pluvialphasen des Pleistozäns auf. Die heutige Neubildung von annähernd 30 m³/s ist hingegen bezogen auf die Fläche vernachlässigbar gering und nur lokal, am südlichen Ende des algerischen Atlas, relevant. Das Nordwest-Sahara-Aquifer-System (NWSAS) ist deshalb im Wesentlichen eine nicht erneuerbare, fossile Wasserreserve.

Misswirtschaft und neue Technologien

In den vorherrschenden ariden bis hyperariden klimatischen Verhältnissen ermöglichte einzig durch den Überdruck des Grundwassers selbsttätig aufsteigende Quellschüttung das Bestehen von räumlich isolierten Ökosystemen. Im Laufe von Jahrhunderten lernte der Mensch sich an die schwierigen klimatischen Bedingungen anzupassen und schuf so die zahlreichen, von frühen europäischen Forschungsreisenden als Paradiesgärten beschriebenen Oasen. Diese sind jedoch seit der Ankunft der Bohrlochtechnologie, der Motorpumpe und der mit der Anwendung dieser neuen Fördermittel einhergehenden Zentralisierung jeglicher Entscheidungen bezüglich Ressourcenallokation bedroht. Die Geschichte davon reiht sich nahtlos in die Liste der Beispiele von Misswirtschaft an natürlichen Ressourcen im zwanzigsten Jahrhundert ein. Unter dem Vorzeichen des postkolonialen Dranges nach Selbstbestimmung und wirtschaftlicher Entwicklung adoptierten die drei Anrainerstaaten des NWSAS – Algerien, Libyen und Tunesien – ab den Sechzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts eine Politik der landwirtschaftlichen Expansion. Damit verdreifachte sich über die letzten 50 Jahre hinweg die bewässerte landwirtschaftliche Fläche. Das zusätzlich benötigte Wasser wurde aus Tiefbrunnen gefördert, die im Jahr 2000 gesamthaft rund 150 m³/s lieferten. Natürlich, und so wird oftmals argumentiert, bestünde hier kein Grund zur Sorge, würden doch die immensen Grundwasserreserven auch bei Beschränkung auf den wirtschaftlich erschliessbaren Anteil

noch für weitere 600 Jahre reichen, selbst wenn in dieser Rechnung die für 2050 von den drei Anrainerländern geschätzte maximale Nachfrage von 500 m³/s entnommen würde. Wie das Beispiel der tunesischen Nefzaoua-Oasen zeigt, ist eine solche Argumentation jedoch aus verschiedenen Gründen falsch.

Fallender Grundwasserspiegel, zunehmende Versalzung

In diesem Gebiet intensiver Grundwasserförderung hatte die verbreitete Abnahme der natürlichen artesischen Quellschüttung aufgrund einer zunehmenden Druckspiegelabsenkung zur Folge, dass Wasser nunmehr unter zusätzlicher Energie- resp. Kostenaufwendung durch Pumpen zur Verfügung gestellt werden musste. Zudem wurde mit den fallenden Grundwasserspiegeln ein stetiges Steigen der Salinität der Wässer beobachtet. Einerseits kann eine Verschmutzung durch hochkonzentrierte landwirtschaftliche Drainagewässer, die mit dem fossilen Grundwasserträger aufgrund ungünstiger hydrogeologischer Gegebenheiten kurzgeschlossen sind, festgestellt werden. Andererseits werden durch die Druckveränderungen im oberen Grundwasserleiter salzige Wässer aus tiefer liegenden Schichten mobilisiert, deren Verschmutzungsfahnen die Brunnen erreichen. Schlussendlich kann auch eine Kontamination durch das hypersaline Wasser des nahe gelegenen Salzsees Chott El Djerid für die Zukunft nicht ausgeschlossen werden. Während im ungestörten Zustand Wasser zum tiefstgelegenen Punkt, dem Schott,



Die erneuerbare Wassermenge pro Person und Jahr beträgt in der Schweiz 6520 m³, in Algerien 770 m³, in Saudi-Arabien 160 m³. Unter 1000 m³ herrscht Wassermangel.

floss, kehren die erhöhten Entnahmen nun das Grundwassergefälle zwischen Oase und Schott um. Die chronisch steigende Salzfracht des auf die Felder ausgetragenen Wassers fördert die Bodenversalzung in den Oasen und lässt in letzter Konsequenz die Palmengärten absterben. In den semi-ariden bis ariden Ländern bedeutet also Grundwassermanagement, sofern es denn nachhaltig sein soll, immer auch Salzmanagement.

Lokale Entscheidungen und internationale Interessen

Den Planern stellt sich eine schwierige Aufgabe. Einerseits müssen sie auf regionaler Systemebene denken und andererseits fähig sein, lokale Gegebenheiten möglichst präzise in Entscheidungsmodelle einzubauen. So kann man beispielsweise abschätzen, dass in den tunesischen Nefzaoua-

Oasen allein aufgrund der forcierten regionalen Wasserentnahmen der Grundwasserspiegel in 40 Jahren um 15 bis 20 Meter abgesenkt wurde. In diesem bezüglich Versalzung sensitiven Gebiet führt die Überlagerung der lokalen mit der regionalen Absenkung zu den erwähnten negativen Konsequenzen.

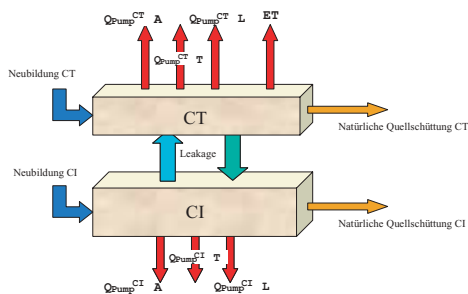
Die regionalen Entscheidungen haben internationalen Charakter. Entscheidungen in Algerien und Libyen bezüglich der Nutzung der fossilen Wasserreserven betreffen beispielsweise auch Tunesien. Im Gegensatz zu Flüssen, welche eine Externalität im ökonomischen Sinne ausschliesslich stromabwärts weitergeben, breitet sich eine Druckspiegelabsenkung im Laufe der Zeit in Form eines logarithmischen Trichters über den Aquifer aus.

Nur durch einen internationalen Austausch von Daten bezüglich Pumphistorie und Wissen betreffend der Hydrogeologie kann die Planung für die Zukunft erfolgreich ange-

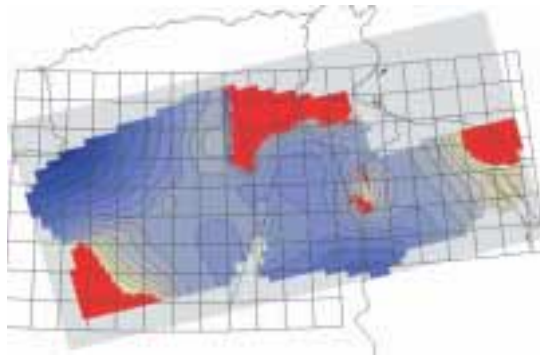


Abb. 1: Lage und Erstreckung des Nordwest-Sahara-Aquifers (Pfeile kennzeichnen die heutigen Zu- und Abflüsse des Systems)

gangen werden. Dieser Austausch ist mit dem auch von der Schweiz mitfinanzierten SASS-Projekt zwischen Algerien, Tunesien und Libyen erstmals in Gang gekommen. Unter dem Gesichtspunkt strikter Nachhaltigkeit müsste eine Reduktion der Förderung auf das Niveau der Neubildung im Becken gefordert werden. Dies ist aber aus politischen und soziokulturellen Überle-



Konzeptuelles Modell des NWSAS



Rote Zellen bedeuten Flurabstand >250 m

Abb. 2: Konzeptmodell des Aquifersystems (links) und berechnete Druckspiegelverteilung im unteren Aquiferstockwerk (Prognose für 2050) (rechts).

gungen keine Lösung. Die Wasserwirtschaft muss deshalb das Augenmerk auf die Verteilung der Förderung richten, im räumlichen wie auch im zeitlichen Sinne. Wasser ist eine mobile Ressource, der Boden hingegen nicht. Die aufgrund einer Sterilisierung von kultivierten Böden notwendige Umsiedlung der landwirtschaftlichen Aktivität kann in den meisten Fällen nur marginal nutzbare Böden erschliessen. Dies bedeutet, dass sich die laufende Forschung auf die Formulierung alternativer Pumpstrategien unter Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit konzentrieren sollte. Die Verbindung wissenschaftlicher Methoden aus den Fachbereichen Hydrogeologie und Ökonomie verspricht hier erfolgreich anzusetzen. Einerseits erlaubt die Modellierung der Grundwasserträger, die zukünftige Systementwicklung in Abhängigkeit von der Pumpbelastung zu verstehen. Die Identifikation potenzieller künftiger Gefährdungen von Boden und Wasser in Zusammenhang mit alternativen Allokationsstrategien ist somit gegeben. Werden nun alternative Strategien untersucht und mit einem monetären Aufwand gewichtet, so können intertemporale Verteilungsmuster erforscht werden, die aufgrund ihrer günstigeren Kostenfolge für Mensch und Umwelt interessant sind.

Die Entwicklung dieser Kostenfolge, d.h. der Schattenpreise von Wasser, ist einerseits abhängig von den Installationskosten sowie der Fördertiefe an einem bestimmten Ort und andererseits von den Transportkosten zu den Verbraucherzentren. Wird die Problematik mittels einer intertemporalen Optimierungsaufgabe formuliert, so erfordert deren Lösung das Absuchen eines

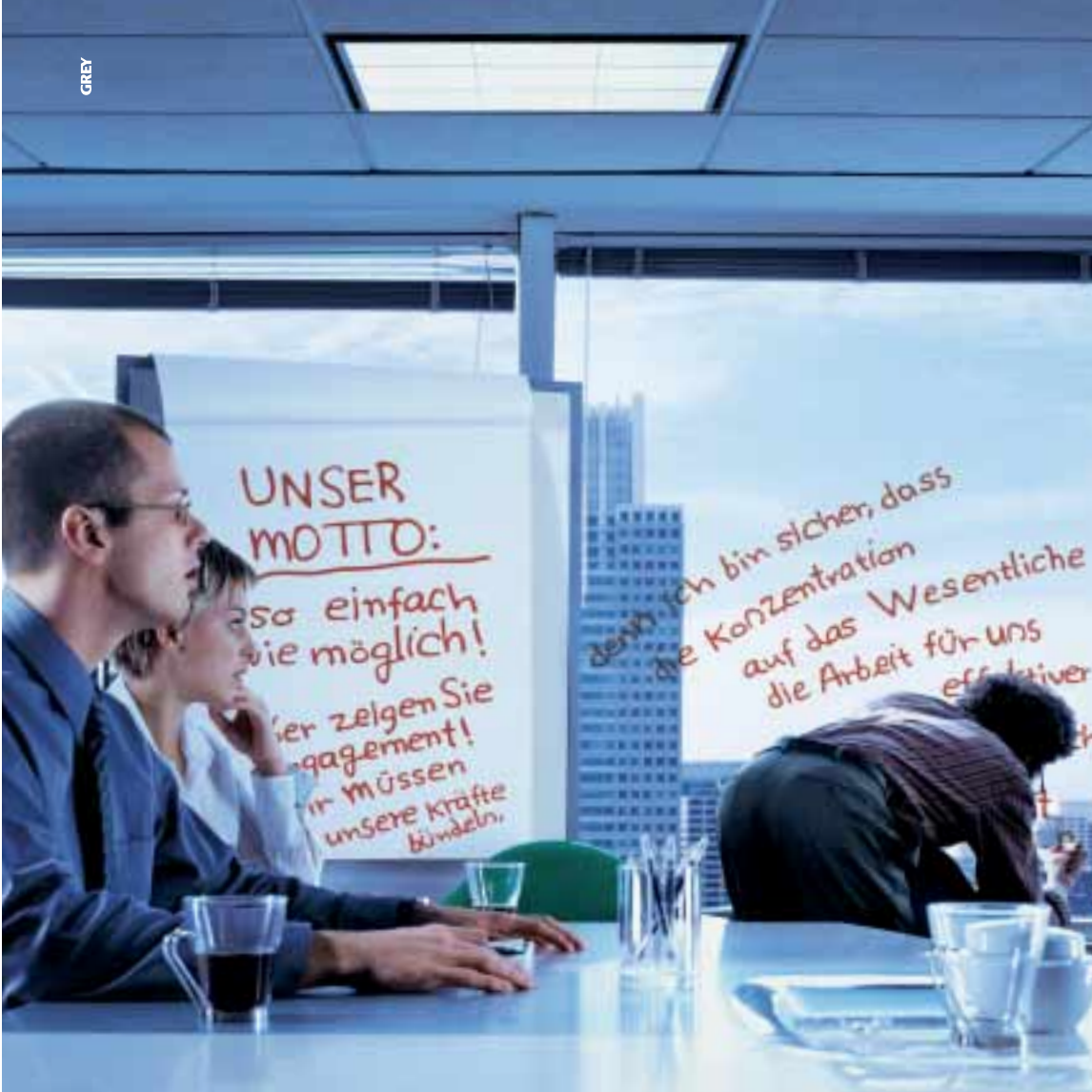
hochdimensionalen Parameterraums. Heuristische Suchverfahren wie beispielsweise genetische Algorithmen sind in der Lage, günstige Lösungen zu finden, welche sich dadurch auszeichnen, dass sie eine Konzentration der Förderung genauso wie deren homogene Verteilung über das ganze System bestrafen und eine Dynamik der abschnittweisen Verlagerung von Pumpstationen weg von den Verbrauchern und in tiefere Aquiferstockwerke vorschreiben. Da sich die Einzugsgebiete der Grundwasserträger im vorliegenden Fall nicht mit den Grenzen der Nationalstaaten decken, sind die aus einer solchen Lösung resultierenden Implikationen sorgfältig zu untersuchen. Diese beinhalten nämlich, dass einzelne Parteien im Sinne eines übergeordneten Wohls teilweise darauf verzichten müssten, auf die Ressourcen zurückzugreifen. Können diese Verzicht nicht mittels Transferzahlungen entsprechend kompensiert werden, so bleiben die aus dieser Arbeit gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse nur Spielerei. Erste Ergebnisse zeigen nun, dass Strategien der optimalen Nutzung den monetären Gesamtnutzen um 12% steigern können. Dies mag als ernüchternd wenig erscheinen, stellt jedoch trotzdem ein Gewicht dar, das in die Schale der politisch-ökonomischen Entscheidungsfindung zugunsten einer langfristig orientierten Strategie der umsichtigen Nutzung geworfen werden kann.

Forschungsinformationen

Partner und Partnerinstitutionen:
 Prof. Rolf Kappel, NADEL, ETHZ
 Madame Mounira Zammouri, Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjez el Bab, Medjez el Bab, Tunesien
 Prof. Mohamed Matoussi, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Tunis, Tunesien
 DGRE, Direction Générale des Ressources en Eau, Tunis, Tunesien
 OSS/SASS, Observatoire du Sahara et du Sahel, Tunis, Tunesien
 Ministère des Ressources En Eau, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Algier, Algerien
 Weitere Informationen über E-Mail: siegfried@ihw.baug.ethz.ch

Tobias Siegfried

wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft (IHW) der ETH Zürich



Mad about writing?



**NOKIA
6800**

Wenn Sie gerne schreiben, werden Sie begeistert sein vom neuen Nokia 6800 Messaging device. Schreiben Sie schneller und einfacher mit einer kompletten Tastatur, Farbbildschirm und MMS. Mit dem Nokia 6800 Messaging device fällt es leicht, mehr zu sagen, als Sie eigentlich wollten.

**Club
NOKIA**

Registrieren Sie sich jetzt und profitieren Sie von vielen Vorteilen! www.club.nokia.ch

WASSERHAUSHALT IM YANQI-BECKEN

PHILIP BRUNNER

Eine typische Entwicklung intensiver Bewässerungswirtschaft in einer semi-ariden Region lässt sich am Beispiel des Yanqi-Beckens in Nordwestchina studieren. Eines der Hauptprobleme, welche die Bewässerung mit sich bringen kann, ist die Versalzung von Boden und Wasser. Ein Computerspiel soll den lokalen Autoritäten Lösungsvorschläge vermitteln.

Von den weltweiten Oberflächen- und Grundwasserabflüssen werden 8% genutzt,

Bodenversalzung beeinträchtigt die Bodenproduktivität. Im fortgeschrittenen Stadium wird das Pflanzenwachstum stark gehemmt und schliesslich unmöglich. Der natürliche Versalzungsprozess kann durch die Bewässerung stark beschleunigt werden. Der Prozess, der in der Menschheitsgeschichte schon sehr früh zu grossräumigen Umweltschäden geführt hat, ist grundsätzlich einfach zu verstehen. Wird durch den Lösungsinhalt des verdunstenden Bewässerungswassers mehr Salz in den Boden eingetragen als natürliche und technische Dränagen entfernen können, so steigt der Salzgehalt im Boden an. Versickerndes Bewässerungswasser lässt den Grundwasserspiegel ansteigen. Die direkte Verdunstung von Grundwasser durch den Boden nimmt mit abnehmendem Flurabstand, dem Abstand zwischen Geländeoberkante und Grundwasserspiegel, zu. Das gelöste Salz bleibt im Oberboden zurück und akkumuliert sich über die Jahre. Neben der direkten Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums durch Verschiebung des osmotischen Gleichgewichts kann eine erhöhte Salzkonzentration im Bodenwasser auch zu einer Änderung der Gefügestruktur führen. Zum Bei-

spiel zerstört eine hohe Konzentration von Natriumionen das Bodengefüge. Die geringen Flurabstände führen natürlich nicht nur zu einer Versalzung der lokalen Bodenressourcen. Abflüsse, welche diese Systeme drainieren, transportieren ebenfalls eine erhöhte Salzfracht mit sich. Wird dieses Wasser wiederum für die Bewässerung eingesetzt, so verschärfen sich die Versalzungsprobleme im Unterstrom. Letztlich werden Oberflächengewässer durch die Salzausträge belastet. Die ökonomischen Folgekosten durch Ertragsminderung infolge der Versalzung sind enorm, die sozialen Konsequenzen für die betroffenen Gebiete oft weitreichend.

Vollständig durch Menschen kontrolliert

Die Landwirtschaft im Yanqi-Becken wurde vor 50 Jahren aufgrund des zunehmenden Bevölkerungsdrucks aufgenommen. Die intensive Bewässerung ermöglicht die Herstellung einer breiten Palette von Agrarprodukten, darunter Baumwolle, Wassermelonen und Chili. Das Yanqi-Becken, das auf-

grund des geringen Niederschlags von 50 mm/a keinen Trockenfeldbau zulässt, gehört dank der Bewässerung zu einem der produktivsten Gebiete in der Provinz Xinjiang. Bewässert wird mit Flusswasser; der Kaidu führt Wasser guter Qualität und in ausreichender Quantität das ganze Jahr über. Ohne Bewässerung wäre im Yanqi-Becken so gut wie keine Vegetation zu finden.

Das Becken ist durch die umliegenden Berge klar abgegrenzt. Der tiefste Punkt ist der Bostan-See, ein Süsswassersee mit einer Fläche von über 1000 km². Der See wird vom Kaidu durchflossen; die Existenz der vielen Fischer ist somit direkt abhängig von der Flusswasserqualität. Der natürliche Ausfluss des Sees, der Kongque-Fluss, wird durch eine Pumpstation reguliert, welche Seeniveau und Abfluss des Kongque durch die Pumprate steuert. Der Kongque verlässt das Yanqi-Becken über ein Wasserkraftwerk, bevor er ein weiteres Bewässerungsgebiet versorgt. Die natürliche, ökologisch wertvolle Vegetation in Flussnähe sowie die Agrarproduktion in diesem so genannten «grünen Korridor» sind somit direkt

davon 70% durch die Landwirtschaft, 22% durch die Industrie und 8% durch Dienstleistungssektoren und private Haushalte.

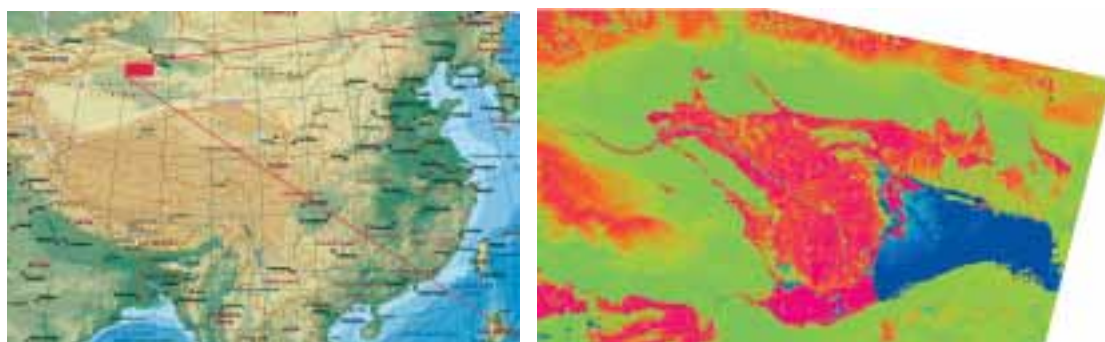


Abb. 1: Übersichtskarte (links: Lage des Yanqi-Beckens in China, rechts: Vegetationsindex des Gebiets aus Satellitenaufnahme, blau: Wasserflächen, rot: Vegetation und Ackerflächen, grün: Wüste).

vom Wassermanagement im Yanqi-Becken abhängig. Jeder Kubikmeter Wasser, der durch die Landwirtschaft im Yanqi-Becken verbraucht wird, steht stromab weder für die Stromerzeugung noch für den «grünen Korridor» zur Verfügung.

Die Menge des im Yanqi-Becken eingesetzten Bewässerungswassers wird über 2 Kontrollpunkte im Oberstrom des Kaidu reguliert; die Wasserbilanz des Beckens ist vollständig unter menschlicher Kontrolle.

Das Yanqi-Becken verfügt über mächtige Grundwasservorkommen, die durch die natürliche Versickerung von Flusswasser gespeist werden. Seit der Inbetriebnahme der Bewässerung steigt der Grundwasserspiegel infolge der zusätzlichen Versickerung an. In den tiefliegenden Regionen des Beckens liegt er nur noch etwa einen Meter unter Gelände. Dadurch ist heute die Hälfte der bewässerten Fläche von Versalzung betroffen; die jährlichen Erträge sinken, und in absehbarer Zukunft wird die Landwirtschaft in weiten Teilen des Beckens nicht mehr rentabel sein. Bevor die Bewässe-

rungslandwirtschaft im «grünen Korridor» und im Yanqi-Becken in Betrieb genommen wurde, war die letztendliche Senke des Kongque-Flusses und damit seiner Salzfracht der Lop Nor, ein Salzsee am nördlichen Rand der Kuluk-Wüste. Heute wird der Lop Nor von keinem Fluss mehr erreicht; die Salzsenke wandert aufgrund des zunehmenden Wasserbedarfs zu den Verbrauchern im Oberstrom.



Für die Erzeugung von 1 Tonne Getreide werden 1000–2000 Tonnen Wasser benötigt.

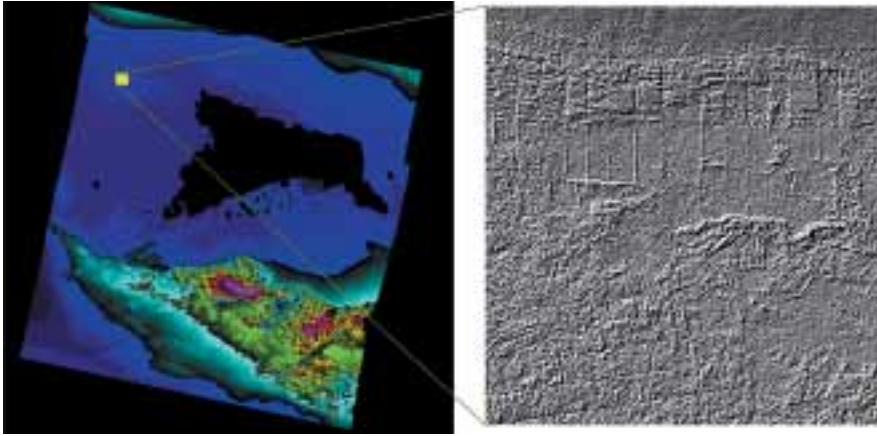


Abb. 2: Digitales Geländemodell aus Stereobildern von Radarsatelliten.

Massnahmen gegen Versalzung

Wie ist es nun möglich, die Salzströme durch das Becken und die internen Versalzungsprozesse zu kontrollieren? Ausmass und Geschwindigkeit der Versalzung werden in erster Linie durch die Bewässerungsintensität, die bewässerte Fläche und den Wasserbedarf der angepflanzten Produkte bestimmt. Daneben gibt es weitere Möglichkeiten, den Versalzungsprozess zu beeinflussen. Eine ausreichende Drainage verringert die Grundwasserneubildungsrate. In Yanqi gibt es jedoch nur ein sehr dünnes Netz an Drainageröhren, deren Wartung zudem sträflich vernachlässigt wurde. Um das ganze Becken ausreichend zu drainieren, müsste ein weitreichendes Netz aufgebaut und unterhalten werden.

Ein vielversprechender Ansatz ist die Substitution von Fluss- durch Grundwasser. Grundwasser wird heute aus wirtschaftlichen Gründen nur in geringem Umfang zur Bewässerung eingesetzt. Durch diese Substitution würde der Grundwasserspiegel gesenkt und dadurch die direkte Verdunstung des Grundwassers reduziert. Die Anzahl der installierten Pumpen, ihre räumliche Verteilung und die Pumpraten sind die wichtigsten Parameter für die Effizienz dieser Massnahme. Auf der wasserwirtschaftlichen Seite steht ein weiterer Vorschlag zur Diskussion: Mit seiner grossen Oberfläche ist der Bostan-See der grösste Wasserverbraucher im ganzen Gebiet. Eine Senkung des Wasserspiegels führt zu einer Verkleinerung der Oberfläche, was die unproduktive Verdunstung von Wasser reduzieren würde.

Mit Simulation und Computerspiel

Im Rahmen eines Forschungsprojekts zwischen dem Ministerium für Landnutzung

und Bodenressourcen und der ETH wird ein Computermodell entwickelt, welches den Wasserhaushalt und die daran gekoppelten Versalzungsprozesse im Yanqi-Becken simuliert. Basierend auf dem Modell werden verschiedene Strategien der Bewirtschaftung getestet und bewertet. Die Bewertungskriterien für die verschiedenen Optionen sind das Ausmass der Versalzung im Yanqi-Becken, die Wasserqualität des Bostan-Sees sowie die Abflussmenge, welche dem «grünen Korridor» zur Verfügung gestellt wird.

Um den Prozess der Versalzung modellieren zu können, müssen die Austauschraten und Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Systemkomponenten Boden, Grundwasser und Oberflächenhydrologie erkannt und quantifiziert werden. Der Netto-Austausch zwischen Grundwasser und Atmosphäre ist direkt von der Topographie abhängig.

Sinkt der Grundwasserspiegel auf eine bestimmte Tiefe unter die Erdoberfläche, wird der Wassertransfer zwischen Boden und Atmosphäre stark reduziert und die Versalzung entsprechend verlangsamt. Das Modell simuliert deshalb in erster Linie den Flurabstand. Ohne genaue Kenntnis der Topographie ist eine Prognose der Versalzung nicht möglich. Nur durch Kombination der Methoden aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen können die Prozesse und Probleme der Versalzung verstanden und modelliert werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde deshalb ein Forschungsverbund zwischen verschiedenen Instituten gegründet.

Mit den Methoden der Fernerkundung und Geodäsie wird ein digitales Geländemodell mit hoher räumlicher Auflösung und in ausreichender Qualität erstellt. Durch geophysikalische Messungen lässt sich das Ausmass der Versalzung lokal quantifizieren. Mit Hilfe multispektraler Satellitenbilder

können diese geophysikalischen Punktmessungen auf grössere Gebiete übertragen werden. Obwohl das Grundwasser im Yanqi-Becken ausschliesslich vom Kaidu-Fluss stammt, findet die Neubildung des Grundwassers über verschiedene Wege mit unterschiedlichen Zeitskalen statt. Abhängig von der Art und Geschwindigkeit der Neubildung hinterlassen Umwelteisotope charakteristische Signaturen. Mit ihrer Hilfe können die Zeitskalen sowie die Austauschraten zwischen dem Kaidu und den verschiedenen Stockwerken des Aquifers abgeschätzt werden.

Basierend auf diesen Informationen, wird das Modell schrittweise entwickelt. Anhand hydrologischer Grössen wie der Lage des Grundwasserspiegels, des Abflusses des Kaidu, aber auch durch den Vergleich der berechneten und beobachteten räumlichen Verteilung der Versalzung wird das Modell getestet und validiert. Als Studienobjekt weist das Yanqi-Becken eine sehr nützliche Eigenschaft auf: die Salzkonzentration im Bostan-See ist eine Funktion der ein- und austretenden Salzfrachten und damit des historischen Verlaufs des Wasser- und Salzmanagements im Yanqi-Becken. Der See als Integrator erlaubt eine unabhängige Überprüfung der Stoffbilanzen des Beckens.

Um die Kommunikation zwischen Wissenschaftlern und den Entscheidungsträgern zu erleichtern, soll das Modell in Form eines Spiels präsentiert werden, das im Kern das Simulationsmodell enthält und durch interaktive, leichte Bedienbarkeit auch von Nicht-Experten benutzt werden kann.

Forschungsinformationen

Das Yanqi-Projekt ist ein Verbundprojekt des DBAUG, an dem die Institute IHW, IGP und IfG der ETH, die Umweltphysikgruppe der EAWAG und das Institute for Geoenvironmental Monitoring des chinesischen Ministeriums für Landnutzung und Bodenressourcen beteiligt sind.

