

# Bulletin - Magazin der ETH Zürich

**Journal Issue**

**Publication date:**

2001-01

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000916359>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

**Originally published in:**

Bulletin - Magazin der ETH Zürich

# **BULLETIN**

**MAGAZIN DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH**

## **KLIMAWANDEL**

**KLIMAWANDEL UND KLIMAPOLITIK**  
Chancen und Risiken im Klimapoker

**DIE GESCHICHTE DES OZONLOCHS**  
Ein wissenschaftlich-politisches Lehrstück

**WISSENSCHAFT UND ÖFFENTLICHKEIT**  
Unsicherheiten in der Klimadebatte  
wie kommunizieren?

**MIT UNSICHERHEITEN RECHNEN**  
Modelle in der Klimadebatte

**IMPRESSUM:****HERAUSGEBERIN:** Schulleitung der ETH Zürich**REDAKTION:** Lic. phil. I Martina Märki-Koepp (mm)  
Redaktionelle Mitarbeit:  
Vanja Cucak (vac), En bref  
Susanne Seytter, Alumni Aktuell  
Corporate Communications der ETH Zürich  
ETH Zentrum, 8092 Zürich  
Tel. 01.632 42 52 Fax 01.632 35 25**INSERATE:** Gol Uni-Werbung, Rosenheimstr. 12  
9008 St. Gallen, Tel. 071.244 10 10**GESTALTUNG:** inform, Zürich**DRUCK:** NZZ Fretz AG, Zürich**AUFLAGE:** Erscheint 4-mal jährlich  
Auflage dieser Ausgabe 25 000**BILDQUELLEN:** Titelbild: SOLVE Homepage <http://cloud1.arc.nasa.gov/solve/>  
mit freundlicher Erlaubnis des NASA Ames Research Center  
Sonstiges Bildmaterial:  
S. Bernasconi: S. 5, 20, 41–45  
Eid. Institut für Schnee- und  
Lawinenforschung Davos: S. 6, 9–11, 13–15, 36–37, 51–52  
Eawag: S. 7–8, 25–26, 29–33, 37–38  
J. Pfister: S. 11–13, 27–28, 49–50  
VAW Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie  
und Glaziologie: S. 15–17  
F. Klötzli: S. 17–18, 40  
G. R. Walther: S. 19–20, 33–35, 39–40  
SOLVE Homepage: S. 11, 21–22  
J.-P. Jordan, Bundesamt für Wasser  
und Geologie, BWG: S. 23–24, 30  
A. Elzinga: S. 45–48  
A. Ohmura: S. 52

Nachdruck mit Quellenangabe erwünscht. Die nächste Ausgabe, Nr. 281, zum Thema  
«Zürich – nachhaltige Stadtentwicklung» erscheint Ende April 2001.  
Bulletin ist auch auf dem WWW abrufbar: <http://www.cc.ethz.ch/bulletin/>

# INHALT

## **6\_KLIMAWANDEL UND KLIMAPOLITIK** **Chancen und Risiken im Klimapoker**

Stephan Kux

## **10\_DIE GESCHICHTE DES OZONLOCHS** **Ein wissenschaftlich-politisches Lehrstück**

Thomas Peter und Johannes Staehelin

## **14\_WISSENSCHAFT UND ÖFFENTLICHKEIT** **Unsicherheiten in der Klimadebatte wie kommunizieren?**

Claudia Phal-Wostl und Martin Büssenschütt

## **18\_MIT UNSICHERHEITEN RECHNEN** **Modelle in der Klimadebatte**

Christoph Schär und Martin Wild

## **22\_INTERANNUELLE KLIMASCHWANKUNGEN** **Auf den Spuren von El Niño**

Huw C. Davies

## **26\_KLIMAWANDEL UND WASSERHAUSHALT** **Zwischen Dürre und Hochwasser**

Paolo Burlando

## **30\_KLIMA IM ALPENRAUM** **Extremniederschläge im Wandel?**

Christoph Frei

## **34\_KLIMAVERÄNDERUNG UND WALDSYSTEME** **Fiebertemperaturen am Gebirgswald**

Harald Bugmann

## **38\_KLIMAWANDEL UND VEGETATION II** **Die Palmen kommen**

Gian Reto Walther

## **42\_ZEUGEN DER KLIMAVERGANGENHEIT** **Riffsterben in der Erdgeschichte**

Helmut Weissert und Lukas Wissler

## **46\_POLARFORSCHUNG ZWISCHEN WISSEN- SCHAFT UND POLITIK** **Eis zum Reden bringen**

Aant Elzinga

## **50\_DAS GENAUESTE STRAHLUNGSMESSNETZ DER WELT** **Ist der wachsende Treibhauseffekt erkennbar?**

Atsumu Ohmura

## **53\_EN BREF** **Ereignisse an der ETH**

## **63\_ALUMNI AKTUELL**







# KLIMAWANDEL

MARTINA MÄRKI-KOEPF

Den Haag im November: Mehr als 5000 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, Politiker, Journalisten und Umweltschützer aus aller Welt sind versammelt, um über die Implementierung des Klimaprotokolls von Kyoto, das drei Jahre zuvor verabschiedet worden war, zu beraten. Die Zeit drängt, denn viele Fragen sind offen. Kann das Protokoll aber nicht bis 2002 in Kraft gesetzt werden, sind seine Ziele (Reduktion der Treibhausgasemissionen der beteiligten 38 Industrienationen um mindestens 5 Prozent unter das Niveau von 1990 in einem Zeitraum von 2008 bis 2012) kaum zu erreichen. Am 24. November berichtet Dr. Andreas Fischlin, ETH-Forscher im Bereich terrestrische Ökologie und wissenschaftlicher Vertreter der Schweizer Delegation aus Den Haag: «Der Ausgang der Verhandlungen ist zurzeit ungewiss. Die Situation ist äusserst angespannt. Die EU ist verärgert, wir enttäuscht. Aber auch die USA und weitere Mitglieder der Umbrella-Gruppe sind erbost. Die Lage muss also insgesamt als kritisch angesehen werden.» ([www.proclim.ch](http://www.proclim.ch)) Am folgenden Abend, mehr als zwei Stunden nach der bereits verlängerten Frist, trennte man sich in Den Haag nach zweiwöchigen Verhandlungen – ohne Erfolg, wie offiziell eingestanden wurde, doch mit dem Vorsatz, voraussichtlich im Mai weiterzuverhandeln.

Gewiss, die Umsetzung globaler Ziele in detaillierte Massnahmenpläne ist schwierig, die Klimaproblematik ist überaus komplex, vielfältige politische und wirtschaftliche Interessen stossen bei den Verhandlungen aufeinander. Doch eines hat sich verändert: Noch vor einigen Jahren waren begründete Zweifel über den Ernst der Klimasituation und speziell bezüglich der Rolle, die menschliche Einflüsse auf die globale Klimaerwärmung haben, möglich. Während die Wissenschaft sich uneinig war, konnte man skeptisch sein, wenn es um Hauruck-Vorschläge und kostspielige Gegenmassnahmen ging. Inzwischen sind die Indizien eindeutiger: Der Klimawandel zeichnet sich bereits ab, und er verläuft schneller als ursprünglich erwartet. Der neueste Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) der UN, der dieser Tage veröffentlicht wird ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)), spricht eine deutliche Sprache: Menschliche Aktivitäten «contributed substantially to the observed warming over the last 50 years». Und im Gegensatz zum früheren Bericht von vor 5 Jahren prognostiziert der aktuelle Bericht sogar eine beschleunigte Erwärmung. Nicht mehr 1 bis 3,5 Grad bis im Jahr 2100, wie noch 1995 angenommen, sondern ein Anstieg der mittleren globalen Temperatur von 1,4 bis 5,8 Grad.

Das Jahr 2001 begann mit Lawinen und Erdbeben in der Schweiz. Tagelange Niederschläge setzten Städte und Dörfer in der Bretagne unter Wasser. Vor einem Jahr hielt uns der Sturm Lothar zum Jahreswechsel in Atem. Einzelfälle? Sicher. Und einzelne Extremereignisse, selbst wenn sie kurzfristig gehäuft auftreten, sagen noch nichts über das Klima, allenfalls über das Wetter. Klimatologen sind erst überzeugt, wenn sie sich mit einem Zeitraum von mindestens 30 Jahren befassen können. Aufgrund welcher Methoden und Indizien Klimawissenschaftlerinnen und -wissenschaftler zu ihren Aussagen kommen, zeigt das vorliegende Bulletin anhand von Forschungsbeispielen aus der ETH Zürich – ein kleiner Ausschnitt aus einem Gebiet, das Wissenschaftler weltweit beschäftigt.



**Martina Märki-Koepf**  
Redaktorin ETH-Bulletin

# CHANCEN UND RISIKEN IM KLIMAPOKER

STEPHAN KUX

**Dass die internationale Klimapolitik schwierig ist und nur in kleinen Schritten vorankommt, machte einmal mehr das Scheitern der 6. Konferenz der Vertragsparteien der Klimakonvention (COP-6) im November in Den Haag deutlich. Wissenschaft und Politik messen mit verschiedenen Ellen und sind doch aufeinander angewiesen. Aufgaben nach Den Haag.**

Verfehltes Ziel der Konferenz war, das 1997 in Kyoto verabschiedete Klimaprotokoll, das von den Industrieländern bis in den Zeitraum von 2008 bis 2012 eine Reduktion ihrer Treibhausgas-Emissionen um mindestens fünf Prozent gegenüber dem Stand von 1990 verlangt, in den umstrittenen Bereichen so weit zu konkretisieren, dass es für die wichtigen Parteien ratifizierbar würde. Damit bleibt das Protokoll vorerst Makulatur.

## Von LULUCF und Regenschirmen

Auf der Traktandenliste der Vertragsparteien stand eine Vielzahl von organisatorischen und technischen Punkten. Oft sind oberflächlich als Details erscheinende Fragen von erheblicher politischer und finanzieller Relevanz. So wurde in Den Haag intensiv über «land-use», «land-use change,» und «forestry» – kurz LULUCF – gestritten. Dabei kann es ent-

Die Gründe für das harzige Voranschreiten der internationalen Klimapolitik sind vielfältig. Im Vordergrund stehen die unterschiedlichen Interessen der Vertragsstaaten. Das entspricht einem klassischen Muster der internationalen Verhandlungen. In Abwesenheit einer übergeordneten Macht handeln Regierungen als rationale Akteure und versuchen ihren Eigennutz zu optimieren. Im Fall der Klimapolitik geht es tatsächlich um



Die scheinbar fehlende Ernsthaftigkeit der Politik kontrastiert mit den alarmierenden Ergebnissen des dritten Zustandsberichts des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), welcher für die kommenden hundert Jahre mit einem Temperaturanstieg bis zu sechs Grad Celsius rechnet.

scheidend sein, wie diese so genannten Senken – Wälder und Felder, welche der Atmosphäre Treibhausgase entziehen – angerechnet werden. Die Treibhausgas-Bilanz eines Landes kann sich dadurch bis zu zwanzig Prozent verändern, ein Mehrfaches also der Kyotoer Reduktionsziele. Unter dem Strich geht es um die Frage, wie viel die Vertragsstaaten in den Abbau der Treibhausgase investieren und inwieweit ihre Bevölkerungen das Konsumverhalten ändern müssen.

handfeste, zentrale staatliche Interessen. Energieversorgung, Wachstum, Innovation gelten als wichtige Postulate nationaler Sicherheit, freie Mobilität und individueller Konsum als Grundrechte. Hier werden nicht leichtfertig Kompromisse gemacht, sondern hartnäckig verhandelt.

Dies wird etwa deutlich in den heftigen Gegensätzen zwischen den Europäern, die zu einer restriktiveren Klimapolitik bereit sind, und der so genannten Umbrella-Gruppe, zu der die USA, Kanada, Japan, Australien, einige Erdöl exportierende Staaten und zeitweise auch die Schweiz gehören. Eine dritte Interessenskoalition sind die in der Gruppe der 77 zusammengeschlossenen Entwicklungsländer. Diese fordern die Einhaltung der in Rio zugesicherten Versprechen wie den Transfer von klimafreundlicher Technologie und finanzielle und technologische Hilfe zur Anpassung an den Klimawandel. Will man eine Einigung dieser Staatenblöcke auf dem kleinsten gemeinsamen Nenner verhindern, sind effektive Institutionen und griffige Mechanismen erforderlich, um «Schlupflöcher» zu stopfen und das gegenseitige Misstrauen abzubauen. Die Klimapolitik stellt die bisher grösste Herausforderung in der internationalen Zusammenarbeit dar. Sie begrenzt sich nicht einfach auf die klassische Umweltpolitik, sondern berührt auch die Sicherheitspolitik, die Wirtschaftsbeziehungen und die Entwicklungszusammenarbeit.

### **Komplexität, Unsicherheit und grosse Zeitfenster**

Neben den offensichtlichen Interessengegensätzen erschwert die grosse Komplexität der schwer überschaubaren Ver-

dämmung der Treibhauseffekte. Das knapp bemessene Zeitfenster für die fünfprozentigen Reduktionsschritte von sechs bis zehn Jahren nach voraussichtlicher Ratifizierung erhöht den Handlungsbedarf. Nicht nur betritt hier die Klimapolitik Neuland, die Auswirkungen des Klimawandels sind von Unsicherheit und Unwägbarkeit geprägt. Eine riskante Investition in die Zukunft ist gefordert. Dabei übersteigen die im Klimawandel gängigen Zeitfenster von zehn, fünfzig oder gar hundert Jahren die üblichen Horizonte der Politik. Politiker orientieren sich üblicherweise an den Sachzwängen und dem Handlungsbedarf des Tagesgeschäftes. Budgets decken gerade einmal ein Jahr ab. Die Legislaturziele schauen vier Jahre hinaus. Die längsten Zeitachsen in der politischen Planung reichen über zehn Jahre (Strukturpolitik der EU), vielleicht zwanzig Jahre (Planung der strategischen Streitkräfte in den USA). In der Klimapolitik sind Politiker gefordert, Kompromisse einzugehen, deren Erfolge erst weit nach ihrer Amtszeit sichtbar werden.

### **Politik und Wissenschaft**

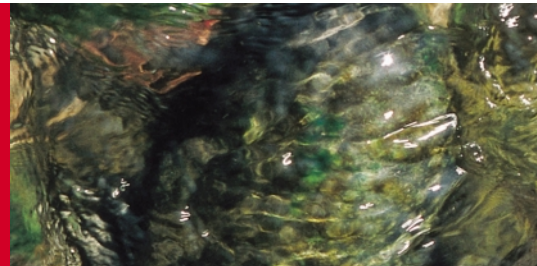
Die Wissenschaft kann einen wesentlichen Beitrag zur Überwindung der Interessengegensätze und zur Bewältigung der Komplexität der Klimapolitik leisten. Dass der Bedarf an Wissen und wissenschaftlicher Auseinandersetzung enorm

Erkenntnisstand laufend aufarbeitet und bewertet. Es gibt keine vergleichbare politische Institution, welche einen so engen und intensiven Austausch mit der Forschung pflegt.

Und doch bleiben unzählige Fragen unbeantwortet. Der mangelnde Konsens über die Treibhauseffekte erhöht die Unsicherheit der Politiker. Umgekehrt fehlt den Politikern die Methodik im Umgang mit wissenschaftlicher Ungewissheit. Das Denken in Modellen, Optionen und Wahrscheinlichkeiten fehlt oft in den Amtsstuben der Entscheidungsträger. Hier empfehlen sich Ansätze wie das Integrated Assessment. Im Climate Change in the Alpine Region (CLEAR)-Projekt des Schwerpunktprogramms Umwelt des Schweizerischen Nationalfonds wurden die wissenschaftlichen Ergebnisse in leicht verständlichen Modellen aufbereitet und miteinander in Bezug gebracht ([clear.eawag.ch/clear/index.html](http://clear.eawag.ch/clear/index.html), vgl. auch Beitrag S. 14). So entstehen nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen für die Klimapolitik. Da einschneidende Reduktionsschritte und geforderte Verhaltensänderungen nicht allein Sache der Politik sind, sondern der Gesellschaft schlechthin, wurden die CLEAR-Resultate in so genannten Fokusgruppen auch einer breiteren Bevölkerungsgruppe unterbreitet, um die Kommunizierbarkeit zu testen und die Akzeptanz der vorgeschlagenen Optionen zu prüfen. Integrated Assessment ermöglicht so, ungewisses Wissen abzuwägen und die Auswirkungen alter-



**IN DER KLIMAPOLITIK SIND POLITIKER GEFORDERT, KOMPROMISSE EINZUGEHEN, DEREN ERFOLGE ERST WEIT NACH IHRER AMTSZEIT SICHTBAR WERDEN.**



tragsmaterie eine Einigung. Das Klimaprotokoll ist das unausgereifte Resultat eines Formelkompromisses der Vertragsstaaten unter erheblichem Erfolgsdruck der Kyotoer Konferenz. Das Papier deckt eine Fülle von zum Teil noch wenig bekannten und vor allem kaum regelbaren Bereichen ab. Vieles muss nun erst konkretisiert werden. Weil man sich nicht über neue Abstimmungsregeln einigen konnte, ist dazu weiterhin ein Konsens aller 182 Vertragsstaaten erforderlich. Die jetzigen Nachverhandlungen entscheiden über Erfolg oder Misserfolg der internationalen Bemühungen zur Ein-

ist, wird deutlich durch die Teilnahme von mehreren Hundert Wissenschaftlern und Experten an COP-6, entweder in den Verhandlungsdelegationen oder an den Randveranstaltungen. Die Konferenzen der Vertragsparteien haben sich zu eigentlichen Basars des Wissens entwickelt. In den zahlreichen Workshops und den unzähligen Ständen werden neueste Erkenntnisse ausgetauscht und mit Politikern und Wirtschaftsführern diskutiert. Mit dem International Panel on Climate Change (IPCC) verfügt die Klimakonvention über ihr eigenes Wissenschaftlergremium, welches den neuesten

nativer Handlungsoptionen einzuschätzen. Während IPCC und Integrated Assessment Erkenntnisse zum Klimawandel im Allgemeinen bieten, stellen sich im Zuge der Verhandlungen oft sehr konkrete Fragen, die eine unmittelbare wissenschaftliche Antwort erfordern. Ein Beispiel ist die Auswirkung des Klimawandels im Alpenraum. Die Klimakonvention sieht Kompensationen für Schäden des Treibhauseffektes vor. Nun wäre eine ungefähre Abschätzung der Auswirkungen und Folgekosten wünschbar, um Umfang und Ausmass der Transferzahlungen abzuleiten. Rund ein Drittel der



# Summa cum Dextro.



Die prickelnd frischen Minis aus Dextrose.  
Für sofortige Konzentration und Denkleistung.  
Damit du nicht länger studierst als nötig. Oder  
als du möchtest. Mehr unter [www.dextro.ch](http://www.dextro.ch)

**Sofort-Energie für den Kopf.**



Vertragsstaaten liegen im Alpenraum oder in einer sonstigen Hochgebirgszone. CLEAR und andere schweizerische Forschungsprogramme haben sich mit dem Klimawandel im Alpenraum befasst. Keines der Projekte versuchte aber, sich mit konkreten Fragen der Klimaverhandlungen auseinander zu setzen.

Ein zweites Beispiel bildet der Handel mit Emissionsgutscheinen. Das Klimaprotokoll sieht unter den Flexibilitätsmechanismen eine Börse für Treibhausgase vor, das heisst, Industrieländer können erforderliche Reduktionseinheiten kaufen oder verkaufen. Viele Fragen sind noch offen, etwa die Preisbildung, das Risiko von «heisser Luft» oder das Controlling. Die Wirtschaftswissenschaften und andere Disziplinen könnten hier einen wertvollen Beitrag leisten, um Verhandlungshindernisse abzubauen. Dies geschieht bis jetzt nur ansatzweise.

Wissenschaftler warfen am Rande der Konferenz der Vertragsparteien den Politikern zu Recht vor, ihre Aufgabe nicht wahrgenommen zu haben. Umgekehrt stellt sich an die Wissenschaftler die Herausforderung, zu konkreten und aktuellen Fragen der Klimapolitik Stellung zu beziehen. Klimawandel ist eine gesellschaftliche Aufgabe, die beide – Politik und Wissenschaft – zu einer engeren Zusammenarbeit auffordert.

## Klimapolitik ohne Klimaprotokoll?

Zeichnet sich mit Den Haag ein Scheitern des Klimaprotokolls ab? Das Risiko besteht, dass die Nacharbeiten nicht rechtzeitig für «Rio plus zehn» im Jahr 2002 abgeschlossen werden können. Zudem sind die USA unter Präsident Bush aus innenpolitischen und wirtschaftlichen Gründen kaum bereit, das Protokoll zu ratifizieren. Trotzdem bestehen Gründe zur Hoffnung, dass die Klimapolitik dem Klimawandel gerecht wird.

Zum einen nimmt die EU das Kyotoer Protokoll zum Anlass, eine ehrgeizige Klimapolitik zu verfolgen. Die 15 Mitgliedstaaten beabsichtigen, das Protokoll im Jahr 2002 zu ratifizieren. Die entsprechenden Vorbereitungen sind sowohl auf der Ebene der EU wie in den einzelnen Ländern im Gange. 2005 soll der Emissionshandel innerhalb der EU eingeführt werden. Das EU-Umweltaktionsprogramm, aber auch die Forschungs-, Verkehrs- und Industriepolitik orientieren sich an den Reduktionszielen. Der so genannte Cardiff-Prozess strebt nach einer weitgehenden Abstimmung der Politikbereiche in Hinblick auf den Klimaschutz. Mit der Europäischen Umweltagentur in Kopenhagen steht die erforderliche Expertise zur Verfügung, um Daten als Entscheidungsgrundlagen aufzuarbeiten, Politikempfehlungen abzugeben und Aktionsprogramme zu entwickeln. In der EU ist der Klimadialog zwischen Politik und Wissenschaft institutionalisiert.

welche hier wichtige Impulse setzen, sondern etwa der CEO von British Petroleum (BP) oder die International Petroleum Exchange in London. Die Flexibilitätsmechanismen von Kyoto haben viel mit den Transfer- und Kontrollinstrumenten existierender Finanzdienstleister zu tun. So erstaunt nicht, dass Börsen, Broker und Controller hier aktiv werden. Denkbar ist, dass Kyoto privatisiert wird, das heisst ein neuer, privatwirtschaftlicher Markt des Emissionshandels ohne vertragliche staatliche Formalisierung entsteht.

## Die Schweiz: «First mover» oder «fast follower»?

In der Klimapolitik gibt sich die Schweiz generell zurückhaltend. In den Verhandlungen geht sie auf Distanz zur EU, hat aber im Alleingang keinen Einfluss. Chancen bieten sich einerseits mit der stark entwickelten, international sehr anerkannten Klimaforschung, die jedoch noch stärker in die internationale Verhandlungsführung und die schweizerische Klimapolitik eingebracht werden muss. Andererseits verfügt die Schweiz über ausgeprägte Kenntnisse der Finanzdienstleistung. Hier könnte ein aktiver Beitrag zur Ausgestaltung der Kyotoer Flexibilitätsmechanismen geleistet werden. Schade, dass diese Initiativen in Deutschland, Grossbritannien und Skandinavien weiter entwickelt sind als in der Schweiz. (stephan.kux@vd.zh.ch)



Die europäische Umweltpolitik ist auch ohne Klimaprotokoll tragfähig, zumal sich daran nicht nur die 15 Mitgliedstaaten, sondern auch die vier EFTA-Länder und die zwölf Beitrittskandidaten orientieren.

Zum andern steigt das Interesse der Wirtschaft an einer aktiven Klimapolitik. Der Kunstgriff des Klimaprotokolls ist gerade der Rückgriff auf marktwirtschaftliche Instrumente und Anreize wie der Handel mit Emissionszertifikaten oder der Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung. Es sind nicht die Regierungen oder die Wissenschaftler,



**Dr. Stephan Kux**

ist Privatdozent für Politikwissenschaften an der Universität Zürich und arbeitet als Europadelegierter und Wirtschaftsförderer des Kantons Zürich. Er leitete ein Projekt über die internationale Klimapolitik im Rahmen des SPP Umwelt.

# EIN WISSENSCHAFTLICH-POLITISCHES LEHRSTÜCK

THOMAS PETER UND JOHANNES STAEHELIN

**13 Jahre Montrealer Protokoll, 5 Jahre Selbstverzicht auf jegliche FCKW-Produktion – eine politische Erfolgsstory, welche die Hürden des internationalen Umweltrechts problemlos genommen zu haben scheint. Atmosphärische Chlorkonzentrationen beginnen zu fallen. Und dennoch bleibt ungewiss, wann die Ozonschicht sich wieder erholen wird und ob es dabei durch Klimaveränderungen nicht zu wesentlichen Verzögerungen kommen wird.**

16. Mai 1985: Britische Forscher veröffentlichen in der internationalen Wissenschaftszeitschrift «Nature» einen Artikel über extrem niedrige Ozonwerte in der Antarktis, der wie eine Bombe einschlägt. Das Phänomen, das sie seit einigen Jahren mit zunehmender Deutlichkeit in jedem südpolaren Frühjahr beobachten, wird von den britischen Wissenschaftlern in direkten Zusammenhang mit den Emissionen von FCKWs (Fluor-

den FCKWs rücken Bestrebungen, ein internationales Abkommen zur substanziellen Beschränkung der FCKW-Produktion zu erreichen, auf der Agenda der internationalen Politik plötzlich nach ganz oben. In einer nie dagewesenen Einmütigkeit unterzeichnen bereits 1987 zunächst 24 Nationen das «Montrealer Protokoll zur Begrenzung ozonabbauender Stoffe», das in Folgeabkommen 1990 in London, 1992 in Stockholm und 1995 in

## Erfolgsstory mit offenen Fragen

Eine Gegenüberstellung der Erfolgsgeschichte des FCKW-Stopps mit den jüngst gescheiterten Klimaverhandlungen in Den Haag drängt sich auf, obwohl Unterschiede in der Dimension beider Problemfelder, in der Einschätzung der Realisierbarkeit von Alternativlösungen und in der unmittelbaren Betroffenheit weiter Bevölkerungskreise einen Vergleich

Chlor-Kohlenwasserstoffe) gestellt, einer künstlichen Stoffgruppe, die die Menschheit etwa drei Jahrzehnte zuvor grösstechnologisch zu produzieren begonnen hat. Die Reaktionen auf diese Veröffentlichung in den anschliessenden Monaten und Jahren reichen von ungläubiger Skepsis bei den eigenen Wissenschaftskollegen über massive Ablehnung durch einige Vertreter der betroffenen Industrie bis zum Schock in den Medien und der Öffentlichkeit. Trotz dem zu dieser Zeit noch ausstehenden Beweis für einen direkten Zusammenhang zwischen dem entdeckten Loch in der Ozonschicht und

Wien jeweils erheblich verschärft wird. Das ursprüngliche Protokoll und die Folgeabkommen sind heute von mehr als 150 Staaten ratifiziert. Als Resultat dieser Anstrengungen hat die bodennahe Chlorbelastung ihr Maximum bereits Mitte der Neunzigerjahre erreicht und wird in den nächsten Jahrzehnten wie erwünscht wieder abnehmen – allerdings sehr langsam.

praktisch verbieten. Ironischerweise kann gerade durch die Treibhausproblematik eine Erholung der Ozonschicht vielleicht in weitere Ferne rücken, als wir bis vor kurzem für möglich hielten.

Zweifellos sind das Montrealer Protokoll und die Folgeabkommen bemerkenswert, ein grosser Erfolg internationaler «Ozon-Diplomatie», und, wenn man so will, ein Paradigmenwandel der internationalen Umweltpolitik und des internationalen Umweltrechts schlechthin. Es gab wachsende Einstimmigkeit im Orchester der Staatsregierungen bei der Lösung dieses globalen, aber auch sehr diffusen

und zur Zeit der Entscheidungsfindung noch strittigen Umweltproblems. Dies hat geholfen, eine Welt zu vermeiden, die man sich besser nicht vorstellen mag: 150 Millionen zusätzliche Hautkrebskrankungen auf Grund der erhöhten UV-Strahlung allein in den USA, resultierend in 3 Millionen Toten unter den bis zum Jahr 2075 geborenen Amerikanern – so lautete das Ergebnis einer Risikoanalyse der amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA im Jahr 1986, für den Fall, dass die FCKW-Emissionen ohne Gegenmassnahmen weiter steigen würden.

Trotz seines zweifelsfreien Erfolges kommen wir bei dem Versuch, die Effizienz des Protokolls in Bezug auf die zu erwartende Geschwindigkeit der Ozonerholung zu beurteilen, mit unserem derzeitigen Wissen rasch an folgende Grenzen: Zwar sind die wesentlichen naturwissenschaftlichen Aspekte der Bildung des Ozonlochs über der Antarktis zumindest qualitativ aufgeklärt (vgl. Abb. 1), aber

1. wir verstehen die Mechanismen nicht, die für die während der vergangenen drei Jahrzehnte in den nördlichen mittleren Breiten beobachteten Ozonverluste verantwortlich sind;

2. wir haben Schwierigkeiten, die Entwicklung der Chlorbelastung der Atmosphäre genau zu prognostizieren und daraus die zu erwartende Ozonentwicklung abzuleiten;

3. wir wissen zurzeit nicht, wie sehr sich durch eine mögliche Verstärkung des Treibhauseffekts die Temperaturen der



**Abb. 1: Schön, aber gefährlich: polare stratosphärische Wolken über Kiruna (Nordschweden) im Januar 2000. Ausser in der Arktis spielen Stratosphärenwolken eine zentrale Rolle bei der Bildung des südpolaren Ozonlochs. Auf den Oberflächen der Wolkenteilchen in 20–25 km Höhe führen chemische Reaktionen das durch den Menschen in die Atmosphäre gebrachte Chlor in ozonzerstörende Formen über.**

(Bildquelle: SOLVE Homepage <http://cloud1.arc.nasa.gov/solve/> mit freundlicher Genehmigung des NASA Ames Research Center)

zentige Ozonverlust zwischen den frühen Siebziger- und Mitte der Neunzigerjahre. Allerdings macht die Abbildung auch deutlich, dass die jährlichen Schwankungen selbst bei etwa  $\pm 10\%$  liegen. Dies mahnt zur Vorsicht, nicht vorschnell die Abwärtsentwicklung in den mittleren Breiten als alleinige Konsequenz chemischer Ozonzerstörung zu klassifizieren. Der Fall liegt also in den mittleren Breiten anders als in der Antarktis mit dem klaffenden Loch in der südhemisphärischen Ozonschicht, das alljährlich mit minutiöser Regelmässigkeit am Ende der Polarnacht auftritt und

ein von den Gesetzen der Chlorchemie auf den polaren Stratosphärenwolken dominiertes und im Wesentlichen verstandenes Phänomen darstellt.

Für die mittleren Breiten laufen derzeit Forschungsprojekte, die mit erweiterten Ozontrend-Modellen untersuchen, ob nicht ein Teil des in der Vergangenheit der Chlorchemie zugeordneten Trends tatsächlich andere Ursachen hat. In der Tat wurde entdeckt, dass die Dicke der Troposphäre über Westeuropa in den vergangenen drei Jahrzehnten um bis zu einem halben Kilometer angewachsen ist. Vereinfacht gesprochen versuchen die Strömungen



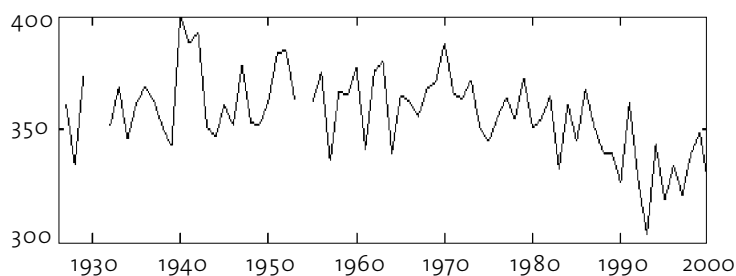
**DERZEIT ENTHÄLT DIE ATMOSPHÄRE ETWA SECHSMAL SOVIEL CHLOR, WIE DEM VORINDUSTRIELLEN, NATÜRLICHEN PEGEL ENTSpricht.**



polaren Winterstratosphäre verändern und dadurch die Erholung des Ozons verzögern werden.

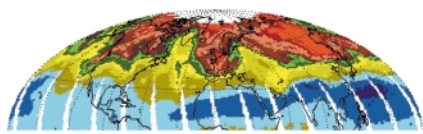
### Ozonabnahme in den nördlichen mittleren Breiten

In den nördlichen mittleren Breiten gibt es seit langem deutliche Anzeichen für einen Abwärtstrend im Ozon. Abbildung 2 zeigt die prominente Messreihe aus Arosa: Charakteristisch für die Entwicklung der Ozonschicht in Europa ist der im Spätwinter klar erkennbare, etwa 15-pro-

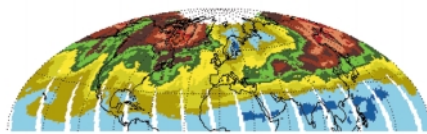


**Abb. 2: Über unseren Köpfen: Der Welt längste Ozonmessreihe in Arosa, Schweiz, zeigt seit Mitte der Siebzigerjahre einen deutlichen, mit blosssem Auge erkennbaren Abwärtstrend (hier gezeigt: unkorrigierte Januar- bis Aprilwerte).**

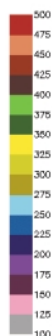




6. März 1999



6. März 2000



Quelle: NASA  
(mit freundlicher Genehmigung des  
NASA Goddard Space Flight Center)

**Abb. 3. Starke Temperaturabhängigkeit der Ozonsäule: links im März 1999 nach einem warmen Winter, rechts im März 2000 nach einem kalten Winter. Bedingt durch Unterschiede in Chemie und Transport der Winterstratosphäre fallen die Ozonsäulen über Nordeuropa in dem kalten Winter bis um die Hälfte.**

(Bildquelle: TOMS Homepage  
<http://jwocky.gsfc.nasa.gov/eptoms/ep.html>)

in der Ozonschicht dem Hindernis, das die erhöhte Troposphäre über Europa darstellt, auszuweichen, das heisst, die Ozonschicht wird dünner. Es gibt Anzeichen dafür, dass diese Veränderungen auch ein Signal einer Klimaänderung sein könnten. Ist also der Ozonverlust über den mittleren Breiten vielleicht nur zu einem Teil Ausdruck chemischer Prozesse? Ist er zum anderen Teil durch sich ändernde Transportprozesse bedingt und damit Ausdruck einer Klimaänderung? Diese Entdeckung macht die Ursachenforschung komplizierter, da wir für die Veränderung der Troposphärenhöhe bislang keine gute Erklärung haben.

Auch im hohen Norden, sagen wir nördlich von Stockholm und Oslo, ist die Entwicklung der Ozonschicht nicht einfach

lich aus. Dies illustriert Abbildung 3, die die nordhemisphärische Ozonschicht im März 1999 nach einem warmen Winter mit der des März 2000 nach einem kalten Winter vergleicht. Die Unterschiede sind evident: der warme Winter 1998/99 fast ohne polare Stratosphärenwolken und mit verstärktem Austausch mit den mittleren Breiten, der Winter 1999/2000 dagegen mit einem Spektakel stratosphärischer Wolken an fast jedem Tag im Hochwinter (Abb. 1) und einer starken Isolation von den mittleren Breiten. Chemie und Dynamik verlaufen extrem unterschiedlich und zeitigen einen massiven Unterschied in der Ozonschicht.

Abbildung 3 verdeutlicht, wie sehr im Norden – im Gegensatz zum stets kalten antarktischen Winter – die Ausdünnung



zu beschreiben. Zwar kühlt wie über dem Südpol auch über der Arktis im Winter die Luft stark ab und ist gegen einen Austausch mit den mittleren Breiten weitgehend isoliert. Auch im hohen Norden können sich daher polare Stratosphärenwolken bilden, auf denen Oberflächenreaktionen das Chlor scharf machen und deren Absinken zur Denitrifizierung führen kann. Da diese Vorgänge stark von der Temperatur abhängen und die Winter in der Arktis meist bis zu 10°C wärmer bleiben als in der Antarktis, fallen die Winter in der Arktis in ihrer Wirkung auf das Ozon sehr unterschied-

des Ozons von den speziellen Bedingungen eines jeden Jahres abhängt, also vom «Wetter» in der Stratosphäre. Die arktischen Wintertemperaturen pendeln um einen kritischen Wert, oberhalb dessen die Ozonerstörung faktisch zum Erliegen kommt und unterhalb dessen massive Störungen der polaren Ozonschicht auftreten können. Wie könnten Temperaturveränderungen in einer zukünftigen, durch Klimaveränderungen geprägten Atmosphäre die nordpolare Ozonschicht beeinflussen?

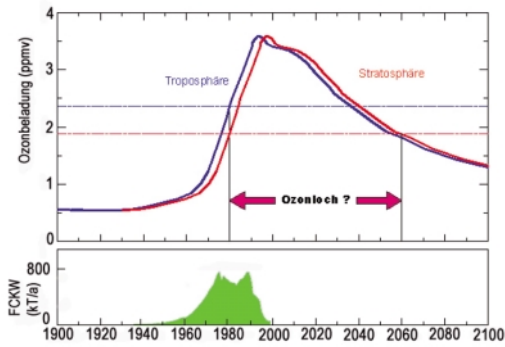
## Unsichere Prognosen

Bevor wir auf die Zusammenhänge mit den zukünftigen Temperaturveränderungen zurückkommen, müssen wir uns zunächst einer noch grundlegenden Problematik zuwenden. Abbildung 4 zeigt, dass die etwa fünfzigjährige Episode der FCKW-Produktion (unteres Teilbild) auf Grund der langen Lebensdauer dieser Stoffe zu einer enormen Erhöhung der Chlorbelastung geführt hat: zurzeit enthält die Atmosphäre etwa sechsmal so viel Chlor, wie dem vorindustriellen, natürlichen Pegel entspricht; und selbst ein Jahrhundert nach dem Ende der FCKW-Produktion wird die Chlorbelastung immer noch doppelt so hoch sein (oberes Teilbild). Die prognostizierte Entwicklung hängt im Wesentlichen von der langsamen globalen Luftzirkulation ab, die die FCKW-Moleküle nach und nach in Höhen über 25 km transportiert, wo die intensive UV-Strahlung sie zerstören kann. Unweigerlich wird bei diesem Abbau das Chlor freigesetzt, so dass der Preis für die FCKW-Eliminierung weitere Ozonerstörung ist.

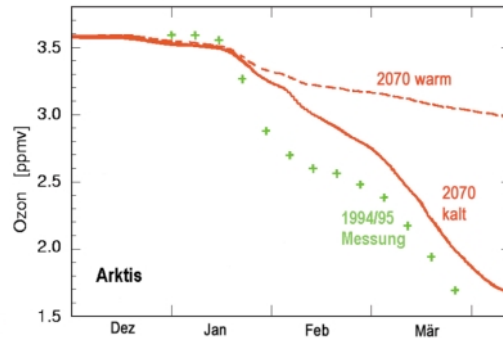
Die blaue Kurve in Abbildung 4 zeigt die prognostizierte FCKW-Entwicklung in der Troposphäre. Etwa im Jahr 2040 dürfen wir erwarten, dass troposphärische FCKW-Konzentrationen wieder den Wert von 1980 erreichen (horizontale blaue Linie). Um 1980 ist das Ozonloch entstanden, also würde man erwarten,

dass es sich 2040 wieder schliessen könnte. Allerdings ist dieser Schluss etwas voreilig, denn entscheidend ist für die Ozonerstörung ja nicht der troposphärische, sondern der stratosphärische Chlorgehalt, der um drei bis fünf Jahre der Entwicklung am Boden hinterhinkt. Dies wird durch die rote Kurve dargestellt, und die horizontale rote Linie zeigt, dass mit der Rückkehr zu den stratosphärischen Werten von 1980 erst um 2060 zu rechnen ist.

Für die wärmere Arktis ist die Bilanz optimistischer. Hier setzte eine deutliche Ozonerstörung erst in den kalten Win-



**Abb. 4:** Kurze Produktionsphase – lang anhaltende Wirkung. In den Neunziger Jahren wurde die Produktion der FCKW (in 1000 Tonnen pro Jahr, unteres Bild) fast völlig eingestellt. Der troposphärische Chlorgehalt (blaue Kurve, oberes Bild) wird aber noch lange eine messbare Erhöhung über den natürlichen Pegel aufweisen, der stratosphärische Wert folgt mit drei bis fünf Jahren Verzögerung (rote Kurve). Schwarze vertikale Linien markieren den Beginn des antarktischen Ozonlochs (ungefähr im Jahr 1980) und sein vermutliches Ende (d.h. das Jahr 2060 mit voraussichtlich ähnlichen stratosphärischen Chlorwerten wie 1980).



**Abb. 5:** Gefahr für die Arktis? Eine durch den Treibhauseffekt verursachte Abkühlung der Stratosphäre könnte zu effizienterer Chloraktivierung und höheren Ozonverlusten führen. Gezeigt sind zwei Simulationen der Ozonentwicklung von Dezember bis März in 20 km Höhe mit der für das Jahr 2070 erwarteten niedrigen Chlorkonzentration. Gestrichelte Linie: Verwendung der Temperaturen des Winters 1994/95 für das Jahr 2070. Durchgezogene Linie: Verwendung der Temperaturen des verstärkten Bildung polarer Stratosphärenwolken. Grüne Kreuze: repräsentative O<sub>3</sub>-Messungen für 1994/95 zum Vergleich.

tern nach 1990 ein. Nach Abbildung 4 könnte in der Arktis bereits um das Jahr 2020 eine vollständige Erholung eintreten. Leider sind diese Aussichten aber vielleicht zu optimistisch. Die fortlaufende Emission von Treibhausgasen kann in den kommenden Jahrzehnten nicht nur zu einer spürbaren Erwärmung der Troposphäre, sondern auch zu einer Abkühlung der Stratosphäre führen. In der Arktis könnte das eine Zunahme der polaren Stratosphärenwolken zur Folge haben, also eine effizientere Chlorakti-

sche Winterstratosphäre der allgemeinen stratosphärischen Abkühlung nicht unbedingt folgen muss. Unser Blick in die Zukunft bleibt undeutlich, denn unsere Prognosefähigkeit für atmosphärische Veränderungen ist nach wie vor begrenzt. Doch in Ermangelung besserer Kenntnis spricht einiges dafür, den vorsichtigeren Standpunkt einzunehmen. Das erfolgreiche Montrealer Protokoll zum Schutz der Ozonschicht benötigt bald ein erfolgreiches Den Haager Ab-

## Forschungsinformationen

Thomas Peter und Johannes Staehelin beschäftigen sich unter anderem mit der Erforschung chemischer und physikalischer Prozesse mit Auswirkungen auf stratosphärisches Ozon. In der Lehre bieten sie gemeinsam im Wintersemester 2001/02 eine Fallstudie zu den naturwissenschaftlichen, sozio-ökonomischen und politischen Aspekten des Montrealer Protokolls an. Weitere Informationen unter: <http://www.lapeth.ethz.ch/chemie/>



vierung und eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Denitrifizierung. Die Arktis würde der Antarktis ähnlicher – mit entsprechenden Konsequenzen für das Ozon. Zwar greift das Montrealer Protokoll, zwar fallen die Chlorkonzentrationen, doch könnte ein verändertes Klima die noch verbleibenden Chlormengen effektiver scharf machen. Das Ozon würde dann nördlich von Stockholm und Oslo noch lange kränkeln (Abb. 5) und sich vielleicht erst gegen Ende des neuen Jahrhunderts wieder normalisieren. Dies ist ein mögliches Szenario. Andere Berechnungen besagen, dass die arkti-

kommen für einen integrierten Schutz der Erdatmosphäre.



**Prof. Dr. Thomas Peter**

Professor für Atmosphärenchemie am Laboratorium für Atmosphärenphysik der ETH Zürich



**Dr. Johannes Staehelin**

Gruppenleiter am Laboratorium für Atmosphärenphysik der ETH Zürich



# UNSICHERHEITEN IN DER KLIMA WIE KOMMUNIZIEREN?

CLAUDIA PAHL-WOSTL UND MARTIN BÜSSENSCHÜTT

**Prognosen der Klimaveränderungen und deren Auswirkungen sind unsicher. Entsprechend schwierig gestaltet sich die Bewertung von Möglichkeiten, den Klimawandel zu verhindern. Dabei sind es letztlich die Bürgerinnen und Bürger, die die politischen Entscheide fällen. Wie soll man Unsicherheiten in der Diskussion mit der Öffentlichkeit behandeln?**

Zu Fragen der Klimaproblematik wurde eine Reihe von integrierten Modellen auf der globalen Ebene entwickelt, die versuchen, die ganze Klimaproblematik von Ursachen über Auswirkungen und Massnahmen und deren Wirkungen zu beschreiben. Inzwischen hat es sich jedoch gezeigt, dass regionales Handeln für Entscheidungen auf der globalen Ebene wesentlich ist. In ihrer Zusammenfassung der Erkenntnisse von vielen Jahren der

jedoch weitgehend ungelöst.

Im Rahmen eines nationalen Forschungsprogramms zum Klimawandel in der Schweiz wurde nun ein neuer Ansatz des partizipativen Integrated Assessment von Klimaveränderungen entwickelt. Der Ansatz beinhaltet die Entwicklung einer speziellen Art von Informationssystemen unter Einbezug von Bürgerinnen, Bürgern und Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Praxis, um den aktuel-

## CLIMATE FACTS, Informationsplattform Klimawandel in der Schweiz

Das Projekt CLEAR Climate and Environment in Alpine Regions, ein Teil des Schwerpunktprogramms Umwelt des Nationalfonds, hat in den vergangenen acht Jahren die Klimaveränderung im Alpenraum erforscht. In 15 Teilprojekten untersuchten Forscherinnen und For-

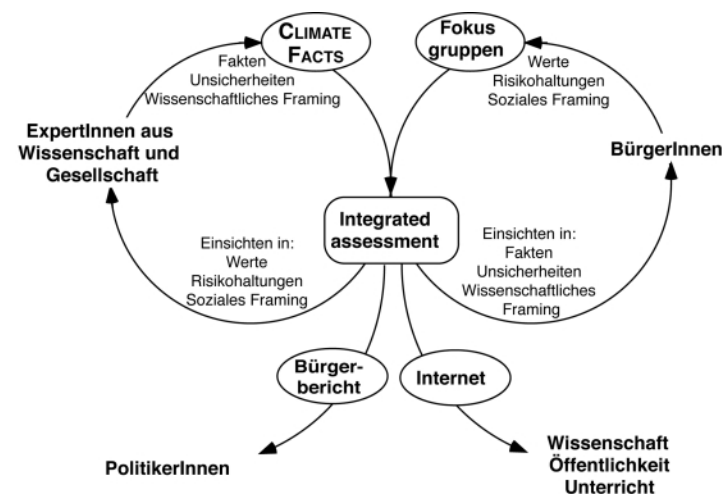


Forschung im Bereich Integrated Assessment haben Morgan und Dowlatabadi (1996) betont, dass viele individuelle Entscheidungen von Millionen von Organisationen und Bürgerinnen und Bürgern getroffen werden. Gerade auf der regionalen Ebene ist es daher wesentlich, den Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zu verbessern. In diesem Dialog spielen Unsicherheiten eine zentrale Rolle, wenn man Risiken und Handlungsoptionen zum Thema Klima bewerten will (Pahl-Wostl, 1998). Die Frage, wie man Unsicherheiten in der Diskussion mit der Öffentlichkeit behandeln soll, ist

len Wissensstand zu einem Themenbereich in einer verständlichen und für die Bewertung durch Bürger relevanten Form darzustellen.

scher aus den Naturwissenschaften, der Ökonomie sowie den Politik- und Sozialwissenschaften, welche Folgen der erwartete Klimawandel auf die Natur und die Menschen in der Schweiz haben wird. Insbesondere wurde auch die öffentliche Wahrnehmung des Klimawandels behandelt. Dazu wurden Fokusgruppen durchgeführt, in denen interessierte Bürgerinnen und Bürger Gelegenheit hatten, sich über den aktuellen Stand der Klimaforschung zu informieren. Die Auswertung der Diskussionen in diesen Fokusgruppen erlaubt es nun, ein Bild davon zu zeichnen, wie die Öffentlichkeit

# MADEBATTE



*Partizipatives Integrated Assessment als soziales Lernen zwischen ExpertInnen und BürgerInnen, mit Einsatz von Fokusgruppen und der Informationsplattform CLIMATE FACTS.*

wählt, um dies zu gewährleisten.

Zum Ersten werden im Modul IMPACTS für die 40 Themen jeweils alternative Bilder zukünftiger Entwicklung beschrieben. Wir stützen uns dabei auf einen Ansatz, den auch das IPCC verwendet (Intergovernmental Panel on Climate Change der Vereinten Nationen): An Stelle einer Prognose, die dann einen grossen und äusserst unsicheren Fehler aufweist, werden mehrere Szenarien beschrieben, die auf unterschiedlichen Annahmen beruhen. Es werden bei diesem Ansatz ausdrücklich keine Angaben über die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Varianten gemacht. Wir verwenden zwei IPCC-Szenarien für «schwachen» und «starken» Klimawandel. Die Benutzerinnen und Benutzer von IMPACTS erhalten



**IM KLASSISCH-MODERNEN WISSENSCHAFTSBILD WIRD ERWARTET, DASS DIE WISSENSCHAFT MIT EINER EINHEITLICHEN STIMME SPRICHT UND KLARE ANWEISUNGEN GIBT, WAS IN DER GEGEBENEN SITUATION ZU TUN IST.**



auf wissenschaftliche Aussagen und die damit verbundenen Unsicherheiten reagiert. Die Ergebnisse aus den verschiedenen CLEAR-Teilprojekten wurden von der Forschungsgruppe Integrated Assessment an der EAWAG integriert und allgemein verständlich dargestellt. Die verschiedenen Informationsmodule dienten zunächst als wissenschaftlicher Input in die Fokusgruppen; inzwischen wurden sie überarbeitet und erweitert und stehen als CLIMATE FACTS online im World Wide Web zur Verfügung (siehe Kasten).

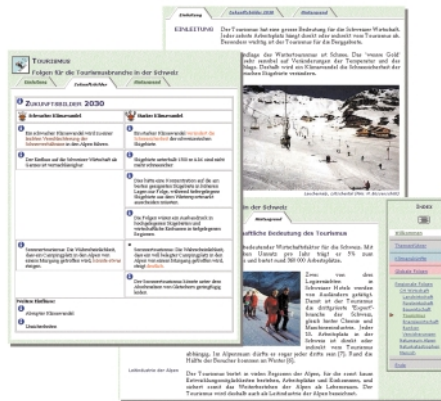
## Darstellung von Unsicherheiten in CLIMATE FACTS

Von Anfang an wurden Unsicherheiten in CLEAR als sehr wichtig angesehen (Pahl-Wostl et al. 1998). Deshalb erhielt dieses Thema auch besondere Beachtung bei der Konzeption der Module von CLIMATE FACTS (Büssenschütt, 2000). Den Forscherinnen und Forschern war es wichtig, dass nicht nur die wissenschaftlichen Erkenntnisse präsentiert, sondern dass auch die Unsicherheiten in den Ergebnissen sichtbar gemacht wurden. Wir haben zwei verschiedene Methoden ge-

also nicht nur eine eindeutige Aussage (zum Beispiel «Im Jahr 2030 werden zirka 20% der heutigen Gletscher verschwunden sein – schwacher Klimawandel»), sondern finden sich mit einer weiteren, möglicherweise sogar widersprechenden Aussage konfrontiert («Im Jahr 2030 werden zirka 75% der heutigen Gletscher verschwunden sein – starker Klimawandel»). Informationsboxen und ein ausführlicher wissenschaftlicher Hintergrund erklären die Gründe für die unterschiedlichen Szenarien wie auch ihre Berechnungsgrundlagen.

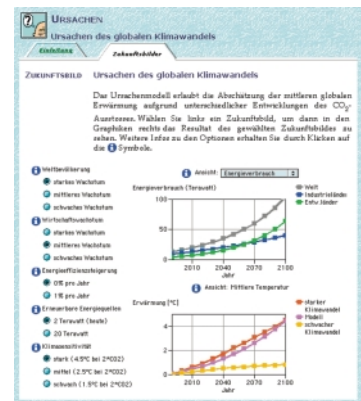
Zum Zweiten gibt es in den beiden Mo-

dulen IMPACTS und OPTIONEN mehrere interaktive Rechner, mit denen die Benutzerinnen und Benutzer selber ihre eigenen Szenarien berechnen und erkunden können. Sie erhalten dadurch ein Gefühl für die Bandbreite der möglichen Entwicklung, die sich aus den verschiedenen Annahmen ergibt. Durch das spielerische Handhaben des Rechners erfahren die Benutzerinnen und Benutzer die Sensitivität und die gegenseitige Abhängigkeit der Eingabegrößen. Insbesondere wird klar, dass die Wahl der Annahmen stark von der eigenen Einschätzung der Zukunft abhängt, zum Beispiel ob man die Bevölkerungsentwicklung eher pessimistisch oder optimistisch bewertet. Zudem sagt der gesunde Menschenverstand, dass weitere Forschung diese Unsicherheiten kaum verringern wird; zu gross ist der Einfluss unvorhersehbarer Entwicklungen wie des Wirtschaftswachstums oder der Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Selbst für den einzigen Parameter, der nicht von Annahmen über die Zukunft abhängt, nämlich die Klimasensitivität, sind die Unsicherheiten in den vergangenen Jahren intensivster Forschung nicht wesentlich verringert worden. Dies ist nicht weiter erstaunlich, weiss man doch immer besser Bescheid über die komplexe Dynamik des Klimasystems. Auf Grund der grossen Unsicherheiten haben wir darauf verzichtet, Extrem- und Katastrophenszenarien im Detail darzustellen. Die Benutzerinnen und Benutzer von IM-



**Die einzelnen Kapitel in IMPACTS beleuchten die Auswirkungen des Klimawandels auf jeweils einen Bereich (hier den Tourismus). Um die Unsicherheiten zu verdeutlichen, werden zwei unterschiedliche Zukunftsbilder beschrieben. Die i-Punkte und der Hintergrund geben weitere Informationen zu den Aussagen der Szenarien.**

über die langfristige Planung für ihre Heimatgemeinde. Das Ziel war, sich auf einen Handlungskatalog zuhanden des Gemeindeparlaments zu einigen, wie auf die erwarteten Folgen des Klimawandels reagiert werden sollte. Als Vorbereitung dienten, neben dem bereits in früheren Unterrichtsstunden Gelernten, die Informationen des IMPACTS-Moduls und weitere Quellen im Internet. Die diversen Lernsituationen wurden in Gesprächen mit allen Beteiligten und durch Fragebogen evaluiert. Das Bild, das sich ergibt, ist insgesamt sehr positiv: Die Schülerinnen und Schüler erwiesen sich als aussergewöhnlich gut informiert nach der Arbeit mit CLIMATE FACTS; sie

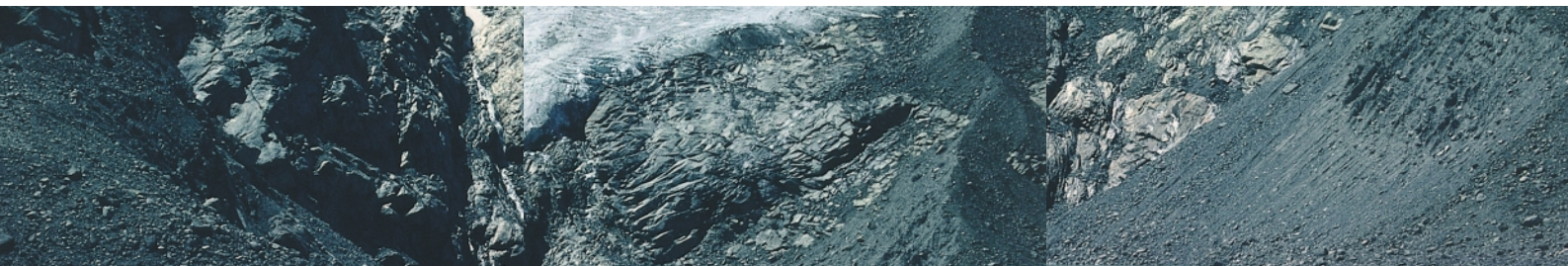


**Mit dem Ursachenrechner in IMPACTS können die Benutzerinnen und Benutzer eigene Szenarien errechnen. Basierend auf der Wahl der Eingabegrößen (links) zeigt das Modell die Entwicklung verschiedener Variablen und schliesslich die Temperaturerhöhung (rechts).**

ohne grosse Überlegung eines der beiden aus. Dieses Defizit ist jedoch nicht sonderlich überraschend, denn im Gespräch mit den Lehrenden wurde auch klar, dass die Thematik der Unsicherheiten ansonsten im Unterricht nicht behandelt wird.

### Fokusgruppen

Das ursprüngliche Zielpublikum für die Module von CLIMATE FACTS waren Bürgerinnen und Bürger in Fokusgruppen. In mehreren der jeweils fünf Sitzungen arbeiteten sie mit IMPACTS oder OPTIONEN, um Informationen über den aktuellen



PACTS können jedoch mittels einfacher Modelle die Wirkungen von nichtlinearen Effekten, wie des Zusammenbruchs der Zirkulation im Nordatlantik, untersuchen.

### Erfahrungen in der Umweltbildung

CLIMATE FACTS wurde in den vergangenen Jahren in verschiedenen Lernsituationen in Schulen und Universitäten eingesetzt. In einem Planspiel diskutierten Schülerinnen und Schüler aus Davos als Vertreter lokaler Interessengruppen

bewerteten die Informationen als sehr gut strukturiert und vollständig. Sie fühlten sich befähigt, selbstständig zu arbeiten, und schliesslich hatten sie auch Spass an der Arbeit mit dem Computer. Bezüglich Unsicherheiten war die Evaluation jedoch widersprüchlich. Während die Schülerinnen und Schüler diesen Aspekt im Informationssystem gut berücksichtigt sahen, beobachteten die Betreuer selten eine tiefere Auseinandersetzung mit dem Problem der unreduzierbaren Unsicherheiten. Die Schüler sahen die Szenarien eher als Best/Worst-Case-Analysen und wählten

Stand des Wissens zu Auswirkungen des Klimawandels und zu Handlungsoptionen in der Schweiz zu erhalten. Die Ergebnisse der Fokusgruppen (Collagen, Bürgerberichte und Fragebögen) sowie die Transkripte der Sitzungen wurden von Sozialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern aus CLEAR analysiert und ausgewertet.

Die Diskussionen in den Fokusgruppen wurden explizit auf Unsicherheiten gelenkt. Die darin ersichtliche Haltung gegenüber Unsicherheiten in wissenschaftlichen Ergebnissen lässt sich grob durch zwei konkurrierende Wissenschafts-Wahr-



nehmungen charakterisieren (Schibli, 2000): das klassisch-moderne Bild, das klare und eindeutige Antworten erwartet, und ein reflexives Bild, das verschiedene Meinungen von Wissenschaftlern nicht nur akzeptiert, sondern diese sogar fordert.

Im klassisch-modernen Bild wird erwartet, dass die Wissenschaft mit einer einheitlichen Stimme spricht und klare Anweisungen gibt, was in der gegebenen Situation zu tun ist. Dementsprechend waren die Reaktionen der Bürgerinnen und Bürger auf die Darstellung von Unsicherheiten eher negativ: Sie fühlten sich verunsichert durch sich widersprechende Aussagen und stellten die Gültigkeit der Resultate als Ganzes in Frage. Darüber hinaus beklagten sie, dass gerade die Uneinigkeit unter den Wissenschaftlern politische Entscheidungen und konsequentes Vorgehen behindert. In etlichen Diskussionsbeiträgen wurde jedoch ein neues, reflexives Bild der Wissenschaft geäussert. Forscherinnen und Forscher werden als Menschen mit persönlichen sozialen Hintergründen, mit Interessen und Meinungen wahrgenommen, die also auch zu unterschiedlichen Aussagen kommen können. In diesem Bild ist denn auch erwünscht, dass zugrunde liegende Annahmen offengelegt, Unsicherheiten dargestellt und die Grenzen des Wissens benannt werden. Dies führe letztendlich zu einer gesteigerten Glaubwürdigkeit der Wissenschaft.

denn als konzeptuelle Herausforderung. Informationsquellen wie CLIMATE FACTS stellen eine neuartige Methode dar, aktuelle Forschungsergebnisse für die Öffentlichkeit zugänglich zu machen, ohne dabei die inhärenten Unsicherheiten zu vernachlässigen. Benutzerinnen und Benutzer werden mit unterschiedlichen Ergebnissen konfrontiert, mit Szenarien, die eine ganze Bandbreite an möglichen Entwicklungen aufzeigen, und folglich mit der Notwendigkeit, selber Entscheidungen zu treffen.

Um diese Aspekte vor allem für die Umweltbildung noch stärker zu betonen, entsteht im Moment ein viertes Modul für CLIMATE FACTS, das sich speziell mit Unsicherheiten im Klimabereich befasst. Das interaktive Lernmodul SURE? wird im Sommersemester 2001 erstmals an der ETH eingesetzt.

#### Literatur

**Büssenschütt, M. und Pahl-Wostl, C. (2000):** *Communicating Uncertainties – Approaches and Experiences from Switzerland*, in: **Scott, D. et al. (eds.) (2000):** *Climate Change Communication. Waterloo, Canada: pp. E2 9–16.*  
**Morgan, G. and Dowlatabadi, H. (1996):** *Learning from Integrated Assessment of Climate Change, Clim. Change 34: 337–368.*  
**Pahl-Wostl, C., Jaeger, C.C., Rayner, S., Schär, C., van Asselt, M., Imboden, D.M. and Vckovski, A. (1998):** *Regional Integrated Assessment and the Problem of Indeterminacy. In: Cebon, P., Dahinden, U., Davies, H., Imboden, D.M. and Jaeger, C.C. (eds.): Views from the Alps – Regional Perspectives of Climate Change. The MIT Press, Cambridge, MA, pp. 435–498.*  
**Schibli, D. (2000):** *Bilder der Wissenschaft. Lizenzarbeit, Universität Zürich.*

## CLIMATE FACTS – Klimawandel im Alpenraum

Die interaktiven Module von CLIMATE FACTS informieren über den aktuellen Stand der Schweizer Klimaforschung. Sie stehen auf dem World Wide Web für die Öffentlichkeit zur Verfügung: [clear.eawag.ch](http://clear.eawag.ch)

- Der PERSÖNLICHE CO<sub>2</sub>-RECHNER bestimmt die Energie- und Kohlendioxid-Bilanz, basierend auf dem individuellen Lebensstil.
- IMPACTS stellt die Auswirkungen des erwarteten Klimawandels für die Schweiz dar. Themen sind die Häufigkeit von Naturkatastrophen oder die Folgen für den Wintertourismus und die Bauindustrie.
- OPTIONEN diskutiert die politischen Möglichkeiten des Klimaschutzes auf nationaler Ebene (Aktualisierung 2001).
- SURE? erklärt das Entstehen und den Umgang mit Unsicherheiten in wissenschaftlichen Ergebnissen. (im Aufbau)

Web-Adresse:

<http://clear.eawag.ch>

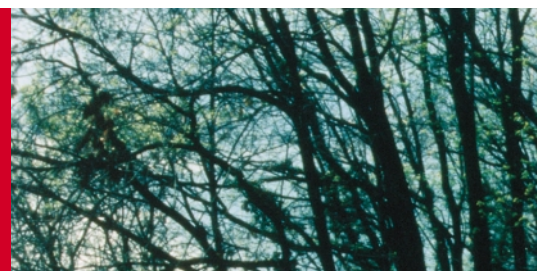
Kontakt:

Martin Büssenschütt

[buessenschuett@eawag.ch](mailto:buessenschuett@eawag.ch)



**EIN ANDERES BILD: IN DIESEM BILD IST ERWÜNSCHT, DASS ZUGRUNDE LIEGENDE ANNAHMEN OFFENGELEGT, UNSICHERHEITEN DARGESTELLT UND DIE GRENZEN DES WISSENS BENANNT WERDEN.**



## Folgerungen und Ausblick

Obwohl die uneinheitlichen und sich häufig widersprechenden Ergebnisse der Klimaforschung eine entscheidende Rolle in der gegenwärtigen Klimadiskussion spielen, steckt die Behandlung und Vermittlung von unreduzierbaren Unsicherheiten noch in den Kinderschuhen. Dies gilt nicht nur für das Bild der Wissenschaft in der Öffentlichkeit, die klare Antworten und unmissverständliche Anweisungen erwartet. Auch innerhalb der Wissenschaften werden Unsicherheiten eher als statistisches Problem angesehen



**Dr. Claudia Pahl-Wostl**

ist Privatdozentin an der ETH Zürich und leitet die Forschungsgruppe Integrated Assessment an der EAWAG



**Dr. Martin Büssenschütt**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der EAWAG und für die Informationsplattform CLIMATE FACTS verantwortlich

# MODELLE IN DER KLIMADEBATTE

CHRISTOPH SCHÄR UND MARTIN WILD

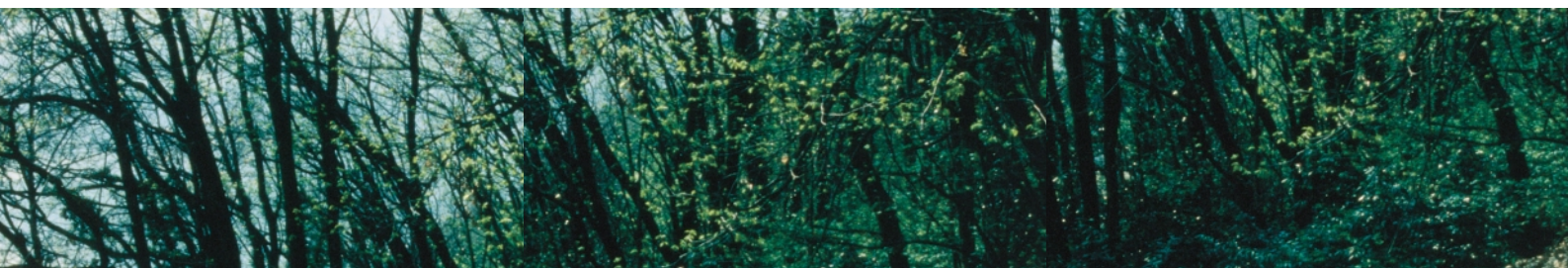
Die Neunzigerjahre waren global gesehen die wärmste Dekade seit Beginn zuverlässiger instrumenteller Messreihen um 1860 und höchstwahrscheinlich auch die wärmste des letzten Jahrtausends. Wie weit ist der Mensch für diese Entwicklung verantwortlich? Mit welchen Entwicklungen haben wir in Zukunft zu rechnen? Mit Hilfe von Klimamodellen wird versucht, diese und weitere Fragen anzugehen.

Die internationale Klimadebatte ist in den letzten Jahren um wichtige Aspekte bereichert worden. Noch vor zehn Jahren wurden Klimamodelle und die Existenz der Klimaveränderung in Frage gestellt. Es wurde argumentiert, dass sich die beobachtete Erwärmung seit dem Beginn systematischer instrumenteller Messung (ungefähr im Jahre 1860) nicht von der natürlichen Klimavariabilität unterschei-

Die Resultate (Abb. 1) deuten darauf hin, dass die Erwärmung im 20. Jahrhundert seit Beginn des letzten Jahrtausends einzigartig ist. Der beobachtete Temperaturverlauf der Nordhemisphäre ist dominiert durch die Erwärmung der letzten hundert Jahre und ist konsistent mit Resultaten aus Klimamodellen.

Als Hauptgrund für die beginnende Klimaveränderung gilt die anthropogene Ver-

brennung der fossilen Energieträger beziehungsweise die daraus resultierende Freisetzung von Treibhausgasen. Man erwartet, dass bis zum Jahre 2100 die Klimaveränderung sich weiter beschleunigt und die globale Mitteltemperatur um weitere 1,5 bis 5 °C erhöht (vergleiche mit Abb. 1). Angesichts solcher Aussichten gewinnt die Frage nach eigentlichen Klimaprognosen und Szenarien zunehmend an



den lasse. In einer viel beachteten Kritik hiess es zum Beispiel: «On the basis of the records available, the best estimate of the global temperature change that has occurred over the industrial period does not significantly vary from zero.» In der Zwischenzeit jedoch ist in mehreren unabhängigen Arbeiten die nordhemisphärische Mitteltemperatur des letzten Jahrtausends rekonstruiert worden. Als Datenquellen für solche Rekonstruktionen dienen natürliche Klimaarchive wie Eisbohrkerne, Sedimente und Baumringe, aber auch historische Aufzeichnungen und frühe instrumentelle Messungen.

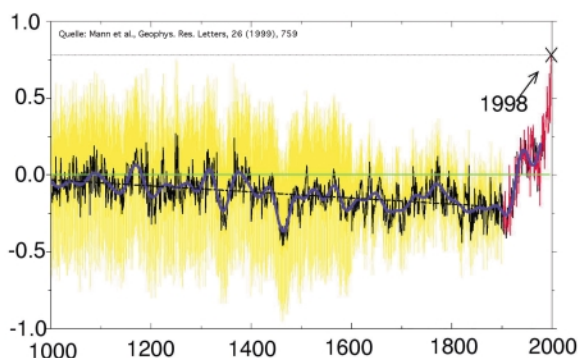


Abb. 1: Mittlere bodennahe Lufttemperatur der Nordhemisphäre für das letzte Jahrtausend. Die Werte beziehen sich auf das Temperaturmittel 1902–1980. Die Farben bedeuten: Rot: direkte Messung (1902–1998); Schwarz: Rekonstruktion aus natürlichen Klimaarchiven und historischen Quellen; Blau: gleitendes Mittel; Gelb: Unsicherheitsbereich. (Aus Mann et al., 1999, *Geophys. Res. Letters*, 26, 759)



Bedeutung. Solche Prognosen sollen nicht nur die globale Mitteltemperatur umfassen, sondern möglichst konkrete Aussagen über die regionalen Ausprägungen des Klimas liefern und nebst Temperatur auch Niederschlag und andere Klimagrößen beschreiben. Des Weiteren ist es notwendig, die Unsicherheiten der entsprechenden Aussagen zu quantifizieren, was detaillierte Kenntnis der Mechanismen und Prozesse voraussetzt, welche natürliche Klimaschwankungen verursachen. Fragen dieser Art können allein durch den Einbezug moderner Klimamodelle beantwortet werden.

### Das Energiebilanzmodell von Svante Arrhenius

Eines der ersten «Klimamodelle» geht zurück auf den schwedischen Chemiker Svante Arrhenius (1859–1927). Er hatte als erster erkannt, dass die Präsenz von Treibhausgasen einen nachhaltigen Einfluss auf die Energiebilanz der Atmosphäre und damit unser gesamtes Klima ausübt. Er stützte sich dabei auf die Arbeiten anderer Forscher, welche auf die absorbierenden Effekte von Wasserdampf ( $H_2O$ ), Kohlendioxyd ( $CO_2$ ) und Methan ( $CH_4$ ) im infraroten Bereich des Spektrums aufmerksam gemacht hatten. Im Jahre 1895 veröffentlichte Arrhenius eine Publikation mit dem Titel «On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground».

### Schlüsselesenz Wasser

Die Komplexität des Klimasystems ist jedoch viel zu gross, um die von Svante Arrhenius gemachten Vereinfachungen zuzulassen. Die Komplexität wird wesentlich durch die Substanz Wasser verursacht und insbesondere dadurch, dass Wasser im Klimasystem in einer Vielzahl von Aggregatzuständen auftritt: in der Atmosphäre als Wasserdampf, Wolkentröpfchen und Eiskristalle; auf den Landoberflächen als Schnee, Eis und in flüssiger Form in den Oberflächengewässern; im Erdreich als Grundwasser, Bodenwasser und Permafrost; in den Ozeanen als Salzwasser und in den polaren Gebieten als Meereis. Diese unterschiedlichen Formen von Wasser besitzen gänzlich unterschiedliche Eigenschaften, und ihr Wechselspiel ist entscheidend für das Verhalten unseres Klimasystems.

Obwohl der Wassergehalt der Atmosphäre mengenmässig im Vergleich zu den Ozeanen vernachlässigbar ist – in flüssiger Form entspricht der atmosphärische Gehalt einer Wasserschicht von nur 26 mm Dicke –, spielt atmosphärisches Wasser eine absolut zentrale Rolle: Wasserdampf ist das wichtigste Treibhausgas der Atmosphäre (sogenannte Wasserdampf-Treibhaus-Rückkopplung); die atmosphärische Bewölkung bestimmt die planetare Albedo der Atmosphäre, das heisst denjenigen Anteil der Sonneneinstrahlung, welcher durch die Atmosphäre in den Weltraum

szenarien aus numerischen Modellen, oder sogar aus einer eigentlichen Kette von Modellen.

### Moderne Klimamodelle an der ETH Zürich

Heute wird eine breite Palette von verschiedenen Modellen in der Klimafor schung eingesetzt, welche einen unterschiedlichen Komplexitätsgrad besitzen, je nach Fragestellung unterschiedliche Komponenten berücksichtigen (Atmosphäre, Ozeane, Eisschilde, Landoberflächen) und unterschiedliche Regionen abdecken (ganze Erde, Kontinente, Regionen usw.). An der ETH Zürich ist seit einigen Jahren eine breite Palette von Klimamodellen im Einsatz: Gemeinsame Eigenschaft solcher Modelle ist ein dreidimensionales Rechengitter. Auf diesem Rechengitter wird der Gleichungssatz der atmosphärischen Strömungen diskretisiert. Kleinskalige Prozesse, welche durch die Maschen des Modellgitters fallen, müssen parameterisiert werden.

Die Ursachen der Klimaproblematik sind von globaler Dimension, ihre Auswirkungen können jedoch regional sehr unterschiedlich sein. Zur Beurteilung der entsprechenden Prozesse und zum Abschätzen möglicher Auswirkungen auf menschliche Aktivitäten werden zunehmend eigentliche Modellketten eingesetzt, welche einen breiten Bereich horizontaler Skalen abdecken. Eine solche Modellkette



**DIE RESULTATE NEUER UNTERSUCHUNGEN DEUTEN DARAUF HIN, DASS DIE ERWÄRMUNG IM 20. JAHRHUNDERT SEIT BEGINN DES LETZTEN JAHRTAUSENDTS EINZIGARTIG IST.**



Kern dieser Arbeit ist ein einfaches Energiebilanzmodell, mit welchem der Einfluss der Treibhausgase auf unser Klima zum ersten Mal abgeschätzt wurde. Die Rechnungen zeigten, dass die Konzentration des Spurengases Kohlendioxyd das Erdklima entscheidend beeinflussen kann, und Arrhenius argumentierte, dass eine Erhöhung der entsprechenden Konzentration um einen Faktor 2,5 bis 3 über den damaligen Wert die Temperatur der Arktis um bis zu 8 Grad erhöhen könnte. Andererseits nahm Arrhenius an, dass die Eiszeiten möglicherweise durch einen reduzierten  $CO_2$ -Gehalt mitverursacht worden seien.

zurückreflektiert wird (Albedo-Rückkopplung durch Wolken); schneebedeckte Landflächen und eisbedeckte Ozeane modulieren die Albedo der Erdoberfläche (Albedo-Rückkopplung durch Schnee und Eis); Niederschlag und Abfluss von den Kontinenten bestimmen über den Süswassereintrag in die Ozeane einen wichtigen Antrieb der Ozeanzirkulationen. All diese Prozesse sind in hohem Grade nichtlinear und verlangen nach einer quantitativen Behandlung, die im Rahmen von Klimaszenarien nur mit numerischen Modellen möglich ist. Gegenwärtig stammen deshalb die meisten Klima

wird gegenwärtig am Institut für Klimaforschung in Zusammenarbeit mit dem Institut für Atmosphärenphysik entwickelt und getestet. Diese Modellkette soll helfen, den Wasserkreislauf inklusive Jahresgangs und zeitlicher Änderungen auf der regionalen Skala zu beschreiben (siehe Abb. 2).

Den Ausgangspunkt der Modellkette bilden die globalen Klimamodelle, die den Globus mit einem erdumspannenden Gitter abdecken. Die ersten globalen Modelle wurden mit dem Aufkommen leistungsfähiger Computer in den Sechzigerjahren im Hinblick auf die Wetter-





zeigen. Dazu wurden die reinen Atmosphärenmodelle in den letzten Jahren zunehmend um weitere Modellkomponenten erweitert, um die Wechselwirkungen mit den übrigen Komponenten des Klimasystems (Ozeane, Land- und Meereis, Landoberfläche und Biosphäre) miteinzubeziehen. Entsprechend immens ist auch der Bedarf an Computerrechenzeit, welchen die immer komplexer werdenden Modellsysteme beanspruchen. So können auch auf den leistungsfähigsten Supercomputern globale Szenarien für die nächsten Jahrzehnte nur mit einer relativ groben Gitterauflösung von bestenfalls etwa 100 km gerechnet werden. Zur Verbesserung der regionalen Aussagekraft kann die von den globalen Modellen gelieferte Information über die grossskalige Klimaentwicklung in regionale Modelle eingespiesen und darin verfeinert werden. In regionalen Klimamodellen wird die verfügbare Rechenkapazität auf einen Ausschnitt konzentriert. Dies erlaubt insbesondere eine realistischere Beschreibung des Einflusses von Land-See-Kontrast und Topografie. Zum Beispiel kann die Niederschlagsverteilung weit detaillierter und genauer simuliert werden. Am Schluss der Modellkette stehen oft eigentliche Impact-Modelle. Im vorgestellten Beispiel (Abb. 2) handelt es sich um ein Abflussmodell, welches die von den Klimamodellen berechneten Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse in das Abflussverhalten des Rheins umsetzen soll. Ziele sol-



prognose entwickelt und beschränkten sich im Wesentlichen auf die Abbildung der atmosphärischen Zirkulation. Auch heute unterscheiden sich die Atmosphärenmodelle für Klima- und Wetterprognose jedoch nicht grundsätzlich: Die Klimamodelle werden einfach wesentlich länger in die Zukunft gerechnet. Im Gegensatz zur Wetterprognose geht es dabei allerdings nicht mehr um eine deterministische Vorhersage des Wetters für ein bestimmtes Datum. Die deterministische Vorhersagbarkeit erlischt nämlich bereits nach wenigen Tagen auf Grund des nichtlinearen chaotischen Verhal-

tens der Atmosphäre. Vielmehr wird versucht, die längerfristige Entwicklung des Globalklimas im statistischen Mittel und in ihrer Variabilität abzuschätzen, wie sie sich auf Grund veränderter Rahmenbedingungen einstellen könnte (zum Beispiel erhöhter  $\text{CO}_2$ -Gehalt in der Atmosphäre, Abholzung der tropischen Regenwälder, vulkanische Staubpartikel in der Stratosphäre usw.). Die globalen Klimamodelle sind bis heute die einzigen Instrumente, die es erlauben, die globale Tragweite potenzieller Eingriffe des Menschen ins Klimasystem auf einer physikalisch konsistenten Basis aufzu-

cher Modellketten sind die Identifikation kritischer Zusammenhänge, die Konstruktion von Klimaänderungs-Szenarien und Abschätzungen über die zukünftige Häufigkeit von extremen Ereignissen.