Kontakt: Philip Brunner
Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft
ETH Zürich
brunner@ihw.baug.ethz.ch

Philip Brunner

wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, ETH Zürich

NACHHALTIGE NUTZUNG DES OKAVANGO-DELTAS

PETER BAUER

Das Okavango-Delta in Botswana ist ein einzigartiges Feuchtgebiet mit einer überwältigenden Tierwelt. Doch der steigende Wasserbedarf umliegender Länder könnte dieses Naturparadies empfindlich stören. Forscher der ETH Zürich entwickeln Modelle, wie der Interessenkonflikt zwischen Mensch und Natur entschärft werden könnte.

Botswana ist ein semiarid-arides Land im südlichen Afrika. Seit seiner Unabhängigkeit im Jahre 1966 erfreut es sich eines kontinuierlichen, hohen Wirtschaftswachstums und grosser politischer Stabilität. Dieses sehr positive Bild wird seit einigen Jahren von den Auswirkungen der HIV/AIDS-Pandemie erheblich getrübt. Das Wirtschaftswachstum in Botswana wird hauptsächlich vom Diamantenabbau getragen. Im Bergbau werden nahezu 50% des BIP erwirtschaftet. Erklärtes Ziel der Regierung ist es, die Abhängigkeit vom Diamantenexport zu mindern und die Wirtschaft zu diversifizieren. Eine aus Sicht der Regierung vielversprechende Möglichkeit bietet die Bewässerungslandwirtschaft. Diese Politik sowie der steigende Lebensstandard im Lande treiben den Wasserbedarf in die Höhe. Traditionell greift die Wasserversorgung hauptsächlich auf Grundwasser zurück, das auch heute noch mehr als 60% des Bedarfs deckt. Allerdings sind die Grundwasserneubildungsraten gering, und zu grossen Teilen müssen die Grundwasserentnahmen als nicht nachhaltig angesehen werden. Deshalb wird vermehrt nach Möglichkeiten gesucht, Oberflächenwasser für die Versorgung und insbesondere für Bewässerungslandwirtschaft heranzuziehen. Allerdings gibt es nur drei Flüsse im Lande, die ganzjährig Wasser führen – Limpopo, Sambesi/Chobe und Okavango. In allen drei Fällen handelt es sich um internationale Flusssysteme, und deren Nutzung erfordert langwierige und schwierige Verhandlungen mit den Nachbarn.

Der Okavango

Der Okavango entspringt im tropischen Hochland von Angola, bildet für mehrere hundert Kilometer die Grenze zwischen Angola und Namibia, durchquert Namibias Caprivi-Zipfel und fliesst nach Botswana, wo er in ein riesiges Feuchtgebiet aufzweigt – das Okavango-Delta – und letztendlich komplett verdunstet. Ein grosser Teil des Abflusses wird im feuchten angolanischen Hochland generiert, während die in Namibia und Botswana gelegenen Teile des Einzugsgebietes äusserst trocken sind und dem Fluss netto Wasser entziehen. Über den Ursprung des Okavango-Deltas gibt es verschiedene Theorien: Wahrscheinlich durchquerte der Okavango früher das heutige Delta und ergoss sich in einen grossen Binnensee in der Region der heutigen Makgadikgadi-Salzpfannen. Denkbar erscheint auch eine ehemalige Verbindung mit dem Limpopo-System. Infolge grossräumiger tektonischer Aktivität (African Superswell) kam es am südöstlichen Rand des heutigen

Deltas zu Verwerfungen (Thamalakane und Kunyere Faults). Der Halbgraben, der sich nordwestlich der Verwerfungen auftut, wird seither von den Sedimenten des Okavango aufgefüllt, und es bildete sich ein fast perfekt konischer Schwemmfächer mit äusserst geringer Neigung, auf dessen Oberfläche sich das komplexe hydrologische und geochemische Geschehen des Deltas abspielt.

Charakteristisch für das Delta ist der jährliche Flutzyklus: Den Kern des Feuchtgebietes bilden etwa 6000 Quadratkilometer dauerhaft gefluteter Flächen. Darum herum legt sich ein Gürtel von rund 12000 Quadratkilometer saisonal gefluteter Flächen. Die jährliche Flut wird vor allem angetrieben von den starken Schwankungen im Abfluss des Okavango. Im Mittel beträgt der Abfluss ca. 300 m³/s. Zur Zeit der Abflussspitzen, im März und April, werden bis zu 1000 m³/s erreicht, während bei Niedrigwasser um die 100 m³/s fließen. Die jährliche Flut braucht einige Monate, um das



Abb. 1: Lage des Okavango-Beckens in Afrika (links). Rechts: NOAA-AVHRR Falschfarbenbild des Okavango-Deltas.

Von den 260 Mio. Hektaren bewässerten Ackerlands weltweit sind rund 80 Mio. Hektaren von Versalzung betroffen.

Delta vom sogenannten Panhandle bis nach Maun zu durchqueren. Die höchsten Wasserstände werden in den peripheren Teilen des Deltas im Juli und August gemessen, also mitten in der Trockenzeit. Diese Phasenverschiebung zwischen lokalem Regen und «importierter» Flut spielt eine grosse Rolle für die Wasserversorgung des Ökosystems. In den Auen des Okavango-Deltas und den umliegenden Trockengebieten hat sich eine überwältigende Vielfalt an Wildtieren bis heute halten können. Die spektakuläre afrikanische Megafauna ist ebenso präsent wie eine Unzahl von Vogelarten. Traditionell wurde das Delta von einheimischen Jägern und Sammlern genutzt, wobei der Fischreichtum des Okavango eine grosse Rolle spielte. Die extrem niedrige Bevölkerungsdichte verhinderte eine Übernutzung der Ressourcen. Die Regierung hat seit langem die Bedeutung des Deltas als internationale Tourismusattraktion erkannt und betreibt eine Politik des «high price/low intensity»-Tourismus. In den luxuriösen Lodges in und um das Delta werden bis zu 1000 US-Dollar pro Nacht bezahlt. Die einheimische Bevölkerung wird unter mehr oder weniger sanftem Druck umgesiedelt, und seit vielen Jahren schützt der Buffalo-Fence das Delta vor dem Eindringen der Rinderherden.

Seit langem schon hat die Tatsache, dass 300 m³/s wertvollen Wassers «praktisch ungenutzt im Sand der Kalahari verdunsten», Begehrlichkeiten geweckt. Seit den Achtzigerjahren gibt es Pläne, das Delta intensiver zu nutzen bzw. seinen Wasserverbrauch durch eine Verkürzung der Aufenthaltszeit zu vermindern. Bisher sind alle schwerwie-

genden Eingriffe am Widerstand der internationalen Umweltschutzorganisationen gescheitert, doch mit steigendem Wasserbedarf kommen alte und neue Vorschläge wieder auf den Verhandlungstisch. Allerdings sind die Auswirkungen lokaler Wasserentnahmen klein verglichen mit den Auswirkungen möglicher Dammbauten in Angola, die nach dem Ende des dortigen Bürgerkrieges schon bald sehr konkret werden könnten.

Das hydrologische Modell

In dem ETH-geförderten Forschungsprojekt im Auftrag der Regierung von Botswana entwickeln wir ein hydrologisches Modell des Okavango-Deltas, welches aus den Inputdaten über Zustrom, Regen und Evapotranspiration die Wasserstände sowohl im Delta als auch im darunter liegenden Sand-Aquifer berechnet. Insbesondere können aus der Differenz zwischen Wasserstand und Geländehöhe die gefluteten Flächen für jeden Zeitschritt bestimmt werden. Diese Flutungsmuster vergleichen wir mit den Flutungsmustern, die aus grobauslösenden Satellitenbildern (NOAA-AVHRR) gewonnen werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen hydrologischen Modellen, die meist nur mit Hydrographen von einigen wenigen Punkten kalibriert werden müssen, wird unser Modell im Hinblick auf optimale Übereinstimmung zwischen berechneten und beobachteten zweidimensionalen Flutungsmustern geeicht. Wegen der grossen Bedeutung der Topographie wird am IGP mit den modernsten Methoden ein digitales Geländemodell erstellt. Wir hof-

fen, den lokalen Entscheidungsträgern mit dem hydrologischen Modell ein Werkzeug an die Hand zu geben, mit dem Auswirkungen geplanter Massnahmen im Voraus abgeschätzt werden können. Wie wirkt sich zum Beispiel eine Verformung der Abflussganglinie im Okavango infolge von Dammbauten in Angola auf die Dynamik der Flut aus? Wie ernst ist eine Wasserentnahme von 5000 Kubikmetern pro Tag im Oberstrom, wie sie für die Versorgung von Maun erforderlich wäre, und wie vergleicht sie sich mit der Ausbeutung von peripheren Aquiferen, wie sie im Moment praktiziert wird? Welche Folgen haben morphologische Eingriffe wie das Offenhalten und Eintiefen der Kanäle im Delta selbst? Alle diese Fragestellungen können mit Hilfe des hydrologischen Modells einer objektiven und quantitativen Beurteilung zugeführt werden, die dann in den politischen Prozess einfließen kann. Wir sind überzeugt, dass es trotz all der schwierigen Interessenkonflikte im Delta Spielraum für Optimierung gibt, und das Modell kann dabei helfen, diesen aufzuzeigen.

Die Salzbilanz

Neben der Hydrologie ist die Salzbilanz des Okavango-Deltas ein weiterer Schwerpunkt der Forschungsarbeiten am IHW. In ariden Gebieten kann Wasserwirtschaft im Allgemeinen nicht losgelöst von Versalzungsproblemen betrachtet werden. Bei einem Zustrom von 300 m³/s zum Delta und einem vernachlässigbaren Ausstrom stellt sich sofort die Frage nach dem Verbleib der im Wasser gelösten Stoffe. Die Konzentration



Das Überlebensminimum des Menschen liegt bei 2–6 l Wasser pro Kopf und Tag. Mit 50 l/Kopf und Tag können weitere Bedürfnisse

der gelösten Stoffe im Zustrom ist zwar vergleichsweise gering, trotzdem ergibt sich übers Jahr eine Fracht von ca. 300 000 Tonnen Salz, die irgendwo abgelagert werden müssen. Das Oberflächenwasser selbst weist bis hinab in die peripheren Teile des Deltas eine geringe Salzkonzentration auf. Dagegen finden sich im Grundwasser unter den zahlreichen Inseln und entlang der Küstenlinie z.T. extrem hohe Salzkonzentrationen. Eine typische Insel im Okavango-Delta ist Thata Island im nördlichen Teil des Deltas. Ihr Radius beträgt ca. 100 m, und auf diesen 100 m zwischen der Aue und dem Zentrum der Insel vertausendfacht sich die Konzentration an gelösten Stoffen im Grundwasser. Hohe Salzkonzentrationen treten auch im tiefen Grundwasser unterhalb ca. 80 m auf. Eine interessante Frage ist nun, ob es eine Verbindung zwischen den oberflächlichen Salinitätsanomalien unter den Inseln und entlang der Küstenlinie und dem tief gelegenen Salinitätspool gibt. Diese könnte durch dichtegetriebene vertikale Konzentrationsfinger bewerkstelligt werden. Stammt das Salz in der Tiefe letzten Endes von der Oberfläche oder hat es eine ganz andere Genese als das Salz unter den Inseln? Dieser Frage versuchen wir am Beispiel von Thata Island auf den Grund zu gehen. Bohrungen und Tracerdaten sowie geoelektrische Messungen geben Aufschluss über Wasseralter und Konzentrationsverteilung unter der Insel. Die bisherigen Ergebnisse sprechen eher dafür, dass es sich beim Okavango-Delta um eine Süswasseranomalie in einem generell salinen

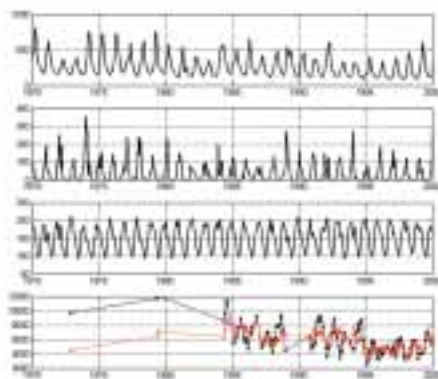


Abb. 2: Abfluss in Mohembo (m^3/s), Niederschlag ($mm/Monat$), potenzielle Evapotranspiration ($mm/Monat$) und geflutete Fläche (km^2). In rot sind die entsprechenden Modellierungsergebnisse dargestellt.



Umfeld handelt. Das tiefe salzhaltige Wasser wäre demzufolge das «Hintergrundwasser», das vom zuströmenden Süswasser des Okavango teilweise verdrängt wird. Die oberflächlichen Salzanomalien unter den Inseln sind lokale Phänomene, die durch den geringen Flurabstand des Grundwassers und demzufolge hohe Evapotranspirationsraten zustande kommen. Dichtegetriebene Phänomene unter den Inseln können zwar lokal vorhanden sein, sind aber nicht die Hauptursache der erhöhten Salzkonzentration in der Tiefe.

Nur die Tatsache, dass etwa ein Drittel des Wassers nicht direkt verdunstet, sondern zunächst in die umliegenden Sande infiltriert, schützt das Oberflächenwasser selbst vor Versalzung. Mit einem einfachen Boxmodell kann überprüft werden, dass die

Salzkonzentration im Oberflächenwasser umgekehrt proportional ist zum Anteil am Zustrom, der infiltriert. Die hohe Infiltrationsrate wiederum beruht auf dem komplexen Muster von Inseln und Halbinseln, der immensen Länge der Küstenlinie. Jeder Eingriff (Begradigungen, Ausbau usw.) der die Küstenlinie verkürzt, wird zwangsläufig auch das chemische Gleichgewicht des Deltas beeinträchtigen.

Schlüsselrolle des Hochpreis-Tourismus

Am Beispiel des Okavango-Deltas kann ein Konflikt zwischen Mensch und Natur nachvollzogen werden, wie er sich in Europa im letzten und vorletzten Jahrhundert vielfach zugetragen hat: Steigende Bedürfnisse der



wie Waschen, Duschen, Nahrungsmittelzubereitung (Grundbedarf) befriedigt werden.

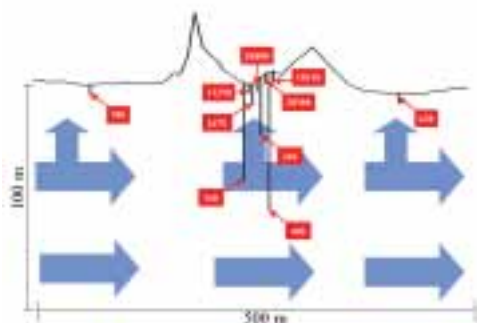


Abb. 3: Querschnitt durch Thata Island (Oberfläche überhöht). Die Zahlen sind elektrische Leitfähigkeiten des Grundwassers ($\mu\text{S}/\text{cm}$), die blauen Pfeile geben die Fließrichtung des Grundwassers an.

lokalen Bevölkerung treffen auf die Bedürfnisse des Ökosystems. Bei uns in Europa wurden diese Konflikte meist ausschliesslich zugunsten der kurzfristigen Bedürfnisse des Menschen entschieden. Wo in Europa findet man heute noch grössere Feuchtgebiete, geschweige denn ein Feuchtgebiet von der Grösse der Schweiz wie das Okavango-Delta? Wenn die Feuchtgebiete der Entwicklungsländer nicht dasselbe Schicksal ereilen soll, muss aufgezeigt werden, wie die Bedürfnisse von Mensch und Natur vereinbart werden können. Eine Schlüsselrolle kommt dabei dem Tourismus und dem Umweltbewusstsein in den Industrieländern zu: Nur die Tatsache, dass es heute Menschen gibt, die bereit sind, für Erlebnisse der Okavango-Art, oder auch nur für das Wissen um seine unbeeinträchtigte Existenz, viel Geld zu bezahlen, lässt für die

Zukunft des Okavango-Ökosystems Hoffnung aufkeimen. In dieser Hinsicht unterscheidet sich die heutige Situation etwa in Botswana von der im Europa des 19. Jahrhunderts. Allerdings müssen zwei Dinge sichergestellt sein: Der Tourismus darf nicht zerstören, was er sucht, und das erwirtschaftete Einkommen muss direkt der betroffenen Bevölkerung (Anliegern und Oberliegern) zufließen. Insbesondere der zweite Punkt ist im Falle des Okavango-Deltas problematisch. Dennoch ist es bisher gelungen, dieses spektakuläre Ökosystem weitgehend ungestört zu erhalten, und – wer einmal dort war, der wird uns beipflichten – seine Erhaltung für die Zukunft rechtfertigt alle wissenschaftlichen und politischen Anstrengungen.

Forschungsinformationen

In dem Projekt kooperieren die folgenden Institutionen:

Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, ETH Höggerberg
www.ihw.ethz.ch

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Höggerberg
www.igp.ethz.ch

Department of Water Affairs, Government of Botswana

www.gsf.de/UNEP/botdwa.html

Okavango Research Center, University of Botswana

www.ub.bw/departments/centres/hoorc.html

Weitere Informationen bei:

Peter Bauer

Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft

ETH Höggerberg

bauer@ihw.baug.ethz.ch

Peter Bauer

wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, ETH Zürich

WAHRNEHMUNG UND DIFFERENZIERUNG

DIETMAR GREBNER UND JOACHIM GURTZ

Im Wasserschloss Schweiz ist Wassermangel kein Thema. Im Gegenteil: «Hochwasser» und «Starkniederschlag» sind zwei Begriffe der Hydrologie, die in die öffentliche Aufmerksamkeit gerückt sind und dort mit einer plausiblen Vorstellung von Ursache und Wirkung wahrgenommen werden. Was für den Laien plausibel scheint, stellt die Wissenschaft aber vor Probleme. Schon die scheinbar einfache Frage «Wann ist ein Hochwasser ein Hochwasser?» ist nicht einfach zu beantworten.

Seit den jüngsten Jahrzehnten sind Starkniederschläge und Hochwasser keine nur fachintern beachteten Ereignisse mehr. In der Schweiz begann der Wandel von der disziplinären Ereignisbeschreibung zur hydrometeorologischen Analyse mit den Unwettern von 1977 (Schächental) und 1978 (Thur und Tessin). Seit 1987 werden die Grossereignisse unter der Leitung des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG, früher BWW und LHG) interdisziplinär untersucht (Jahr 1987: ganze Schweiz; September/Oktober 1993: Tessin und Wallis; Mai/Juni 1999: nordalpine Schweiz; Oktober 2000: Tessin und Wallis). Gleichzeitig sind solche Ereignisse aus jeweils aktuellen Gründen, vor allem aber auch im Zuge der Klimadiskussion zu öffentlichen Themen und Interviewanlässen in den Medien geworden. Solche Dialoge kulminieren stets in der ungeduldrigen Frage, warum nach weltweit so vielen Unwettern das gerade aktuelle Ereignis nicht endlich klar als Folge der Klimaänderung entlarvt werden könne. Die Antworten der Befragten fallen individuell aus. Die dahinter stehende Erkenntnis ist jedoch sicher: Hochwasser ist eben nicht gleich Hochwasser und Ursache nicht gleich Ursache.

Hochwasser als Mengenvorstellung

Was ist ein Hochwasser? Die Definition lautet einfach: Hochwasser ist ein vorübergehend erhöhter Wasserdurchfluss oder Wasserstand (DIN 4049). Darunter fallen also alle Wasserstands- und Abflussspitzen von klein bis gross mit grossflächigen Überschwemmungen an einem Fluss oder an einer Küste. Da die Forschung in diesem Zu-

sammenhang überwiegend durch Sicherheits- und Dimensionierungsfragen angetrieben wird, konzentriert sie sich meist auf stärkere Fälle. Was unter dieser Einschränkung der allgemeinen Definition als Hochwasser gilt, wird durch Regeln entschieden. Sie unterliegen den Anforderungen der Analysemethoden und der Analyseziele. Mit den verschiedenen Regeln werden zwangsläufig zum Teil unterschiedliche Ereignisse als Hochwasser identifiziert. Der Absolutwert des jeweiligen Wasserstandes oder Abflusses hängt ausserdem noch vom betrachteten Zeitintervall ab. Ein Ereignis, das mit seinem kurzzeitig erreichten Maximalwert, dem Hochwasserscheitel, regelgerecht als Hochwasser gelten mag, kann mit seinem höchsten Mittel über 24 Stunden oder 1 Tag aus der Auswahl fallen.

Eine der Auswahlregeln identifiziert zum Beispiel die pro Jahr höchsten Wasserstands- oder Abflusswerte eines betrachteten Zeitintervalls in einer n-jährigen Messreihe als Hochwasser. Eine etwas andere Auswahl ergeben die n höchsten Fälle aus derselben n-jährigen Messreihe. Interessanterweise erscheinen aber Überflutungen durch Flüsse als schwerwiegendste Form dortiger Hochwasser in diesen Auswahllisten von den Überflutungsstellen flussabwärts meist nicht, da ihre Abflüsse abgeflacht und nur näherungsweise rekonstruierbar sind. Wieder eine andere Auswahl von Hochwassern ergibt sich anhand von vorgebbaren Schwellenwerten, die zur Berücksichtigung eines Ereignisses erreicht oder überschritten werden müssen. Schwellenwerte lassen sich nach operationellen Gesichtspunkten festlegen. In diese Hochwasseridentifikation können

auch Überflutungsereignisse aufgenommen werden, da das Überschreiten einer bestimmten Schwelle ausreichend genau abschätzbar ist.

Aus den Stichproben lassen sich statistisch Beurteilungsinstrumente herleiten, die zum Beispiel für technische Entscheidungen oder zur Einschätzung neu auftretender Ereignisse dienen. Ein Mass ist die Schätzung der Wiederkehrperiode eines Abflusses oder Wasserstandes, d. h. die Schätzung des Seltenheitsgrades. Der direkte Bezug eines Hochwassers auf Schwellenwerte, zum Beispiel des Wasserstands (Pegels) des Rheins in Köln auf die Höhe der Schutzwände, gibt eine Bewertung für den Risikograd eines Ereignisses.

Die Eigenschaften der mit einer Regel ausgewählten Hochwasser gelten primär nur für das jeweils betrachtete Fluss- oder Bacheinzugsgebiet oder für einen Küstenabschnitt. Es bleibt also die Schlussfolgerung: Das Hochwasser per se gibt es nicht, sondern nur Rangordnungen von Ereignissen. Sogar die bei Gelegenheit gern zitierte Sintflut bedeutet nach dem germanischen Ursprung des Wortes einfach nur «grosse» Flut und ist erdgeschichtlich wohl ebenfalls nur eines in einer Reihe von Ereignissen.

Wahrnehmung und Vielfalt

Wie viel kommt von dieser wissenschaftlichen Kategorisierung des Phänomens Hochwasser nun bei der Öffentlichkeit an? Oder grundsätzlicher, wie nimmt die Bevölkerung Hochwasser wahr? Wahrnehmung bedeutet Kenntnisnahme und Differenzie-



Durchschnittlich fallen in der Schweiz jährlich 1500 mm Niederschläge (1500 l/m² bzw. 60 km³); davon werden gesamthaft etwa 3 km³ oder 5% genutzt.



Abb. 1: Geröllablagerung in Brig durch die Saltina nach dem Unwetter vom 22.–24. September 1993. (Bild: Renato Jordan)

rung. Unmittelbare Kenntnissnahme ergibt sich aus eigener Betroffenheit. Meist wird die Kenntnis aber über die Medien vermittelt. Die Differenzierung nach dem Prozess – Ursache und Dimension – kommt in der Regel zu kurz. Als Ursache wird intuitiv extremer Niederschlag zugeordnet, und die Dimension wird am Schaden festgemacht. In diesen Verknüpfungen divergieren jedoch der reale Prozess und seine bürgerliche Vorstellung weitgehend.

Ein erstes generelles Fragezeichen liegt in der Konsequenz des Informationsangebotes durch die Medien sowie in der Aufmerksamkeit beim Konsum. Die Meldungen werden durch die räumliche Distanz zu einem Ereignisort und täglich durch den Sensationswert gegenüber den laufenden Alltags- und Politgeschichten gefiltert. Ein weiteres Fragezeichen erwächst aus der globalen Informationsvernetzung. Sie ermöglicht die Sammlung von Ereignissen weltweit und lässt völlig unterschiedliche Zusammenhänge nebeneinander erscheinen. In Wirklichkeit setzt sich der Mechanismus Hochwasser aus zahlreichen Komponenten und deren räumlichen und zeitlichen Eigenschaften zusammen. Er hängt grundsätzlich vom Klima einer Region sowie von den Eigenschaften eines Gebietes ab und entscheidet das räumliche Ausmass. So sind Hochwasser durch Schauerniederschlag mit solchen durch Dauerniederschlag nicht miteinander vergleichbar. Gleiches gilt für Dauerniederschlag z. B. in unseren Breiten und Dauerniederschlag in Monsunregionen

oder aufgrund von Hurricanes. Ausserdem können im Einzelfall Kombinationen von unterschiedlichen Zuständen der Komponenten zu gleichen Hochwassern führen.

Ein Beispiel für Wahrnehmung und Wirklichkeit bietet das Hochwasser von Brig im September 1993. Die enormen Geschiebeablagerungen in Brig sind sicher noch vielfach in Erinnerung (vgl. Abbildung 1), die Umgebungsschäden im Raum Brig/Saas Almagell/Simplon vermutlich kaum. Dabei charakterisieren gerade die Umgebungsschäden das natürliche Ereignis. Die Überflutung des Ortes dagegen entstand durch Rückstau an einem unterdimensionierten Brückendurchlass im Ort, war also technischer Art.

Rückstau als Ursache für Hochwasser und Überflutungen kann auch auf natürliche Weise entstehen, z. B. durch Erdbewegungen in einen Flusslauf oder an Einmündungen eines Flusses in seinen Hochwasserführenden Hauptfluss oder ins Meer bei bestimmten Wetter- und Gezeitenbedingungen. Hauptgrund für Überflutungen sind jedoch hohe Wasserstände oder Wasserführungen mit Brüchen oder Übersteigen von Dämmen. In Fliessgewässern spielt dabei die Komponente Regen oft, aber nicht immer, eine entscheidende Rolle und ist somit kein konsequentes Mass, wie die weiteren Beispiele zeigen.

Unter geeigneten Klimabedingungen können auch durch die Komponente Temperatur Hochwasser und Überflutungen eintreten. Im Winter 2000/2001 liessen die anomal tiefen Temperaturen in Ostsibirien eine übernormale Eisdecke in der Lena entstehen. Das Eis baute sich deshalb bis zur Schneeschmelze nicht genügend ab. Eis und Eisgang verursachten auch bereits in der Oder viele Hochwasser. Ein regelrechtes Bilderbuch der abflussbildenden Komponenten bot sich beim Hochwasser in der nordalpinen Schweiz ab 10. Mai 1999. Das betroffene Gebiet reichte vom Neuenburgersee bis zum Alpenrhein und vom Alpenrand bis zum Bodensee und Hochrhein (Bild 2). Die aktuelle Diskussion seinerzeit und damit die Wahrnehmung kreiste um den Rückschluss «Jahrhunderthochwasser» also «Jahrhundertregen». Tatsächlich waren die Gebietsniederschläge bis zu den ersten Hochwasserspitzen (ca. 12. Mai) eher mässig, d. h. unter 30 Jahren Wiederkehrperiode, am Alpenrand, z. B. im Raum Briener- und Thunersee, sogar unter 10 Jahren. Massgebend war vielmehr ein über Monate vorausgehender Aufbau eines Hochwasserpotenzials: eine übernormale Schneedecke im Lawinenwinter 1998/99 bis Februar, hohe Bodenfeuchte durch abtauende sporadische Schneedecken und Regen im Alpenvorland bei gleichzeitig geringer Verdunstung bis April und ein sehr feuchter April. Ab Mai folgte durch steigende Temperaturen eine starke Schmelzwasserbelastung der Flüsse aus den Alpen, die sich letztlich für die Ausuferungen von Briener- und Thunersee als massgebend erwiesen. In diese Situation fiel das erste von zwei starken, aber nicht extremen Regenereignissen ab 10. Mai. In den an den Alpenrand anschliessenden Gebieten addierten sich die Vorfeuchte der Böden, die Wasserführung der Flüsse aus den Alpen und schliesslich der Niederschlag vom 10. bis 15. Mai. Der Endzustand dieses Ereignisses lieferte seinerseits weitgehend die Anfangsbedingungen für eine zweite Regenphase vom 19. bis 22. Mai. Durch den erwähnt gleichzeitigen günstigen Beitrag der wichtigen Abflussbildungskomponenten erreichte der Bodensee fast den Rekordstand seit Beginn der Messungen.

Dieses Beispiel bringt zwei weitere Komponenten ins Spiel: die Regendauer und die Bodenversiegelung. Die Regendauern von üblichen Wetterentwicklungen in unseren Breiten reichen bis knapp 3 Tage. Sie bilden eine Hochwassergefahr für kleine bis mittlere Einzugsgebiete. Die Versiegelung hat eine eher lokale Auswirkung. Meteorolo-

gisch andere Eigenschaften besitzen längere Ereignisse bis ca. 10 Tage oder bei einem anderen Typ bis über 30 Tage. Sie sind Ursache für Hochwasser in grossen Einzugsgebieten wie Mississippi 1993, Rhein 1993 und 1995, Oder 1997, Wallis/Tessin/Po 2000, Elbe 2002 usw. Mit zunehmender Regendauer und ausreichender Intensität verliert die plausible Vorstellung der Versiegelung als Komponente an Bedeutung. Der Boden versiegelt sich vielmehr durch Sättigung zunehmend und vor allem gebietsumfassend selbst.

Eine letzte Hochwasserkategorie unter dem Aspekt Wahrnehmung und Typgliederung sind saisonale Erscheinungen. Abgesehen vom Beispiel der Lena wurden bisher zufällig auftretende Ereignisse erwähnt. Auch der periodische Abflussanstieg durch Schnee- oder Gletscherschmelze und durch ausgeprägte Regenzeiten fällt unter den Begriff Hochwasser. Schmelzhochwasser sind in flachen Gebieten, z. B. vom Raum Wolga ostwärts, spektakulär steil, in Gebirgen hingegen durch das vertikale Abschmelzen über Monate verteilt. Hochwasser von Regenzeiten gabeln sich durch Niederschläge von wenigen hundert Millimetern in semiariden Gebieten bis rund 11 000 mm in 7 Monaten durch den Sommermonsun in Cherrapunji, im unteren Einzugsgebiet des Brahmaputra, oder sie setzen sich durch Tagesmengen bis über 700 mm in der Hurricane-Saison zusammen wie in Südwest-China. Für positive Abweichungen von diesen saisonalen Hochwassern gilt wiederum

der Begriff Hochwasser. Die Wahrnehmung von beiden Zuständen vermischt sich bisweilen, abhängig von der Anzahl von Obdachlosen und Todesopfern. Darin spiegelt sich jedoch weniger die Grösse eines Hochwassers wider als vielmehr der Bevölkerungsdruck und seine zeitliche Änderung.

Klimaschuld oder nicht?

Als abschliessendes Fragezeichen sei der bereits erwähnte Rückschluss von Hochwassern auf die Klimaveränderung als «Verursacher» betrachtet. Am einen Ende einer solchen Überlegung steht die globale Zählung von Ereignissen, am anderen Ende die individuelle Kausalität. Je nach Zählkriterien lässt sich eine Parallelität der Häufigkeiten zur Klimaveränderung feststellen. Regional verlieren sich aber einheitliche Signale bereits. So besteht die Zunahme der Hochwasserhäufigkeit in Westeuropa, gemäss den beschriebenen Auswahlregeln, in Osteuropa nicht. Aber abgesehen davon bieten Zählungen keinen Ansatz, um zu erkennen, ob ein individuelles Ereignis durch geändertes Klima überhaupt oder besonders stark aufgetreten ist. Das Ausmass im Einzelfall ist kein zwingender Hinweis auf eine Klimaveränderung als Ursache. Die Bedeutung der Kombination der Prozesskomponenten besagt einfach: je näher ihr Zusammenwirken dem Optimum kommt, desto grösser und seltener ist das Ereignis. Was der Natur diesbezüglich möglich ist, muss spätestens bei Grenzwertabschätzungen

zur Kenntnis genommen werden, wie die Chroniken in Mitteleuropa vom Jahr 1342 ahnen lassen. Allerdings gilt auch, wenn sich die Klimaveränderung als Ursache im Einzelfall nicht nachweisen lässt, so lässt sie sich genauso wenig ausschliessen.

Forschungsinformationen

Die Forschungsgruppe Klima und Wasserkreislauf am Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich legt den Fokus der Forschung auf Klimaereignisse auf dem europäischen Kontinent und in den Alpenregionen. Klimaveränderungen, Niederschlagsentwicklungen und Abflussvorhersagen in komplexem Terrain sind ein Schwerpunkt.

Weitere Informationen zu Forschungsprojekten:

<http://www.iac.ethz.ch/en/groups/schaer/index.html>

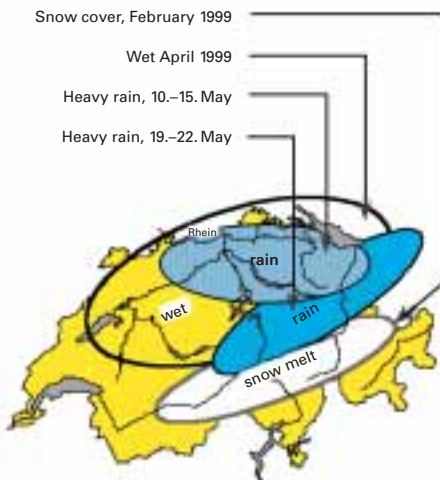


Abb. 2: Schema der zeitlichen Folge und räumlichen Verteilung der Abflussbeiträge in der Hochwasserperiode Mai und Juni 1999. Grosse Ellipse: Hochwassergebiet.

Dr. Dietmar Grebner

Projektleiter extreme Niederschlag-Abfluss-Prozesse am Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich

PD Dr. Joachim Gurtz

Projektleiter Abflussmodellierung am Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich

Die Folge der Hochwasserereignisse, die in den letzten Jahren mehrere Gebiete mit zunehmender Häufigkeit getroffen hat, macht deutlich, wie wichtig Kenntnisse über Prognosen von Hochwasserereignissen geworden sind und wie entscheidend der Aufbruch zu effizienteren Hochwasserschutzstrategien ist. Infolge intensiver Landnutzung, vor allem in Überschwemmungsgebieten, erfordert die Bewältigung von Hochwasserereignissen die Entwicklung von Prognosen sowie Vorbeugungs- und Schutzmassnahmen, die lokale Vorkehrungen überschreiten und in eine breitere Wasserwirtschaftspolitik eingebettet sind.

Diesbezüglich hat die Wissenschaft in den letzten zwanzig Jahren erhebliche Fortschritte gemacht. Kenntnisse über physikalische Abläufe und deren Modellierung wurden weiterentwickelt. Die im Bereich von grossen Skalen vermehrt verfügbaren Daten aus Fernerkundung und verbesserten Computertechnologien haben zur Weiterentwicklung der Modelle geführt und somit Möglichkeiten für Prognose und Vorbeugung gegenüber Hochwassergefahren geschaffen. Die zunehmend intensive Nutzung der Einzugsgebiete und die damit verbundenen, durch Menschen verursachten

Veränderungen erfordern jedoch weitere Anstrengungen von allen am Hochwassergeschehen beteiligten Akteuren. Wissenschaftliche Fortschritte, die natürlich notwendig und möglich sind, reichen allein nicht aus. Sowohl Wasserbehörden, Firmen und Forschungsinstitute als auch Einzelpersonen sind aufgefordert, enger zusammenzuarbeiten und somit auch grenzüberschreitende Kooperationen anzustreben, um Hochwassergefahren zu reduzieren.

Die Prognose von Hochwassergefahren ist seit langem eine wichtige Aufgabe sowohl für physikalisch als auch technisch orientierte Wissenschaften. Die Zuverlässigkeit der Prognosen ist leider durch den Mangel an umfangreichen Daten mit Feinauflösung in Raum und Zeit beschränkt, was die Unsicherheit der Analyse vor allem bei kurzfristig und stossartig auftretenden Abflüssen von klein- und mesoskaligen Einzugsgebieten erhöht. Neue Techniken, die solche Ungewissheiten überwinden und damit eine robuste Analyse von Häufigkeit und Grösse von Hochwasserereignissen liefern können, gehören deshalb zu den aktuellen Forschungszielen. Darüber hinaus repräsentieren diese Techniken das Bedürfnis, die Einrichtung von Hochwasserschutzsys-

temen zu verbessern. Diese beruhen auf der Einschätzung eines Dimensionierungshochwassers, das die Intensität der Gefahr (Abflussspitze, Abflussvolumen und Dauer) während einer bestimmten Wiederkehrperiode definiert, und liefern die Basis für eine wirkungsvolle Minderung der Gefahrenbelastung. Die Einschätzung von Hochwasserabflüssen und den damit verbundenen Wiederkehrperioden ist oft als eine spezifische Fachaufgabe betrachtet worden, losgelöst von anderen hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Modellierungsaufgaben. Die zunehmenden Kenntnisse über die Komplexität der physikalischen Abläufe, die zu Hochwasser führen, und der wichtige Einfluss durch die Bevölkerung der Einzugsgebiete deuten an, dass Hochwasserforschung ihren traditionellen Rahmen überwinden und neue Richtungen einschlagen muss. Diese Richtungen ergeben sich im Wesentlichen aus zwei wichtigen Tatsachen, welche die Ursachen von einigen der anscheinend unerwarteten Hochwasser sein könnten, die weite Gebiete auf der Welt getroffen haben: dem anthropogenen Einfluss auf die Einzugsgebiete und dem Klimawandel.



Landnutzung, Siedlungsdruck in Hochwassergebieten und Einflüsse des Klimawandels verändern das Hochwasserrisiko.

Siedlungsdruck und Klimawandel

Wachsende Verstädterung, verbreitete landwirtschaftliche Landnutzung, zunehmende Ansiedlungen in Hochwassergebieten und die dadurch bedingte Abnahme von Rückhalteräumen sowie die Vernachlässigung der Gebirgsregionen führen zu problematischen Veränderungen der Einzugsgebiete. Bestimmte Veränderungen, die sich über Jahre hinweg vollziehen, bewirken Instationaritäten, die von Modellen, welche für die Hochwasserdimensionierung eingesetzt werden, kaum in Betracht gezogen werden können und somit Auswirkungen auf die Dimensionierung der Schutzmassnahmen haben. Je höher die Dynamik solcher Änderungen ist, desto weniger eignen sich die traditionellen Dimensionierungsmethoden. Die scheinbare Zunahme von katastrophalen Hochwasserereignissen mag teilweise durch eine gezielte Analyse dieser Ereignisse mit speziellem Blick auf die Einzugsgebietsveränderungen erklärt werden. Insofern besteht das Bedürfnis, Methoden der Hochwasserabschätzung mit Ansätzen für die Landnutzungsplanung zu verbinden. Gleichfalls muss die Auswirkung des Klimawandels berücksichtigt werden, wenn es

darum geht, Strategien über das Vorgehen bei künftigen Hochwasserereignissen auszuarbeiten. Die Annahmen eines stabilen Klimas, das keine Tendenzen aufzeigt und seit Anfang der Hochwasserforschung die Basis für die Hochwasserschätzmethoden darstellt, ist nun im Rahmen der zunehmenden Zeichen klimatischer Veränderungen fraglich geworden. Das Konzept der Dimensionierungshochwasser mit einem bestimmten Wiederkehrintervall, das hauptsächlich für die Planung von Vorbeugungs- und Schutzmassnahmen eingesetzt wird, muss überdacht und in ein dynamisches Konzept überführt werden, das explizit gewissen Planungshorizonten Rechnung trägt. Dies kann erreicht werden durch die Entwicklung von Hochwasserschätzmethoden, die auf breit angelegte Simulierungstechniken abgestützt sind, welche weiterentwickelte Methoden aus mehreren Disziplinen (z. B. Klimatologie, Meteorologie und Hydrologie) kombinieren und somit die Einschränkungen überwinden, die für monodisziplinäre Ansätze charakteristisch sind.

Hochwasserschutz und Verminderung des Hochwasserrisikos

Auch wenn die Hochwassersimulationsmodelle durch den Einbezug des Klimawandels und der Einzugsgebietsveränderungen verbessert werden können, bestimmen der steigende Wert der Infrastruktur und der gefährdeten Siedlungen sowie die Bemühungen, die Anzahl von allfälligen menschlichen Opfern zu minimieren, weiterhin das Bedürfnis nach umfassenderen Strategien bei der Suche nach Lösungen zur Minderung der Hochwasserrisiken. Erhöhtes Umweltbewusstsein und die hohen Kosten, die mit baulichen Hochwasserschutzmassnahmen verbunden sind, regen dazu an, das Hochwasserrisiko in einem erweiterten gesamtwasserwirtschaftlichen Rahmen zu behandeln. Insofern ist es denkbar, baulichen Hochwasserschutz mit Vorhersagesystemen und der Bewirtschaftung von Überschwemmungsgebieten zu vereinigen. Man könnte dann zum Beispiel bestimmte Flussgebiete für natürliche Überschwemmungen bereithalten.



Bild: Stadt Passau, wo der Durchfluss der Donau und des Inns zu einem Wasserstand führte, der in den vergangenen 100 Jahren nur einmal überschritten worden war.

Das Hochwasser in Mittel-/Osteuropa im August 2002

In der ersten Hälfte im August 2002 führte eine sehr komplexe meteorologische Lage mit aufeinanderfolgenden Tiefdruckgebieten zu ausgedehnten und anhaltenden Regenfällen in Süd- und Ostdeutschland sowie in Österreich und Ungarn und im Süden der tschechischen Republik. Die grossen Flüsse dieser Regionen wiesen sehr hohe Abflüsse und Wasserstände auf, vergleichbar mit den grössten Ereignissen, die je beurkundet worden waren. Die Elbe und die Donau überfluteten ausgedehnte Gebiete, darunter viele Siedlungsgebiete mit historischen und künstlerischen Merkmalen, z. B. den Zwinger in Dresden oder das Staatstheater in Prag. Die zunehmende Dichte von Siedlungen mit hohen Sachwerten in tief liegenden Gegenden der Überschwemmungsgebiete hat ausser Opfern enorme Schäden im Betrag von über 20 Milliarden Euro verursacht.

abhängt. Da die ersten Beispiele der modernen Warnsysteme aus den 80er-Jahren stammen, bieten die neuesten wissenschaftlichen Errungenschaften auf dem Gebiet der aktuellen Wetterprognosen und der hydrologischen Modellierung für diese Alternative einen breiteren Anwendungsbereich.

Die zweite Richtung besteht darin, einen dynamischeren Ansatz in der Planung von Landbenutzung anzustreben, die es ermöglicht, den Flüssen die nahe gelegenen Flussgebiete zurückzugeben, welche zum Nachteil von natürlichen Überschwemmungen und Rückhalteräumen anthropogen gemacht worden sind. Die Freigabe dieser Gebiete für die natürliche Flussaushenung wird die erhöhte Fließgeschwindigkeit der Ströme ausgleichen (die durch Kanalisierung schiffbar gemacht worden sind), wodurch die Zeit der Abflusskonzentration verzögert und die Wasserstandsspitzen gedämpft werden. Während es offensichtlich sein sollte, dass die Planung neuer Siedlungen kurzfristige Landnutzung (vor allem in Überschwemmungsgebieten) vermeiden muss, wird noch nicht erkannt, dass Umsiedlungen als kombinierter Versuch, das Schadenspotential von Siedlungen zu reduzieren und mehr Platz für die Flussaushenung zu gewinnen, grösseren Nutzen bringen können als Investitionen in riesige Schutzsysteme. Dies gilt vor allem bei langfristigen Planungshorizonten. Es ist denkbar, dass das Umsiedlungsszenario attraktiver wird, wenn die Frequenz und die Intensität der Ereignisse infolge des Klimawandels ansteigen. Da die Kombination von baulichen Schutzmassnahmen, Warnsystemen und Landnutzungsplanung das Hochwasserrisiko nicht beseitigen kann, muss der restliche Teil mit zusätzlichen administrativen Massnahmen bewältigt werden; dabei könnte eine obligatorische Versicherung die wirksamste und praktikabelste Lösung sein.

Die zunehmende Rolle von planerischen Massnahmen durch eine fortschreitende Einbettung des Hochwasserschutzes in den allgemeinen Rahmen der Wasserwirtschaft reduziert die Bedeutung von Hochwasserschutzbauten zugunsten eines Ansatzes, der nicht von baulichen Massnahmen geprägt ist. So kann man das Überschwemmungsgebiet der Flussdynamik überlassen und die ökologische Rolle von Hochwassern ausnutzen, die sich aus der Reaktivierung der Verbindung zwischen Feuchtgebieten in den Überschwemmungsbereichen und

Die Umsetzung moderner Strategien in der Hochwasserbewältigung, die im internationalen Jahr des Wassers einen ausgezeichneten Ausgangspunkt für einen weltweiten Wechsel des Denkmusters finden könnte, verlangt weitere wichtige Veränderungen innerhalb der Gesellschaft und bei den Wasserbehörden. Auf der einen Seite sollte die Gesellschaft ihre Einstellung von Risikoscheu zu Risikobewusstsein ändern. Da eine Systemkonfiguration mit Nullrisiko infolge technischer und wirtschaftlicher Einschränkungen nicht zu erreichen ist, werden Gemeinschaften, die in gefährdeten Gebieten wohnen, aufgefordert, eine aktive Teilnahme an der Verminderung der Hochwassergefahren zu leisten. Obwohl diese Zielvorstellung komplex ist, wäre dennoch die Risikoakzeptanz als das Hauptproblem anerkannt. Auf der anderen Seite sollte eine Ausarbeitung neuer Strategien durch die verantwortlichen Behörden des Hochwasserrisikomanagements Vorbeugung, Schutz und Umgang mit dem Restrisiko zusammenbringen. Darüber hinaus sollen diese Strategien am Einzugsgebiet und am Flussnetz entlang koordiniert werden und regionale und nationale Grenzen überschreiten.

Abschied von veralteten Konzepten

Während der bauliche Schutz (z. B. durch Deiche und Dammsysteme) ein wichtiger Teil des Hochwasserschutzes in dichtbesiedelten Gebieten bleibt, verkommt die Überzeugung, dass die Natur eingeschränkt und die Folgen der Hochwassergefahren unter Kontrolle gebracht werden können, zu einem veralteten Konzept. Abwehr durch Bauten kann natürlich Probleme lokal lösen, z. B. an einem bestimmten Ort flussaufwärts in einer entlegenen Gegend; sie kann aber gleichzeitig Probleme in den flussabwärts gelegenen Bereichen verursachen, vor allem bei grossen Flusssystemen. Dies hat sich öfters gezeigt bei den Hochwasserereignissen der letzten Jahre, die wichtige europäische Flüsse betroffen haben (siehe Kästen). Daher sollten zwei alternative Richtungen eingeschlagen werden. Die erste Richtung besteht darin, Menschen und transportierbare Güter bei einer drohenden Hochwassergefahr umzusiedeln, wenn es nicht möglich (oder im weiteren Sinne nicht machbar ist), sie lokal zu schützen. Dies erfordert systematisches Einsetzen von Warnsystemen, deren Wirkung stark von der Leistungsfähigkeit der mathematischen Hochwasserprognosemodelle



Das Hochwasser im Oktober 2000 in der Schweiz

Das Hochwasserereignis, das im Oktober 2000 das Wallis heimsuchte, war vergleichbar mit dem Ereignis von 1993. Niederschlagssummen bis 500 mm fielen innerhalb von wenigen Tagen, was Hochwasserereignisse verursachte, die zu Überschwemmungen in der Rhoneebene führten und zahlreiche Erdrutsche auslösten. In Gondo starben 12 Personen. Dank Massnahmen, die nach dem Ereignis von 1993 (Überschwemmung von Brig) ergriffen worden waren, wurde die Wucht des Hochwassers 2000 gedämpft. Die Summe des unmittelbaren Schadens wurde auf 470 Millionen Schweizer Franken geschätzt. Die Dammbürche und die ungenügende Transportkapazität des Flusses, welche der Hauptgrund für die Hochwasserkatastrophe vom Oktober 2000 waren, stellen Aufgaben für die dritte Rhonekorrektur.

Weitere Informationen:

«Hochwasser 2000», Bericht des BWG, Serie Wasser, Nr. 2, Bern 2002

Teyssie, Jean-Claude: Die dritte Rhonekorrektur, in: Wasser, Energie, Luft, Jg. 89, 1997, Nr. 5/6, S. 97–100.

dem Hauptstrom ergibt. Solche Verbindungen, die durch regelmässige Hochwasser und kontinuierlichen unterirdischen Wassertausch entstehen, leisten einen Beitrag zum Reichtum des aquatischen und pflanzlichen Ökosystems.

Internationale Zusammenarbeit für eine gemeinsame Strategie

Die Wirksamkeit neu entwickelter Strategien hängt jedoch von der Möglichkeit ab, eine räumliche Kontinuität der Aktivitäten innerhalb des Einzugsgebiets sicherzustellen. Die Kontinuität flussaufwärts und flussabwärts erfordert eine engere Zusammenarbeit zwischen Ländern, die Teilhaber an grossen Einzugsgebieten sind. Mit anderen Worten muss sich der Gedanke vom Einzugsgebiet als geografische Bezugseinheit gegen nationale Grenzen durchsetzen und die Festlegung der Massnahmen bestimmen, welche die Auswirkung des Hochwas-

sers minimieren sollen. Ansätze, die das Einzugsgebiet einheitlich betrachten und die Einschränkungen durch administrative, regionale und nationale Grenzen überwinden, sollen bevorzugt werden. Wissenschaftler und Techniker vermögen in der Regel bestimmte Gebiete innerhalb des Einzugsgebiets und entlang des Flussnetzes zu erkennen, die durch unterschiedliche Reaktionen in Bezug auf Hochwasser und durch unterschiedliche Bedürfnisse bezüglich der Bewältigung von Hochwassergefahren charakterisiert sind. Diese Einsicht fehlt jedoch häufig den Politikern und den Behörden, die oft nur kurzfristige Strategien unterstützen anstatt eine langfristige, auf Risikoabwägung gestützte Planung zu fördern. Dies deutet darauf hin, dass ein grenzüberschreitender Ansatz für den Hochwasserschutz nicht nur in Bezug auf den Beitrag von verschiedenen wissenschaftlichen Fachgebieten zur Entwicklung von Prognosemodellen angestrebt werden muss, sondern sehr wohl auch auf der Förderung ei-

ner starken internationalen Zusammenarbeit unter den zuständigen Behörden beruht. In diesem Sinne muss der erste Schritt durch Investitionen in eine Vereinheitlichung von Überwachungsdiensten in Europa und durch den freien Zugang zu hydro-meteorologischen Informationen für die Entwicklung von gemeinsamen Warnsystemen gemacht werden. Die deutliche Zunahme der Ereignisse in den letzten Jahren hat bereits konkrete Pilotanstösse gefördert, grössere Anstrengungen sind jedoch weiterhin notwendig. Der zweite Schritt ist die Aushandlung von internationalen Vereinbarungen, welche die Basis für ein gleichmässig verteiltes Hochwasserrisiko hinsichtlich der morphologischen, geografischen, technischen und administrativen Einschränkungen bildet. Obwohl Beispiele einer solchen Zusammenarbeit in Europa (z. B. beim Rhein) vorhanden sind, fehlt es an einem systematischen Ansatz bei mehreren wichtigen internationalen Flüssen. Nun zwingt die Umsetzung der EU-Wasser-Rahmenrichtlinien, das Fluss-Einzugsgebiet als geografische Bezugseinheit für die Wasserwirtschaft festzulegen. Dies kann ein Ausgangspunkt für entsprechende internationale Vereinbarungen sein. Das internationale Jahr des Süsswassers bietet eine ausgezeichnete Gelegenheit, ein breites Publikum auf dieses Problem aufmerksam zu machen.

Forschungsinformationen

Prof. Dr. Paolo Burlando, E-Mail:

burlando@ihw.baug.ethz.ch,

Tel. 633 3812/13

www.baum.ethz.ch/ihw/hydrologie/index.html

www.cenat.ch

www.planat.ch

Prof. Dr. Paolo Burlando

ordentlicher Professor für Hydrologie und Wasserwirtschaft am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich

GEBIRGSWASSER IM KLIMAWANDEL

PAOLO BURLANDO

Das Jahr 2002 wurde als das internationale Jahr der Berge gefeiert. 2003 ist zum internationalen Jahr des Süsswassers erklärt worden und stellt eine ideale Fortsetzung des Jahres der Berge dar. Die Berge sind in der Tat die Hauptquelle des Süsswassers, von dem die Existenz und der Wohlstand vieler Regionen des Unterlandes abhängig sind. Ein Klimawandel könnte eine Gefahr für diesen wertvollen Reichtum darstellen.

Einige der neuesten Schätzungen deuten darauf hin, dass 80% des Süsswasserabflusses in den Flüssen des Unterlandes in Gebirgseinzugsgebieten entspringen. Aufgrund vieler Ungewissheiten – beispielsweise des Fehlens ausreichender Überwachungssysteme – ist eine genaue Abschätzung schwierig. Es ist jedoch klar, dass viele Länder ihr Wasserangebot Flüssen verdanken, die weit entfernt in den Bergen entspringen. Grobe Abschätzungen zeigen, dass rund 50% der Weltbevölkerung – von Asien bis Afrika, über Europa und Amerika – sich auf das Wasser verlässt, das von den Bergen bis zum Meer fliesst. Ausserdem fällt bei etwa 200 Flüssen, die für rund 40% der Weltbevölkerung lebenswichtig sind, der Flusslauf in die Gebietshöhe von zwei oder mehreren Ländern, was eine potenzielle Quelle für wasserbezogene Konflikte ist.

Wasser aus den Bergen – Leben für das Unterland

Gebirgswasser stellt eine lokale Ressource dar und ist unter anderem die Süsswasserquelle für menschliches Leben, Landwirtschaft, Wasserkraft und Erhaltung der biologischen Vielfalt. Gleichzeitig bildet es auch die Grundlage für die Wirtschaft des Unterlandes, indem es dort das Abflussregime der Flüsse erheblich beeinflusst. Beispielsweise stammen ungefähr 90% des Abflusses des Indus aus den hohen Bergen von Hindukush, Karakorum und Westhimalaya. Sie versorgen eines der grössten Wasserwirtschafts- und Bewässerungssysteme

der Welt, von dem der Lebensunterhalt von hundert Millionen Personen abhängt. In ähnlicher Weise sind die südamerikanischen Länder am Pazifischen Ozean vom Schmelzwasser der Gletscher in den Anden abhängig, das die langen trockenen Jahreszeiten ausgleicht und die flussabwärts gelegenen ariden Tiefebene mit Wasser speist.

Diese Ressourcen scheinen nun von einem sichtbaren Klimawandel bedroht zu sein, der das vorhandene Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage irreversibel verändern könnte. Insofern wächst das Bedürfnis, nachhaltige wasserwirtschaftliche Strategien zu entwickeln, die den Ausgleich zwischen Wassernutzung und -erhaltung schaffen. Solche Strategien können nur auf der Basis umfassender Kenntnisse über die Dynamik der Gebirgseinzugsgebiete erarbeitet werden. Dies trifft ganz besonders für jene Gebiete zu, die von ganzjährigen Schneedecken und vergletscherten Flächen beherrscht werden und dadurch natürlicherweise eine ausgeprägte Sensitivität gegenüber Klimaänderungen zeigen.

Gebirgswasser: Ressource und Risiko

Eine Veränderung der Klimaregime, hervorgerufen durch die Zunahme des Treibhauseffektes, wie er von vielen Studien vorausgesagt wird, kann die Flusssysteme, die den Gebirgsregionen entspringen, ernsthaft beeinträchtigen. Eine steigende Anzahl von Anzeichen für Gletscherrückzug, Permafrost-

reduktion und Schneefallabnahme ist in vielen Gebirgsregionen beobachtet worden; sie geben Hinweise, dass Klimaänderungen (seien diese durch die Natur oder den Menschen hervorgerufen) ernsthaft den Wasserreichtum gefährden und die Erdrutschgefahr und flussabwärts das Überschwemmungsrisiko erhöhen können. Entsprechende Nachweise können zum Beispiel erbracht werden durch die Erhebungen der UNEP¹ zu den Auswirkungen der globalen Erwärmung in Gebirgsregionen. Jüngste Forschungskampagnen im Himalaya deuten darauf hin, «dass die globale Erwärmung sich zu einer, wenn nicht der grössten, Bedrohung der Gebirgsregionen entwickelt. Die Spuren des Klimawandels waren alle rundherum feststellbar, von riesigen Narben, die durch abrupt auftretende Gletscherhochwasser in Landschaften geschlagen wurden bis zu den Seen, die aufgrund von schmelzenden Gletschern angeschwollen waren ... ganz rasche und markante Veränderungen (vollzogen sich) über die letzten 20 Jahre in den Eisfeldern und ... diese Veränderungen schienen sich zu beschleunigen.»²

Die Änderungen, die in den höher gelegenen Gebirgseinzugsgebieten erwartet werden, werden das Schmelzwasserregime beeinträchtigen und folglich auch die Stromproduktion durch Wasserkraft sowie die Bewässerungssysteme und die an das Wasser gebundenen Ökosysteme. Ebenso werden

¹ United Nations Environment Program
² UNEP News Release 2002/46, available at <http://www.unep.org/Documents/Default.asp?DocumentID=253&ArticleID=3080>



Rund 50% der Weltbevölkerung verlässt sich auf Wasser, dessen Ursprung in Bergregionen liegt.



Es gibt Anzeichen, dass Klimaänderungen ernsthaft den Wasserreichtum gefährden und die Erdbeben- und Überschwemmungsgefahr erhöhen.