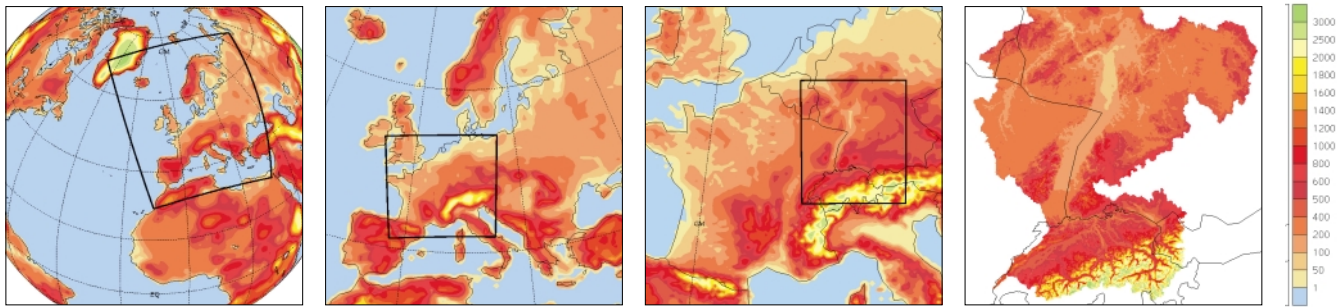


Abb. 2: Beispiel einer Modellkette.

Die Diagramme zeigen die Topographie und das Rechengebiet von vier Modellen (von links nach rechts): Globales Klimamodell mit einem Gitterabstand von 120 km, Regionale Klimamodelle mit Auflösungen von 56 und 14 km, und ein Abflussmodell mit einer Auflösung von 1 km.

Man beachte die zunehmend detailgetreue Beschreibung der Alpen.  
(Quelle: Jan Kleinn, Klimaforschung ETH)

## Ausblick

Zuverlässige Aussagen zur Klimaentwicklung auf regionalen Skalen sind als Entscheidungsgrundlage für gesellschaftspolitische und ökonomische Anpassungsstrategien und für die Klimafolgenforschung von grosser Bedeutung. Klimamodelle bilden gegenwärtig einen der wichtigsten Eckpfeiler in der internationalen Klimadebatte, fliessen auf breiter Front in die entsprechenden Berichte des Intergovernmental Panels on Climate Change (IPCC) ein und spielen dabei eine wichtige Rolle im politischen Verhandlungsprozess an den Klimakonferenzen. Die Herausforderung für die Klimamodellierung wird in Zukunft noch vermehrt darin bestehen, verlässlichere Abschätzungen der Klimaentwicklung nicht nur im globalen Mittel, sondern auch für

Unwetterereignissen abzuschätzen sowie die möglichen Auswirkungen auf unsere Umwelt, Ökonomie, Wasserressourcen und Gesellschaft zu untersuchen. Trotz der Fortschritte der letzten zwanzig Jahre darf dabei nicht vergessen gehen, dass Klimamodelle noch immer grosse Unsicherheiten bergen. In vielen Institutionen wird deshalb intensiv an weiteren Modellverbesserungen gearbeitet. Des Weiteren sind systematische Anstrengungen notwendig, um die gegenwärtig üblichen Szenarien durch probabilistische Beschreibungen der Klimazukunft zu ersetzen. Zu all diesen Zwecken ist ein verbessertes Prozessverständnis notwendig – und dies in einem breiten Gebiet von Disziplinen.

## Klimamodellierung am Institut für Klimaforschung der ETH

Globale Klimamodelle, globale Klimaänderungs-Szenarien: Dr. Martin Wild ([wild@geo.umnw.ethz.ch](mailto:wild@geo.umnw.ethz.ch)), Prof. Atsumu Ohmura; – Regionale Klimamodelle: Prof. Christoph Schär ([schaer@geo.umnw.ethz.ch](mailto:schaer@geo.umnw.ethz.ch)); – Hydrologische Abflussmodelle: Dr. Joachim Gurtz ([gurtz@geo.umnw.ethz.ch](mailto:gurtz@geo.umnw.ethz.ch)); – Gletscher- und Meereismodelle: Prof. H. Blatter ([blatter@geo.umnw.ethz.ch](mailto:blatter@geo.umnw.ethz.ch)). Weitere Informationen auch verfügbar unter <http://www.geo.umnw.ethz.ch/>. Institut für Klimaforschung der ETH, Winterthurerstr. 190, 8057 Zürich. Tel. 01/635 52 11, 01/635 52 31 (Sekretariat)



spezifische Regionen zu ermöglichen. Zudem ist es notwendig, nebst dem mittleren Klimazustand auch die Häufigkeit von seltenen Ereignissen wie Dürren, Überschwemmungen und anderen



**Prof. Dr. Christoph Schär**  
ausserordentlicher Professor für Hydrologie und Klimatologie am Institut für Klimaforschung der ETH Zürich



**Dr. Martin Wild**  
Projektleiter globale Klimamodellierung am Institut für Klimaforschung der ETH Zürich

# AUF DEN SPUREN VON EL NIÑO

HUW C. DAVIES

**Die langfristigen Prozesse des Klimawandels sind für den Einzelnen oft nicht sichtbar. Spürbar katastrophale Auswirkungen haben dagegen Extremereignisse oder Klimaschwankungen wie El Niño. Inwieweit sind sie vorhersehbar, und welche Zusammenhänge bestehen zum Klimawandel?**

Jedes Jahr gibt es irgendwo auf der Erde Regionen mit ungewöhnlichen klimatischen Verhältnissen. Es gibt auch Zeitabschnitte, während derer solche Fluktuationen besonders häufig, stark ausgeprägt und weit verbreitet sind. Ein Beispiel aus jüngerer Zeit ist der Nordwinter 1997/98, als im zentraläquatorialen Pazifik ein Ereignis der «El Niño/Southern Oscillation (ENSO)» stattfand, das abnormale Niederschläge rund um den Pazifik,

NAO von 1995/96 beendete eine Periode von sieben aufeinanderfolgenden warm-feuchten Wintern in Nord- und kühl-trockenen Wintern in Südeuropa. Die Existenz, die räumliche Ausdehnung und die Auswirkungen von solch wiederkehrenden Klimafluktuationen wie ENSO, PNA und NAO geben Erkenntnisse über ihre Natur, ihre Vorhersagbarkeit und über einen möglichen Zusammenhang mit einer Klimaveränderung und der ge-

Während der La-Niña-Phase ist die Oberflächentemperatur des äquatorialen Pazifiks im Westen am höchsten. Östlich davon liegt eine längliche Zone mit kühlerem Wasser. In der Atmosphäre über dem warmen Wasser herrscht tiefer Druck, was zu dichten Wolken mit ergiebigen Niederschlägen führt. Durch die Passatwinde strömt über die ganze Länge des Pazifiks Luft gegen das Gebiet tiefen Druckes.

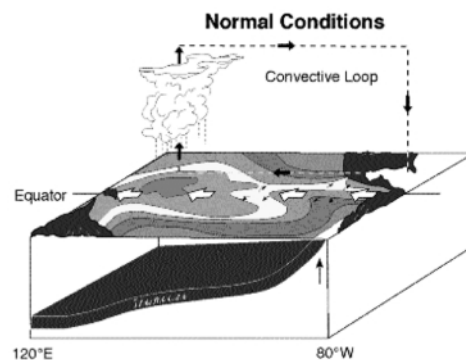


aber auch in entfernteren Gegenden brachte, weltweit zirka 23 000 Menschenleben forderte und Schäden in der Höhe von 33 Milliarden US-\$ verursachte. Zwei frühere Beispiele stammen aus den Wintern 1987/88 und 1995/96 und hingen mit der so genannten «Pacific-North American Oscillation (PNA)» beziehungsweise mit der «North Atlantic Oscillation (NAO)» zusammen. Die PNA von 1987/88 fiel mit dem Ende einer mehr als zehn Jahre dauernden Periode überdurchschnittlich warmer Temperaturen in Alaska und kühler Temperaturen im zentralen Nordpazifik zusammen, und die

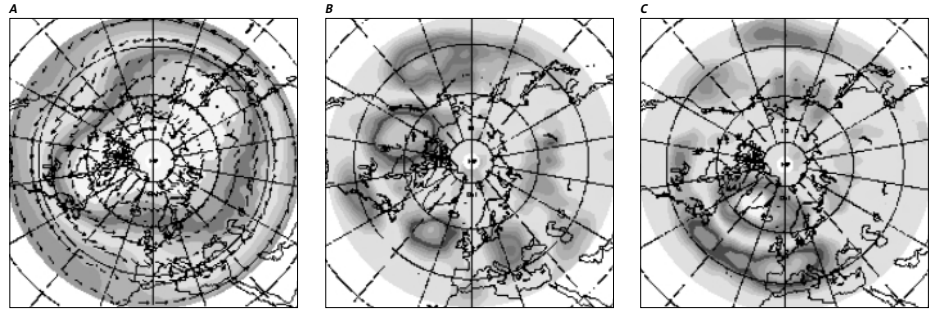
genwärtigen Häufung von ungewöhnlichen Wetterereignissen im Alpenraum.

## Das ENSO-Phänomen

Das ENSO-Phänomen ist ein Wechselspiel von atmosphärischen und ozeanischen Prozessen im äquatornahen Pazifik in der Form eines unregelmässigen Zyklus von zwei bis sieben Jahren Dauer. Seine zwei Phasen sind durch ausgeprägte Merkmale charakterisiert (Abb. 1) und werden «El Niño» und «La Niña» genannt (Letztere oft auch «normal state»).



**Abb. 1: Schematische Darstellung der Bedingungen im äquatorialen Pazifik während einer El-Niño- und einer La-Niña-Phase von ENSO (nach M. Mc Phaden).**



**Abb. 2:** Bild (a) zeigt die aussertropischen Januar-Mittelwerte einer Variable bezüglich des Druckes auf Tropopausenhöhe. Die Bilder (b) und (c) zeigen die Abweichungen von den mittleren Verhältnissen während der positiven Phase von PNA bzw. von NAO.

Während der El-Niño-Phase liegt die Zone des wärmsten Wassers weiter östlich und erstreckt sich vom zentralen Pazifik dem Äquator entlang als schmales Band bis zur Küste Perus. Das Gebiet tiefen Druckes, dichter Wolken und starker Niederschläge hat sich ebenfalls gegen Osten verschoben. Im Westpazifik werden aus den östlichen Passatwinden nun Westwinde, die gegen das nach Osten verlagerte Zentrum des tiefen Druckes wehen.

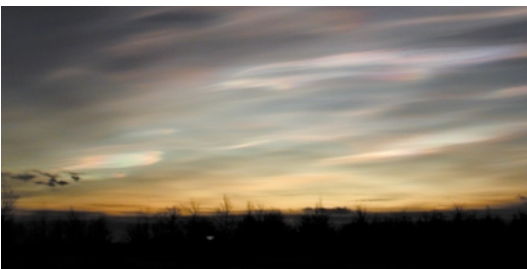
Der Fall von 1997/98 ist ein anschauliches Beispiel für die Niederschlagsanomalien während einer El-Niño-Phase. Über dem zentralen Pazifik und in Peru regnete es aussergewöhnlich viel, während Indonesien, der Indische Ozean und Nordbrasilien grosse Regendefizite zu verzeichnen hatten. Ungewöhnliche Nieder-

schlagsverteilungen gab es während dieser Periode auch in weiter entfernten Gebieten in den mittleren Breiten sowohl auf der Süd- wie auf der Nordhalbkugel. In einem ENSO-Zyklus reagiert die Atmosphäre auf die Verlagerung des Maximums der Meerestemperatur relativ schnell, innerhalb von Tagen bis Wochen. Der Ozean hingegen ist viel träger und braucht viele Monate, um sich auf die veränderten Winde in der unteren Atmosphäre einzustellen. Der Übergang von der einen ENSO-Phase in die andere ist ein positiver Rückkopplungsmechanismus. Eine vorübergehende westliche Strömung im zentralen Pazifik während einer La-Niña-Phase kann zum Beispiel dazu führen, dass die Region mit maximaler Meerestemperatur und damit auch die Zone mit atmosphärischer Kon-

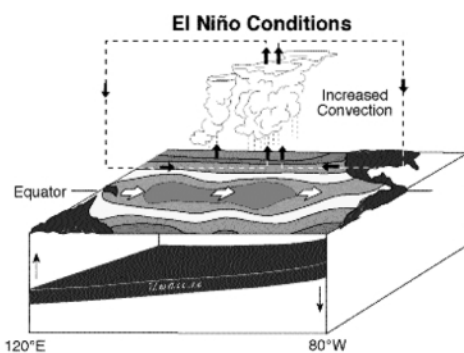
## Die PNA- und NAO-Phänomene

Die aussertropischen PNA (Pacific-North American Oscillation) und NAO (North Atlantic Oscillation) haben ebenfalls auffällige wiederkehrende Eigenschaften. Im Winter sind sie am ausgeprägtesten und besonders gut zu erkennen, wenn man die Abweichungen von einem mittleren Zustand der Atmosphäre betrachtet (Abb. 2). Erkennbar sind so genannte «Teleconnection»-Muster, Regionen, die durch ihre gleichzeitigen Abweichungen vom mittleren Zustand miteinander in Verbindung zu stehen scheinen. Diese Strukturen ändern ihr Vorzeichen synchron, aber unregelmässig.

Das PNA-Muster (Abb. 2b) hat einen tripolaren Ast mit Anomalien über dem zentralen Nordpazifik, Kanada und der Ost-



**ENSO UND NAO HABEN EINEN BETRÄCHTLICHEN EINFLUSS AUF DIE DURCHSCHNITTSTEMPERATUR DER ERDE.**



vektion langsam nach Osten driften. Dies wiederum verstärkt die anfängliche Westströmung und begünstigt die Entstehung einer El-Niño-Phase. Der zyklische Charakter der ENSO wird vom Jahresgang und von der damit verbundenen variierenden Stärke der Passatwinde beeinflusst. Die unregelmässige Frequenz und Amplitude der ENSO-Ereignisse hängt von der scheinbar chaotischen täglichen und wöchentlichen Variabilität des Wetters ab.

küste der USA und hat weitere Anomalien über dem Atlantik und Europa. Die positive PNA-Phase verursacht auf diesem Ast wärmere und feuchtere Winter an der amerikanischen Westküste, wärmere und trockenere Winter über Kanada und kältere Winter an der Ostküste der USA.

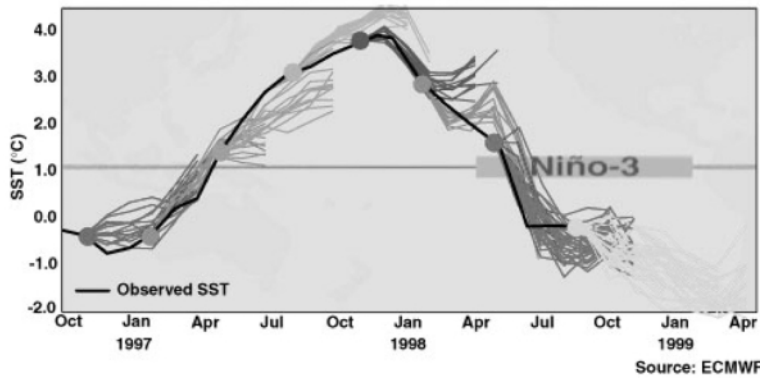
Das Muster der PNA gibt Antworten auf zwei klimatische Rätsel: Erstens, wie können weit voneinander entfernte Regionen auf der Erde gleichzeitigen Klimafluktuationen unterworfen sein? In unserer Atmosphäre können Wellen existieren, wie in jedem anderen Fluidum, das auf eine Störung mit einer rücktrei-



benden Kraft antwortet. Für grossskalige atmosphärische Bewegungen ist die rücktreibende Kraft proportional zum Gradienten des in Abbildung 2a dargestellten Feldes. Aus dieser Sichtweise ist die PNA eine stationäre Welle mit Ursprung im zentralen Pazifik, die sich entlang der gewundenen Zone mit einer starken rücktreibenden Kraft ausbreitet (begrenzt ungefähr durch den südlichen Rand des roten Bandes in Abb. 2a).

Das zweite Rätsel ist die Frage, warum während El-Niño Anomalien auch in den mittleren Breiten auftreten. Da sich durch El Niño die Region mit grosser Wolkenaktivität verschiebt, kann man aus der Wellenperspektive sagen, dass dadurch auch die Quellregion des PNA-Musters verschoben wird. Die PNA kann tatsächlich eine Art Brücke sein, die den Einfluss von El Niño in die mittleren Breiten trägt. So entsprechen denn auch die Bedingungen, wie sie während der positiven PNA-Phase in Nordamerika vorherrschen, jenen der El-Niño-Phase der ENSO. Im Gegensatz zur PNA ist die NAO örtlich enger begrenzt. In ihrer positiven Phase ist der Druck tief über Island und hoch weiter im Süden. Die Auswirkungen sind verstärkte Strömungen von Norden und entsprechend tiefere Temperaturen westlich von Grönland, wärmere Verhältnisse vor der Ostküste der USA, stärkere Westwinde über dem Atlantik, grössere Zyklonenaktivität und mehr Niederschläge in Skandinavien und trockenere und kältere Bedingungen in Südeuropa. In der entge-

**El Niño 1997/98  
Seasonal Predictions**



**Abb. 3: Resultate von mehrmonatigen Vorhersagen der Entwicklung der mittleren monatlichen Meeresoberflächen-Temperatur im zentralen tropischen Pazifik während des El Niño von 1997/98. Die schwarze Linie stellt die tatsächlichen Beobachtungen dar. (Prognosen aufbereitet durch das ECMWF)**

Meeresoberflächen-Temperatur im Westatlantik. Einerseits gibt es überzeugende Belege, dass die NAO ein atmosphärisches Phänomen ist, das die thermischen Eigenschaften des Ozeans auf Zeitskalen von einigen Monaten beeinflusst, und dass der Ozean die resultierenden thermischen Anomalien auf Zeitskalen von Jahren bis Jahrzehnten bewahren und weiterentwickeln kann. Andererseits gibt es aber auch Anzeichen dafür, dass die atmosphärischen Strömungen wegen der zeitlichen Entwicklung der zu Grunde liegenden Meerestemperaturen von der einen Phase der NAO in die andere übergehen.

El Niño von 1982/83 zeigte dessen globalen Charakter. Das beispiellose Ereignis von 1997/98 bekräftigte dies und übertraf frühere Schadenssummen bei weitem. Die Vorhersage von solchen relativ kurzzeitigen Klimaschwankungen von Jahr zu Jahr wird erschwert durch die in hohem Masse turbulente, quasi-chaotische Natur der atmosphärischen Wetterabläufe und erleichtert durch das Langzeitgedächtnis des Ozeans mit seiner grossen Wärmekapazität und seiner langsamen Reaktion auf atmosphärische Veränderungen. Solche Klimaschwankungen sind umso besser voraussagbar, wenn der atmosphärische Antrieb, der durch das



gegengesetzten Phase sind die Westströmungen über dem Atlantik abgeschwächt oder sogar ganz unterbrochen. Die einzelnen Tiefdruckgebiete folgen dann entweder einer Zugbahn nördlich von Skandinavien oder einer südlichen gegen die Iberische Halbinsel. Die Niederschlagsanomalien sind in diesem Fall genau umgekehrt (vgl. die Veränderungen von 1995/96).

Die NAO hängt auch mit charakteristischen Zuständen in der Stratosphäre und im Ozean zusammen. Letztere sind – und das unterstreicht die Komplexität der NAO – stark veränderte Variationen der

### Prognose

Die wissenschaftliche Herausforderung, solche sich von Jahr zu Jahr ändernden klimatischen Verhältnisse vorherzusagen, wird unterstützt durch wirtschaftliche Interessen, verursachen grössere Fluktuationen doch immense materielle Verluste und soziale Umwälzungen. So war es 1972/73 der Kollaps der peruianischen Sardellenfischerei während des starken El Niño, der erstmals weit verbreitete Aufmerksamkeit auf dieses Phänomen lenkte. Weltweite Schäden von 13 Milliarden US-\$ und 1500 Tote durch den

Langzeitgedächtnis des Ozeans produziert wird, wesentlich stärker ist als das hochfrequente Rauschen des Wetters. In der Praxis sind für eine Vorhersage Informationen über den gegenwärtigen Zustand des Atmosphäre-Ozean-Systems und ein Modell notwendig, das in der Lage ist, die physikalischen Prozesse dieses Systems zu erfassen und dessen Zeitentwicklung zu simulieren. Ebenso will man den Grad an Unsicherheit, der von der chaotischen Natur der atmosphärischen Abläufe herrührt, abschätzen können. Seit Mitte der Neunzigerjahre sind diese drei Zutaten verfü-

bar und saisonale Vorhersagen möglich. Abbildung 3 zeigt das Resultat für das El-Niño-Ereignis von 1997/98. In regelmässigen Abständen wurden mehrmonatige Vorhersagen ausgeführt, und zwar jedesmal nicht nur eine, sondern gleich mehrere. Der Vergleich aller Prognosen ermöglichte eine «Vorhersage der Genauigkeit der Vorhersage». Im Fall von ENSO scheinen der starke Antrieb des Ozeans und die etwas weniger turbulenten tropischen Prozesse zum allmählichen Beginn und zum Zerfall des Ereignisses beizutragen, und gleichzeitig liefern sie ein Mass für dessen Vorhersagbarkeit.

Für die NAO der mittleren Breiten ist die Natur des ozeanischen Antriebs noch nicht ausreichend verstanden, und das «Wetterrauschen» ist bedeutend grösser. Im Gegensatz zu ENSO zeigt die NAO grosse Variabilität von Monat zu Monat innerhalb einer einzigen Saison, und die Variabilität von Jahr zu Jahr ist grösser als die Schwankungen eines Jahrzehnts. Die Wahrscheinlichkeit, die Entwicklung einer NAO erfolgreich vorhersagen zu können, ist also viel geringer, aber die Bemühungen zielen darauf hin, die Faktoren mit «Langzeitgedächtnis» zu finden, um damit die vorhersagbaren Eigenschaften der NAO – falls es überhaupt welche gibt – bestimmen zu können.

ENSO und die positive Phase von der NAO erhöhen die globale Durchschnittstemperatur (warme Luftmassen werden im Winter zum europäischen Kontinent hingeführt). Ausserdem überwogen in den Wintern 1980 bis 1995 die positiven NAO-Phasen, sie waren von beispielloser Stärke, und die zwei wärmsten Jahre fielen mit dem El Niño von 1997/98 zusammen. Statistische Analysen zeigen, dass ENSO und NAO fast 50% der Varianz in den Temperaturaufzeichnungen seit 1980 auf der Nordhalbkugel erklären können. Ihr Beitrag dominiert auch den Aufwärtstrend der Temperatur in dieser Periode.

Die faszinierende Schlussfolgerung daraus ist, dass ENSO und NAO Schlüsselkomponenten für die beobachtete Erwärmung auf der Nordhalbkugel sind und dass die Erwärmung zu einem grossen Teil durch Häufungen ihrer positiven Phasen und grösseren Amplituden in den Jahren nach 1970 erfolgt ist. Widerspiegeln diese Veränderungen eine mehrere Jahrzehnte dauernde Variation des Phänomens, oder zeigen sie den Einfluss der Klimaveränderung auf dieses Phänomen? Die Antwort darauf wird Auskunft darüber geben, ob eine globale Erwärmung zu noch kräftigeren El-Niño-Ereignissen in der Tropen und zu noch längeren Dürreperioden und Stürmen ausserhalb der Tropen führen wird.

Wegen Themen wie diesem haben «inter-annual climate fluctuations» höchste Priorität in neuen Forschungsinitiativen wie dem internationalen CLIVAR-Pro-

## CLIVAR

CLIVAR ist ein internationales Forschungsprogramm mit dem Ziel, die Variabilität und die Vorhersagbarkeit des Klimasystems der Erde zu untersuchen. Erscheinungsformen von Klimaschwankungen mit Zeitskalen von Monaten bis Jahrhunderten sollen beschrieben, verstanden und vorhergesagt werden können.

Weitere Auskünfte zu CLIVAR gibt das International Project Office, siehe <http://www.soc.soton.ac.uk/CLIVAR/> Für Informationen zu ENSO und NAO siehe <http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/el-nino/nino-home.html> <http://www.ldeo.columbia.edu/NAO/intro/index.html>

Der Autor dankt S. Dirren und M. Zillig für Ihre Unterstützung beim Verfassen des Textes.



## Zusammenhang mit der Klimaveränderung

Die globale Durchschnittstemperatur stieg in den letzten hundert Jahren um 0,5 Grad, verstärkt in den Achtzigerjahren, und die zwei wärmsten je gemessenen Jahre waren 1997 und 1998. Diese Rekorde ergeben sich aus natürlichen Schwankungen des Klimasystems und möglichen vom Menschen verursachten Effekten.

ENSO und NAO haben einen beträchtlichen Einfluss auf die Durchschnittstemperatur der Erde. Die El-Niño-Phase von

gramm (siehe Kasten).

Die Auswirkungen von ENSO und NAO auf die mittleren Verhältnisse in den Alpen sind nicht besonders dramatisch. Ihr Einfluss auf die meteorologischen Bedingungen in den Alpen ist schwach.

Es wäre beruhigend, daraus ableiten zu können, dass Klimaveränderungen den Alpenraum verschonen werden. Ein solcher Schluss wäre voreilig und unbesonnen. Es ist leider viel zu offensichtlich, dass Klimaschwankungen auch diese Region in Mitleidenschaft ziehen. Die Ursachen und Effekte müssen dringend untersucht werden!



**Prof. Dr. Huw C. Davies**

ist ordentlicher Professor für Physik am Institut für Atmosphärenphysik der ETH Zürich



# ZWISCHEN DÜRRE UND HOCHWASSER

PAOLO BURLANDO

**Die Weltbevölkerung nimmt zu, und als Folge davon steigt die Nachfrage nach Süsswasser. Infolge eines Klimawandels könnten jedoch die Wasserressourcen zurückgehen. Zudem ist eine deutliche Häufung von Naturkatastrophen wie Hochwasser und Erdbeben zu verzeichnen. Werden wir uns im nächsten Jahrhundert mit solchen Problemen auseinandersetzen müssen? Inwiefern können wir gewisse Gefahren vorhersagen?**

Innerhalb Europas, nämlich in England, der Schweiz, Italien und Spanien, lassen die vermehrt auftretenden Hochwasserereignisse die Frage nach den möglichen Ursachen aufkommen. Immer wieder wird der mit dem Treibhauseffekt verbundene Klimawandel dafür verantwortlich gemacht. Zeitungen, Radio und Fernsehen sind diesem Thema nachgegan-

phen? Inwieweit werden die Wasserressourcen von einer sich erwärmenden Atmosphäre beeinträchtigt?

Es ist wahrscheinlich nicht möglich, auf diese Fragen klare Antworten zu geben. Die Kenntnis der Mechanismen, welche die Klimaänderungen beeinflussen, ist noch unvollständig. Zahlreiche Studien und Forschungsergebnisse im letzten

## Ein virtuelles Labor

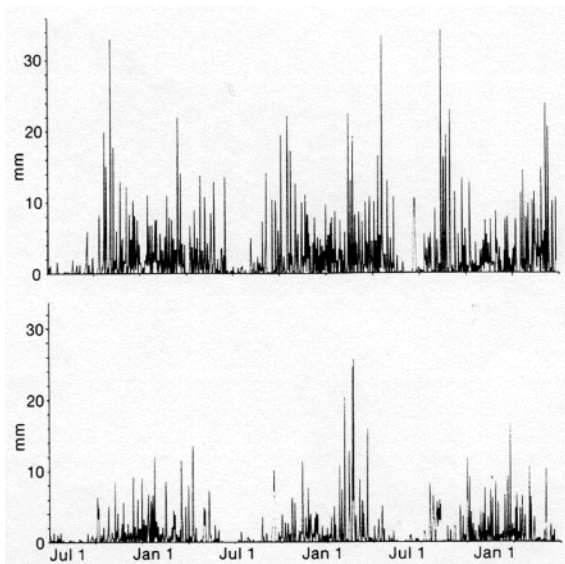
Die Entwicklung des Erdklimas wird mittels so genannter Allgemeiner Zirkulationsmodelle (General Circulation Models, GCMs) in der Absicht simuliert, die atmosphärische Zirkulation, welche die Klimaänderung kontrolliert, nachzubilden. Hierbei wird die Zirkulation von Wasser



gen. Wissenschaftler werden immer wieder aufgefordert, Befunde eines bleibenden Klimawandels und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu dokumentieren. Obwohl solche Vorhersagen, falls überhaupt möglich, nicht einfach sind, liefern zahlreiche neue Erkenntnisse in der Klima- und Hydrologieforschung genügend Befunde, um den Folgen eines möglichen Klimawandels für den Wasserkreislauf nachzugehen. Welche Auswirkung hat der Klimawandel auf den Wasserkreislauf? Führt ein steigender Treibhauseffekt zu einer erhöhten Tendenz von Katastro-

Jahrzehnt brachten jedoch einen zunehmenden Einfluss des Menschen auf das Klima ins Bewusstsein. Solche Studien basieren auf der Entwicklung mathematischer Modelle, die den Verlauf des Klimas wiedergeben und für die Erforschung der Wechselwirkung zwischen Klima und Wasserressourcen eingesetzt werden können.

in der Atmosphäre und seine Wechselwirkung mit Wasser auf der Erde berücksichtigt. Diese Modelle geben ein Bild vom Wasserkreislauf über sehr ausgedehnte Regionen der Welt, die oft erheblich grösser als die typische Grösse eines Fluss-Einzugsgebiets sind. Auf Grund ihrer komplexen physikalischen und mathematischen Struktur und des enormen Rechenaufwands können diese Modelle bei der Analyse der Änderungen der Wasserflüsse lediglich auf Tages- oder Monatsbasis eingesetzt werden. Da GCMs die atmosphärische Zirkulation physikalisch basiert simulieren, können sie aus-



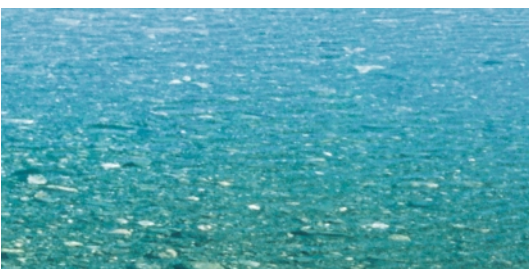
**Abb. 1: Beispiel für die Veränderung täglicher Regenfälle: oben heutige Bedingungen, unten simuliert unter den Bedingungen einer Klima-  
veränderung. (Wilson and Mitchell, 1987)**

serdem Rechenschaft über die Veränderungen ablegen, die durch die Änderungen der Zusammensetzung der Atmosphäre bei einer grösseren Immission von Treibhausgasen wie CO<sub>2</sub> vorkommen. Insofern können sie als ein virtuelles Labor gebraucht werden, das vorhersagen kann, wie das Klima auf eine Zunahme des Treibhauseffekts auf Grund einer Veränderung in der Zusammensetzung der Atmosphäre reagieren kann. Die Veränderung über kleinere Regionen, beispielsweise Einzugsgebiete in der Grösse von ein paar Hundert oder ein

chen Klimawandels zu simulieren, ist die Kopplung der Modelle, die auf Einzugsgebietsskala arbeiten, mit den Vorhersagen der GCMs erforderlich, die eine Verstärkung des Treibhauseffekts infolge eines Konzentrationsanstiegs von CO<sub>2</sub> und von anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre berücksichtigen. Eine solche Kopplung schafft die Möglichkeit für Simulationen, welche die Sensitivität der natürlichen Wasserhaushaltssysteme auf einen möglichen Klimawandel hin untersuchen.

vorhergesagten Durchschnittstemperatur der Erde von GCMs liegt zwischen +1 und +4 °C, wobei erwartet wird, dass der damit verbundene Anstieg der jährlichen Niederschlagsmenge zwischen 5% und 20% liegt. Die Mechanismen, die diese Änderungen verursachen, sind jedoch komplex und führen zu Verschiebungen im Wasserhaushalt, die je nach geographischer Lage sehr unterschiedlich sind. Obschon eine globale Niederschlagszunahme angenommen werden kann, wird die Veränderung unterschiedlich sein, und es ist durchaus möglich, dass der Niederschlag in einigen Gebieten abnimmt, während er in anderen Gebieten zunimmt.

Zurzeit ist die Unsicherheit, die mit den Einschätzungen der künftigen Niederschlagsänderungen verbunden ist, grösser als diejenige des Temperaturwandels. Wegen der wichtigen Rolle, die der Niederschlag für den Wasserkreislauf spielt, sind die geschätzten Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserressourcen ebenfalls mit grossen Unsicherheiten behaftet. Trotzdem werden wahrscheinlich Änderungen in den Niederschlagsregimen bezüglich der Menge und der jahreszeitlichen Verteilung eintreten, und sie werden als dominanter Klimafaktor bei der direkten Auswirkung auf Süsswasserressourcen wirken. Reduzierter Niederschlag im Sommer wird mit einem erhöhten Niederschlag im Winter nur teilweise ausgeglichen. Prozesse, die im Wasserkreislauf vom Niederschlag ab-



**WENN DIE DURCHSCHNITTSTEMPERATUR DER ERDE ZWISCHEN +1 UND +4 °C STEIGT, IST ZU ERWARTEN, DASS DER DAMIT VERBUNDENE ANSTIEG DER JÄHRLICHEN NIEDERSCHLAGSMENGE ZWISCHEN 5 UND 20% LIEGT.**



paar Tausend Quadratkilometern, benötigt hingegen die Anwendung von Modellen, welche die Entwicklung des Wasserkreislaufs auf Einzugsgebietsskala wiedergeben können. Diese Modelle werden von Hydrologen häufig eingesetzt, um die Verfügbarkeit der Wasserressourcen zu evaluieren, indem der Wasserkreislauf eines bestimmten Einzugsgebiets simuliert wird. Insofern wird die Veränderlichkeit des Abflusses aus einem Einzugsgebiet untersucht, vorausgesetzt, dass die bestimmenden Mechanismen nicht vom Klimawandel beeinflusst sind. Um den Einfluss eines mögli-

### **Einfluss auf Wasserressourcen**

Es stehen zahlreiche GCM-Vorhersagen zur Verfügung, jedoch stimmen die quantitativen Ergebnisse nicht immer überein. Es ist jedoch erkannt worden, dass die Verstärkung des Treibhauseffekts infolge einer erhöhten Konzentration von CO<sub>2</sub> und anderen Spurengasen eine Erwärmung der Atmosphäre zur Folge hat. Dieser Umstand führt zu einer Intensivierung der Wasserflüsse und verursacht dadurch eine Veränderung des Niederschlagsregimes und somit auch der Abflüsse. Die Erhöhung der

hängig sind, werden Veränderungen aufweisen. Verdunstung aus Boden und Pflanzen dürfte rasche Reaktionen zeigen und wird insofern den Bodenwasser-gehalt beeinflussen. Grundwasser-Neubildung sowie Süsswasser-Speicherung wie beispielsweise Speicherseen können betroffen werden, welche zuletzt die Abflussregime von grossen und kleinen Flüssen beeinflussen. Nivale Abflussregime können ihr jahreszeitliches Muster verändern, entweder wegen der vorgezogenen Schneeschmelze durch eine erhöhte spätwinterliche Temperatur oder durch eine allgemeine Verringerung



der Schneebedeckung, die durch eine Verringerung des Schneefall-Anteils am Niederschlag verursacht wird. Als Folge davon könnte der Bewässerungsbedarf und Regenfeldbau, sowohl durch jahreszeitliche Änderungen als auch durch Änderungen der Wasservolumina, markant beeinflusst werden. Die Oberflächenerosionsprozesse könnten sowohl durch die Änderungen in der Niederschlagsintensität als auch durch eine längere Exposition des Bodens für Niederschlag als Folge des früheren Ausaperns erheblich beeinflusst werden. Die Qualität des Wassers könnte auch gefährdet werden, falls eine stabile oder zunehmende Menge von Schadstoffen in kleineren Wasservolumina verdünnt werden müsste. Schliesslich könnten Naturkatastrophen wie Hochwasser und Dürren als Folge der Intensivierung des Wasserkreislaufs häufiger auftreten.

### Der Fluss in meiner Stadt

Die gesamten Änderungen auf die Wasserressourcen, die durch eine potenzielle Klimaänderung hervorgerufen werden, werden für die verschiedenen Regionen der Erde jeweils einen anderen Charakter aufweisen. In dieser Hinsicht ist es hilfreich, die räumliche Skala zu betrachten, in welcher wasserwirtschaftliche Entscheidungen getroffen werden, da somit eine bessere Sichtweise auf die Veränderungen möglich ist, die in einem bekann-

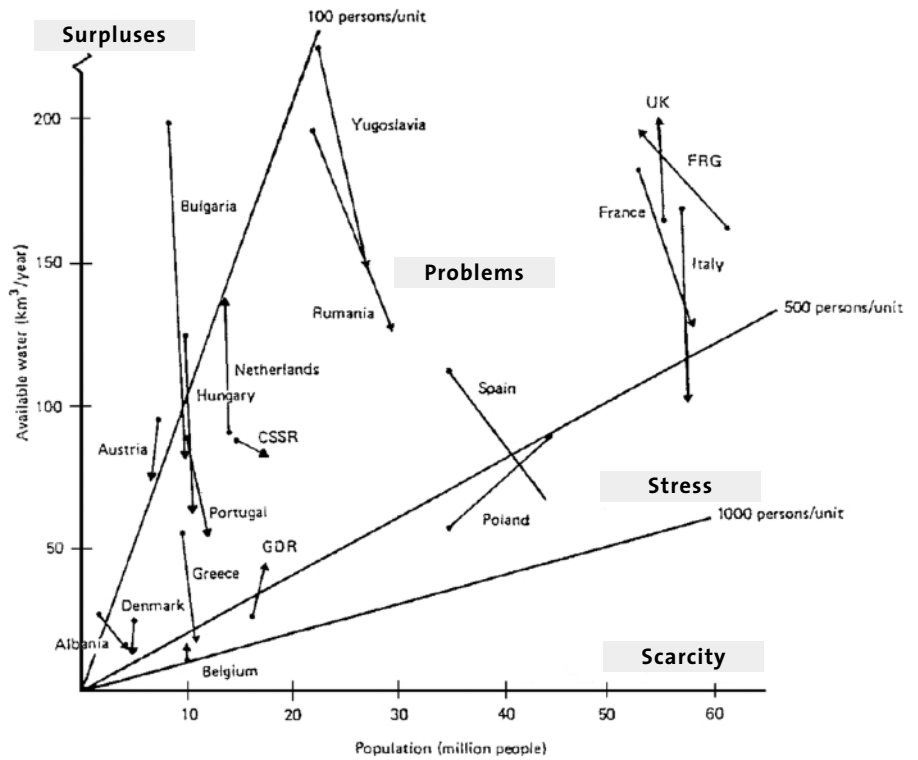
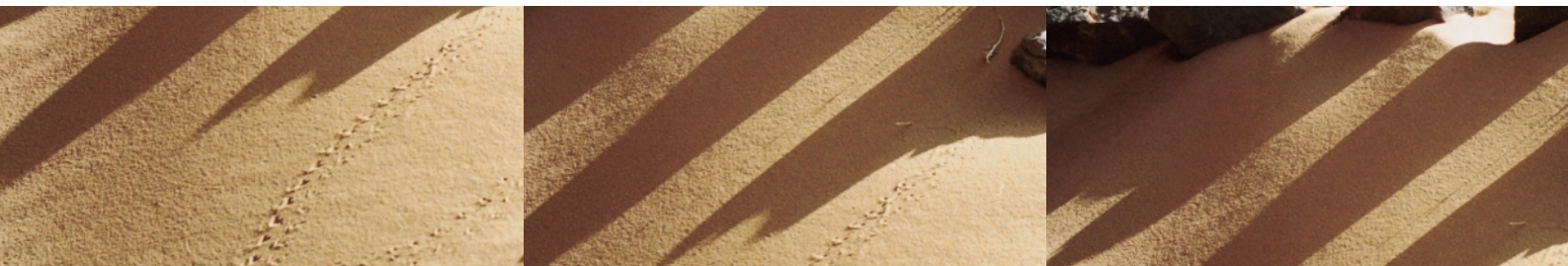


Abb. 2: Möglicher Einfluss der Klimaveränderung auf die Wasservorräte Europas. (Brouwer and Falkenmark, 1989)

schlagsverhaltens hervorgerufen werden. Man geht im Allgemeinen davon aus, dass kleine Flusssysteme sensibler auf Klimaveränderungen infolge des Treibhauseffekts reagieren als grosse. Dies liegt daran, dass kleinere Einzugsgebiete eine grössere Bandbreite an Reaktionen auf klimatische Variabilitäten zeigen, grössere Systeme hingegen stärker durch Einzugsgebiets-Charakteristika geprägt werden.

ressourcen im Einzugsgebiet nicht vernachlässigt werden, weil die Wahrscheinlichkeit für häufigere Hochwasser und Dürren ansteigen kann. Flüsse in semiariden Gebieten Südeuropas sind in dieser Hinsicht stärker betroffen als in Mitteleuropa, wo hingegen grössere Winterniederschläge und Änderungen im Verhältnis von Schnee zu Regen erwartet werden. Im Arno-Einzugsgebiet (ca. 4000 km²) in Mittelitalien (Florenz),



ten Einzugsgebiet zu erwarten sind. Wie oben kurz in Erinnerung gerufen, können solche Änderungen mit Hilfe hydrologischer Modelle analysiert werden, welche die Reaktion eines Einzugsgebiets auf klimatische Veränderungen, wie sie von den Klimamodellen vorhergesagt werden, simulieren. Dieser Ansatz ermöglicht es zu untersuchen, wie verschiedene Flusssysteme, die sich hinsichtlich ihrer Grösse und Morphologie, aber auch in ihrer Wassernutzung unterscheiden, auf klimatische Stressfaktoren reagieren, welche durch einen Temperaturanstieg oder eine Veränderung des Nieder-

Die meisten neueren Untersuchungen zum Thema der potenziellen Veränderungen auf Einzugsgebietsskala stimmen darin überein, dass es Anzeichen dafür gibt, dass sich nicht nur die Menge des Niederschlags, sondern auch die zeitliche Verteilung der Regenperioden im Vergleich zu heute auffallend verändern wird. Man geht davon aus, dass die Zahl der regenfreien Tage zunehmen wird, andererseits aber auch die Anzahl der Tage mit Starkregen. Einerseits mag man dies wegen der erhöhten Anzahl von Sonnenscheintagen begrüssen; dieser Faktor kann jedoch für die verfügbaren Wasser-

welches als repräsentativ für viele Flussgebiete in Südeuropa dienen kann, könnte beispielsweise die mittlere sommerliche Abflussmenge um bis zu 40% abnehmen, in seinen Teileinzugsgebieten sogar noch mehr. Flüsse, die stark durch Veränderungen des Klimas im Gebirge beeinflusst werden, wie zum Beispiel die Aare bei Bern, können andererseits infolge einer stärkeren Schnee- und Gletscherschmelze eine Ausdehnung der Zeit der hohen Frühlingsabflüsse um bis zu 30% erfahren. Dies zeigt, wie sich für mediterrane Gebiete das Problem ergeben könnte, den künftigen Bewässe-

rungsbedarf zu decken, und wie auf der anderen Seite Flüsse aus dem Gebirge möglicherweise eine neue Wasserbewirtschaftung und Seenregulierung nötig machen werden, um die Probleme, die sich aus den länger anhaltenden hohen Abflüssen ergeben, zu bewältigen.

Ein anderer grosser Einfluss der Klimaveränderungen wird sich auf die Hochwasser beziehen. Betrachten wir nochmals den Arno und die überschwemmungsgefährdete Stadt Florenz als Beispiel, so lassen die Simulationsergebnisse vermuten, dass die Stadt bereits in 25 Jahren stärker gefährdet sein dürfte als heute. Im Gesamteinzugsgebiet des Arno wird für den Wert des maximalen täglichen Abflusses, der einmal in 50 Jahren überschritten wird, eine Erhöhung von 50% erwartet, während für die kleineren Teileinzugsgebiete eine Zunahme von 20% für die maximalen Tagesabflüsse mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 5 Jahren und eine noch grössere für seltene Ereignisse vorausgesagt wird. Wenn die Spitzenabflüsse, welche dem höchsten Wasserstand im Fluss entsprechen, betrachtet werden, zeigt sich sogar eine noch stärkere Erhöhung. Die zeitliche Verteilung des Regens wird sich vermutlich derart verändern, dass die Regenfälle, die sich bislang auf eine längere Zeitspanne verteilen, sich auf kürzere Perioden konzentrieren werden, was man auch als eine «Tropisierung» des Niederschlagsverhaltens bezeichnen kann. Dies kann eine Erhöhung der Spitzenabflüsse

## Wasserressourcen und Klimapolitik

Können wir die vorausgesagten Trends umkehren? Haben wir eine Chance, dass die Wissenschaft einen Weg zur Vermeidung einer katastrophalen Situation aufzeigt, welche von vielen Experten bereits beschworen wird? Man kann im Grossen und Ganzen drei Herangehensweisen an dieses Problem beobachten. Der einfachste Weg ist die Verleugnung einer möglichen Klimaveränderung und somit aller Untersuchungen, welche über mögliche Auswirkungen spekulieren. Die gegenteilige Sicht ist das vollkommene Vertrauen in die Vorhersagen und somit der Druck auf sofortige Massnahmen, um den erwarteten Trend, der irreversibel zu einer Katastrophe führen würde, zu verlangsamen. Ist man sich der grossen Unsicherheiten bewusst, die mit unserem heutigen Wissen über Klimasysteme noch verbunden sind, und führt man sich auch die viel versprechenden Fortschritte und die Notwendigkeit von Massnahmen zur Vermeidung von irreversiblen Veränderungen vor Augen, so ist man vermutlich gut beraten, in weitere Forschung zu investieren. Der Nutzen daraus wäre nicht nur auf die verbesserte Möglichkeit beschränkt, die Auswirkungen des Treibhauseffekts auf die Wasserressourcen zu verbessern. Man hätte zusätzlich die Chance, genauere Antworten auf offene Fragen zu erhalten sowie die Entscheidungsträger



hervorrufen, so dass beispielsweise ein Abfluss, welcher bislang nur einmal in 100 Jahren beobachtet wurde, in Zukunft alle 25 Jahre erreicht werden wird, und ein Abfluss, der alle 25 Jahre überschritten wurde, nun einmal in 4 Jahren auftreten wird. Vergleichbare Veränderungen können auch in kleinen alpinen Einzugsgebieten auftreten, da der erwähnte «Tropisierungseffekt» des Niederschlags dort in ähnlicher Weise auftreten dürfte. Sollte dies tatsächlich in dieser Weise eintreten, müsste die Hochwasserschutzpolitik signifikanten Veränderungen unterworfen werden, um grössere Schäden abzuwenden.

in Politik und Gesellschaft davon zu überzeugen, dass unsere Umwelt und im Speziellen die Wasservorkommen langfristiger Massnahmen bedürfen, um nachhaltig genutzt, bewirtschaftet und geschützt zu werden.  
burlando@ihw.baug.ethz.ch



**Prof. Dr. Paolo Burlando**  
ordentlicher Professor für Hydrologie und Wasserwirtschaft am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft an der ETH Zürich



# EXTREMNIEDERSCHLÄGE IM WANDEL?

CHRISTOPH FREI



Abb. 1: Baltschieder VS im Oktober 2000.  
(Foto: J.-P. Jordan, Bundesamt für Wasser und Geologie, BWG)

**Im Alpenraum gehören Extremniederschläge und ihre Folgen zu den schadenmässig bedeutendsten Naturkatastrophen. Die Möglichkeit, dass sie als Folge der anthropogenen Klimaänderung häufiger werden, birgt ökologische und ökonomische Risiken. Obwohl die Klimaforschung noch mit vielen offenen Fragen und einem unüberwindbaren Dilemma konfrontiert ist, verdichten sich die Hinweise, dass Starkniederschläge im Wandel begriffen sind.**



Mitte Oktober 2000 gehen über dem Wallis, dem Tessin und dem Aostatal heftige und andauernde Niederschläge nieder. Lokal regnet es in fünf Tagen so viel wie im Durchschnitt in drei Monaten. Schlammlawinen zerstören Bergsiedlungen und Verkehrswege. Bäche und Flüsse suchen sich ihren Weg durch Dörfer und über Kulturland (Abb. 1). Der Lago Maggiore steigt über seinen bisherigen Rekordstand von 1907. Noch Tage nach dem Regen leidet Norditalien unter den Wassermassen, denen das Flussbett des Po nicht mehr gewachsen ist. 25 Tote sind die traurige Bilanz.

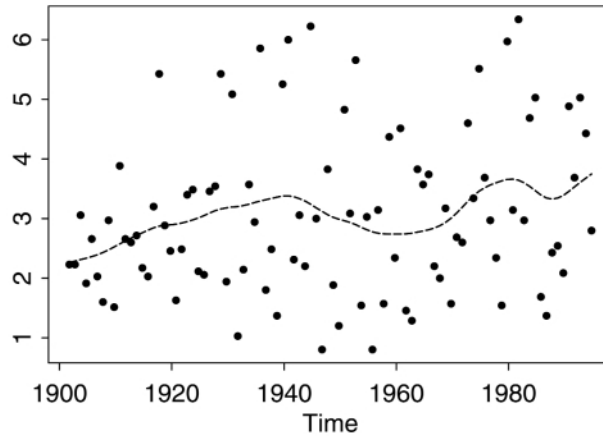
Extremniederschläge wie diese verursachen in der Schweiz materielle Schäden von etwa 200 Millionen Franken pro Jahr. Diese Zahl mag auf den ersten Blick moderat erscheinen, aber bei ihrer Einordnung sind zwei spezielle Umstände wichtig: Erstens fallen die Schäden hauptsächlich in wenigen, besonders exponierten Regionen an: Betroffen sind vor allem Bergkantone in ohnehin schwierigen ökonomischen Verhältnissen, welche neben den direkten Schäden auch mit kostspieligen Vorsorgemassnahmen belastet sind. Zweitens werden die Schäden dominiert durch seltene, be-

sonders starke Ereignisse: In den 25 Jahren 1972–1996 haben die beiden schadenreichsten Jahre (1987: Reusstal, Tessin und Puschlav; 1993: Brig) mehr als die Hälfte aller niederschlagsbedingten Schäden verursacht. Die ökonomischen Auswirkungen solcher Katastrophen sind in den betroffenen Regionen meist noch Jahre danach deutlich spürbar. In den Neunzigerjahren wurde der Alpenraum von einer ganzen Serie von verheerenden Extremniederschlägen heimgesucht. Bei den Fällen von Brig 1993, dem Piemont 1994, Sachseln 1996 und dem Pfingsthochwasser 1999 wurden für

die gefallenen Niederschlagsmengen Wiederkehrperioden von 20 bis weit über 100 Jahre geschätzt. Hat sich die Häufigkeit solcher Ereignisse verändert, und müssen wir in Zukunft mit häufigeren Extremniederschlägen rechnen? Die Klimawissenschaft sucht Antworten auf diese Fragen durch die Analyse von Klimabeobachtungen und durch das Studium des Wasserkreislaufs mittels komplexer Computermodelle.

## Das Dilemma

In der Schweiz werden seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts systematisch Niederschlagsmessungen an über 100 Stationen durchgeführt. Sollte man mit diesen Daten nicht eindeutig feststellen können, ob die Häufigkeit von Extremniederschlägen eine Veränderung, einen Trend aufweist? In einer Trendanalyse steckt mehr als das einfache Auszählen von Ereignissen. Vielmehr wird eine Beurteilung darüber gesucht, ob die beobachtete Abfolge von Ereignissen das Resultat von zufälligen Variationen oder die Folge einer langzeitlichen Veränderung ihrer Wahrscheinlichkeit ist. Der Unterscheidung zwischen Zufall und «Signal» sind aber durch die Seltenheit von Extremereignissen markante theoretische Grenzen gesetzt: Für Ereignisse mit bedeutenden Schäden, wie sie in der Schweiz typischerweise alle paar Jahre auftreten, kann ein Trend über die letz-



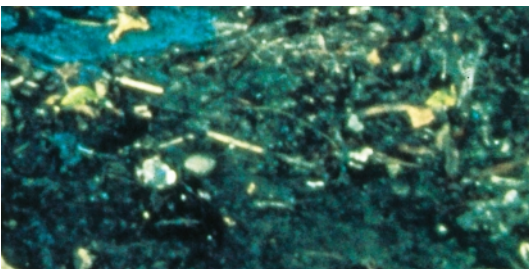
**Abb. 2: Entwicklung intensiver Niederschläge mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 30 Tagen. Anzahl Ereignisse im Herbst (Sept.–Nov.) im Durchschnitt von 35 Stationen im Schweizer Alpenraum.**

rungen von Extremereignissen stark eingeschränkt.

Aussagen über Trends in den letzten 100 Jahren stützen sich aus diesem Grund statt auf sehr seltene Extremereignisse auf häufigere Intensivniederschläge. Für diese sind die Grenzen der Nachweisbarkeit wesentlich milder. Eine Analyse der Schweizer Messreihen zeigt, dass die Häufigkeit von intensiven Niederschlägen, die im Durchschnitt einmal pro Monat vorkommen, in den letzten 100 Jahren zugenommen hat. Die Zunahmen werden für die Jahreszeiten Herbst und Winter festgestellt und belaufen sich auf 20–80% (Abb. 2). Die beobachteten Trends sind nicht notwendigerweise repräsentativ für Extremniederschläge,

## Die These

Die These beruht auf der Erkenntnis, dass für Extremniederschläge der Transport und die Konvergenz von Wasserdampf aus einer grösseren Umgebung nötig sind. Die in mittleren geografischen Breiten lokal in der Atmosphäre vorhandenen Wassermengen (Dampf und Wolkenwasser) belaufen sich auf 5–30 mm und reichen nicht aus, um die bei Extremniederschlägen gemessenen Mengen von über 100 mm zu verursachen. Für die südlichen Alpenrandgebiete (in den Alpen sind diese am weitesten häufigsten von Extremniederschlägen betroffen) spielt der atmosphärische Wassertransport vom Mittelmeer eine wichtige



**EXTREMNIEDERSCHLÄGE VERURSACHEN IN DER SCHWEIZ MATERIELLE SCHÄDEN VON ETWA 200 MILLIONEN FRANKEN PRO JAHR.**



ten 100 Jahre nur dann statistisch nachgewiesen werden, wenn sich die Ereignis-Wahrscheinlichkeit um einen Faktor 10 bis 20 verändert hat. Kleinere Trends gehen im Rauschen des Zufalls unter und können von der statistischen Analyse nicht als Signal identifiziert werden. Die Situation ist vergleichbar mit derjenigen eines Würfelspielers, der aus wenigen Würfeln nachweisen sollte, ob sein Würfel gezinkt ist. Die Grenzen der Nachweisbarkeit stellen ein unüberwindbares Dilemma dar, welches nicht nur Aussagen über historische Trends, sondern auch solche über zukünftige Verände-

und sie beweisen nicht den ursächlichen Zusammenhang mit der anthropogenen Klimaveränderung. Sie deuten aber auf eine markante langzeitliche Veränderung in der Niederschlagsstatistik hin. Zusammen mit ähnlichen Beobachtungen für andere Gebiete der mittleren und hohen geografischen Breiten unterstützen diese Ergebnisse eine These, wonach der Wasserkreislauf des Klimasystems durch die beobachtete globale Erwärmung und deren erwartetes Fortschreiten in den nächsten Jahrzehnten beeinflusst sein könnte.

Rolle. Beim Ereignis von Mitte Oktober 2000 zum Beispiel war dieser besonders spektakulär: Über die ligurische Küste, zwischen Seealpen und Appennin, sind in der Atmosphäre rund 50 000 Kubikmeter Wasser pro Sekunde in die westliche Poebene und gegen die Alpen geführt worden (Abb. 3). Dieser Wert ist vergleichbar mit dem mittleren Mündungsabfluss des Kongo (42 000 m<sup>3</sup>/s) und des Yangtsekiang (35 000 m<sup>3</sup>/s), nach dem Amazonas die abflussmässig grössten Flüsse der Erde. Auch wenn nur ein Teil des in der Atmosphäre herangeführten Wassers als Niederschlag fällt, ist es naheliegend,





[christina\\_hahn@mckinsey.com](mailto:christina_hahn@mckinsey.com)  
dipl. Chem. Universität Bayreuth  
Dr.sc.techn. ETHZ  
bei McKinsey seit November 1998



[martin\\_wechsler@mckinsey.com](mailto:martin_wechsler@mckinsey.com)  
Dr. sc. techn. ETHZ  
dipl. Inf.-Ing. ETHZ  
bei McKinsey seit Mai 1999



[bernhard\\_engelen@mckinsey.com](mailto:bernhard_engelen@mckinsey.com)  
lic.oec. HSG, CEMS Master  
bei McKinsey seit Mai 1999

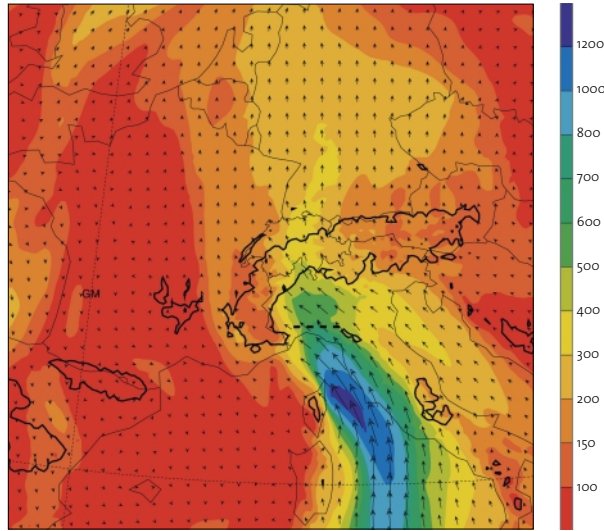
Wir könnten hier lang und breit über Unternehmensberatung und McKinsey philosophieren. Das Wichtigste würden wir dir dabei aber vorenthalten, nämlich den persönlichen Kontakt und das direkte Gespräch. Im Grunde ist es nämlich das, was neben allen fachlichen Herausforderungen unsere Arbeit spannend macht. Deshalb unser Vorschlag: Sende uns eine E-Mail, wenn du mehr wissen möchtest. Wagemutige seien immerhin gewarnt: Ein solcher Kontakt hat schon manche oder manchen dazu gebracht, die Karrierepläne um einen kürzeren oder längeren Abstecher in die Beratung zu bereichern. It's your turn now.

[www.mckinsey.ch](http://www.mckinsey.ch)

McKinsey&Company

dass die Abflusssysteme an der Erdoberfläche damit überfordert sind.

Der Transport von Wasserdampf in der Atmosphäre könnte nun durch die erwartete Klimaerwärmung deutlich beeinflusst werden. Der Sättigungsdampfdruck von Luft steigt pro Grad Erwärmung um 7% (Gesetz von Clausius-Clapeyron). Eine wärmere Atmosphäre kann also wesentlich mehr Wasser aufnehmen und transportieren. Globale Klimamodelle, mit welchen die Prozesse des Klimasystems und deren Änderungen simuliert werden, weisen neben der bekannten Erwärmung um 1 bis 3,5 Grad im globalen Mittel bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auch auf eine allgemeine Intensivierung des Wasserkreislaufs hin. Während subtropische aride Landmassen durch die erhöhte Verdunstung von zunehmender Trockenheit betroffen sind, zeigen die Modelle für die mittleren und hohen geografischen Breiten einen erhöhten Wasserdampftransport von den Ozeanen gegen die Landmassen und eine Zunahme des mittleren Niederschlags. Die Auswirkungen der Wasserkreislauf-Intensivierung auf Starkniederschläge im Alpenraum wurden mit regionalen Klimamodellen untersucht und liefern ein bemerkenswertes Resultat: Bei einer angenommenen Erwärmung von 2 Grad zeigen die Simulationen nur geringfügige Änderungen in der Zahl von schwachen und mittleren Niederschlagsereignissen, während intensive Regenfälle um 20–40% häufiger auftreten. Die



**Abb. 3: Vertikal integrierter atmosphärischer Feuchtefluss am 15. Oktober 2000, 00 Uhr in  $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$ . Operationelle 24-h-Vorhersage mit dem Schweiz-Modell der MeteoSchweiz.**

gestellt. Die Modellresultate lassen sich physikalisch plausibel verstehen, und sie stehen in qualitativer Übereinstimmung mit der für viele Gebiete der mittleren Breiten beobachteten Zunahme von intensiven Regenfällen im 20. Jahrhundert. Im neuen Assessment Report des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) werden deshalb die Intensivierung des Wasserkreislaufs und die Veränderung von Starkniederschlägen als mögliche Effekte der Klimaänderung bezeichnet, für welche die Klimaforschung in den letzten Jahren viel zusätzliche Evidenz gewonnen hat. Trotzdem gibt es noch zahlreiche offene Fragen, welche zu

Sommer auch von der Verfügbarkeit von Wasser im Erdboden sowie dessen Transpiration durch die Vegetation bestimmt. Bei der Simulation dieser Prozesse durch globale und regionale Klimamodelle wurden noch substantielle Mängel festgestellt. Diese Fragen werden gegenwärtig mit weitergehenden Klimadaten-Analysen und mit verbesserten globalen und regionalen Klimamodellen angepackt. Die gewachsene Evidenz für einen Wandel von Starkniederschlägen hat aber auch die Frage nach den Auswirkungen auf Flüsse und die Häufigkeit von Hochwassern weit oben in die Prioritätenliste der aktuellen alpinen Klimaforschung eingeordnet.



Simulationen deuten auf eine progressive Zunahme von Niederschlagsereignissen mit ihrer Intensität hin und damit auf besonders markante Effekte auf die Häufigkeit von Starkniederschlägen.

## Offene Fragen

Eine Intensivierung des Wasserkreislaufs und eine Zunahme von intensiven Niederschlagsereignissen als Resultat einer erhöhten Treibhausgas-Konzentration wurde mittlerweile in zahlreichen globalen und regionalen Klimasimulationen fest-

Vorsicht mit voreiligen Prognosen mahnen, auch für den Alpenraum. So könnten die beobachteten Trends auch durch natürliche Langzeit-Klimavariationen verursacht worden sein. Zudem können die Effekte aus der Intensivierung des Wasserkreislaufs auch von Änderungen in der grossskaligen Zirkulation der Atmosphäre und damit der Häufigkeit von typischen Starkniederschlags-Wetterlagen überlagert sein. Gerade in diesem Punkt zeigen aber die verschiedenen globalen Klimamodelle noch sehr heterogene Resultate. Schliesslich wird der Wasserkreislauf in Zentral- und Südeuropa im



**Dr. Christoph Frei**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Klimaforschung der ETH Zürich



# FIEBERMESSEN AM GEBIRGSWALD

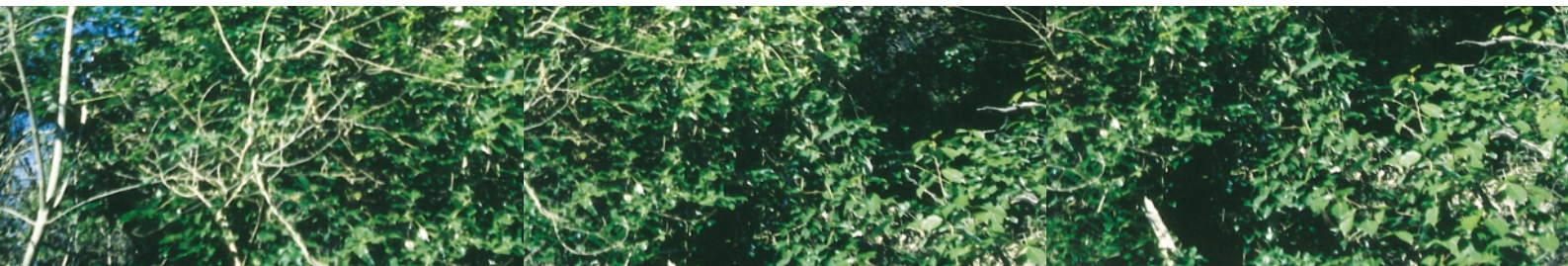
HARALD BUGMANN

**Gebirgswälder bieten Schutz vor Steinschlag und Lawinen, sie speichern Kohlenstoff, sind ein Rohstofflieferant und gehören nicht zuletzt zu den touristischen Attraktionen unseres Landes. Wie sich Klimawandel und anthropogene Einflüsse auf die Zukunft der Gebirgswälder auswirken, ist nicht nur für die Schweiz ein wichtiges Thema.**

Ungefähr ein Viertel der Landoberfläche der Erde ist gebirgig. Rund 10 Prozent der Weltbevölkerung leben in Gebirgsregionen, und ungefähr die Hälfte der Menschheit bezieht ihr Trinkwasser aus Gebirgen. Gravitative Naturgefahren wie Erosion, Murgänge, Steinschlag und Lawinen sind typisch für die meisten Gebirge, und die Ökosysteme in Gebirgen tragen wesentlich dazu bei, diese Naturgefahren unter Kontrolle zu halten; dies

wälder beherbergen eine grosse, naturräumlich bedingte Biodiversität und speichern erhebliche Mengen Kohlenstoff, was gerade in der heutigen Zeit von grosser politischer Bedeutung ist. Obwohl die Forstwirtschaft heutzutage im Gebirge kaum profitabel arbeiten kann, bietet sie doch für etliche Bewohner eine Erwerbsmöglichkeit; und schliesslich gehören der Duft von Koniferen, tosende Wildbäche und die kleinräumige Vielfalt

erfassen. Während im Mittelland ein Baumkeimling innerhalb von wenigen Jahren einen Meter hoch werden kann, dauert die gleiche Entwicklung im Gebirgswald nicht selten 60 bis 80 Jahre. An der oberen Verbreitungsgrenze der Buche finden wir Baumindividuen, die einen Stammdurchmesser (1,3 m über dem Boden gemessen) von wenig mehr als 10 cm aufweisen, aber über 200 Jahre alt sind. Das weitgehende Fehlen von schneller



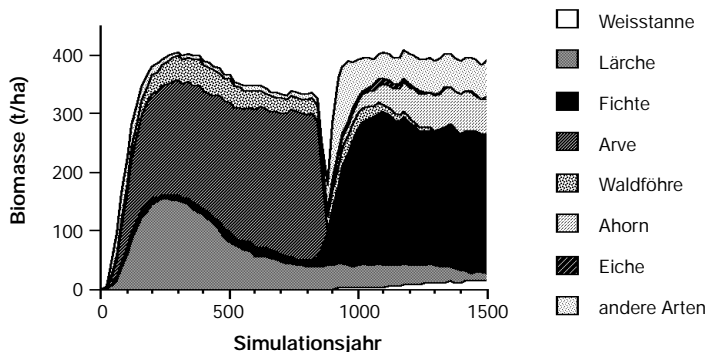
gilt ganz besonders für Wälder. Wir wissen, dass viele Ökosysteme in Gebirgen empfindlich auf direkte anthropogene Beeinflussung und Umweltverschmutzung reagieren. Als Indikatoren von Umweltveränderungen sind sie Forschungsobjekte ersten Ranges. Andererseits gibt die Empfindlichkeit von Gebirgs-Ökosystemen Anlass zur Sorge, ob sie in Zukunft ihre lebenswichtigen Funktionen noch erfüllen können. Gebirgswälder schützen Strassen, Eisenbahnlinien, Kraftwerke und Siedlungen vor Steinschlag und Lawinen und machen so die Alpen überhaupt bewohnbar. Gebirgs-

wälder beherbergen eine grosse, naturräumlich bedingte Biodiversität und speichern erhebliche Mengen Kohlenstoff, was gerade in der heutigen Zeit von grosser politischer Bedeutung ist. Obwohl die Forstwirtschaft heutzutage im Gebirge kaum profitabel arbeiten kann, bietet sie doch für etliche Bewohner eine Erwerbsmöglichkeit; und schliesslich gehören der Duft von Koniferen, tosende Wildbäche und die kleinräumige Vielfalt

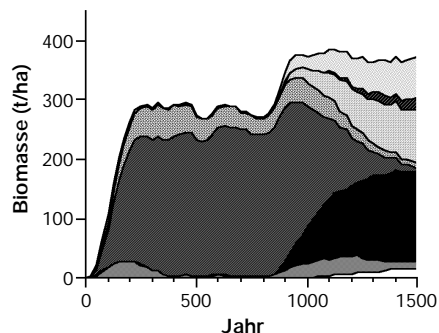
## Systeme der Langsamkeit

Es ist allerdings schwierig, die zukünftige Entwicklung der Gebirgswälder abzuschätzen, da Gebirgswälder sich auf den ersten Blick gar nicht zu verändern scheinen, so dass wir Mühe haben, die langfristige Dynamik dieser Systeme zu

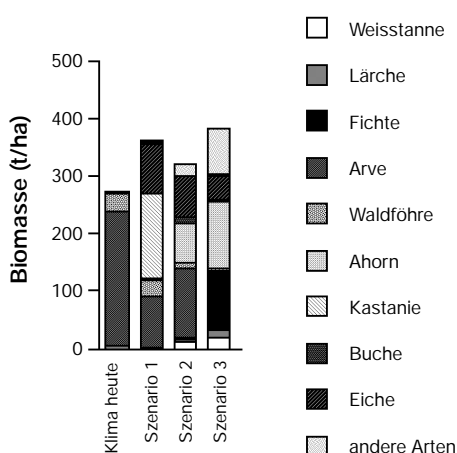
Entwicklung im Gebirgswald sollte uns nicht zum Schluss verleiten, dass diese Systeme gar nicht auf externe Einflüsse reagieren. Es ist lediglich so, dass wir mit erheblichen Verzögerungseffekten («lags») rechnen müssen, bis Gebirgswälder strukturell, von ihrer Zusammensetzung und ihrem Funktionieren her, auf Veränderungen der äusseren Einflüsse reagieren. Um trotz dieser Schwierigkeiten Aussagen über die Einflüsse von Umweltveränderungen und ganz besonders von Klimaveränderungen auf Gebirgswälder machen zu können, werden mathematische Modelle verwendet, die das heutige



**Abb. 1: Simulierte Waldentwicklung am Standort Bever (Oberengadin) unter heutigem Klima (Simulationsjahre 0–800) und unter einem Klimaveränderungs-Szenario (Jahre 800–1500).**



**Abb. 3: Identisches Simulationsexperiment wie in Abb. 1, aber mit einem weiterentwickelten Modell erstellt. Der in Abb. 1 simulierte Waldzusammenbruch tritt hier nicht mehr auf, die langfristigen grossen Veränderungen bleiben aber praktisch gleich.**



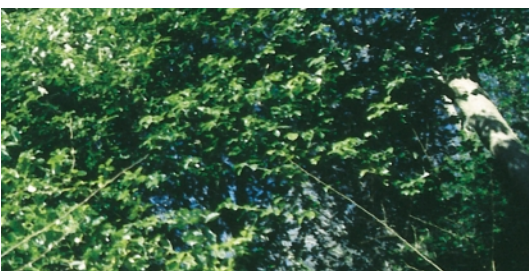
**Abb. 2: Je nach dem verwendeten Klimaszenario (für das Jahr 2100) resultieren ganz unterschiedliche Baumarten-Zusammensetzungen für den Standort Bever.**

Baumes schlägt eine Lücke, von der unterdrückte Individuen profitieren können; zudem kommt meist eine Etablierungswelle neuer Individuen in Gang.

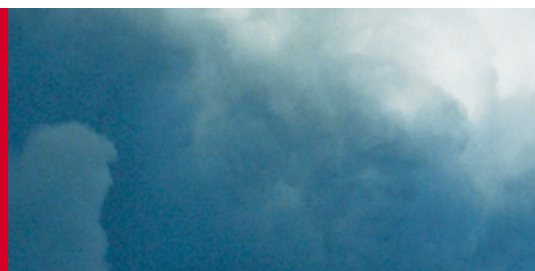
### Komplexe Modelle – offene Fragen

Im Lauf der vergangenen drei Jahrzehnte wurde eine Vielzahl von Gap-Modellen entwickelt. Frühe Untersuchungen mit diesen Modellen zu den Auswirkungen von zukünftigen Klimaveränderungen auf (Gebirgs-)Wälder stützten sich fast ausschliesslich auf die Anwendung eines einzigen Waldmodells, und untersucht wurde zumeist ein einziges Klimaszenario. Daraus resultierten zum Teil düstere «Prognosen» unserer Zukunft, so zum Beispiel markante Artenverschie-

Zweifel, wie belastbar diese frühen Modellresultate wirklich sind. Einerseits ist es bei weitem nicht so, dass wir mit Sicherheit sagen könnten, wie das Klima im Alpenraum gegen Ende des 21. Jahrhunderts aussehen wird; die Abstützung auf ein einziges (und manchmal sehr einfaches) Klimaszenario kann deshalb irreführend sein, und es wäre wohl von Vorteil, eine Reihe von verschiedenen plausiblen Klimaszenarien zu berücksichtigen, um die Waldreaktion zu studieren. Andererseits ist es gerade wegen der langsamen Dynamik von Gebirgswald-Ökosystemen so, dass wir nicht zweifelsfrei festlegen können, welche Prozesse im Ökosystem für die langfristige Dynamik entscheidend sind. Selbst wenn man dies könnte, gäbe es immer noch eine Vielzahl von möglichen Formulierungen, um diese Prozesse mathema-



**VIELE GEBIRGSWÄLDER REAGIEREN TROTZ IHRER LANGSAMEN DYNAMIK SEHR EMPFINDLICH AUF KLIMAVERÄNDERUNGEN, WIE SIE FÜR DAS 21. JAHRHUNDERT ERWARTET WERDEN.**



Wissen über die einzelnen Faktoren und Prozesse in Bezug auf die Entwicklungsdynamik von Bäumen und Wald-Ökosystemen integrieren und zu einer Gesamtschau verbinden. Zu diesen Modellen gehören die so genannten «Gap-Modelle» («gap» = Lücke). Diese Modelle betrachten Etablierung, Wachstum und Absterben einzelner Baumindividuen als Funktion von Witterung, Bodeneigenschaften und Konkurrenz, und zwar spielen sich diese Interaktionen auf Flächen ab, die ungefähr so gross sind, wie sie ein einzelnes reifes Baumindividuum einnehmen kann. Das Absterben eines grossen

bungen, starke Veränderungen in der Holzbiomasse und damit auch im biotisch gebundenen Kohlenstoff bis hin zu vollständigen Zusammenbrüchen der heutigen Waldvegetation einige Jahrzehnte nach Beginn der simulierten Klimaveränderung (vgl. Abb. 1).

Diese Untersuchungen unterstrichen zweifellos, dass Wälder und speziell auch Gebirgswälder eine erhebliche Empfindlichkeit aufweisen gegenüber Klimaveränderungen, wie wir sie nach dem Stand der Wissenschaft für das kommende Jahrhundert erwarten. Es blieben allerdings in der Wissenschaft erhebliche

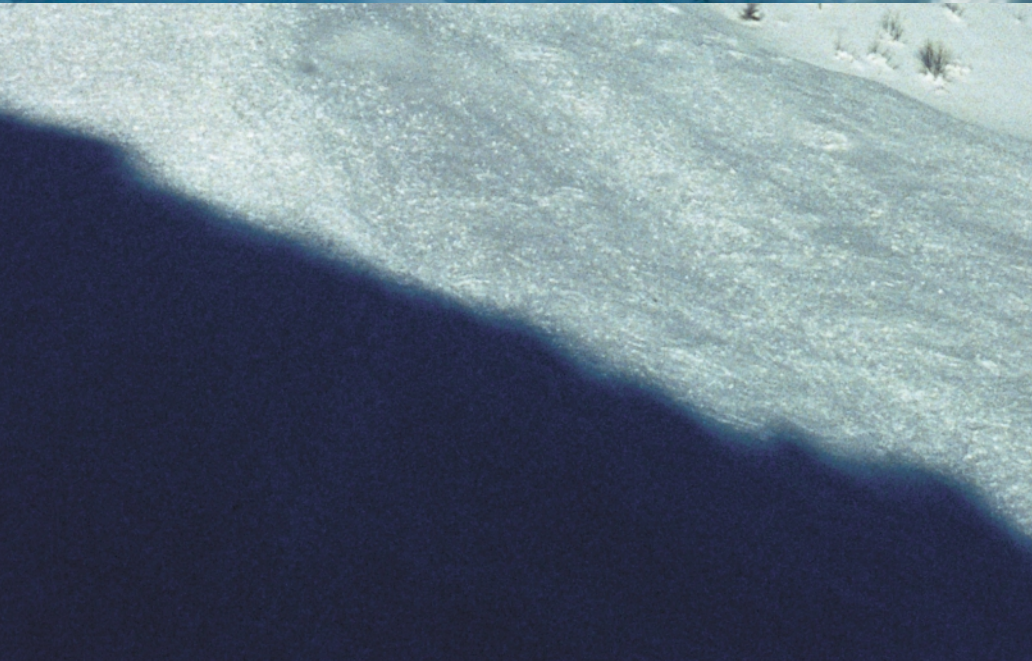
tisch abzubilden. Mit anderen Worten: Es gibt erhebliche Unsicherheiten sowohl bezüglich der Vorhersage des zukünftigen Klimas für eine Region wie die europäischen Alpen als auch bezüglich der Abbildung von ökologischen Prozessen in Waldmodellen.