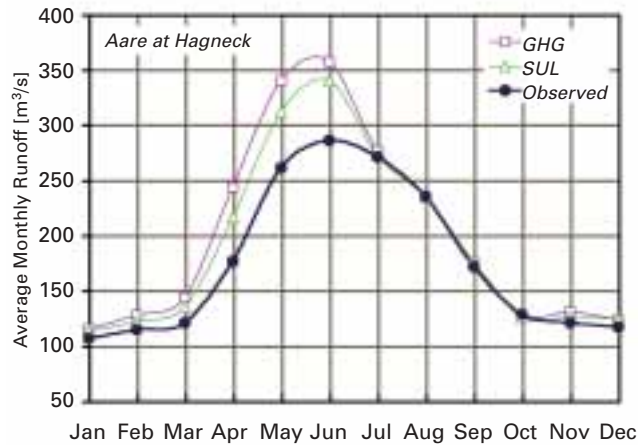


Abb. 1: Beispiel einer simulierten Verschiebung in der Saisonalität des Abflusses der Aare, verursacht durch den Klimawandel. Die Auswirkung der erhöhten Konzentration der Treibhausgase (GHG) und der GHG plus Sulfat-Aerosole (SUL) führt zu einem höheren durchschnittlichen winterlichen Abfluss, der von dem steigenden Anteil des flüssigen Niederschlags im Zusammenhang mit der vorweggenommenen Schneeschmelze im Frühling resultiert (Burlando et al., 1999).

sich voraussichtlich auch die Naturgefahren verstärken. Eine veränderte Saisonalität der Abflüsse, verbunden mit einer stärkeren Gletscher- und Schneeschmelze, kann ein höheres Hochwasserrisiko verursachen, und zwar sowohl in den höher gelegenen Einzugsgebieten als auch flussabwärts in den Überschwemmungsgebieten des Unterlandes. Zudem werden der Rückzug der Gletscher und das Ansteigen der mittleren Temperatur möglicherweise die Permafrostgebiete der Erwärmung aussetzen und Gletscherschutt zur Erosion bringen. Das wiederum führt zu einem grösseren Risiko infolge erhöhter Hanginstabilitäten. Dies kann sowohl ganze Bevölkerungsteile im Gebirge als auch Verkehrsverbindungen bedrohen.

In humiden Regionen liefern die Berge bis zu 60% des Süsswassers, das im Unterland gebraucht wird; in semi-ariden und ariden Gegenden steigt dieser Anteil bis auf 95%. Deshalb ist es offensichtlich, dass die gesellschaftlich-wirtschaftlichen Strukturen der an den Unterläufen der Flüsse lebenden Bevölkerung auch betroffen werden, was möglicherweise die ohnehin schon konfliktgeladene Situation in unterentwickelten Ländern wie in Zentralasien und Südamerika noch verschärft. Diese Probleme können auch in einigen europäischen Ländern auftreten, allerdings etwas weniger ausgeprägt. Dementsprechend wird die Aufmerksamkeit mehr auf die Bewahrung des aquatischen Ökosystems, das die zunehmende Besiedlung überlebt hat, und auf die Dämpfung der wachsenden Hochwasser- und Erdbebenrisiken gerichtet, ob-

wohl einige schneegepiesene Flüsse in Europa ebenfalls ernsthafte Verschiebungen im jahreszeitlichen Verlauf ihrer Abflüsse erfahren könnten.

Der schleichenden Erschöpfung der Ressourcen und dem Anstieg der mit Wasser zusammenhängenden Naturgefahren muss darum mit einer wachsamem Strategie begegnet werden. Nebst Aktionen, die direkt auf die Verringerung der Klimaänderungen abzielen, können auch wirkungsvolle Verbesserungen des Wassermanagements erzielt werden. Dazu ist eine sorgfältige Analyse der gegenwärtigen zeitlichen und räumlichen Verteilung der Ressourcen in den gefährdeten Einzugsgebieten im Hinblick auf die Auswirkungen durch einen möglichen Klimawandel notwendig. Beispielsweise lässt sich dies erreichen, indem untersucht wird, wie Klimaänderungen das mittel- und langfristige Verhalten von Regionen der Erde, die von Schnee und ewigem Eis dominiert werden, beeinflussen können und wie sich solche Veränderungen stromabwärts in die tiefer liegenden Gegenden übertragen, wo der Wasserverbrauch für Energieproduktion, Bewässerung, Ernährung und das tägliche Leben am grössten ist.

Eine Aufgabe für Natur-, Ingenieur- und für Sozialwissenschaften

Die Antizipation des Klimawandels und dessen Einfluss auf das Wasser der Gebirge verlangt die Verfügbarkeit zuverlässiger Prognosemodelle, die es erlauben, Entwicklungen wie Gletscheränderungen, Ausmass des Schnees, Schneeschmelze und Veränderungen der Wasserressourcen, welche von den klimatischen Verhältnissen abhängig sind, vorherzusagen. Trotz der gegenwärtigen Fortschritte beim Verständnis der physikalischen Mechanismen der zugrunde liegenden Prozesse ist die Modellierung des gesamtheitlichen Verhaltens von gebirgigen Einzugsgebieten in einigen Fällen (besser gesagt in den meisten Fällen) schwierig – vor allem, weil ein adäquates Monitoring fehlt, aber auch weil die Prozesse sehr komplex sind. Dass hydrologische Modelle genügend leistungsfähig sind, um konsistente Szenarien zur Entwicklung geeigneter Managementstrategien bezüglich der Wasserressourcen bereitzustellen, ist vor allem zweifelhaft in denjenigen Gebieten, in denen der Bedarf an Prognosen am grössten ist. Aufgrund der immer besseren Verfügbarkeit von Fernerkundungsdaten besteht zwar eine bessere Ausgangslage für Modelleingaben und deren Verifizierung. Doch ist das Verständnis der Sensitivität von Gebirgsregionen auf den Klimawandel, der sowohl von den Gletschern als auch von der perennierenden und saisonalen Schneebedeckung dominiert wird, noch von grossen Unsicherheiten begleitet. Der Schwerpunkt der Forschung liegt demzufolge darin, genau diese ungelösten wis-

senschaftlichen Fragen zu lösen, die die Basis für die Entwicklung zuverlässiger Prognoseinstrumente sind. Es geht somit um die Bildung einer soliden wissenschaftlichen Basis für die Fragestellungen der nachhaltigen Entwicklung. Eines der notwendigen Hauptaugenmerke liegt dabei auf dem Verständnis der räumlichen und zeitlichen Langzeitveränderungen der verfügbaren Ressource, angefangen bei den durch Jahreszeiten und Schnee dominierten Oberläufen bis hin zu den oftmals ariden Unterläufen.

In dieser Hinsicht sind Veränderungen, die durch die Dynamik des menschlichen Verhaltens als Konsequenz des Einflusses des Klimawandels auf die Wasserressourcen ausgelöst werden, eine weitaus komplexere Sache. Bevölkerungswachstum ist vielleicht die offensichtlichste Bedrohung für eine ausreichende Wasserversorgung. Sie geht jedoch einher mit einem Wechsel der Normen und neu entstehenden Aktivitäten, die zu einem stärkeren Wettbewerb der Wassernutzung zwischen Landwirtschaft, Industrie, Freizeit und häuslichen Aktivitäten führen. Nur angepasste Lösungen zum Management der Wassernutzung werden deswegen dazu beitragen können, eine effiziente und gerechte Nutzung zu erreichen. Wasserknappheit kann durch Missmanagement verstärkt werden, das soziale und ökonomische Disparitäten anwachsen lässt und ein potentieller Grund ist für todbringende internationale Konflikte. Die in den Gebirgen lebenden Bevölkerungen haben eine lange Tradition des Managements dieser kostbaren Ressource. Deshalb können sie eine wichtige Quelle sein, um Erkenntnisse über das Dilemma der Verwaltung eines öffentlichen Gutes zu gewinnen, das keine Grenzen kennt und deshalb umgeleitet und gehandelt werden kann. Allgemein zeigen Ressourcen, die in dieser Weise durch natürliche Prozesse gesteuert werden, einen untrennbaren Zusammenhang mit politischen und ökonomischen Interessen und Kräften.

Als Antwort auf ihre einzigartige physische Umgebung haben die in Gebirgen lebenden Gesellschaften weltweit eine breite Vielfalt an institutionellen Einrichtungen geschaffen. Diese sind bestrebt, Vorzüge zu maximieren und gleichzeitig Gefahren zu reduzieren, die besonders im saisonalen hydrologischen Muster und der damit verbundenen saisonalen Speicherung des Wassers liegen. Sowohl Gebirgsbevölkerungen als auch Gemeinschaften der Tiefländer, die auf das Wasser der Gebirge angewiesen



Abb. 2: Feldarbeit auf dem Gletscher in Arolla, Wallis, Schweiz, die im Rahmen des Forschungsprojekts der Professur Hydrologie und Wasserwirtschaft, ETH Zürich durchgeführt wird. Obwohl die experimentelle Forschungsarbeit und das Monitoring der Gletschergebiete sehr wichtig sind, um die Prognosemodelle zu verbessern, muss man berücksichtigen, dass sie äusserst anspruchsvoll sind. Aufgrund der operativen und klimatischen Bedingungen trifft dies insbesondere in den entlegenen Gebieten des Himalaya und der Anden zu. Ref.: www.arolla.ethz.ch

sind, haben ihre Aktivitäten (z. B. in der Landwirtschaft) in einem sozialen Gefüge organisiert, das auf den Speichereffekten von Schnee und Gletschern basiert. In den Gebirgsregionen haben sich daher relativ ausgedehnte und leistungsstarke Bewässerungssysteme entwickelt, insbesondere in den Alpen (in den Regionen Wallis und Graubünden/Schweiz) aber auch im Himalaya, den Anden und anderen Hauptgebirgszügen. Nicht nur der Aufbau, sondern auch die Erhaltung und die Etablierung der Nutzungsregeln für die Bewässerungssysteme sind mit komplexer sozialer Organisation verbunden. Die Saisonalität ist jedoch nicht nur wichtig für die Gebirgsregionen an sich, sondern auch für die Landwirtschaft und die Wasserkraft (d. h. Stromgewinnung) im Gebiet des Unterlaufes. Ein klassisches Beispiel ist die ägyptische Kultur, welche abhängig von den saisonalen Überschwemmungen des Nils war – Überschwemmungen, welche ihren Ursprung im Wasser des äthiopischen Hochplateaus hatten.

Der Klimawechsel ist dabei, diese Muster grundlegend zu ändern. Dementsprechend werden auch die Wasserressourcen in den Gebirgen beeinflusst, und der Wassergebrauch, sowohl in höheren als auch in tieferen Regionen, wird dadurch beeinträchtigt werden. Obgleich man argumentieren kann, dass die Menschen sich dem Wechsel anpassen werden und ihre sozialen Verknüpfungen so arrangieren, dass sie Vorteile aus dem veränderten Wasserkreislauf ziehen, ist es nicht zu ignorieren, dass diese Ände-

rungen wahrscheinlich die Bevölkerungen in den ärmsten Regionen der Welt betreffen werden. Die moderne Wissenschaft bietet Methoden an, um solche Entwicklungen zu untersuchen und vorherzusagen. Die verantwortlichen Wissenschaftler und Institutionen sollten daher die Gelegenheit nicht verpassen, ihr Wissen zu hinterfragen und den Bedürfnissen der gefährdeten Lebensgemeinschaften zu dienen.

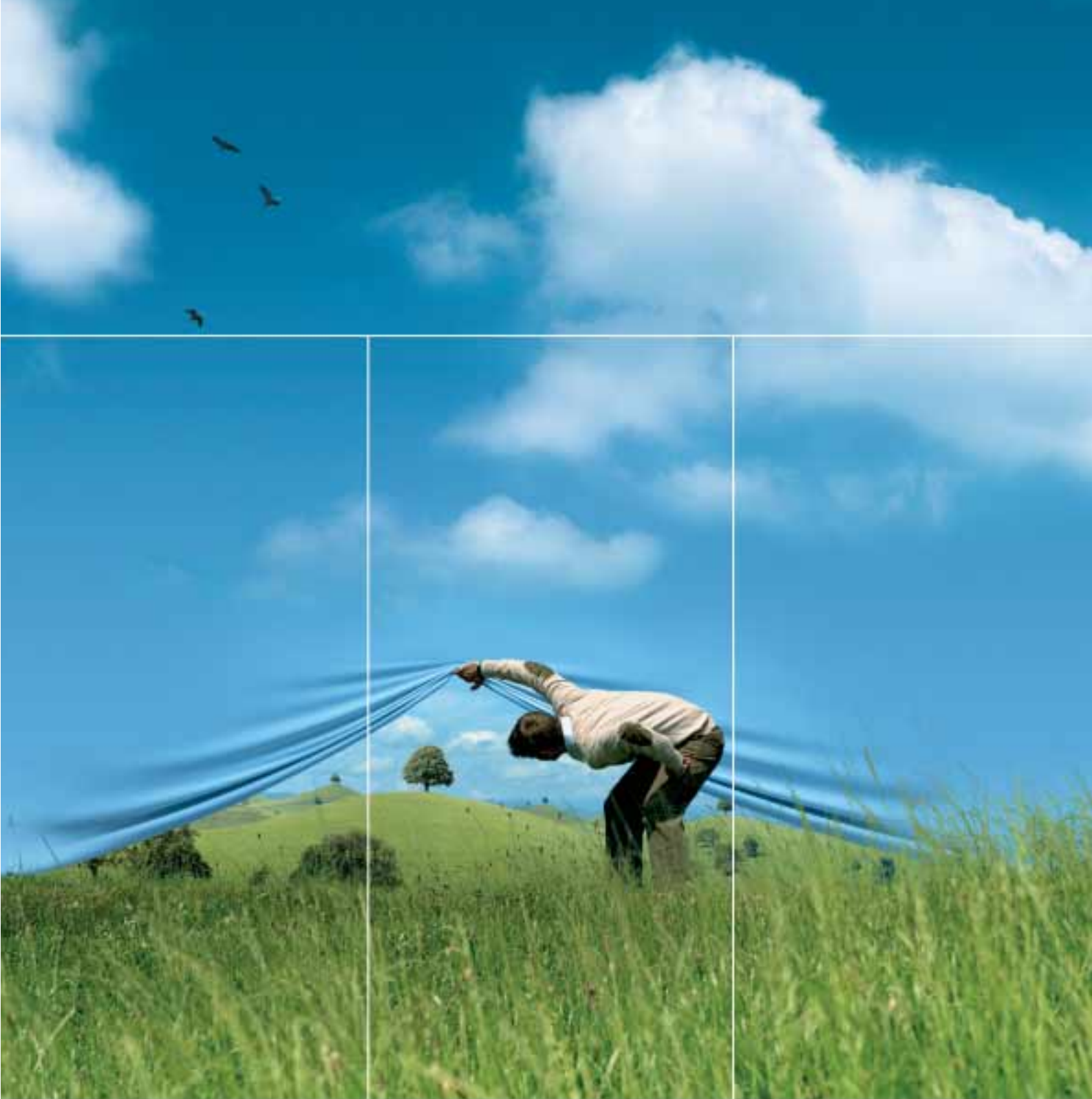
Forschungsinformationen

Prof. Dr. Paolo Burlando, E-Mail: burlando@ihw.baug.ethz.ch,
Tel. 633 3812/13
www.arolla.ethz.ch

Ref.: BURLANDO, P., E.M. FRASCHINI, and A. KÜHNE, (1999) Impact of climate change on river runoff in mountainous areas, in: RIBAMOD – River basin modelling, management and flood mitigation. Concerted action, EUR 18287, ed. by P. Balabanis et al., pp. 251–268.

Prof. Dr. Paolo Burlando

ordentlicher Professor für Hydrologie und Wasserwirtschaft am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich



www.swissre.com

Do you believe that nothing is impossible until it's been tried? And that conventional wisdom should be challenged before it is accepted? Then you might be right for the IGP, Swiss Re's International Graduate Programme. For us, it's not just what you've studied that's decisive, but how you approach things. Because, as a global leader in the management of capital and risk, we look for graduates who also have multicultural experience, initiative and commitment. So if challenge brings out the best in you, why not launch your career with Swiss Re in our two-year, hands-on IGP?

Swiss Re



WENN WASSER DIE ERDE INS RUTSCHEN BRINGT

SARAH SPRINGMAN UND LUKAS ARENSON

Wasser als Auslöser von Massenbewegungen in Böden ist in der Schweiz ein ernst zu nehmendes Problem. Erdbeben zerstören Häuser, Bahndämme und Strassen und verursachen Schäden in Millionenhöhe. ETH-Forscher untersuchen die Mechanismen, die zu Erdbeben führen.



Abb. 1: Schäden in der Gemeinde Rüdlingen nach dem Hochwasser vom 12. auf den 13. Mai 2002: Kilchenweg (links) und Hinterdorf (rechts) (Bilder: M. Sperl).

In vielen Fällen spielt Wasser als Auslöser von Massenbewegungen in Böden eine entscheidende Rolle. Dabei gibt es ein paar unterschiedliche Mechanismen, welche als Auslöser in Frage kommen. Beispiele dafür sind plötzliche und intensive oder lang andauernde Niederschläge, das Schmelzen von Eis oder aber unterirdische Strömungen in Zonen mit einer erhöhten Durchlässigkeit, wie sie in zerklüftetem Fels oder grobkörnigen Böden vorkommen. Einige Situationen, in welchen Wasser als Auslöser für Böschungsinstabilitäten verantwortlich war, sollen im vorliegenden Beitrag vorgestellt und erläutert werden. Doch bevor wir mit den Beispielen beginnen, muss eine leider immer wieder auftretende falsche Vorstellung geklärt werden. Das Versagen des

Bodens ist nicht die Folge einer Schmierung der Bodenkörner durch das Wasser. Dieser Artikel möchte mit Hilfe von Beispielen einen kleinen Überblick über die in der Natur wirklich auftretenden Mechanismen wiedergeben.

Aktuelle Ereignisse

Der klimatische Einfluss, insbesondere auch dessen Veränderungen mit den Jahren, darf bei der Betrachtung von Böschungsinstabilitäten nicht unbeachtet bleiben. Es gibt unzählige Beispiele, bei denen ein Erdbeben nach intensiven Niederschlägen ausgelöst wurde und grosse Schäden angerichtet hat. Aktuell kam es in der Nacht vom

12. auf den 13. Mai 2002 in den Gemeinden Rüdlingen und Buchberg, Kanton Schaffhausen, zu solchen Ereignissen, nachdem innerhalb von 40 Minuten ungefähr 100 mm Regen niedergegangen waren. Insgesamt wurden danach 42 Rutschungen unterschiedlichen Ausmasses gezählt, welche einen Schaden an verschiedenen Bauwerken (Abb. 1) von mehr als einer Million Franken verursachten. Zwei charakteristische Bruchmechanismen konnten beobachtet werden: Das Wasser sättigte die bis anhin ungesättigten obersten Bodenschichten und löste dabei eine Rutschung aus. Erosionsprozesse entlang vorhandener Wasserläufe und Entwässerungssysteme führten zu zusätzlichen Rutschungen.

Ein anderes Beispiel ist die oberflächennahe Rutschung an einem mit 22° geneigten Hang, dem Hellbüchel bei Lutzenberg im Kanton Appenzell AR. In der Nacht auf Sonntag, den 1. September 2002, rutschten um 3 Uhr morgens ungefähr acht- bis zehntausend Kubikmeter Erdmaterial auf einer Gleitfläche in einer Tiefe von 2 m talwärts und verschütteten ein Haus, aus dem drei Personen nur noch tot geborgen werden konnten. Weitere sechs Häuser gerieten durch den Erdbeben in Bewegung und wurden teilweise beschädigt. Auch diesem Ereignis sind ausgiebige Regenfälle vorgegangen, doch der verheerende Bruch wurde durch Regenwasser ausgelöst, welches sich innerhalb einer gut durchlässigen Schicht in der obersten Zone des verwitterten Felsens angesammelt hatte. In dieser Schicht kam es in der Folge zu einer Erhöhung des Wasserdruckes und damit verbunden zu einer Reduktion der effektiven Spannungen zwischen den Bodenkörnern entlang dem Übergang zwischen Boden und Fels, welche für die Scherfestigkeit des Bodens verantwortlich sind (sog. Mohr-Coulomb-Bruchkriterium).

Diese Reduktion der Scherfestigkeit kann auch am Beispiel von «surging glaciers», das sind Gletscher, die nach einem kontinuierlichen Rückzug plötzlich vorrücken, um sich dann wieder zurückzuziehen, erklärt werden. Heftige Niederschläge führen dazu, dass in den Kanälen unterhalb des Gletschereises grosse Wasserdrücke entstehen. Diese können so gross werden, dass sie die Eismasse anzuheben vermögen und die Kontaktspannungen zwischen dem Eis und dem Gletscherbett reduzieren. Als Folge davon wird der Reibwiderstand bis zu einem kritischen Zustand vermindert, und der Gletscher gleitet talwärts, bis die erhöhten Wasserdrücke abgebaut sind und die Reibung zwischen dem Eis und dem Untergrund ein weiteres Vorrücken wieder verhindern kann.

Diese beiden Beispiele stehen stellvertretend für die Ereignisse, die heftige Regenfälle in der Schweiz immer wieder auslösen und zu Schäden in Millionenhöhe führen. So verursachten die Unwetter Ende November 2002 im Kanton Graubünden Schäden von rund 150 Millionen Franken. Und erst Anfang Januar musste die Strasse über den Balmberg (SO) gesperrt werden, da rund 30 000 Kubikmeter Schlamm und Geröll niedergegangen waren. Immer wieder werden Strassen oder Bahnlinien zerstört, wie

zum Beispiel im Juli 2002 im Centovalli. Glücklicherweise bilden Ereignisse wie jenes am Hellbüchel oder aber die Katastrophe von Gondo (14. 10. 2000) zurzeit noch die Ausnahme. Doch können klimatische bedingte Veränderungen der Niederschläge oder unüberlegtes Bauen diese Anzahl nur zu rasch erhöhen.

Nicht nur heftige Regenereignisse können Massenbewegungen beeinflussen, auch markante Veränderungen im jährlichen Mittel der Niederschläge können dazu führen, dass sich die Verformungen des Bodens verändern. Ein Beispiel dafür ist die in grösserer Tiefe liegende Scherzone bei St. Moritz, welche für die Schiefelage des Turms der ehemaligen St.-Mauritius-Kirche verantwortlich ist und vom Institut für Geotechnik seit beinahe 30 Jahren beobachtet wird. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Grundwasserströmung und der Kriechbewegung in der Scherzone konnte dabei festgestellt werden: bei zunehmendem Strömungsdruck bewegt sich der Hang schneller.

Erdbeben im Versuchsfeld

Am Institut für Geotechnik laufen zurzeit zwei Forschungsarbeiten, welche sich intensiv mit den Zusammenhängen zwischen Böschungstabilität und dem Einfluss des Wassers auseinandersetzen. Im ersten Projekt wird die Stabilität einer steilen Moränenböschung mit oberflächennahen Gleitflächen untersucht. Dabei werden ganz unterschiedliche Kombinationen von lang andauernden und intensiven Regenereignissen simuliert. Die Versuchsfelder wurden in zwei unterschiedlich steilen Böschungen mit einer Neigung von 31° und 42° angeordnet. Während des Versuchs werden meteorologische, hydrologische und geotechnische Daten als Funktion der Niederschlagsmenge gemessen, wie die Bodenfeuchtigkeit, die Veränderung des Sättigungsgrades mit der Tiefe sowie die Saugspannungen in den unterschiedlichen Tiefen. Zusätzlich wurde versucht, die angefallene Abflussmenge und die Verschiebung der Böschung zu messen. Die Böschungen wurden bis zu einer Woche lang mit einem künstlich erzeugten Niederschlag, der einem 500-jährigen Regenereignis entsprach, beregnet. In sämtlichen Versuchen blieb die 31°-Böschung stabil, während die 42°-Böschung in einer Tiefe von 30–50 cm abrutschte, nachdem die obersten Schich-



Abb. 2: Bohrungen auf dem Blockgletscher Muragl (Bild: L. Arenson)

ten fast vollständig gesättigt waren. Scherversuche vor Ort zeigten dann auch, dass der Reibungswinkel des untersuchten Bodens einen Wert von ca. 39° aufweist. Einfach ausgedrückt heisst dies, dass die steilere Böschung nur aufgrund der Saugspannungen des teilgesättigten Bodens stabil sein konnte. Diese Wechselwirkung erlaubt es auch, dass wir am Strand tolle Sandburgen bauen können, da die Sandkörner aufgrund der Saugspannung zusammengehalten werden. Bei einer Sättigung der Bodenmatrix von mehr als 90% muss jedoch mit einem Abbau der für die Scherfestigkeit positiv wirkenden Saugspannungen gerechnet werden.

In einem nächsten Schritt geht es darum, analoges Wissen für andere Bodenarten zu erarbeiten. Insbesondere muss eine Methode entwickelt werden, damit der Sättigungsgrad und damit die Saugspannung des Bodens in Abhängigkeit der Niederschlagsintensität, der Böschungsneigung und des Materials bestimmt werden kann. Mit dieser Information kann dann die Stabilität einer Böschung mit Hilfe vorhandener Stoffgesetze beurteilt werden. Wie immer, wenn wir versuchen, natürliche Phänomene mathematisch zu modellieren, sind Eingangsparameter erforderlich, die nie mit einer absoluten Genauigkeit bestimmt werden können. Diese Unsicherheiten, sowohl in der Geometrie als auch in den Eigenschaften des Untergrunds, müssen richtig beurteilt werden, sodass das «worst-case»-Szenario abgedeckt wird.



Der Kanton Graubünden rechnet mit 15 Millionen Franken, die ihn der Schutz von bewohnten Gebieten und Verkehrswegen vor Unwetterschäden jährlich kostet – die Millionenschäden aus aktuellen Extremereignissen nicht eingerechnet.

Gletscher und Permafrost

Ein anderes Beispiel für ein Böschungsver-sagen ist eine Hanginstabilität infolge Schmelzens von Permafrost, wie dies zum Beispiel bei den Murgängen im Jahr 1987 beobachtet werden konnte. Dabei müssen zwei verschiedene Mechanismen unterschieden werden. Der Permafrostspiegel bildet eine hydraulisch undurchlässige Schicht, sodass das Schmelz- und Regenwasser in der Auftauschicht, die oberste Schicht, welche im Sommer auftaut und im Winter wieder gefriert, abfließen kann. Wie dies bereits vorgängig für «surgende» Gletscher beschrieben wurde, kann es dadurch zu einer Instabilität der Auftauschicht kommen. Neben dem Strömungsdruck bewirkt die Zunahme der Porenwasserdrücke eine Reduktion der effektiven Spannungen und eine Zerstörung der Saugspannungen, sodass die Scherfestigkeit des Materials abnimmt. Die Auftauschicht kann je nach Lage 3–5 m mächtig sein. Auch wenn das Volumen der Auftauschicht relativ gering ist, können durch solche Prozesse, insbesondere in steilen Bergregionen, grössere Erdbeben in den darunter liegenden Gebieten ausgelöst werden. Zu grösseren Instabilitäten kann es auch kommen, wenn das Eis im Permafrost schmilzt und die zementierende, d.h. bindende Wirkung des gefrorenen Wassers verloren geht.

Die geotechnischen und geophysikalischen Untersuchungen, welche bei zwei Blockgletschern, (talwärts kriechender Permafrost), im Engadin durchgeführt wurden, ergaben, dass dieser gefrorene Untergrund sehr heterogen sein kann. Ein System von Poren kann Wasser von der Oberfläche in tiefer liegende Schichten bringen. Neben einer Reduktion der effektiven Spannungen und damit der Scherfestigkeit infolge der erhöhten Wasserdrücke kann dies auch zu einem beschleunigten Schmelzen des Eises infolge von Wärmetransport führen. Die abgeteuften Bohrungen zeigten (Abb. 2), dass unterhalb der Permafrostbasis sehr durchlässiges Material vorhanden ist, welches eine gute Drainage des an der Basis schmelzenden Eises bildet, sodass sich keine erhöhten Wasserdrücke aufbauen können. Andererseits wurden in diesen Schichten saisonale Temperaturschwankungen gemessen, die eine Verbindung zur Atmosphäre belegen und dazu führen, dass die Temperaturen im gefrorenen Boden auch von der Basis her beeinflusst werden.



Abb. 3: Der Felssturz an der Axenstrasse zerstörte die Galerie der A4 (Bild: R. Chikatamarla).

Beim Felssturz an der Axenstrasse vom 11. Februar dieses Jahres (Abb. 3) war sehr wahrscheinlich gerade der umgekehrte Prozess für das Versagen der Felspartie verantwortlich. Wasser, welches in das Kluftsystem eindringen konnte, ist aufgrund der kalten Temperaturen in der Nacht gefroren und hat sich dabei ausgedehnt. Der Fels wurde auseinandergedrückt, und die Klüfte wurden so weit verlängert, bis es zu einem Versagen gekommen ist, welches glücklicherweise keine Menschenleben kostete. Diese Art der Verwitterung ist an sich sehr typisch für den alpinen Raum, wurde aber in diesem Ausmass nicht erwartet.

Anhand einiger Beispiele wollten wir die Wichtigkeit von Wasser für die Stabilität von Hängen aufzeigen und demonstrieren, wie schnell eine stabile Situation zu einer Gefahr werden kann. Viele für diese Katastrophen verantwortliche Mechanismen sind schon seit längerem bekannt, doch fehlen uns zurzeit noch die genauen Parameter und detaillierte Angaben über deren Wechselwirkungen, um die Mechanismen modellieren und bessere Voraussagen machen zu können. Doch wenn wir uns einmal der möglichen Gefahren bewusst sind, sollten wir in der Lage sein, angemessene Vorkehrungen zu treffen und nicht im Nachhinein wild zu spekulieren.

Literatur

- Arenson, L. U. 2002. Unstable Alpine permafrost: A potentially important natural hazard – Variations of geotechnical behaviour with time and temperature. ETH Diss. No. 14801.
- Chikatamarla, R. 2003. Rockfall on Axenstrasse N4. IGT Interner Bericht.
- Müller, E. R. und Messina, G. 1992. Rutschung Sass Runzöl – Brattas, St. Moritz. Geotechnisches Gutachten, Bericht Nr. 2510-1. Büchi & Müller AG, Chur (unveröffentlicht).
- Springman, S. M., Jommi, C. und Teysseire, P. 2003. Instabilities on moraine slopes induced by loss of suction: a case history. *Géotechnique* 53, N° 1, 3–10.
- Sterba, I. Lang, H.-J. und Amann, P. 2000. The Brattas landslide in St. Moritz. Proceedings of the International Conference on Geotechnical & Geological Engineering, Melbourne, Australia.
- Teyssere, P. und Springman, S. M. 2001. Geotechnische Risiken bei der Beurteilung von Naturgefahren. Mitteilung der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik Nr. 143, 55–64.