## Auswirkungen verschiedener Klimaszenarien

Auf Grund dieser Erkenntnisse wurde eine Reihe von Untersuchungen gestartet, in denen die Aussagen verschiedener Waldmodelle unter verschiedenen Klimaszenarien untersucht wurden. Diese Studien zeigten auf, dass die Auswahl des Klimaszenarios oftmals entscheidend ist für die simulierte Waldreaktion (Abb. 2) und dass je nach verwendetem Waldmodell erhebliche Unterschiede in der simulierten Ökosystem-Reaktion resultieren (Abb. 1 und 3). Sowohl die Klimatologen wie die Ökosystem-Forscher hätten also ein erhebliches Pensum an Hausaufgaben zu erledigen, bevor wir daran denken könnten, das Verhalten von Gebirgswäldern unter dem Einfluss der anthropogenen Klimaveränderung im Wortsinn zu prognostizieren. Deshalb hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass wir solche Studien als Untersuchungen der Empfindlichkeit (Sensitivität) dieser Systeme auffassen sollten. Das bedeutet allerdings nicht, dass detaillierte Klimaszenarien für die Gebirgswaldforschung überflüssig wären. Eine vollständige Sensitivitätsanalyse der Modelle bezüglich der klimatischen Eingangsgrößen ist nämlich in Anbetracht der Komplexität ihres Parameterraumes auch auf den schnellsten Superrechnern nicht machbar. Ähnlich wie eine Taschenlampe relativ unscharf in den Nachthimmel zeigt, ihr Schein aber doch einen



Teil des Himmels ausleuchtet, geben uns modellgestützte Klimaszenarien den Bereich des Klimaraumes an, den wir mit systematischen Analysen anhand von Ökosystem-Modellen näher untersuchen müssen. Mit der Analyse verschiedener Klimaszenarien und der Zuhilfenahme verschiedener Waldmodelle können wir so einen manchmal engen, manchmal breiten Korridor wahrscheinlicher Entwicklungen ausleuchten, auch wenn wir nicht in der Lage sind, den exakten Entwicklungspfad zu definieren.

Die bisherigen Erörterungen bezogen sich auf die Auswirkungen von monat-



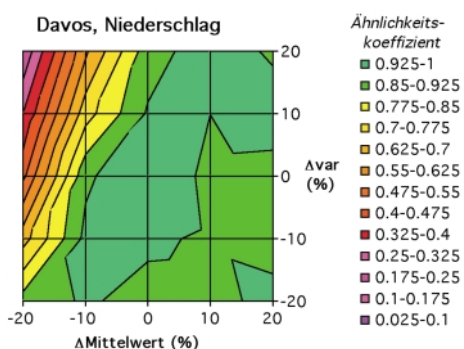
lich, saisonal oder als Jahresmittelwert definierten, szenariobasierten Veränderungen in klimatischen Grössen, primär der Temperatur und des Niederschlags. Aussagen zur Veränderung der interannuellen Variabilität von Klimaparametern sind zumeist mit mehr Unsicherheiten verbunden als solche zu Veränderungen der Mittelwerte. Es war deshalb naheliegend, sich vorerst mit Mittelwerten und deren Auswirkungen zu beschäftigen, obwohl wir auf der qualitativen Ebene wissen, dass die Klimavariabilität und speziell Extremereignisse mindes-

## Schlussfolgerungen

Wie diese Ausführungen zeigen, ist der Forschungsbedarf auf der Seite der Klimatologie wie auch der Ökologie zweifellos noch gross. Trotzdem lassen sich die folgenden Schlüsse bezüglich der Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Gebirgswälder ziehen:

Erstens ist trotz des wissenschaftlichen Fortschrittes nicht zu erwarten, dass wir dereinst in der Lage sein werden, die zukünftige Entwicklung von Ökosystemen unter sich verändernden Umweltbedingungen vorherzusagen; was wir machen, sind Studien der Empfindlichkeit dieser Systeme, basierend auf den vorhandenen wissenschaftlichen Kenntnissen. Zweitens ist die oftmals geäusserte Vorstellung, dass sich Vegetationszonen auf Grund der anthropogenen Erwärmung als Einheiten im Raum verschieben würden, nicht angebracht. Paläoökologische Studien und Simulationsmodelle zeigen, dass wir teils mit neuen Artenkombinationen und Überraschungen zu rechnen haben.

Drittens sind viele Gebirgswälder trotz ihrer langsamen Dynamik sehr empfindlich auf Klimaveränderungen, wie sie für das 21. Jahrhundert erwartet werden. In Anbetracht der Bedeutung dieser Systeme und ihrer Funktion für das Wohlergehen eines Landes wie der Schweiz gibt dies Anlass zur Sorge. Forstliche Massnahmen zur Abdämpfung der erwarteten Auswirkungen müssten we-



**Abb. 4:** Empfindlichkeit der Artenzusammensetzung auf Verschiebungen von Mittelwert und Variabilität des Klimas (grün = keine signifikante Veränderung gegenüber dem heutigen Zustand, der in der Mitte dargestellt ist; rot = sehr starke Veränderung). In gewissen Bereichen, z. B. bei 20% weniger Niederschlag (links), hängt das Ausmass der Ökosystem-Veränderung vollkommen davon ab, wie gross die künftige Klimavariabilität ist.



tens so wichtig sein können wie klimatische Mittelwerte, wie das Beispiel der Stürme Vivian (1990) und Lothar (1999) oder die grossen Waldbrände in den USA (1988 und 2000) eindrücklich demonstrierten. Die ersten systematischen Untersuchungen zu den Auswirkungen von Klimavariabilität auf der Zeitskala von Monaten bis hin zu Jahrzehnten auf die Waldsukzession weisen nach, dass die zukünftige Entwicklung ohne Berücksichtigung von Veränderungen in der Klimavariabilität kaum zuverlässig abgeschätzt werden kann (Abb. 4).

gen der langen Entwicklungszyklen im Gebirgswald bereits jetzt beginnen, obwohl die exakte Klimaveränderung für eine Region wie den Alpenbogen nicht bekannt ist. Eine ebenso wichtige Massnahme ist deshalb der politische Einsatz der Schweiz zur massiven Reduktion der Treibhausgas-Emissionen.

## Forschungsinformationen

Die Gruppe Gebirgswald-Ökologie gehört zum Departement Forstwissenschaften und wurde im September 1999 gegründet. Zurzeit gehören ihr fünf MitarbeiterInnen an. Die Gruppe untersucht strukturelle und funktionelle Aspekte von Gebirgswald-Ökosystemen, die sich typischerweise so langsam entwickeln, dass mit Experimenten und direkter Beobachtung ihre Dynamik kaum voll erfasst werden kann. Wir kombinieren deshalb modellbasierte Studien, wie sie in diesem Beitrag vorgestellt wurden, mit feldgestützten Untersuchungen einzelner Prozesse auf verschiedenen räumlichen Massstabsebenen, die vom Baumindividuum bis zur Gebirgswaldlandschaft reichen. Mehr Informationen können im Internet unter der Adresse <http://www.fowi.ethz.ch/pgw/> abgerufen werden.



**Prof. Dr. Harald Bugmann**

Assistenzprofessor für Gebirgswald-Ökologie im Departement Forstwissenschaften der ETH Zürich



# PALMEN IN DER SCHWEIZ – EIN INDIZ?

GIAN-RETO WALTHER

**Wiederkehrende Stürme, Überschwemmungen und Murgänge: sind das möglicherweise schon Anzeichen einer ablaufenden Klimaänderung? Skeptische Stimmen sehen darin keinen Zusammenhang. Um sie überzeugen zu können, müssten schon Palmen in der Schweiz wachsen. In jüngster Zeit ablaufende Vegetationsveränderungen weisen aber gerade auf dieses Phänomen hin. Es wachsen tatsächlich Palmen in der Schweiz.**

Das Verbreitungsgebiet vieler Pflanzen- und Tierarten wird durch Klimaparameter begrenzt. Ändern sich diese, ist auch mit Wanderungen von Arten zu rechnen. Aufgrund von Klimamodellen wird erwartet, dass sich ganze Vegetationsgürtel nordwärts bzw. in höher gelegene Gebiete verschieben. Wann und wie rasch sich das allerdings vollziehen soll, und ob

Lorbeerkirsche (*Prunus laurocerasus*), die stechende Ölweide (*Elaeagnus pungens*) und die Hanfpalme (*Trachycarpus fortunei*) – alles immergrüne Arten, die bislang nur als Ziergehölze in Gärten und Parks gepflanzt wurden – traten plötzlich auch in den Wäldern auf. Zusammen mit weiteren immergrünen Laubholzarten gelang es ihnen zu verwildern und

asiens und Floridas sowie die feuchteren Gebiete im Mittelmeerraum und an der Schwarzmeerküste. Die eingeführten Individuen überlebten in den Gärten und Parks, es gelang ihnen allerdings lange Zeit nicht, sich auszubreiten. Erst in den vergangenen fünfzig Jahren erschienen Meldungen über verwildernde immergrüne Exoten, zuerst in besonders geschütz-



alle Arten auch mit der durch die Klimaänderung vorgelegten Geschwindigkeit mithalten können, ist jedoch nach wie vor ungewiss.

Ende der Achtzigerjahre entdeckten die beiden Forstingenieure Gabriele Carraro und Giuseppe Gianoni Waldabschnitte im Südtessin, welche sich aufgrund ihrer Artenzusammensetzung nicht mehr in das System der Schweizerischen Waldgesellschaften einordnen liessen. Zu hoch war ihr Anteil an exotischen immergrünen Laubgehölzen. Der echte Lorbeer (*Laurus nobilis*), der drüsiges Kampferbaum (*Cinnamomum glanduliferum*), die

sich in Waldgebieten entlang des Lago Maggiore und Lago di Lugano anzusiedeln. Anlass genug für die Forschungsgruppe Vegetationsökologie des Geobotanischen Instituts der ETH Zürich unter der Leitung von Prof. Klötzli, diesem Phänomen weitere Arbeiten zu widmen.

## Herkunft der exotischen Arten

Viele dieser immergrünen exotischen Pflanzen wurden als Ziergehölze im 17. und 18. Jahrhundert eingeführt. Ihr Heimatgebiet sind die Lorbeerwälder Südost-

ten Schluchtlagen, später auch auf Waldstandorten. Unabhängig von ihrem geographischen Herkunftsgebiet und vom Einführungszeitpunkt erfolgte die Verwilderung der einzelnen Arten auffällig synchron, und es waren vor allem immergrüne Pflanzenarten mit ähnlichen klimatischen Habitatansprüchen daran beteiligt. Heutzutage sind Waldabschnitte in tieferen Lagen des Südtessins anzutreffen, in denen die immergrünen Exoten die Strauchschicht dominieren und erste Exemplare des Kampferbaumes bereits in die Baumschicht aufgewachsen sind. Die exotischen immergrünen Arten



können somit als eingebürgert angesehen werden und werden damit zu einem wichtigen Faktor der betroffenen Ökosysteme. Mit dem Wechsel von sommergrünen zu immergrünen Arten verändert sich die Struktur und Zusammensetzung der betroffenen Wälder stark. So präsentieren sich heute im Tessin Bilder einer für mitteleuropäische Verhältnisse exotisch anmutenden Vegetation mit Palmen und immergrünen Bäumen, welche vor allem in den Wintermonaten inmitten der unbelaubten Edellaubmischwälder auffällig zu Tage treten. Auf der Nordseite der Alpen präsentiert sich die Lage nicht ganz so auffällig. Zwar sind hier mit u. a. der Lorbeerkirsche (*Prunus laurocerasus*) und dem Runzelblättrigen Schneeball (*Viburnum rhytidophyl-*

*lum*) auch exotische immergrüne Laubgehölze auf dem Vormarsch, allerdings ist hier das Artenspektrum wie auch die Auftretenshäufigkeit weit geringer als in den milderen Lagen südlich der Alpen.

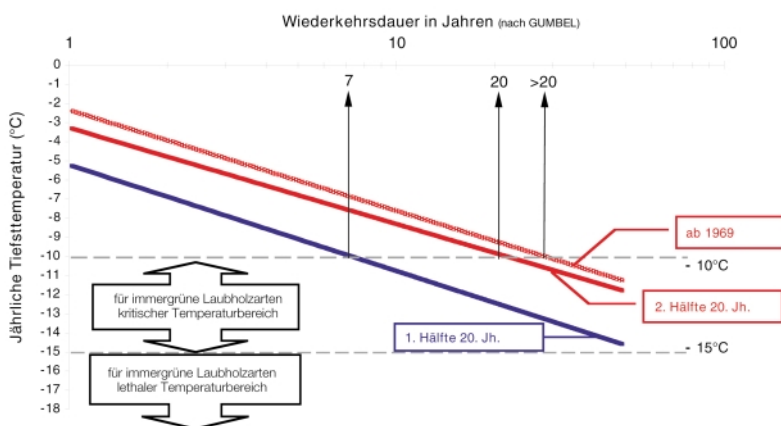
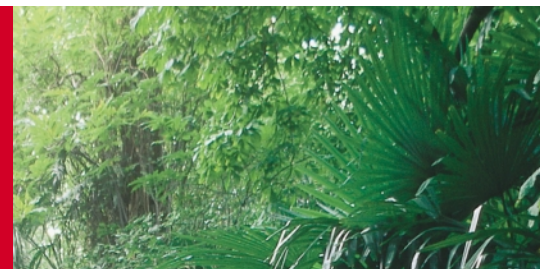
### Die Rolle des Klimas

Die Verbreitungsgrenze zwischen immergrünen Lorbeerwäldern und sommergrünen Laubwäldern wird durch Wintertemperaturen bestimmt. Sinken die Tiefsttemperaturen regelmässig unter  $-10$  bis  $-15^{\circ}\text{C}$  ab, so wird ein Überleben der meisten immergrünen Arten erschwert. Auf der anderen Seite bietet sich den Immergrünen die Möglichkeit, in Phasen mit Temperaturen über dem Gefrierpunkt auch im Winter bei ausreichender

Wasserversorgung Photosynthese zu betreiben, während die laubwerfenden Arten gezwungen sind, in jedem Fall eine Winterpause einzulegen. Diese beiden Klimaparameter, die milderen Tiefsttemperaturen und die Länge der Vegetationsperiode, sind von besonderer Bedeutung im Übergangsbereich von immergrüner zu sommergrüner Vegetation. Die vergangenen drei Jahrzehnte zeichneten sich durch höhere globale Durchschnittstemperaturen aus. Auch in der Schweiz war dieser Trend insbesondere durch die milderen Winter spürbar. Wie die Analyse von Klimadaten aus dem Tessin zeigte, sind die Winter bezüglich der Auftretenshäufigkeit der für immergrüne Arten kritischen Temperaturen zunehmend milder geworden. Während in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts noch durchschnittlich alle sieben Jahre mit solchen Ereignissen gerechnet werden musste, beträgt diese in der zweiten Hälfte bereits zwei Jahrzehnte, Tendenz weiter abnehmend. Damit wurden Stressereignisse für immergrüne Arten immer weniger häufig bei gleichzeitiger Verlängerung der Erholungsphase zwischen solchen Ereignissen. Sämlingen standen längere Zeitperioden für das Aufwachsen zur Verfügung. Auch bezüglich der Länge der Vegetationsperiode zeigen sich markante Verschiebungen. Auch hier zeichnen sich die letzten dreissig Jahre durch deutlich weniger Frosttage aus, was eine entsprechend längere Vegetationsperiode



**HEUTZUTAGE SIND WALDABSCHNITTE ANZUTREFFEN, IN DENEN DIE IMMERGRÜNEN EXOTEN DIE STRAUCHSCHICHT DOMINIEREN UND ERSTE EXEMPLARE DES KAMPFERBAUMES BEREITS IN DIE BAUMSCHICHT WACHSEN.**



**Diagramm 1:** Trendlinien für die durchschnittliche Wiederkehrshäufigkeit von jährlichen Tiefsttemperaturen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts (blaue Linie), sowie in der zweiten Hälfte und in den Jahren ab 1969 (rote Linien) mit Angabe der Wiederkehrsdauer für Ereignisse mit  $-10^{\circ}\text{C}$  Minimumtemperatur. (Station: Lugano) (aus Carraro et al. 1999, verändert)





Zeichen der Klimaerwärmung:  
Palmendickicht im Tessin.

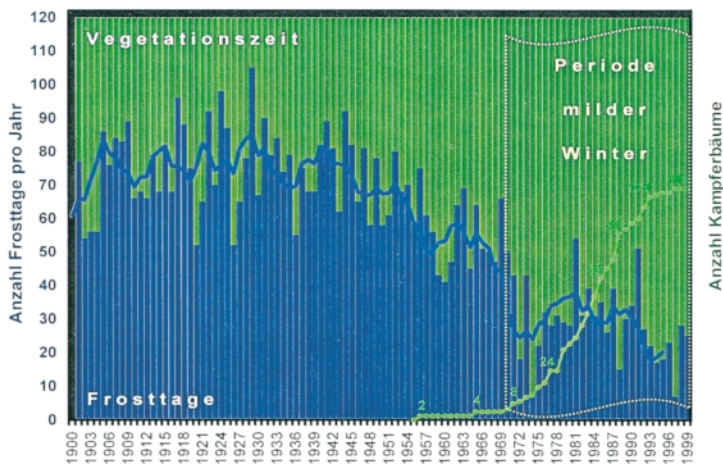


Diagramm 2:  
Anzahl jährlicher Frosttage bzw. Länge der  
winterlichen Vegetationszeit ( $\approx 120$  Tage  
abzüglich Anzahl Frosttage) in den Monaten  
November bis Februar von 1901 bis 1999 für  
die Klimastation Lugano (Daten: SMA Meteo  
Schweiz) mit über fünf Jahre geglätteter Kurve  
der Anzahl Frosttage (blaue Linie) und der  
Anzahl auf Waldstandorten gekeimter Kie-  
ferbäume (grüne Linie).  
(aus Walther 2000, verändert)

zur Folge hat. Beide  
Klimaparameter haben sich demzufolge  
in eine Richtung verändert, welche ins-  
besondere das Aufkommen immergrüner  
Arten begünstigt.

### Indizien für die Klimaänderung?



In den vergangenen Jahrzehnten können sich eine Vielzahl ökologischer Faktoren verändert und die Ausbreitung exotischer Arten mitbeeinflusst haben. Das sich ändernde Klima wird in zweifacher Hinsicht zu einem mitentscheidenden Faktor dieser Entwicklung. Sowohl die absoluten Tiefsttemperaturen wie auch die Häufigkeit von Frosttagen haben sich bei gleich bleibender Niederschlagsverteilung im untersuchten Zeitraum dermaßen verringert, dass sie die Ansiedlung exotischer immergrüner Arten nachhaltig begünstigt haben.

Aber nicht nur in der Schweiz werden Phänomene beobachtet, welche auf eine mögliche Erwärmung des Klimas hinweisen. In der jüngeren Vergangenheit häufen sich Meldungen in Fachzeitschriften über Arealverschiebungen und Verhaltensänderungen von Tier- und Pflanzenarten aus den verschiedensten Lebensräumen und geographischen Regionen, welche mit einer Klimaänderung in Beziehung gebracht werden. In der Klimatologie sind dreissig Jahre für die Interpretation von Klimaentwicklungen ein relativ kurzer Zeitraum, in der Ökologie jedoch lang genug, um Anpassungsprozesse in Ökosystemen einzuleiten. Ob verstärkter Gletscherrückgang oder erhöhte Wellenoszillation, Korallensterben in den Tropen oder Schwankungen in Pinguinpopulationen in der Antarktis, Nordwärts-Verschiebungen von Schmetter-

lingspopulationsarealen oder Aufwärts-



Wanderungen von Gebirgspflanzen, all dies sind Phänomene, welche in den vergangenen Jahren beobachtet wurden und die auf eine Erwärmung des Klimas hinweisen. Eine internationale Tagung mit dem Titel «Fingerprints for Climate Change» hat solche Beobachtungen zum Thema (siehe Kasten). Für einmal sollen nicht Klimamodelle und zukünftige Prognosen diskutiert werden, sondern tatsächlich ablaufende Arealverschiebungen und Verhaltensänderungen von Pflanzen- und Tierarten. Dadurch soll ein Überblick geschaffen werden, wie sich

Internationale Tagung zum Thema:

**«FINGERPRINTS» for CLIMATE CHANGE**

**Adapted behaviour and shifting species' ranges**

Centro Stefano Franscini, Mte Verità, Ascona,  
23.–25. Februar 2001

- Die alpin-nivale Flora Europas wandert aufwärts,
- Schmetterlingsartenareale verschieben sich polwärts in Nordamerika und Nordeuropa,
- die globale Erwärmung ist die wahrscheinlichste Ursache für das Korallensterben,
- Palmen und andere immergrüne exotische Pflanzen verwildern in der Schweiz,
- eine mediterrane Libelle breitet sich in Deutschland nach Norden aus,
- Blütenpflanzenpopulationen nehmen in der Antarktis rasch zu,
- die Länge der jährlichen Vegetationsperiode hat in Europa zugenommen, ...

... sind solche Meldungen als Hinweise für eine bereits ablaufende Klimaänderung anzusehen?

Fallstudien über Verhaltensanpassungen und Artarealverschiebungen werden an der obenerwähnten Tagung vorgestellt und deren Bezug zur globalen Klimaänderung diskutiert.

**Informationen:**

- <http://www.geo.unizh.ch/phys/events/>
- [walther@mbox.geobotanik.uni-hannover.de](mailto:walther@mbox.geobotanik.uni-hannover.de)

Anmeldungen noch kurze Zeit möglich unter:

[http://www.csf-mv.ethz.ch/Official/Interactive/Registration\\_2001.html](http://www.csf-mv.ethz.ch/Official/Interactive/Registration_2001.html)

die Wärmeperiode der vergangenen drei Dekaden auf die Biosphäre ausgewirkt hat und mit welchen Veränderungen in Ökosystemen gerechnet werden muss.

**Literatur**

*Giuseppe Gianoni, Gabriele Carraro & Frank*

**IN DER KLIMATOLOGIE SIND DREISSIG JAHRE FÜR DIE INTERPRETATION VON KLIMAENTWICKLUNGEN EIN RELATIV KURZER ZEITRAUM, IN DER ÖKOLOGIE JEDOCH LANG GENUG, UM ANPASSUNGSPROZESSE IN ÖKOSYSTEMEN EINZULEITEN.**



*Klötzli: Thermophile, an laurophyllen Pflanzenarten reiche Waldgesellschaften im hyperinsubrischen Seengebiet des Tessins. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 54/1988*  
*Gian-Reto Walther: Distribution and limits of evergreen broad-leaved (laurophyllous) species in Switzerland. Botanica Helvetica 109(2)/1999*  
*Frank Klötzli & Gian-Reto Walther (eds.): Recent shifts in vegetation boundaries of deciduous forests, especially due to general global warming. Birkhäuser, Basel, 1999*  
*Gabriele Carraro, Frank Klötzli, Gian-Reto Walther, Pippo Gianoni & Roberto Mossi: Observations of changes in vegetation in relation to climate warming. Final report NRP 31. vdf, Zürich, 1999*  
*Gian-Reto Walther: Laurophyllisation in Switzerland. Diss. ETH Nr. 13561, Zürich, 2000*



**Dr. Gian-Reto Walther**

doktorierte am Geobotanischen Institut der ETH Zürich und ist Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Geobotanik der Universität Hannover und Lehrbeauftragter der ETH Zürich



# RIFFSTERBEN IN DER ERDGESCHICHTE

HELMUT WEISSERT UND LUKAS WISSLER

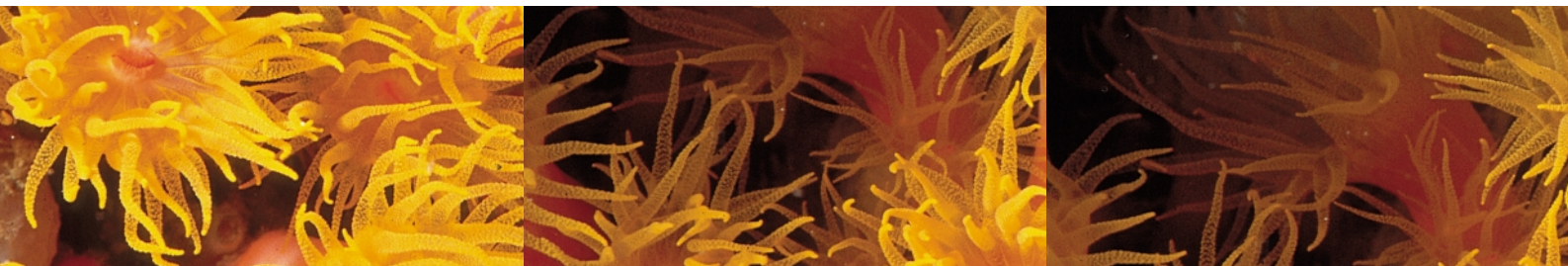
**Korallenriffe sind eindrückliche Zeugen der Umweltveränderungen, die sich am Übergang von der letzten Eiszeit ins warme Holozän abspielten. Sie erwiesen sich dabei als äusserst anpassungsfähige Ökosysteme, die unser Klima nachhaltig beeinflussten. Heutige Prognosen warnen jedoch vor ausgedehnten Riffsterben, die mit erhöhten Kohlendioxid-Werten in der Erdatmosphäre bevorstehen.**

Will man die eiszeitlichen Vorläufer der heutigen Korallenriffe studieren, so muss man bis in eine Meerestiefe von 130 m tauchen. Vor etwa 17 000 Jahren, kurz nach dem Höhepunkt der letzten Eiszeit, begannen die eiszeitlichen Gletscher zu schmelzen. In der Folge stieg der Meeresspiegel innerhalb von einigen Tausend Jahren um 130 m bis zum heutigen Niveau an. Erstaunlicherweise ertranken

enormen Beschleunigung des Wachstums sogar aktiv zur Klimaerwärmung bei, die für die schnelle kulturelle Entwicklung des Menschen in den letzten 10 000 Jahren von entscheidender Bedeutung war. Umso überraschender scheint es, wenn Korallenforscher und Ozeanografen heute auf eine für riffbildende Korallen bedrohliche Veränderung der Umweltbedingungen hinwei-

## Korallenriffe und das Kohlenstoff-Budget

Seit mehr als drei Milliarden Jahren tragen Organismen zu lebensbegünstigenden Umweltbedingungen auf der Erde bei, welche wiederum die Evolution von Leben erst ermöglicht haben. So entwickelte die Biosphäre Mechanismen, um extreme und damit auch schädliche



die Korallenriffe am Übergang ins Holozän nicht, obwohl der Meeresspiegel zeitweise bis um einen Meter pro Jahrhundert anstieg. Sie kompensierten den Meeresspiegel-Anstieg mit beschleunigtem Wachstum. Leben in Küstengewässern musste jedoch nicht nur auf die Veränderung des Meeresspiegels, sondern auch auf veränderte Temperaturen und Niederschlagsmuster sowie auf eine Erhöhung des atmosphärischen Kohlendioxid-Gehalts von 180 ppm auf 260 ppm reagieren. Korallenriffe erwiesen sich am Übergang ins Holozän als äusserst robuste Ökosysteme, ja sie trugen mit ihrer

sen. Eine genaue Lektüre der erdgeschichtlichen Archive scheint zu bestätigen, was Modellberechnungen und experimentelle Untersuchungen an Korallen vermuten lassen: Eine weitere Erhöhung des atmosphärischen Kohlendioxid-Gehalts kann innerhalb der nächsten Jahrhunderte zu einem grossen Korallensterben führen. Bevor wir anhand der erdgeschichtlichen Daten die Prognosen der Ozeanographen überprüfen, werden wir rekonstruieren, wie Korallen mit ihrem Wachstum zur Klimaerwärmung am Übergang ins Holozän beitragen.

Veränderungen in der Chemie der Meere und der Atmosphäre zu verhindern. Zu den wichtigen klimastabilisierenden Organismen gehören kalkbildende Lebewesen. Seit 540 Millionen Jahren binden die kalkigen Organismen Kohlenstoff zusammen mit Kalzium in ihren Schalen und Skeletten. Damit tragen sie zur Stabilisierung des globalen Kohlenstoff-Kreislaufs und damit auch des Kohlendioxid-Gehaltes der Atmosphäre bei. Zu den wichtigsten Organismen, die über die Biokalkifizierung aktiv zur Stabilisierung des ozeanischen und atmosphärischen Kohlenstoff-Budgets beitragen,

gehören die Korallen. Heute fixieren Organismen, die in küstennahem flachem Meerwasser leben, bis zur Hälfte des Kalzies, der aus dem Meerwasser ausgefällt wird. Die andere Hälfte wird durch Organismen, die im offenen Meer leben, in Skelette und Schalen eingebaut. Bei der Kalkausfällung entsteht als Nebenprodukt freies Kohlendioxid, das von Organismen zu einem Teil für den Aufbau von Zellstoff gebraucht wird. Der Rest des frei werdenden Kohlendioxids wird an die Atmosphäre abgegeben. Man vermutet heute, dass beschleunigtes Wachstum von Korallenriffen am Ende der letzten Eiszeit zur bekannten Erhöhung des atmosphärischen Kohlendioxid-Gehalts beigetragen hat. Wolfgang Berger vom Scripps Institute of Oceanography, der diese Hypothese als Erster formuliert hat, räumt allerdings ein, dass es bis heute schwierig bleibt, genau zu berechnen, wie viel atmosphärisches Kohlendioxid bei beschleunigter Kalkausfällung in Riffen am Übergang ins Holozän wirklich in die Atmosphäre gelangte. Man weiss zwar, dass die Kalkproduktion zur Zeit des schnellen Meeresspiegelanstiegs doppelt so gross war wie die heutige Kalkbildungsrate, aber man kennt den Anteil des über Fotosynthese in organischem Zellstoff gespeicherten Kohlendioxids nicht. Über heutigen Riffkomplexen scheint sich der Kohlendioxidhaushalt stabilisiert zu haben. Das über Kalkausfällung freigesetzte Kohlendioxid wird von Symbionten über die



**Abb. 1: Korallenriff im Pazifik**  
Foto: S. Bernasconi

Korallen brauchen Meerwasser, das bis um das Sechsfache an Kalziumkarbonat übersättigt ist, damit sie ihre Skelette aufbauen können. Fällt der Übersättigungsgrad unter einen kritischen Schwellenwert, dann wachsen keine Riffe mehr. Der von Menschen verursachte Anstieg des atmosphärischen Kohlendioxid-Gehalts verringert die zurzeit noch hohe Kalziumkarbonat-Übersättigung der tropischen Meere. Ozeanographen haben berechnet, dass sich bei einer Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Drucks die Oberflächenwasser-Chemie der Ozeane so verändert, dass der für Korallenwachstum nötige Übersättigungs-Grenzwert in zahlreichen Küstengebieten unterschritten wird und dass deshalb ein weit verbreitetes Riffsterben droht.



**Abb. 2: Die Churfirstenketten, ein alpines Klimaarchiv der Kreidezeit. Die hellen Gesteine unterhalb der roten Linie bilden ein fossiles Muschelriff.**

nen uns als Informationsquellen, wenn wir nach Ursachen des Riffsterbens suchen.

Kalke, die in der Kreidetiefsee abgelagert wurden und die wir heute in den Bergen des Südtessins studieren können, dienen als Dokumente zur Ozean- und Klimageschichte. In Flachwasserkalken, die heute den Säntis oder den Pilatus aufbauen, finden wir Aufzeichnungen über den Einfluss von Klimaänderungen auf Leben in warmen Küstenmeeren. Wichtige Hinweise über Veränderungen des ozeanischen Kohlenstoff-Reservoirs und indirekt über den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre gibt uns die Verteilung der stabilen Kohlenstoffisotope im biogenen Kalk. Anreicherungen am leichten Isotop C-12 relativ zum schwereren Isotop C-13 in Kalkschalen mariner Organismen dienen den Paläozeanographen als Fingerabdruck einer plötzlichen Veränderung im globalen Kohlenstoff-Budget und im



**OZEANOGRAPHEN HABEN BERECHNET, DASS BEI EINER VERDOPPELUNG DES CO<sub>2</sub>-DRUCKS EIN WEIT VERBREITETES RIFFSTERBEN DROHT.**



Fotosynthese gänzlich in Zellstoff stabilisiert. Seit die Korallen ihr Wachstum nach dem schnellen Meeresspiegel-Anstieg vor einigen Tausend Jahren stabilisieren konnten, verändern sie deshalb die Atmosphärenchemie nicht mehr. Korallen benötigen für den Riffaufbau geeignete Temperatur- und Nährstoffbedingungen. Das Wasser sollte am besten zwischen 20 und 35 Grad warm sein, und der Nährstoffgehalt sollte tief sein. Wichtig für die Biokalkifizierung bei Korallen und anderen Kalkbildnern ist auch der Sättigungsgrad des Wassers in Bezug auf Kalkmineralien (Kalziumkarbonat).

### Wiederholtes Riffsterben in der Kreidezeit

Wenn wir in der erdgeschichtlichen Biografie der Korallenriffe nach historischen Beispielen verbreiteten Riffsterbens suchen, so müssen wir bis in die Archive der Kreidezeit vor mehr als 100 Millionen Jahren zurückblättern. In jenem als Treibhauszeit bekannten Abschnitt in der Erdgeschichte kam es wiederholt zu einem verbreiteten Zusammenbruch von Korallen- und Muschelriffen entlang der Küsten des Kreideatlantiks und des alpinen Tethysmeers. Kalkgesteine der Alpen die-

atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalt. Solche Verschiebungen in der Isotopensignatur sind auch in alpinen Kalkabfolgen aus der Kreidezeit aufgezeichnet, und vergleichbare Isotopenanomalien wurden in gleichaltrigen Ablagerungen des Pazifiks und Atlantiks identifiziert und deshalb als globale CO<sub>2</sub>-Pulse interpretiert. Diese Kohlendioxid-Ereignisse werden seit den bahnbrechenden Arbeiten des amerikanischen Paläozeanographen Gerald Dickens als Konsequenz einer Kette von Umweltveränderungen angesehen. Episodisch gelangten über verstärkte vulkanische Aktivität hohe Kohlendioxid-Mengen in die





19. BIS 23. MÄRZ UND 29./30. MÄRZ 2001

Reservieren Sie sich die Zeit,  
diese Veranstaltung zu besuchen!

14. Controllertage 2001, am 21. März 2001  
Referenten aus der Praxis führen Sie durch das Thema:

## BETRIEBLICHES RECHNUNGSWESEN IN DIENSTLEISTUNGSUNTERNEHMEN

Begleitend zur Fachtagung werden praxisbezogene Workshops angeboten,  
gebündeltes Wissen inklusive Tools zum Umsetzen:

	Workshop	Datum
1	Planungs- und Angebotsentscheidungen mit Deckungsbeiträgen	19./20.03.01
2	Konzeption eines modernen betrieblichen Rechnungswesens	19./20.03.01
3	Technik und Organisation der Konzernkonsolidierung	19./20.03.01
4	Excel für Controller (Stufe 1)	19.03.01
5	Excel für Controller (Stufe 2)	20.03.01
6	Ganzheitliche MIS entwickeln	22.03.01
7	Performance Measurement	22.03.01
8	Konzeption eines Business-Plans	22./23.03.01
9	FER/IAS/US-GAAP – Was macht Sinn?	22.03.01
10	Controlling und Kostenrechnung in der Verwaltung	29./30.03.01

Alle Anlässe finden in den Räumlichkeiten der Universität St.Gallen statt.

Gerne begrüßen wir Sie persönlich und sind sicher, dass Sie Ihre Kompetenz  
an den St.Galler Controllertagen erheblich werden erweitern können.

**Mehr Infos und einfache Anmeldung unter [www.czsg.com](http://www.czsg.com)**

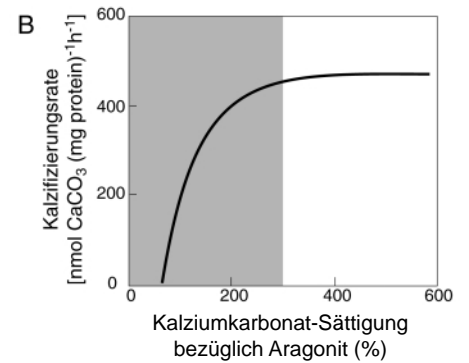
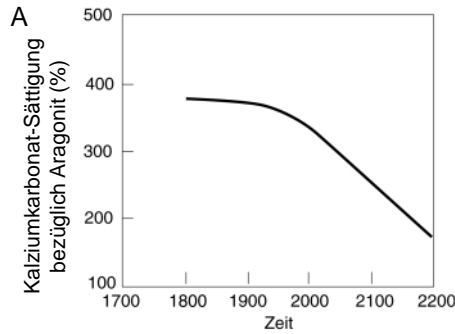
CZSG Controller Zentrum  
St.Gallen  
Frau H. Wilhelm  
Engelaustrasse 25  
CH-9010 St.Gallen

Telefon 071 244 93 33  
Telefax 071 244 93 56  
[www.czsg.com](http://www.czsg.com)

CONTROLLER  
ZENTRUM  
ST.GALLEN



**Abb. 3:**  
**A:** Berechnete durchschnittliche Kalziumkarbonat-Übersättigung tropischer Meere zwischen 1800 und 2200 (nach Kleypas et al. 1999). Die starke Abnahme der Kalziumkarbonat-Übersättigung ist auf den steigenden atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Druck zurückzuführen; **B:** Experimentell bestimmte Kalzifizierungsrate von Korallen bei unterschiedlicher Kalziumkarbonat-Übersättigung des Meerwassers (nach Gattuso et al., 1998). Im weissen Bereich der Grafik, bei einer Aragonit-Übersättigung über 300%, ist die Kalzifizierungsrate relativ stabil. Fällt die Übersättigung unter 300% (grauer Bereich), nimmt die Kalzifizierungsrate sehr schnell ab.



Atmosphäre. Dies trieb die Temperaturen im an sich schon warmen Kreideklima weiter in die Höhe. Erreichte dabei die Temperatur der Ozeane einen kritischen Schwellenwert, führte dies zur plötzlichen Freisetzung von Methan aus Gashydraten, welche unter normalen Klimabedingungen in Tiefsee-Sedimenten «eingefroren» sind. Methan, das in die Ozeane und die Atmosphäre gelangte, wurde innerhalb von Jahrzehnten zu Kohlendioxid verbrannt und verstärkte so das durch Vulkanismus verursachte Treibhausklima. Es hinterliess in den marinen Ablagerungen die gemessene leichte Kohlenstoff-Isotopensignatur. Gleichzeitig mit der Isotopenanomalie veränderten sich die Organismengesellschaften der Ozeane. Entlang der Küsten starben Korallenriffe und Muschelvergesellschaftungen. Auf dem offenen Meer verschwand gemäss Untersuchungen der italienischen Geologin Elisabetta Erba ein Teil der Kalkalgen. Auf Grund des Zusammenfallens der

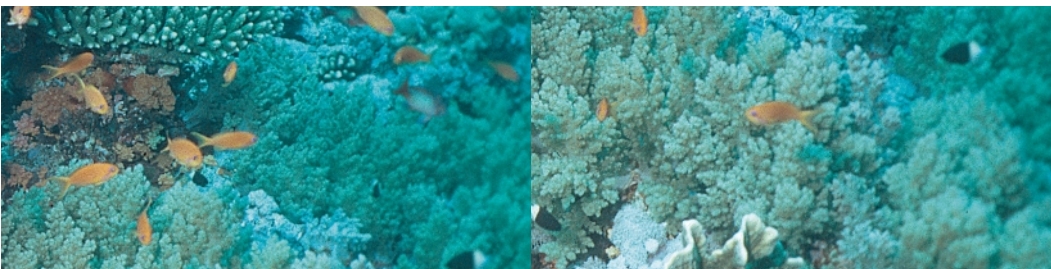
Anstieg zu einem schnellen Riffsterben führte.

### Paläozeanographie als Indizienwissenschaft

Versucht man Prognosen über die zukünftige Entwicklung von Riffen, bieten sich verschiedene Ansätze an. Einerseits dienen Experimente und Modellberechnungen als Ausgangspunkt für pessimistische Prognosen zur Zukunft der Korallenriffe. Andererseits erlauben geologische Archive die Überprüfung solcher Modelle in der Erdgeschichte. In den weit zurückliegenden Klima- und Ozeanarchiven sind oft mehrdeutige Spuren der Umweltgeschichte entzifferbar. Aussagen über Zusammenhänge von Riffsterben und CO<sub>2</sub>-Anomalien bleiben deshalb mit einem Unsicherheitsfaktor behaftet und sind im streng wissenschaftlichen Sinne nicht gesichert. Im Zusammenhang mit den Untersuchungen an heuti-

### Aktuelle Forschung

Die Gruppe von H. Weissert befasst sich mit den Reaktionsmechanismen der Biosphäre auf Klimaänderungen. Extreme Klimaanomalien im Mesozoikum hinterliessen gut identifizierbare Spuren in alpinen Gesteinsabfolgen, die sich als Archive für die Paläozeanographie und Paläoklimatologie eignen. In den laufenden Projekten untersucht die Gruppe, wie sich Störungen des globalen Kohlenstoff-Kreislaufs in der Vergangenheit auf marine und kontinentale Umweltsysteme ausgewirkt haben. Weitere Informationen zu den Forschungsprojekten sind zu finden unter: <http://www.spoc.ethz.ch>



gemessenen Isotopenanomalie mit verbreiteten Wachstumskrisen von Riffen und von Kalkalgenpopulationen vermuten wir, dass die schnelle Zunahme von Kohlendioxid im Meer und in der Atmosphäre den Kalkübersättigungswert des Oberflächenwassers dramatisch reduziert hat. In den Sedimentgesteinen ist dokumentiert, wie vor allem Riffe, die noch zusätzlichen Stressfaktoren wie zum Beispiel erhöhtem Nährstoffgehalt ausgesetzt waren, am stärksten auf die Kohlendioxid-Belastung reagierten. Wir nehmen an, dass ein durch Methanexplosionen ausgelöster CO<sub>2</sub>-

gen Riffen betrachtet, erhalten sie aber eine neue Relevanz, weil sie zeigen, dass die von den Ozeanographen prognostizierten Szenarien nicht nur auf die Zukunft, sondern auch auf die Vergangenheit anwendbar sind.



**Dr. Helmut Weissert**

Professor am Geologischen Institut des Departements für Erdwissenschaften



**Lukas Wissler**

Doktorand am Departement für Erdwissenschaften

**Literatur**  
 Kleypas et al. (1999): *Science*, 284, 118–119  
 Gattuso, J.-P. et al. (1998): *Global and Planetary Change*, 18, 37–46



# EIS ZUM REDEN BRINGEN

AANT ELZINGA

**Klimaforschung verdankt viele Informationen dem Eis der Polarregionen. Wie in einem Archiv sind hier Spuren aus der Erdatmosphäre über Jahrtausende gespeichert. Doch das eisige Archiv ist stumm. Einblicke in den langen Prozess vom Eis zur Erkenntnis.**

In der Klimaforschung werden viele Informationen von ehemaligen Schneeflocken erworben. Die Polarregionen wirken als globale Historiker. Schneeablagerungen auf der Oberfläche, die Jahr für Jahr schrittweise komprimiert wurden, schliessen Luft aus der Atmosphäre ein. «Natürliche Archive» entstehen (wie Jahrringe in einem Baum) und kapseln Informationen über vergangene Ereignisse ein, inklusive der Jahrestemperatur und der Zusammensetzung der Atmosphäre. Staub von Vulkanausbrüchen bil-

nach vielen Umwandlungen, Auslegungen und Deutungen werden Schnee und Eis Teil einer Sammlung von Aussagen, die Wissenschaftler an Beratungsforen über die zukünftige Klimapolitik den Politikern und anderen Entscheidungsträgern präsentieren.

Sich selbst überlassen, bleibt das eisige Archiv stumm. Erst die Arbeit, das Experimentieren und das Folgern der Menschen macht es zum Archiv, ein langer Prozess, der von der glaziologischen Feldarbeit (siehe Abb. 1: Eisbohrung in der

nario auf den Kollaps des aufschwimmenden westantarktischen Eisschildes beschränken, würde der Meeresspiegel um etwa 5 Meter ansteigen, ähnlich wie beim grönländischen Eisschild. Obwohl derartige Ereignisse in Bezug auf die für die nahe Zukunft erwarteten Klimaveränderungen unwahrscheinlich sind, zeigen die Zahlen, wie wichtig es ist, dass man den Zustand der Eisschichten kennt. Viele Expeditionen in die Antarktis sind heute durch die globale Erwärmung motiviert. Ein kompletter Gletscherzyklus



det Linien, die als Hilfe benutzt werden, um gewisse Daten festzulegen. Die Analyse in Laboratorien «zeigt» die Anteile von CO<sub>2</sub>, Methan und anderen Treibhausgasen in verschiedenen Schichten. Veränderungen und einhergehende Schwankungen der Atmosphärentemperatur können über Hunderte von Jahrtausenden zurückverfolgt werden. Die von den Wissenschaftlern anschliessend erstellten Kurven werden mit Computersimulationen der globalen Klimaveränderung verglichen und liefern empirische Bezugspunkte für gekoppelte Zirkulationsmodelle. Auf diese Art ausgefragt und

Antarktis) über Computersimulationen hin zu den aktuellsten Einschätzungen aus der wissenschaftlichen Literatur führt.

## Eisbohrungen in der Antarktis

Forschung in der Antarktis hat durch Veränderungen der Schelfeis-Ausdehnung und durch jüngste örtliche Temperaturanstiege Beachtung gefunden. Würde der gesamte antarktische Eisschild schmelzen, so würde der Weltmeeresspiegel in der Grössenordnung von 65 bis 70 Metern ansteigen. Wenn wir das Sze-

dauert zirka 150 000 Jahre, weshalb mehrere dieser Zyklen in dem Eisschild-Archiv «eingefangen» werden können, sofern in relativ stationären Regionen, sogenannten Domes, nach Eiskernen gebohrt wird.

Arbeit mit Eiskernen hatte dramatische Auswirkungen, insbesondere nachdem Claude Lorius und seine französischen und russischen Kollegen von der ehemaligen sowjetischen Station Vostok an einem äusserst unzugänglichen Ort tief im Herzen der Antarktis ein paar Kilometer tief in die Eiskappe gebohrt hatten. Der Kern wurde benutzt, um eine 160 000-



Abb. 1: Eiskernbohrung in der Antarktis

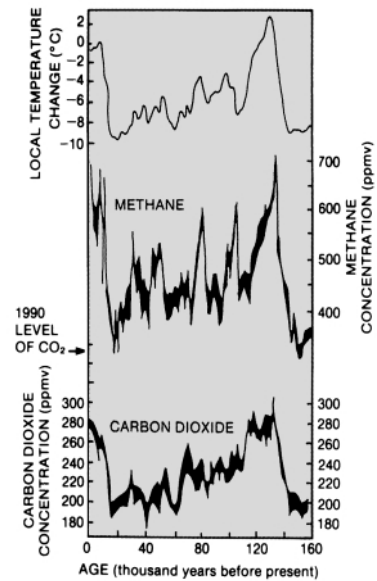


Abb. 2: Der Eiskern von Vostok (Antarktis) gibt Auskunft über 160 000 Jahre Temperatur-, CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Entwicklung. Er lieferte dramatische Einsicht in vergangene Klimaänderungen.



**WÜRDEN DER GESAMTE ANTARKTISCHE EIS-SCHILD SCHMELZEN, SO WÜRDEN DER WELTMEERESSPIEGEL IN DER GRÖSSENORDNUNG VON 65 BIS 70 METER ANSTIEGEN.**



jährige Geschichte der Temperaturveränderung zu rekonstruieren (siehe Abb. 2), die einen kompletten Glazial-Interglazial-Zyklus beinhaltet (Jouzel et al., 1987).

Zu «sehen» waren warme Temperaturen in der Zwischeneiszeit vor zirka 120 000–130 000 Jahren und in den vergangenen 10 000 Jahren der gegenwärtigen Zwischeneiszeit. Zwischen diesen zwei Perioden waren die Temperaturen mehr als 6°C kälter als heute. Temperaturschwankungen gingen einher mit Veränderungen des CO<sub>2</sub>- und Methan-Anteils in der über einen Zeitraum von

160 000 Jahren eingeschlossenen Luft. Die Empfindlichkeitsanalyse hat darauf hingedeutet, dass das Klimasystem stark auf die wärmeeindämmende Wirkung der Treibhausgase anspricht (Lorius et al., 1990). Ein Anteil von 5°C des Temperaturunterschieds zwischen der letzten Eiszeit und der Zwischeneiszeit wird der Wärmeeindämmung durch Treibhausgase zugeschrieben, der Rest anderen Ursachen. Wechsel zwischen Eiszeit und Zwischeneiszeit könnten durch schwache Variationen in der Umlaufbahn (der Erde um die Sonne) ausgelöst und durch Veränderungen der Konzentration von

Treibhausgasen verstärkt worden sein. So werden Eiskerne als Zeugen entziffert, die uns Menschen vor der Verstärkung des Treibhauseffekts warnen. In den späten Achtzigerjahren führte dies dazu, dass verschiedene Länder weitere tiefe Bohrungen in Angriff nahmen und das Bohren nach Eiskernen in der Antarktis, inklusive EPICA, wesentlich vorangetrieben wurde (siehe Kasten S. 48).



## EPICA 1

EPICA steht für «European Project for Ice Coring in Antarctica» (Europäisches Projekt für Eiskernbohrung in der Antarktis). Es wird von der EU unterstützt und von der European Science Foundation koordiniert – als Aktivposten, wenn es darum geht, Europa einen guten Platz im wissenschaftlichen Wettbewerb mit den USA und Japan (Paläoklimatologie) zu verschaffen.

Mitte der Neunzigerjahre begann die erste Etappe von EPICA am Dome Concordia (Dome C) und machte tiefe Bohrungen südlich der französischen Station Dumont d'Urville. Eine zweite Etappe soll im südlichen Polarsommer 2001/02 in Dronning Maud Land (DML) (auf einer Linie südlich von Südafrika) an einer Stelle am 75. südlichen Breitengrad stattfinden (B-32 genannt). Es ist geplant, dabei Bohrkerne aus einer Tiefe von zwei Kilometern zu ziehen. Am Dome C und der geplanten Stelle in DML herrschen verschiedene klimatische Bedingungen. Dome C hat weniger Niederschlag, während in DML mehr Schnee fällt und hoffentlich mehr wichtige Informationen über vergangene Veränderungen der Bedingungen über dem Südatlantik gewonnen werden können. Letzterer ist von Bedeutung in Diskussionen über Verän-

derungen der herrschenden ozeanischen Strömungen, der Koppelung zwischen nördlicher und südlicher Hemisphäre und jüngste Rekonstruktionen von Ereignissen schneller Klimaveränderung am Ende von Eiszeiten.

## Komplexe Dateninterpretation

Das Interpretieren der relevanten Daten, zunächst um Temperaturverzeichnisse von den räumlichen Gradienten des Archivs (Eistiefe unter der Eiskapenoberfläche) abzuleiten, ist nicht ganz unkompliziert. Wichtige Studien des Übergangs von Firn zu Eis in der Antarktis wurden schon in den frühen Fünfzigerjahren durchgeführt. Da es keine Sommermelze gibt, nicht einmal nahe der Küste in relativ geringer Höhe bis hinunter zu 60 bis 80 m, wird der Schnee zu Firn verdichtet, der immer noch porös ist, wodurch jüngere Luft von oben eindringt. Darunter – wenn der Firn weiter komprimiert wird zu purem Eis – verschliessen sich die Poren, und die Luft wird endlich eingeschlossen. Deswegen ist die eingeschlossene Luft, die nach Treibhausgasen und anderen verräterischen Zeichen analysiert wird, jünger als das einschliessende Eis. Traditionell wird angenommen, dass der Altersunterschied zwischen der Luft und dem einschliessenden Eis über längere Zeitperioden hinweg in der Konstruktion von Trends nicht von Bedeutung ist.

Für den Niederschlag in mittleren und höheren Breiten und die Jahrestemperatur in Polarregionen hat man bisher stets eine einfache Formel eingesetzt, wonach der  $\Delta 18O$ -Wert regelmässig um 1 Promille abnimmt, wenn die Temperatur beim Überqueren des Feldes um  $1,5^\circ C$  fällt, beispielsweise von der Küste ins

es mahnt zur Vorsicht bei der Erforschung von Schlüsselbeziehungen. Heute berücksichtigen aufwändigere Rechenmethoden den Altersunterschied zwischen den eingefangenen Luftblasen und der einschliessenden Eismasse.

## Zwischen Wissenschaft und Politik

Eiskernbohrung im Feld ist offensichtlich nur die Vorderfront einer langen Kette komplizierter wissenschaftlicher Ereignisse und Prozesse (Sigg et al., 1994). Eine andere wichtige Aufgabe liegt darin, die Objekte zur Befragung ins heimische Labor zu transportieren, wo anspruchsvolle Analysen durchgeführt werden, die im Feld unmöglich sind. Die aufwändige Logistik eines solchen Transports kann einen Eiskern so viel kosten lassen wie sein halbes Gewicht in purem Gold. Glaziologische Feldarbeit ist zeitaufwändig, manchmal abenteuerlich, und wird weniger wahrgenommen als die dramatischeren Aussagen, die von den Gasanalytikern oder den Produzenten von Computermodellen gemacht werden. Doch die Trendanalytiker brauchen für ihre Arbeit die Materialien, welche die bescheideneren Feldarbeiter beschaffen. Erst daraus werden die Berichte abgeleitet über parallele Veränderungen der Atmosphärentemperatur und der Treibhausgase, wie sie von den führenden Wissenschaftszeitschriften in eleganten Diagrammen publiziert werden.

Zentrum Grönlands. Diese Beziehung wurde als Paläothermometer eingesetzt, um die zeitliche Temperaturveränderung von Informationen über die Veränderungen des Anteils von dem  $18O$ -Isotop in verschiedenen Tiefen abzuleiten (Jouzel 1999). Kürzlich wurde aber festgestellt, dass die Formel versagt für kurze Zeitperioden, in denen das «Naturarchiv» im Grönlandeis anscheinend schnelle Klimaveränderungen aufgezeichnet hat. Bis jetzt hat dies die Interpretationen des antarktischen Eisarchivs nicht beeinflusst, da es scheinbar weniger von saisonalen Veränderungen abhängt, doch

In grossen Projekten sind wissenschaftliche Pläne Podien für Verhandlungen zwischen Vertretern verschiedener Disziplinen und Spezialgebiete aus verschiedenen Ländern in Verbindung mit ihren Laboratorien zu Hause (vgl. Kasten 2). Die Prinzipien, nach denen die Eiskerne verteilt werden, basieren auf wissenschaftlichen Kriterien. Der grösste finanzielle Beitrag verschafft einem Land nicht unbedingt auch die wissenschaftlichen Höhepunkte. Es zählen Kapazität und bisherige Erfolge der involvierten Forschungseinrichtungen, ihre Spezialisierung sowie der Bedarf an der Fortset-



## EPICA 2

Verteiltes fachmännisches Können in Europa:

Die fachlichen Aufgaben, die für EPICA nötig sind, werden unter den verschiedenen teilnehmenden Ländern verteilt. Dazu gehören Dänemark (Gasanalyse, Eiskerndatierung und Temperaturverzeichnis), die Schweiz (verfeinerte Gasanalyse, Rekonstruktion des Lebenszyklus eines Gases und dessen Interaktion mit anderen Gasen, Interpretation, Bohrtechnologie), Frankreich (Deuteriumanalyse, Analyse stabiler Isotope, chemische Analyse für Dome C), Deutschland (physische Eigenschaften, Entwicklung chemischer Analysen, Logistik), England (Glaziologie, chemische Messungen), die Niederlande (meteorologische Aspekte und Laboranalyse), Schweden (Glaziologie und Laboranalyse atmosphärischer Parameter des Eises). Im Falle der neuen Stelle B-32 wird Deutschland stärker beteiligt, doch die Schweiz spielt dank ihrer bohrtechnologischen Fähigkeit und fortgeschrittenen Gasanalyse eine wichtige Rolle.

Arena, da die präsentierten Resultate durch die Modelle gefiltert werden. Politiker wollen ein zusammenhängendes Bild, und Modelle und Simulation können dies auf eine Art liefern, wie es Feldarbeit nicht kann. Wer im Feld arbeitet, produziert lediglich einzelne Informationsbrocken. In einem Modell kann man hingegen extrapolieren und Veränderungen in der Eiskappe über eine oder zwei Glazialzyklen hinweg berechnen, was für Voraussagen für die Zukunft interessant ist. Zudem interessieren sich Politiker nicht für die Details bezüglich der Akkumulation von Schnee auf dem Eisschild. Somit sind die Glaziologen gewissermassen gegenüber den Produzenten von Computermodellen benachteiligt. Im Einzelnen mögen ihre Resultate wissenschaftlich interessant sein, doch sie haben keine unmittelbare politische Relevanz. Dazu sind verschiedene Auslegungsschritte nötig.

Andererseits ist das Computermodell mit vielen Unsicherheiten behaftet, während seine Präsentation auf der politischen Ebene ihm eine Aura von Wahrheit verleiht. Forscher im Feld halten dies für problematisch und sind besorgt, weil den Erschaffern der Modelle die ganze Anerkennung zuzukommen scheint; niemand bemerkt die empirische Arbeit, die vorher stattfand, das Überqueren von Gletscherspalten unter Lebensgefahr, die heftigen Stürme oder Helikopterflüge über heikles Terrain. Wie es ein Wissenschaftler einmal ausdrückte, benötigt

Ressourcen sowie Bohrtechnologie. Die Kette von wissenschaftlichen Arbeiten, die nötig sind, damit «das Eis spricht», bietet Einstiegsmöglichkeiten für Fachleute von der Glaziologie, der Meteorologie, der Atmosphärenchemie und -physik, der Formationskunde bis hin zur Computersimulation und der politischen Beratung. Synthesen werden schliesslich in den aktuellsten Einschätzungen aus der wissenschaftlichen Literatur, zum Beispiel vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC – internationales Podium zur Klimaveränderung), geboten. Es ist ein weiter Weg, bis diese als Argumente zur Reduktion des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre und für andere Strategien zur Mässigung globaler Erwärmung mobilisiert werden können.

### Literatur

Elzinga, Aant (ed.) (1993), «*Changing Trends in Antarctic Research*», Dordrecht: Kluwer Academic Publishers

Jouzel, J. et. al., (1987), «*Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climate cycle (160 000 years)*», *Nature*, vol. 329, pp. 403–407

Jouzel, J. (1999), «*Calibrating the Isotopic Paleothermometer*», *Science*, vol. 286 (29 Oct.), p. 910–911

Lorius, C. et. al. (1990), «*The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming*», *Nature*, vol. 347 (Sept.), pp. 139–145

Sigg, Andreas et. al. (1994), «*A continuous analysis technique for trace species in ice cores*», *Environmental Science and Technology*, vol. 28, no. 2, pp. 204–209



zung gewisser Messungen. Dennoch kommen natürlich die Kosten hinsichtlich Logistik und Infrastruktur, die die verschiedenen Länder auf sich nehmen, mit ins Spiel, wenn es um das Eigentumsrecht der Eiskerne, die an einer bestimmten Stelle gezogen wurden, geht. Verhandlungen laufen entlang der gesamten Logistikkette, vom Eigentumsrecht der Eiskerne bis hin zu den Autorenrechten der ersten wissenschaftlichen Veröffentlichungen.

In gewissem Sinne sind die Wissenschaftler, die nach der Feldarbeit die Modelle erstellen, näher an der politischen

man mit einem Modell lediglich Wochen, um die Daten zu berechnen, die im Feld über ein Jahrzehnt hinweg gesammelt werden müssen.

Die mit Eiskernbohrung verbundenen Aktivitäten beinhalten Erkundungsarbeiten im Feld, Schnee- und Eisradarüberwachung, die Ortung und Einrichtung einer optimalen Bohrstelle, das Ziehen des Bohrkerns, physikalische Analysen, Datierung und weitere anspruchsvolle chemische Analysen im Labor sowie das Interpretieren von Zwischenresultaten. Es werden gut ausgerüstete Laboratorien benötigt, logistische Fachkenntnisse und



**Prof. Dr. Aant Elzinga**

Ordentlicher Professor für Wissenschaftstheorie an der Universität Göteborg, Schweden, zurzeit wissenschaftlicher Gast am Collegium Helveticum der ETH Zürich. Mitglied der schwedischen Antarktisexpedition im Rahmen von EPICA 1997/98.



# IST DER WACHSENDE TREIBHAUSEFFEKT ERKENNBAR?

ATSUMU OHMURA

Die Veränderung der Strahlung spielt bei Klimaänderungen eine entscheidende Rolle. Seit bald zehn Jahren haben ETH-Forschende Erstzugang zur besten Strahlungs-Datenbank der Welt, mit Strahlungsdaten von Svalbard bis zum Südpol. Ein dabei entwickelter Infrarot-Sensor ermöglicht es, selbst eine kleine Zunahme der Treibhausstrahlung zu registrieren, lange bevor sie sich auf die Temperaturen auswirkt.

Bei fast allen Klimaänderungen spielt die Variation der Strahlung eine sehr wichtige, wenn nicht die entscheidende Rolle. Dies wissen wir auf Grund der Kenntnisse über vergangene Klimaänderungen oder aus der Erfahrung mit Modellsimulationen des Klimas. Ein erstes Beispiel dafür ist die Milankovitch-Hypothese, die das

peraturzunahme bei einer Verdoppelung der Konzentration des Kohlendioxids in der Atmosphäre. Umgekehrt konnte nach dem Vulkanausbruch vom Mt. Pinatubo auf den Philippinen eine leichte Senkung der globalen Mitteltemperatur während zweier Jahre nachgewiesen werden.

Fähigkeit der Klimamodelle, die kurzwellige und die langwellige Strahlung zu simulieren, ist immer noch sehr begrenzt. Dies waren die Hintergründe, weshalb das Joint Scientific Committee (JSC) des World-Climate-Research-Programmes (WCRP) im Januar 1992 ein neues Projekt unter der Bezeichnung Baseline Surface



Auftreten von Eiszeiten durch die Veränderung der Sonneneinstrahlung auf die Erde als Folge der Änderung der Exzentrizität der Erdbahn und der Ekliptikschiefe sieht. Ein anderes Beispiel für eine strahlungsinduzierte Klimaänderung ist der anthropogene Treibhauseffekt. Die Eiszeittheorie betrifft die Änderung der Sonnenstrahlung, das heisst der so genannten kurzwelligen Strahlung. Der Treibhauseffekt ist eine Folge der terrestrischen, langwelligen Strahlung. Alle von etwa einem Dutzend existierender Klimamodelle prognostizieren eine, wenn auch unterschiedlich ausgeprägte, Tem-

## Internationale Strahlungsmessung

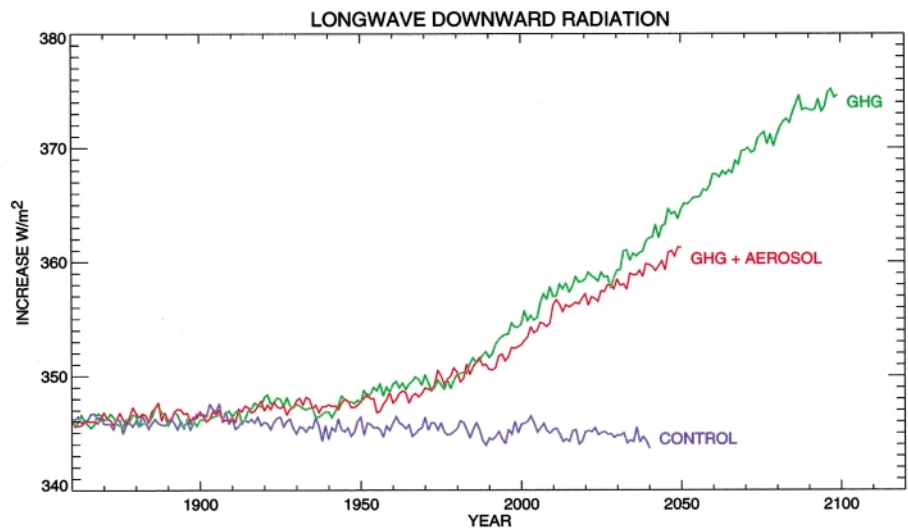
Während es keine Zweifel gibt, dass die Strahlung für die Höhe der Erdtemperatur eine zentrale Rolle spielt, sind unsere Kenntnisse über die Strahlungsverteilung und ihre Wirkung im Klimasystem noch beschränkt. Die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die Sonnenstrahlung wird heute heftig debattiert. Der Betrag der langwelligen Strahlung an der Erdoberfläche, die eigentliche Ursache des Treibhauses, ist nur mit einer relativ grossen Unsicherheit bekannt. Auch die

Radiation Network (BSRN) begann. Das BSRN beabsichtigt in erster Linie, die klimarelevante Strahlungsdichte und Bestrahlungsstärke mit der höchsten Genauigkeit zu bestimmen, die unsere gegenwärtige Technologie ermöglicht, mit hoher zeitlicher Auflösung und mit standardisierten Methoden. Die Strahlungsmessung wird an fast allen BSRN-Stationen durch Ballonsondierungen der Atmosphäre und andere Fernerkundungsmethoden ergänzt. Damit können die Strahlungsmessungen möglichst genau mit der theoretisch berechneten Strahlung verglichen werden. Die Messungen

sollen für die Verbesserung der Klimamodelle, als Groundtruth für Satellitenradiometrie und vor allem für die Feststellung von Änderungen der Strahlung im Klimasystem dienen.

## 21 Messstationen weltweit

Das BSRN besteht heute aus 21 Messstationen in allen wichtigen Klimazonen. Der Hauptsitz der Datenkontrolle und der Forschung ist im Institut für Klimaforschung (IKF) der ETHZ angesiedelt. Die Einrichtung des World Radiation Monitoring Centre (WRMC) im IKF als Hauptsitz des BSRN wurde durch die ETH-Schulleitung als ETH-Beitrag zum WCRP ermöglicht. Die Unterhaltskosten für die 21 Stationen gehen grösstenteils zulasten der jeweiligen nationalen meteorologischen Dienste, mit einer Teilerstützung durch die World Meteorological Organisation (WMO) und der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) der USA. Die schweizerische BSRN-Station wird seit 1992 von der MeteoSchweiz in Payerne betrieben. Diese Station ist auch die qualitativ beste Strahlungs-Messeinrichtung der Welt. Andere Teilnehmer sind die National Aeronautics and Space Administration (NASA), Hochschulen in den USA, Brasilien und Nigeria, das Alfred-Wegener-Institut für Meeres- und Polarforschung (AWI) in Deutschland, und das National Institute of Polar Research



**Abb. 1: GCM-ECHAM4T42-Simulation der Entwicklung der langwelligen Einstrahlung während der vergangenen 150 und künftigen 100 Jahre. Die Treibhausgas-Konzentration der vergangenen 150 Jahre wurde nach den beobachteten Werten bzw. vom Eisbohrkern bestimmt. Die künftige Entwicklung der Konzentration wird wie IPCC 92a angenommen.**

der Infrarot-Ausstrahlung der Atmosphäre und Beiträge zur Verbesserung von globalen Klimamodellen. Alle diese Probleme haben globale Bedeutung.

## Neue Messung der spektralen Strahlungsverteilung

Gegenwärtig tritt das Projekt in die zweite Phase, in welcher zusätzlich die Messung der spektralen Verteilung der

effektes festzustellen. Gegenwärtig fallen im globalen Mittel etwa 345 W/m<sup>2</sup> Infrarotstrahlung auf die Erdoberfläche. Wenn man die spektralen Beiträge für jedes einzelne Treibhausgas frühzeitig identifizieren kann, besteht eine Möglichkeit, die wachsende Treibhausstrahlung auf Grund der Zunahme der Konzentration der Treibhausgase festzustellen. Diese Richtung der Projektentwicklung hat doppelte Bedeutung. Erstens ermöglicht eine Verifikation der



**DAS LANGFRISTIGE MONITORING DER TREIBHAUSSTRAHLUNG KANN EINE METHODE ZUR FRÜHERKENNUNG EINES ZUNEHMENDEN TREIBHAUSEFFEKTES SEIN.**



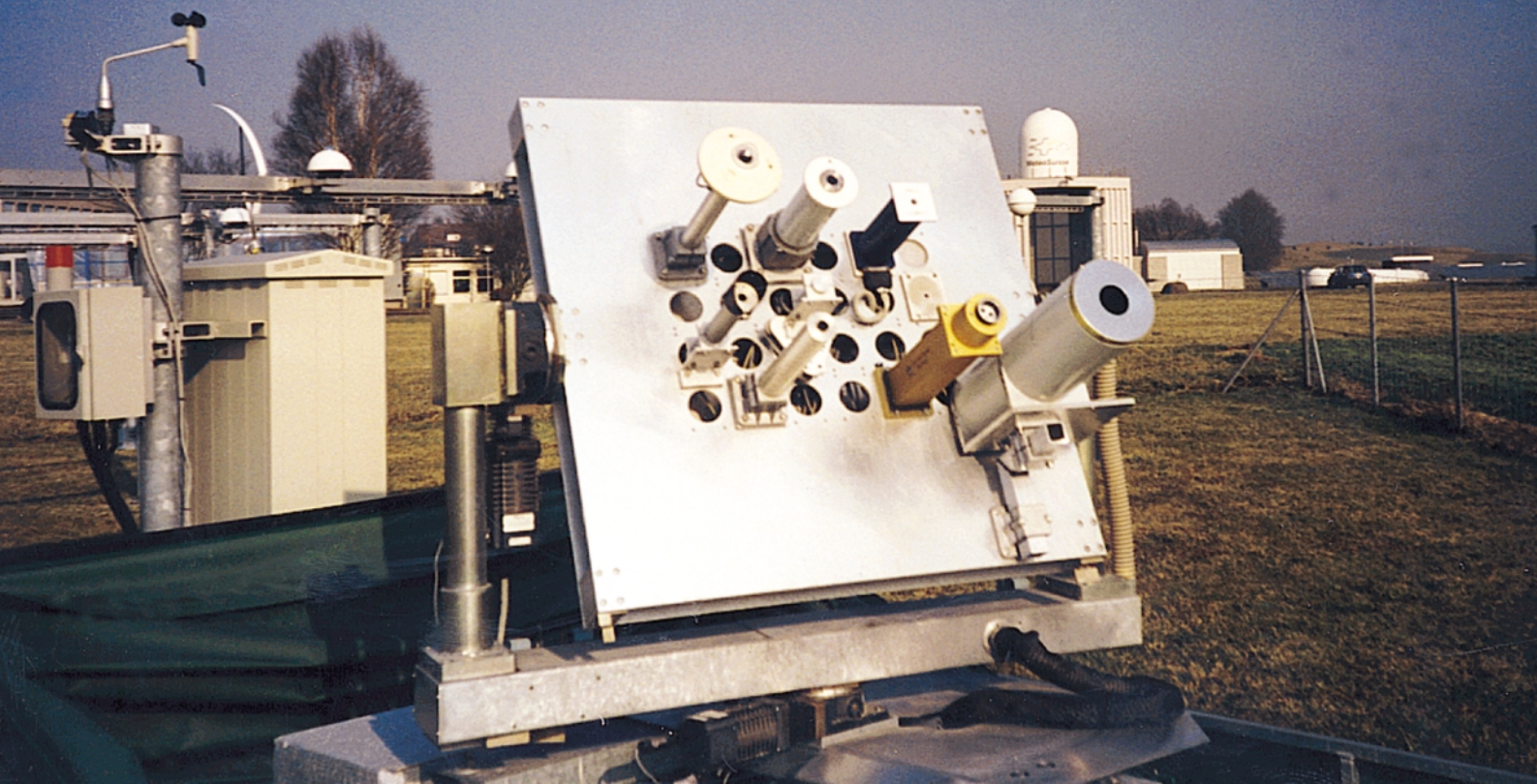
(NIPR) in Japan. Die Standardisierung des Messverfahrens sowie die Eichung der Instrumente werden durch das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos/World Radiation Centre (PMOD/WRC) geleistet.

Das Projekt bringt den Forschern an der ETH Zürich den Erstzugang zur besten Strahlungs-Datenbank der Welt, mit Strahlungsdaten von Svalbard bis zum Südpol. Die wissenschaftlichen Beiträge der letzten Jahre sind zum Beispiel die Entdeckung der so genannten Missing Absorption der Atmosphäre, die Bestimmung der bisherigen Unterschätzung

Strahlung in Angriff genommen wird. Die spektrale Messung bezweckt die Erfassung problemspezifischer Strahlungen, wie UV-B, Photosynthetic Active Radiation (PAR), die Streuung durch Aerosole und die spektral selektive Emission in zahlreichen Wellenlängenbereichen der verschiedenen Treibhausgase. Die spektrale Messung wird noch detailliertere Informationen für die Interpretation der Satellitenradiometrie und die Verbesserung von Klimamodellen bringen. Der wichtigste Grund für die spektrale Radiometrie liegt in der Möglichkeit, die Zunahme des anthropogenen Treibhaus-

Klimamodelle eine wesentliche Verbesserung unseres Verständnisses des Treibhauseffektes. Bis heute beschränkt sich unser gesichertes Wissen im Wesentlichen auf die Beobachtung, dass in den letzten Jahrzehnten die atmosphärische Konzentration der Treibhausgase zugenommen hat. Der Rest unseres Verständnisses beruht allein auf Modellrechnungen, noch ohne sichere Validationsmöglichkeit, dass die Temperatur an der Erdoberfläche auch durch den Treibhauseffekt zugenommen hat oder zunehmen wird. Wegen der zahlreichen Rückkopplungsprozesse zwischen der





**Abb. 2: BSRN-Station Payerne, VD. Das Bild zeigt die zurzeit genauesten Strahlungsmesseinrichtungen der Welt.**

Treibhausgas-Konzentration und der Temperatur ist es notwendig, die Zunahme der Infrarotstrahlung selber festzustellen. Neben der Verifikation der Klimamodelle besitzt dieses Strahlungsmonitoring noch eine weitere Bedeutung. Wenn man die Klimaprognosen nur von den Modellen abhängig lässt, dann wird die

Genauigkeit der Prognosen allein von der Modellgenauigkeit bestimmt, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass alle Modelle (etwa 17 in der Welt) Fehler machen. Idealerweise brauchen wir eine zweite Prognosemöglichkeit, die von den Modellen unabhängig sein soll. Das langfristige Monitoring der Treibhaus-



**Abb. 3: die Prospektive BSRN-Station auf Summit, Grönland, mit ihrer Umgebung.**

strahlung kann eine solche Methode zur Früherkennung eines zunehmenden Treibhauseffektes sein. Mit dem in diesem ETH-Projekt entwickelten Infrarot-Sensor ist es möglich geworden, eine kleine Zunahme der Treibhausstrahlung, falls dies überhaupt geschieht, lange vor der Zunahme der Temperatur zu erkennen. Damit gewinnen wir etwa eine Dekade, um unsere Gesellschaft frühzeitig über die Entwicklung des Klimas warnen zu können.



**Prof. Dr. Atsumu Ohmura**  
Professor und Vorsteher am Institut für Klimaforschung der ETH Zürich

# INTERN

## «LIFE SCIENCES»: GEMEINSAMES GRUNDSTUDIUM ETABLIERT

BIOLOGIE, CHEMIE UND PHARMAZIE

**Nach intensiven Vorarbeiten haben Biologen, Pharmazeuten und Chemiker der ETHZ ab dem Wintersemester 2000/2001 ein gemeinsames Grundstudium eingeführt. Neue Formen und neue Inhalte sind angesagt.**

(vac) Auch in Zukunft werden sich Studierende für Pharmazeutische Wissenschaften, Biologie oder Chemie einschreiben können. Die Neuerung beinhaltet weder eine Fusion noch einen gemeinsamen neuen Studiengang, wie die Departementsvorsteher der jeweiligen Studienrichtungen betonen. «Der individuelle Name und das Studienziel des jeweiligen Studienganges werden beibehalten, wie zum Beispiel Pharmazeutische Wissenschaften», erklärt Prof. Heidi Wunderli-Allenspach, Vorsteherin des Departementes Angewandte Biowissenschaften. Neu sei, so Wunderli, die Tatsache, dass verschiedene Fachstudien auf koordinierten Grundstudien in «Life Sciences» aufbauen, auch wenn diese Bezeichnung bisher nicht formell verwendet worden sei. «Unsinnig wäre es, das Grundstudium für die Studiengänge, die so nahe beieinander liegen, nicht gemeinsam zu gestalten», meint Prof. Wilfried van Gunsteren, Vorsteher des Departementes Chemie. Die meisten Lehrveranstaltungen im Grundstudium werden von Studierenden der verschiedenen Studienrichtungen besucht.

### Erhöhte Effizienz

Ein wesentlicher Vorteil der neuen Organisation der drei Studienrichtungen ist die Förderung und Motivation der Studierenden im Grundstudium sowie die freie Wahl des Fachstudiums nach den ersten zwei Studienjahren. Dies bedeutet aber keineswegs, dass es für die Studierenden einfacher wird: Das Grundstudium basiert auf 30 Wochenstunden und verlangt vermehrtes Selbststudium. Die Studierenden tragen damit mehr Eigenverantwortung: «Durch das Grundstudium muss man durch; hin und her

wechseln kann man während dieser zwei Jahre nicht», betont Prof. Markus Aebi, Verantwortlicher für den Studiengang Biologie. Danach stünden die Studierenden in einer Halle mit verschiedenen Türen, die in verschiedene Spezialisierungsrichtungen führten, die sie entsprechend ihren Neigungen wählen könnten. Aebi: «Dank dem modularen Aufbau des Studiums kann beispielsweise ein Biologe mit zweitem Vordiplom eine Diplomarbeit in der Chemie machen.» Diejenigen Studierenden, die von ihrer Studienwahl nach dem Grundstudium nicht mehr überzeugt seien, so van Gunsteren, hätten immer noch die Möglichkeit, in eine andere Richtung zu gehen. Die Inhalte wurden bei allen drei Richtungen neu definiert und untereinander abgeglichen. Durch Umstrukturieren gewisser Fächer haben alle drei Studienrichtungen die Effizienz erhöht: Während die Biologen ein Schwergewicht auf die Molekular- und Zellbiologie gelegt haben, waren sich Pharmazeuten und Chemiker einig, dass sie mehr Biologie im Grundstudium brauchen und somit das Fachstudium teilweise entlasten können. Bezüglich der Finanzierung sind alle Fachvertreter zufrieden: Sie haben bei der Schulleitung ein «offenes Ohr» gefunden, sodass es den Studierenden möglich sein wird, mit «state-of-the-art»-Einrichtungen zu arbeiten.