Prof. Dr. Sarah Springman

ordentliche Professorin für Geotechnik am Institut für Geotechnik der ETH Zürich

Lukas Arenson

wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geotechnik der ETH Zürich

EIN ALLTÄGLICHES GUT

URS VON GUNTEN

Trinkwasser in guter Qualität ist in der Schweiz eine Selbstverständlichkeit. Dass Leitungswasser ohne Bedenken getrunken und sogar genossen werden kann, ist schon in Nachbarländern nicht immer garantiert. Ein Blick auf ein alltägliches Wunder und wie es zustande kommt.

Die Schweiz ist das Wasserschloss Europas. Obwohl sie nur 0,4% der europäischen Fläche ausmacht, lagern hier 6% der europäischen Süßwasserreserven.

Die Schweiz als Wasserschloss Europas verfügt über grössere Mengen an Wasser, die in natürlichen Reservoiren gespeichert sind (ca. 270 km³). Diese natürlichen Reservoire (Seen, Grundwasservorkommen, Gletscher) werden durch etwa ein Drittel der rund 60 km³ Niederschläge/Jahr stetig erneuert und garantieren eine kontinuierliche Versorgung der Schweiz mit gutem Trinkwasser. Der Verbrauch von Trinkwasser durch Haushalte, Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft beläuft sich in der Schweiz auf ca. 1 km³/Jahr, was ungefähr einem Drittel des Volumens des Zürichsees entspricht. Dieser grobe Vergleich der umgesetzten Wassermengen zeigt deutlich auf, dass in der Schweiz nur ein kleiner Anteil der verfügbaren Wassermenge (1 von 20 km³) als Trink- und Brauchwasser genutzt wird. In der kleinräumigen Struktur der etwa 3000 Wasserversorgungen in der Schweiz kann es lokal und zeitlich begrenzt vor allem bei kleineren Quellen trotzdem zu einer Verknappung von Trinkwasser kommen, falls über längere Zeit trockene Witterung vorherrscht.

In der Schweiz werden etwa 80% des Trinkwassers aus Grund- und Quellwasser und ca. 20% aus Seewasser gewonnen. Obwohl mengenmässig weniger bedeutend, kann Seewasser in grösseren Agglomerationen eine wichtige Rolle als Wasserressource spielen. So wird in Zürich 70% des Trinkwasserbedarfs mit Seewasser gedeckt.

Gemäss den obigen Zahlen über die Wasserbilanzen spielt die Frage der Verfügbarkeit von Trinkwasser in der Schweiz eine nur untergeordnete Rolle. Hingegen wird die Qualität des Trinkwassers in verschiedenen Bereichen durch natürliche und anthropogene Prozesse beeinflusst. Diese sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Natürliche Wasserinhaltsstoffe

Die Konzentrationen der wichtigsten Wasserinhaltsstoffe in Wasserressourcen werden durch biogeochemische Prozesse reguliert. Der mikrobielle Abbau von biogenen Substanzen im Boden und im Wasser führt zum Teil zu löslichem natürlichem organischem Material (NOM), welches auf verschiedenen Ebenen wichtig ist für die Wasserqualität. Einerseits führt ein erhöhter Gehalt an NOM zu biologisch instabilem Wasser, d.h. unerwünschtem Bakterienwachstum in verschiedenen Bereichen der Wasserversorgung. Andererseits erzeugt das NOM bei Aufbereitungsprozessen eine Reihe von Nebeneffekten (Verminderung der Effizienz der Oxidation und Desinfek-

tion, organische Oxidationsnebenprodukte, Fouling von Membranen, usw.). In den Wasserressourcen wird beim mikrobiellen Abbau von natürlichem organischem Material (NOM) mit Sauerstoff Kohlensäure gebildet. Diese löst Mineralien, insbesondere Kalk und Dolomit, auf, was zu einer sogenannten Aufhärtung und Mineralisation des Trinkwassers führt und dessen pH-Wert bestimmt. Die Härte des Wassers ist beim Kochen und Waschen von Bedeutung und trägt wesentlich zur Verkalkung von Hausinstallationen bei, ist aber aus toxikologischer Sicht unbedenklich.

Neben diesen primären Wasserinhaltsstoffen mit relativ hohen Konzentrationen können durch biogeochemische Prozesse auch eine Reihe von unerwünschten Spurenstoffen freigesetzt werden. Die aus der Sicht der Wasserversorgung wichtigsten Stoffe sind in den Oberflächengewässern bakterienbürtige Geschmacks- und Geruchsstoffe und Cyanotoxine. In reduzierten Grundwässern sind es gelöstes Eisen, Mangan und lokal begrenzt Arsen. Geschmacks- und Geruchsstoffe sind für Wasserversorgungen besonders kritisch, da diese Stoffe von KonsumentInnen wahrgenommen werden können. Einige Substanzen (z. B. Geosmin, Methylisoborneol) sind in sehr tiefen Konzentrationen von nur 10 ng/l wahrnehmbar. Eine relativ kleine Menge von nur 30 kg, verteilt im ganzen Zürichsee, würde also für eine geschmacklich/geruchliche Beeinträchtigung des Trinkwassers bereits ausreichen.

Gesetzgebung Kriterium	Gewässerschutz Ökosystem		Lebensmittelgesetz Humantoxikologie	
Natürliche Prozesse	Mineralisation Gehalt an NOM Geschmack/ Geruch	Adsorption Sedimentation chem., biolog. Transformation		Korrosion Aufkeimung
	Wasserressourcen	Selbstreinigung	Aufbereitung	Speicherung Verteilung Haushalt
Anthropogene Beeinflussung	Industrie/ Gewebe, Land- wirtschaft Siedlungen, Verkehr		Hilfsstoffe Oxidations-/ Desinfektions- nebenprodukte	Oxidations-/ Desinfektions- nebenprodukte

Abb. 1: Die wichtigsten Bereiche der Wasserversorgung und mögliche Beeinträchtigungen durch natürliche und anthropogene Prozesse. Ein System von mehreren Barrieren (Gewässerschutz, Selbstreinigung, Aufbereitung) garantiert eine gute Qualität des Trinkwassers. Die Gesetzgebung umfasst das Gewässerschutzgesetz (Wasserressourcen) und das Lebensmittelgesetz (ab Fassung des Wassers). NOM: natürliches organisches Material.

Probleme in Grundwässern treten meist im Zusammenhang mit einer vollständigen Zehrung des Sauerstoffs durch mikrobielle Prozesse auf. Diese Situation bildet in Grundwässern in der Schweiz eher die Ausnahme, ist aber weltweit von grosser Bedeutung. Grosse Mengen an verfügbarem NOM können dazu führen, dass nicht nur Sauerstoff als Elektronenakzeptor vollständig aufgebraucht wird, sondern dass die Mikroorganismen auch andere Elektronenakzeptoren wie Nitrat und schliesslich feste Mangan- und Eisenoxide nutzen. Dabei werden Eisen und Mangan in ihrer leicht löslichen zweiwertigen Form ins Wasser abgegeben. Wird solches Wasser verteilt, kommt es beim Kontakt mit dem Luftsauerstoff zu Ausfällungen von Eisen- und Manganoxiden (braun-schwarz). Obwohl diese Ausfällungen nicht toxisch sind, müssen sie aus vorwiegend ästhetischen und geschmacklichen Gründen vor der Einspeisung ins Verteilnetz abgetrennt werden. In gewissen Grundwassersystemen wird mit der reduktiven Auflösung von Eisenoxiden auch das kanzerogene Arsen freigesetzt. Arsen im Trinkwasser ist in der Schweiz generell kein Problem, jedoch wird es möglicherweise weltweit zu einem der grössten chemischen Trinkwasserprobleme mit bis jetzt mehr als 100 Mio. Betroffenen. Die grösste Kontamination liegt in Bangladesch vor, wo alleine etwa 50 Mio. Menschen darunter leiden. Um dieses enorme Problem zu lösen, müssen angepasste Technologien für die Wasseraufbereitung in Entwicklungsländern bereitgestellt werden.



In der Schweiz verbrauchen wir 160–180 Liter Wasser pro Kopf und Tag, also die 3- bis 4-fache Menge des Grundbedarfs an Wasser.

Anthropogene Einflüsse

Die Quellen von anthropogenen Kontaminationen sind vielfältig und in Abbildung 1 zusammengefasst. Im Wesentlichen können drei Arten von Kontaminationen unterschieden werden:

- Nährstoffe (Phosphor, Stickstoff): Beeinflussung der biogeochemischen Prozesse in den Wasserressourcen
- Spurenverunreinigungen (Pestizide, Löse-mittel, Benzin(additive), Pharmazeutika, endokrine Substanzen usw.): chronische Toxizität
- Pathogene Keime: akute Toxizität

Nährstoffe

Der Eintrag von grösseren Mengen an Phosphat in die Gewässer führte zu einem übermässigen Algenwachstum in Schweizer Seen (Eutrophierung). Für die Gewinnung von Trinkwasser hatte das zur Folge, dass das Wasser mit einem hohen Gehalt an gelöstem und partikulärem NOM und mit grossen Geschmacks- und Geruchsproblemen belastet war. Dank den grossen Anstrengungen im Gewässerschutz (Phosphatelimination in Kläranlagen, Phosphatverbot in Textilwaschmitteln) konnte dieses Problem in der Schweiz grösstenteils behoben werden.

Der übermässige Eintrag von Stickstoff aus der Landwirtschaft führt im Grundwasser häufig zu einem erhöhten Nitratgehalt und ist aus ökologischer Sicht unerwünscht. Humantoxikologische Bedenken (Methämoglobinämie bei Säuglingen, endogene Bil-

dung von Nitrosaminen) spielen aufgrund von neueren Studien eher eine untergeordnete Rolle. Aufgrund des Vorsorgeprinzips wurde die Höchstkonzentration für Nitrat so festgelegt, dass die Konsumation über das Trinkwasser in der Regel wesentlich kleiner ist als die Nitrataufnahme über die anderen Nahrungsmittel.

Persistente organische Chemikalien

Beim Eintrag von (persistenten) organischen Chemikalien in die Gewässer wird zwischen diffusem Eintrag (z. B. Verkehr, Landwirtschaft) und Punktquellen (z. B. Ablauf von Kläranlagen, Leckagen von unterirdischen Tanks, Altlasten) unterschieden. Die wichtigsten gefundenen Verbindungsklassen sind bereits oben erwähnt. Während bei «klassischen» Chemikalien, wie etwa chlorierten Kohlenwasserstoffen, die kanzerogene Wirkung im Vordergrund stand, geht es bei neueren Chemikalien (endokrine Substanzen, Pharmazeutika) um die Fertilität und Resistenzbildungen.

Mikrobielle Verunreinigungen

Die Bereitstellung von hygienisch einwandfreiem Wasser ist weltweit das grösste Trinkwasserproblem. Jährlich sterben etwa 2,5 Mio. Menschen, zumeist Kinder, an mikrobiologisch verunreinigtem Trinkwasser. Mikrobiologische Kontaminationen gelangen vor allem über ungereinigte Abwässer und durch die Landwirtschaft (Jauche, Weiden) ins Grundwasser. Zur Beurteilung einer möglichen mikrobiellen Kontamination werden die Rohwässer auf Fäkalkeime

(aerobe mesophile Keime, *E. coli*, Enterokokken) untersucht. Diese dienen als Indikatoren für eine mögliche Anwesenheit von pathogenen Keimen.

Selbstreinigungsprozesse

Wasserinhaltsstoffe wie gelöste Stoffe und Partikel werden natürlicherweise aus Oberflächengewässern und im Grundwasser entfernt. Die Selbstreinigung kann in folgende Prozesse unterteilt werden:

Mikrobiell: Umwandlung von organischen und anorganischen Stoffen.

Chemisch: Auflösungs- und Fällungsprozesse, Sorption und Desorption, Umwandlung von organischen und anorganischen Stoffen.

Physikalisch: Verdünnung, Sedimentation, Filtration und Ausgasung.

Dank dem Schutz von Wasserressourcen kombiniert mit Selbstreinigungsprozessen kann etwa ein Drittel des Trinkwassers in der Schweiz aus Grund- und Quellwasser ohne Aufbereitung gewonnen werden.

Komplexe Wasseraufbereitung

Für rund ein Drittel des Trinkwassers in der Schweiz ist trotz Schutz der Wasserressourcen und Selbstreinigungsprozessen eine Desinfektion nötig. Diese erfolgt in der Regel chemisch (Zugabe von Chlor) oder physikalisch (Bestrahlung mit UV-Licht). Das verbleibende Drittel des Trinkwassers wird



Abb. 2: Desinfektion und Oxidation sind die wichtigsten Ziele der Anwendung von Ozon. Beide Prozesse werden von der Bildung unerwünschter Nebenprodukte begleitet.

über eine mehrstufige Aufbereitung gewonnen. Dazu stehen je nach Qualität der Wasserressourcen eine Reihe von Einheitsverfahren zur Verfügung: Flockung, Sedimentation, Filtration (Sand-Membranen), Desinfektion (chemisch [Ozon, Chlor, Chlordioxid], physikalisch [UV]), Oxidation (Ozon, Hydroxylradikale [OH-Radikale], Permanganat). Je nach Rohwasserqualität müssen diese Verfahren zu einer Verfahrenskette kombiniert werden. Seewasser in Zürich wird z. B. nach folgendem Verfahren aufbereitet: Vorozonung – Schnellfiltration – Zwischenozonung – Aktivkohlefiltration – Langsandsandfiltration. Dieses Verfahren erzeugt ein chemisch (nicht korrosiv, keine Ausfällungen von Mineralien) und biologisch (keine Aufkeimung) sehr stabiles Wasser, das ohne weiteren Zusatz von Chlor im Leitungsnetz verteilt werden kann. In vielen Wasserversorgungen wird das Wasser nach Verlassen des Wasserwerks mit et-

was Chlor oder Chlordioxid versetzt, um eine mögliche Aufkeimung bis zu den Haushaltungen zu verhindern.

Wasseraufbereitung mit Ozon

Ozon (O_3) wird als Oxidations- und Desinfektionsmittel zur Aufbereitung von Seewasser in der Schweiz seit den Siebzigerjahren eingesetzt. Ozon ist im Wasser nicht stabil und wird relativ rasch in OH-Radikale umgewandelt, welche die stärksten Oxidationsmittel im Wasser sind. Die erwünschten und unerwünschten Effekte der bei der Ozonung auftretenden Oxidationsmittel sind in Abbildung 2 zusammengefasst. Durch den Prozess der Umwandlung von Ozon in OH-Radikale geht ein grosser Teil der Oxidationskraft des eingetragenen Ozons verloren, da OH-Radikale mit fast allen Komponenten der Wassermatrix weg-

reagieren. Um Ozonungsprozesse zu charakterisieren, müssen einerseits die Kinetik der Reaktion von unerwünschten Verbindungen mit diesen beiden Oxidantien und andererseits quantitative Informationen über die Konzentration von Ozon und OH-Radikalen verfügbar sein. Während die Kinetik der Oxidation von Stoffen mit Ozon und OH-Radikalen eine spezifische Stoffkonstante ist, muss der Konzentrationsverlauf des Abbaus von Ozon und OH-Radikalen für jedes Wasser bestimmt werden. Dies erfordert in der Regel eine etwa einstündige Messung im Labor, bei der die Ozonabnahme und die Abnahme von OH-Radikalen gleichzeitig gemessen werden. Die Konzentration der OH-Radikale ist in diesen Systemen sehr klein ($< 10 \text{ pg/l}$), weshalb sie nur indirekt, über ihre Reaktion mit einem ozonresistenten Tracer, gemessen werden können. Die so gewonnene Information kann dann auf Grossanlagen übertragen werden, indem die oxidativen chemischen Prozesse mit einem hydraulischen Modell des entsprechenden realen Reaktors gekoppelt werden (siehe Abb. 3). In Zusammenarbeit mit der Wasserversorgung Zürich simulierte die EAWAG den Abbau von organischen Spurenstoffen für die Vorozonung des Seewasserwerks Lengg. Das Modell wurde anhand der im Reaktor gemessenen Abnahme von Atrazin, einem Pflanzenschutzmittel, geeicht. Atrazin kommt im Zürichseewasser nur in sehr geringen Konzentrationen von 5 ng/l vor, etwa ein Faktor 20 unterhalb des schweizerischen Toleranzwertes von 100 ng/l . Abbildung 3 zeigt die

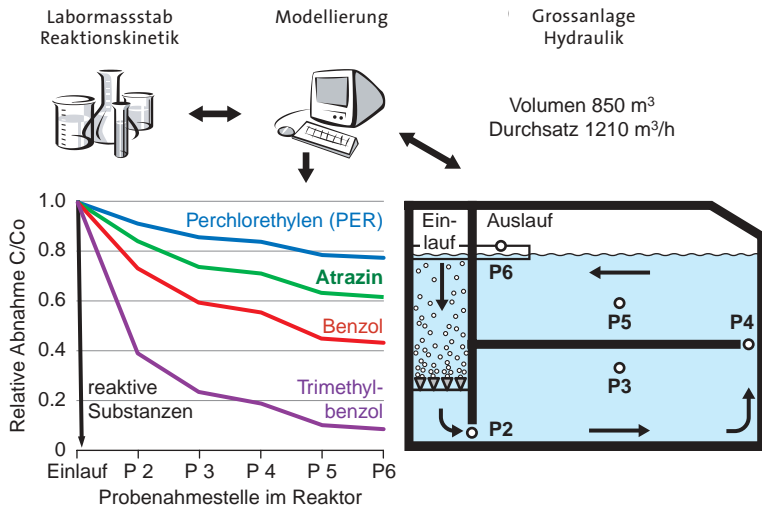


Abb. 3: Beurteilung der Abbauleistung für potenzielle organische Spurenstoffe in der Vorozonung des Seewasserwerks Lengg, Zürich 1. Messung von kinetischen Parametern im Labor, 2. Approximation der Hydraulik des Reaktors im Wasserwerk und 3. Kombination von Hydraulik mit Chemie durch Modellierung. Die Modellrechnungen zeigen, dass einige potenzielle Gefahrenstoffe bereits nach einem kurzen Kontakt mit Ozon praktisch vollständig abgebaut sind, während andere nur zum Teil oxidiert werden können. Reaktive Substanzen: Nitrit, Phenol, Microcystin, 17 α -Ethinylestradiol, Sulfamethoxazol.

relative Abnahme von verschiedenen unerwünschten Spurenstoffen für die Vorozonungsstufe des Seewasserwerks Lengg. Diese Berechnungen werden von der Wasserversorgung Zürich genutzt, um die Elimination von potenziellen Gefahrenstoffen während der Trinkwasseraufbereitung abzuschätzen. Abbildung 3 zeigt deutlich, dass gewisse Substanzen durch die Ozonung sehr effizient umgewandelt werden können, während andere nur teilweise oxidiert werden können. Für diese Spurenstoffe sind andere Eliminationsverfahren, wie z. B. Adsorption an Aktivkohle, besser geeignet. Um die Effizienz der Desinfektion abzuschätzen, können für die Inaktivierung von Mikroorganismen analoge Überlegungen angestellt werden. Hier zeigt es sich, dass Bakterien und Viren besonders gut abgetötet werden, während Protozoen und Sporen von Bakterien wesentlich resistenter sind. Insbesondere für Protozoen hat sich gezeigt, dass eine kurzzeitige Bestrahlung mit ultraviolettem Licht zu ausgezeichneten Resultaten führt.

Die erwünschten Effekte der Ozonung werden immer begleitet durch die Bildung von Nebenprodukten, welche aus der Reaktion von Ozon und OH-Radikalen mit Komponenten der Wassermatrix entstehen. Mit Ausnahme von einem Produkt handelt es sich dabei um niedermolekulare organische Verbindungen, die in einer nachgeschalteten biologischen Filtration grösstenteils mineralisiert werden. Das einzige anorganische Nebenprodukt, das Bromat, wurde als potenziell kanzerogen eingestuft, weshalb für Bromat seit 1998 in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung ein Toleranzwert von

10 mg/l festgelegt ist. Bromat wird ausgehend von Bromid über einen mehrstufigen komplizierten Oxidationsprozess mit Ozon und OH-Radikalen gebildet. In der Schweiz ist die Bromatbildung kein grosses Problem, da die Bromidgehalte in unseren Wasserressourcen mit 10–20 mg/l sehr tief sind. In Wasserressourcen mit Bromidkonzentrationen von > 50 mg/l ist bei Ozonungsprozessen mit erhöhten Bromatwerten zu rechnen. Ist Bromat einmal gebildet, kann es kaum mehr aus dem Wasser entfernt werden. Detaillierte mechanistische Kenntnisse über die Bildung von Bromat erlaubten es uns, Methoden zu dessen Verminderung während der Ozonung zu entwickeln. Durch Absenken des pH-Wertes oder Zugabe von Ammonium lässt sich die Bromatbildung je etwa halbieren. Eine kurze Vorchlorung, gefolgt von Zugabe von Ammonium, lässt die Bromatbildung sogar auf etwa 25% der ursprünglich gebildeten Menge reduzieren.

Leitungsnetz – Kapitalanlage der Wasserversorgungen

Die Wasserqualität kann auf dem Weg von der Wasserversorgung zu den KonsumentInnen nochmals durch eine Reihe von chemischen und mikrobiellen Prozessen beeinträchtigt werden. Verkeimung des Leitungsnetzes, Korrosion, Bildung von Desinfektionsnebenprodukten und Veränderung des Geschmacks und Geruchs sind nur einige der Möglichkeiten. Um diese Effekte zu vermeiden, ist es unumgänglich, dass das Wasser vor der Verteilung sowohl biologisch als

auch chemisch stabil ist. Somit kann die Dosierung von Chlor oder Chlordioxid als Netzschutz auf ein Minimum reduziert oder sogar ganz darauf verzichtet werden. Neben der Wasserqualität ab Wasserwerk spielt auch der Zustand der Rohrleitungen eine wichtige Rolle. Bei Leckagen und ungenügendem Druck in den Leitungen kann es zur Infiltration von verschmutztem Grundwasser kommen. Deshalb ist der Unterhalt von Trinkwasserleitungen sehr wichtig, aber äusserst kapitalintensiv. In der Stadt Zürich besteht ein Leitungsnetz von ca. 1100 km Hauptleitungen und über 400 km Hauszuleitungen. Im Jahr 2001 waren 626 Rohrschäden zu verzeichnen, die Kosten von rund 8 Mio. Fr. verursachten. Die Kosten für die Verteilung (Pumpwerke, Reservoirs, Transportleitungen, Verteilernetz inkl. der Hauszuleitungen) belaufen sich auf etwa 70% der gesamten Kosten der Wasserproduktion.

Weitere Informationen

www.eawag.ch/research/w+t/TW/index.html
www.eawag.ch/news/trinkwasser/
www.trinkwasser.ch
www.wvz.ch

Dr. Urs von Gunten

Leiter der Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser an der Eawag und Dozent an der ETH Zürich

Nachdiplomstudium FH Integrated Management Executive MBA

Wissensmanagement, Personalpolitik und Gesamtstrategie bilden eine untrennbare Einheit. Effizienz und Unternehmenserfolg basieren auf dem Zusammenspiel der vier Elemente: «Individuum, Gruppe, Unternehmung und Umwelt». Diese Elemente bilden das Fundament des Studienkonzeptes Integrated Management Executive MBA.

Nächste Informationsveranstaltungen:

23. Juni 2003, 18.30 Uhr in Bern

26. Juni 2003, 18.30 Uhr in Fribourg

Berner Fachhochschule

Hochschule für
Wirtschaft und Verwaltung HSW

Programm

Management Basics

Personalmanagement, Unternehmungsführung, Marketing, finanzielles und betriebliches Rechnungswesen, Unternehmung und Recht, Unternehmung und Volkswirtschaft.

Change Manager

Self-Management, Gruppenmanagement, Unternehmungskulturen und Managementkonzepte, strategisches Management.

Change Management

Unternehmung im Wandel der Märkte und der Technologie, rechtliches und politisches Umfeld der Unternehmung, Unternehmung im Wandel der Gesellschaft.

Innovation Manager

Schritte zum Innovationserfolg, Projektmanagement, Personalentwicklung als Schlüsselfaktor der Innovation.

Innovation Management

Früherkennungs- und Riskmanagement, Neuausrichtung der Unternehmung, Unternehmung und ihr Netzwerk, integriertes Management.

Besonderheiten der Ausbildung

Als Referenten wirken ausgewiesene Fachpersonen aus Lehre und Wirtschaft.

Praktische Lösungsansätze aktueller Probleme in Form von Fallstudien.

Internationaler Bezug: Ausbildung unter multikultureller Optik.

Unterricht dreisprachig (Deutsch, Französisch und Englisch).

Berufsbegleitende Ausbildung.

Zielgruppe und Zulassungsbedingungen

Absolventinnen und Absolventen von Hochschulen und Fachhochschulen (ETH, HTL, HSW, HWV, HFG, HFS, FH, Universitäten).

Vergleichbar qualifizierte Personen in Kaderposition.

**Nächster Studiengang:
März 2004 bis April 2006**

**Anmeldung:
bis 31. Oktober 2003**

Kooperationspartner:



HAUTE ECOLE DE GESTION • HOCHSCHULE FÜR WIRTSCHAFT
Fribourg • Fribourg

Weitere Auskünfte und Anmeldung:

HSW Bern: Ostermundigenstrasse 81, Postfach 305, 3000 Bern 22, Telefon 031 336 85 95

Fax 031 336 85 89, nds@hsw.bfh.ch, www.hsw.bfh.ch/nds

HEG Fribourg: Chemin du Musée 4, 1700 Fribourg, Téléphone 026 305 61 80, Fax 026 305 61 75

catherine.nieva@eif.ch

NEUE VERUNREINIGUNGEN IN ABWASSER UND GEWÄSSERN

WALTER GIGER, ALFREDO C. ALDER, EVA M. GOLET, HANS-PETER E. KOHLER, CHRISTA S. MCARDELL, EVA MOLNAR UND CHRISTIAN SCHAFFNER

Neuartige Umwelteffekte alarmieren die Forschung: viele organische Chemikalien sind als Spurenverunreinigungen in kommunalem Abwasser enthalten und werden teilweise in den Kläranlagen nur unvollständig entfernt. Chemische Analysemethoden ermöglichen nun spezifische und quantitative Spurenbestimmungen beispielsweise von hormonaktiven Verbindungen und Antibiotika.

Die weltweite Wasserentnahme

Die heutige Zivilisation benutzt Chemikalien in grossem Umfang für vielfältige Zwecke, und gewisse Stoffanteile gelangen auch in die Umwelt. Unfälle wie Öltanker-Havarien werden in der Öffentlichkeit stark diskutiert. Weniger beachtet hingegen werden die alltäglichen Umweltbelastungen beim Normalgebrauch von chemischen Stoffen. In letzter Zeit sind neuartige Umwelteffekte beobachtet worden, die zum Teil auf den chronischen Eintrag von Chemikalien zurückgeführt werden können. Ein aktuelles Beispiel sind Verweiblichungen bei Fischen.

Eine Umweltrisikoaufanalyse für chemische Stoffe muss sowohl deren Auftreten und Verhalten in der Umwelt als auch mögliche Schädwirkungen beurteilen. Die Umweltchemie beschäftigt sich mit dem Verständnis der physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse, die das Schicksal von Chemikalien in der Umwelt beeinflussen. Die analytisch ausgerichtete Umweltchemie zielt auf die Erkennung von kritischen Verunreinigungen und die Messung von Restkonzentrationen in Wasser, Boden und Luft sowie in Pflanzen und Lebewesen. Wichtig sind dabei die analytische Ermittlung von Umweltexposition und Eintragswegen sowie die Charakterisierung der Transport-, Transfer- und Transformations-

prozesse. Die Forschungsgruppe für chemische Problemstoffe an der EAWAG bearbeitet seit vielen Jahren umweltanalytische Projekte, die einen weiten Bereich von organischen Umweltpurenstoffen umfassen. Die transdisziplinären Studien stützen sich auf die Zusammenarbeit mit Biologen, Ingenieuren und Sedimentologen.

Das Schicksal von Abwasser-substanzen

Von spezieller Bedeutung sind diejenigen Substanzen, die zu wesentlichen Anteilen ins Abwasser eingetragen werden, wie etwa die in relativ grossen Mengen verwendeten Wasch- und Reinigungsmittel. Diese Detergentienchemikalien werden seit mehreren Jahrzehnten besonders überprüft, wobei neben den eigentlichen Wirksubstanzen (z. B. waschaktive Substanzen, Phosphatersatzstoffe usw.) auch Zwischenprodukte des biologischen Abbaus (Metaboliten) erfasst wurden. Relevant sind insbesondere Metaboliten mit – im Vergleich zu den Ausgangsstoffen – höherer Giftigkeit oder biologischer Wirkung. Seit einigen Jahren können Ultraspurenkonzentrationen von Arzneimitteln in Abwasser und Gewässern nachgewiesen werden. Basierend auf der medizinischen Ver-

wendung und aufgrund der Tatsache, dass die Pharmaka wieder aus dem Körper ausgeschieden werden, hätte eigentlich erwartet werden müssen, dass diese Substanzen sich im Abwasser wiederfinden. Chemikalien aus Publikumsprodukten und Arzneimittel können über unterschiedliche Eintragspfade in die aquatische Umwelt gelangen, wie dies in Abb. 1 dargestellt ist. In den heute üblichen Verfahren der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung unterliegen die organischen Mikroverunreinigungen verschiedenen Eliminationsprozessen: physikalisch-chemische Transfervorgänge (wie Sorption an den Klärschlamm oder Gasaustausch in die Luft) und biochemische Transformationen (Bioabbau). In den Oberflächengewässern können zudem auch photochemische Abbauprozesse eine wichtige Rolle spielen. Für die Erarbeitung von Kenntnissen über die in den Kläranlagen oder in den Gewässern ablaufenden Eliminationsprozesse sind gezielte und aufwändige Probenahmen notwendig, damit die Ergebnisse für Stoffflussanalysen und möglicherweise auch für kinetische Auswertungen benutzt werden können.

durch Menschen beträgt rund 4000 km³ pro Jahr. Der Bedarf ist zwischen 1900 und 1995 um das Sechsfache gestiegen.