# IN EIGENER SACHE



**Interdisziplinarität** zu fördern und gleichzeitig die gründliche Ausbildung in einer Fachdisziplin sicherzustellen, ist heute ein wichtiges Anliegen der universitären Lehre. Nicht nur ist es eine Binsenwahrheit, dass viele aufregende Entdeckungen gerade an den Schnittstellen von Disziplinen gemacht werden, es gehört auch zu den Anforderungen unserer Zeit, dass Probleme disziplinenübergreifend angegangen und in ihrem ganzen komplexen Umfeld gesehen werden. Die entsprechenden Bedürfnisse an die Ausbildung sind nicht leicht zu erfüllen, darf dies doch nicht auf Kosten der Tiefe in der Fachausbildung geschehen. Das angestrebte Bildungsprofil sieht so aus: gründliche Expertise in einem Gebiet mit gutem Einblick in Nachbargebiete und mit Gesprächsfähigkeit weit über den Kernbereich hinaus. An der ETH wird dies unter anderem dadurch gefördert, dass die Studiengänge aufgebaut sind aus einem sehr breit angelegten Grundstudium und einem fokussierten Fachstudium. In diesem Sinn ist es ausserordentlich zu begrüssen, dass in Zukunft die Grundstudien verschiedener Studiengänge (z. B. Biologie, Chemie und die Pharmazeutischen Wissenschaften) sehr stark aneinander angeglichen werden. Ausserdem wurden bereits diverse interdisziplinäre Vertiefungsstudiengänge eingeführt, die von verschiedenen Grundstudien her angegangen werden können: Betriebs- und Produktionswissenschaften, Rechnergestützte Wissenschaften sowie Bewegungs- und Sportwissenschaften. Die generelle (obligatorische) Verankerung der Lehrangebote des Departements Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften in sämtlichen Studiengängen der Schule soll ferner dazu beitragen, dass die Studierenden auch zu den Humanwissenschaften ein ungebrochenes Verhältnis haben.

**Konrad Osterwalder**

Rektor der ETH Zürich



## DIE GANZE ETH-WELT AUF EINER KARTE

«BEYOND LUXURY»: GEWINNER DES INTERNATIONALEN KONZEPTWETTBEWERBS FÜR ETH-WORLD

Im April letzten Jahres schrieb die ETH Zürich einen internationalen Konzeptwettbewerb für ETH-World, den virtuellen Campus der ETHZ, aus: Dieser hat als Ziel, Lehrende, Forschende, Studierende, Alumni sowie alle Interessierten aus allen Himmelsrichtungen zu vernetzen: Keine einfache Aufgabe auch für die Jury: 51 Werke aus der ganzen Welt musste sie begutachten. Nun stehen die Sieger fest. Das «visionäre Konzept, das den Nutzer in den Mittelpunkt stellt und die Struktur, die mehr vom Datenzugang ausgeht, als von der Organisation der Daten» überzeugte das Preisgericht am meisten. In «beyond luxury» taucht der User in eine eigene Welt...

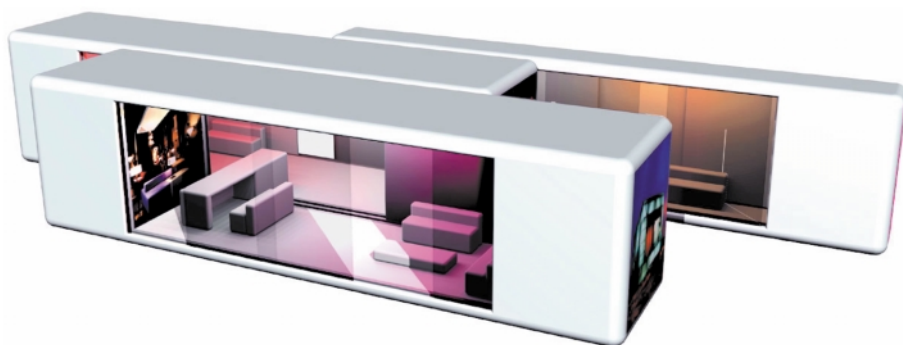


Abb. 1: «Beyond luxury» verbindet virtuellen mit realen Raum.

**Im internationalen Wettbewerb für das Konzept von «ETH-World», dem virtuellen Campus der ETHZ, sind Sie, Frau Papadopoulou, und Sie, Herr Erni, im Gewinnerteam «beyond luxury» mit dabei gewesen. Das Team wurde mit dem ersten Preis von 30 000 Franken ausgezeichnet. Was hat Sie dazu bewegt, in so einem Projekt überhaupt mitzumachen? Wie kamen Sie zusammen?**

**Papadopoulou:** Die Idee kam von der mit-Links AG: Im März 2000, während einer Pause, blätterten Urs Suter und ich eine Zeitung durch und stiessen dabei auf ein ganz kleines Inserat – die Wettbewerbsausschreibung der ETHZ für ETH-World. Lange mussten wir uns nicht überlegen – das war genau das, wofür wir uns immer interessiert hatten.

Auf der Tagesordnung stand nun die Teambildung. Ich kannte Daniel schon und wusste, dass er als ETH-Elektrotechniker fachlich viel zum Projekt beitragen könnte. Ich rief ihn an, und er sagte sofort zu. Wir haben verschiedene Architekten und Grafiker angefragt, bis wir auf das Designbüro L'ALTRO (Cyril Brunner und Jakob Schiratzki) und den Architek-

ten Matthias Hauenstein von der Firma hls Architekten gekommen sind. Das Team war da: Es folgten spannende Diskussionen, und die Erarbeitung des Konzeptes dauerte etwa sechs Monate. Wir wollten auch von Studierenden wissen, was ihre Erwartungen und Bedürfnisse sind, liessen uns aber auch von Systemadministratoren an der ETH beraten. Unser Ziel war, die bestehende Struktur der ETH-Daten beizubehalten und zu optimieren.

**Erni:** An der ETH arbeite ich in einer Gruppe von acht Wissenschaftlern; die Gesetze des Wissenschaftsbetriebes sind stark formalisiert. Mich hat es interessiert, wie das eigentlich so ist, mit Designern und Architekten in einem interdisziplinären Team zusammenzuarbeiten. Eine Herausforderung war natürlich auch, ein homogenes Konzept für die heterogene ETH herzustellen. Ein Konzept, das den Nutzer und seine Bedürfnisse ins Zentrum stellt und eine grosse Transparenz nach aussen schafft. Eine Struktur, die mehr vom Datenzugang ausgeht als von der Organisation der Daten.

**Wie würden Sie unseren Lesern erklären, um was es genau bei Ihrem Projekt geht und was Sie konkret dazu beigetragen haben?**

**Wie kommt man in die ETH-World hinein?**  
**Papadopoulou:** Herr Suter und ich haben das Software-Konzept zusammen entwickelt. Er war der Projektleiter, recherchierte sehr viel und kennt praktisch den ganzen virtuellen Campus der ETH-Welt. Er verstand es auch, unsere verrücktesten Ideen wieder «auf den Boden zurück-zuholen».

Die Idee war, den User bei der Verknüpfung der realen mit der virtuellen Welt ins Zentrum zu stellen. Ein wichtiger Teil unseres Konzeptes ist das so genannte ETH-World Ground Projekt: Man soll sich darunter kleine Container (Module) vorstellen, die man aneinander reiht und in denen man zum Beispiel Veranstaltungen oder Video-Konferenzen abhalten kann. Die Kommunikation kann auf verschiedenen Ebenen verlaufen: Die Container können entweder untereinander kommunizieren oder sich beispielsweise mit einem Hörsaal verbinden. Das kleinste Modul wäre ein Infodesk mit ein paar

Prospekten drauf und das grösste wäre ein ganzer Hörsaal.

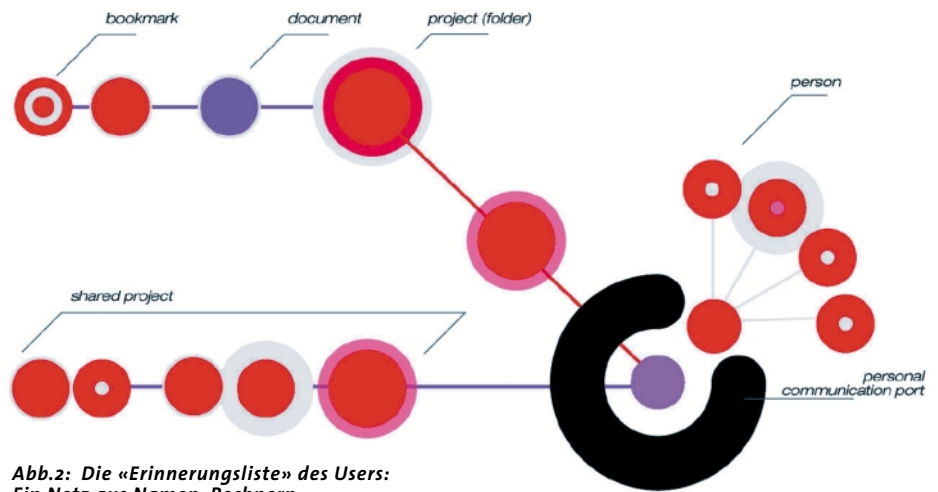
**Erni:** Ich war kein Hardwareentwickler im klassischen Sinne, wie das in den Medien herübergekommen ist: Meine Aufgabe war es, den andern zu erklären, wie das System ETH funktioniert. Für uns war es wichtig, das Interface zwischen der realen und der virtuellen Welt zu definieren: Dies kann eine Karte, ein Notebook (das mit der Karte verbunden ist) oder ein Container sein; auch «wearable» Computer (mit Handy, Uhr und Palmtop) wären denkbar gewesen. Hinter unserem ETH-World-Logo steckt die ganze User-Philosophie: für die Organisation der Daten, Projekte und Kontakte wählten wir kleine Moleküle als grafische Elemente...

**Papadopoulos:** Ja, ein Netz aus Namen, Rechnern, Dokumenten, Bookmarks, eine ganze Sammlung von Molekülen im virtuellen Campus sozusagen. Jeder kann sich diese «Erinnerungsliste» frei zusammenstellen: Jemand hält beispielsweise eine Vorlesung und stellt daraus ein entsprechendes Molekül zusammen und schickt es denen, die daran interessiert sind, die dann die neu erhaltenen Moleküle in ihre persönliche Liste integrieren können.

**Erni:** Im Idealfall dient das Molekül als Orientierungshilfe. Selbstverständlich kann man auch auf die konventionelle Darstellung zurückgreifen, eine gewöhnliche Liste zum Beispiel. Das Design muss dabei nicht unbedingt sexy sein. Wichtig war die Überlegung, dass für dieses Userprofil ein Gerät dazu gehört, das die Studierenden immer bei sich haben können. So kamen wir auf die Idee, dass sich eine multifunktionale Chip-Karte mit Bluetooth-Funkverbindung, die die ETH-spin-off-Firma Acter AG vor kurzem entwickelt hat, ganz gut dazu eignen würde.

### Eine Karte, auf der sozusagen die ganze ETH-Welt «gespeichert» ist?

**Erni:** Eine Karte, die mir ermöglicht, jedes ETH-Interface zu meinem persönlichen Interface zu machen. Dazu brauche ich nur ein Notebook, auf dem ich über einen Webserver mein eigenes Profil kreierte; das ganze Einschreibeprozedere passiert zum Beispiel über diese Karte. So müssen Studierende zukünftig nicht mehr zum Rektorat gehen: Sie können alle administrativen Geschäfte von zu Hause aus bequem erledigen. Die «Bewohner» der «ETH-World» können einen Teil ihrer Daten auch öffentlich zugänglich machen. Damit ist beispielsweise



**Abb.2: Die «Erinnerungsliste» des Users: Ein Netz aus Namen, Rechnern, Dokumenten, Bookmarks ...**

folgendes Szenario möglich: Über einen Bildschirm können andere «Kartenbesitzer» einen Blick in einen Container oder in die Mensa werfen und schauen, wer dort drin sitzt, sowie die Studierenden nach ihren Fächern – ihren Interessen beispielsweise – identifizieren. Das tönt zunächst eher abschreckend...

### Papadopoulos:

... aber kann zum Beispiel den Leuten aus der Industrie helfen, in einem solchen «Container» schneller die richtigen Ansprechpartner zu finden, um ihnen einen entsprechenden Job anbieten zu können.

### Was war Ihrer Meinung nach entscheidend für den Sieg? Wieso waren Sie besser als die Konkurrenz?

**Erni:** Die Idee, den User ins Zentrum zu stellen, hat sicherlich die Jury am meisten beeindruckt; es ist ein Konzept, das sich realisieren lässt, und das wurde sicher sehr geschätzt; allerdings muss man betonen, dass das zweitplatzierte Team aus Zürich und Rotterdam mit seinem Konzept einer kontextabhängigen «Learning Landscape» auch viel zu bieten hat und zum Teil auch ähnliche Ideen wie wir verfolgte. Sie haben während der Arbeit am Wettbewerb vieles via Fernkommunikation gemacht, was die Idee von ETH-World eigentlich bereits umgesetzt. Eine Zusammenarbeit mit den zweit- und drittplatzierten Teams steht in Sicht und wäre ganz fruchtbar für die weitere Entwicklung von ETH-World.

### Wieso haben Sie das Projekt «beyond luxury» getauft? Hat das was mit Ihrem persönlichen Lebensstil zu tun?

**Papadopoulos:** Während einer Brainstormingphase machte Urs Suter die Augen zu, schlug eine Zeitschrift auf und sties

auf das Wort beyond; das zweite Wort bildete mit dem ersten ganz zufällig eine sprachliche Konstruktion, die viel über die Philosophie unseres Projektes aussagte. Und ich persönlich bin kein «Luxus-Freak»...

**Erni:** Ich bin bescheiden, denn Wissenschaftler scheinen immer bescheiden zu sein. In Bezug auf ETH-World waren wir gar nicht bescheiden. Dort haben wir uns Luxus geleistet.

### Die Konzepte der fünf Prämierten sollen in den Bauplan für ETH-World einfließen. Eine enge Zusammenarbeit mit den Gewinnern des Wettbewerbs ist geplant. Ihre Zukunftswünsche?

**Erni:** Es handelt sich um ein riesiges Projekt, und wir hoffen, dass alle Beteiligten durchhalten mögen. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit, deren Form noch offen steht. Die enormen Erfahrungen der IT-Systemadministratoren in Bezug auf die heterogene Struktur der ETH müssen unbedingt genutzt werden.

**Papadopoulos:** Meine Hoffnung ist, dass die Idee nicht verloren geht, denn fünf Jahre sind eine lange Zeit. Wir sind gespannt auf den Moment, wenn man mit der Realisierung so weit ist, dass man auch etwas sieht und das Ganze wirklich läuft.

Interview: Vanja Cucak



**Abb. 3: Kernstück des Konzeptes: Die multifunktionale Chip-Karte als persönliche Eintrittskarte in die ETH-World.**



## NADEL: «FENSTER ZU ANDEREN WELTEN»

30-JAHR-JUBILÄUM DES NADEL

Im Jahr 1970 war die Welt noch in drei Teile geteilt, in den Osten, den Westen und einen armen Süden. In diesem Umfeld wurde das sogenannte INDEL («Interdisziplinärer Nachdiplomkurs für Probleme der Entwicklungsländer») geboren, aus dem 1980 das heutige NADEL («Nachdiplomstudium für Entwicklungsländer») hervorging. Im November 2000 feierte das NADEL seinen dreissigsten Geburtstag.



Feier zum 30-Jahr-Jubiläum: Bundesrat Joseph Deiss und der Schriftsteller Tschingis Aitmatow mit seinem Übersetzer Friedrich Hitzer. (von links nach rechts)

(vac) Obwohl die Welt nicht mehr in drei Teile geteilt sei und uns die Wirtschaft das Bild einer «globalen Welt» vermittele, in der alle und alles gleich werden, sei die Realität eine andere, meinte der Präsident der ETHZ, Prof. Olaf Kübler, an der Feier zum 30-Jahr-Jubiläum am 10. November 2000. Die Probleme wie Armut und Ungleichheit verschärfen sich, wenn auch nicht mehr den traditionellen Nord-Süd-Grenzen entlang.

Die Tatsache, dass das NADEL gerade an einer technischen Hochschule sein Zuhause gefunden hat, ist kein Zufall: Schon die Väter des INDEL erkannten, so Kübler, dass technische Lösungen ohne Einbettung in die Kultur und Gesellschaft keine Probleme lösten, sondern nur neue schafften. Kübler: «In den ersten Jahren der Entwicklungszusammenarbeit dominierten technische Lösungen – man muss den Afrikanern nur die Brunnen graben, dann kommt die Entwicklung schon. Doch bald zeigte sich, dass dieser technokratische Zugang keinen Erfolg haben konnte.» Deshalb setzte sich das NADEL schon von Anfang an das Ziel, Fachkräfte auszubilden, die mit den Menschen aus der Dritten Welt kooperieren und ihnen helfen, die Probleme ihrer Welt zu bewältigen.

### Wertvolle Bereicherung

Das NADEL bietet sowohl ein Ausbildungsprogramm für Nachwuchskräfte an (ein Nachdiplomstudium von zirka 2 Jahren Dauer), als auch Weiterbildungskurse für erfahrene Fachkräfte der Entwicklungszusammenarbeit. Dieses Weiterbildungsprogramm besteht aus mehrtägigen Blockkursen, die – einzeln oder als Paket – berufsbegleitend besucht werden können. «Momentan haben wir im Nachdiplomstudium 24 Studierende im ersten Semester. Fast alle Teilnehmer haben keine ausreichende Berufserfahrung in Entwicklungsländern und müssen noch einen etwa 10-monatigen Projekteinsatz in einem Entwicklungs- oder Transformationsland absolvieren», erzählt Prof. Rolf Kappel, Studienleiter des NADEL.

Das INDEL und das NADEL bildeten bis heute 600 Nachwuchskräfte aus. Viele sind bei internationalen Organisationen, als Experten in der Entwicklungszusammenarbeit beim Bund und bei privaten Hilfswerken sowie im diplomatischen Dienst tätig.

«Die Entwicklungszusammenarbeit ist anspruchsvoller geworden: Der Arbeitsmarkt in Entwicklungsländern nimmt

weniger Neueinsteiger auf, da vermehrt lokale Mitarbeiter für ausführende Tätigkeiten eingesetzt werden und die Anforderungen an die Managementfähigkeiten für ausländische Fachkräfte deutlich gestiegen sind. Wir haben auf dieses Phänomen reagiert, indem wir unser Angebot für berufsbegleitende Ausbildung erhöht haben.», erklärt Prof. Ruedi Baumgartner, Co-Studienleiter des NADEL.

Heute ist das stark interdisziplinär ausgerichtete NADEL in das Departement für Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften (D-GESS) an der ETHZ erfolgreich integriert und zählt insgesamt 13 Mitarbeiterinnen. Neben der Forschung übernehmen die wissenschaftlichen Mitarbeiter auch immer wieder Beratungsmandate für Entwicklungsorganisationen. Die Themenvielfalt in Forschung und Beratung ist ebenso breit wie die Palette der betreffenden Länder.

Seien es nun gesellschaftliche Prozesse in China oder hydrologische Problemstellungen in Afrika, Software und Seidenraupenzucht in Bangalore oder Hi-Tech-Agro-Forschung bei Hyderabad: NADEL und ähnliche Initiativen sind notwendig und bleiben eine wertvolle Bereicherung auch für die ETH, betonte Kübler.

# TRANSFER

## VOM LABOR AUF DEN TISCH

HANDBUCH TECHNOLOGIETRANSFER

**Wenn am Sportphysiologischen Institut der ETH Zürich und der Universität Zürich ein Atmungstrainingsgerät entwickelt wird, das tausenden von Menschen eine massive Verbesserung der Lebensqualität verspricht, ist das schön. Damit dieses Gerät wirklich auf den Markt kommt, ist jedoch viel Kleinarbeit nötig. Nun hat die Technologietransferspezialistin Dr. Claudia Fesch von ETH transfer ein Handbuch erarbeitet, das für Forschende und für die Privatwirtschaft einfach und verständlich die wichtigsten Aspekte des Technologietransfers und der Verwertung von Wissen an der ETH Zürich zusammenfasst.**

ETH transfer, die Technologietransferstelle der ETH Zürich, wurde in den vergangenen zwei Jahren stark erweitert. Parallel zu einer Informationskampagne, bei der die Kernbereiche des Technologietransfers anhand von Fallbeispielen aus der Praxis vorgestellt werden, wurde nun auch erstmals das ganze Umfeld in einem praxisorientierten Handbuch dargestellt. Dr. Claudia Fesch hat zu den Bereichen Forschungsk Kooperationen, Schutz des geistigen Eigentums, kommerzielle Verwertung von Forschungsergebnissen und Unternehmensgründungen an der ETHZ die wichtigsten Grundlagen, geltende Richtlinien und Tipps gesammelt und zusammen mit dem gesamten Team von ETH transfer zu einem eigentlichen Leitfaden für die Verwertung von Wissen zusammengefügt.

Im Bereich der Forschungsk Kooperationen werden beispielsweise die verschiedenen Möglichkeiten zur Zusammenarbeit von ETHZ-Forschenden mit Dritten kurz dargestellt. Zu finden sind Hinweise, welche Projekte vertraglich geregelt werden müssen, wer Verträge unterzeichnen kann oder muss, welche Kosten berechnet werden müssen und wie das optimale Vorgehen bei der Ausarbeitung von solchen Verträgen ist. Musterverträge, die einen ersten Gedankenanstoss liefern können, sind zu finden unter [www.transfer.ethz.ch](http://www.transfer.ethz.ch).

### **Schutzrechte: Vom Patent bis zur «Topographie»**

Sehr anschaulich schildert das Handbuch den Bereich «Schutz des geistigen Eigentums», der eine zentrale Rolle bei der Verwertung des generierten Wissens bildet. Dargestellt werden die verschiedenen Schutzrechte – vom Patent, das eine «technische» Erfindung schützen kann, über Marken, Muster, Modelle, Topographien (zum Beispiel der Schutz von dreidimensionalen Strukturen, etwa eines Chips) bis zum Copyright von Software – und die konkreten Vorgehensweisen beim Schutz von geistigem Eigentum an der ETH Zürich. Dazu gehören unter anderem auch Hinweise auf Besitzverhältnisse und Aufteilung von Einnahmen aus der Lizenzierung oder dem Verkauf von geschütztem Wissen.

Schliesslich finden unternehmungslustige Forschende auch die wichtigsten Informationen zum Vorgehen bei einer Unternehmungsgründung an der ETHZ. Behandelt werden Fragen eines eigentlichen «Spin-off-Vertrages», der Regelung von Interessenkonflikten, aber auch die möglichen Förderungs massnahmen der ETHZ für Spin-offs.

Neben vielen Querverweisen auf weiterführende Internetadressen runden Literaturempfehlungen und eine Auflistung aller relevanten Rechtsgrundlagen und Richtlinien das Handbuch ab. Forschende haben damit erstmals die Möglichkeit, sich rasch und einfach über die wichtigsten Aspekte des Technologietransfers zu informieren.

Das Handbuch Technologietransfer ist für ETH-Angehörige gratis, Externe bezahlen eine Gebühr von Fr. 15.–. Es kann bestellt werden bei ETH transfer, ETH Zentrum, 8092 Zürich, Tel. 01 632 23 82, E-Mail [transfer@sl.ethz.ch](mailto:transfer@sl.ethz.ch) oder direkt unter [www.transfer.ethz.ch](http://www.transfer.ethz.ch).

### **Transfer-Test**

Wissen Sie schon Bescheid? Nachfolgend ein einfacher Technologietransfer-Test.

- 1. Wodurch unterscheidet sich eine Forschungsbeteiligung von einem Forschungsauftrag?**
  - a) Die Höhe der Drittmittel
  - b) Die Besitzverhältnisse des geistigen Eigentums
  - c) Die Höhe der Infrastrukturabgaben
- 2. Wer unterzeichnet eine Geheimhaltungsvereinbarung?**
  - a) Der ETHZ-Präsident
  - b) Der/die Professor/in
  - c) Der/die Doktorand/in
- 3. Wer wird an den Einnahmen aus dem Verkauf eines Patentes beteiligt?**
  - a) Nur die Erfinder
  - b) Erfinder, Institut und ETH
  - c) Der Departementsvorsteher und die Erfinder
- 4. Wie schützen Sie eine Software?**
  - a) Durch Geheimhaltung
  - b) Copyright
  - c) Patentanmeldung

Die richtigen Antworten finden Sie auf der Website [www.transfer.ethz.ch](http://www.transfer.ethz.ch) oder im Handbuch Technologietransfer an der ETH Zürich.

Matthias Erzinger



# FORSCHUNG

## BAHNBRECHENDE ERKENNTNISSE IN DER LICHTMIKROSKOPIE

HARMONIC EXCITATION LIGHT MICROSCOPY

**Die Forscher der Nanotechnology Group am Institut für Robotik der ETHZ haben ein revolutionäres Verfahren in der Lichtmikroskopie entwickelt: Mit Hilfe einer neuen Methode gelingt es ihnen, die Auflösung des Lichtmikroskops zu verdoppeln. Bricht damit eine neue Ära in der Lichtmikroskopie an?**

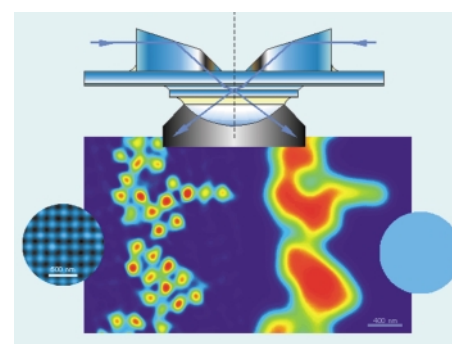
(vac) Seit den 80er-Jahren hat die Lichtmikroskopie eine Renaissance erlebt: Kein Wunder, denn sie ist ein alltägliches Werkzeug, das ein breites Anwendungsspektrum in Zellbiologie, Strukturbiologie, Biophysik und Medizin besitzt. In den letzten fünf Jahren haben sich deshalb die Forscher besonders darum bemüht, die Auflösung der Lichtmikroskope deutlich zu erhöhen.

### ETH-Forscher verdoppeln die Auflösung

Es ist seit langem bekannt, dass die Auflösung der Lichtmikroskope durch das sogenannte Rayleigh-Kriterium begrenzt wird. Im Klartext: Wenn zwei selbst leuchtende Punkte mehr als 240 nm auseinander liegen, (im Fall von grünem Licht und Ölimmersionsoberativen), dann kann man sie noch als getrennte Punkte erkennen; wenn sie näher beieinander sind, sieht man nur noch einen Punkt. Dies hängt damit zusammen, dass die Objekte nicht als Punkte, sondern als Scheibe abgebildet werden.

Prof. Andreas Stemmer und sein Mitarbeiter Dr. Jan Frohn von der Nanotechnology Group am Institut für Robotik der ETHZ haben ein Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, die Auflösung von Fluoreszenzmikroskopen mehr als zu verdoppeln. Hinter der sogenannten HELM-Methode («harmonic excitation light microscopy») steht eine ganz einfache Idee: «Das Einzige, was wir geändert haben, ist die Beleuchtung: Wir verwenden keine uniforme Beleuchtung mehr, sondern beleuchten mit einem zweidimensionalen Gittermuster, welches wir über das Objekt schieben können», erklärt Prof. Stemmer. Insgesamt werden fünf

Bilder für verschiedene Stellungen des Musters mit einer CCD-Kamera aufgenommen, die anschliessend digital verarbeitet werden. Aus den Unterschieden zwischen diesen fünf Bildern kann der Computer feinere Details berechnen, welche mit normaler Fluoreszenzmikroskopie nicht zugänglich wären. Dank dieser Methode erreichen die ETH-Forscher eine optische Auflösung von 100 nm und übertreffen selbst das Auflösungsvermögen des konfokalen Mikroskops (ein Mikroskop, bei welchem die Probe mit einem beugungsbegrenzt kleinen Lichtfleck abgerastert wird) um einen Faktor 1,5. Ausserdem werden dabei die Nachteile von rasternden Verfahren vermieden: «Wir brauchen effektiv weniger Licht als in einem konfokalen Mikroskop und können unsere Aufnahmen schneller machen, was auch zu weniger Fotoreaktionen führt», fasst Prof. Stemmer die Vorteile der neuen Methode kurz zusammen. «Mit unserem Mikroskop könnten wir beispielsweise die Poren in der Zellkernmembrane von Froscheiern beobachten, die fast gitterförmig im Abstand von 120 bis 150 nm angeordnet sind. Somit wären wir in der Lage, live mitzufolgen, durch welche Poren bestimmte Moleküle durchgegangen sind.»

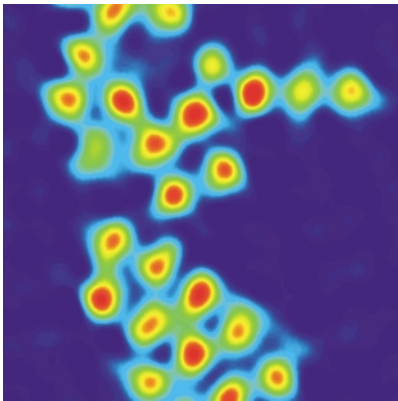
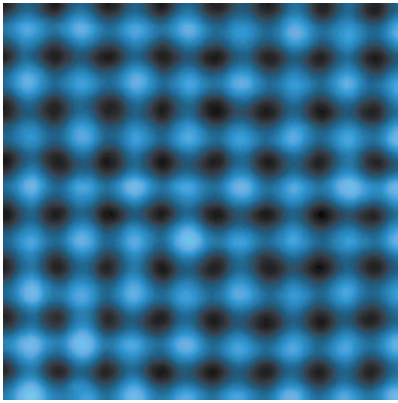


**Die HELM-Methode der ETH-Forscher hat die Auflösung der Lichtmikroskope verdoppelt.**

### Einfach und preisgünstig

Zu alledem verwenden die ETH-Experten eine ganz einfache und preisgünstige Apparatur: Im Wesentlichen genügen ein blauer Laser sowie ein paar Spiegel und Prismen, um das Beleuchtungsgitter zu erzeugen. «Unser Verfahren ist einfach, und unsere Apparatur kostet viel weniger als ein konfokales Mikroskop. Deshalb hoffen wir, dass sich unsere Methode durchsetzt und bald auch in Labors Eingang findet», wünscht sich Prof. Stemmer für die Zukunft.

Eine dreidimensionale Erweiterung der HELM-Methode ist ebenfalls denkbar und könnte auch dort eine überlegene Alternative zum konfokalen Mikroskop sein. Die nächste Herausforderung für die ETH-Wissenschaftler sind Methoden, die man für nicht fluoreszierende Objekte verwenden könnte.



Oben: Das 2-dimensionale Beleuchtungsmuster (stehende Wellen).

Unten: Fluorescin-markierte Latexkugeln mit 200 nm Durchmesser: Mit HELM sind die einzelnen Kugeln aufgelöst.

## NEWS

### Kosten des Einsatzes des Immunsystems

(vac) Fast alle Organismen haben eine Art Immunsystem, welches sie vor parasitischen Infektionen schützt und Eindringlinge bekämpft. Die «Kosten», die der Einsatz des Immunsystems für den Organismus verursacht, waren bis jetzt schwer festzustellen. Y. Moret und P. Schmid-Hempel vom Institut für Experimentelle Ökologie der ETHZ haben vor kurzem im Rahmen einer vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützten Arbeit diese Kosten im Experiment direkt nachgewiesen. Dabei wurden Arbeiterinnen von sozialen Bienen (Hummeln, Gattung *Bombus*) unter Futterknappheit gehalten. Gleichzeitig wurde das Immunsystem der Tiere durch spezifische Auslöser in Gang gesetzt, ohne dass es zu einer Infektion kam. Das Resultat: Das

Aufrechterhalten der Immunabwehr vermindert die Überlebenswahrscheinlichkeit des Wirtes um mindestens 50%. Die Immunabwehr gegen Parasiten verhindert zwar Infektionen, frisst aber einen grossen Teil der Ressourcen der Tiere. Die Resultate der ETH-Forscher werfen ein neues Licht auf die Evolution und die Ökologie der Immunabwehr, insbesondere deren Aktivierung unter verschiedenen Bedingungen. (<http://www.eco.ethz.ch/>)

### Strom- und Gasverbrauch differenzieren

(vac) Aus der Dissertation, die Dr. Jürg Schwarz im Sommer 1999 in der Gruppe von Prof. Daniel Spreng (CEPE) durchgeführt hat, wurde ein spin-off-Produkt entwickelt: Mit einfachen Mitteln lassen sich Strom- und Gasverbrauch differenzieren, sowohl regional und nach Kundengruppen als auch nach Anwendungen. Die schnelle und zuverlässige Software wurde inzwischen professionalisiert und durch ein Modul «Marketing und Kunden» erweitert. (<http://www.szenergie.ch>)

### ETH-Geologen am «Ocean Drilling Program»

(vac) Das «Ocean Drilling Program» ist weltweit das grösste Forschungsprogramm in den Erdwissenschaften, das den Geologen jährlich die einmalige Gelegenheit bietet, Bohrungen in der Tiefsee durchzuführen. Die Schweiz ist Mitglied in diesem Programm, welches seit mehreren Jahren mit Tiefbohrungen den Ozeanboden erforscht. Jedes Jahr führt das 150 m lange Schiff «JOIDES RESOLUTION» sechs zweimonatige Fahrten durch, bei denen jeweils 20 bis 30 Wissenschaftler an Bord sind. Ihr Ziel ist, die frisch gebohrten, gesamthaft mehrere Kilometer langen Bohrkerne zu untersuchen. Im Januar und Februar 2001 wird sich die ETHZ an diesem Projekt aktiv mitbeteiligen: Dr. Flavio Anselmetti vom Institut für Geologie der ETHZ wird zusammen mit Dr. Alexandra Isern sowie mit mehreren ETH-Absolventen beim Great Barrier Reef in Nordost-Australien an einer Bohrkampagne teilnehmen. Das Hauptziel dieses zweimonatigen Bohr-

programms ist das Erbohren von Kalkablagerungen, die zur Rekonstruktion von vergangenen Meeresspiegelschwankungen herangezogen werden. (Siehe begleitende Berichterstattung im ETH-Life unter [www.ethlife.ch](http://www.ethlife.ch))

### Bald noch schnellere Computer?

(AOA) Der Forschergruppe um Prof. Danilo Pescia ist es gelungen, Magnetisierungsvorgänge in einem Datenspeichermedium mit einer bisher noch nie erreichten Zeitauflösung zu «filmen». Diese Vorgänge sind die Basis für die eventuelle Entwicklung superschneller magnetischer Datenspeicher, die beispielsweise als hard disks in Computern eingesetzt werden könnten. Bei heutigen Speichern werden die einzelnen Bits innerhalb von Nanosekunden registriert. Die Datenverarbeitungsprozesse könnten in Zukunft statt in Nanosekunden in Picosekunden ablaufen.

### Dem Geheimnis der Entstehung des Lebens auf der Spur?

(vac) Chemiker unter der Leitung von Prof. em. Albert Eschenmoser haben ein Molekül als «Schriftrolle» synthetisiert, das den in den Chromosomen aufgewickelten Text der Erbinformation tragen kann: Das «Schreibpapier» heisst TNS (Threofuranosyl-Nuklein-Säure), ist einfacher aufgebaut als die gewöhnliche DNS, funktioniert aber gleich: Der genetische Code lässt sich in denselben «Buchstaben» wie auf der DNS schreiben, aber die Zeilen rücken viel enger zusammen. Obwohl das künstliche Leben aus der Retorte immer noch eine Illusion bleibt, lieferten die Chemiker eine mögliche Erklärung dafür, wie das Leben auf der Erde entstanden sein könnte: Das TNS-Molekül könnte sich leichter aus den Molekülen der Ursuppe gebildet haben, als das bei der DNS oder bei der RNS, die bei Bakterien die Gene trägt, der Fall wäre. Den Forschern ist es gelungen, Schnipsel der Information zwischen DNS und TNS auszutauschen. Es bleibt noch zu beweisen, dass TNS tatsächlich zur Entwicklung von Leben beigetragen hat. (Quelle: Science, Bd. 290, S. 1347, 2000)



# GALERIE

**Bertram Batlogg ist seit dem 1. September 2000 ordentlicher Professor für Festkörperphysik an der ETH Zürich.**



Bertram Batlogg ist in Bludenz in Österreich aufgewachsen und studierte Physik an der ETH Zürich, wo er das Diplom erwarb und 1979 mit einer Arbeit über gemischtvalente Seltene-Erden-Verbindungen promovierte. Anschliessend ging er zu Bell Laboratories in New Jersey, in den Forschungsbereich Physikalische Wissenschaften, wo er als Forscher und später auch als Abteilungsleiter/Direktor tätig war. Von 1990 bis 1996 war er zusätzlich einer der Direktoren des Konsortiums für Superconducting Electronics, einer Forschungs- und Entwicklungs-Partnerschaft von mehreren führenden industriellen und akademischen Institutionen der USA.

Seine wissenschaftlichen Interessen liegen hauptsächlich im Bereich der Physik neuer Materialien und haben zum Ziel, neue Materialien zu kreieren, neuartige Phänomene zu verstehen und mögliche Anwendungen zu explorieren. Dabei stehen optische, elektrische und magnetische Eigenschaften im Vordergrund. Er hat ein breites Spektrum von Themen bearbeitet, unter anderem Hochtemperatur-Supraleiter, Quanten-Magnete, oxidische Supraleiter, Schwere Fermionen, gemischt-valente Verbindungen. Seit kurzem hat er sich den organischen Molekülkristallen gewidmet, die er und seine Mitarbeiter als Modellsysteme zur Untersuchung von Viel-Teilchen Problemen in der Festkörperphysik erkannt haben (zum Beispiel: Quanten-Hall-Transport, Polaronen, Gate-induzierte Supraleitung).

Diese organischen Materialien sind auch wegen ihres Anwendungspotenzials interessant (beispielsweise in Lasern und in «Plastikelektronik» als Halbleiter). Seine wissenschaftlichen Arbeiten wurden mehrfach anerkannt: ETH-Medaille und -Preis (1979), Wahl zum Fellow der American Physical Society (1986), Bernd-Matthias-Preis (1997), David Adler Lectureship Award der American Physical Society (2000), Industrie-Preis der International Conference on Synthetic Metals (2000),

und Wahl zum Fellow der American Association for the Advancement of Science (2000).

lischen, chemischen und biochemischen Prozessen werden.