Vom Reinigungsmittel zum Umwelthormon

Oberflächenaktive Verbindungen (waschaktive Substanzen, Tenside) sind als wichtige Bestandteile der Reinigungsmittel dafür verantwortlich, dass beim Waschen und Reinigen Schmutzteilchen in das Waschwasser überführt werden. Schlecht abbaubare anionische Tenside aus Detergentien haben bis Mitte der 60er-Jahre zu Schaumbildungen in den Gewässern geführt. Seit zwei Jahrzehnten wird an der EAWAG das Umweltverhalten der aromatischen, nichtionischen Tenside vom Typ der Nonylphenolpoly-

lyethoxylate ausführlich untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass aus den relativ harmlosen Tensid-Molekülen giftige Metaboliten wie das Nonylphenol gebildet werden. Seit einigen Jahren ist auch bekannt, dass Nonylphenol als Hormon wirkt, was durch die strukturelle Ähnlichkeit zum natürlichen Sexualhormon 17 β -Estradiol erklärt werden kann (siehe Abb. 2). In der schweizerischen Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoff-Verordnung) wurde 1986 der Einsatz der Nonylphenolpolyethoxylate in Textilwaschmitteln verboten. Die Detergentien-Hersteller haben zudem auf die Verwendung dieser Ten-

side in Haushaltreinigern verzichtet. Aufgrund der Persistenz des Nonylphenols unter den Bedingungen der Schlammfäulung können die Gehalte in Faulschlamm genutzt werden, um den Erfolg dieser Umweltschutzmassnahmen zu überprüfen. Die in Abb. 3 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Nonylphenolgehalte in Faulschlamm nach 1986 zuerst sprunghaft und in den folgenden Jahren kontinuierlich zurückgegangen sind, ohne dass aber Nullwerte erreicht wurden. In einem ähnlichen Sinne konnten Seesedimente als Umweltarchive benutzt werden. Messwerte von einzelnen Schichten in datierten Sedimentkernen zeichnen die Auswirkungen der erwähnten Verbrauchsreduktionen auf.

In mehreren Abteilungen der EAWAG und der EMPA laufen zurzeit Forschungsarbeiten im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 50 über hormonaktive Substanzen in der Umwelt. Unter anderem werden einzelne Nonylphenolisomere und carboxylierte Metaboliten auf ihr Verhalten in der Abwasserreinigung und in den Gewässern untersucht. Ebenfalls gemessen werden weitere phenolische Verbindungen wie z. B. die Kunststoffsubstanz Bisphenol A sowie polybromierte Verbindungen, die als Flammschutzmittel verwendet werden.

Eintragungspfade von Umweltchemikalien

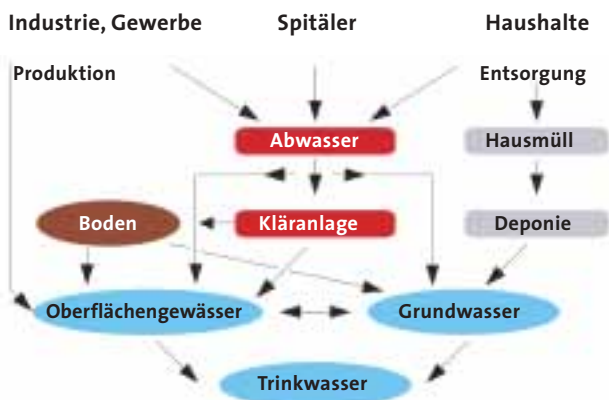


Abb. 1: Eintragungspfade in die aquatische Umwelt fur Publikumsprodukte und Arzneimittel.

Optik Metall Elektronik

Mehr Wirtschaftlichkeit
Mehr Qualität
Mehr Umweltschutz

Für saubere Oberflächen

falk

Die Marke für reines Wasser

Falk Prozesswassertechnik AG
Gewerbstrasse 5
6330 Cham
Tel +41 41 740 44 14
Fax +41 41 740 44 15
e-mail: info@falk-ag.ch

Anzeige

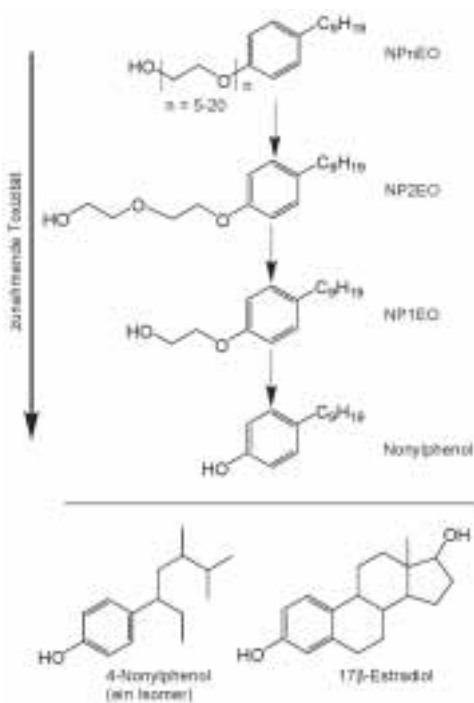


Abb. 2: Biotransformation der nichtionischen Alkylphenolpolyethoxylat-Tenside. Der relativ persistente Metabolit Nonylphenol zeigt sowohl hohe Toxizität als auch eine Hormonwirkung, die sich durch die strukturelle Ähnlichkeit zu dem natürlichen Steroidhormon (17β-Estradiol) erklären lässt.

Antibiotika als ignorierte Abwasserchemikalien

Viele in der Humanmedizin eingesetzte Arzneimittel, wie zum Beispiel Antibiotika, gelangen über menschliche Ausscheidungen ins Abwasser. Auch durch unsachgemässe Entsorgung werden zusätzliche, nicht vernachlässigbare Anteile eingetragen. Bedenken über die Umweltrelevanz der Antibiotika gründen auf der Befürchtung, dass eine chronische Antibiotika-Exposition zur Entstehung und Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen führen könnte. Um das Umweltgefährdungspotenzial bzw. die Umweltexposition dieser bioaktiven Verbindungen abzuschätzen, wurden an der EAWAG spezifische und quantitative Methoden für die Bestimmung von mehreren Antibiotikaklassen im Abwasser und in Flusswasser entwickelt. Bis anhin erfasst wurden Fluorochinolone, Makrolide, Sulfonamide und β-Lactame. Die Einzelstoffanalytik ergibt Ergebnisse, die eine gründliche Beurteilung der Einträge und des Umweltschadens ermöglichen. Abbildung 4 zeigt für die beiden Fluorochinolone Ciprofloxacin und Norfloxacin die in Abwasser und Gewässer beobachteten Konzentrationsbe-

reiche. Ebenfalls eingezeichnet sind die Werte, bei denen Schädwirkungen auftreten. Im Einzugsgebiet der Glatt im Kanton Zürich wurden Antibiotika einerseits im Abwasser aus verschiedenen Kläranlagen quantifiziert; andererseits wurden möglicherweise in der Glatt ablaufende Eliminationen untersucht. Die Tagesfrachten von Ciprofloxacin und Norfloxacin variierten im Zulauf der Kläranlagen zwischen 3,5 und 8,7 Gramm pro Tag (g/d) und im Ablauf zwischen 0,1 und 1,3 g/d. Dies entspricht einer Elimination von 79 bis 87%, die weitgehend durch den Transfer in den Klärschlamm verursacht wird. Trotz dieser relativ hohen Eliminationsraten werden die Antibiotika nicht vollständig entfernt, sodass ein Eintrag in den Vorfluter Glatt erfolgt. In der Glatt wurden Spurenkonzentrationen von 5–8 ng/l gemessen. Anfang 2001 variierten die Tagesfrachten des in der Schweiz wichtigsten Makrolid-Antibiotikums Clarithromycin in den Kläranlagenausläufen im Glatttal zwischen 1,6 und 15 g/d; in der Glatt betragen die Werte bei Rümlang und bei Rheinsfelden 26 beziehungsweise 36 g/d. Diese Stofffrachten von Clarithromycin waren damit bedeutend grösser als die entsprechenden Werte von Ciprofloxacin und

Nonylphenol in Faulschlamm

g/kg Trockensubstanz

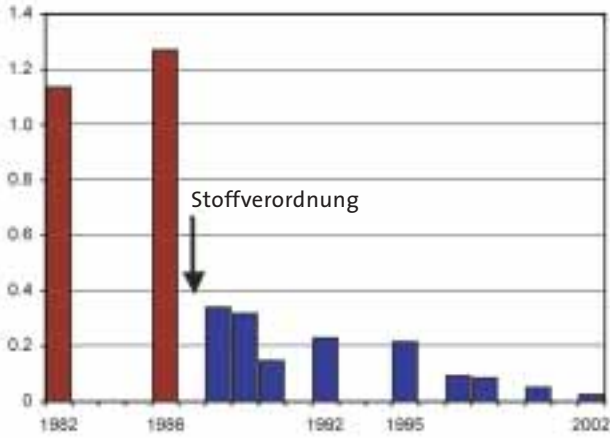


Abb. 3: Nonylphenolgehalte in Faulschlämmen des Kantons Zürich. Das Verbot des Waschmitteleinsatzes von Nonylphenolpolyethoxylat-Tensiden in der schweizerischen Verordnung für umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung) von 1986 und folgende Einsatzreduktionen kommen in den Faulschlammwerten zum Ausdruck.

Norfloxacin (10 und 7,9 g/d). Der Vergleich der Summe der gemessenen Frachten von Clarithromycin aus den Kläranlagen mit der Fracht in Rheinsfelden ergibt die Aussage, dass in der Glatt keine signifikante Elimination des Clarithromycins erfolgt.

Als Teilprojekt des Nationalen Forschungsprogrammes 49 über Antibiotikaresistenzen werden zurzeit in der EAWAG-Abteilung Chemische Problemstoffe unter anderem Spitalabwässer untersucht. Ein Hauptaugenmerk gilt dabei den am meisten verwendeten β -Lactamen, den Penicillinen und Cephalosporinen. In Zusammenarbeit mit einer bakteriologischen Arbeitsgruppe am kantonalen mikrobiologischen Institut in Bellinzona werden dieselben Wasserproben sowohl chemisch analysiert als auch in Bezug auf Antibiotikaresistenzen charakterisiert. Die Frage, ob die in Abwasser und in Oberflächengewässern gefundenen Antibiotikagehalte eine Resistenzbildung und Resistenzerhaltung bei Mikroorganismen mit verursachen, ist experimentell bisher kaum studiert worden. Eine Diskussion dieses Problems ist jedoch von zentraler Be-

deutung für eine umfassende Umweltrisikobeurteilung in Sachen Antibiotika.

Forschungsinformationen

Die Abteilung Chemische Problemstoffe an der EAWAG befasst sich in umweltanalytischen Projekten mit den folgenden Substanzklassen:

Humanmedizinisch eingesetzte Antibiotika

Hormonwirksame Umweltchemikalien (Nonylphenolverbindungen, Bisphenole)

Flammschutzmittel (polybromierte Diphenylether, Organophosphate)

Korrosionsschutzmittel (Benzotriazole)

Kontakt: Prof. Walter Giger,

Tel. 01 823 54 75, giger@eawag.ch

EAWAG CH-8600 Dübendorf

Web-Adressen:

http://www.eawag.ch/research/chp/d_index.html

http://www.snf.ch/NFP/NFP49/Home_d.html

<http://www.nrp50.ch/>

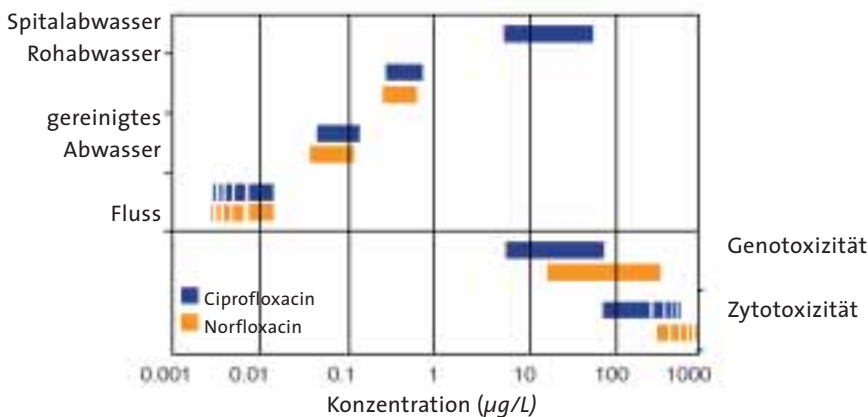


Abb. 4: Umweltkonzentrationen und Schädwirkungen der Fluorochinolon-Antibiotika Ciprofloxacin und Norfloxacin.

Spurenanalytik von organisch-chemischen Umweltstoffen

Spurenanalytische Methoden basieren auf einer breiten Palette von Techniken für Anreicherung, Trennung und Nachweis. Seit Beginn der Umweltwissenschaften in den 60er-Jahren spielte die Gaschromatographie, insbesondere mit hochauflösenden Kapillaren, eine zentrale Rolle für die Trennung der komplexen Stoffgemische in einzelne Komponenten. Ein einengender Nachteil der Gaschromatographie ist die Tatsache, dass die Analyten genügend flüchtig sein müssen, sodass sie gasförmig durch die Trennkolonnen hindurch transportiert werden können. Bei der Flüssigkeitschromatographie hingegen ist nur noch die Löslichkeit in einem organischen Lösemittel erforderlich. Erst seit kurzem ist die direkte Kopplung der Flüssigkeitschromatographie mit der Massenspektrometrie zur Anwendungsreife entwickelt worden. Dank der hohen Selektivität dieser Methode lassen sich Probenaufarbeitungen sehr vereinfachen, und äusserst geringe Spuren können verlässlich bestimmt werden. Vor allem im Bereich der Abwasser- und Wasseranalytik wurde das Spektrum der erfassbaren Verunreinigungen deutlich erweitert, indem nun auch polare und gut wasserlösliche sowie schwer flüchtige Verbindungen gemessen werden können. Ein grosser Teil der heute verwendeten Arzneimittel und auch alle als Antibiotika eingesetzten Substanzen müssen mittels Flüssigkeitschromatographie erfasst werden, wobei nur ausnahmsweise auf die Tandemmassenspektrometrie verzichtet werden kann.

Prof. Walter Giger, Dr. Alfredo C. Alder,
Dr. Eva M. Golet, Dr. Hans-Peter E. Kohler,
Dr. Christa S. McArdell, Eva Molnar,
Christian Schaffner

Abteilung chemische Problemstoffe,
EAWAG

WASSER IM SPIEGEL DES KLIMAS

ROLF KIPFER UND MARTIN FRANK

Ozeane, Seen und Grundwasser verändern ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften als Folge von Umwelt- und Klimaveränderungen. Forscher der ETH und der EAWAG bringen diese Archive des Klimawandels mit modernsten Methoden der Isotopengeochemie zum Sprechen.

Ozeane, Seen und Grundwasser sind Archive, aus denen wir unser Wissen über die Umweltbedingungen der Vergangenheit beziehen. Diese Signale werden auf verschiedene Art und Weise entweder im Wasser selbst oder aber in den sedimentären Ablagerungen von Ozeanen und Seen gespeichert. Am Institut für Isotopengeologie und mineralische Rohstoffe der ETH und in der Abteilung für Wasserressourcen und Trinkwasser der EAWAG werden die Umweltbedingungen der Vergangenheit auf verschiedenen Zeitskalen mit Hilfe modernster isotopengeochemischer Methoden entschlüsselt (Isotope sind verschiedene Atomkerne des gleichen chemischen Elements, die sich nur in der Neutronenanzahl unterscheiden, sich chemisch aber praktisch identisch verhalten). Beispiele aus Ozeanen, Seen und Grundwasser stellen Ansätze auf unterschiedlichen Zeitskalen vor, die die Breite der Informationen illustrieren, die sich mit diesen modernen Analysemethoden aus den Wasserarchiven gewinnen lässt.

Zirkulation und Verwitterungseintrag in Ozeane

Im Meer wirken sich Abkühlungen und Erwärmungen direkt auf den Salzgehalt und die Temperatur des Oberflächenwassers aus. Beides beeinflusst die Dichteschichtung der Wassersäule, die letztlich die Strömungen in den Ozeanen antreibt. So kühlt heute im Nordatlantik das salzreiche Oberflächenwasser des warmen Golfstroms aus, wird dadurch dichter, sinkt ab und fliesst in grösserer Tiefe nach Süden, bis es sich mit dem Antarktischen Zirkumpolarstrom vereinigt. Diese so genannte Tiefenwasserpumpe ist Ausgangspunkt der globalen Zirkulation der Ozeane, und sie reagiert sehr empfindlich auf natürliche und durch den Menschen verursachte Störungen wie zum Beispiel die globale Erwärmung durch Treibhausgase.

Unter bestimmten Bedingungen führen Verschiebungen in der Dichteschichtung zu abrupten Veränderungen in der Ozeanzirkulation, die wiederum Auswirkungen auf das Klima der Kontinente haben. Wenn ein Teil des grönländischen Eises abschmilzt, wird verstärkt Süsswasser in den Nordatlantik eingetragen. Das so entstandene etwas weniger salzige Oberflächenwasser ist nicht mehr dicht genug, um abzusinken. Die gesamte Tiefenwasserzirkulation würde sich dadurch verlangsamen, und der Golfstrom würde sich abschwächen oder sogar ausfallen. Unter diesen Bedingungen würde Europa stark abkühlen und klimatische Verhältnisse ähnlich denen in Nordamerika bekommen. Solche Veränderungen hat es in der Vergangenheit immer wieder

gegeben. Das belegen beispielsweise sedimentäre Ablagerungen aus dem Nordatlantik der letzten 70 000 Jahre, die etwa alle 10 000 Jahre Lagen von grobkörnigem Material aufweisen (Heinrich-Schichten). Diese Schichten entstanden durch katastrophale Kollapse der kontinentalen Eisschilde in Nordamerika und Kanada, wodurch Armadas von Eisbergen Sedimente aus dem hohen Norden in den Nordatlantik transportierten. Während dieser Ereignisse brach die Tiefenwasserzirkulation im Nordatlantik durch den hohen Süsswassereintrag wahrscheinlich vollständig zusammen.

Aber es gibt auch Belege für Änderungen der Zusammensetzung des Meerwassers im Atlantik und dessen Zirkulationsmuster, die weiter in der Vergangenheit zurückliegen. Diese Änderungen sind in extrem langsam wachsenden (nur wenige Millimeter pro Million Jahre) Eisen-Mangan-Krusten am Meeresboden aufgezeichnet. Die langfristigen Veränderungen spiegeln sich in den Isotopenverhältnissen von Elementen wie Neodym wider, die in die Krusten bei deren Wachstum eingelagert werden. Eines der Isotope, ^{143}Nd , das durch den Zerfall des Samarium-Isotops ^{147}Sm gebildet wird, zeigt in Abhängigkeit von Art und Alter der kontinentalen Gesteine winzige Unterschiede in der Häufigkeit. Diese Unterschiede werden als Verhältnis $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ausgedrückt.



$\frac{2}{3}$ der Süßwasserreserven der Erde sind in den Polargebieten, als Gletscher, Bodenfeuchtigkeit und in Feuchtgebieten gelagert.

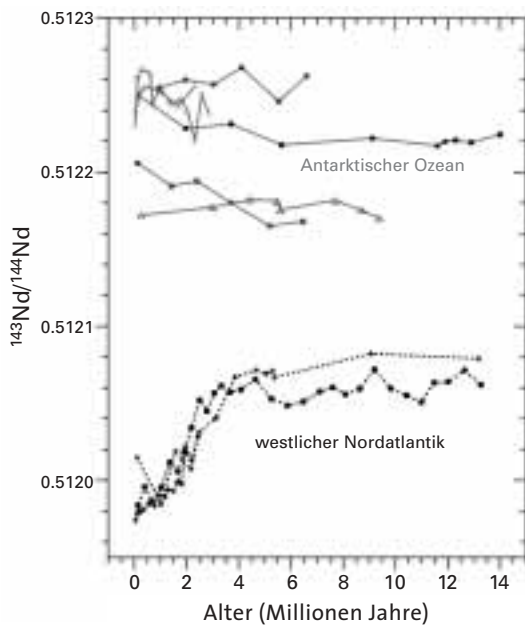


Abb. 1: Zeitserien des $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ im ozeanischen Tiefenwasser, rekonstruiert aus verschiedenen Eisen-Mangan-Krusten des westlichen Nordatlantiks und des Antarktischen Ozeans für die letzten 14 Millionen Jahre (Frank et al., 2002).

Als Folge des Beginns der Vereisung der Nordhalbkugel vor 3 Millionen Jahren wurde mehr sehr altes kontinentales Gestein in Kanada und Grönland verwittert (mit einem sehr niedrigen $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ -Verhältnis) und in den Nordatlantik gewaschen. Dort wurde es teilweise aufgelöst und hat das Nd-Isotopensignal im Tiefenwasser des westlichen Nordatlantiks in den letzten 3 Millionen Jahren kontinuierlich erniedrigt (Abb. 1). Eine entsprechende Erniedrigung wurde im gleichen Zeitraum in den Nd-Isotopen-Zeitserien des Antarktischen Ozeans, der zu etwa 50% aus nordatlantischem Tiefenwasser besteht, nicht festgestellt. Das zeigt, dass in der Zeit vor dem Beginn der Vereisung der Nordhalbkugel die Wassererneuerung der Ozeane und damit die globale Tiefenwasserpumpe stärker gewesen sein muss. Die Tiefenwasserbildung hat sich anschliessend über die letzten 3 Millionen Jahre abgeschwächt.

Klimatisch induzierte Veränderungen in Seen und Grundwasser

Seen und Grundwasser sind wesentliche und prägende Elemente des Wasserhaushaltes der Kontinente, die über die Niederschläge und andere Wasseraustauschprozesse an den globalen Wasserkreislauf gekoppelt sind und entsprechend auf globale

Umwelt- und Klimaveränderungen reagieren. Seespiegel und weniger offensichtlich Grundwasserspiegel reagieren auf Änderungen im Niederschlags- und Abflussregime, beziehungsweise auf Änderungen der Grundwasserneubildungsrate als Folge der sich verschiebenden Klima- und Umweltverhältnisse. Solche Veränderungen der Wasserbilanz finden letztlich ihren Einfluss auf die interne Dynamik im entsprechenden Wasserkörper. In Seen können sich so Mischungsverhalten und Tiefenwasserbildung ändern, im Grundwasser verschieben sich dagegen hauptsächlich die Aufenthaltszeiten des Wassers.

Moderne isotopische Tracermethoden, die zur Hauptsache auf der Konzentrationsbestimmung von chemisch transienten natürlichen und anthropogenen Spurenstoffen (^3H , SF_6 , CFCs und Edelgasen) beruhen, werden seit einigen Jahren erfolgreich zum Studium der Austauschprozesse und deren Zeitskalen in Seen und Grundwasser eingesetzt. Da diese Tracer chemisch inert sind, lassen sich in der Umwelt gefundene Konzentrationsunterschiede im Wesentlichen auf drei Faktoren zurückführen: Zeitlich variabler Eintrag, z. B. als sich ändernde atmosphärische Partialdrücke (transiente Tracer: SF_6 , CFCs, ^3H). Der Zerfall von radioaktiven Tracern (^3H -Zerfall: $^3\text{He}_{\text{tri}}$, Halbwertszeit: 12,4 Jahre).

Veränderungen der physikalischen Umweltbedingungen, die den Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser steuern (atmosphärische Edelgase).

Gasaustauschprozesse übertragen die momentanen Konzentrationen der transienten Spurenstoffe der Atmosphäre auf die im Kontakt stehenden Wasserkörper. Wird der Gasaustausch unterbrochen – z. B. durch die Tiefenwasserbildung in Seen oder durch den Eintritt des Wassers in die quasi-gesättigte Bodenzone – verändern sich die Tracerkonzentrationen nicht mehr und bleiben im Wasserkörper erhalten. Gleichzeitig beginnt ^3He zu akkumulieren, da das durch den ^3H -Zerfall erzeugte $^3\text{He}_{\text{tri}}$ nicht mehr in die Atmosphäre entweichen kann. Entsprechend geben die Tracerkonzentrationen im Wasser und das $^3\text{He}_{\text{tri}}/^3\text{H}$ -Verhältnis die verstrichene Zeitspanne wieder, seit der Wasserkörper im letzten Austausch mit Atmosphäre stand (Wasseralter).

Da die atmosphärischen Edelgaskonzentrationen in meteorischem Wasser einerseits von Partialdrücken in der Atmosphäre und andererseits von der Temperatur und dem Salzgehalt des Wassers abhängen (Löslichkeiten sind durch Temperatur und Salzgehalt bestimmt), lassen sich aus den gemessenen Gaskonzentrationen direkt die physikalischen Bedingungen ableiten, die den Gasaustausch zwischen Luft und Wasser steuern. Ebenso können die typischerweise im Grundwasser gefundenen (Edel-)Gasüberschüsse auf Druckänderungen in der quasi-gesättigten Bodenzone zurückgeführt werden. Diese Druckänderungen treten auf, wenn der Grundwasserspiegel während der Grundwasserneubildung schwankt.

Grundwasserbildung im Sahel & «Grüne Sahara»-Phasen

Im Niger, wie im gesamten ariden Sahel, ist Grundwasser die einzig verfügbare Wasserressource. Das Wissen, ob, wie und wie viel Grundwasser neu gebildet wird, bildet damit die zentrale Voraussetzung jeder nachhaltigen Wassernutzung. In einem breit angelegten Forschungsprogramm setzten die ETHZ und die EAWAG neben anderen modernen Methoden auch isotopische Umwelttracer ein, um im Nordosten des Nigers die Prozesse und die Raten der Grundwasserneubildung in Raum und Zeit zu quantifizieren. Wasserproben aus den Einzugsgebieten der drei Grundwasserstockwerke des Continen-

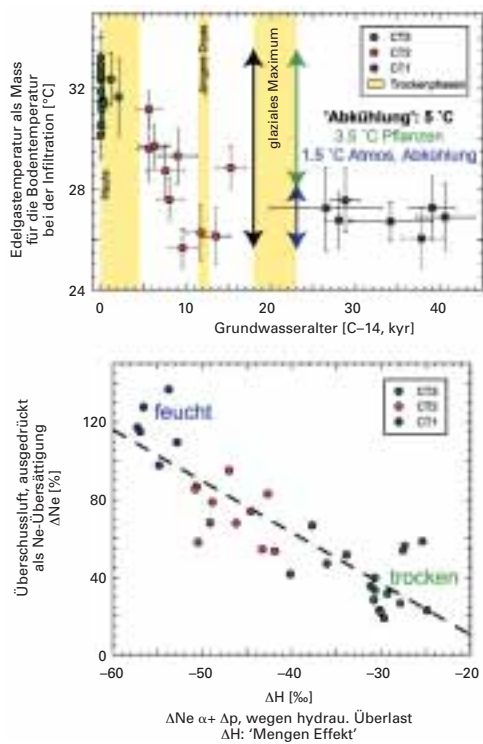


Abb. 2: Niger: Überschussluft als Mass für Grundwasserneubildung.

tal Terminal Aquifersystems (CT1-3), das grosse Gebiete Nordafrikas und der Sahara entwässert, wurden datiert. Andererseits wurden die bei der Grundwasserbildung vorherrschenden Bodentemperaturen rekonstruiert (Abb. 2).

Die aus den Edelgasen bestimmten Infiltrationstemperaturen der jungen Wasserproben aus dem obersten CT3-Stockwerk stimmen erwartungsgemäss mit den rezenten Bodentemperaturen überein, die in ariden Zonen wegen der fehlenden Pflanzendecke rund 3 °C höher sind als die mittlere atmosphärische Jahrestemperatur. Die meisten dieser CT3-Wässer enthalten ³H, was zeigt, dass zumindest im obersten Aquifer während der letzten Jahrzehnte intermittierend Grundwasser neu gebildet wurde.

Mit steigendem Grundwasseralter gehen die rekonstruierten Bodentemperaturen zurück und erreichen bei etwa 40 000 Jahren (40 kyr) gegenüber heute rund 5 °C kältere Werte. Nicht nur alte pleistozäne, sondern auch jüngere holozäne Grundwässer, die nach dem Pleistozän-Holozän-Klimaübergang zwischen 5 und 10 kyr infiltrierten, weisen eindeutig auf im Vergleich zu heute kühlere Bodentemperaturen hin. Während der für Afrika bekannten Trockenphasen im Pleistozän und im Holozän (glaziales Maximum: ~ 18 kyr, jüngere Dryas ~ 11 kyr) scheint im Niger dagegen kaum Grund

wasser neu gebildet worden zu sein. In den dazwischen liegenden Feuchtphasen bewachsen Pflanzen die Sahara und den Sahel («Grüne-Sahara-Phasen», GSP), und in dieser Zeit wurden die beiden tiefen Stockwerke des CT2 und CT1 signifikant mit Wasser beladen.

Die beobachtete Auskühlung des Bodens von 5 °C, wie sie insbesondere der CT2 Aquifer zwischen 5 und 10 kyr anzeigt, ist zu hoch, als dass sie auf rein klimatische Faktoren zurückgeführt werden könnte. Zwar deuten neuere Resultate der Klimaforschung auf eine leichte Erwärmung für Afrika nach dem glazialen Maximum hin, jedoch war der Übergang weit stärker durch den Wechsel des relativ feuchten Klimas des Pleistozäns zum ausgesprochen trockenen Klima von heute geprägt. So ist u. a. von Felszeichnungen aus dem Hoggar-gebirge bekannt, dass während der GSP Steppentiere in der Sahara weideten.

In Gebieten, wo Pflanzen den Boden bedecken, entspricht die Bodentemperatur und damit die Grundwassertemperatur bei der Infiltration der mittleren atmosphärischen Jahrestemperatur, und die für aride Zonen typischen erhöhten Bodentemperaturen fehlen. Die während der GSP beobachtete Auskühlung des Bodens lässt sich damit auf das Vorhandensein einer Pflanzendecke im Niger vor rund 5–8 kyr (3,5 °C) und auf eine leichte klimatische Abkühlung zurückführen (1,5 °C).

Damit liefern die Resultate aus dem CT-Grundwassersystem im Niger die ersten direkten Hinweise dafür, dass in Afrika nicht nur während des Pleistozäns, sondern auch während der feuchten Perioden der «Grünen-Sahara-Phasen» zwischen 5 und 8 kyr aktiv Grundwasser neu gebildet wurde.

Literatur

- Beyerle U., Rüedi J., Aeschbach-Hertig W., Peeters F., Leuenberger M., Dodo A., and Kipfer R. (in press) Evidence for periods of wetter and cooler climate in the Sahel between 6 and 40 kyr derived from groundwater. *Geophys. Res. Lett.*
- Frank, M., Whiteley, N., Kasten, S., Hein, J. R., and O’Nions, R. K. (2002) North Atlantic Deep Water export to the Southern Ocean over the past 14 Myr: Evidence from Nd and Pb isotopes in ferromanganese crusts. *Paleoceanography* 17(2), 10.1029/2000PA000606.

Forschungsinformationen

Die Isotopengeologie beruht auf dem Zerfall natürlicher radioaktiver Isotope. Variationen von Isotopenverhältnissen werden zur Erforschung unterschiedlichster geo- und kosmochemischer Prozesse benutzt.

Die Kernkompetenzen der Gruppe Umweltisotope an der EAWAG sind ultrahochempfindliche Umweltanalytik im Bereich von transienten (biogeochemisch konservativen) Spurenstoffen (Edelgas-Massenspektrometrie, GC-ECD), Umwelttracer-Methoden (Tritium, Edelgase, FCKW) im Grundwasser und in Seen und numerische Methoden der Datenanalyse und Modellierung aquatischer Systeme.

<http://geode.ethz.ch/igmr/index.html>
E-Mail: frank@erdw.ethz.ch

<http://www.eawag.ch/research/w+t/Ul/index.html>
E-Mail: kipfer@eawag.ch

Dr. Rolf Kipfer

Umweltisotope, Abt. Wasserressourcen und Trinkwasser, EAWAG Dübendorf

Dr. Martin Frank

Institut für Isotopengeologie und mineralische Rohstoffe, ETH Zürich

INTERN

CHEMIE UND ANGEWANDTE BIOWISSENSCHAFTEN

«ECHTER CAMPUS FÜR LIFE SCIENCES»

Das Departement Chemie und das Institut für Pharmazeutische Wissenschaften haben sich zum neuen Departement «Chemie und Angewandte Biowissenschaften» zusammengeschlossen. Im Herbst 2004 wird das neue D-CHAB der ETH Zürich auch räumlich vereint: auf dem Hönggerberg.



Baustelle Hönggerberg: «Chemie und Angewandte Biowissenschaften» werden im Herbst 2004 auch räumlich vereint.

Die Erwartungen sind hoch, die Voraussetzungen bestens: Das neue Departement «Chemie und Angewandte Biowissenschaften» soll «zum wichtigen Baustein für einen echten Campus für Life Sciences» werden, betont Heidi Wunderli-Allenspach, Professorin am Institut für Pharmazeutische Wissenschaften der ETH Zürich. Ein erster Schritt ist getan: Anfang 2003 haben sich das Departement Chemie unter Leitung von Professor François Diederich und das Institut für Pharmazeutische Wissenschaft-

ten unter Leitung von Heidi Wunderli-Allenspach zusammengeschlossen. Heute bilden sie das Departement «Chemie und Angewandte Biowissenschaften», das D-CHAB.

Synergien nutzen

«Fachlich werden wir Synergien nutzen können», sagt Heidi Wunderli-Allenspach. «Wir können vom grossen Know-how der Chemie profitieren – Analytik und Synthese sind zwei Beispiele dafür –, andererseits bringen wir Fachwissen in Biopharmazie, Pharmakologie und Galenik ein. Die Fachgebiete haben sich einander stark angenähert, verbindendes Glied ist das Streben nach Erkenntnissen und Wissen auf

molekularer Basis. Ein möglicher Ansatz für die Entwicklung von Arzneistoffen ist das Computer Modelling, das Visualisieren des Zielmoleküls am Bildschirm. Darauf folgt das systematische Auswerten der Daten, ein analytischer Prozess. Haben die Modellierer ein Molekül gefunden, das auf dem Computer gute Wirksamkeit verspricht, dann machen sich die Chemiker an die Arbeit. Im Labor wird die Substanz hergestellt und analysiert. Das Testen der pharmakokinetischen und pharmakodynamischen Eigenschaften erfolgt parallel; es wird untersucht, ob das Molekül wirkt, wie es vom Körper aufgenommen, abgebaut und ausgeschieden wird. «Wir haben jetzt alle Institute unter einem Dach, keine Barrieren mehr, die uns räumlich trennen», sagt François Diederich.

Zumindest demnächst. Denn bis zum Herbst 2004 bleibt das heutige Institut für Pharmazeutische Wissenschaften auf dem Campus der Universität Zürich-Irchel, während das Departement Chemie bereits auf dem Hönggerberg seine Labors betreibt.

Neuer Lehrgang in Medicinal Chemistry

Studierenden, die sich jetzt für ein Studium am D-CHAB interessieren, steht ein neuer Studiengang offen. Diederich, noch bis Oktober 2004 Vorsteher des D-CHAB, hebt die Eigenentwicklung hervor: «In der Lehre haben wir die grosse Herausforderung angenommen, einen Studiengang in Medicinal Chemistry auf Masters-Stufe zu entwickeln», sagt er. Heidi Wunderli-Allenspach, die die Leitung des D-CHAB im Jahre 2004 übernehmen wird, erklärt: «Der Studiengang soll Grundlagen vermitteln, die in der Arzneimittelforschung gefragt sind.» Medicinal Chemistry sei das Bindeglied zwischen den Pharmazeutischen Wissenschaften und der Chemie, der Studiengang eine ideale Karrierechance für Studenten, die sich in Life Sciences weiterbilden wollten.

Michael Breu



Das neue Departement – D-CHAB soll «zum wichtigen Baustein für einen Campus Life Sciences werden».

Dieser Bericht erschien erstmals in «ETH Life», der täglichen Webzeitung der ETH www.ethlife.ethz.ch

IN EIGENER SACHE



Prof. Konrad Osterwalder, Rektor der ETH Zürich

Die USA sind in ihrem Bildungswesen in mancherlei Hinsicht andere Wege gegangen als Europa. So unterstreicht Clark Kerr bereits 1963 den Erfolg der zwanzig führenden Forschungsuniversitäten und kommentiert die Verhundertfachung der staatlichen

Unterstützung für universitäre Forschung in den vergangenen 20 Jahren mit den Worten «Washington did not waste its money on second-rate». James Conant, ein Präsident von Harvard, schreibt im ersten Jahresbericht des NSF: «In the advance of science and its application there is no substitute for first-class men. Ten second-rate scientists or engineers cannot do the work of one who is in the first rank.» Das bedeutete, dass 1963 nur gerade 492 von damals total 2139 tertiären Bildungsanstalten staatliche Forschungsmittel bekamen und die hundert Spitzenuniversitäten kassierten den Löwenanteil von 90%!

Europas Weg sollte irgendwo in der Mitte liegen zwischen dem heutigen Zustand der Gleichmacherei, der falsch verstandenen Demokratisierung des höheren Bildungswesens, und dem amerikanischen Modell.

Ein Denkwandel ist nötig: Wir müssen den besten unter unseren Hochschulen die Möglichkeit geben, mit der wirklichen Weltspitze mitzuhalten oder sich ihr anzuschliessen. Sie haben dann auch die Ausbildung der Begabtesten und der Leistungswilligsten zu übernehmen. Gleichzeitig ist dafür Sorge zu tragen, dass das gesamte höhere Bildungswesen nicht verdünnt wird und dass es ein akzeptables durchschnittliches Niveau halten kann.

WISSENSCHAFT-HIGHLIGHTS FÜR DEN BUNDESRAT

BUNDESRAT COUCHEPIN ZU BESUCH AN DER ETH

Bundesrat Pascal Couchepin, Vorsteher des Departements des Innern und Bundespräsident, zu Besuch an der ETH: Im persönlichen Gespräch mit Forscherinnen und Forschern schuf er sich einen Überblick über die Forschungsstätte. Einige Eindrücke.

(vac) Als Nachfolger von Bundesrätin Ruth Dreifuss ist Pascal Couchepin seit dem 1. Januar 2003 Vorsteher des Departements des Innern und im Rahmen dieser Tätigkeit auch für Wissenschaft, Forschung und Bildung verantwortlich. Die erste Station seines Besuches an der ETH am 19. März 2003 war die grafische Sammlung, wo die Vertreter des ETH-Rates, der EPFL, des PSI, der WSL, der EMPA und der EAWAG die jeweilige Institution kurz vorstellten. Der Nachmittag war für die Labor-Besuche reserviert.



Bundespräsident Pascal Couchepin lässt sich im virtuellen Raum von den Möglichkeiten der Informationstechnologie begeistern. (Foto: Felix Würsten).

Virtuelle Räume

Am Institut für mechanische Systeme stellte der Gastgeber, Prof. Markus Meier, das Projekt «Blue – C» vor: Mit einer 3D-Brille liess sich auch der Bundesrat in die virtuellen Räume locken, die in Zukunft (in fünf bis zehn Jahren) neue Kommunikationsformen ermöglichen werden. So kann beispielsweise jemand an der ETH Zentrum mit jemand auf dem Höggerberg Schach spielen, ohne dabei zu merken, dass sich der Gegner nicht im gleichen Raum befindet.

Nebenwirkungen der Chemotherapie reduzieren

Am Institut für Zellbiologie begrüsst Prof. Sabine Werner und Prof. Isabelle Munsay den Ehrengast und stellten ihre Forschungsschwerpunkte dar: So beschäftigt sich Werner mit den molekularen Mechanismen der Regeneration von Gewebe; besonderes Gewicht legt sie dabei auf die Rolle von Wachstumsfaktoren und ihren Wirkungsmechanismen. Der Wachstumsfaktor sei ein wichtiger Überlebensfaktor, der die Zellteilung stimuliert und die Zelle vor schädigenden Umwelteinflüssen schützt. Dies sei speziell wichtig bei der Behandlung von Krebspatienten, die als Folge einer Chemotherapie massive Schädigungen des

Oral- oder Darmepitels erleiden und deshalb häufig die Therapie absetzen müssen. Wenn man Mäuse mit diesem Faktor vorbehandle, trete die Schädigung nicht mehr auf. Das dürfte auch für Menschen gelten, wie erste klinische Studien gezeigt haben. Die ETH-Wissenschaftler konnten mit Hilfe des Functional Genomics Center Zürich alle Gene identifizieren, die durch den Wachstumsfaktor reguliert werden. Eines der zukünftigen Ziele sei es auch, die Mechanismen zu identifizieren, die den Gewebsregenerationsprozessen zugrunde liegen. Prof. Munsay berichtete über frühkindlichen Stress und seinen Einfluss auf das zukünftige Verhalten eines Individuums. Im Labor demonstrierte Munsay ihre Theorie auch praktisch an Mäusen.

Wenn Freiheit zur Bedrohung wird ...

Den «Abschieds»-Vortrag hielt der renommierte Architekt Prof. Jacques Herzog, der das Projekt «Die Schweiz – ein städtebauliches Porträt» vorstellte: eine Übersicht über das «Projekt Schweiz», das in etwa einem Jahr abgeschlossen und in Form eines Buches erscheinen wird. Dabei vertrat Herzog eine wichtige These: die Schweizer wünschten sich die Gemeinde als etwas

Ewiges, da sie ihnen die Unabhängigkeit garantiere; paradoxerweise sei aber gerade die Gemeinde dafür verantwortlich, dass ein «architektonischer Brei» entstehe, der die erwünschte Differenzierung verunmögliche. Neue zeitgenössische Gefässe zu finden und sie dann zur politischen Diskussion zu stellen sei die Aufgabe der ETH-Architekten.

Am Ball bleiben

Beim Abschied zeigte sich der Bundesrat zunächst einmal erstaunt über die Grösse der ETH: «Ich dachte schon, dass die neue ETH auf dem Flughafen Dübendorf liegt», fasste er scherzhaft den ersten Eindruck von der Reise auf den Höggerberg zusammen. Solche Institutionen wie die ETH seien überlebenswichtig, fuhr er fort. Neben dem Engagement der Professoren brauche es auch die Unterstützung vom Bund, damit die ETH weiterhin am Ball bleibe. Zudem seien auch Beweise über den Nutzen der Wissenschaft für die Gesellschaft notwendig.

ETH-MIX

ETH nimmt am Shell-éco-Marathon teil

(StS) Beim diesjährigen Shell-éco-Marathon startet dieser Tage im französischen Nagero ein Team der ETH. Vom 15. bis 18. Mai versuchen die Teilnehmer, mit möglichst wenig Treibstoff eine grösstmögliche Strecke zurückzulegen. Der Sieger 2002 benötigte für eine Distanz von fast 3500 km nur einen Liter Treibstoff. Dieses Jahr sind auf Antrag der ETH erstmals auch alternative Energieträger zugelassen. Das mit Wasserstoff betriebene Fahrzeug der ETH basiert auf einer Weiterentwicklung jenes Brennstoffzellensystems, das ETH und PSI unter dem Namen Power Pac entwickelt haben (vgl. ETH Bulletin Nr. 287, Nov. 2002). Die Brennstoffzelle besteht aus einem Stapel von 20 Zellen und liefert 400 Watt.

Kontakt: Gino Paginelli,
Tel. +41 1 632 51 31, Fax +41 1 632 11 39
E-Mail: paganelli@imrt.mavt.ethz.ch

Schnupperstudium Informatik

(StS) Das Departement Informatik der ETHZ veranstaltet vom 15. bis 19. September ein Schnupperstudium. Dieser insbesondere für Schülerinnen im letzten und vorletzten Jahr vor der Matura angebotene Kurs findet täglich von 9 bis 17 Uhr statt und ist kostenlos. Er vermittelt einen Einblick in Inhalte des Informatikstudiums, eine Einführung in das Programmieren mit Java sowie Vorträge über Forschungsthemen. Schriftliche Anmeldung bis 3. Juni.

Formulare: <http://www.frauen.inf.ethz.ch>
oder im Dept. Informatik; ETH Zentrum IFW
Zürich; Tel. 01/ 632 72 01
E-Mail: ff@inf.ethz.ch



Wasserstoffauto PACCar: Schnittiges Design mit extrem sparsamem Herzstück.

Einheitlicher Dokortitel

(StS) Die ETH führt den einheitlichen Titel «Doktor der Wissenschaften» ein. Bisher wurde zwischen «Doktor der Naturwissenschaften», «Doktor der Technischen Wissenschaften» sowie «Doktor der Mathematik» unterschieden. Studierende, die dieses Jahr mit ihrer Doktorarbeit beginnen, werden nach der neuen Regelung ausgezeichnet, während bereits fortgeschrittene Doktoranden zwischen altem und neuem Titel wählen können.

Sonderausstellung emotion Verkehr

(StS) In der Bibliothek der ETH werden vom 31. März bis 5. Juli 30 Plakate zum Thema emotion Verkehr ausgestellt. Die aus der Sammlung von Rolf Eiselin stammenden Exponate zeigen die Entwicklung der Plakatwerbung für die Wirtschaftszweige Verkehr und Tourismus im vergangenen Jahrhundert. Unter den Plakaten sind Arbeiten der Künstler Hohlwein, Cassandre und Cardinaux vertreten. Die untenstehende Web-

adresse ermöglicht auch einen virtuellen Rundgang durch die Ausstellung.

Info: <http://www.ethbib.ethz.ch/exhibit> oder
Dr. M. Unser, Tel. 01/ 632 64 77
E-Mail: unser@library.ethz.ch

Militärakademie feierte 125. Geburtstag

(StS) Am 26. Oktober 1877 beschloss der Bundesrat, dass am Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich militärrelevante Vorlesungen über die Bereiche Kriegsgeschichte, Strategie, Taktik, Heeresorganisation und -verwaltung gehalten werden sollen. Bekanntester Dozent der seit der Jahrhundertwende obligatorischen Ausbildung war der spätere General Ulrich Wille, der von 1909 bis 1913 der Militärabteilung am Polytechnikum vorstand. Nach zahlreichen Neuerungen wurde die Militärschule am 1. Juni 2002 in Militärakademie an der ETHZ umbenannt. Im März feierte die Militärakademie im Rahmen ihrer Jahrestagung das 125-Jahr-Jubiläum.

TRANSFER

10 JAHRE TECHNOPARK ZÜRICH

EINE WICHTIGE SCHNITTSTELLE ZUR WIRTSCHAFT FÜR DIE ETH ZÜRICH

Ende März feierte der Zürcher Technopark sein zehntes Jubiläum. Auch die ETH Zürich war dabei, ist sie doch seit Anfang in das Projekt involviert. Doch was eigentlich im Gebäude Einstein, dem Gebäudeteil der ETH Zürich des Technoparks, geschieht, wissen nur einige Aficionados ...

Die ETH Zürich und der Technopark, der den Boom in «Züri-West» lancierte, bilden von Anfang an ein enges Gespann: «Für die ETH Zürich bildet das Engagement im Technopark Zürich eine der wichtigsten Schnittstellen zur Wirtschaft und zu Innovation schlechthin» hält der Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen der ETH Zürich, Prof. Ueli Suter, in einer Jubiläumsbeilage der Zeitschrift Cash fest. Und einer der «Väter» des Technoparks, Dr. Thomas von Waldkirch, der heute die Stiftung Technopark leitet, hat die Idee nicht zuletzt aus seiner Funktion als Mitarbeiter des ETH-Vizepräsidenten für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen heraus entwickelt.

Damals, Anfang der 90er-Jahre, war es eine strategische Entscheidung der ETH-Leitung, einen ganzen Gebäudeteil zu belegen. Forschungsgruppen mit einem starken Praxisbezug und Spin-off-Firmen sollten dort angesiedelt werden. Dies hat sich gelohnt: In den 10 Jahren des Bestehens haben gegen 50 Spin-off-Firmen der ETH Zürich hier ihre ersten Schritte unternommen. Gleichzeitig haben Forschungsgruppen aus den verschiedensten Bereichen im Technopark Zürich die ideale Umgebung gefunden, um die Kluft zwischen Grundlagenforschung und dem anwendungsorientierten Denken in der Privatwirtschaft zu verkleinern. Heute reicht das Spektrum vom Center for Chemical Sensors (CCS) über die Gruppe Weltraumbiologie, Textil- und Lebensmittelproduktionsforschung bis zu Spin-off-Firmen aus den Bereichen Biomedizin, Com-



Der Technopark Zürich ...

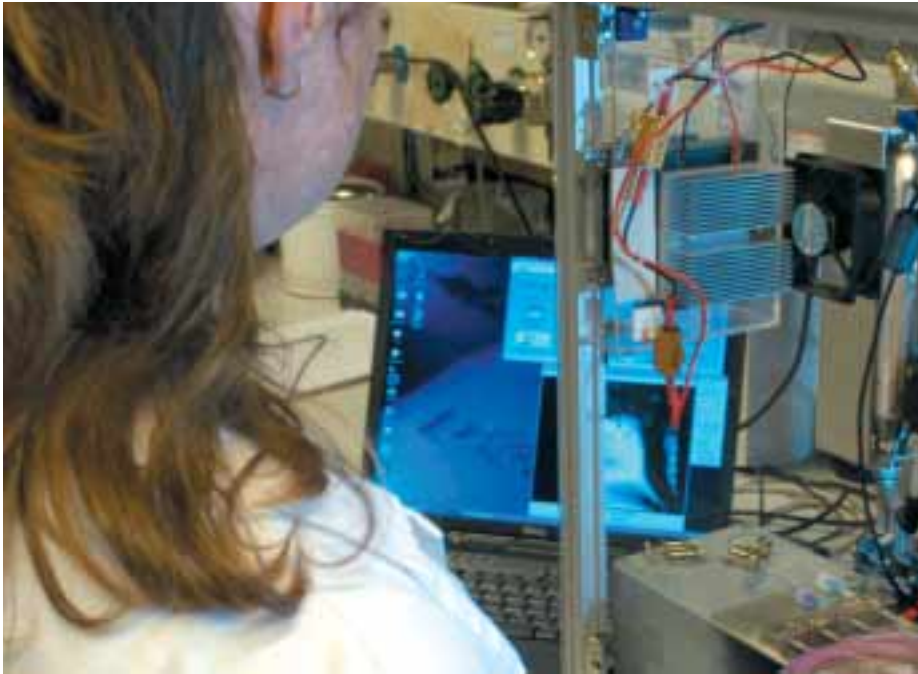
Foto: Stefan Kubli

puteranimation oder auch Ergonomie (siehe Kasten).

Bereits längere Zeit im Technopark angesiedelt ist beispielsweise die Gruppe «Ergonomie und Technologie» des Institutes für Arbeitshygiene. Sie entwickelten in den letzten Jahren verschiedene Tools zur Verbesserung der Usability von Produkten, Websites oder auch Bedienungsanleitungen. Vor etwas mehr als einem Jahr wurde dann auch

eine Spin-off-Firma gegründet – und in ungefähr einem Jahr wollen die Firmengründer definitiv auf eigenen Beinen stehen.

Anders ist der Weg der Firma miromico verlaufen: Verschiedentlich bei Jungunternehmenswettbewerben wie etwa dem Businessplanwettbewerb Venture 2000 ausgezeichnet, musste die junge Firma nach der Gründung im letzten Jahr angesichts der Wirtschaftslage, statt sich auf die Lancie-



Brutstätte für Produkte...

Foto: Stefan Kubli

... von eigens entwickelten biomedizinischen Messgeräten konzentrieren zu können, sich vorerst mit dem Engineering von Chips beschäftigen. «Aber damit haben wir zumindest diese erste harte Zeit überstanden», meint Firmengründer Michael Oberle. «Und unsere eigenen Produkte haben wir noch lange nicht aufgegeben – im Gegenteil: durch das Engineering verdienen wir das Geld, um daran weiterarbeiten zu können.»

Am Jubiläum von Ende März vermochten die ETH-Gruppen und Spin-offs die Gäste jedoch nicht nur durch Spitzentechnologien zu überzeugen: Liebe geht auch durch den Magen, sagten sich die Lebensmitteltechnologien – und servierten frisch produziertes Vanille-Eis.



... und Visionen.

Foto: Stefan Kubli

Ein neues Biotop für Start-ups

Neben dem Technopark hat die ETH Zürich in den vergangenen Monaten ihr Engagement in der Start-up-Förderung verstärkt: Zusammen mit dem Kanton Zürich, der Universität Zürich und der Stadt Schlieren wurde der Verein «Biotop – Lifescience Incubator Schlieren» gegründet.

Der Verein vermietet an Start-ups im Life-Science-Bereich eingerichtete Labors und Büros. Ergänzt werden die Räumlichkeiten durch ein zentrales Labor mit Geräten für den Grundbedarf und einen Seminarraum zur freien Benützung. Die Lokalitäten befinden sich im Biotech Center Zürich auf dem Wagiareal in Schlieren.

Kontakt an der ETH Zürich:
ETH transfer
Dr. Andreas Klöti
ETH HG E 48.2
Tel. 01 632 20 43
E-Mail: andreas.kloeti@sl.ethz.ch

Von Sensoren bis zu den Weltraumbiologen

Eine Auswahl von Forschungsgruppen und Spin-off-Firmen der ETH Zürich im Technopark.

Center for Chemical Sensors (CCS):
Künstliche Spürnasen von Weltklasse.
spichiger@chemsens.pharma.ethz.ch

ergonomie & technologie:
Usability-Tests für mehr Kundennutzen von Websites, Soft- und Hardware.
info@et-usability.ch

Festkörperphysik:
Eine neue Generation von Solarzellen entsteht.
zogg@phys.ethz.ch

Geophysik:
Das Wissen über Erdbeben – und die Erforschung der Gravitation.
gisler@seismo.ifg.ethz.ch und
f.weber@seismo.ifg.ethz.ch

Lebensmittelwissenschaften:
Forschung für die Nahrungsmittelproduktion von morgen.
rita.berozzi@ilw.agrl.ethz.ch

MediaSkills GmbH:
e-learning and knowledge management solutions.
info@mediaskills.ch

miromico ag:
Miniaturisierte Biomedizintechnik.
info@miromico.ch

Novodex AG:
Wir lernen die Computerspiele die Gesetze der Physik.
info@novodex.com

Textilmaschinenbau (automatisierte Produktion):
Neue Verfahren für die Zukunft der Textilherstellung.
leupin@produktion.bepr.ethz.ch

Thales Technologies AG:
The future of screening in organic chemistry.
info@thalestech.com

Weltraumbiologie:
Den Geheimnissen der Biologie im Weltraum auf der Spur.
augusto.cogoli@spacebiol.ethz.ch

FORSCHUNG

DER NEUE ERDBEBENKATALOG DER SCHWEIZ

EIN KRITISCHER BLICK IN VERGANGENE ZEITEN

Der Schweizerische Erdbebenkatalog listet alle historischen Erdbeben in der Schweiz auf. Bisher basierte dieser Katalog allerdings auf teilweise fehlerhaften Quellen. Der Schweizerische Erdbebendienst an der ETH Zürich hat nun einen verbesserten Katalog veröffentlicht.



Schulkinder bestaunen nach dem Erdbeben von Villeneuve (1946) einen Riss in der Hausmauer.

Die Schweiz gilt gemeinhin nicht gerade als Land der grossen Erdbeben. Doch in historischer Zeit haben sich hierzulande verschiedene Beben ereignet, die – wenn sie heute stattfinden würden – beträchtlichen Schaden anrichten würden. Über Anzahl und Ausmass vergangener Ereignisse gibt der Erdbebenkatalog der Schweiz Auskunft. In dieser Datenbank sind sämtliche bekannten historischen Erdbeben registriert. Vor kurzem veröffentlichte der Schweizerische Erdbebendienst (SED) an der ETH Zürich eine neue Version des Katalogs.

Fehlerhafte Datenbank

Der bisherige Erdbebenkatalog wurde in den Siebzigerjahren erstellt, wie Dr. Donat Fäh vom SED erzählt. «Damals stützte man sich vor allem auf ältere Kompilationen, also auf Berichte von Leuten, die bereits ähnliche Listen erstellt hatten.» Die Crux bei diesem Vorgehen ist offensichtlich: «Wenn sich einmal ein Fehler in eine Kompilation eingeschlichen hat, wird er immer weiter getragen.»

Als Ende der Neunzigerjahre die Revision des Katalogs anstand, nahmen die Verantwortlichen die Gelegenheit wahr, die bisherigen Daten kritisch zu begutachten und Fehler auszumerzen. Das liess sich allerdings nur im Rahmen eines grösseren Projekts bewerkstelligen. Insgesamt waren rund 20 Leute an der Erstellung des neuen Katalogs beteiligt.

Nur leicht zugängliche Archive ausgewertet

In einem ersten Teil des Projekts wurden die überlieferten Berichte von Erdbeben historisch neu bewertet. «Aus Kosten- und Zeitgründen konnten wir allerdings nur in den leicht zugänglichen grossen Archiven ausführlich recherchieren», berichtet Fäh. «Die lokalen Dorf- und Kirchenarchive konnten nur in Ansätzen in die Untersuchung mit einbezogen werden.» Vor allem über ältere Ereignisse im Kanton Wallis sind in den grossen Archiven relativ wenige Angaben zu finden. Ein Mangel, wie Fäh einräumt, handelt es sich dabei doch um eine der wichtigsten Erdbebenregionen der Schweiz. Tatsächlich hat der Erdbebenkatalog einige Korrekturen erfahren. «Wir haben festge-

stellt, dass es im alten Katalog viele Duplikate gab», meint Fäh. Doppelspurigkeiten gab es insbesondere bei alten Erdbeben, die wegen der Umstellung des Kalenders im 16. Jahrhundert mehrmals aufgenommen wurden. Fehler gab es auch bei der Zuordnung von Ortschaften, und teilweise sind auch Übertragungsfehler der Grund für falsche Einträge. So ist beispielsweise das Beben von Lindau im Jahre 1720 im alten Katalog als schweres Ereignis aufgeführt, weil in den Kompilationen von «zerstörten Häusern» berichtet wird. Die Historiker fanden nun jedoch heraus, dass im ursprünglichen Bericht nur von «durchgeschüttelten Häusern» die Rede ist.