Er wurde am 7. September 1945 in Messina, Italien, geboren und hat sein Physikstudium 1968 mit der Laurea an der Universität von Bologna, Italien, abgeschlossen. Vor seinem Umzug nach Stuttgart im Jahre 1991 war er im Zürcher Forschungslaboratorium von IBM tätig. Davor lehrte er als ordentlicher Professor an der SISSA in Trieste, Italien. Er hat längere Forschungsaufenthalte am Imperial College, London, England, verbracht sowie an der Universität Oxford, England, am Argonne National Laboratory, Chicago, USA, im IBM Forschungs-Laboratorium in Yorktown, USA, und an der Universität von Minnesota in Minneapolis, USA.

Die wissenschaftlichen Interessen von Herrn Parrinello übergreifen die Fächer Physik, Chemie und Biologie und schliessen die Untersuchung von komplexen chemischen Reaktionen, Wasserstoffbindungen in verschiedenen Systemen, zum Beispiel Wasser, katalytischen Prozessen und vieler anderer Probleme der Materialforschung ein. Herr Parrinello hat sich auch einen Namen gemacht mit der Parrinello-Rahman-Methode in der Molekulardynamik, welche es ermöglicht, Phasenübergänge im Festkörper unter Druck zu untersuchen.

Herr Professor Parrinello ist Mitherausgeber vieler wissenschaftlicher Zeitschriften, einschliesslich der fachübergreifenden Zeitschrift Science. Mit seinen über 300 Veröffentlichungen zählt er zu den meistzitierten Wissenschaftlern in der Physik und Chemie.

Für seine Arbeiten wurde er mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet, darunter dem Preis für theoretische Chemie 2001 der American Chemical Society, dem Rahman-Preis 1995 der American Physical Society, dem Boys-Rahman-Preis 1994 der Royal Society of Chemistry und dem Hewlett-Packard-Preis 1990 der European Physical Society. Er ist Mitglied verschiedener Akademien und Institutionen.

**Hans Andrea Löfliger ist seit dem 1. Juni 2000 ordentlicher Professor für Signalverarbeitung am Institut für Signal- und Informationsverarbeitung der ETH Zürich.**



Er wurde 1961 geboren, studierte Elektrotechnik an der ETH Zürich, wo er auch 1992 bei Professor Massey über codierte Modulationsverfahren promovierte.

Anschliessend war er Assistenzprofessor an der Universität Linköping in Schweden. Ende 1995 kehrte er in die Schweiz zurück und gründete zusammen mit Felix Tarköy die Beratungsfirma Endora Tech AG in Basel (<http://www.endora.ch>). Dort war er bis zu seiner Rückkehr an die ETH als Berater in digitaler Kommunikationstechnik und Signalverarbeitung für eine Reihe von Firmen tätig.

Seine Forschungsschwerpunkte sind fehlerkorrigierende Codes und digitale Modulationsverfahren, Modellierung und Analyse von Signalen und Systemen sowie robuste nicht-lineare analoge Rechenetze.

**Der neue Direktor des CSCS**



Michele Parrinello ist vom ETH-Rat zum Direktor des ETH-Zentrums für Hochleistungsrechner CSCS in Manno (TI) und zum ordentlichen Professor für rechnergestützte Wissenschaften an der ETH Zürich ernannt worden. Parrinello gilt als einer der profiliertesten Spezialisten auf dem Gebiet der Computational Sciences. Er ist zurzeit Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart. Michele Parrinello wird sein Amt im Juli 2001 antreten. Unter seiner Leitung soll das CSCS zu einem international führenden Forschungszentrum für rechnergestützte Simulationen von physika-

lischen, chemischen und biochemischen Prozessen werden.

## Akademische Ehrungen

**Prof. Dr. Hans-Jörg Schek**, Professor der ETH Zürich am Institut für Informationssysteme, wurde zum Fellow der ACM (Association for Computing Machinery) ernannt. In der Schweiz gibt es jetzt sechs von weltweit 80 000 ACM-Fellows.

**Prof. Dr. Dimos Poulidakos**, Professor der ETH Zürich für Energietechnik und Leiter des Institutes für Energietechnik am Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik, wurde von der «American Society of Mechanical Engineers International» (ASME International) in Orlando für ausserordentliche Beiträge im Bereich der Thermodynamik mit der James Harry Potter Gold Medal geehrt.

**Prof. Dr. Lino Guzzella und Dr. Alois Amstutz**, Mitglieder des Institutes für Mess- und Regeltechnik am Departement für Maschinenbau und Verfahrenstechnik, wurden von der «IEEE Control Systems Society» in Sidney für ihre Publikation «Control of Diesel Engines» mit dem IEEE Control Systems Magazine Outstanding Paper Award geehrt.

**Prof. Dr. Jürg Fröhlich**, Professor der ETH Zürich für Theoretische Physik, ist mit der Max-Planck-Medaille, der höchsten Ehrung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, ausgezeichnet worden.

**Prof. Dr. Roland W. Scholz**, Professor der ETH Zürich für Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften und Privatdozent für Psychologie an der Universität Zürich, ist zum King Carl XVI Gustaf's Professor in Environmental Sciences ernannt worden. Diese Ehrenprofessur wurde von The Royal Swedish Academy of Sciences, The Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry, The Royal Swedish Academy of Engineering Sciences and The Confederation of Swedish Industries eingerichtet.

**Prof. Dr. Ursula Keller**, Professorin an der ETH Zürich am Institut für Quantenelektronik/Ultrafast Laser Physics, wurde von der Lasers and Electro-Optics Society mit dem LEOS Distinguished Lecturer Award 2000/01 geehrt.

**Prof. Dr. Lothar Thiele**, Professor der ETH Zürich am Institut für Theoretische Informatik, ist in Anerkennung seiner Lehre und Forschung und deren Bedeutung für die Industrie mit dem IBM Faculty Partnership Award ausgezeichnet worden.

**Prof. Dr. Franz Schmithüsen**, Professor der ETH Zürich für Forstpolitik und Forstökonomie, ist am 21. Weltkongress in Kuala Lumpur zum Ehrenmitglied der International Union of Forestry Research Organisation (IUFRO) gewählt worden.

**Prof. Dr. Gisbert Wüstholtz**, Professor der ETH Zürich für Mathematik, wurde aufgrund seiner wissenschaftlichen Leistungen zum Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina ernannt.

**Prof. Dr. Ueli Maurer**, Professor der ETH Zürich für Theoretische Informatik, wurde zum diesjährigen Rademacher lecturer erkoren und ist an die University of Pennsylvania in Philadelphia zu einer Vorlesungsreihe eingeladen worden.

**Prof. Dr. Peter Amann**, Professor der ETH Zürich für Geotechnik, wurde von der Institution of Civil Engineers (ICE) in Grossbritannien mit dem Telford Prize 2000 ausgezeichnet.

## DAS TÄGLICHE FENSTER ZUR ETH

Seit dem 18. November ist die ETH Zürich mit einem neuen Medium im Internet präsent. Unter [www.ethlife.ethz.ch](http://www.ethlife.ethz.ch) berichtet ETH Life, die Webzeitung der ETH Zürich, täglich neu über das aktuelle Geschehen an der ETH. Demnächst ist eine Kurzfassung auch über WAP-Natel zugänglich.

(mm) ETH Life wird herausgegeben von der Corporate Communications der ETH Zürich. Unter dem Motto «wissen, was läuft» spiegelt ETH Life das vielfältige wissenschaftliche, soziale und kulturelle Leben an der ETH und berichtet täglich innert 24 Stunden über Ereignisse an der ETH und aus dem Umfeld der Hochschule. ETH Life bietet für ETH-Angehörige und alle weiteren Interessierten Informationen, Meinungsbildung, Service in Wort, Bild und Ton und trägt bei zu einem lebendigen Diskurs an der Hochschule.

Ein Blick auf die Frontseite von ETH Life erlaubt es Leserinnen und Lesern, sich in wenigen Minuten über die wichtigsten Themen zu informieren. Täglich präsentiert ETH Life im Bericht des Tages das wichtigste Ereignis. Kurz-News informieren über das weitere tagesaktuelle Geschehen an der ETH. Im Wochenrhythmus beleuchten weitere Rubriken das Campusleben: Das Montags-Porträt zeigt Menschen an der ETH in ihrem Alltag. In der Mittwochs-Kolumne äussern profilierte ETH-Angehörige ihre Meinung. Im Freitags-Interview wird eine im Mittelpunkt des aktuellen Geschehens stehende Persönlichkeit zu einem Ereignis der laufenden Woche befragt.

Rege genutzt wird das Leser-Forum. Tägliche Services wie das Wetter, Veranstaltungen des Tages und die neuesten Medienberichte über die ETH runden das Angebot ab. Und für alle, die täglich an ETH Life erinnert werden möchten, besteht die Möglichkeit, über die Funktion «Newsletter» ETH-Life via E-Mail zu abonnieren.



# NEUE BÜCHER

**Matthias Baltisberger, Daniel Frey**

**Herbar CD-ROM**

CD-ROM für PC und Mac, mit Booklet, Fr. 47.–  
vdf Hochschulverlag AG an der ETH  
Zürich, 2000

Diese CD vermittelt ein umfangreiches Wissen über Systematik, Merkmale und Ökologie einer Vielzahl schweizerischer Pflanzen. Die wichtigsten Farne und Blütenpflanzen werden in herbarisierter Form sowie auch in Grossaufnahmen und an ihrem natürlichen Standort fotografisch dargestellt. Die interaktive CD bietet verschiedene Nutzungsmöglichkeiten: strukturierte Information, individuelles Erarbeiten, Prüfungssimulation durch zufällige Auswahl zu bestimmender Pflanzen. Sie stellt somit ein exzellentes Mittel zur Verwendung im Unterricht und zur Vorbereitung auf Prüfungen dar.

Die CD ist bewusst so konzipiert, dass sie im Hochschul- und Universitätsbereich (insbesondere ETH Zürich) verwendet werden kann. Sie wendet sich auch an alle, die sich in ihrer Aus- und Weiterbildung oder als Hobby in ihrer Freizeit mit der Systematik von Pflanzen beschäftigen.

**Rolf Wüstenhagen**

**Ökostrom – von der Nische zum Massenmarkt**

Entwicklungsperspektiven und Marketingstrategien für eine zukunftsfähige Elektrizitätsbranche Reihe «Wirtschaft, Energie, Umwelt», Band 2

352 Seiten, zahlreiche Abbildungen, Format 16 x 23 cm, broschiert, Fr. 98.–

vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2000



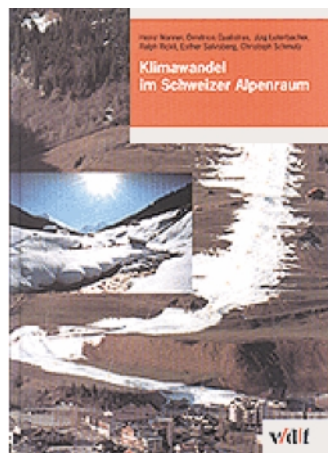
Dank der Liberalisierung des Strommarktes können Kunden heute mitentscheiden, wie ihre Elektrizität produziert wird. Insbesondere erneuerbare Energien stossen bei den Konsumenten auf grosse Sympathie. Für die Anbieter von Elektrizität bietet das Ökostrom-Marketing einen möglichen Ausweg aus dem Verdrängungswettbewerb und eine Chance zur Erlangung nachhaltiger Wettbewerbsvorteile. Der Marktanteil dieser Produkte ist heute aber noch gering: Ökostrom wird zumeist als (teures) Nischenprodukt konzipiert. Aus der Perspektive einer nachhaltigen Entwicklung ist diese Öko-Nische zwar ein notwendiger, aber kein hinreichender Schritt. Ausgehend von diesem Grundverständnis, zeigt Wüstenhagen Wege zur Diffusion ökologischer Stromprodukte in den Massenmarkt auf. Die Arbeit kombiniert eine theoretisch-konzeptionelle Analyse mit empirischen Erkenntnissen aus dem Ökostrom-Markt in Deutschland, der Schweiz, den USA und Grossbritannien sowie Quervergleichen zu anderen Branchen.

**Heinz Wanner, Dimitrios Gyalistras, Jürg Luterbacher, Ralph Rickli, Esther Salvisberg, Christoph Schmutz**

**Klimawandel im Schweizer Alpenraum**

296 Seiten, Format 16 x 23 cm, gebunden, zahlreiche Abbildungen, Fr. 78.–

vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1. Auflage, 2000



Gebirge können in Bezug auf das Klima als Inseln, Brücken oder Grenzen wirken. Die letzten Monate haben uns erneut vor Augen geführt, dass sich extreme Wetter-

ereignisse wie Starkschneefälle mit Lawinnenniedergängen, Überschwemmungen oder Winterstürme im Gebirge drastisch verstärken können. Dabei stellt sich immer mehr die Frage, wieweit menschengemachte Einflüsse zum Klimawandel und möglicherweise zu einer Zunahme von Intensität und Häufigkeit solcher Extremereignisse beitragen können. Die Gruppe für Klimatologie und Meteorologie (KLIMET) des Geographischen Instituts der Universität Bern unter der Leitung von Prof. Heinz Wanner befasst sich im Rahmen von nationalen und internationalen Forschungsvorhaben seit längerer Zeit mit Fragen der Klimamodifikation und des Klimawandels im Raum Atlantik-Europa-Alpen. Sie hat nun die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten in einer etwas popularisierten Form zusammengefasst. Das Buch umfasst drei Hauptteile: Im ersten Teil werden die Mechanismen vorgestellt, die das atlantisch-europäische Klima kurz- bis langfristig bestimmen. Dabei wird auch auf die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Ozean und polarem Meereis eingegangen. Der zweite Teil befasst sich mit dem alpinen Klimawandel innerhalb der letzten 3000 Jahre. Abgesehen von den natürlichen Schwankungsursachen (Sonnenaktivität und grosse Vulkaneruptionen) dürfte das Alpenklima immer mehr auch durch menschengemachte Einflüsse mitbestimmt werden (Treibhauseffekt, Aerosole, Oberflächenveränderungen). Der dritte Buchteil widmet sich zukünftigen alpinen Klimaszenarien. In erster Linie werden dabei Modellrechnungen von globalen Klimamodellen mit geeigneten statistischen Methoden auf die Skala der Alpen übertragen und für das kommende Jahrhundert kommentiert.

Ebenfalls neu erschienen ist auch das 3. Jahrbuch des Collegium Helveticum:

**Helga Nowotny, Martina Weiss (Hrsg.)**

**Jahrbuch des Collegium Helveticum**

412 Seiten, zahlreiche Abbildungen und Fotos, Format 13 x 21,5 cm, broschiert, Fr. 47.–, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2001

# IM GESPRÄCH

## VON KATASTROPHEN, KLIMA UND KAKERLAKEN

IVO MENZINGER, WAHLSCHWEIZER UND FACHBEREICHSLIHRER BEI SWISS RE

Ivo Menzinger ist einer der ersten Absolventen des Studienganges Umwelt-naturwissenschaften. Der charmante und zielstrebige 32-Jährige leitet die Gruppe Überschwemmungen bei der Swiss Re. Nach Abitur und Zivildienst suchte der gebürtige Deutsche gezielt nach Umweltstudiengängen, die einen ganzheitlichen Ansatz bieten. An der ETH Zürich wurde er fündig. Seine Fachkenntnisse, Auslandsaufenthalte und Sprachkenntnisse machten den ETH-Alumnus für seinen international tätigen Arbeitgeber zum idealen Kandidaten.

### Müssen Sie bei der Swiss Re keine Anzug-jacke tragen?

In unserem Büro ist der Anzug kein Zwang. Wir laufen gelegentlich auch ohne Krawatte herum. Aber wenn ich Kontakt mit Kunden habe oder im Ausland unterwegs bin, trage ich natürlich einen Anzug.

### Wandern Sie über Staudämme und prüfen Sandsäcke?

Nein, gar nicht. Vor Abschluss eines Rückversicherungsvertrags muss die Swiss Re das Risiko abschätzen und einen Preis berechnen. Für Erdbeben, tropische Zyklone oder europäische Winterstürme existieren bereits eine Reihe probabilistischer Modelle. Der Bereich Überschwemmungen ist schwieriger zu modellieren, weil es keine Datenbank über historische Ereignisse gibt. Zudem kommt es auf die lokale Topografie an. Es braucht viele Details. Wenn Sie fünf Meter oberhalb des Grundstücks ihres Nachbarn wohnen, spielt der Höhenunterschied bei der Modellierung eines Windsturms keine Rolle. Aber bei einer Überschwemmung macht es einen grossen Unterschied. Unsere Hauptaufgabe ist es, ein probabilistisches Modell zur Überschwemmungs-Risiko-Analyse zu entwickeln.



Ivo Menzinger: «Im Ausland habe ich eine andere Art des Lernens kennen gelernt.»

Foto: Susi Lindig

### Überschwemmungen in der Schweiz, England, Italien... Müssen wir uns in Europa daran gewöhnen, dass Schlauchboote und Gummistiefel zu unserer persönlichen Überlebensausrüstung gehören?

(lacht) Die Aktien der Gummihersteller werden längerfristig eine interessante Anlage sein. Aber im Ernst: Es ist richtig, dass wir in den letzten Jahren eine Häufung schwerer Ereignisse in Europa hatten, ge-

folgt von astronomischen Schadenssummen. Das liegt daran, dass immer mehr gefährdete Gebiete besiedelt werden. Wo früher einmal Wasser in einer Überschwemmungsebene gewesen ist, kommt mit grosser Wahrscheinlichkeit auch wieder Wasser hin. Behörden und Bauherren haben das lange ausgeblendet.



# NOTIZEN

## Welche Rolle spielt die Klimaerwärmung bei der Häufung von Katastrophen?

Je höher die Temperaturen steigen, desto intensiver wird der hydrologische Zyklus. Das ist logisch. Die Frage ist, ob das zu extremen Wetterereignissen führt und vor allem wo. Die Mehrheit der Wissenschaftler vermuten, dass wir mit einer Zunahme der Extreme rechnen müssen. Wenn sich dabei noch die räumlichen Muster ändern, werden unvorbereitete Gebiete betroffen sein. Der Nachweis wird noch eine Weile auf sich warten lassen, weil wir es nicht mit einem linearen Trend zu tun haben, sondern auch zyklische Einflüsse eine Rolle spielen. In der Schweiz sind wir seit Mitte der Siebzigerjahre in einer «aktiven» Phase mit häufigen Überschwemmungen.

## Können Sie bei der Entwicklung neuer Werkzeuge für Risiko-Abschätzungen auf das Know-how der Forschungsinstitute und Departemente an der ETH zurückgreifen?

Bisher leider nur sehr eingeschränkt, aber es wird immer besser. Wir arbeiten in der Regel in anderen Skalenbereichen, mit schütterer Datenbasis und engem Zeitrahmen. In der universitären Forschung finden wir dagegen eine Vielzahl hydrologisch-hydraulischer Modelle, die für irgendein Tal in Hintertupfingen entwickelt wurden und sämtliche Prozesse wunderbar abbilden. Diese Modelle lassen sich aber nicht auf die nationale oder globale Ebene übertragen. Mit der Entwicklung von Anwendungen für unsere Bedürfnisse kann man in der Wissenschaft kaum einen Blumentopf gewinnen.

## Während des Studiums sind Sie in Costa Rica im Staub herumgekrochen und haben in amerikanischen Bibliotheken gebüffelt. Warum?

Für mich hat der Aufenthalt im Ausland einfach dazugehört. Als Professor Ortwin Renn in einer Gastvorlesung an der ETH eine Austauschmöglichkeit mit einer Hochschule in den USA erwähnte, habe ich ihn hinterher darauf angesprochen. An der Clark University in Massachusetts habe ich als graduate student eine andere Art des Studierens kennengelernt: kleine Gruppen, nur 12 Kontaktstunden, intensives Selbststudium. In den Kursen waren wir zu acht, die Interaktion mit Kollegen und Professoren war sehr intensiv. Die Professoren nannten wir beim Vornamen.

## Und in Mittelamerika?

Das war wiederum eine andere Art des Lernens. Die Unterstützung, die ich vor Ort bekam, war sehr gering, Datenlage und Infrastruktur waren schlecht. Aber ich habe gelernt, die Arbeit mit einer gewissen Gelassenheit anzugehen. Mangelnde Gerätschaften musste ich mit Improvisationstalent ausgleichen. Unsere Messstationen haben wir mit Coladosen zusammengestellt. Und in dem Zimmer, in dem ich einquartiert war, krabbelten die Kakerlaken.

## Mit 20 Monaten im Ausland sind Sie ein Exot. Nur 214 von 12 000 ETH-Studierenden studierten im letzten Jahr jenseits der Schweizer Grenzen.

Ich vermute, dass es nicht genügend Anreize gibt. Erstens werden die an der Auslandsuniversität erbrachten Leistungen teils nicht anerkannt. Dadurch verlängert sich das Studium. Zweitens müsste der Austausch im Departement institutionalisiert werden. Drittens war während meiner ETH-Zeit die Arbeitsmarktsituation nicht so rosig, und die Studenten nutzten die Praktika, um Kontakte mit potenziellen Arbeitgebern in der Schweiz zu knüpfen. Viertens gehört die ETH zu den besten Universitäten, warum also in die Ferne schweifen...

Interview: Susanne Seytter

### Zur Person

Ivo Menzinger studierte von 1990 bis 1996 Umweltnaturwissenschaften an der ETH. Sein Praktikum absolvierte Menzinger im Landwirtschaftlich-Tropischen Institut in Turrialba, Costa Rica. Ein Jahr studierte der Stipendiat der Deutschen Studienstiftung den Master-Studiengang «Environment, Technology, and Society» an der Clark University in Worcester, Massachusetts. Seit Januar 1998 arbeitet Menzinger in der Unit Cat Perils innerhalb der Division Risk & Reinsurance als Spezialist für Überschwemmungen und Geografische Informationssysteme, seit Januar 2000 als Fachbereichsleiter. Zu seinen Aufgaben gehören Forschung und Entwicklung im Bereich Naturgefahren-Analyse, Unterstützung beim Abschluss von Naturgefahren-Rückversicherungen und Risikokontrolle. Informationen:

ivo\_menzinger@swissre.com

«ETH Alumni» gegründet. Seit dem 1. Januar ist die ETH Alumni operativ. Zur Vereinigung gehören 24 Ehemaligen-Vereine der ETH Zürich. Das sind Orts-, Landes-, Fachgruppen und Berufsverbände sowie freie Mitglieder. Informationen unter [www.alumni.ethz.ch](http://www.alumni.ethz.ch), [info@alumni.ethz.ch](mailto:info@alumni.ethz.ch), Tel. 01 632 51 00.

**Datenbank-Team macht Dampf:** Die neuen Datenbankpfleger der ETH Alumni, Guy Lister und Christian Gyr (siehe unten), bereiten eine Validierungsaktion vor. Damit soll die Datenqualität der zentralen Alumni-Datenbank massiv verbessert werden. Mit der Versendung von Korrekturbögen wird geprüft, ob die bestehenden Datensätze aktuell sind. Zum anderen sollen neue Daten aufgenommen werden. Gefragt wird, zu welcher Branche der Absolvent gehört, welche ETH- bzw. ETH-Alumni-Publikationen und Korrespondenzwege (Post, E-Mail) er bevorzugt und ob er einen Eintrag in das elektronische und gedruckte Who's who 2001 aller ETH-Alumni wünscht.



Neuseeländische Stimmung bringt **Dr. Guy Lister** in das Team der ETH Alumni-Geschäftsstelle. Guy Lister, geboren in Auckland, hat sein Studium an der ETH (Dr.sc.

nat.) 1985 abgeschlossen und forschte danach in der Klima- und Umweltgeologie. Seit dem 1. Juli 2000 ist er, neben der Arbeit für das Departement Biologie, als Datenbank-Administrator in der ETH-Alumni-Geschäftsstelle beschäftigt.



**Christian Gyr** arbeitet seit Oktober als Assistent des Direktors und als Datenbankpfleger. Der 30-jährige diplomierte Umweltnaturwissenschaftler enga-

giert sich ausserberuflich für die Menschenrechte und in Projekten mit dem Ziel nachhaltiger Entwicklung. Der Basler ist mit einer Brasilianerin verheiratet und hat eine kleine Tochter.

## IRDISCHES UND AUSSERIRDISCHES IM BERNER OBERLAND

UMWELTWISSENSCHAFTEN ALUMNI

**Auf die Faszination ungelöster Rätsel baut Erich von Dänikens «Mystery Park». Bei einer spannenden Fachveranstaltung der Umweltwissenschaften Alumni ETH diskutierten Vertreter aus Management, Tourismus, Wirtschaft und Umweltschutz über das ehrgeizige und umstrittene Freizeitpark-Projekt im Berner Oberland. Die Eröffnung ist im April 2002.**

Seit Jahrzehnten ist die Jungfrauabahn die Attraktion der Region Interlaken. Jetzt wird mit einem Freizeit- und Erlebnispark zu Füssen von Eiger, Mönch und Jungfrau eine Schlechtwetter-Alternative entstehen. Der «Mystery Park» basiert auf einer Idee von Bestsellerautor Erich von Dänikens. Sieben Pavillons, verbunden über begehbare Glasröhren, sollen auf einer Fläche von 100 000 Quadratmetern über ungelöste archäologische und mythologische Phänomene informieren. Oskar Schärz, Präsident des Verwaltungsrates der Mystery Park AG, verspricht unerschütterliche Überzeugung. «Wir haben eine ausgezeichnete Mischung von Information und Spass», unterstreicht der Unternehmer. Cyberstationen, Kinoshows und holographische Effekte sollen dazu beitragen, die Nazca-Linien in Peru, die Pyramide von Gizeh, die Menhire oder den Mars hautnah heranzuholen. Der Spass soll mit einer U-Boot-Reise zur versunkenen Stadt Atlantis und einer Fahrt mit dem Aufzug auf die Spitze der ägyptischen Pyramiden nicht zu kurz kommen – simuliert, versteht sich.

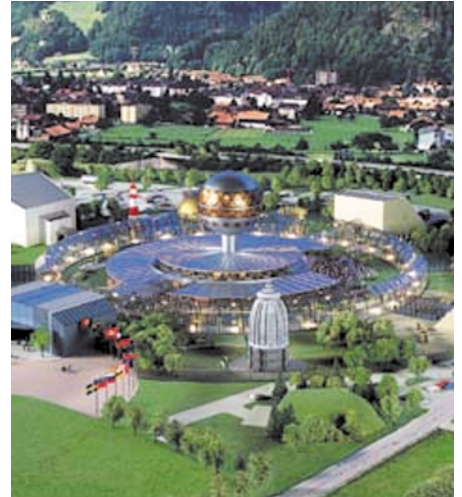
### Skepsis bei den Umweltschützern

Das Projekt ist umstritten. Acht Einsprachen sind beim Regierungsstatthalteramt Interlaken eingegangen. Den Umweltschützern von Pro Natura und dem Verkehrs-Club Schweiz (VCS) ist der Park ein Dorn im Auge. Zum einen, weil auf dem Areal des Flugplatzes Matten bei Interlaken eine weite Fläche bebaut wird. Zum anderen, weil der «Mystery Park» zusätzlichen Autoverkehr generieren wird. Immerhin werden jährlich 500 000 Besucher erwartet. Zwar liegt der Park in Distanz zu Wohnquartieren, und die Ergebnisse der Umweltverträglichkeits-

prüfung 1998 lagen im Bereich der Grenzwerte. Doch Verkehr werde nicht nur rund um den Park entstehen, gibt der Geschäftsführer der VCS-Regionalgruppe Thun-Spiez, Urs Aemmer, zu bedenken. Ihm fehle die kantonale und die globale Betrachtung des zukünftigen Verkehrsaufkommens. 40 Prozent der Parkbesucher, so das Ziel der Parkmanager, sollen mit öffentlichen Verkehrsmitteln anreisen. So plant die Mystery Park AG, die Gäste mit einem Bahn-Shuttle vom Bahnhof Interlaken-Ost direkt zum Parkeingang zu fahren. Das ist dem VCS zu wenig. Warum nicht versuchen, 60 Prozent auf die Bahn zu bekommen? Schärz ist mehr als skeptisch. Auch Ines Fischer vom Institut für Tourismuswirtschaft in Luzern macht wenig Hoffnung: Zielgruppe solcher Parks sind überwiegend Familien mit Kindern, und die reisen eher im Auto an. Dafür baut die Park AG 900 Parkplätze.

### Chance für die Region?

Die Tourismusförderer erhoffen sich vom «Mystery Park» mehr Logiergäste in Interlaken. Seit den Siebzigerjahren ist die Bettenkapazität gesunken. Die Banken geben keinen Rappen für Investitionen in ein neues Hotel. «Die Natur allein reicht nicht aus, um die Leute zum Bleiben zu veranlassen. Heute wollen die Leute animiert, motiviert werden und so viel wie möglich in kurzer Zeit erleben», weiss Tourismusfrau Fischer. Wenn die Gäste der Jungfrauabahn für einen Abstecher zum Ufo-Park gewonnen werden, könnten sie abends in ein Interlakner Hotelbett fallen. Die Park-Organisatoren werben auch mit Arbeitsplätzen. Schon jetzt seien Ingenieure, Architekten, Filmer und Multimediaproduzenten damit be-



schäftigt, eine supermoderne Wissenslandschaft zu schaffen. 150 Stellen entstehen in der Gastronomie und im Betrieb des Parks. Urs Aemmer bleibt skeptisch, vor allem angesichts einer möglichen Erweiterung. Neben der eigentlichen Baustelle liegt unbebautes Terrain, doppelt so gross wie der projektierte Park. «Irgendwann müssen wir unseren Kindern einen Erlebnispark «Original Swiss Alps» bauen, damit sie unberührte Natur kennen lernen», warnt der Umweltschützer.

Susanne Seytter

### Verein Umweltwissenschaften Alumni ETH

Die Umwelt-Alumni bieten ehemaligen Studierenden, Doktorierenden und Dozierenden der Umwelt- und Umweltingenieurwissenschaften ein umfassendes Netzwerk. Die Podiumsdiskussion über den «Mystery Park» gehörte zur Veranstaltungsreihe «Grossprojekte – Umwelt inklusive». Wer sich für eine Mitgliedschaft interessiert, erhält Informationen unter [www.umweltalumni.ethz.ch](http://www.umweltalumni.ethz.ch), E-Mail: [alumni@umnw.ethz.ch](mailto:alumni@umnw.ethz.ch) oder bei Präsidentin Barbara Flückiger, Tel. 031 308 23 40



# ÜBRIGENS

## BESCHWINGT INS BÜRO ZURÜCK

ASVZ

**Wussten Sie schon, dass Sie beim Akademischen Sportverband Zürich (ASVZ) in der Mittagspause Capoeira tanzen können?**



Nein, das ist kein neuer Lambada, sondern der neuste Hit aus Brasilien. Capoeira ist Kampf, Spiel, Akrobatik, Musik und Lebensphilosophie. Ursprünglich wurde Capoeira von afrikanischen Sklaven entwickelt, die nach Brasilien verschleppt wurden. Da ihnen jede Form des Kampfes verboten wurde, tarnten sie Capoeira als Tanz. Zurzeit verbreitet sich dieser Original-Tanz-Kampf wie ein Lauffeuer in der Stadt Zürich. In unserem ASVZ-Angebot begleitet Live-Musik die flinken, harmonischen Bewegungen, und der Unterricht liegt in den Händen eines erfahrenen brasilianischen Meisters. Habe ich Ihr Interesse geweckt? Dann machen Sie mit! Jeweils am Freitag von 12.00 bis 13.30 Uhr treffen sich viele Begeisterte, um ein bisschen brasilianische Kultur zu schnuppern. Möchten Sie aber nicht ins Foyer oder sind Sie kein Tänzer, haben Sie mindestens 20 andere Möglichkeiten, sich aktiv zu erholen und frisch gestärkt an Ihren Arbeitsplatz zurückzukehren. Zu den Angeboten des ASVZ gehören Aerobic, Tanz, Kraft- oder Lauftraining, Indoor-Rowing, Spinning oder Muscle Pump und vieles mehr. Die Trainingsleiterinnen und -leiter wissen, wie viel Gewicht Sie stemmen oder wie lange Sie Rad fahren sollten. Oder möch-

ten Sie sich lieber zur Musik bewegen? Im Sportfahrplan des ASVZ steht alles drin, was Sie wissen müssen. Sie erhalten den Plan an den Schaltern der Hochschulsportanlagen Polyterrasse, Hönggerberg, Irchel und Fluntern.

Als ehemalige ETH-Absolventinnen und ETH-Absolventen lösen Sie einfach einen Ausweis über ein halbes oder ganzes Jahr. Er kostet Fr. 200.– bzw. Fr. 350.–. Mit diesem Ausweis können Sie das gesamte Angebot mit über fünfzig Sportarten in vollen sportlichen Atemzügen nutzen. Übrigens: Seit zwei Jahren wird in der Hochschulsportanlage Fluntern auch am Wochenende über Mittag und am Sonntag um 17 Uhr Fitness angeboten. Über die Mittagsstunden gibt es sogar Kinderbetreuung.

Wir vom ASVZ freuen uns auf Ihren Besuch. Vielleicht schon am nächsten Freitag um 12 Uhr im Foyer unterhalb der Polyterrasse zu Capoeira...

Yvonne Bühler-Kliebschädel  
Hochschulsportlehrerin ASVZ

Weitere Informationen:

Der ASVZ ist die Sportorganisation der Universität und der ETH Zürich.  
Auskunftsstelle in A 91, Polyterrasse, ETH Zentrum, Rämistrasse 101,  
8092 Zürich, Mo–Fr 10–16 Uhr  
(Semesterferien 10–14 Uhr),  
Do 17–20 Uhr  
E-Mail: sekretariat@asvz.ethz.ch,  
Telefon 01 632 42 10, Telefax 01 632 10 83,  
Homepage: www.asvz.ch

## AGENDA

Referat «**Erdbeben und erdbebensicheres Bauen**», Prof. em. Dr. Hugo Bachmann, 6. Februar, 18.30 Uhr, ETH-Hauptgebäude, Auditorium E3, Veranstalter: ETH Alumni Ortsgruppe Zürich.

**Executive Search** «Blick hinter die Kulissen», Referentin: Theres Zeier, Korn/Ferry International, Spreitenbach, 27. Februar, 19.15 Uhr, ETH-Hauptgebäude, Hörsaal D3.2, Veranstalter: Vereinigung Schweizerischer Betriebsingenieure, Informationen: info@vsbi.ch und www.vsbi.ch

**Business-Lunch** mit Hans-Peter Aebi, Vizepräsident des Verwaltungsrates DiAx/Sunrise, «Aktuelles aus der Telekommunikation: What's next?», 8. März, 11.45 Uhr, GEP-Pavillon, ETH Zentrum, Information und Anmeldung: Tel. 01 632 51 00, info@alumni.ethz.ch, www.alumni.ethz.ch

**Supply Chain Management:** «Neue Ansätze – neue Technologien», Referent: Prof. Dr. P. Schönsleben, 21. März, 19.15 Uhr, ETH-Hauptgebäude, Veranstalter: Vereinigung Schweizerischer Betriebsingenieure, Informationen: info@vsbi.ch und www.vsbi.ch

Musik an der ETH, **Klavierabend mit Sergej Babayan**, 24. April, 19.30 Uhr, ETH-Hauptgebäude, Semper-Aula G 60. Tickets bei ETH-Alumni-Geschäftsstelle, Tel. 01 632 51 00, info@alumni.ethz.ch. Nach dem Konzert offeriert die ETH-Alumni-Ortsgruppe Zürich einen Apéro.

## KONTAKTE

Neu im Netzwerk der ETH Alumni

Die Schweizerische Gesellschaft für Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie (SGLWT) bietet ihren 800 Mitgliedern Weiterbildung, Symposien, Firmenbesuche, Fachzeitschriften und Internet-Dienstleistungen.


Kontakt und Information:

Postfach 561  
CH-8820 Wädenswil  
Tel: +41 (0)1 783 64 30  
Fax +41 (0)1 780 63 41 c/o SGLWT  
saglwt@saglwt.ch  
www.saglwt.ch



# Trainee- Programm: Einstiegsmöglichkeit für Informatik oder Netzwerk

Andreas Moser  
Human Resource Development  
Thurgauerstrasse 60  
8050 Zürich  
Telefon 01 300 93 77  
[andreas.moser@diAx.ch](mailto:andreas.moser@diAx.ch)



## Update yourself.

### Unsere Philosophie

diAx bietet ein umfassendes Ausbildungskonzept für Absolventinnen und Absolventen von technischen Fachhochschulen oder Universitäten und eröffnet Perspektiven im dynamischen Umfeld der Telekommunikation.

Mit dem diAx Trainee-Programm werden Sie in kompetente Teams integriert und erfahren eine fachliche und individuell auf Sie abgestimmte Betreuung. Sie erhalten die Möglichkeit, während dem diAx internen Rotationsprogramm, «off the job» Ausbildungsprogramme zu besuchen.

### Das Programm

Beginn: ab März 2001  
Dauer: 6 – 9 Monate  
Sie durchlaufen 3 bis 5 Stationen:  
Training on the job

Individuelle Ausbildungsmodulare zur fachlichen Vertiefung und zur Förderung der Sozialkompetenz:  
Training off the job.

### Ihre Herausforderung

Sie verfügen über Eigeninitiative, arbeiten selbständig und haben Freude in einem multikulturellen Team Ihren Beitrag zu leisten. Sie sind bereit, sich in einem wettbewerbsintensiven Umfeld voll einzusetzen und dabei immer wieder Neues zu lernen.

### Ihre Kompetenz

Sie haben Ihre Hochschulausbildung erfolgreich abgeschlossen und haben eventuell bereits Erfahrungen in der Telekommunikationsbranche gesammelt. Englisch, evtl. französisch ist für Sie selbstverständlich.

Sie verfügen über ausgeprägte organisatorische und analytische Fähigkeiten und packen Problemstellungen unternehmerisch an.

### diAx

ist das Schweizer Telekommunikations-Unternehmen der neuen Generation, das mit ausgezeichneten Produkten und Dienstleistungen in der Festnetz- und Mobiltelefonie neue Massstäbe setzt und rasant wächst. Wenn Sie eine berufliche Herausforderung suchen, finden Sie bei diAx die besten Perspektiven in einer modernen, internationalen Unternehmenskultur.

**«...so make your  
choice for the  
future!»**

Wir freuen uns auf Sie. Für Fragen zum Trainee-Programm steht Ihnen Andreas Moser gerne zur Verfügung.





An Ideen hat es Ihnen noch nie gemangelt. Und der Wunsch, nach Ihrem Studium an der Universität oder Fachhochschule einmal ausserhalb der Landesgrenzen zu arbeiten, ist heute stärker denn je. Ideale Persönlichkeitsmerkmale, um bei uns in einem internationalen Umfeld durchzustarten und Verantwortung zu übernehmen.

[www.ubs.com/graduates](http://www.ubs.com/graduates)

Die Faszination  
fremder Länder hat Sie  
schon immer beflügelt.