Insgesamt wurden mehr als 600 Ereignisse historisch neu bewertet. 177 davon erreichten die Intensität VI oder höher, verursachten also zum Teil massive Schäden an Gebäuden. Immerhin 260 Ereignisse, die im alten Katalog aufgeführt wurden, konnten als fehlerhafte Einträge oder Duplikate identifiziert werden. Vereinzelt haben die Historiker aber auch Beben entdeckt, von denen man bisher nichts wusste.

Umrechnung auf Magnitude

In einem zweiten Schritt haben die Wissenschaftler die historischen Überlieferungen seismologisch interpretiert. Von allen Erdbeben, bei denen nennenswerte Effekte auftraten, wurden sogenannte Intensitätsfelder bestimmt. Diese Karten zeigen auf, wo welche Schäden festgestellt wurden. In einem dritten Schritt berechneten die Seismologen die physikalischen Parameter des Erdbebens, also die Lokalität des Epizentrums, die Tiefenklasse des Erdbebenherdes sowie die Magnitude des Bebens.

GALERIE



Historische Erdbeben auf einer Karte.

Da für historische Beben keine instrumentellen Messdaten vorliegen, musste dazu eigens eine Kalibrierung erstellt werden. «Wir haben die Messdaten der grösseren Beben im 20. Jahrhundert ausgewertet und mit den beobachteten Intensitäten verglichen», erklärt Fäh. Aufgrund dieser Kalibrierung konnte dann die Magnitude der historischen Beben berechnet werden. Der SED will nun in der nächsten Zeit eine neue pro-

babilitische seismische Gefährdungskarte der Schweiz fertigstellen.

Felix Würsten

Dieser Bericht erschien erstmals in «ETH Life», der täglichen Webzeitung der ETH www.ethlife.ethz.ch

Haben Sie ein Erdbeben verspürt?

Um historische Ereignisse besser interpretieren zu können, interessiert sich der Schweizerische Erdbebendienst auch bei heutigen Erdbeben für persönliche Beobachtungen. Meldungen können auf der Internetseite des Erdbebendienstes (<http://www.seismo.ethz.ch/>) gemacht werden. Dabei ist es auch von Interesse, wenn ein Ereignis nicht verspürt wurde.

Lucas Bretschger ist seit dem 1. Januar 2003 ordentlicher Professor für Ökonomie/Ressourcenökonomie am Institut für Wirtschaftsforschung (WIF) der ETH Zürich und Titularprofessor an der Universität Zürich.



Er wurde am 12. August 1958 in Zürich geboren und studierte Volkswirtschaftslehre an der Universität Zürich. Im Anschluss an seine Tätigkeit als Finanzanalyst und als Assistent am Institut für Empirische Wirtschaftsforschung (IEW) erlangte er 1988 die Promotion an der Universität Zürich. Nach einem einjährigen Aufenthalt an der Princeton University als Visiting Fellow erhielt er die Venia Legendi (Habilitation) an der Universität Zürich. Zwischen 1994 und 1998 war er Gastprofessor und Lehrstuhlvertreter an den Universitäten von Konstanz, La Paz und Greifswald, wo er 1999 zum ordentlichen Professor für Allgemeine Volkswirtschaftslehre ernannt wurde. Seit 2003 ist er ordentlicher Professor an der ETH Zürich und Leiter der Gruppe für Ressourcenökonomie. Die Forschungsinteressen von Lucas Bretschger liegen hauptsächlich im Gebiet der dynamischen ökonomischen Theorie, insbesondere bei den Ressourcen- und Innovationsmodellen, mit spezieller Vertiefung im Gebiet der Substitution natürlicher Ressourcen in Mehr-Sektoren-Modellen mit endogenem Wachstum. Zusätzlich beschäftigt sich Bretschger vor allem mit den globalen wirtschaftlichen Interdependenzen, der räumlichen Verteilung wirtschaftlicher Aktivitäten und der allgemeinen makroökonomischen Theorie. Aufgrund der in seiner Forschung vorgenommenen Integration von Ressourcenknappheit und Umweltverschmutzung in die dynamisch-ökonomische Theorie können Resultate zur Formulierung von Strategien für das Erreichen einer langfristig nachhaltigen Entwicklung in der Zukunft abgeleitet werden. Bretschger hat viele wissenschaftliche Artikel in internationalen Zeitschriften publiziert und ist Autor verschiedener ökonomischer Lehrbücher. Zwei seiner Aufsätze wurden von

NEWS

Swiss Technology Award für ETH und PSI

(StS) Das von der ETHZ und vom Paul Scherrer-Institut entwickelte Brennstoffzellensystem «Powerpac» ist mit dem Schweizer Technologiepreis ausgezeichnet worden. Der tragbare Stromgenerator erzeugt elektrischen Strom, indem er Wasserstoff in

Wärme und Wasser umwandelt. Seine Leistung im Bereich von 500 bis 2000 Watt ermöglicht beispielsweise den Betrieb von Rasenmähern ohne Lärm oder versorgt Wohnwagen mit umweltfreundlicher Elektrizität.

Info: www.powerpac.ch;
Kontakt: schmid@imes.mavt.ethz.ch

Stabile polymerartige Halbleiter

(StS) Wissenschaftler des Departements Materialwissenschaften der ETHZ haben erstmals stabile Feldeffekttransistoren auf der Basis polymerartiger Werkstoffe entwickelt. Hierzu haben sie anorganisch-organische Hybridverbindungen hergestellt, die sich in einer quasi-eindimensionalen supramolekularen Struktur anordnen. Sie bilden einen Platinstab von atomarem Durchmesser, der von organischem Material ummantelt ist. Solche polymerartigen

Materialien können zum Beispiel zu Filmen verarbeitet werden. In Zusammenarbeit mit der Universität Cambridge konnte gezeigt werden, dass sich solche Filme zur Herstellung von Feldeffekt-Transistoren eignen, die eine aussergewöhnliche Stabilität aufweisen. Auch nach sechs Monaten an der Luft und bei Tageslicht beziehungsweise zwölf oder mehr Stunden im Wasser bei 90 °C änderten sich die elektrischen Kennwerte der Transistoren nicht.

Info: PD Dr. Walter Caser,
E-Mail: wcaseri@ifp.mat.ethz.ch

der Schweizerischen Gesellschaft für Volkswirtschaft und Statistik und der Schweizerischen Gesellschaft für Konjunkturforschung ausgezeichnet. Zudem hat er verschiedene angewandte Forschungsprojekte in den Bereichen Umweltökonomie und Wettbewerbsfähigkeit von Wirtschaftsstandorten geleitet. Er ist ausserdem Mitglied des Ausschusses für Aussenwirtschaft des Vereins für Sozialpolitik.

Hugo Bucher ist seit dem 16. Oktober 2001 ordentlicher Professor für Paläozoologie an der Universität Zürich und der ETH Zürich sowie Direktor des Paläontologischen Instituts und Museums.



Er wurde am 20. Februar 1960 in Boulogne-Billancourt in Frankreich geboren und studierte Geologie an der Universität von Lausanne, an der er 1990 unter der Leitung von Professor Jean Guex in Paläontologie promovierte. Mit einem Forschungsstipendium des Schweizerischen Nationalfonds führte er von 1991 bis 1993 seine Forschungen am Geological Survey of Canada (Vancouver, British Columbia) weiter. 1994 wurde er vom Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) als wissenschaftlicher Mitarbeiter angestellt und 1995 als Professor an die Universität Claude-Bernard Lyon I berufen.

Hugo Buchers Hauptinteressen liegen in den Bereichen Formgestaltung und Wachstum der Molluskenschalen, der morphologischen und evolutionären Muster, der quantitativen Biochronologie und weitreichender Änderungen der Artenvielfalt im Verlauf längerer Zeiträume als Reaktion auf grosse umweltbedingte Veränderungen. Bei der Mehrheit dieser Forschungsgebiete stehen Untersuchungen an Trias-Ammonoiten im Zentrum. Zur Beschaffung des Untersuchungsmaterials werden umfangreiche Geländetätigkeiten in den nordame-

rikanischen Kordillern, im Himalaja und in Südchina durchgeführt.

David Basin ist seit dem 1. Januar 2003 ordentlicher Professor an der ETH Zürich und hat die Professur für Informationssicherheit im Departement Informatik inne.



1984 erhielt er vom Reed College seinen Bachelors Degree in Mathematik, 1989 seinen Ph. D. von der Cornell University und 1996 habilitierte er an der Universität des Saarlandes. Nach seiner Promotion, von 1990 bis 1991 forschte er an der Universität von Edinburgh. Von 1992 bis 1997 leitete er eine Untergruppe innerhalb der Forschungsabteilung Logik der Programmierung am Max-Planck-Institut für Informatik. Als ordentlicher Professor an der Universität Freiburg in Deutschland arbeitete er von 1997 bis 2002.

Sein Forschungsgebiet ist die Informationssicherheit, vor allem Methoden und Werkzeuge, um sichere und verlässliche Systeme aufzubauen. Zurzeit leitet er das ZISC (Zurich Information Security Center). Ausserdem ist er Mitglied der Redaktionsvorstände von Acta Informatica und Higher-Order und Symbolic Computation.

Akademische Ehrungen

Prof. Dr. Marc Angéilil, Professor der ETH Zürich für Architektur und Entwurf, hat zusammen mit seiner Partnerin Sahara Graham für sein Kindermuseums-Projekt in Los Angeles eine Auszeichnung des American Institute of Architects (AIA) erhalten.

Prof. Dr. Henry Baltes, Professor der ETH Zürich für physikalische Elektronik, ist zum Fellow des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ernannt worden.

Prof. Dr. Hans Peter Geering, Professor der ETH Zürich für Regeltechnik und Mechatronik, ist zum Fellow des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ernannt worden.

Prof. Dr. Detlef Günther, Professor der ETH Zürich für Analytische Chemie und Spurenanalytik, ist der 2003 European Award für Spectrochemistry verliehen worden.

Prof. Dr. Alexander N. Halliday, Professor der ETH Zürich für Isotopengeochemie, ist von der Geological Society, London, die Murchison Medal 2003 verliehen worden.

Prof. Dr. Ueli Maurer, Professor der ETH Zürich für Informatik, ist zum Fellow des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ernannt worden.

Prof. Dr. Manfred Morari, Professor der ETH Zürich für Automatik, ist der Cast Division Award 2002 der AIChE verliehen worden.

Prof. Dr. Michele Parrinello, Professor der ETH Zürich für Computational Sciences und Direktor des CSCS, Manno, ist von der Universität Messina, Italien, der Ehrendoktor der Chemie verliehen worden.

Prof. Dr. Dieter Seebach, Professor der ETH Zürich für Chemie, ist vom Vorstand der Gesellschaft Deutscher Chemiker in Anerkennung seiner Verdienste um die Chemie die «August-Wilhelm-von-Hofmann-Denk-münze» verliehen worden.

Prof. Dr. Erich Josef Windhab, Professor der ETH Zürich für Lebensmittelverfahrenstechnik, ist zum Mitglied der European Academy of Sciences gewählt worden.

Prof. Dr. Gisbert Wüstholtz, Professor der ETH Zürich für Mathematik, ist vom Rat der Akademie der Berlin-Brandenburgischen Akademie zum ordentlichen Mitglied gewählt worden.

Prof. Dr. Helmut Bölcskei, Professor der ETH Zürich für Kommunikationstechnik, ist mit dem 2001 IEEE Signal Processing Society Young Author Best Paper Award ausgezeichnet worden.

NEUE BÜCHER

Brigitte Boothe, Bettina Ugolini (Hrsg.)

Lebenshorizont Alter

Reihe Zürcher Hochschulforum, Band 35
264 Seiten, zahlreiche Abbildungen,
Format 17 x 24 cm, broschiert, Fr. 48.–
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich,
2003



Wenn die Enkelkinder heranwachsen, die Berufsarbeit zu Ende geht und das Haar grau wird, dann befindet man sich in einer Lebensphase, die dazu herausfordert, dem Vergangenen Rechnung zu tragen und die Gegenwart neu zu gestalten. Das gilt für die Ebene des Körperlichen ebenso wie für die Welt der Beziehungen und des sozialen Lebens; das gilt für das Denken und Fühlen ebenso wie für das religiöse Selbstverständnis. Das gilt für Intimität und Privatheit wie für die Beziehung zur politischen und kulturellen Öffentlichkeit.

Die politische und kulturelle Öffentlichkeit verlangt die intensive Erforschung des höheren Lebensalters, denn die Seniorinnen und Senioren stehen nicht mehr am Rande, sondern rücken in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit: weil es so viele sind, weil sie finanziell gut gestellt sind, mobil, agil, kontaktfreudig, und die Ernte des Lebens mit kräftigen Armen einfahren wollen; oder aber weil sie arm sind, einsam, elend, unseren Schutz verlangen und unsere Gewalt und unsere Vormundschaft fürchten.

Die Publikation gibt einen Einblick in die medizinische Altersforschung heute, fragt nach dem Alltag alter Menschen, nach ihren Beziehungen, ihren Träumen, Erinnerungen, ihrem religiösen Erleben, ihren Hoffnungen und ihrem Standort im Leben.

Helga Nowotny (Hrsg.)

Jahrbuch des Collegium Helveticum

388 Seiten, inkl. CD-ROM,
Format 13 x 21,5 cm, Fr. 48.–
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich,
2003



Das Collegium Helveticum der ETH Zürich bietet Wissenschaftlern einen einmaligen Freiraum für ihre Arbeit. Damit verbunden ist der interdisziplinäre Auftrag, über die Grenzen der eigenen Disziplin zu blicken und verstehen zu lernen, wie Wissenschaften untereinander und mit Blick auf die Öffentlichkeit kommunizieren können.

Das vorliegende Jahrbuch resümiert wiederum die Ereignisse, die sich während des Jahres abgespielt haben. Die Gruppe der Kollegiaten entschloss sich diesmal, «eine etwas andere Auseinandersetzung mit der Wissenschaft» zu suchen. Das Ergebnis ist ein gemeinsam produziertes Hörspiel mit dem Titel «Reparatur», das als CD beigelegt ist und die Berichte der KollegiatInnen ergänzt.

Begleitet haben diese Prozesse die Gäste aus Wissenschaft, Literatur und Kunst. Sie alle haben während ihres Aufenthalts in unterschiedlichem Ausmass am Leben des Collegium Helveticum teilgenommen und dieses mitgeprägt. Ein Höhepunkt der besonderen Art war der Besuch von Bundesrätin Ruth Dreifuss anlässlich der Fünf-Jahres-Feier des Collegium Helveticum. Ihre Ansprache ist in diesem Band vollständig abgedruckt.

Peter Jenny (Hrsg.)

Notizen zur Fototechnik

10., vollständig überarbeitete Auflage,
212 Seiten, Format 10,5 x 14,8 cm, englisch,
brochiert, Fr. 28.–
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich,
2003



Fotografie ist das demokratischste Bildmittel überhaupt: «Alle können, wenn sie wollen.» Ausserordentliche Resultate gelingen jedoch nur wenigen. Die Spitze bleibt spitz (wie bei jeder Tätigkeit), trotz oder gerade wegen der enormen Breite der Basis. Auch wenn die Elektronik die Fotografie verändert, handelt es sich beim Fotoapparat letztlich um ein Werkzeug. Dieses legen wir an auf unsere Umgebung, damit bearbeiten wir unsere Nächsten: Grund genug, um diesem Instrument die nötige Aufmerksamkeit zu schenken.

Die zehnte Auflage wurde um ein separates Kapitel zur Digitalfotografie erweitert. Neu sind auch zahlreiche Hinweise zu WWW-Adressen mit weiterführenden Informationen.

Verein FRAU AM BAU (Hrsg.)

Brennpunkt Frau am Bau

Chancengleichheit und Personalentwicklung in der Bauplanungsbranche
176 Seiten, Format 16 x 23 cm, broschiert,
Fr. 38.–
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich,
2003

In diesem Buch werden Erfahrungen mit Gleichstellungsthemen in der Baubranche dargestellt. Anhand verschiedener Materialien, von Fall- und Musterbeispielen sowie Instrumenten wie einem Personalentwicklungskonzept und einem Leitfaden für ein Lohnsystem wird zukunftsorientiert die Gleichstellung in der Baubranche vorangetrieben. Der Fokus liegt auf der Vermittlung von Erfahrungen und Insiderwissen zur Gestaltung der Zukunft.

IM GESPRÄCH

INTERVIEW MIT KULTURINGENIEUR ANDREAS ZYSSET

«ICH BIN NICHT DER TYP, DER AUF DIE BARRIKADEN STEIGT»

Nach Studium und Dissertation an der ETH und einem Abstecher in den diplomatischen Dienst arbeitet Andreas Zysset seit 1995 beim Ingenieur- und Beratungsbüro Ernst, Basler + Partner. Zysset betreut als Wasserspezialist im Geschäftsbereich Umwelt diverse Projekte im In- und Ausland.

Erst vor kurzem ist das Wasserforum in Kyoto zu Ende gegangen. Haben Sie die Konferenz berufshalber mitverfolgt?

Kyoto war sicher eines der Schlüsselereignisse im Jahr des Wassers. Ich habe über die Medien vor allem die Arbeit der Schweizer Delegation mitverfolgt, die interessante Vorschläge einbrachte, wie eine Umwelthaftpflicht-Regelung international eingeführt werden könnte. Wenn die Diskussionen dazu weitergehen und der Vorschlag nicht einfach schubladisiert wird, wäre das sicher ein Erfolg.

Ein anderes Konferenzthema betraf die Privatisierung von Trinkwasser. Der Ruf nach Privatisierungen ist heute ja entschieden kleiner als noch vor zwei, drei Jahren. Warum also diskutierte man 2003 noch darüber?

Der Ursprung der ganzen Privatisierungsdiskussion beim Wasser liegt im hohen Investitionsbedarf, den man ausgemacht hat, um mittelfristig den Zugang zum Trinkwasser zu verbessern. Heute leben gemäss Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation rund 2,4 Milliarden Menschen ohne Zugang zu sauberem Wasser, und die internationale Gemeinschaft will diese Zahl bis ins Jahr 2015 halbieren. Man hofft nun, dass diese hohen Investitionen mindestens teilweise privat finanziert werden könnten.



Andreas Zysset arbeitet gerade an einem Massnahmenplan Wasser für den Kanton Zürich.

Soll und kann man die Trinkwasserversorgung in private Hände legen?

Privatisierung ist kein Patentrezept. Ebenso falsch wäre es aber, den Gedanken in Bausch und Bogen zu verwerfen. In Frankreich zum Beispiel kennt man seit rund 100 Jahren eine private Wasserversorgung, die

relativ gut funktioniert. Anderes Beispiel: Ich habe gerade kürzlich eine Studie über Argentinien gelesen, in der private und öffentliche Wasserversorgungen miteinander verglichen wurden. Die Studie kommt zum Schluss, dass die Kindersterblichkeit in Gebieten mit privaten Anbietern kleiner aus-

fiel als bei den öffentlichen Wasserversorgern. Dies gesagt, gibt es auch genügend Gegenbeispiele, wo sich die Situation für die arme Bevölkerung nach der Privatisierung der Wasserversorgung verschlechtert statt verbessert hat.

Das sind nun zwei Beispiele aus dem Ausland. Und die Schweiz?

Grundsätzlich gilt: Die Wasserversorgung in der Schweiz ist Sache der Gemeinden. Damit sind diese frei, wie sie sich organisieren wollen. Ich glaube aber nicht, dass hierzulande eine Privatisierung der Wasserversorgung politisch eine grosse Chance hat. Abstimmungen der letzten zwei Jahre über die privatrechtliche Umwandlung von städtischen Wasser- und Elektrizitätswerken deuten darauf hin. Offenbar ist Wasser in der Wahrnehmung von vielen ein öffentliches Gut, das nicht privatisiert werden kann. Das heisst aber nicht, dass man in Zukunft nicht vermehrt die Wirtschaftlichkeit gewisser Werke unter die Lupe nehmen wird.

Sie arbeiten seit 1995 bei Ernst, Basler + Partner. Woran arbeiten Sie gerade in diesen Tagen?

Wir sind gerade mit einem Massnahmenplan Wasser für den Kanton Zürich beschäftigt. Im Auftrag des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) haben wir eine Bestandesaufnahme gemacht über Gewässerschutz, Wasserversorgung und Hochwasserschutz. Es geht darum herauszufinden, wie die drei Bereiche noch verschränkter zusammenarbeiten können. Die nächste Phase der detaillierten Analyse beginnt übrigens in den nächsten Wochen im Glatttal.

Warum braucht es überhaupt externe Berater? Ein Amt könnte doch auch selber darauf kommen, dass die verschiedenen Stellen mehr zusammenarbeiten müssen...

Die Leute in der Verwaltung kennen die Sachlage sicher am besten. Wir können aufgrund unserer langjährigen Erfahrung Methoden zur Verfügung stellen, um Schwachstellen zu finden und Verbesserungsvorschläge zu machen. Vielleicht spricht auch dafür, jemanden extern zu engagieren, weil man als Aussenstehender weniger betriebsblind ist. Schliesslich müssen Mitarbeitende des AWEL ja weiter das Tagesgeschäft erledigen, was schwer vereinbar ist mit der Durchführung einer grösseren Untersuchung.

Sind die Fragestellungen für Projekte im Ausland ähnlich gelagert wie in der Schweiz?

Das Bedürfnis nach sauberem Trinkwasser besteht natürlich überall gleich. Aber die Voraussetzungen sind verschieden. Ein Projekt, an dem Ernst, Basler + Partner schon seit längerem arbeiten, ist der Ohrid-See im Grenzgebiet zwischen Albanien und Mazedonien. Der Ohrid-See ist zwei bis drei Millionen Jahren alt und hat eine eigene Pflanzen- und Tierwelt, vergleichbar vielleicht mit dem bekannteren Baikalsee.

Seit 1995 sind wir in verschiedenen Teilprojekten mit dem Ohrid-See betraut, in Zusammenarbeit mit regionalen Behörden und internationalen Organisationen wie etwa der Weltbank. Zurzeit sind wir gerade daran, eine internationale Konferenz zu organisieren, die diesen Herbst am Ohridsee stattfinden soll und von der Schweiz initiiert wurde.

Was stand am Anfang dieser Schutzanstrengungen für den Ohrid-See?

Man hat festgestellt, dass zu viele Nährstoffe in den See gelangen, vor allem durch ungeklärte Abwasser, und die einmalige Tier- und Pflanzenwelt über die nächsten zehn bis zwanzig Jahre auszusterben droht. Diesen Befund eines lokalen wissenschaftlichen Instituts hat dann unsere Firma in einem ersten Projekt erhärten können.

In Ihrer Funktion sind Sie ja eine Art Advokat für den Umweltgedanken. Warum arbeiten Sie nicht gleich für eine Organisation wie Greenpeace oder Pro Natura? (langes Schweigen...)

Ich bin nicht unbedingt der Typ, der auf die Barrikaden steigt für eine Sache, sondern schätze es, als Kulturingenieur nach Lösungen zu suchen, die konsensorientiert sind. Zuweilen beneide ich allerdings schon Leute von NGO's, die ihren Standpunkt offen vertreten können, ohne irgendwelche Rücksichten nehmen zu müssen.

Sie arbeiteten während zwei Jahren für den diplomatischen Dienst. Warum gaben Sie ein so kurzes Gastspiel im EDA?

Ich hatte mich während meiner Diss für die Aufnahmeprüfung in den diplomatischen Dienst angemeldet und war dann ein Jahr in Bern und ein Jahr in Kairo. Alles in allem eine spannende Zeit für mich mit Begegnungen, die ich vorher an der ETH nicht machen konnte. Schliesslich aber wollte ich

aus familiären Gründen doch einen Job ohne dauerndes Herumreisen. Heute bin ich vielleicht während ein bis zwei Monaten pro Jahr im Ausland, was besser für mich passt, als alle paar Jahre mit der ganzen Familie wieder die Koffer zu packen und in ein neues Land zu reisen.

Interview von Roman Klingler

Andreas Zysset schloss 1988 als dipl. Kulturing. ETH ab und verfasste anschliessend eine Dissertation über Grundwassermodellierung. Zwischen 1993 und 1995 war er für das Eidgenössische Departement für auswärtige Angelegenheiten (EDA) tätig, darunter ein Jahr als Attaché auf der Botschaft in Kairo. Seit 1995 arbeitet Andreas Zysset für das Ingenieur-, Planungs- und Beratungsunternehmen Ernst, Basler + Partner mit Hauptsitz in Zollikon. Das Unternehmen beschäftigt rund 240 Mitarbeitende. Andreas Zysset ist Mitglied der Geschäftsbereichsleitung «Umwelt». Sein Arbeitsbereich befasst sich primär mit Wasseraufgaben und erarbeitet dazu strategische Konzepte, führt Projektbeurteilungen durch und begleitet Investitionsprojekte. Wichtigste Auftraggeber sind öffentliche Stellen.

TREFFPUNKT

BUSINESS DINNER VOM 27. MAI 2003 MIT PETER QUADRI, VORSITZENDER DER GESCHÄFTSLEITUNG IBM (SCHWEIZ) AG, ZÜRICH

Technologie und Management im Wandel: Wohin geht die Entwicklung der Technologie und wie wird sie sich auf Unternehmen und Wirtschaft auswirken? Was bedeutet dies für Führungskräfte? Welches sind die Auswirkungen für unsere Gesellschaft?

Peter Quadri schloss sein Studium an der Universität Zürich als lic. oec. publ. ab. 1970 trat er in die IBM Schweiz ein. Nach Auslandseinsätzen übte er verschiedene Managementfunktionen in der Verkaufsorganisation aus. 1996 wurde er Mitglied der Ge-

schäftsleitung der IBM Schweiz und übernahm die Verantwortung für das Dienstleistungsgeschäft (Global Services). Seit Juli 1998 ist Peter Quadri Vorsitzender der Geschäftsleitung der IBM (Schweiz) AG.

ETH Alumni Business Dinner, 18.00–21.00 Uhr
Dozentenfoyer, ETH Hauptgebäude, Stockwerk J, Mitglieder Fr. 80.–, Gäste Fr. 90.–

BUSINESS LUNCH VOM 16. JUNI 2003 MIT DR. ELMAR WIEDERIN, DIREKTOR THE BOSTON CONSULTING GROUP AG, ZÜRICH

Erfolg in unsicheren Zeiten: Sinkende Börsenkurse, tiefe Zinsen, hohe Arbeitslosigkeit, viele Konkurse. Dies stellt das Management vor ungewöhnliche Herausforderungen. Welche Prioritäten soll man in diesen Zeiten setzen, um den Erfolg am Markt sicherzustellen und die Mitarbeiter zu motivieren?

Elmar Wiederin doktorierte in Betriebswirtschaft an der Universität Innsbruck und erwarb einen MBA am INSEAD. 1983 begann seine Karriere bei der Boston Consulting Group in München. 1989 erfolgte der Übertritt nach Zürich, 1998 die Ernennung zum Leiter Schweiz. Elmar Wiederin befasst sich schwergezwichtig mit Strategie und Corpo-

rate Development für Kunden im Bereich Financial Services und Familienunternehmen.

ETH Alumni Business Lunch, 11.45–13.45 Uhr
GEP-Pavillon, ETH Zentrum,
Mitglieder Fr. 70.–, Gäste Fr. 80.–

ETH Alumni

Vereinigung der Absolventinnen und Absolventen der ETH Zürich, ETH Zentrum, 8092 Zürich, Tel. 01-632 51 00, Fax 01-632 13 29, info@alumni.ethz.ch, www.alumni.ethz.ch

WASSERSTADT ZÜRICH

Zürich ist eine Wasserstadt. Im Internationalen Jahr des Süsswassers 2003 soll dies noch deutlicher werden. See, Limmat, Sihl und all die anderen sichtbaren und unsichtbaren Gewässer stehen vom 21. Juni bis zum 20. Juli im Zentrum der Wasserstadt.

Ein Wasserpfad führt durch Zürich. Er zeigt, woher die Stadt ihr Trinkwasser nimmt und auf welchen Kanälen der Regen wieder verschwindet. Wem gehört das Wasser im See, wie viele Liter Wasser stecken in der Tomate und wie gut geht es den Zürcher Fischen eigentlich? Antworten auf diese und hundert andere Fragen gibt es an den Wasserorten. Sie finden sich entlang der Limmat, decken Verborgenes und Vergessenes auf und holen das Selbstverständliche ins Bewusstsein.



Tage der offenen Tür, Führungen, Konzerte und Lesungen begleiten das Projekt.

Träger des Projektes Wasserstadt sind:

Projektteam
AWEL
EAWAG
ERZ
ewz
WVZ
WWF

Programm und weitere Informationen:
www.wasserstadt.ch

CAREER START



Geben Sie Impulse, setzen Sie Ihr Wissen um und verwirklichen Sie Ihre Ziele. Bei uns haben qualifizierte, talentierte und motivierte Persönlichkeiten mit einem (Fach-) Hochschulabschluss vielfältige und individuelle Einstiegs- und Laufbahnmöglichkeiten. Ob im globalen Investmentbanking/Trading, im internationalen Private Banking, in der weltweiten Vermögensverwaltung für institutionelle Anleger oder im Fondsbereich, im Firmen- und Individualkundengeschäft, e-Business oder bei Versicherungsdienstleistungen im Leben- und Nichtlebensgeschäft, überall stellen sich Ihnen interessante Herausforderungen. Und stets bieten sich Ihnen vielfältige Perspektiven für eine aussergewöhnliche Karriere bei der CREDIT SUISSE GROUP. Kommen Sie mit uns ins Gespräch!

